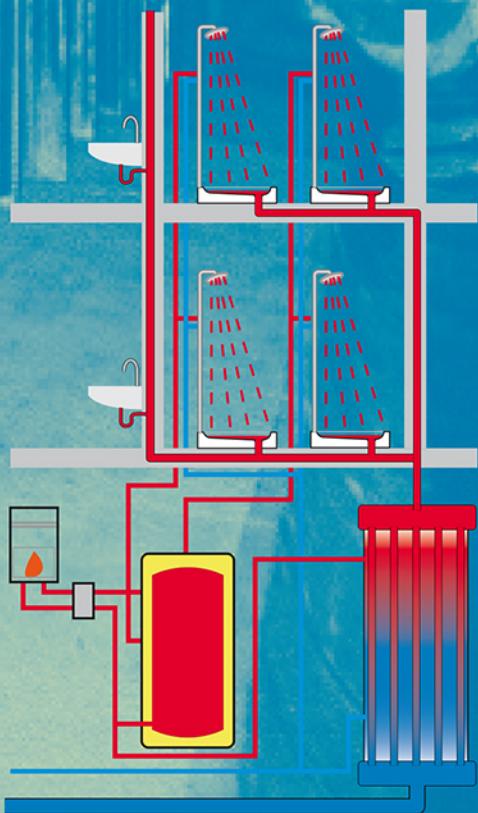
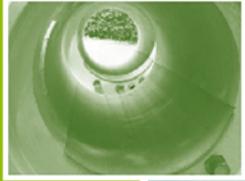
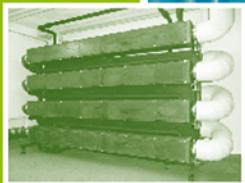


Achim Hamann

Grundlagen der Abwasserwärmeverwendung

Leitfaden für Architekten,
Ingenieure und Stadtplaner



Achim Hamann

Grundlagen der Abwasserwärmeverwendung

Leitfaden für Architekten, Ingenieure und Stadtplaner

Achim Hamann

Grundlagen der Abwasserwärmevernung

Leitfaden für Architekten, Ingenieure und
Stadtplaner

Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9467-7

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9468-4

Herstellung: Andreas Preising

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Satz: Mediendesign Späth GmbH, Birenbach

Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2015
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 7 11 9 70-25 00
Telefax +49 7 11 9 70-25 08
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1 Einleitung	9
1.1 Zielsetzung des Buches	9
1.2 Erfolgsfaktoren für eine energieeffiziente Bauweise	10
1.2.1 Der Baumeister von heute	10
1.2.2 Der Effizienzhaus-Ansatz	11
1.2.3 Die richtigen Wärmequellen	12
1.3 Klimaschutzstrategien und der Wärmemarkt	12
1.4 Mitwirkende Akteure	13
1.5 Sachstand in Deutschland	14
2 Grundlagen der Abwasserwärmennutzung	19
2.1 Gesetzliche Grundlagen	19
2.1.1 Politische Ziele	19
2.1.2 Energieeinspargesetz, Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, Energieeinsparverordnung	20
2.1.3 Nutzungspflichten bei Neubauten und Altbauten (EEWärmeG)	21
2.1.4 Landesrecht (EWärmeG BW)	21
2.1.5 Landesbauordnungen, Durchführungsverordnungen zur EnEV	21
2.1.6 Exkurs: Wasserhaushaltsgesetz und wasserrechtliche Rahmenbedingungen für den Abwasserwärmeeentzug	22
2.1.7 Die Begriffe »Abwärme« und »Abwasser« (EEWärmeG)	24
2.2 Grundlagen der Vertragsgestaltung	26
2.3 Technische Randbedingungen für die Abwasserwärmennutzung	28
2.4 Grundlagen zum Wärmepotenzial aus Abwasser	30
2.4.1 Physikalische Grundlagen	30
2.4.2 Technische Nutzung: theoretische Wärmetauscherleistung	31
2.4.3 Technische Nutzung: Wärmetauscheroberfläche	33
2.4.4 Grundlagen der Wärmepumpenfunktion	35
2.4.5 Auslegung der Wärmepumpenleistung	37
2.4.6 Bundesweites Wärmepotenzial	41
2.4.7 Projektspezifisches Wärmepotenzial	42
2.5 Projektbeispiele	52
2.6 Grundlagen für die Reduzierung von CO ₂ -Emissionen	55
2.6.1 Bundesweiter Vergleich von verschiedenen Energieträgern	55
2.6.2 Projektspezifischer Vergleich von CO ₂ -Emissionen	58

2.7	Wärmetauschersysteme	58
2.7.1	Wärmetauscher in das Kanalrohr integriert	59
2.7.2	Wärmetauscher zur Nachrüstung im Kanalrohr	60
2.7.3	Externe Wärmetauscher im Kanalnetz	61
2.7.4	Wärmetauscher im Gebäude	63
2.8	Energetische Varianten von Gebäudehülle und Gebäudetechnik	72
2.9	Grundlagen der Heizlastberechnung	81
2.10	Sonstiges	86
2.11	Wirtschaftliche Grundlagen	89
2.11.1	Investitionskostenmodelle für die Abwasserwärmeverwendung im Gebäudebestand und Neubau	89
2.11.2	Jahreskosten für die Abwasserwärmeverwendung und Vergleich mit drei weiteren Varianten	94
2.11.3	Wirtschaftlicher Einsatzbereich der Abwasserwärmeverwendung	95
3	Arbeitshilfen für ein konkretes Projekt	99
3.1	Vorgehensweise am Beispiel »Dorfcenter«	99
3.2	Checkliste	100
3.3	Anwendung der Checkliste am Beispiel »Dorfcenter«	107
3.3.1	Beteiligung der politischen und verwaltungstechnischen Akteure	107
3.3.2	EnEV-Bilanzierung und Jahreswärmbedarf	108
3.3.3	Abschätzungen der Heizlast	109
3.3.4	Ermittlung der Abwassermengen und des Wärmepotenzials	112
3.3.5	Bestimmung der möglichen Wärmepumpenleistung	114
3.3.6	Betrachtungen zum Deckungsgrad	115
3.3.7	Betrachtungen zur Kühlleistung	115
3.3.8	Festlegung der Wärmepumpenleistung aufgrund der Heizlast	116
3.3.9	Bestimmung der Wärmetauscherleistung und -oberfläche	117
3.3.10	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	120
3.4	Hinweise zum Betrieb eines Wärmetauschers im Kanal	126
4	Fazit und Ausblick	129
	Abbildungsverzeichnis	131
	Tabellenverzeichnis	133
	Abkürzungsverzeichnis	135
	Quellenverzeichnis	137

Vorwort

Gedanken zu Architektur und Abwasser

Als Student, während meines Erststudiums zum Bauingenieur, hatte ich mich für die Vertiefungsrichtung Wasserwirtschaft entschieden. Aus heutiger Sicht war diese Entscheidung für mich die richtige. Sie fragen sich vielleicht, was ich damit sagen will.

Ich hatte im Nachhinein betrachtet die Gelegenheit am Schopfe gepackt und konnte zur sowieso traditionell hochbauorientierten Ausbildung viele weitere Bereiche und Methoden des Bauwesens kennenlernen, welche inzwischen selbst bei der Planung von Wohngebäuden wichtig geworden sind. In den ersten Berufsjahren wurde ich als verantwortlicher Planer und Bauleiter mit Gebäudetypen und Ingenieurbauwerken vertraut, die in der Wasser- und Siedlungswasserwirtschaft von Bedeutung sind. Des Weiteren war die Verfahrens- und Gebäudetechnik ein wichtiger Projektbestandteil. Inzwischen bin ich vielfältig mit Hochbauprojekten beschäftigt und habe seit Jahren neben der Planvorlageberechtigung gemäß Landeswassergesetz auch die Bauvorlageberechtigung nach Landesbauordnung inne. Ich fühle mich heute mit Blick auf die traditionellen Studiengänge im Bauwesen ebenso als Architekt wie als Bauingenieur, auch wenn ich mich nicht als Architekt bezeichnen darf, da sich meine Mitgliedschaft auf die Ingenieurkammer beschränkt.

Für unsere Auftraggeber und Bauherren steht die Gebäudeplanung als Grundlage einer Immobilieninvestition im Vordergrund, daher bezeichnen mich diese Akteure immer als Architekt. Die praktische Lebenswelt orientiert sich dabei nicht an dem Architektengesetz, sondern sie will mit der Bezeichnung »Architekt« zum Ausdruck bringen: »Du bist mein Hochbauexperte, der mir hilft, unter heutigen Anforderungen eine nutzungs- und kostenorientierte Immobilieninvestition zu realisieren«. Aus meiner Sicht muss ich dabei heute fachbereichsübergreifender und interdisziplinärer denken. Auf Grund dessen macht mir die Hochbauplanung heute deutlich mehr Spaß. Der Beruf des Architekten erfordert die Fähigkeit, sich mit vielen unterschiedlichen Ingenieurthemen zu beschäftigen, wobei er Abgrenzungen zu Fachplanungen bewahren sollte. Förderlich beim Aufbau von interdisziplinären Verzahnungsprozessen im Hochbau war möglicherweise der Einfluss von energetischen Bilanzierungen, Lüftungs- und Wärmerückgewinnungsthemen sowie Lebenszyklusgedanken.

Im Zweitstudium lernte ich die Sichtweisen der Betreiber und Nutzer, hochbaurelevante Gebäudetechnik, Immobilienökonomie und Immobilienmanagement besser kennen. Das Drittstudium zum Umweltwissenschaftler befasste sich mit Umweltfragestellungen unter Einbeziehung von Rechts-, Sozial-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften sowie Querschnittsthemen. Auch hier war das Bauwesen, von der Stadtplanung bis zur einzelnen Immobilie, von der Verkehrsinfrastruktur bis zu umweltmedizinischen Einflüssen oder der Abfallwirtschaft, wesentlicher Bestandteil.

In meiner Dissertation beschäftigte ich mich anschließend folgerichtig mit Klimaschutzstrategien und CO₂-Emissionen von Nichtwohngebäuden auf der Stadtbene. Ich konnte Methoden aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen anwenden. Als persönliches Highlight zur Interdisziplinarität im Hochbau möchte ich die Zusammensetzung meiner Prüfungskommission zur Promotion im Fachbereich Bauingenieurwesen anführen. Die Professoren vertraten übergreifend die Fachbereiche Architektur, Bauingenieurwesen und Immobilienwirtschaft und gleichzeitig waren die Wissensbereiche Stadtplanung und Technische Gebäudeausrüstung sowie Klimate- und Umweltschutz vertreten, alles war verzahnt, es war toll.

Ich führe das nicht auf, damit sie meinen akademischen und beruflichen Werdegang erfahren, ich möchte vielmehr Ihre Aufmerksamkeit darauf richten, wie disziplinübergreifend und verzahnt heute der Hochbau für planende und bauleitende Architekten, Ingenieure und Stadtplaner geworden ist. Neben gestalterischen Aspekten sind Themen wie Zweckgebundenheit, betrieblicher Nutzen, Wirtschaftlichkeit in Verbindung mit Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung, Energieeffizienz und Klimaschutz nicht mehr aus der Baukultur wegzudenken und die Entwicklungen gehen noch weiter. Letztlich fangen die Betrachtungen bereits bei der Projektentwicklung und der Bauleitplanung an.

Lange Rede – kurzer Sinn: Die Abwasserwärmevernutzung stellt für mich ein Beispiel der Verschmelzung vieler nützlicher interdisziplinärer Denkansätze im Bauwesen dar.

Ich wünsche uns allen, dass dieser Leitfaden sehr viel Nutzen bringt.

Achim Hamann, Roxheim bei Bad Kreuznach

Juni 2015

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung des Buches

Der Ressourcen- und Energieverbrauch von Gebäuden ist inzwischen in aller Munde. Insbesondere wird der Fokus auf den Raumwärmebereich gelegt, da dieser einen sehr großen Anteil daran hat.

Im Jahr 2007 verursachte der Raumwärmebereich in Deutschland einen anteiligen Endenergieverbrauch von 32,8 Prozent.¹ Dies verdeutlicht, dass auch die Emissionen aus dem Raumwärmebereich einen wesentlichen Anteil am Treibhausgaseffekt haben. Gemäß Datenbasis zum Jahre 2009 existieren in Deutschland etwa 40 Millionen Wohnungen bzw. etwa 18 Millionen Wohngebäude mit rund 3,4 Milliarden Quadratmetern Wohnfläche.² Zum Nichtwohngebäudebestand liegt dagegen keine gesicherte Datenbasis vor.

Im Jahr 1950 wurden die letzten Erhebungen zum Nichtwohngebäudebestand durchgeführt.³ In einer Studie zum gesamten Gebäudebestand in Deutschland von 1991 wird der Wärmeenergiebedarf der Nichtwohngebäude für dieses Jahr mit 42,6 Prozent angegeben.⁴

Aktuellere, konkretere Untersuchungen zum Nichtwohngebäudebestand am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel auf Basis von Daten aus dem städtischen geografischen Informationssystem in Verbindung mit Erhebungen vor Ort zeigten auf, dass im Jahr 2010 die CO₂-Emissionen aus der Beheizung der Nichtwohngebäude ebenso bei etwa 42 Prozent liegen. Dabei haben die Wirtschaftsbauten einen Anteil von rund 80 Prozent und die öffentlichen Gebäude etwa 20 Prozent innerhalb der Nichtwohngebäudestruktur. Insgesamt verursacht die Beheizung der Nichtwohngebäude rund 13 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen der Stadt Wuppertal.⁵

Aufgrund der Bedeutung der Wohn- und Nichtwohngebäude aus volkswirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht rückt die nachhaltige Bau- und Betriebsweise immer mehr in den Vordergrund. Das Gleiche gilt für den Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergiequellen oder auch für die Wärmerückgewinnung aus Abwasser.

Ziel ist es daher, die Grundlagen der Abwasserwärmennutzung anwendungsorientiert darzulegen und Architekten, Planern und andere am Bau beteiligte Akteure mit dieser Energiequelle vertraut zu machen. Die Ausführungen sollen helfen, sich der Abwasserwärmennutzung thematisch zu nähern und die Voraussetzungen für den

1 vgl. [UBA 2007, S. 25]

2 vgl. [BMVBS 2011, S. 15]

3 vgl. [Gül 1994, S. 71]

4 vgl. [Koh 1999], S. 24, Tab. 2-1 und S. 55 Tab. 3-1: Kohler Niklaus, Hassler Uta, Paschen Herbert (Hrsg.), 1999

5 vgl. [Ham 2014a, S. 252]

Einsatz bei Neubauten oder Bestandssanierungen prüfen zu können. Im Buch werden daher zunächst Grundlagen aufbereitet, die für die Abwasserwärmennutzung von Belang sind. Danach wird die Anwendung beispielhaft aufgezeigt. Insgesamt soll das Buch dazu beitragen, die Abwasserwärmennutzung weiter bekannt zu machen, da es zur Erreichung der umweltpolitischen Ziele notwendig ist, jede Ressource zu nutzen, auch wenn sie insgesamt nur einen kleinen Teil zur Beheizung von Gebäuden beitragen kann.

1.2 Erfolgsfaktoren für eine energieeffiziente Bauweise

1.2.1 Der Baumeister von heute

Der Architekt ist nach wie vor der Gestalter der menschlichen Umwelt. Der Wandel an Bautypen, von Kirchen, Klöstern oder Schlössern hin zu Fabrikgebäuden, Arbeitersiedlungen und der heutigen Baukultur, hat sich historisch vollzogen. Auch, dass der Architekt neben künstlerischen Fähigkeiten wissenschaftliche, technische und geschäftliche Kenntnisse benötigt.

Heute werden bei Gebäudeplanungen, ob im Neubau oder im Bestand, unabhängig von Gesetzen und Verordnungen viele Anforderungen gestellt. Neben gestalterischen Aspekten rücken seit längerem verstärkt Themen wie die energetische Bilanzierung, die Gebäudedichtheit, das Lüftungskonzept und die Heiztechnik in den Mittelpunkt. Dabei sind die Schnittstellen von der Gebäudehülle über die Wärmebrücken hin zur Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) zu schließen. Eine nahezu unüberschaubare Anzahl von Normen, Richtlinien und Verordnungen begleiten den Prozess der Planung und Ausführung. Dieser Herausforderung stellen sich heute Architekten, Ingenieure und Ausführende.

Ein energieeffizientes Gebäude kommt dann zustande, wenn das Architekten- und Ingenieur-Know-how sowie das Handwerkerwissen zusammengeführt werden. Die energieeffiziente Bauweise kann nicht alleine Sache des Energieberaters, des TGA-Planers oder am Ende der Baufirma oder des Generalunternehmers sein. Ein moderner Baumeister, der alle Belange der heutigen Hochbaukunst einbeziehen und die notwendigen Prozesse erfolgreich steuern kann, ist gefragt.

Der moderne Baumeister sieht sich dabei einem immensen Kosten- und Zeitdruck, der auf der Bauwirtschaft lastet, ausgesetzt. Gleichzeitig haftet er für den werkvertraglichen Erfolg. Der Erfolg ist insbesondere während der Bauausführung gefährdet und kann zu höheren Heizenergieverbrauchswerten als vorgesehen führen. Beispielsweise werden Wärmebrücken, die dauerhafte Luftdichtheit oder regelungs-technische Prozesse bei Heiz- und Lüftungsanlagen nicht optimal realisiert. Damit die Bauphase wie geplant abläuft, sind den Bauausführenden Planunterlagen an die Hand zu geben, die die energieeffiziente Bauweise in allen notwendigen De-

tails beschreiben. Gleichzeitig ist die Bauüberwachung mit der gleichen Konsequenz durchzuführen wie die Planung.

1.2.2 Der Effizienzhaus-Ansatz

Derzeit orientiert sich ein modernes und nachhaltiges Gebäude an den Begriffen zu Förderrichtlinien (KfW-Effizienzhaus 40, 55, 70) oder am Passivhausstandard. Dabei geht es grundsätzlich darum, zukunftsweisend die bauordnungsrechtlichen Vorgaben deutlich zu unterschreiten.

Als zukünftiger Maßstab gilt der Niedrigstenergiehausstandard. Dieser ist in der EU-Gebäuderichtlinie⁶, die für alle EU-Mitgliedsstaaten bindend ist, definiert. Nach dem 31.12.2020 sollen demnach Neubauten nur noch als sogenannte Niedrigstenergiegebäude⁷ entstehen.

Da bereits das Jahr 2015 angebrochen ist, macht es Sinn, den aktuellen bauordnungsrechtlichen Rahmen so zu unterschreiten, dass sich ein Gebäude dem zukünftigen Standard bereits heute annähert. Bezeichnungen wie »Plusenergiehaus« oder »Nullemissionshaus« werden hier nicht weiter diskutiert, da letztlich immer eine gewisse Heizenergie zu decken ist, was sich aus dem Begriff »Niedrigstenergiegebäude« ableiten lässt. Dennoch definieren vermutlich diese Begriffe den zukünftigen Baustandard. Das heutige Effizienzhaus wird durch zwei Einflussbereiche definiert. Einerseits durch die Gebäudehülle und andererseits durch die Heiz- und Lüftungstechnik, die mithilfe von verschiedenen Energieträgern und Konzepten realisiert werden kann. Bei der energetischen Bilanzierung werden die beiden Bereiche letztlich durch den Jahres-Primärenergiebedarf und den Transmissionswärmeverlust (Wohngebäude) beschrieben. Der Wärmeenergieverlust durch die Gebäudehülle ist im Grunde nur durch den Dämmstandard definiert. Dazu gehören auch die Gebäudedichtheit und die Wärmebrücken. Der Jahres-Primärenergiebedarf wird zusätzlich von der Lüftung und vom Energieträger beeinflusst. Daher wird ein hocheffizientes Gebäude aus primärenergetischer Sicht nur durch Energieträger erreicht, die keinen bzw. einen geringen Primärenergiefaktor aufweisen, oder wenn der elektrische Anteil zur Nutzung einer Wärmequelle mithilfe einer Wärmepumpe am geringsten ist. Dies ist bei der Abwasserwärmennutzung gegeben, was beim Effizienzhaus-Ansatz förderlich ist.

⁶ Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010

⁷ Artikel 9, Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010

1.2.3 Die richtigen Wärmequellen

Bei der Festlegung der Energieträger hat der moderne Baumeister die Qual der Wahl, wobei auch Kombinationen möglich sind. Insbesondere werden Kombinationen durch die Erfordernisse an die Warmwasseraufbereitung oder durch die Deckung von Spitzenlasten interessant. Dabei sind auch Kombinationen aus fossilen und regenerativen Energieträgern möglich.

Wird als Zielstellung ausschließlich versucht, die primärenergetische Bewertung zu optimieren, sind beispielsweise Biomasse-Wärmeerzeuger und die solare Heizungsunterstützung zu favorisieren. Generell sollte auch das Wärme-Contracting geprüft werden. Im Falle der möglichen Nutzung einer FernwärmeverSORGUNG sind einerseits der Anschlusszwang und andererseits der Primärenergiefaktor zu prüfen, der den Bestandteil von regenerativen Energieträgern berücksichtigt. Wärmequellen, die mithilfe der Wärmepumpentechnik (Gas- oder Elektrowärmepumpe) erschlossen werden, stehen vielfältig zur Verfügung. Hierunter fallen die Energieträger Luft (Umweltwärme), Erdreich, Grundwasser, Flusswasser oder auch Abwasser bzw. Abwärme.

Die Wärmequelle Luft kann auf den ersten Blick mit dem geringsten Aufwand erschlossen werden. Jedoch ist das Temperaturniveau deutlich niedriger als beispielsweise beim Abwasser, was zu einem höheren elektrischen Energieverbrauch führt und primärenergetisch nachteilig ist. Wenn die notwendigen Randbedingungen stimmen, ist der Energiequelle Abwasser der Vorzug zu geben.

1.3 Klimaschutzstrategien und der Wärmemarkt

Lässt man die Nutzung der Abwasserwärme bei der Warmwasseraufbereitung oder auf dem Gelände von Kläranlagen zur Beheizung der Faulbehälter außer Acht, kann der prozentuale Anteil an der Gebäudeheizenergieversorgung definiert werden. Hierbei wird von 9,4 Milliarden Kubikmeter öffentlichem Abwasser pro Jahr ausgegangen. Weiteres Potenzial kann durch die Nutzung von privaten Abwasserströmen und Direkteinleitern aus Gewerbe- und Industriebetrieben geschöpft werden.

Die theoretische jährliche Wärmeenergie, die durch öffentliches Abwasser in Deutschland zur Verfügung steht, kann mit rund 29 Terawattstunden angegeben werden. Bezogen auf die Wohnungswirtschaft und den Heizenergieverbrauch im Jahr 2010 könnten damit in Deutschland etwa zwei Millionen Wohnungen beheizt werden, was rund fünf Prozent des Wohnungsmarktes entspricht.⁸ Dies zeigt in etwa das maximal mögliche Potenzial der Abwasserwärmenutzung im Bereich des öffentlichen Kanalsystems auf.

Eigene Untersuchungen aus dem Jahr 2012 verdeutlichen, dass trotz inzwischen vieler realisierter Projekte vom theoretischen Potenzial erst etwa 0,08 Prozent⁹ ge-

8 vgl. [Ham 2012, S. 16, 18]

9 vgl. [Ham 2012, S. 103]

nutzt werden und somit noch ein großes Potenzial nutzbar gemacht werden kann. Bis zum Jahr 2050 kann durchaus als realistisches Ziel ein 20-prozentiger¹⁰ Nutzungsgrad und somit etwa sechs Terawattstunden Wärmeenergie pro Jahr aus der Abwassernutzung angenommen werden.

Da sich der Heizenergieverbrauch bis zum politischen Zielwert im Jahr 2050 verändern wird, helfen Szenarien zur Abschätzung des zukünftigen Anteils bei Klimaschutzstrategien. Szenarien, beispielsweise zum zukünftigen beheizten Nichtwohngebäudebestand, haben aufgezeigt, dass bei einem Nutzungsgrad von angenommenen 20 Prozent bis zum Jahr 2050 die Abwasserwärme mit etwa einem Prozent¹¹ an der Wärmeenergieversorgung beteiligt sein wird.

Dies verdeutlicht zugleich, dass Abwasser nur einen kleinen Anteil leisten kann. Jedoch lohnt der Einsatz dieser Wärmeenergiequelle zum Erreichen der politischen Ziele, was gleichzeitig zur Schonung der Umwelt beiträgt.

Unternehmerisch betrachtet ist der mögliche Marktanteil innerhalb der nächsten Jahrzehnte groß genug, damit sich die Entwicklung und Vermarktung von Produkten im Zusammenhang mit der Abwasserwärmennutzung lohnen sollte. Da erst 0,08 Prozent des Potenzials nutzbar gemacht sind und bis zum Jahr 2050 ein 20-prozentiger Nutzungsgrad des Abwasserwärmepotenzials angenommen wird, kann der Markt von einem absoluten Zuwachsfaktor von etwa 250 ausgehen. Ohne den unternehmerischen Antrieb und das Mitwirken aller Akteure kann sich die Abwasserwärmennutzung jedoch nicht weiter verbreiten und somit keinen Beitrag zum Klimaschutz oder zu einer nachhaltigen Bauweise leisten.

1.4 Mitwirkende Akteure

Damit die Abwasserwärmennutzung projektspezifisch oder auf der Quartiersebene zum Einsatz kommt, müssen viele Akteure zusammenwirken. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Immobilien- bzw. Bauwirtschaft von Akteuren mit verschiedensten Interessen geprägt ist. Es müssen die politischen Akteure auf Seite der Gesetzgebung und der Kommunen sowie kommunale Verwaltungen (Stadtplanungsämter, Bauämter, Tiefbauämter, Wasserbehörden), Akteure im Bereich der Immobilienwirtschaft (Investoren, Bauherren, Immobilienverwalter, Projektentwickler, Banken, Architekten, Planer), Akteure im Bereich der Abwasseranlagenbetreiber und Akteure im Bereich der Energieversorger frühzeitig zusammenarbeiten.

Dies kann projektspezifisch oder bereits auf der Bebauungsplanebene erfolgen. Bei der Aufstellung eines Bebauungsplanes ist die Möglichkeit gegeben, die Abwasserwärmennutzung von Beginn an zu berücksichtigen, da beim Bebauungsplanverfahren die zuvor genannten Akteure beteiligt sind. Der Kommune, als steuernde und

10 vgl. [Ham 2014b, S. 118]

11 vgl. [Ham 2014a, S. 209] und [Ham 2014b, S. 118, 123, Anhang]

beschlussfassende Stelle, kommt eine besondere zentrale Bedeutung zu. Über die Kommune kann das Zusammenwirken der Akteure gesteuert und somit Einfluss auf die Nutzung von Energie aus Abwasser genommen werden.

Für Akteure aus der Immobilienwirtschaft spielt die wirtschaftliche Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle. Auf Grundlage der gesetzlichen Forderungen gemäß Energieeinsparverordnung¹² und des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG)¹³ können wirtschaftliche Vergleiche zur Gebäudehülle und zur Gebäudetechnik angestellt werden. Im Ergebnis werden sich oftmals wirtschaftliche Randbedingungen für die Abwasserwärmennutzung aufzeigen lassen. Die Abwasseranlagenbetreiber und die Energiewirtschaft können beispielsweise mithilfe von Wärme-Contracting die Abwasserwärmennutzung unterstützen.

1.5 Sachstand in Deutschland

Eigene Untersuchungen¹⁴ aus dem Jahr 2011 sollten den Einsatz der Abwasserwärme im Bundesgebiet aufzeigen. Hierbei wurden Projekte betrachtet, die eine Abwasserwärmennutzung durch Wärmeentzug im öffentlichen Kanal betreiben. Die Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst, wobei die recherchierten Projekte in Akteursbereiche unterteilt werden. Folgende Kategorien wurden definiert:

- öffentliche Wohnungsgesellschaften
- öffentliche/kirchliche Einrichtungen (Schule, Kinderhort, Rathaus)
- öffentliche Schwimmbäder
- privater Handel / private Wohnbauprojekte.

Die Häufigkeitsverteilung in Bezug auf die Akteursbereiche ist in Tabelle 1 dargestellt. Ergänzend sind hierin auch die Anzahl und die Verteilung von weiteren Studien und Planungen aufgenommen.

In Abbildung 1 ist die Auswertung zu den jeweiligen Kategorien in einer Karte zusammengefasst. In Tabelle 2 sind die Projekte namentlich aufgelistet, wobei auch aktuellere Projekte ergänzt wurden.

Darüber hinaus existiert eine Vielzahl von Machbarkeitsstudien, die ebenso in Tabelle 1 aufgeführt sind.

12 Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung [EnEV]), Fassung vom 13.07.2013 (BGBL I S. 2197, 2199)

13 Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEWärmeG]) vom 07. 08. 2008 (BGBL I S. 1658), letzte Änderung vom 21.07.2014 (BGBL I S. 1066)

14 vgl. [Ham 2012, S. 73–103]

Tabelle 1: Verteilung realisierter Projekte und Studien in Deutschland

Anzahl realisierter Projekte	Häufigkeit
öffentl. Wohnungsgesellschaften	13,33 %
öffentl./kirchl. Einrichtungen	70,00 %
öffentl. Schwimmbäder	6,67 %
privater Handel/Wohnen	10,00 %
	100,00 %
Anzahl Studien/Planungen	Häufigkeit
öffentl. Wohnungsgesellschaften	1,79 %
öffentl./kirchl. Einrichtungen	25,00 %
öffentl. Schwimmbäder	7,14 %
privater Handel/Wohnen	12,50 %
Machbarkeitsstudien	48,21 %
Energiekarten	5,36 %
	100,00 %

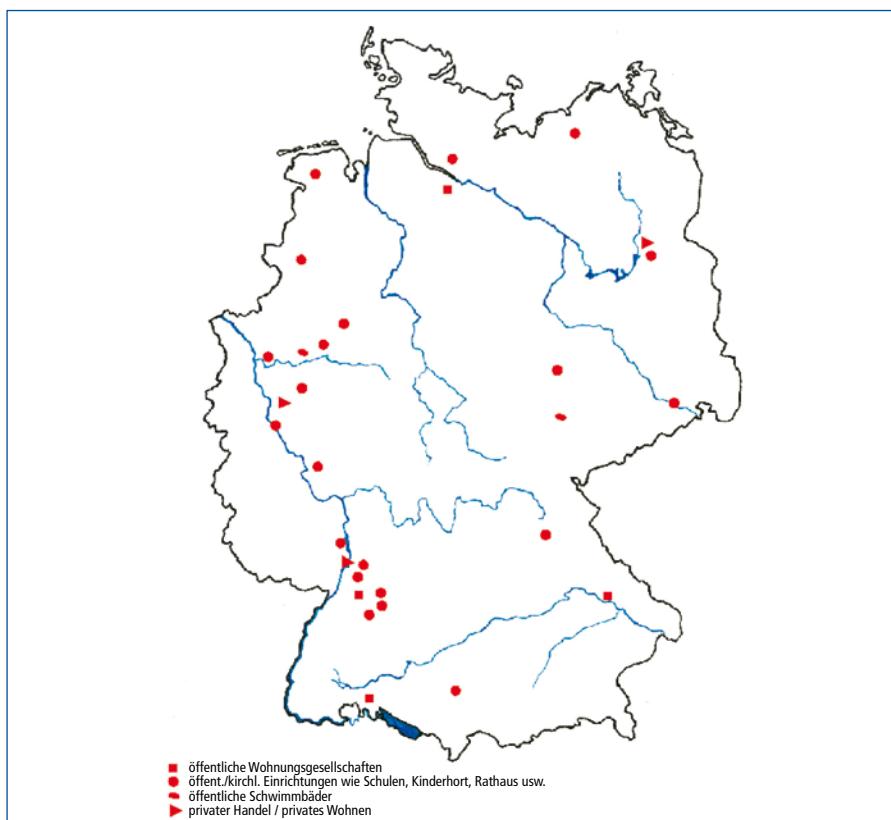
**Abbildung 1:** Standortübersicht realisierter Projekte in Deutschland, Stand 2010

Tabelle 2: Realisierte Projekte in Deutschland, aktueller Stand

Ort	Projektbezeichnung	Ort	Projektbezeichnung
Nassau	Betriebsgebäude der Kläranlage	Esslingen	»Salemer Pflegehof«, Sozialstation
Speyer	Wohnanlage Yachthafen	Köln	Deutsche Sporthochschule
Lingen	Ludwig-Windhorst-Haus	Jena	öffentliches Hallenbad
Ahlen	Betriebsgebäude der Kläranlage	Güstrow	Stadtwerke, Büro- und Werkgebäude
Leverkusen	Gesundheitshaus	Aurich	innerstädtische Liegenschaften
Singen	Technologiezentrum	Meinerzhagen	Betriebsgebäude der Kläranlage
Berlin-Lichtenberg	großflächiges Handelsobjekt Landsberger Allee/Rhinstraße	Bremen	Pumpwerk Findorff
Berlin-Kreuzberg	Sporthalle, Leibnitzgymnasium	Karlsruhe	Nutzung auf Kläranlagen-gelände
Waiblingen	24 Gebäude	Gelsenkirchen	Revierpark Nienhausen
Ludwigshafen	Dienstgebäude Stadt-entwässerung	Berlin-Schöneberg	Schwimmbad
Bochum	Nordwestbad	München	MSE Betriebshof
Tübingen	Aischbachschule und Kindergarten (Gas-Wärmepumpe)	Glauchau	Behindertenwerkstatt
Straubing	Mietwohnanlage	Kornwestheim	Wohnanlage
Fürth	Rathaus	Merseburg-Schkopau	Betriebsgebäude
Hamburg-Harburg	Wohnanlage Hastedtstraße (Gas-Wärmepumpe)	Heidgraben	Gemeindezentrum
Bretten	Wohnanlage, Sporthalle, Gymnasium	Berlin	Ministerium BMU
Schkeuditz	Kinderhort	Mannheim	Pumpwerk Ochsenpferch
Pinneberg	Schul- und Gemeindezentrum, Feuerwehrhaus	Wilhelmshaven	Pumpwerk »Ost«
Rauenberg	Kinderhort	Konstanz	Wohnpark
Drensteinfurt	Feuerwehrgerätehaus	Horb	Schwimmbad
Bad Cannstatt, Stuttgart	Terrot Areal, Seelberg Wohnen, Siedlungswerk	Nördlingen	Baumarkt
Dresden	Feuerwache	Berlin, Yorkstraße	Baumarkt
Dresden-Trachau	Weinbergskirche, Ev.-Luth. Laurentiuskirchengemeinde	Kirchheim unter Teck	Gymnasium
Essen-Kettwig	Kläranlage: Betriebsgebäude, Rechengebäude und Werkstatt	Köln-Mühlheim	Gymnasium
Krumbach	Projekt der LEW-Tochter Überlandwerk	Köln-Porz	Realschule
		Weimar	Sporthalle
		Frankfurt	Speicherstraße (Aktiv-Stadthaus)

Bisherige Projekte wurden überwiegend für öffentliche Einrichtungen realisiert. Dies kann mit der Vernetzung der verantwortlichen Akteure begründet werden. Zum einen sind es Akteure der kommunalen Beteiligungen an Entwässerungsbetrieben und zum anderen Akteure der städtischen Liegenschaften. Diese tragen zusammen zum Projekteinstieg und zur Projektumsetzung bei. Bei dieser Konstellation ist von einer einfacheren Vertragsgestaltung bzw. Vertragsanwendung der Beteiligten auszugehen.

Zusätzlich ist zu erwähnen, dass die initiiierenden Akteure im kommunalen Bereich auch für die Abwasserentsorgung zuständig sind und daher der Umgang mit Abwasser als Tagesgeschäft bezeichnet werden kann. Weiterhin wird die kaufmännische Entscheidung der Verantwortlichen auf der Verwaltungsebene durch die Bearbeitung von Anträgen und Personalressourcen zu Fördermitteln unterstützt.

Bei privaten Initiatoren muss insbesondere noch mehr Aufklärungsarbeit für die technische und wirtschaftliche Möglichkeit zur Energierückgewinnung aus Abwasser und zu Fördermittelanträgen geleistet werden. Hier können Architekten, Ingenieure und Planer einen großen Beitrag leisten.

In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass die Mehrheit der bisher installierten Anlagen in Deutschland eine Jahreswärmeenergie bis 600 000 Kilowattstunden erzeugt.

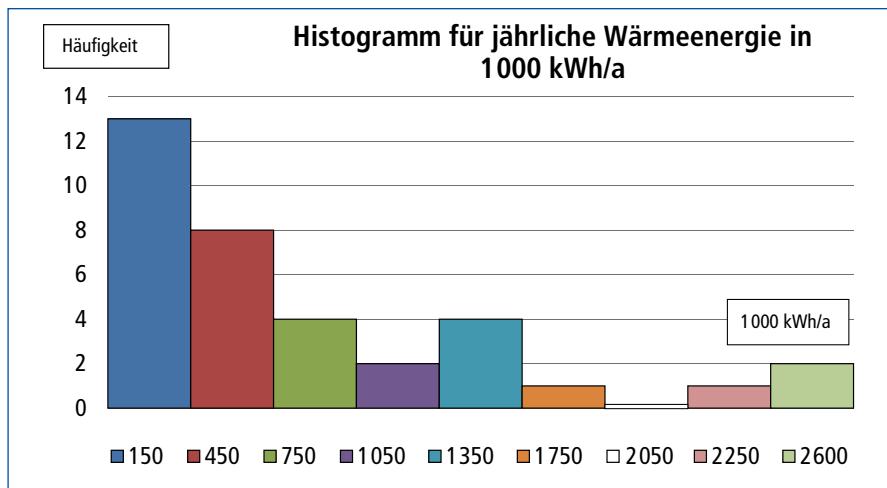


Abbildung 2: Histogramm zur realisierten jährlichen Wärmeenergie

Die Abwasserwärmennutzung ist grundsätzlich keine Neuentwicklung mehr. Dies zeigen die bisher realisierten Projekte in Deutschland und insbesondere in den europäischen Nachbarländern. In der Schweiz wurden seit etwa 20 Jahren nahezu 100 Projekte mit Abwasserwärmennutzung realisiert und betrieben. Auch in Österreich, Frankreich, Finnland, Schweden, Norwegen und Dänemark liegen bereits Erfahrungen vor. In diesen Ländern existieren zusätzlich Erfahrungen mit Großanlagen auch unter Einbeziehung von Meerwasser.

Architekten und Ingenieure können daher bei inländischen Projekten auf eine langjährige Erfahrung zurückgreifen. Unabhängig davon sind die Wärmetauscher-technik und die Nutzung von Kältemittelkreisläufen, wie in einer Wärmepumpe, bereits seit Jahrzehnten in diversen technischen Anwendungen etabliert. Die zunehmende Nutzung von Wärmerückgewinnung aus Abwasser oder Abwärme für die Beheizung von Gebäuden in Deutschland stellt demnach lediglich ein weiteres Anwendungsgebiet dar und findet Einzug in das Arbeitsumfeld des Architekten bzw. Planers.

Vermehrt stehen auch Anwendungen zur Verfügung, die es ermöglichen, dem Abwasser direkt im Gebäude die Wärme zu entziehen und dem internen Heiz- und Warmwasserkreislauf zuzufügen.

2 Grundlagen der Abwasserwärmeverwendung

2.1 Gesetzliche Grundlagen

2.1.1 Politische Ziele

Die Reduzierung von Kohlendioxid (CO_2) als Treibhausgas stellt das wesentliche Ziel dar. Diese Minderung stellt das wesentliche Ziel dar, da das Treibhausgas CO_2 als Hauptverursacher der Klimaveränderungen gilt. Dieses Ziel ist inzwischen nicht nur politisch, sondern auch in allen volkswirtschaftlichen Branchen allgegenwärtig.

Verantwortlich für den CO_2 -Anstieg und somit für die Erderwärmung soll die Industrialisierung der letzten 150 Jahre sein. Diese wird als die verursachende Einflussgröße des Treibhauseffektes angesehen. Die technisierte und damit unnatürliche Lebensweise der heutigen Gesellschaft hat den Bezug zur natürlichen Lebensweise und zur Erhaltung der eigenen Lebensgrundlage – der Umwelt – verloren. Weitere Effekte der modernen Konsumgesellschaft verschlingen unnötig riesige Mengen an Energie und verursachen entsprechende Mengen an Treibhausgasen und Abfällen.

Um dem Treibhausgasausstoß entgegenzuwirken, wurde – politisch initiiert – beispielsweise das europäische Emissionshandelssystem eingeführt. Auch wurde die Förderung von regenerativen bzw. erneuerbaren Energien angestoßen und die Steigerung von Energieeffizienzmaßnahmen favorisiert.

Die Ziele der Staatengemeinschaft sind erstmalig bei der Weltklimakonferenz in Cancún¹⁵ im Jahr 2010 einheitlich anerkannt worden. Der maximale Anstieg der globalen Temperatur soll auf 2°C , bezogen auf die Zeit vor der Industrialisierung, begrenzt werden. Dieses gemeinschaftliche Ziel wird als sogenanntes Zwei-Grad-Ziel bezeichnet¹⁶.

In diesem Zusammenhang hat die Bundesregierung als Ziel festgeschrieben, dass bis zum Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen um 40 Prozent und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 Prozent, bezogen auf das Jahr 1990, verringert werden sollen. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiegewinnung soll dabei bis zum Jahr 2020 18 Prozent betragen.¹⁷

Auf Länderebene wurden bereits die ersten Klimaschutzgesetze erlassen. Im Bundesland Nordrhein-Westfalen (NRW) ist im Jahr 2013 ein Klimaschutzgesetz¹⁸ in Kraft getreten, welches die Minderung der Gesamtemissionen um mindestens

¹⁵ Weltklimakonferenz vom 29. 11. 2010 bis 10. 12. 2010 in Mexiko

¹⁶ vgl. [BMU 2010a]

¹⁷ vgl. [BMU 2010b, S. 5]

¹⁸ Gesetz zur Förderung des Klimaschutzzieles in Nordrhein-Westfalen (Klimaschutzgesetz NRW), Beschluss Landtag vom 23. 01. 2013 (GV. NRW., Ausgabe 2013 Nr. 4 vom 06. 02. 2013, Seite 29–36)

25 Prozent bis zum Jahr 2020 und um mindestens 80 Prozent bis zum Jahr 2050¹⁹, bezogen auf 1990, gesetzlich festgeschrieben hat. Rheinland-Pfalz folgte und verabschiedete im Jahr 2014²⁰ als drittes Bundesland ein Klimaschutzgesetz²¹.

An den politischen und gesellschaftlichen Zielen können Architekten, Kommunen, Wärmeversorger und auch private Initiatoren, die im Immobilien- und im Infrastruktursektor tätig sind, mitwirken und den Klimaschutz am Beispiel der Abwasserwärmennutzung voranbringen.

Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser kann die CO₂-Emissionen reduzieren und den Akteuren gleichzeitig einen wirtschaftlichen Nutzen bringen.

2.1.2 Energieeinspargesetz, Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, Energieeinsparverordnung

Mit Bezug auf die Bau- und Immobilienwirtschaft sind die aktuellen klimapolitischen Ziele der Bundesregierung zur CO₂-Reduzierung im Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinspargesetz – EnEG)²² definiert. Eine Rechtsverordnung nach den §§ 1 ff. EnEG soll die Einzelmaßnahmen konkretisieren. Diese Rechtsverordnung ist die Energieeinsparverordnung (EnEV).

Weiterhin ist als wichtige Gesetzesgrundlage das EEWärmeG relevant. In §§ 5 und 5a EEWärmeG wird der Mindestanteil der erneuerbaren Energien (solare Strahlungsenergie, Biomasse, Geothermie und Umweltwärme) bei der Gebäudebeheizung vorgeschrieben. In § 7 EEWärmeG werden abweichend hiervon mögliche Ersatzmaßnahmen beschrieben.

Die EnEV und das EEWärmeG stellen heute zentrale Planungsinstrumente für Architekten und Ingenieure dar. Dazu gehören eine nahezu unüberschaubare Fülle von Normen rund um den Feuchteschutz, Wärmeschutz, die energetische Bilanzierung und die Gebäudetechnik, die hier nicht weiter aufgeführt werden, da diese unabhängig von der Abwasserwärmennutzung zu beachten sind.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass seitens der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) erstmals im Juni 2009 ein Merkblatt²³ zum Thema Energie aus Abwasser herausgebracht wurde.

19 vgl. [Kli 2013, § 3 Abs. 1]

20 vgl. [Lan 2014]

21 Landesgesetz zur Förderung des Klimaschutzes

22 Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinspargesetz [EnEG]), in der Fassung vom 01.09.2005 (BGBl. I S. 2684), letzte Änderung durch Art. 1 des Gesetzes vom 04.07.2013 (BGBl. I S. 2197)

23 vgl. [DWA 2009]

2.1.3 Nutzungspflichten bei Neubauten und Altbauten (EEWärmeG)

Nach § 3 Abs. 1 EEWärmeG sind Eigentümer von Gebäuden, die neu errichtet werden, verpflichtet, den Wärmebedarf anteilig aus erneuerbaren Energien zu decken. Diese Pflicht ist gemäß § 7 EEWärmeG auch erfüllt, wenn der anteilige Wärmebedarf durch Abwärme gedeckt wird. Damit besteht eine Nutzungspflicht nur für den Neubaubereich.

Im Altbaubereich besteht nach § 3 Abs. 2 und § 5a EEWärmeG nur für die öffentliche Hand die Pflicht, erneuerbare Energien bei grundlegenden Renovierungen einzusetzen. Im Referentenentwurf war zunächst auch die Einbeziehung der Altbauten angedacht, da die Berücksichtigung der Altbauten besonders wichtig für das CO₂-Minderungspotenzial ist. Letztlich wurde im Regierungsentwurf der Gebäudebestand hinsichtlich der Nutzungspflicht ausgeklammert.²⁴

2.1.4 Landesrecht (EWärmeG BW)

In § 3 Abs. 4 Nr. 2 sieht das EEWärmeG eine Öffnungsklausel für Landesregelungen vor. Demnach kann auf Landesebene der Altbaubestand zur Nutzung von erneuerbarer Energie verpflichtet werden. Dies wurde bisher in Baden-Württemberg angewendet. Gemäß § 3 Nr. 5 EWärmeG BW²⁵ unterliegt in Baden-Württemberg auch der Altbaubereich der Nutzungspflicht, wenn ab dem 01.01.2010 die Heizungsanlage ausgetauscht wird.

Die Öffnungsklausel nach § 3 Abs. 4 Nr. 2 EEWärmeG verweist nicht auf den Geltungsbereich nach § 4 EEWärmeG. Aufgrund dessen sind die Länder nicht an die Beschränkung der Gebäude gebunden und können zum Beispiel auch Gebäude, die religiösen Zwecken dienen, miteinbeziehen.²⁶

2.1.5 Landesbauordnungen, Durchführungsverordnungen zur EnEV

Landesbauordnungen (LBO) regeln, dass der Nachweis zum Wärmeschutz durch die Bauherrschaft vorzulegen ist (siehe beispielsweise § 57 Absatz 1 LBO NRW oder § 55 Absatz 1 LBO RP). Der Nachweis wird vom Bauamt nicht geprüft (siehe beispielsweise § 65 Absatz 1 LBO RP). Andere Bundesländer regeln, dass der Wärmeschutznachweis von einem staatlich anerkannten Sachverständigen aufzustellen ist oder von diesem geprüft wird (siehe beispielsweise § 68 Absatz 2 LBO NRW). Zusätzlich kann geregelt sein, dass staatlich anerkannte Sachverständige mit stichprobenhaften Kontrollen bei der Bauausführung zu beauftragen sind.

Je nach Bundesland sind zusätzlich Durchführungsverordnungen zur Energieeinsparverordnung zu beachten (siehe beispielsweise Verordnung zur Umsetzung der Energiesparverordnung, EnEV-UVO, in NRW). In NRW wird zum Beispiel ebenso geregelt, dass die Bauherrschaft staatlich anerkannte Sachverständige für den Wärme-

²⁴ vgl. [Mue 2010, S. 146f.]

²⁵ Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg [EWärmeG BW]), in der Fassung vom 20.11.2007 (GBL S. 531)

²⁶ vgl. [Mue 2010, S. 165ff.]

schutz zu beauftragen hat. Diese haben unter anderem die Nachweise zu führen, Stichproben bei der Bauausführung vorzunehmen und eine Bescheinigung auszustellen. Die Bescheinigung ist bei genehmigungsbedürftigen Bauvorhaben dem Bauamt mit der Anzeige der abschließenden Fertigstellung vorzulegen.

Eigene Erfahrungen bei Bauvorhaben haben gezeigt, dass solche Regelungen für das Bauvorhaben von Vorteil sind, da die Wärmeschutzanforderungen der EnEV bei der Umsetzung im Rahmen der Kontrollen überwacht und somit eingehalten werden.

Dies ist insbesondere aufgrund der oft vorherrschenden Beauftragungspraxis erwähnenswert. Der Entwurfsverfasser unterscheidet sich bei Generalunternehmeraufträgen oft vom Planer für die Ausführungsphase, was die Projektabwicklung und Einhaltung von energetischen Zielen durch Informationsverlust erschweren kann. Ein Planer für die Gebäudetechnik ist im Vorfeld, gerade beim Wirtschaftsbau, nicht unbedingt integriert und betrachtet bei der Ausführung eher die normativen Regelungen, die mit seinen Gewerken direkt in Verbindung stehen. Beim Generalunternehmervertrag sind die planerischen und projektsteuernden Maßnahmen zum Wärme- und Feuchteschutz gegebenenfalls nicht durchgehend vereinbart oder in der Zuständigkeit der Bauherrschaft belassen, was das Nachtragsmanagement begünstigt. Außerdem geht wertvolle Zeit für die rechtzeitige Abarbeitung des komplexen Teilgebietes verloren, bis dem Bauherren klar wird, dass er sich um den Wärmeschutz, für den er auch nach den Landesbauordnungen zuständig ist, kümmern muss, und dann erst einen zusätzlichen Fachmann einschaltet.

2.1.6 Exkurs: Wasserhaushaltsgesetz und wasserrechtliche Rahmenbedingungen für den Abwasserwärmeentzug

Bei der Abwasserreinigung und dem Einleiten von gereinigtem Abwasser in ein Gewässer liegt der Benutzungstatbestand nach § 9 Abs. 1 Nr. 4 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vor. Die Abwassereinleitung unterliegt somit der Erlaubnispflicht nach § 8 Abs. 1 in Verbindung mit § 57 Abs. 1 WHG. Nach § 57 Abs. 2 WHG werden durch eine Rechtsverordnung die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer definiert. Diese haben dem Stand der Technik zu entsprechen.

Die oben genannte Rechtsverordnung wird durch die Abwasserverordnung (AbwV) dargestellt. Der Anhang 1 der AbwV bezieht sich auf den für das öffentliche Kanalnetz in der Regel relevanten Herkunftsbereich. Dieser ist das häusliche und kommunale Abwasser. In § 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG wird bestimmt, dass Abwasserreinigungsverfahren dem Stand der Technik entsprechen müssen. Auf dieser Basis kann die Erlaubnis zur Einleitung von gereinigtem Abwasser in ein Gewässer erteilt werden.

Der Begriff »Stand der Technik« wird in § 3 Nr. 11 WHG geprägt und in Anlage 1 zum WHG unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen konkretisiert. § 60 Abs. 1 WHG regelt, dass Abwasseranlagen so zu betreiben sind, dass die Anforderungen nach der AbwV oder, gegebenenfalls, örtlich durch die Wasserbehörde festgelegte, höhere Anforderungen eingehalten werden. Nach

Anhang 1 der AbwV sind die definierten Überwachungswerte zu Stickstoff (Ammoniumstickstoff und Stickstoff gesamt) im gereinigten Abwasser im Ablauf unterhalb einer Abwassertemperatur von 12 °C nicht einzuhalten.

Die wasserrechtlichen Erlaubnisbescheide für Abwasserreinigungsanlagen berücksichtigen die zuvor genannten Einschränkungen. Zu begründen ist dies damit, dass bei einer Abwassertemperatur unter 12 °C im winterlichen Halbjahr die Nitrifikation (Oxidation von Ammoniumstickstoff) temperaturbedingt nicht sicher betrieben werden kann.

Generell ergibt sich aus § 5 Abs. 1 WHG eine allgemeine Sorgfaltspflicht gegenüber dem Gewässer. Diese Sorgfaltspflicht ist auch durch die Abwasserabkühlung infolge der Abwasserwärmennutzung bindend. Die geringfügige zusätzliche Abkühlung des Abwassers im winterlichen Halbjahr, in dem die Stickstoffwerte wasserrechtlich nicht eingehalten werden müssen, lässt die Einhaltung der Sorgfaltspflicht erwarten. Auch ist nicht erkennbar, dass die in § 6 WHG Abs. 1 aufgeführten allgemeinen Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung infolge der Abwasserwärmennutzung nicht eingehalten werden.

Darüber hinaus ist insbesondere bei wärmeren Abwassertemperaturen im sommerlichen Halbjahr eine Abkühlung durch Wärmeentzug als vorteilhaft für das Gewässer zu beurteilen. Dies kann im Sommer durch Beheizung des Faulbehälters auf 35 °C mithilfe der Abwasserwärme erreicht werden. Ein Versagen der widerrufflichen Erlaubnis nach § 12 Abs. 1 WHG infolge schädlicher Gewässerveränderungen oder Nichterfüllung von anderen Anforderungen ist im Rahmen einer Abwasserabkühlung nicht erkennbar.

Für Abwasserreinigungsanlagen ist im Winter auf Grundlage der Regeln der Technik gemäß § 60 Abs. 1 WHG ein Nachweis nach dem Regelwerk ATV-DWK-A 131 zur Nitrifikation bei Abwassertemperaturen unter 12 °C zu führen. In der Regel wird dieser Nachweis für eine Abwassertemperatur von 10 °C erbracht. Dieser wasserrechtliche Zusammenhang deutet darauf hin, dass der Betrieb einer Nitrifikation auch bei Tiefsttemperaturen im Winter, die durch die Abwasserabkühlung infolge der Abwasserwärmennutzung begünstigt werden, gewährleistet sein muss. Wird ein Sicherheitsfaktor von 1,2 unterschritten, ist das Beckenvolumen zu vergrößern, damit ein ausreichend großes Schlammalter zur Verfügung steht. Das bestehende Volumen für die Denitrifikation (Reduktion von Nitratstickstoff) ist bei Bedarf bis zu 100 Prozent dem Nitrifikationsvolumen zuzuschlagen, da die Nitrifikation Vorrang hat. Dies ist jedoch generell bei Abwasserreinigungsanlagen vorzusehen.

Eigene Berechnungen haben gezeigt, dass die Nitrifikation bis zu einer Abwassertemperatur von 7,3 °C²⁷ betrieben werden kann. Unter dieser Temperatur beginnt der kritische Bereich, wobei die Anlagen generell bereits ab 10 °C eine erhöhte Aufmerksamkeit bei der Überwachung erfahren müssen.

27 vgl. [Ham 2012, S. 34–40]

2.1.7 Die Begriffe »Abwärme« und »Abwasser« (EEWärmeG)

In § 2 Abs. 2 Nr. 1 EEWärmeG wird der Begriff »Abwärme« definiert, wobei auch der Begriff »Abwasser« (Abwasserströme) aufgeführt ist:

»Im Sinne dieses Gesetzes ist Abwärme die Wärme, die aus technischen Prozessen und baulichen Anlagen stammenden Abluft- und Abwasserströmen entnommen wird, [...].«

Somit muss die Abwärme aus Abluft- und Abwasserströmen sowie aus technischen Prozessen und baulichen Anlagen stammen.

Aus dem Kommentar zum § 2 Abs. 2 Nr. 1 EEWärmeG ergibt sich, dass die Formulierungen als »und/oder« zu lesen sind. Weiterhin wird aufgeführt, dass Abwasser als Wasser zu verstehen ist, welches durch Gebrauch (insbesondere in Haushalten, Gewerbe usw.) verunreinigt wurde. Ergänzend fällt im weiteren Sinne Niederschlagswasser und durch Undichtigkeiten in den Kanal eindringendes Wasser unter den Begriff des Abwassers nach EEWärmeG.²⁸

Abwasser wird gemäß dem Kommentar zum EEWärmeG wie folgt definiert:

»Abwasser ist nach allgemeinem Sprachgebrauch zunächst Wasser, das durch Gebrauch [...] verunreinigt bzw. verändert wurde [...]. Da eine Unterscheidung zwischen den Abwasserquellen weder praktisch möglich noch im Hinblick auf den Zweck des Gesetzes erforderlich ist, umfasst der Abwasserbegriff des Gesetzes sämtliches in gebäudeinternen Abwasserrohren oder der Kanalisation vorhandenes Wasser unabhängig von seinem Ursprung, insbesondere aus den soeben aufgeführten Quellen.«²⁹

Diskussion zum Energieträger Abwasser: Ist Abwasser im Kanal Abwärme oder erneuerbare Energie? (EEWärmeG)

In § 2 EEWärmeG wird der Begriff der erneuerbaren Energien definiert. Die erneuerbaren Energien sind dem Boden entnommene Wärme (Geothermie), der Luft oder dem Wasser entnommene Wärme (Umweltwärme) mit Ausnahme von Abwärme, durch Solarstrahlung gedeckte Wärme oder durch feste, flüssige oder gasförmige Biomasse erzeugte Wärme.

Demnach ist Abwärme nicht als Umweltwärme und somit nicht als erneuerbare Energie definiert.

Nach einem Regierungsentwurf sollte ursprünglich die Abwasserwärme unter den Begriff der Umweltwärme fallen. Der Text des Gesetzentwurfs der Bundesregierung zum EEWärmeG vom 18. 02. 2008 ist als Drucksache 16/8149 online beim Deutschen Bundestag einsehbar. Zunächst hieß es:

»Umweltwärme ist Abwärme und die Wärme, die der Luft oder Gewässern entnommen wird. Dazu gehört jede Form von erdoberflächennaher Wärme [...]. Zur Umweltwärme zählen deshalb auch Abwärme, Abwasserwärme und [...].«³⁰

28 vgl. [Mue 2010, S. 134f.]

29 vgl. [Mue 2010, S. 134f.]

30 vgl. [Deu 2008, S. 21]

Auch im Stadtentwicklungsbericht des Deutschen Bundestages von 2008 (Drucksache 16/13130 vom 06.05.2009) wurde die Abwasserwärme mit den erneuerbaren Energien in Zusammenhang gebracht.

Hier steht: »[...] das eine möglichst umfangreiche Versorgung mit erneuerbaren Energieträgern wie thermischer Solarenergie, Erdwärme oder Abwasserwärme-Rückgewinnung gewährleistet.«³¹

Der realisierte Ausschluss von Abwärme aus den erneuerbaren Energien im in Kraft getretenen EEWärmeG hat letztlich praktische Konsequenzen. Einerseits sind zwar nach § 5 Abs. 4 bzw. § 7 Abs. 1 Nr. 1a EEWärmeG die Anforderungen jeweils bei Umweltwärme und Abwärme erfüllt, wenn mindestens 50 Prozent des Wärmebedarfs gedeckt werden können, jedoch sind bei Nutzung von Abwärme neben der Anlage III auch die Anlage V des EEWärmeG zu beachten.

Nach den zuvor aufgeführten Begriffsdefinitionen zu Umweltwärme, Abwärme und Abwasser nach dem EEWärmeG kann folgende Diskussion geführt werden:

Erneuerbare Energien gelten als CO₂-neutral. Die Wärmeenergie aus Abwasser erfüllt diesen Ansatz, da keine relevante Primärenergie in die Erzeugung der Abwasserwärme, die letztlich im öffentlichen Kanal zur Verfügung steht, aufgewendet werden muss. Eine künstliche Abwärme unter Nutzung von fossilen Energieträgern bei der Umwandlung von Trinkwasser, Fremdwasser oder Niederschlagswasser in Abwasser wird nicht produziert. Lediglich im Bereich der Warmwasserbereitung im unmittelbaren Haushaltsbereich wird Energie aufgewendet. Dies kann jedoch für die Abwassertemperatur im öffentlichen Kanalnetz vernachlässigt werden, da dies keinen relevanten Einfluss auf die Abwassertemperatur in kilometerlangen Sammlerstrecken hat. Das Abwasser bringt generell die technisch nutzbare Temperatur bereits infolge der Wassergewinnung aus dem Grundwasser bzw. Gewässern mit.

Aufgrund dieses Diskussionsansatzes ist erkennbar, dass die Zuordnung des kommunalen Abwassers zur Abwärme und nicht zur Umweltwärme durch das EEWärmeG infrage gestellt werden kann. Abwasser ist energetisch dem Trinkwasser bzw. Grundwasser und dem Wasser aus Gewässern gleichzusetzen und damit der Umweltwärme zuzuordnen.

Dass der Begriff der Abwärme unterschiedlich angewendet wird, zeigt auch die Definition im Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (EWärmeG BW). In § 3 Nr. 1 Satz 2 EWärmeG BW wird die Abwämenutzung durch Wärmepumpen als Nutzung von erneuerbaren Energien bezeichnet. Somit stellt in Baden-Württemberg, im Gegensatz zu anderen Bundesländern, die Abwasserwärmenutzung einen Einsatz von erneuerbaren Energien dar.

³¹ vgl. [Deu 2009, S. 38]

2.2 Grundlagen der Vertragsgestaltung

Die zu beachtenden vertraglichen Regelungen orientieren sich an den wesentlichen Zusammenhängen, die nachfolgend als Praxishilfen zusammengestellt werden. Es können grundsätzlich vier vertragliche Gestaltungsrahmenbedingungen (Varianten a bis d) unterschieden werden.

Stellt der Kanalbetreiber lediglich den Zugang zum Kanal zur Verfügung, kommen die Varianten a, c und d infrage. Soll ein Wärme-Contracting umgesetzt werden (Variante a, b und c), wird die Wärmeenergie durch einen Contractor dem Gebäudeeigentümer zur Verfügung gestellt. Der Wärme-Contractor erstellt, finanziert, betreibt und unterhält dabei die Anlage zur Abwasserwärmeverwendung. Vertraglich werden die Grundlagen, die Modalitäten der Energielieferung, die Verantwortlichkeitsgrenzen, die Vertragslaufzeit sowie die Vergütung zwischen den beteiligten Parteien geregelt.

In Abbildung 3 sind vier Vertragskonstellationen verdeutlicht.

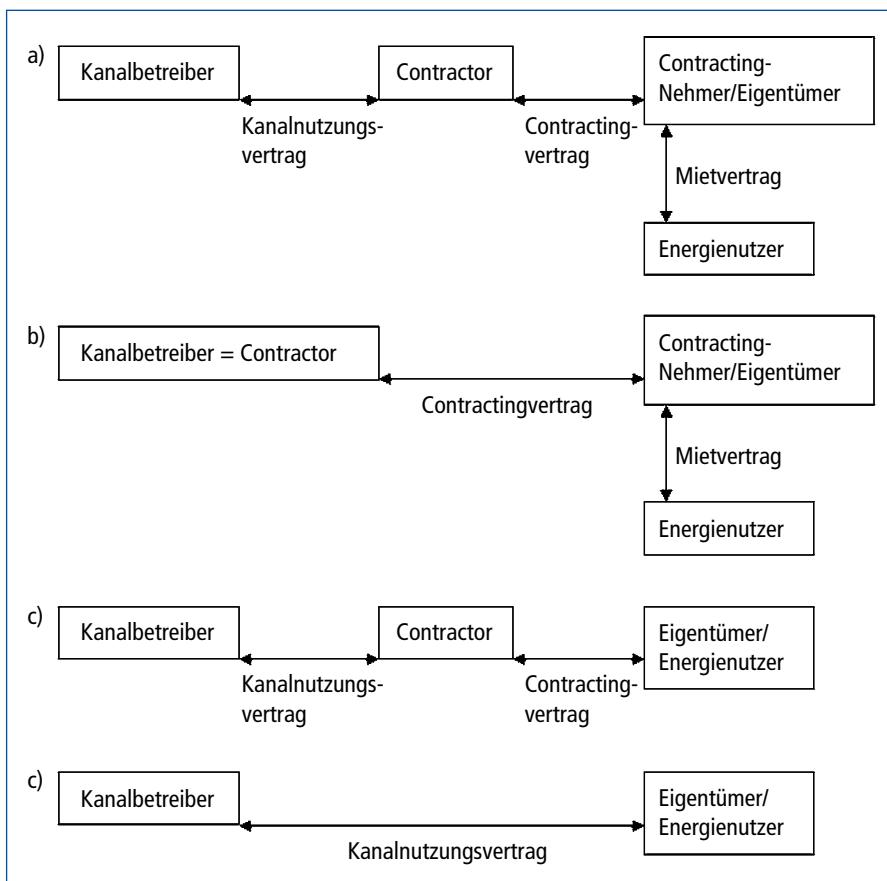


Abbildung 3: Vertragsmodelle für die Abwasserwärmennutzung

Variante a und c kommen in Betracht, sobald ein Wärme- und Energieversorger als Contractor auftritt. Der Kanalbetreiber ermöglicht dann lediglich auf Grundlage des Kanalnutzungsvertrags den Zugang zum Abwasser bzw. zur Wärmequelle.

Bei Variante b tritt der Kanalbetreiber zugleich als Contractor auf. Das Contracting-Verhältnis wird direkt zwischen dem Eigentümer und dem Kanalbetreiber geschlossen. Bei dieser Variante erstellt, betreibt und unterhält der Kanalbetreiber die Abwasserwärmeanlage.

Bei Variante d gewährt der Kanalbetreiber über einen Kanalnutzungsvertrag die Nutzung der Kanalisation. Die Abwasserwärmeanlage wird durch den Immobilieneigentümer bzw. Energienutzer selbst erstellt, betrieben und unterhalten. Bei dieser Vertragskonstellation sind der Einbau des Wärmetauschers, der Zugang zum Kanal, die Unterhaltung des Wärmetauschers, die Folgekosten und die Risiken sowie Haftungsfragen zu regeln.

Bei den vertraglichen Regelungen zwischen dem Kanalbetreiber und dem Contractor, dem privaten Bauherren oder dem Immobilieneigentümer sollte Folgendes beachtet werden:

- Mindestabwassermenge
 - zulässige Abkühlung des Abwassers in Grad Kelvin
 - Wärmetauscher darf Kanalfunktion nicht beeinträchtigen
 - Zuständigkeiten für Einbau, Kontrolle und Wartung sind festzulegen
 - Sicherheits- und Schutzmaßnahmen
 - Besitzverhältnisse (Kanal und Wärmetauscher)
 - Schadens- und Haftungsregelungen
 - Rückbau des Wärmetauschers durch Contractor/Immobilieneigentümer
 - Definition des zur Verfügung gestellten Kanalabschnitts
 - Zugang zum Kanal für Contractor/Immobilieneigentümer
 - Aufwandsübernahme durch Contractor/Immobilieneigentümer für Betrieb und Unterhaltung
 - Entschädigungsansprüche an Kanalbetreiber, wenn Kanal außer Betrieb geht oder Funktionsweise geändert wird
 - Regelungen zur Übertragung der Vereinbarung an Dritte bei Eigentums- und Nutzerwechsel
 - Haftungsausschluss des Kanalbetreibers für Abwasserzusammensetzung und Kanalreinigung
 - Überwachung der Einbaurbeiten durch Kanalbetreiber
 - Materialfestlegungen für Kanaleinbauteile
 - nachträglicher Einbau von Kanalhausanschlüssen muss möglich sein
 - Laufzeit der Vereinbarung.

Die genannten zu regelnden Vertragsinhalte dienen einem gegenseitigen Ausgleich von Risiken. Dem Anbieter wird ein Gewinn und dem Nutzer im Gegenzug eine kalkulierbare Grundlage gewährt.

Das Wärme-Contracting findet bereits im öffentlichen und privaten Bereich Anwendung und ist daher auf die Abwasserwärmennutzung übertragbar.

Die Anwendungsbereiche des Abwasserwärme-Contractings im Immobiliensektor können gemäß Abbildung 4 veranschaulicht werden. Im Grunde kann auch diese Contracting-Form auf jede Nutzungsart zzgl. Wohnanlagen angewendet werden.



Abbildung 4: Anwendungsbereiche Abwasserwärme-Contracting

Bei der zukunftsfähigen Stadtentwicklung müssen alle Beteiligten rechtzeitig zusammenwirken. Beispielsweise sollten die Architekten, Ingenieure für Gebäude-technik, Ingenieure der Siedlungswasserwirtschaft, Hersteller von Wärmetauschern, Abwasserbeseitigungsträger und die kommunale Politik rechtzeitig die Nutzung von Abwasserwärme prüfen und innovative Lösungen gemeinsam vorantreiben. Dann können zukünftig viele Projekte zum Einbau von Wärmetauschern im Kanalnetz führen und die Ressource Abwasserwärme kann erfolgreich genutzt werden.

2.3 Technische Randbedingungen für die Abwasserwärmennutzung

Zur Orientierung, ob die Abwasserwärmennutzung aus dem öffentlichen Kanalsystem beim konkreten Projekt eingesetzt werden kann, können einige Randbedingungen aufgeführt werden. Eine der wichtigsten Größen bei der Projektierung von Wärme-

rückgewinnungsanlagen ist die zur Verfügung stehende Abwassermenge. Es wird im Allgemeinen ein Mindestabwasserabfluss von 15 Litern je Sekunde als Tagesmittel angegeben.³² Dieses kann jedoch bei kleinen Heizleistungen unterschritten werden. Bei 15 Litern je Sekunde und wenn dem Standort des Wärmeentzuges ein Einzugsgebiet von mindestens 3 000 bis 5 000 Einwohnern vorgelagert ist, wird die Abwasserwärmeverwendung interessant. Die dann vorherrschende Abwassermenge kann technisch sinnvoll zur Wärmegewinnung genutzt werden. Gemäß Kapitel 2.4.5, Abbildung 12 werden beispielsweise bei einer Abwassermenge von 15 Litern pro Sekunde etwa 168 Kilowatt Wärmeleistung durch eine Abwasser-Elektro-Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von vier erzeugt.

Folgende allgemeine Randbedingungen können als optimale Grundlagen für die Installation einer Wärmerückgewinnungsanlage im Bereich der öffentlichen Abwasserkansysteme zusammengefasst werden:^{33, 34}

- Nähe zum Kanal
- hohe Bebauungsdichte
- Niedertemperatur-Heizsysteme
- möglichst ganzjähriger Wärmebedarf bzw. Kühlbedarf
- Sanierung der bestehenden Heizzentrale geplant
- auch in Kombination mit Gasmotor-Blockheizkraftwerken möglich
- Abwasserdurchfluss mindestens 15 Liter je Sekunde
- relative hohe Abwassertemperatur auch im Winter
- ausreichend großer Kanalquerschnitt bei der Installation eines Kanalwärmetauschers
- gute Zugänglichkeit des Kanals für Wartung des Wärmetauschers
- Kanalsanierung ist vorgesehen
- Kanalgefälle zwischen 1 und 10 Promille
- Fließgeschwindigkeit zwischen 0,2 und 0,8 Meter je Sekunde
- hydraulische Auslastung des Kanals zwischen 5 und 40 Prozent.

Falls unabhängig von der betrachteten Immobilie eine Kanalsanierung oder Kanal-Neubaumaßnahme ansteht, kann der Wärmetauscher günstiger eingebaut werden, da im Kanal ohnehin bauliche Maßnahmen anstehen. Insbesondere eignen sich Stauraumkanäle, Pumpwerke und sonstige Sonderbauwerke zum Einbau des Wärmetauschers. Diese Möglichkeiten sollten ebenso in Betracht gezogen werden und wurden bereits auch realisiert.

32 vgl. [DWA 2009, S. 16 ff.]

33 vgl. [DBU 2009, S. 9 ff.]

34 vgl. [Sch 2007, S. 18 ff.]

2.4 Grundlagen zum Wärmepotenzial aus Abwasser

2.4.1 Physikalische Grundlagen

Die Wärmekapazität von Flüssigkeiten ist bei Wasser am größten. Dadurch ist es möglich, auch bei geringen Temperaturänderungen große Wärmemengen zu speichern oder dem Wasser große Wärmemengen zu entziehen.

In Abbildung 5 ist der Wärmeentzug bei Nutzung der Wassereigenschaften in Bezug auf Abwasser schematisiert dargestellt. Im Kanalhauptsammler ist ein Wärmetauscher eingebaut, der die Wärme auf ein Medium überträgt und zur Gebäudebeheizung nutzbar macht.

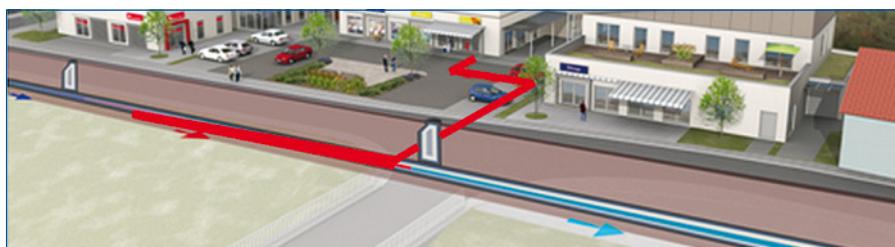


Abbildung 5: Wärmeentzug aus einem öffentlichen Abwasserkanal
[Quelle: RS-Plan AG, Bad Kreuznach]

Die spezifische Wärmekapazität (c) von Wasser beziffert sich auf 4,1855 Kilojoule je Kilogramm und Kelvin bei 25 °C und 1,013 bar.³⁵

Die rechnerisch zugeführte oder entzogene Wärmemenge (ΔQ) in einem Abwassersystem ist unter Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazität, der Masse (m) sowie des Temperaturunterschiedes (ΔT) ermittelbar. Die Wärmeleistung (' Q) in Kilowatt lässt sich aus der zeitlichen Ableitung der Wärmemenge berechnen.³⁶

Die Zusammenhänge werden wie folgt dargestellt:

Formel 1: Wärmemenge

$$\Delta Q = c \text{ (kJ/kg/K)} \cdot m \text{ (kg)} \cdot \Delta T \text{ (K)} \quad [\text{kJ}]$$

Formel 2: Wärmeleistung

$$'Q = \frac{\Delta Q}{t} \quad [\text{kJ/s} = \text{kW}]$$

Bei der Abwasserwärmennutzung lässt sich dieser allgemeine Zusammenhang auf die Leistung eines Wärmetauschers (W_{WT}) übertragen. In Abhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität ($c = 4,19 \text{ kJ/kg/K}$), des Abwasservolumenstromes (Q), der Dichte

35 vgl. [Kop 1999, S. 20]

36 vgl. [Kad 2010, S. 22 ff.]

des Abwassers ($\rho = 1 \text{ kg/l}$) und der Temperaturabkühlung (ΔT) des Abwassers kann geschrieben werden:³⁷

Formel 3: Wärmetauscherleistung je Liter Abwasser pro Sekunde

$$W_{WT} = c (\text{kJ/kg/K}) \cdot \rho (\text{kg/l}) \cdot Q (\text{l/s}) \cdot \Delta T (\text{K}) \quad [\text{kJ/s} = \text{kW}]$$

Wird dies auf einen Kubikmeter Abwasser und auf eine Abkühlung des Abwassers um 1°K bezogen, errechnet sich die mögliche Energiemenge (W) folgendermaßen:

Formel 4: Energiemenge je Kubikmeter Abwasser pro Stunde bei 1°K Temperaturspreizung

$$W = \frac{\frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1 \text{ K}}{3600 \text{ s/h}} = \frac{1,16 \text{ kJh}}{\text{s} \cdot \text{h}} = 1,16 \text{ kW (je m}^3/\text{h})$$

Bei einer üblichen Temperaturdifferenz von 2°K lässt sich aus einem Kubikmeter Abwasserdurchfluss je Stunde die doppelte Wärmeenergie entziehen:

Formel 5: Energiemenge je Kubikmeter Abwasser pro Stunde bei 2° und 2°K Temperaturspreizung

$$W = \frac{\frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2 \text{ K}}{3600 \text{ s/h}} = \frac{2,33 \text{ kJh}}{\text{s} \cdot \text{h}} = 2,33 \text{ kW (je m}^3/\text{h})$$

2.4.2 Technische Nutzung: theoretische Wärmetauscherleistung

Infolge des physikalischen Grundprinzips einer Wärmepumpe wird die entnommene Wärme aus dem Abwasser unter Zuhilfenahme von elektrischer oder thermischer Energie auf ein höheres Nutzwärmenniveau angehoben. In Abbildung 6 wird dieses Prinzip schematisiert verdeutlicht, wobei erkennbar wird, dass dem System zunächst ein Anteil beispielsweise als elektrische Energie zuzuführen ist.

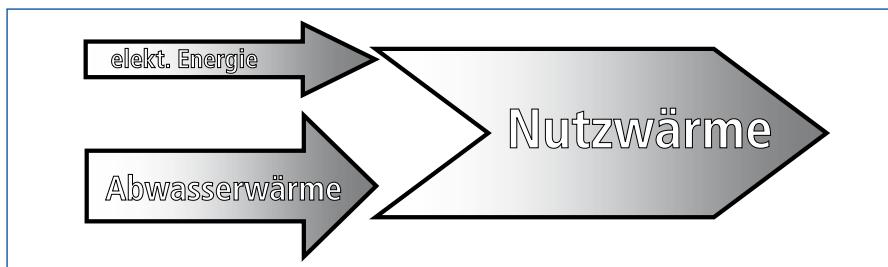


Abbildung 6: Energieflussprinzip bei der Abwasserwärmennutzung

37 vgl. [DWA 2009, S. 25 ff.]

Der größere Teil der Nutzwärme wird jedoch durch den Abwasserwärmetauscher geliefert. Aus beiden Energiequellen setzt sich im technischen Prozess die Nutzwärme zusammen und steht der Gebäudebeheizung zur Verfügung.

Die Berechnung des Anteils »Abwasserwärme« und somit die Wärmeübertragungsleistung des Wärmetauschers lässt sich in Anlehnung an Formel 5 grafisch darstellen.

Die relevanten, variablen Größen sind der Volumenstrom bzw. die Abflussmenge und die Temperaturdifferenz. Die spezifische Wärmekapazität und die Dichte des Wassers werden als Konstanten angesetzt.

Wird eine Temperaturdifferenz bzw. die Abkühlung des Abwassers von 2°K angenommen, ergibt sich folgende Darstellung in Abbildung 7 zur Leistung des Wärmetauschers (W_{WT}). Bei 50 Litern je Sekunde können dem Abwasserstrom demnach beispielsweise 420 Kilowatt Wärmeleistung mithilfe des Wärmetauschers entzogen werden.

Diese Leistung wird mittels des Wärmepumpenprozesses zum einen nutzbar gemacht und zum anderen um den Anteil der investierten elektrischen oder thermischen Energie weiter erhöht (abzüglich Verluste).

In Abbildung 7 ist der lineare Zusammenhang verdeutlicht. Die theoretische Leistung des Wärmetauschers ohne Verlusteffekte kann anhand der Formel 5 berechnet oder aus der Grafik abgelesen werden.

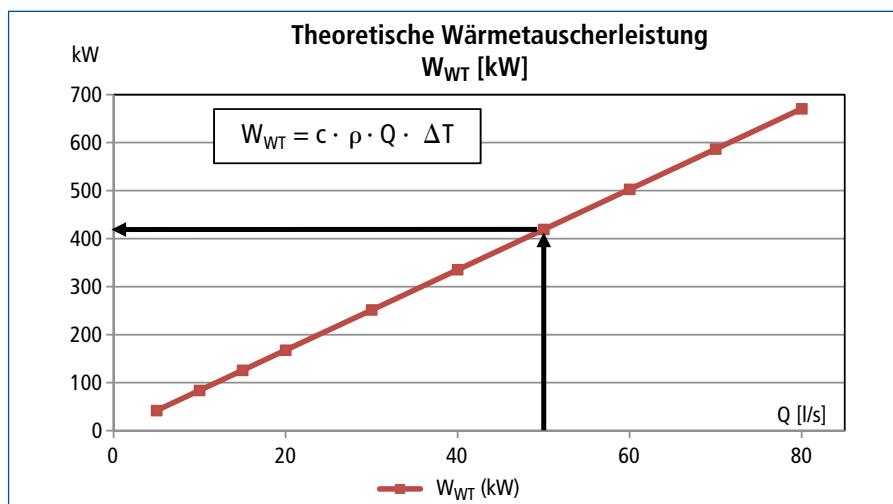


Abbildung 7: Theoretische Wärmetauscherleistung bei $\Delta T = 2^{\circ}\text{K}$

Wenn die Temperaturabkühlung bzw. Temperaturspreizung größer als 2°K sein kann, ergibt sich ein deutlich höheres Wärmeentzugspotenzial. Dieser Zusammenhang ist je Kubikmeter Abwasser für die theoretische Leistung des Wärmetauschers in Tabelle 3 dargestellt.

Bei 4 °K Temperaturabkühlung verdoppelt sich beispielsweise die Wärmetauscherleistung, was zu deutlich kleineren Anlagenkomponenten und Investitionskosten führt.

Tabelle 3: Leistung Wärmetauscher je m³/h Abwasser bei ΔT = 2 °K, 3 °K, 4 °K

Temperaturspreizung	Leistung Wärmetauscher in kW je m ³ /h Abwasser
2 °K	2,33
3 °K	3,49
4 °K	4,65

2.4.3 Technische Nutzung: Wärmetauscheroberfläche

Mithilfe der theoretischen Wärmetauscherleistung wird die erforderliche Wärmetauscheroberfläche berechnet. Diese Größe bestimmt letztlich das Bauteil und den Aufwand beim Einbau in den Kanal. Hierbei wird der mögliche Verlust auf der Oberfläche des Wärmetauschers berücksichtigt.

Zusätzlich zur Größe der Wärmetauscheroberfläche kann beispielsweise die Sielhaut- oder Biofilmbildung zu einer Leistungsreduzierung von 20 bis 50 Prozent führen. Dies ist durch einen entsprechenden Aufschlag bei der Dimensionierung der Wärmetauscheroberfläche zu berücksichtigen. Generell ist bei kaltgewalzten Blechen die Biofilmbildung am geringsten.³⁸ Die Verluste beim Wärmetauscher werden durch Ansatz eines Koeffizienten berücksichtigt.

Aufgrund der erforderlichen Wärmeübertragungsleistung des Wärmetauschers (P_{WT}), die hier der Wärmeübertragungsmenge des Wärmetauschers (W_{WT} , siehe Formel 3) gleichgesetzt wird, kann die wirksame Wärmetauscheroberfläche (A_{WT}), unter Berücksichtigung des Wärmedurchgangskoeffizienten (k), ermittelt werden. Dieser k -Wert beschreibt die technische Nutzung unter Verlustzuständen und Veränderungen während des Betriebes des Wärmetauschers.

Die k -Werte können bei Edelstahloberflächen zwischen 0,6 und 0,9 Kilowatt je Quadratmeter und Kelvin liegen. Je nach Dimensionierung und Betriebszustand des Wärmetauschers führt die Sielhautbildung zusätzlich zu einer Abminderung. Dem kann durch regelmäßige Spülintervalle zur Verhinderung einer Sielhaut auf der Oberfläche des Wärmetauschers entgegengewirkt werden.

Die Wärmetauscherleistung (P_{WT}) bzw. erforderliche Oberfläche des Wärmetauschers berechnet sich wie folgt:

Formel 6: Wärmetauscherleistung aus Oberfläche

$$P_{WT} = k \left(\text{kW}/[\text{m}^2/\text{K}] \right) \cdot A_{WT} (\text{m}^2) \cdot \Delta T (\text{K}) \quad [\text{kW}]$$

Nach Umstellung ergibt sich die erforderliche Wärmetauscheroberfläche aus der Wärmetauscherleistung P_{WT} bzw. W_{WT} :

Formel 7: Erforderliche Wärmetauscheroberfläche

$$A_{WT} = \frac{P_{WT} (\text{kW})}{k \left(\text{kW} / \left[\frac{\text{m}^2}{\text{K}} \right] \right) \cdot \Delta T (\text{K})} \quad [\text{m}^2]$$

Die Systeme benötigen bei einem angenommenen mittleren k -Wert von 0,75 Kilowatt je Quadratmeter und Kelvin, der erforderlichen Wärmetauscherleistung in Kilowatt und der Temperaturspreizung ΔT von 2°K die in Abbildung 8 dargestellte Wärmetauscheroberfläche (A_{WT}). Die erforderliche Wärmetauscheroberfläche (ohne Zuschlag wegen Sielhautbildung) kann aus der Abbildung 8 abgelesen oder mithilfe von Formel 7 berechnet werden.

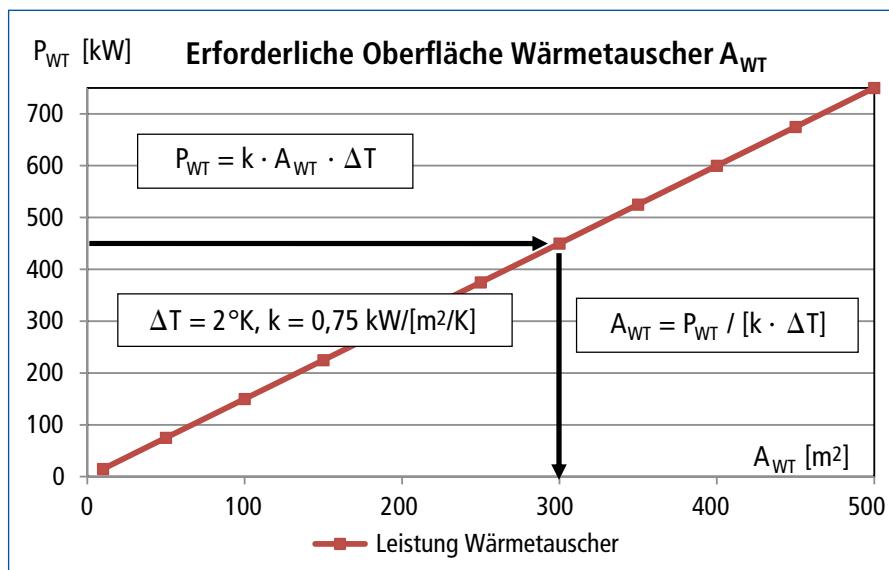


Abbildung 8: Erforderliche Oberfläche Wärmetauscher

Können höhere Temperaturspreizungen realisiert werden, ergeben sich zum Vergleich höhere Wärmetauscherleistungen je Quadratmeter Wärmetauscheroberfläche. Hierbei wird ein mittlerer k -Wert von 0,75 Kilowatt je Quadratmeter und Kelvin angenommen. Die Ergebnisse aus Anwendung der Formel 6 sind in Tabelle 4 aufgeführt:

Tabelle 4: Leistung je m² Wärmetauscheroberfläche bei ΔT = 2 °K, 3 °K, 4 °K

Temperaturspreizung	Leistung Wärmetauscher in kW je m ³ /h Abwasser
2 °K	1,50
3 °K	2,25
4 °K	3,00

Dieser Vergleich zeigt den Einfluss der Temperaturabkühlung auf die Wärmetauscheroberfläche. Infolge des linearen Zusammenhangs ist erkennbar, dass die Oberfläche zu verdoppeln ist, wenn die Temperaturabkühlung halbiert wird.

2.4.4 Grundlagen der Wärmepumpenfunktion

Ein idealer Kreisprozess wird als Carnot-Prozess bezeichnet. Dieser ideale Prozess liefert einen höchstmöglichen thermischen Wirkungsgrad. Da Verluste auftreten, ist der ideale Zustand in der Praxis nicht umsetzbar. Bei der technischen Anwendung als Wärmepumpe wird das Prinzip des linksläufigen realen Kreisprozesses genutzt. Am Ende des Kreisprozesses ist das System wieder im thermodynamischen Ausgangszustand. Der Kreisprozess wird in vier Prozessschritte eingeteilt. Gemäß Enthalpie-Druck-Diagramm in Abbildung 9 kann dieser wie folgt beschrieben werden, wobei die Punkte 1 bis 4 dem idealen Kreisprozess entsprechen:

1. Zunächst wird das Arbeitsmittel ohne Temperatur- und Druckzunahme (Sole bei Kanalwärmetauscher) verdampft (Verdampfer).
Die Wärmezufuhr ändert dabei nur den Aggregatzustand des Kältemittels.
2. Das verdampfte Arbeitsmittel wird mithilfe eines Kompressors verdichtet.
Die Temperatur wird dazu zum Beispiel auf 50 °C angehoben und der Druck des Dampfes steigt an.
3. Das Arbeitsmittel wird durch Wärmeübertragung auf den Heizwasserkreislauf abgekühlt und dabei verflüssigt (kondensiert). Der Druck und die Temperatur des Arbeitsmittels bleiben dabei zunächst auf hohem Niveau.
4. Das Arbeitsmittel wird im Expansionsventil entspannt und die Temperatur sowie der Druck fallen wieder ab. Der Kreisprozess beginnt danach mit dem ersten Prozessschritt wieder von vorne.

Die Verluste, die beim realen Kreisprozess durch Reibung und Druckverluste im Verdampfer, Verdichter und im Verflüssiger (Kondensator) entstehen, führen bei realen Wärmepumpenkreisläufen zur höheren Verdichterarbeit. Des Weiteren sinkt die Leistungszahl (COP = Coefficient of Performance). Um dem entgegenzuwirken, wird zur Steigerung der Leistungszahl und zur Vermeidung von Schäden im Verdichter der Verdampfer so ausgelegt, dass eine Überhitzung (siehe Abbildung 9, 1* statt 1) erfolgt. Damit wird vermieden, dass keine Flüssigkeit in den Verdichter

gelangt, da das Arbeitsmittel vollständig verdampft wird. Die Leistungszahl lässt sich weiter steigern, indem beim Verflüssigen (Kondensieren) eine Unterkühlung (siehe Abbildung 9, 3* statt 3) realisiert wird. Der ideale (1-2-3-4) sowie der reale (1*-2*-3*-4*) Kreisprozess mit ihren vier Prozessschritten sind in Abbildung 9 veranschaulicht.³⁹

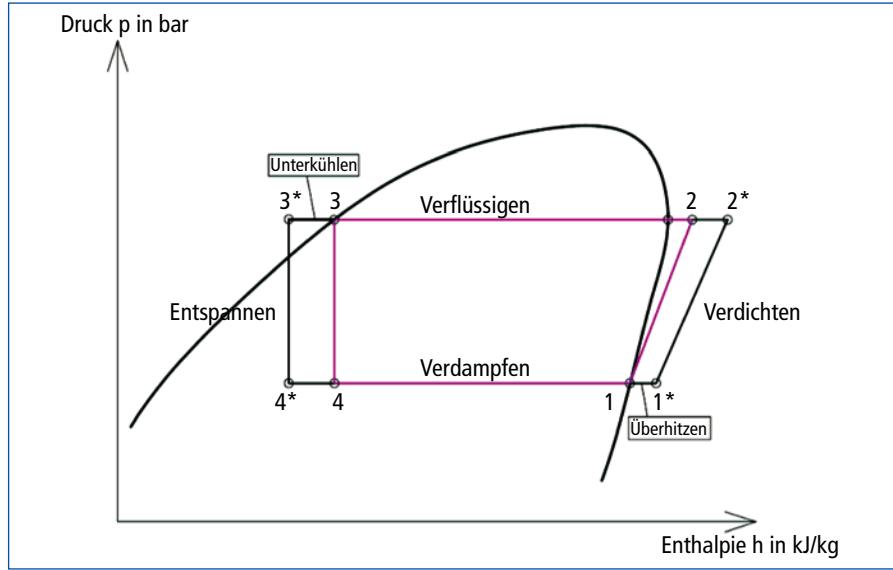


Abbildung 9: Idealer und realer Kreisprozess im Enthalpie-Druck-Diagramm

Der COP-Wert einer Wärmepumpe ist lediglich als Momentanwert während eines definierten Antriebszustands zu verstehen. Dabei wird der abgegebene Wärmestrom (Q_H) gemessen und ins Verhältnis zur gemessenen elektrischen Leistungsaufnahme (W_{el}) gesetzt.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ oder JAZ β) einer Wärmepumpe spiegelt den eigentlichen Betriebszustand der Wärmepumpe wider und wird über einen längeren Zeitraum (ein Jahr) betrachtet. Die Jahresarbeitszahl, die gemäß Anlage III, EEWärmeG einzuhalten und nachzuweisen ist, ergibt sich aus der Heizwärme im Verhältnis zur elektrischen Verdichterantriebsarbeit im Jahreszeitraum wie folgt:⁴⁰

Formel 8: Jahresarbeitszahl der elektrischen Wärmepumpe

$$JAZ \beta = \frac{Q_H}{W_{el}} \quad [-]$$

39 vgl. [Wal 2007, S. 52 ff.]

40 vgl. [Wal 2007, S. 52 ff.]

Zwecks Nachweis der Jahresarbeitszahl sind Zähler zu den Strom- und Wärmemengen vorzusehen. Bei Abwasserwärme-Elektrowärmepumpen (Sole-Wasser-Wärmepumpen) ist eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,6 (mit Warmwasserbereitung im Bestand) bzw. mindestens 3,8 (mit Warmwasserbereitung bei Neubauten) zu erreichen.

In Abbildung 10 sind die verschiedenen Kreisläufe einer Abwasserwärmepumpe dargestellt. Die Wärmequelle (Sole-Kreislauf, Wasser-Glykol-Gemisch) wird über den Arbeitsmittelkreislauf mit dem Heizwasserkreislauf verbunden.

Der Sole-Kreislauf gibt im Verdampfer seine Wärme an das Kältemittel ab, wobei das flüssige Kältemittel in einen gasförmigen Zustand wechselt und durch Druckerhöhung ein höheres Temperaturniveau zur Übertragung auf den Heizkreislauf zur Verfügung steht.

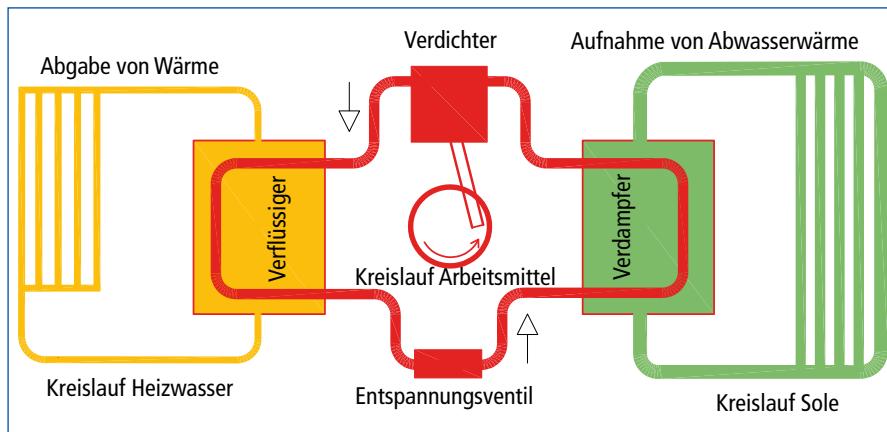


Abbildung 10: Schema Wärmepumpenkreisläufe

Es kann zwischen Sorptions- und Kompressionswärmepumpen unterschieden werden. Die Kompressionswärmepumpe kann elektrisch oder mit einem Gas- bzw. Dieselmotor angetrieben werden. Bei der Sorptionswärmepumpe kommen chemisch-physikalische Vorgänge zum Einsatz.⁴¹

Die Abbildung 10 zeigt den winterlichen Heizfall. Der sommerliche Kühlfall kann mit einer Abwasserwärmepumpe ebenso ermöglicht werden. Dabei wird die entzogene Raumwärme auf das Abwasser übertragen, indem der Raumkreislauf durch den Verdampfer und der Solekreislauf durch den Verflüssiger geleitet werden.

2.4.5 Auslegung der Wärmepumpenleistung

Die nutzbare Wärmemenge (W_{WP}), die eine Wärmepumpe zur Verfügung stellen kann, wird durch Ansatz der Jahresarbeitszahl ermittelt. Die Jahresarbeitszahl einer elek-

41 vgl. [DWA 2009, S. 16 ff.]

trischen Wärmepumpe kann bei Abwasser als Wärmequelle mit vier angenommen werden.⁴²

In Abbildung 11 wird der Energiefluss einer Sole-Wasser-Wärmepumpe bzw. Abwasser-Elektrowärmepumpe bei einem Kubikmeter Abwasser je Stunde und einer Temperaturabkühlung von 2 °K zahlenmäßig (siehe Formeln 5, 11 und 12) verdeutlicht.

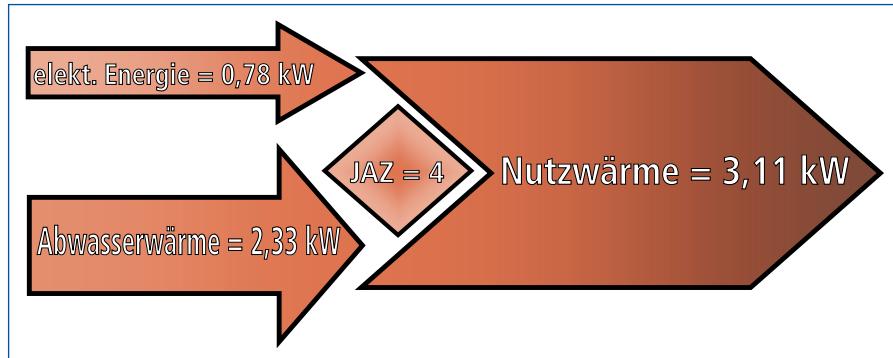


Abbildung 11: Energiefluss einer Wärmepumpe je m³/h Abwasser und ΔT = 2 °K

Der COP-Wert (Coefficient of Performance) bzw. JAZ-Wert (Jahresarbeitszahl) dient zur Berechnung der Leistung (P_{WP} , W_{WP}) und somit der Auslegung der Wärmepumpe. Bei der Berechnung wird die erforderliche Nutzwärme im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Energie ermittelt.

In Formel 9 und 10 ist die Berechnungsweise mithilfe des COP-Wertes bzw. JAZ-Wertes aufgeführt:

Formel 9: Leistung Wärmepumpe in Abhängigkeit von Wärmetauscherleistung und Jahresarbeitszahl

$$W_{WP} = W_{WT} \cdot \frac{JAZ}{JAZ-1} \quad [\text{kW}]$$

Formel 10: Leistung Wärmepumpe in Abhängigkeit von Wärmetauscherleistung und Coefficient of Performance

$$P_{WP} = P_{WT} \cdot \frac{\text{COP}}{\text{COP}-1} \quad [\text{kW}]$$

Bei einem Abwasserstrom von einem Kubikmeter pro Stunde und einer Temperaturabkühlung von 2 °K wird mithilfe von Formel 5 eine Energiemenge von 2,33 Kilowattstunden je Kubikmeter berechnet.

42 vgl. [DWA 2009, S. 16 ff.]

Diese Wärmemenge kann dem Abwasser bei den angegebenen Randbedingungen entzogen werden. Mithilfe einer Abwasserwärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von vier kann folgende spezifische Leistung bzw. Heizenergie (W_H) zur Verfügung gestellt werden:

Formel 11: spezifische Heizleistung von Abwasserwärmepumpen

$$W_H = 2,33 \cdot \frac{4}{4-1} = \mathbf{3,11 \text{ kW je m}^3/\text{h bzw. } 3,11 \text{ kWh je m}^3}$$

Die einzusetzende spezifische elektrische Energie (W_{el}) errechnet sich aus der Differenz der nutzbaren Heizenergie der Wärmepumpe und der entzogenen Energie aus dem Abwasser (Ergebnis Formel 11 minus Ergebnis Formel 5):

Formel 12: spezifische elektrische Leistung von Abwasserwärmepumpen

$$W_{el} = W_H - \frac{W_H}{JAZ} = (\text{kW je m}^3/\text{h})$$

$$W_{el} = 3,11 - 2,33 = \mathbf{0,78 \text{ kW je m}^3/\text{h bzw. } 0,78 \text{ kWh je m}^3}$$

Bezogen auf die Abwassermenge in Litern pro Sekunde lässt sich die Wärmeleistung einer Wärmepumpe in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl und der Abkühlung des Abwassers tabellarisch und grafisch wie in Tabelle 5 und Abbildung 12 dargestellt aufzeigen:

Tabelle 5: Wärmeleistung Wärmepumpe in kW bei verschiedenen JAZ und ΔT

Durchfluss in l/s	Leistung bei JAZ = 4 und $\Delta T = 2^\circ\text{K}$	Leistung bei JAZ = 3,5 und $\Delta T = 3^\circ\text{K}$	Leistung bei JAZ = 3,8 und $\Delta T = 3,5^\circ\text{K}$
1	11	18	20
5	56	88	100
10	112	176	199
15	168	264	299
20	223	352	398
30	335	528	597
40	447	704	796
50	559	880	995
60	670	1056	1194
70	782	1232	1393
80	894	1408	1592
90	1006	1584	1791
100	1117	1760	1990

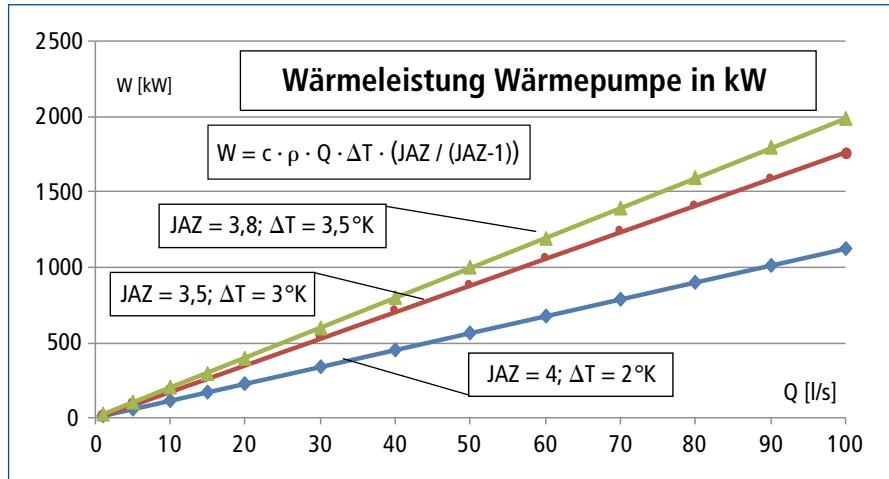


Abbildung 12: Wärmeleistung Wärmepumpe in kW bei verschiedenen JAZ und ΔT

Bei Wärmepumpenanlagen ist zwischen monovalenten und bivalenten Anlagen zu unterscheiden. Bei monovalenten Anlagen muss die Wärmepumpe die Wärmeleistung auch in den kältesten Tagen erbringen. Zusätzlich ist ein eventuell eintretender zu geringer Abwasserabfluss zu berücksichtigen. Wärmepumpen bei monovalenten Anlagen werden demnach größer ausgelegt als bei bivalenten Anlagen. Bei einer bivalenten Anlage sichert die Wärmepumpe in der Regel die Grundlast und in Spitzenlastzeiten wird eine zusätzliche Kesselanlage betrieben.⁴³

In Abbildung 13 werden der relative Wärmebedarf und der Deckungsanteil durch eine Abwasserwärmepumpe und des Spitzenlastkessels bei einer bivalenten Anlage verdeutlicht. Der Spitzenlastbereich wird bei sehr geringen Außenlufttemperaturen durch einen Heizkessel sichergestellt. Dieser wird mithilfe der Jahresdauerlinie für den Wärmebedarf veranschaulicht.

Die Wärmepumpe ist beispielsweise auf 35 Prozent des Wärmeleistungsbedarfs ausgelegt. Damit deckt sie im Beispiel der Abbildung 13 etwa 70 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs. Der Heizkessel wird dabei nur etwa 60 Tage von etwa insgesamt 240 Tagen im Jahr betrieben.

43 vgl. [DWA 2009, S. 16 ff.]

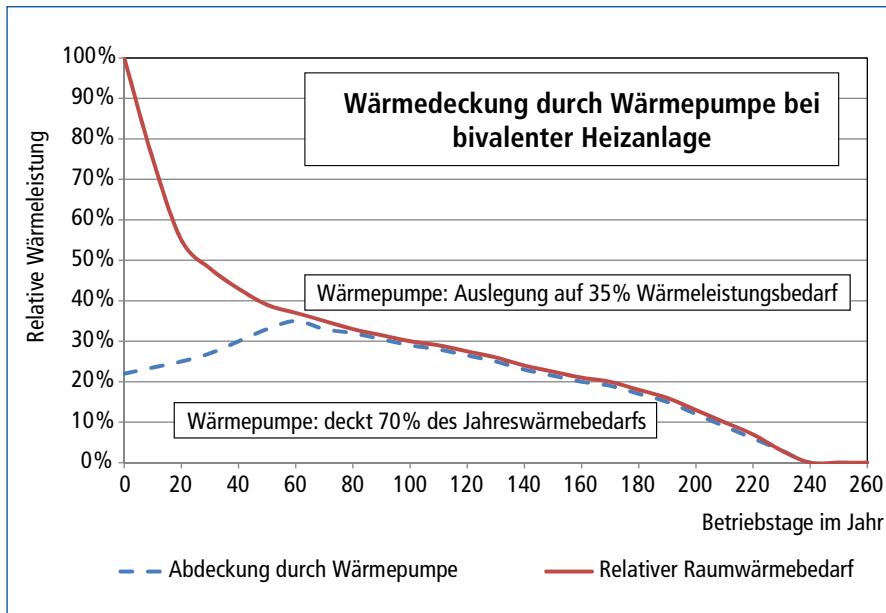


Abbildung 13: Leistungsbereiche einer bivalenten Anlage
[Grafik in Anlehnung an Buri/Kobel und DWA-M 114]

2.4.6 Bundesweites Wärmepotenzial

Im Allgemeinen herrschen Abwassertemperaturen von mindestens 10 °C im öffentlichen Kanalnetz. Daher wird eine Abkühlung des Abwassers um 2 °K als technisch sinnvoll erachtet, damit einerseits eine ausreichende Wärmeenergie nutzbar gemacht wird und andererseits die Abwasserabkühlung nicht in zu hohem Umfang erfolgt.

Die anstehende Abwasserwärme im Kanalnetz führt auch zur Erwärmung des Luftraumes im Kanalnetz, was insbesondere bei großen Rohrdimensionen zukünftig zusätzlich interessant sein kann, da dieser Luft effizienter Wärmeenergie mit einer Luftwärmepumpe entzogen werden kann als der Außenluft.

In Deutschland fallen jährlich rund 9,4 Milliarden Kubikmeter Abwasser in öffentlichen Kanalnetzen an (vgl. 1.3). Wird eine Abkühlung von im Mittel 2 °K angenommen, errechnet sich das theoretische Wärmeenergiopotenzial für das in Deutschland anfallende Abwasser im öffentlichen Kanalnetz in Anlehnung an Formel 5 wie folgt:

Formel 13: Bundesweites theoretisches Wärmepotenzial des Abwassers

$$W = \frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9\,400\,000\,000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2 \text{ K}}{3600 \text{ s/h}}$$

$$W = \frac{2,1881 \cdot 10^{10} \text{ kJh}}{\text{s} \cdot \text{a}}$$

$$W = \frac{2,1881 \cdot 10^{10} \text{ kJh}}{\text{s} \cdot \text{a} \cdot 1000\,000 \text{ kWh/GWh}} = 21881 \text{ GWh/a}$$

= 21,8 TWh/a

Wird eine Jahresarbeitszahl von vier bei einer Abwasser-Elektro-Wärmepumpe angesetzt, kann bundesweit folgende theoretische Nutzwärme aus öffentlichem Abwasser gewonnen werden (siehe Formel 9):

Formel 14: Bundesweites theoretisches Nutzpotenzial für die Raumbeheizung

$$W_{\text{Nutz}} = 21881 \frac{\text{GWh}}{\text{a}} \cdot \frac{4}{4-1} = 29\,175 \text{ GWh/a}$$

= 29,2 TWh/a

Wird dieses Wärmepotenzial von etwa 30 Terawattstunden pro Jahr mit dem Wärmebedarf von aktuell rund 40 Millionen Wohneinheiten verglichen, kann eine prozentuale Vergleichsgröße angegeben werden. Dadurch lässt sich der mögliche Anteil der Ressource Abwasser einschätzen. Es wird von einem jährlichen mittleren Wärmeenergiebedarf für einen Haushalt von rund 15 000 Kilowattstunden ausgegangen. Diese Zahl entspricht den derzeitigen Verhältnissen, wobei klar ist, dass bei den Zielen bis zum Jahr 2050 der Wärmebedarf deutlich reduziert werden muss. Dies führt zum Beispiel bei einer Halbierung des Wärmebedarfs zu einer Verdopplung des möglichen Abwasserwärmepotenzials.

Für den Wohnsbereich ergeben sich heute rund 600 Terawattstunden pro Jahr an Wärmebedarf. Das zur Verfügung stehende öffentliche Abwasser kann derzeit somit einen theoretischen Deckungsanteil von maximal fünf Prozent im Wohnsektor erreichen.

2.4.7 Projektspezifisches Wärmepotenzial

Allgemeines zur Schmutzwassermengenermittlung

An dieser Stelle werden zunächst die inzwischen etablierten Begriffe »Grauwasser« und »Schwarzwasser« erläutert. Unter Schwarzwasser wird das fäkalienhaltige Toilettenwasser verstanden. Unter Grauwasser sind fäkalienfreie Haushaltsabwässer beispielsweise aus der Dusche, dem Bad, dem Waschbecken oder der Waschmaschine gemeint. Der Begriff »Schmutzwasser« schließt Grauwasser und Schwarzwasser ein.

Die wesentlichen Abwassermengen und somit das Wärmepotenzial resultieren aus der Entstehung von Schmutzwasser und Fremdwasserzuläufen in die Kanalisation.

Fremdwasser entsteht zum Beispiel durch permanente Zuflüsse von Außengebieten und Dränageleitungen.

Neben dem häuslichen Abwasser entstehen gewerbliche und industrielle Abwässer oder Prozesskreislaufwässer, denen die Wärme entzogen werden kann. Einige gewerbliche Abwässer werden in eigenen Kläranlagen behandelt und im Sinne einer Direkteinleitung an das Gewässer abgegeben. Diese Wassermengen stehen zusätzlich als Wärmequelle zur Verfügung und sind nicht in der Jahresabwassermenge des öffentlichen Kanalnetzes enthalten.

Die tägliche Abwasserzulaufmenge inklusive Fremdwasser bei Trockenwetter und die Schwankungen im öffentlichen Kanalnetz können beispielhaft in Abbildung 14 dargestellt werden. Sie können mithilfe einer Zulaufmengenmessung bei einer Kläranlage dargestellt werden (siehe Abbildung 14). Letztlich ergeben sich aus den Tagesschwankungen ein Tagesmittelwert und ein stündlicher Spitzenwert. Beide Werte sind für das jeweilige, zu betrachtende Einzugsgebiet einer Abwasserwärmenutzungsanlage von Interesse. Je nach Ausgangsdaten liegt nur der mittlere Tageswert oder der stündliche Spitzenwert vor. Es ist dann möglich, von dem einen Wert auf den anderen zu schließen und somit eine Grundlage für die Ermittlung der nutzbaren Wärmeenergie zu schaffen.

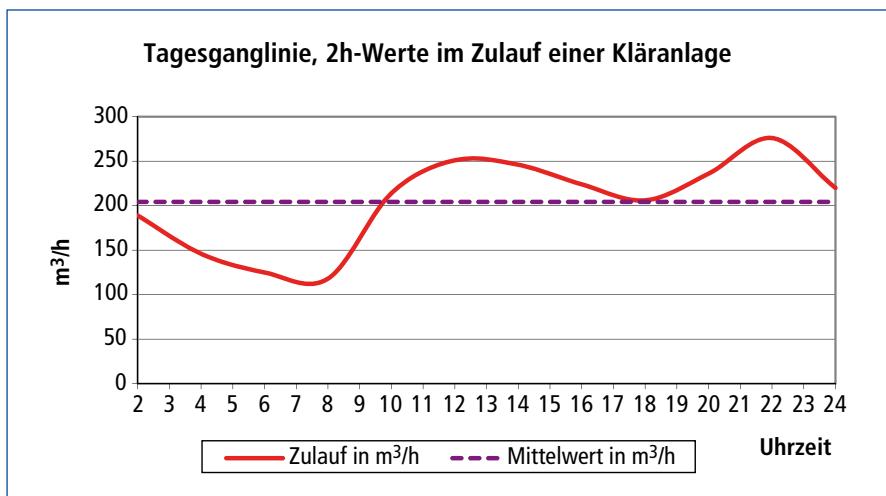


Abbildung 14: Beispiel einer Abwassertagesganglinie im Zulauf einer Kläranlage

Werden die Mittelwerte der Zulaufmessung näher betrachtet bzw. wird für ein konkretes Projekt eine Durchflussmessung im Kanal durchgeführt, ist auch die Bandbreite und somit der Schwankungsbereich im Tagesverlauf bewertbar.

Diese Betrachtungsweise kann mithilfe des Konfidenzintervalls erfolgen.

Das Konfidenzintervall beschreibt die mögliche Abweichung um den jeweiligen Mittelwert unter Berücksichtigung der Standardabweichung (S) zur Stichpro-

be und eines Wahrscheinlichkeitsniveaus. Für die Messwerte wird die Normalverteilung angenommen. Die halbe Breite des Konfidenzintervalls (h) wird wie folgt beschrieben:⁴⁴

$$h = t(1-\alpha/2, n-1) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{mit} \quad S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad \text{und} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Wird eine 5-prozentige Irrtumswahrscheinlichkeit (α) für den Stichprobenumfang (n) zugrunde gelegt, ergeben sich die Konfidenzintervalle für das gewählte Beispiel zur Tagesganglinie wie in Abbildung 15 ($t(1-\alpha/2, n-1)$ = Quantil der Student-t-Verteilung) dargestellt. Die Intervalle stellen den Schwankungsbereich der Abflussmenge dar.

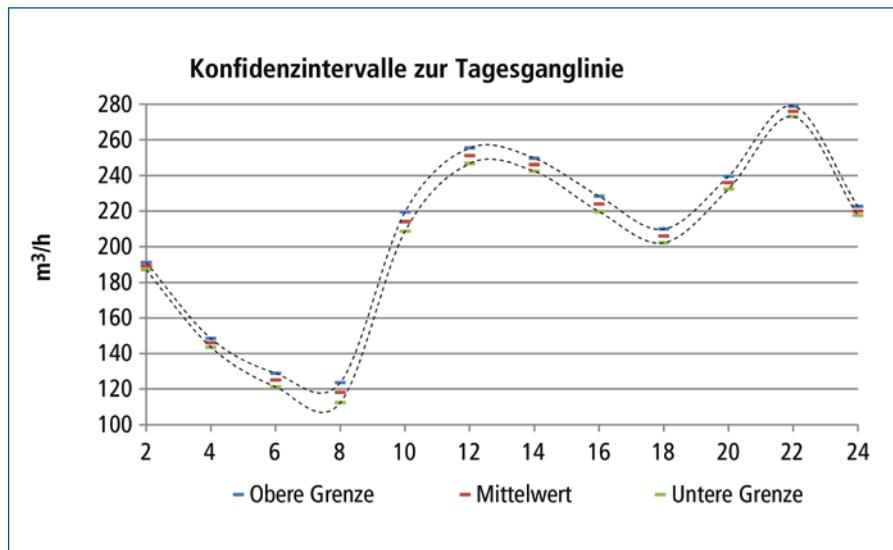


Abbildung 15: Konfidenzintervalle für Abwasserabflussmenge

Liegen keine Abwasserablaufwerte aus hydraulischen Berechnungen vor, können diese entweder selbst überschlägig angefertigt oder von dem jeweiligen Entwässerungsbetrieb zur Verfügung gestellt werden. Hilfsweise kann die Abwassermenge auch aus den Trinkwasserverbrauchswerten für das Einzugsgebiet oder für das spezielle Objekt ermittelt werden.

Daher werden zunächst nachfolgend die abwasserbildenden Wasserverbrauchsmengen betrachtet, die über Trinkwasserleitungsnetze zum Verbraucher herangeführt und anschließend als Abwasser abgeleitet werden. Hierzu werden verschiedene Immobilienkategorien unterschieden, damit eine Abschätzung der resultierenden

44 vgl. [Stö 1999, S. 322 ff.]

Abwassermenge als Grundlage für eine spezifische Projektbetrachtung zur Abwasserwärmevernutzung möglich ist.

Einwohnerspezifische Wassermengen als Grundlage für Betrachtungen zu Wohnanlagen oder zum Gesamteinzugsgebiet

Die mittleren Tagesverbräuche für Trinkwasser schwanken je nach Region und deren Struktur und sind abhängig von der Bebauungsart. Die Verbräuche liegen in der Regel bei 140 bis 150 Litern je Einwohner und Tag. Dies entspricht einem Trinkwasserverbrauch von etwa 50 bis 55 Kubikmetern je Einwohner und Jahr.

Der Wasserverbrauch ist tendenziell seit vielen Jahren rückläufig, sodass auch ein Mittelwert von beispielsweise 120 Litern je Einwohner und Tag angesetzt werden kann. Andererseits hängt er von der Siedlungsstruktur und -dichte ab und kann daher wiederum höher liegen. Die Verbrauchswerte lassen sich für ein Einzugsgebiet beim Trinkwasserversorger erfragen und auf Einwohner umrechnen.

Für die Objektbetrachtung wird hier angenommen, dass sich die zukünftige Abwassermenge im Einzugsgebiet nicht relevant ändern wird. Im Einzelfall kann es jedoch sinnvoll sein, die zukünftige Bevölkerungsentwicklung zu berücksichtigen, damit auch dieses Szenario Einzug in die Planung nimmt. Dabei wird für die Berechnung der zukünftigen Bevölkerungszahl und somit der Abwassermenge die Zinsszinssformel verwendet. Der Zinssatz wird als Differenz zwischen Zuwachs- und Sterberate angenommen, wobei sich je nach Siedlungsstruktur ein negativer Wert ergeben kann.

Der oben genannte Mittelwert von rund 150 Litern je Einwohner und Tag ist ein guter Schätzwert, wenn es um die erste Ermittlung der möglichen Abwassermenge und somit des Abwärme potenzials geht. Im Sinne der Trinkwasserversorgung kennt man Differenzierungen, die hier nicht von Bedeutung sind. Je nach Bebauung werden beispielsweise Werte von 70 bis 220 Litern je Einwohner und Tag oder je Angestellten Werte von 35 bis 250 Litern und Tag⁴⁵ aufgeführt.

Dabei wird der Wasserbedarf für einzelne Tätigkeiten wie folgt differenziert:⁴⁶

- Baden, Duschen: 43 Liter je Einwohner und Tag
- Toilettenspülung: 32 Liter je Einwohner und Tag
- Wäsche waschen: 15 Liter je Einwohner und Tag
- Geschirr spülen: 7 Liter je Einwohner und Tag
- Raumreinigung: 7 Liter je Einwohner und Tag
- Essen, Trinken: 5 Liter je Einwohner und Tag
- Kleingewerbe: 11 Liter je Einwohner und Tag.

45 vgl. [Mut 2014, S. 42]

46 vgl. [Mut 2014, S. 41]

Als Summe entstehen somit 120 Liter je Einwohner und Tag, die als Abwasser ins Kanalnetz gelangen.

Aus diesen Werten kann für das jeweils betrachtete Einzugsgebiet oder einen Gebäudekomplex die Schmutzwassermenge berechnet werden. Dazu sind lediglich die Einwohnerzahl zu bestimmen oder anzunehmen und bei einem Einzugsgebiet dessen Zulaufgrenzen mithilfe der Kenntnisse des Entwässerungsbetriebes festzulegen. Hier wird der Mittelwert von 150 Litern je Einwohner und Tag favorisiert.

Beispielsweise wohnen im Kanal-Einzugsgebiet 5 000 Menschen und verursachen demnach täglich etwa 750 Kubikmeter Abwasser (ohne Fremdwasseranteil). Der Tagesabfluss kann auf einen stündlichen Abfluss umgerechnet und das Fremdwasser zugeschlagen werden. Die Vorgehensweise dazu wird nach der Vorstellung weiterer spezifischer Trinkwasserverbrauchswerte erläutert.

Wasserverbrauch in Krankenhäusern

Die mittlere Abwassermenge je Tag (d) hängt bei Kliniken zum einen von der Anzahl der Verbraucher (V = Patienten und Personal), zum anderen von der Bettenzahl (BZ) ab. Tabelle 6 verdeutlicht die Ansätze zu den spezifischen Mittelwerten.

Die Anzahl der Verbraucher, bestehend aus Patienten und Personal, kann mit der folgenden empirischen Gleichung ermittelt werden. Dabei wird zwischen dem im Krankenhaus arbeitenden und dem dort auch wohnenden Personal unterschieden:⁴⁷

Formel 15: Anzahl Verbraucher in Kliniken

$$V = \text{Patienten} + 0,8 \cdot \text{Personal wohnt im Krankenhaus} + 0,2 \cdot (\text{Personal} - \text{Personal wohnt im Krankenhaus})$$

Tabelle 6: Wasserverbrauch Krankenhaus

Bezugsparameter	Mittelwert
Verbraucher (V): Patienten und Personal	340 l/V/d
Bettenanzahl (BZ)	500 l/BZ/d

Wasserverbrauch in Schulen

Hochschulen werden in der nachfolgenden Tabelle nicht berücksichtigt. Mit den Angaben sind Schulen bis zum Erreichen der Hochschulreife gemeint. Die Verbraucher in einer Schule (SL) setzen sich aus den Schülern, den Lehrern und dem Personal zusammen. Der tägliche mittlere Verbrauch kann wie folgt angegeben werden:⁴⁸

47 vgl. [DVGW 1999, S. 55 ff.]

48 vgl. [DVGW 1999, S. 55 ff.]

Tabelle 7: Wasserverbrauch Schulen

Bezugsparameter	Mittelwert
Verbraucher (SL): Schüler, Lehrer und Personal	8 l/SL/d

Wasserverbrauch in Verwaltungs- und Bürogebäuden

Die Abwassermenge aus dem Gebäudekomplex wird von der Beschäftigtenzahl (BE) beeinflusst. Der tägliche mittlere Verbrauch in Abhängigkeit der Beschäftigten wird in Tabelle 8 aufgeführt:⁴⁹

Tabelle 8: Wasserverbrauch Verwaltungsgebäude/Büros

Bezugsparameter	Mittelwert
Verbraucher (BE): Beschäftigte	47 l/BE/d

Wasserverbrauch in Hotels und Beherbergungen

Hier bestehen Abhängigkeiten durch die Anzahl der Hotelgäste (V), der Hotelzimmer (HZ) oder der Gästebetten (B). Der Wasserverbrauch kann wahlweise mit einem der spezifischen Werte abgeschätzt werden. Die Grundlage zum täglichen mittleren Wasserverbrauch ist in Tabelle 9 zusammengefasst, wobei die Berechnung des Wasserverbrauchs alternativ mithilfe der drei Bezugsgrößen erfolgen kann:⁵⁰

Tabelle 9: Wasserverbrauch Hotels/Beherbergungen

Bezugsparameter	Mittelwert
Verbraucher (V) Hotelgäste	290 l/V/d
Hotelzimmer (HZ)	388 l/HZ/d
Gästebetten (B)	241 l/B/d

Abwassermengen von Gewerbe und Industrie

In einigen Betrieben liegen je nach Betriebsgröße und einer vorhandenen eigenen Abwasseraufbereitungsanlage Kennzahlen zum Wasserverbrauch oder konkrete Zahlen zu den erzeugten und/oder behandelten Abwassermengen vor.

49 vgl. [DVGW 1999, S. 55 ff.]

50 vgl. [DVGW 1999, S. 55 ff.]

Liegen keine Angaben zur Abwassermenge der Gewerbebetriebe oder der Industriefläche im Einzugsgebiet der geplanten Abwasserwärmennutzung vor, kann diese in Abhängigkeit der Betriebsarten abgeschätzt werden.

Dazu werden nachfolgend einige Beispiele zum Abwasseranfall aus Gewerbebetrieben in Tabelle 10 aufgeführt:^{51,52,53}

Tabelle 10: Abwassermengen Gewerbe und Industrie

Betriebsart	Abwassermenge
Brauerei	0,25–0,60 m ³ /hl verkaufsfähiges Bier
Papierindustrie	200 m ³ /t Papier
Molkerei	1,2 m ³ /t Milch
Schlachthof	2,4 m ³ /t Fleisch

Abwassermengen bei großflächigen Handelsobjekten

Bei großflächigen Handelsobjekten kann der Wasserverbrauch in Abhängigkeit der summierten Gebäudegrundfläche angegeben werden. Dabei wird der Wasserverbrauch durch das Personal und die Kunden verursacht. Wird eine Regenwassernutzung mithilfe von Zisternen betrieben, entstehen zusätzliche Abwassermengen, die nicht von der Trinkwassermessung erfasst werden. In diesem Fall ist ein gesonderter Aufschlag zu berücksichtigen.

In Baumärkten werden oftmals Zisternen zur Bewässerung der Gartenabteilung genutzt. Bei dieser Nutzung fällt kein zusätzliches Abwasser an. Da an vielen Handelsstandorten eine Gastronomie integriert ist, muss hierzu ein gesonderter Ansatz berücksichtigt werden.

Die nachfolgenden Werte resultieren aus der eigenen Auswertung einer Vielzahl von Standorten einer Handelskette. Die spezifischen Ansätze beziehen sich auf die summierte, umbaute Gebäudegrundrissfläche einschließlich der überdachten Außenfläche und auf die nicht überdachte Freiverkaufsfläche. Die Flächen für den Anlieferungsbereich und die Stellplätze bleiben unberücksichtigt. Der Flächenbezug wird hier als Bruttogrundfläche (BGF) bezeichnet:

51 vgl. [End 2011]

52 vgl. [CSR 2006]

53 vgl. [Dan 2009, S. 17]

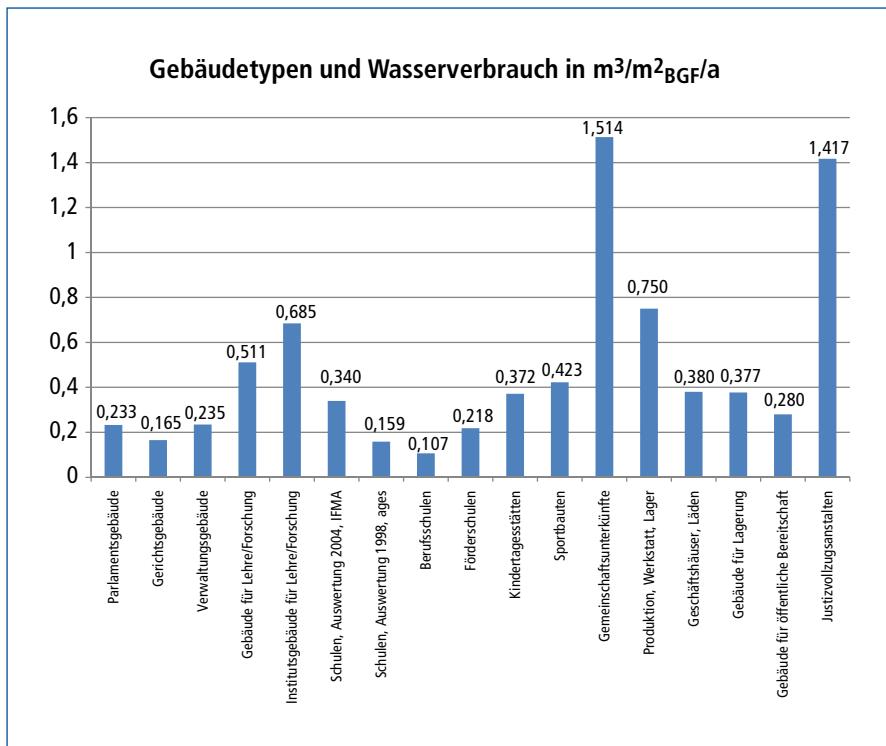
Tabelle 11: Abwassermengen Handelsobjekte

Großflächiger Handel	Spezifische Abwassermenge
BGF, Handelsfläche mit Gastronomie	18 l/m ² _{BGF} /Monat
BGF, Handelsfläche ohne Gastronomie	10 l/m ² _{BGF} /Monat

Sonstige Wassermengen

Aus diversen Erhebungen wurden für verschiedene Gebäudenutzungsarten durchschnittliche Wasserverbrauchswerte in Kubikmeter je Quadratmeter BGF und Jahr abgeleitet. Diese Werte werden in Abbildung 16 dargestellt und repräsentieren im Wesentlichen Ergebnisse aus Erhebungen, die 1998 veröffentlicht wurden.⁵⁴

Diese Durchschnittswerte können für eine erste Abschätzung der Abwassermengen zu verschiedenen Gebäudenutzungsarten im Einzugsgebiet oder für den betrachteten Gebäudekomplex angewendet werden:

**Abbildung 16:** Schmutzwasseranfall im Einzugsgebiet der Abwasserwärmennutzung

54 vgl. [Bog 2008, S. 169]

Berechnung der Schmutzwasser- und Fremdwassermengen

Mithilfe der zuvor aufgeführten Wasserbedarfswerte kann die projektspezifische, zur Verfügung stehende Abwassermenge ermittelt werden. Daraus kann anschließend das vorhandene spezifische Wärmepotenzial für das konkrete Projekt analog zu den Formeln 13 und 14 abgeleitet werden, wobei die Tages- und Nachtspitzen bei der Auslegung der Wärmepumpenanlage bzw. des Pufferspeichers zu berücksichtigen sind.

Zur Ermittlung eines ersten Energiepotenzials kann für ein konkretes Projekt die in der Siedlungswasserwirtschaft bekannte, überschlägige Abwassermenge je Einwohner (E) angesetzt werden. Ein Richtwert für den Spitzenabfluss liegt bei 5 Litern pro Sekunde je 1000 Einwohner. Der einwohnerspezifische Tagesabfluss (Q_E) wird in Anlehnung an den Wasserverbrauchswert von 150 Litern je Einwohner und Tag ($l/(E \cdot d)$) angenommen.

Die Umrechnung auf den stündlichen Spitzenabfluss (Q_s) kann für ein Einzugsgebiet in Abhängigkeit der Gebietsstruktur bzw. der Gebietsgröße und des spezifischen Schmutzwasseranfalls erfolgen. Dazu können Umrechnungsfaktoren (n) zwischen 8 und 16 Stunden je Tag gewählt werden.⁵⁵

Eine Beispielrechnung wird nachfolgend dargestellt:

Formel 16: Schmutzwasseranfall im Einzugsgebiet der Abwasserwärmemenutzung

$$Q_s = \frac{E \cdot Q_E \left(\frac{1}{E \cdot d} \right)}{n \left(\frac{h}{d} \right) \cdot 3600 \left(\frac{s}{h} \right)} = \frac{E \cdot 150 \left(\frac{1}{E \cdot d} \right)}{8 \left(\frac{h}{d} \right) \cdot 3600 \left(\frac{s}{h} \right)} = 5 \frac{l}{s} \text{ je } 1000 E$$

Für die Ermittlung der gesamten Jahresabwassermenge im öffentlichen Kanal ist ergänzend der Fremdwasserabfluss und beim Mischsystem zusätzlich der Regenwasseranteil zu berücksichtigen.

Kurzzeitige Spitzenabflüsse (zum Beispiel bei Mischwasserabflüssen im Regenwetterfall) können zur Speicherung der Wärme in einem Pufferbehälter genutzt werden.

Sind nur die Jahresschmutzwassermenge (JSM) einer Kläranlage und die Einwohnerzahl (E) im Einzugsgebiet der vorhandenen Kläranlage bekannt (können vom Entwasserungsbetrieb zur Verfügung gestellt werden), kann der Faktor (FQ) für den Zuschlag von Fremdwasser und Regenwasser im Mischsystem ermittelt werden. Anhand der Zahlen einer Beispielkläranlage mit dem dazugehörigen Einzugsgebiet wird dies verdeutlicht:

Jahresschmutzwassermenge: JSM \approx 1 000 000 m³/a

Einwohnerwerte: EW = 14 000

Einwohnerspezifischer Abfluss aus JSM:

$$Q_{JSM,E} = 1 000 000 / 14 000 = 71,43 \text{ m}^3/\text{a}$$

⁵⁵ vgl. [Mar 1987, S. 31f.]

Einwohnerspezifische Schmutzwassermenge (Q_E):

$$\begin{aligned} Q_E &= 150 \text{ l/E/d} \cdot 365 \text{ d/a} / 1000 \text{ l/m}^3 \\ &\approx 55 \text{ m}^3/\text{E/a} \end{aligned}$$

Aufschlagsfaktor für Regen- und Fremdwasseranteil:

$$FQ \approx 71,43/55 \approx 1,3$$

Der Faktor 1,3 stellt für das Beispieleinzugsgebiet den Aufschlag für den Fremd- und Regenwasseranteil im Mischsystem auf die ermittelte Schmutzwassermenge dar. Dieser führt zur Erhöhung um 30 Prozent der jährlich relevanten bzw. zur Verfügung stehenden Abwassermenge und somit zur Erhöhung der möglichen Wärmemenge.

Ob dieser Faktor berücksichtigt werden soll, bleibt generell eine Entscheidung des Planers.

Auf Stadt ebene können aus den angenommenen Ansätzen zur Abwassermenge bzw. aus vor Ort gemessenen Abwassermengen Energiekarten erstellt werden, die das Wärmepotenzial aufzeigen. Die Energiekarten weisen sinnvolle Standorte für die Abwasserwärmennutzung in Abhängigkeit des Energieangebotes und des Wärmebedarfs von örtlichen Immobilien aus.

Die Installation einer Abwassermengenmessung vor Ort kann mit mobilen Durchflussmessgeräten im Bereich der geplanten Maßnahme erfolgen. Die Geräte werden mit Datenspeichern ausgerüstet. Damit ist eine Auswertung der Tagesschwankungen möglich. Auch die Installation einer solchen Messvorrichtung muss vom Planer in Betracht gezogen werden, sofern keine sonstigen Ansätze zur Ermittlung der Abwassermengen eine nutzbare Grundlage erwarten lassen.

In Abbildung 17 ist das beispielhafte Ergebnis einer Messung zum Tagesgang der Abflussmenge im Kanal oder im Zulaufbereich der Kläranlage bei Trockenwetter in Anlehnung an Abbildung 14 aufgeführt. Dabei wird die Verhältnismäßigkeit der resultierenden Abwassermenge aus der Schmutz- und Fremdwassermenge verdeutlicht.

Auch ist erkennbar, dass das Fremdwasser relativ gleichmäßig über 24 Stunden zur Verfügung steht und das Schmutzwasser stärkeren Tagesschwankungen unterliegt. Die Darstellung verdeutlicht zugleich die Anhebung des Potenzials aus dem Schmutzwasser, wenn der zuvor ermittelte Faktor von 1,3 für den Fremdwasseranteil berücksichtigt wird.

Werden anhand dieses Beispiels die Tagesschwankungen näher analysiert, liegen diese bezogen auf den Nachtwert, den Mittelwert und den Spitzenwert zwischen 0,54 und 1,35.

Der tatsächliche Schwankungsbereich der Abwassermenge ist bei der Auslegung der Wärmetauscher, der Wärmepumpenanlage und des Pufferspeichers entsprechend zu berücksichtigen.

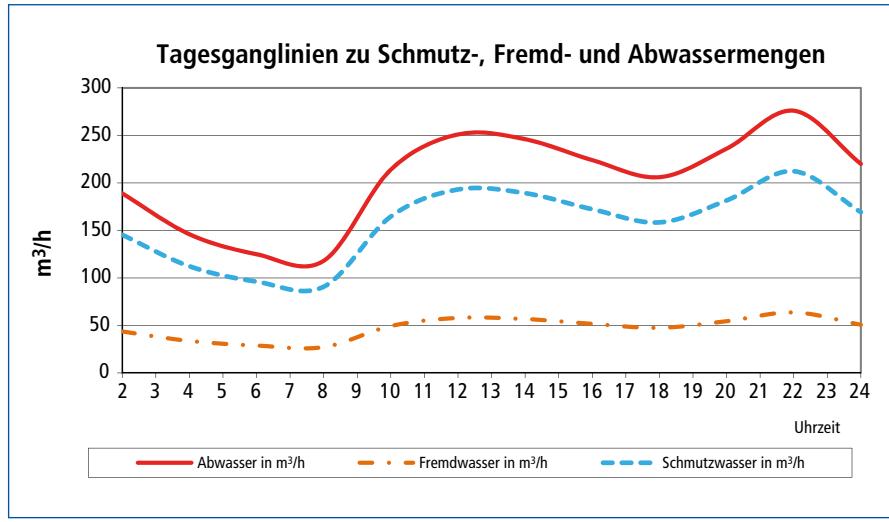


Abbildung 17: Beispiel Abwassertagesganglinie

2.5 Projektbeispiele

Nachfolgend werden zwei Projekte vorgestellt, bei denen im kleineren sowie im größeren Maßstab der Einsatz der Abwasserwärme, gepaart mit Architektur und Immobilienwirtschaft, untersucht bzw. realisiert wurde. Zum einen handelt es sich dabei um eine innerstädtische Wohnanlage mit rund 70 Wohneinheiten und zum anderen um die Ausgestaltung eines »Dorfcenters« im ländlichen Raum mit Mischnutzung.

Bei der innerstädtischen Wohnanlage wurde darüber hinaus ein Effizienzhaus-Plus angestrebt, was nach den Bilanzierungsansätzen gemäß BMVBS⁵⁶ mit einem Plus von 11 Prozent erreicht wird. Dazu wird beim »Nur-Strom-Gebäude« neben der Wärmepumpe zur Abwasserwärmennutzung eine fassaden- und dachintegrierte Photovoltaik eingesetzt.⁵⁷

Das Projekt wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens von einer vorbereitenden Machbarkeitsstudie begleitet. Ziel war es, die Entwicklungen von Plus-Energie-Gebäuden im Einfamilienhaussektor auf den innerstädtischen Geschosswohnungsbau zu übertragen.⁵⁸ Die folgende Abbildung zeigt das inzwischen realisierte Projekt in der Speicherstraße in Frankfurt.

56 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, bis 12/2013, danach Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

57 vgl. [Heg 2014, S. 8 ff.]

58 vgl. [Heg 2014, S. 8 f.]



Abbildung 18: Abwasserwärmeneutzung – Geschosswohnungsbau in Frankfurt [Foto: Achim Hamann, Architektur: HEGGER·HEGGER·SCHLEIFF, HHS Planer + Architekten AG, Kassel, Bauherr: ABG FRANKFURT HOLDING Wohnungsbau- und Beteiligungsgesellschaft mbH, Frankfurt]

Abbildung 19 zeigt den eingebauten Kanalwärmetauscher und die Einbringung der Teilelemente durch den Kanalschacht. Abbildung 20 verdeutlicht das Energieschema bzw. Technikkonzept. Erkennbar sind die Nutzung von Solarstrahlung und Abwasserwärme sowie der Einsatz einer dezentralen Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

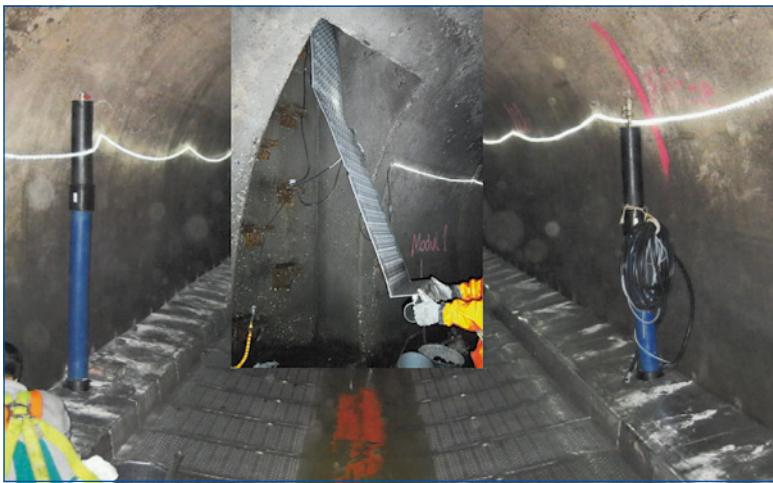


Abbildung 19: Kanalwärmetauscher – Frankfurt Speicherstraße [Fotos: EGS-plan, Stuttgart, Architekt: HHS Planer + Architekten AG, Kassel, Bauherr: ABG FRANKFURT HOLDING, Frankfurt]

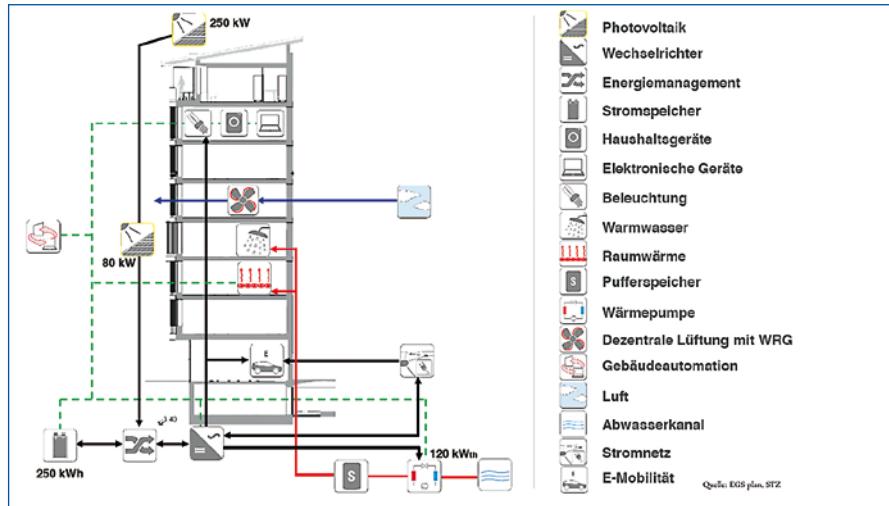


Abbildung 20: Schema Energieversorgung – Frankfurt Speicherstraße
 [Quelle: EGS-plan, Stuttgart, Architekt: HHS Planer + Architekten AG, Kassel,
 Bauherr: ABG FRANKFURT HOLDING, Frankfurt]

Im Rahmen einer eigenen Machbarkeitsstudie (Planungsbüro RS-Plan AG, Bad Kreuznach) für ein sogenanntes »Dorfcenter« mit Bankfiliale, Arztpraxis, Büros, Backgastronomie, Wohnungen und einem Dorfladen wurde der Einsatz der Abwasserwärmennutzung untersucht und mit den Verantwortlichen aufseiten des Entwässerungsbetriebs bzw. der Abwasserwerke abgestimmt.

Der zur Verfügung stehende minimale Trockenwetterdurchfluss reichte nach den Untersuchungen am Projektstandort aus, um die notwendige Wärmeenergie zur Beheizung der Gebäude sicherzustellen. Sonstige notwendige technische Randbedingungen lagen am Standort ebenso vor. Das Dorfcenter sollte von einem zentralen Technikraum aus versorgt werden. Die Wärmeenergie sollte dabei über einen Speicher gepuffert werden. Alle Planungsgrundlagen zur Realisierung der Abwasserwärmennutzung waren geschaffen. Im nächsten Schritt wurde das zuständige politische Gremium vom Entwässerungsbetrieb eingeschaltet. Das politische Gremium erteilte die Zustimmung unter der Voraussetzung, entsprechende vertragliche Regelungen vorzulegen.

In Abbildung 21 sind das Projektbeispiel »Dorfcenter« und der geplante Wärmetauscherabschnitt im öffentlichen Kanal mit einer Nennweite von 600 mm schematisch dargestellt. Neben der Rückgewinnung von Energie aus Abwasser war in der frühen Planungsphase auch bereits eine Photovoltaikanlage vorgesehen, was die Effizienzhaus-Bauweise unterstreicht.



Abbildung 21: Untersuchungen zur Abwasserwärmevernutzung – Dorfcenter
[Quelle: RS-Plan AG, Bad Kreuznach]

Aufgrund des erforderlichen Zeitrahmens bei der Umsetzung, insbesondere bei der vertraglichen Gestaltung zwischen dem Abwasseranlagenbetreiber und dem Bauherrn, konnte die Abwasserwärmevernutzung letztlich nicht realisiert werden. Es waren Fertigstellungstermine mit den Mietern einzuhalten, die nicht aufgeschoben werden konnten. Letzten Endes wurde anstelle der Abwasserwärme die Nutzung von Umweltwärme mithilfe einer Luftwärmepumpe realisiert.

Dieses Beispiel soll zeigen, dass frühzeitig alle Beteiligten einzubinden und die Voraussetzungen rechtzeitig zu klären sind. Vor allem sind dabei rechtzeitig die vertraglichen Randbedingungen für die Umsetzungsphase zu schaffen. Nur dann werden Projekte nicht nur planerisch betrachtet, sondern auch zur Ausführung gelangen. Dies gilt insbesondere für die unter Zeitdruck stehende private Immobilienwirtschaft.

Dazu kann eine Checkliste als Arbeitshilfe im Sinne eines Leitfadens für die Realisierung der Abwasserwärmevernutzung beitragen. Ein solcher Leitfaden ist in Kapitel 3 am Beispiel des »Dorfcenters« aufgeführt.

2.6 Grundlagen für die Reduzierung von CO₂-Emissionen

2.6.1 Bundesweiter Vergleich von verschiedenen Energieträgern

Das in Kapitel 2.4.6 angegebene theoretische Nutzwärmepotenzial (W_{Nutz}) von 29 175 Gigawattstunden pro Jahr wurde auf Grundlage einer Temperaturabsenkung des Abwassers von 2 °K im öffentlichen Abwassernetz ermittelt. Die notwendige elektrische Energie (W_{el}) für Elektro-Wärmepumpen, bezogen auf 29 175 Gigawattstunden pro Jahr, ist aus der Differenz der Nutzwärmeenergie und der Energie aus dem Abwasser unter Ansatz der Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe gemäß Formel 12 wie folgt zu berechnen:

Formel 17: Elektrische Energie für bundesweites theoretisches Wärmepotenzial

$$W_{\text{el}} = 29\,175 - \frac{29\,175}{\frac{4}{4-1}} = 7,294 \text{ GWh/a}$$

Daraus lassen sich unter Ansatz von alternativen fossilen Brennstoffen die direkten CO₂-Emissionen bei der Abwasserwärme- und Umweltwärmennutzung (JAZ = 3,5, W_{el} = 8,336 Gigawattstunden pro Jahr, Formel 17) sowie bei Erdgas- und Heizölnutzung auf Bundesebene berechnen. Die Emissionen können verglichen und Einsparungen durch die Abwasserwärmennutzung aufgezeigt werden. Der nachfolgende Vergleich geht dabei von der Nutzung des gesamten theoretischen Wärmepotenzials aus.

Die Brennstoffdaten hinsichtlich des direkten CO₂-Emissionsfaktors (spezifische CO₂-Brennstoffemissionen, spez. CO₂) der Energieträger Erdgas und Heizöl basieren auf den Angaben des Umweltbundesamtes und lauten wie folgt:⁵⁹

$$\begin{aligned} \text{Erdgas} &= 202 \text{ g/kWh} = 202 \text{ to/GWh} \\ \text{Heizöl EL} &= 266 \text{ g/kWh} = 266 \text{ to/GWh.} \end{aligned}$$

Der direkte Emissionsfaktor für den Strommix in Deutschland wird auf Basis erster Schätzungen für das Jahr 2012 mit 576 Gramm je Kilowattstunde angesetzt.⁶⁰

Der Vergleich geht davon aus, dass die Wärmepumpen durch den Strommix versorgt werden. Aktuell ist noch beim Strom für Wärmepumpen davon auszugehen, dass diese durch Mittellastkraftwerke mit einem höheren Emissionsfaktor versorgt werden.

Zukünftig muss jedoch insgesamt ein höherer Anteil an erneuerbaren Energien beim Strommix für Wärmepumpen Berücksichtigung finden, sodass der Ansatz des Emissionsfaktors zum allgemeinen Strommix vertretbar ist.

In den direkten CO₂-Emissionsfaktoren sind die Förderung und der Transport noch nicht enthalten. Auch sind Emissionen aus dem Bau und Abriss der Energieerzeugungsanlagen nicht berücksichtigt. Leitungs- und Übertragungsverluste beim Strom sind dagegen mit 11 Prozent eingerechnet.⁶¹

Aufgrund des bundesweiten Wärmeenergiopotenzials lassen sich die direkten CO₂-Emissionen der drei genannten Energieträger wie folgt berechnen und vergleichen:

Formel 18: CO₂-Emissionen aufgrund des Energieträgereinsatzes

$$CO_2 = W_{\text{Nutz/el}} \cdot \text{spez. CO}_2 \quad \left[\frac{\text{to}}{\text{a}} \right]$$

59 vgl. [KfW 2008, S. 10]

60 vgl. [UBA 2013, S. 2]

61 vgl. [Str 2008]

Als $W_{\text{Nutz/el}}$ wird entweder in Anlehnung an Formel 14 (vgl. 2.4.6) W_{Nutz} für Erdgas und Heizöl oder in Anlehnung an Formel 17 W_{el} für den Strombedarf der Wärme-pumpen eingesetzt, damit der Ansatz der spezifischen CO₂-Emissionen korrekt ist.

$$\begin{aligned}\text{Erdgas} &= 29\,175 \text{ GWh/a} \cdot 202 \text{ to/GWh} = 5\,893\,350 \text{ Tonnen CO}_2 \text{ pro Jahr} \\ \text{Heizöl} &= 29\,175 \text{ GWh/a} \cdot 266 \text{ to/GWh} = 7\,760\,550 \text{ Tonnen CO}_2 \text{ pro Jahr} \\ \text{StromAbw.} &= 7\,294 \text{ GWh/a} \cdot 576 \text{ to/GWh} = 4\,201\,344 \text{ Tonnen CO}_2 \text{ pro Jahr} \\ \text{StromLuft} &= 8\,336 \text{ GWh/a} \cdot 576 \text{ to/GWh} = 4\,801\,536 \text{ Tonnen CO}_2 \text{ pro Jahr}\end{aligned}$$

Die direkte CO₂-Emissionsreduktion kann demnach bundesweit eine jährliche Größenordnung von etwa 1,7 Millionen Tonnen (5,89 Mio. t – 4,20 Mio. t) bis 3,6 Millionen Tonnen (7,76 Mio. t – 4,20 Mio. t) erreichen, wenn die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl ersetzt werden.

Im Jahr 2008 lagen die Emissionen bundesweit bei insgesamt 832 Millionen Tonnen CO₂.⁶² Die privaten Haushalte hatten einen Anteil von rund 121 Millionen Tonnen.⁶³ Wenn das theoretische Abwasserwärmepotenzial bezogen auf die privaten Haushalte nutzbar gemacht wird, können davon maximal die zuvor genannten CO₂-Emissionen eingespart werden. Ins Verhältnis gesetzt entspricht diese Einsparung, bezogen auf 121 Millionen Tonnen je Jahr CO₂-Emissionen, rund 2 bis 3 Prozent, wenn Erdgas bzw. Heizöl ersetzt werden. Wird Luftwärme genutzt, entstehen rund 14 Prozent höhere Emissionen als bei der Abwasserwärmennutzung.

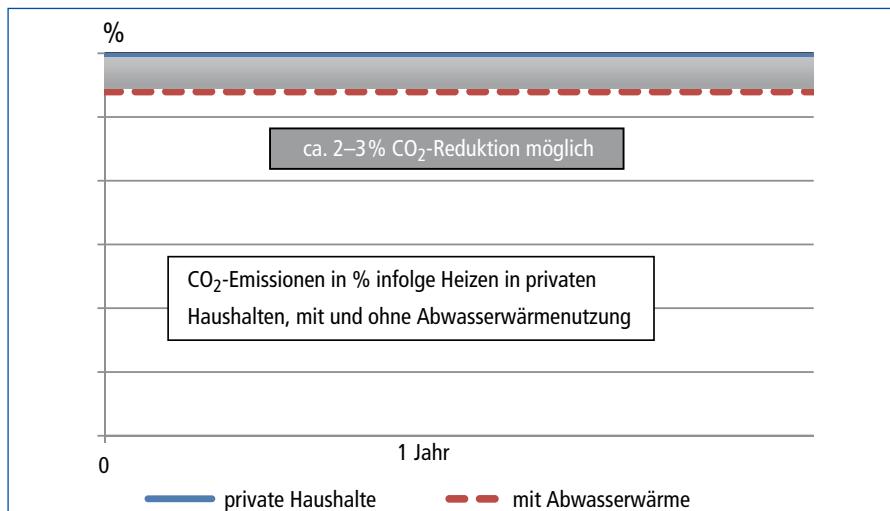


Abbildung 22: Reduzierung der CO₂-Emissionen in privaten Haushalten bei Nutzung des theoretischen Abwasserwärmepotenzials

62 vgl. [Des 2010, S. 298]

63 vgl. [Des 2011]

In Abbildung 22 ist das theoretische Einsparpotenzial bei den direkten CO₂-Emissionen durch Einsatz der Abwasserwärmennutzung in privaten Haushalten veranschaulicht. Die maximal mögliche prozentuale CO₂-Reduzierung ist farbig hinterlegt. Das tatsächlich erreichbare Potenzial ist kleiner, da das theoretische Potenzial nicht volumnäfänglich genutzt werden kann. Jedoch sollte so viel des theoretischen Potenzials wie möglich nutzbar gemacht werden.

2.6.2 Projektspezifischer Vergleich von CO₂-Emissionen

Bei einer projektspezifischen Betrachtung wird mithilfe der Abwasserwärmennutzung eine CO₂-Reduzierung auf 54 Prozent im Vergleich zum Einsatz von Heizöl und auf 71 Prozent im Vergleich zum Einsatz von Erdgas erreicht. Die Einsparungen bei den projektspezifischen CO₂-Emissionen sind in der nachfolgenden Abbildung 23 aufgeführt. Hierbei ist der CO₂-Emissionsfaktor zum Strommix für das Jahr 2012 berücksichtigt.

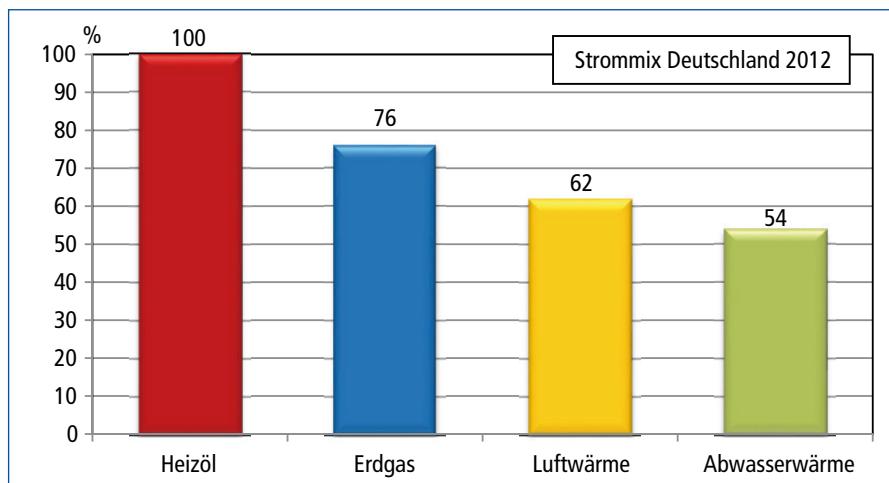


Abbildung 23: Vergleich CO₂-Emissionen Heizöl, Erdgas, Luftwärme, Abwasserwärme

2.7 Wärmetauschersysteme

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Grundprinzipien der Wärmetauschertechnik bei der Abwasserwärmennutzung aufgezeigt. Zunächst muss bei Wärmetauschersystemen unterschieden werden, ob diese bei einem Kanalneubau in die Kanalrohre integriert sind oder im bereits verlegten Kanalrohr nachgerüstet werden müssen. Des Weiteren gibt es Systeme, die extern im Bypass betrieben werden und solche, die direkt im Gebäude eingesetzt werden können.

2.7.1 Wärmetauscher in das Kanalrohr integriert

Dieser Typ Wärmetauscher kann als Rinnenwärmetauscher oder Rohrwärmetauscher ausgeführt werden. Abbildung 24 zeigt Rohr- und Rinnenwärmetauscher, die in die Kanalrohrsohle eingelassen sind.



Abbildung 24: Rohr- und Rinnenwärmetauscher
[Fotos: Buri/Kobel und Rabtherm Energy Systems/Rabtherm AG, Zürich]

Der Rohrwärmetauscher besteht aus Chromstahlrohren. Hier ist von schlechteren Wärmedurchgangswerten bzw. von größeren Übertragungsverlusten als beim Rinnenwärmetauscher auszugehen.

Für Rinnenwärmetauscher werden Edelstahlbleche verwendet. Diese werden beim Herstellungsprozess in die Sohle des Betonrohrs eingelassen. Im oberen rechten Teil der Abbildung 24 ist die Doppelblechkonstruktion detaillierter zu erkennen.

Die Rohre für den Vor- und Rücklauf werden entweder in die Betonrohrwandung oder sichtbar und zugänglich in das Profil integriert und haben je Betonrohrteilstück Verbindungen zum Wärmetauscher bzw. sind mit den Wärmetauscherteilstücken verbunden.

2.7.2 Wärmetauscher zur Nachrüstung im Kanalrohr

In der Mehrzahl der Fälle sind Wärmetauscher in bestehende Kanalsysteme einzubauen. Dies bedingt ein System, bei dem der Wärmetauscher im Kanalrohr nachgerüstet werden kann.

Dabei ist die hydraulische Beeinflussung des Kanalquerschnittes zu minimieren, damit die Leistungsfähigkeit des Abflusses nicht wesentlich reduziert wird. Es handelt sich bei diesem System um einen Rinnenwärmetauscher.

Das System wird inklusive seiner Vor- und Rücklaufleitungen im vorhandenen Kanalprofil montiert.

Hierbei stehen drei Formen des Wärmetauschers zur Verfügung. Die technischen Angaben zur Variante mit der Bezeichnung »Form A« können wie folgt zusammengefasst werden:⁶⁴

- Edelstahl 14404, Teilstücklänge = 1,20 m
- Leistung $0,9 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bei 800 kg/h (ohne Sielhautbildung)
- Leistung = $3,6 \text{ kW/m}^2$ bei $\Delta T = 4^\circ\text{K}$
- Einbau über bestehende Schächte
- Kanalabschnitte bis zu 200 m Länge
- Elemente sind wartungsfreundlich, da einzeln austauschbar
- das System kann jederzeit erweitert werden
- Abwassermenge im Kanalrohr soll mindestens 15 l/s betragen.

In Abbildung 25 sind die Bauformen A und B des Wärmetauschers dargestellt. Der Einbau erfolgt durch die Kanalschächte. Dabei werden die einzelnen Module im Kanal miteinander verbunden, sodass diese jederzeit erweiterbar und austauschbar sind.

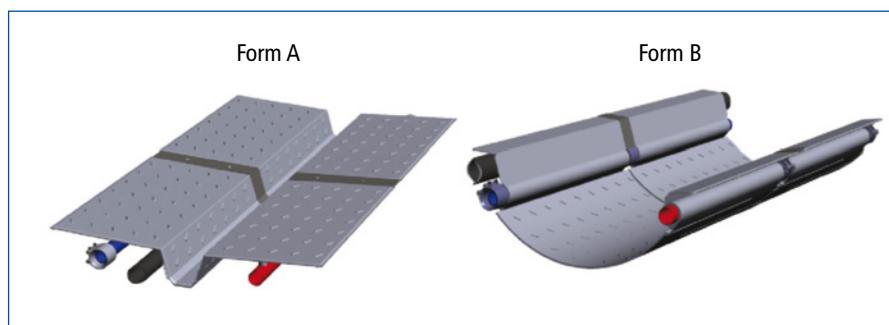


Abbildung 25: Rinnenwärmetauscher [Quelle: Uhrig Kanaltechnik GmbH, Geisingen]

64 vgl. [Uhr 2011]

2.7.3 Externe Wärmetauscher im Kanalnetz

Alternativ zum Einbau von Wärmetauscherstrecken in die Kanalhaltung steht ein System zur Verfügung, welches unabhängig vom Kanal betrieben werden kann.

Das System nutzt einen Abwasserteilstrom zur Wärmerückgewinnung. Dabei stehen der Wärmetauscher und die Wärmepumpe außerhalb des Kanals und sind oberirdisch zugänglich. Der Teilstrom wird zunächst vorgereinigt und durch eine Siebstufe geleitet. Der Abwasserteilstrom wird von Rechen- und Siebgut befreit, was Verstopfungen des nachgeschalteten Wärmetauschers verhindert.⁶⁵

Der außerhalb des Kanals aufgestellte Wärmetauscher kann als Doppelrohr- oder Plattenwärmetauscher ausgeführt werden.⁶⁶ Die Ausführung als Rohrbündelwärmetauscher ist ebenso möglich.⁶⁷

In Abbildung 26 werden die Entnahme des Abwasserteilstroms über einen Pumpenschacht mit Siebanlage sowie der Wärmetauscher mit Wärmepumpe dargestellt. Gleichzeitig ist ein Beispiel einer Technikzentrale eines Wohnkomplexes abgebildet.

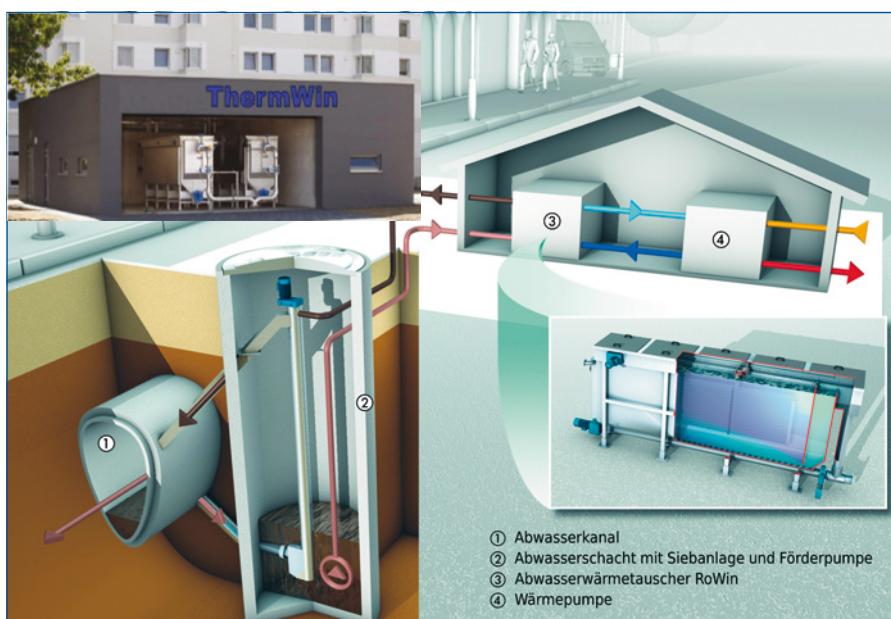


Abbildung 26: Bypass-Lösung [Quelle: Huber SE, Berching]

65 vgl. [Gel 2008, S. 4]

66 vgl. [Mil 2011]

67 vgl. [DWA 2009]

In Abbildung 27 ist der oberirdisch aufgestellte Wärmetauscher deutlich erkennbar. Die Vorteile einer oberirdischen Aufstellung liegen einerseits in der Zugänglichkeit des Systems und andererseits in der Vergleichmäßigung des Abwasserstroms durch die Beschickung des Systems. Somit entsteht letztlich auch eine gleichmäßige Wärmeleistung.

Die Wärmetauscherreinigung im Kanal kann entfallen. Sämtliche Wartungen sind oberirdisch durchführbar, wobei zusätzlich die Entsorgung des Siebgutes zu berücksichtigen ist.

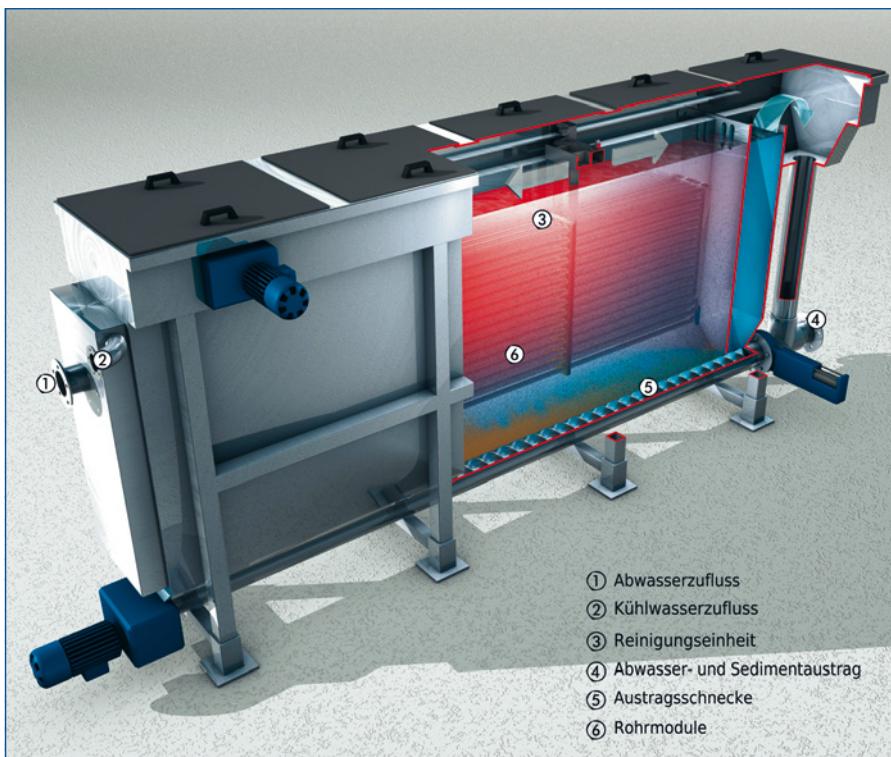


Abbildung 27: Externer Wärmetauscher [Quelle: Huber SE, Berching]

2.7.4 Wärmetauscher im Gebäude

Zur Entziehung der Wärme aus dem Abwasserstrom werden inzwischen auch Wärmetauscher für eine direkte Installation im Gebäude angeboten. Diese Systeme sind zum Teil für eine Direktübertragung auf die Warmwassernutzung gedacht oder sind mit Wärmepumpen für eine anderweitige Wärmeübertragung ausgerüstet. Dazu zählen beispielsweise folgende technische Möglichkeiten und Systeme:

Halbschalen-Absorber

Dieser Typ wird auch als Doppelmantelwärmeübertrager bezeichnet. Er ist aus Kupfer gefertigt, wird an der Abwassersammelleitung montiert und zur Vermeidung von Verlusten gedämmt.



Abbildung 28: Halbschalen-Absorber [Foto: Industrie-Abwasserwärmetauscher von PEWO]

Druckrohrwärmeübertrager

Dieser Typ wird insbesondere für den Wärmeentzug bei Prozessabwässern in der Industrie eingesetzt. Generell ist der Einsatz in Abwasserdruckrohren innerhalb des Kanalsystems auch möglich. Selbst Großprojekte⁶⁸ wurden bereits mit Abwasserwärmeentzug in Druckrohren realisiert.

Der hier abgebildete Wärmetauscher besteht aus einer Edelstahllegierung und ist bis zu einer Nennweite von 2000 Millimetern verfügbar. Das Druckrohr wird in Teile-

68 vgl. [Ham 2012, S. 84f.]

abschnitten durch den Wärmeübertrager ersetzt. Durch die Doppelwandung wird die Wärme im Gegenstrom entzogen und auf einen Wasserkreislauf übertragen.



Abbildung 29: Abwasserdruckrohr-Wärmeübertrager
[Foto: Rabtherm Energy Systems/Rabtherm AG, Zürich,
www.rabtherm.com]

Flexible Wärmeübertrager

Der flexible Wärmeübertrager eignet sich ebenso für Einsätze bei industriellen wie landwirtschaftlichen Produktionsprozessen.

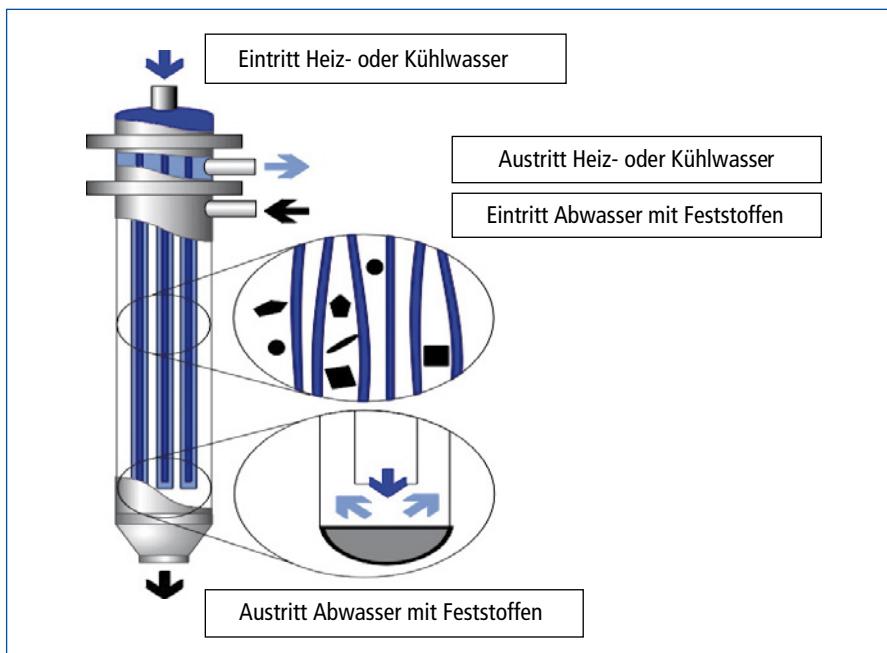


Abbildung 30: Flexibler Wärmeübertrager [Quelle: Calorplast Wärmetechnik GmbH, Krefeld,
www.calorplast.de]

Der Wärmeübertrager aus Kunststoff passt sich den Strömungsverhältnissen an und wirkt so der Verstopfungsgefahr entgegen.

Wärmeübertrager für offene Strömungen

Bei dieser Variante strömt das Abwasser frei über den Wärmetauscher. Diese Konstruktion wird hier mithilfe von Wärmeübertragerplatten ausgeführt. Das System begünstigt die Selbstreinigungsleistung und wird insbesondere bei groben Verunreinigungen im Abwasser eingesetzt.

Es ist für einzelne Duschen genauso wie für Industrieanlagen bis zu 120 Kubikmetern je Stunde lieferbar. Die Wärmeübertragerplatten sind in Abbildung 31 dargestellt.



Abbildung 31: Wärmeübertrager für offene Strömung, Nutzwassermenge ab 1 l/s
[Fotos: Firma Bernhard FERCHER, Graz, www.fercher.at]

In Abbildung 32 wird der gesamte Systemaufbau zur Filmströmung bildhaft gezeigt. Im oberen Bild ist ein installierter Wärmetauscher auf Basis der Filmströmung (offene Strömung) dargestellt. Das untere Bild zeigt die technischen Komponenten zur Einbindung der Wärmerückgewinnung und der Abwasserwärmepumpe in einen Heizungskreislauf.

Abbildung 33 verdeutlicht den gesamten Systemaufbau zur Abwasserwärmeverwendung vom Wärmetauscher bis zum Heizungsvor- und -rücklauf mithilfe einer technischen Schemadarstellung.

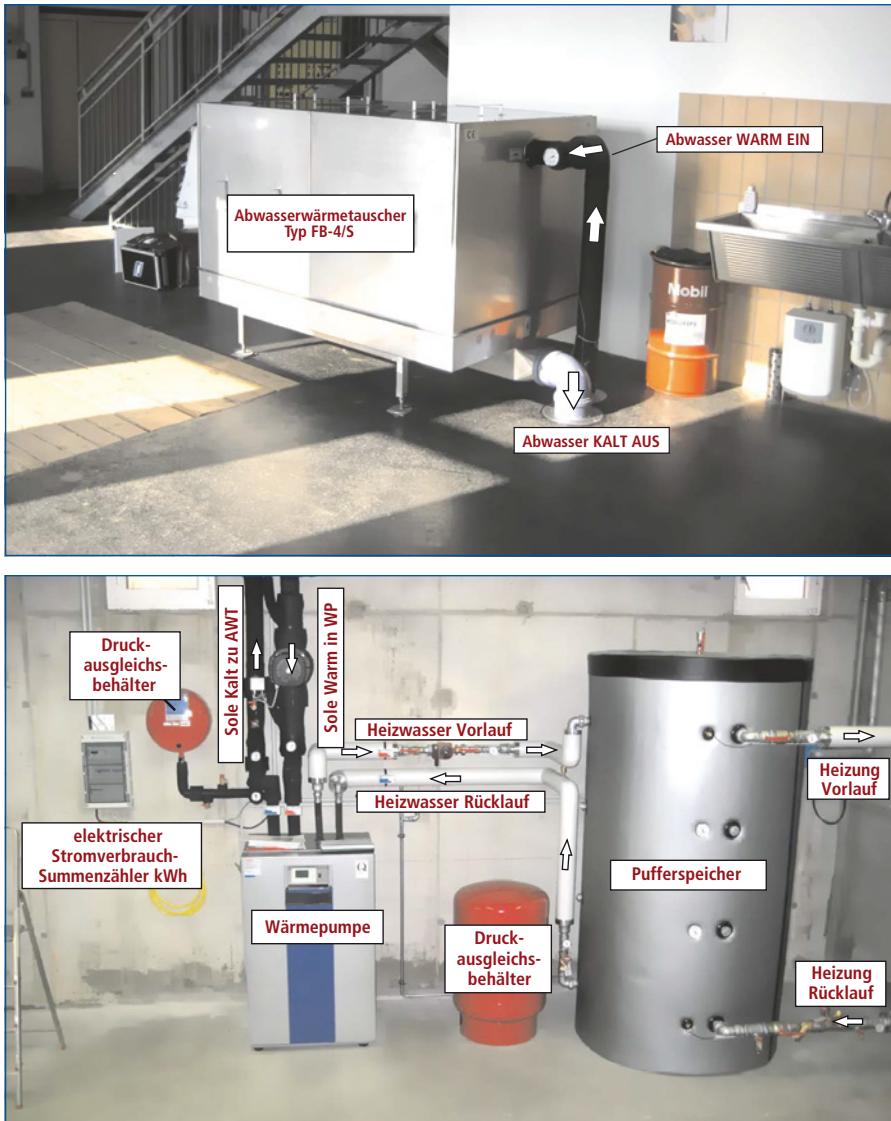


Abbildung 32: Systemaufbau mit Wärmetauscher, Wärmepumpe, Pufferspeicher
[Fotos/Angaben: Firma Bernhard FERCHER, Graz, www.fercher.at]

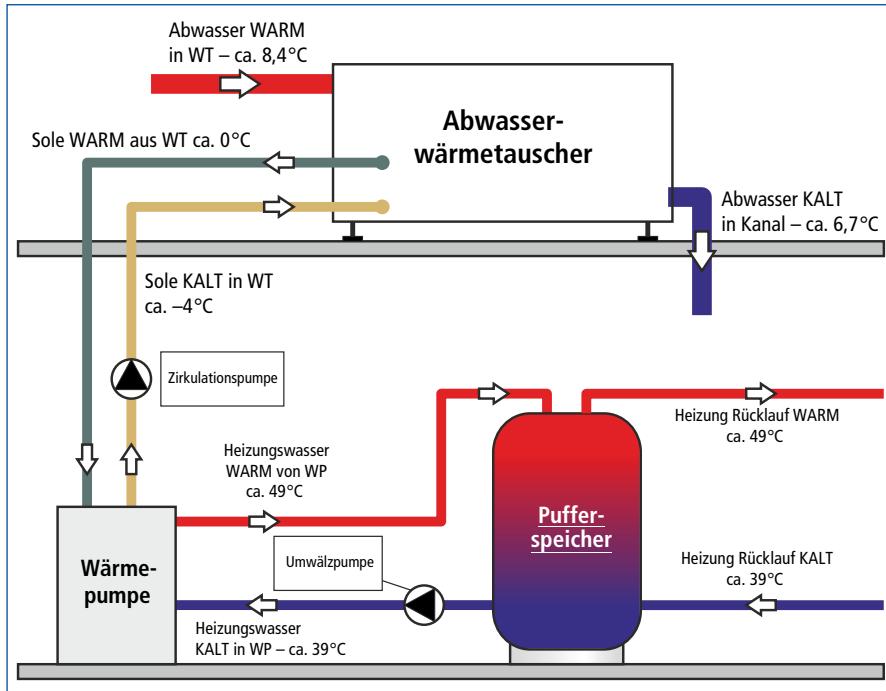


Abbildung 33: Systemaufbau zur Abwasserwärmeverwendung
[Quelle: Firma Bernhard FERCHER, Graz]

In Abbildung 34 ist eine Variante des Abwasserwärmetauschers dargestellt. Dieser Typ wird insbesondere in Wohn- und Bürogebäuden, Hotels, Gaststätten, Kasernen, Heimen und Kantinen eingesetzt.

Die Abbildung zeigt zwei in Reihe geschaltete Wärmetauscher zur Erwärmung des Frischwassers. Die Nebeninstallationen wie Sprühwassereinrichtung mit Vorratsbehälter und Pumpe sind ebenso dargestellt. Diese Technik eignet sich hervorragend für Installationen im Untergeschoss und ist permanent zugänglich.

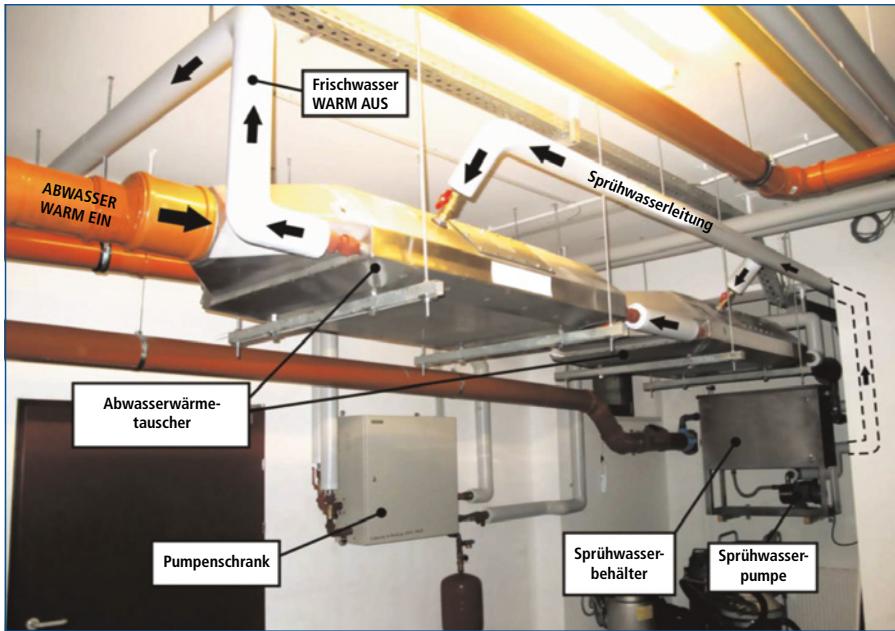


Abbildung 34: Wärmeübertrager für offene Strömung, Nutzwassermenge bis 1 l/s
[Foto/Angaben: Firma Bernhard FERCHER, Graz]

Modul für den Schachteinbau

Das Modul besteht aus einer Wärmepumpe mit Steuerung und einem Rohrbündel-Wärmetauscher inklusive Filter.

Der Wärmetauscher wird in einem zwischengeschalteten Schacht oder Behälter eingesetzt, in den das Abwasser des Gebäudekomplexes eingeleitet wird. Dabei wird das Abwasser zunächst im Schacht aufgestaut und gefiltert.

Das System ist beispielsweise für Schwimmbäder, Seniorenheime, Krankenhäuser, Hotels und Wohnanlagen gedacht.

In Abbildung 35 wird der Wärmetauscher beim Einbau in den Schacht gezeigt.



Abbildung 35: Abwasserschacht zur Abwasserwärmerrückgewinnung
[Foto: Feka-Energiesysteme AG, Bad Ragaz]

Energie-Trichter

Der Energie-Trichter wurde für häusliches und industrielles Abwasser entwickelt. Das Abwasser gelangt zunächst in einen Trichter und wird darin aufgestaut. Mithilfe eines Außenwandwärmevertragers wird dem Abwasser im Trichter die Wärme entzogen, wobei eine Direktverdampfung des Kältemittels zum Einsatz kommt.

Der Energie-Trichter soll in Wohnhäusern und im gewerblichen Bereich eingesetzt werden. Der Systemaufbau ist in Abbildung 36 schematisiert dargestellt.

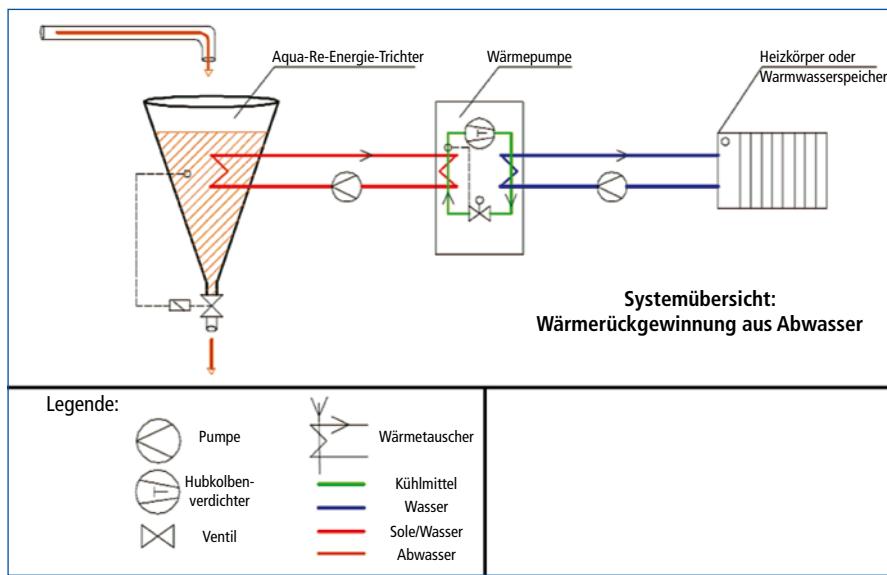


Abbildung 36: Energie-Trichter [Quelle: DeTec GmbH, Detmold]

Wärmeübertrager für Duschen und für die Trinkwasservorwärmung

Soll die Wärme einzelnen Duschen bzw. Duschanlagen direkt entzogen werden, eignet sich ein speziell entwickelter Doppelrohrwärmeübertrager.

Die durch den Duschvorgang rückgewonnene Wärmeenergie, welche durch das erwärmte Wasser des im Doppelrohr fließenden Wasserkreislaufs gewonnen wird, kann entweder zur Unterstützung des Heizsystems dem Heizungsvorlauf oder direkt wieder der Dusche und somit der Warmwasserversorgung zugeführt werden.

Der Doppelrohrwärmetauscher kann einerseits im Rohrleitungssystem eingebaut werden, wobei eine Trennung des Grauwassers Voraussetzung ist, oder er kann in der Duschwanne installiert werden. Hierfür wird eine spezielle Duschwanne benötigt.

Der Systemaufbau zur Unterstützung der Warmwasserversorgung durch Wärmeentnahme im Abflussrohr und die spezielle Duschwanne als Wärmetauschereinheit sind in Abbildung 37 aufgeführt. Die Systeme können insbesondere bei der Wärmerückgewinnung in Hotels und Schwimmbädern eingesetzt werden. Ebenfalls ist die Möglichkeit des Wärmeentzugs in einer Abflussrinne gegeben und bildhaft verdeutlicht.

Alternativen sind als Wärmetauscherduschrinne verfügbar.⁶⁹

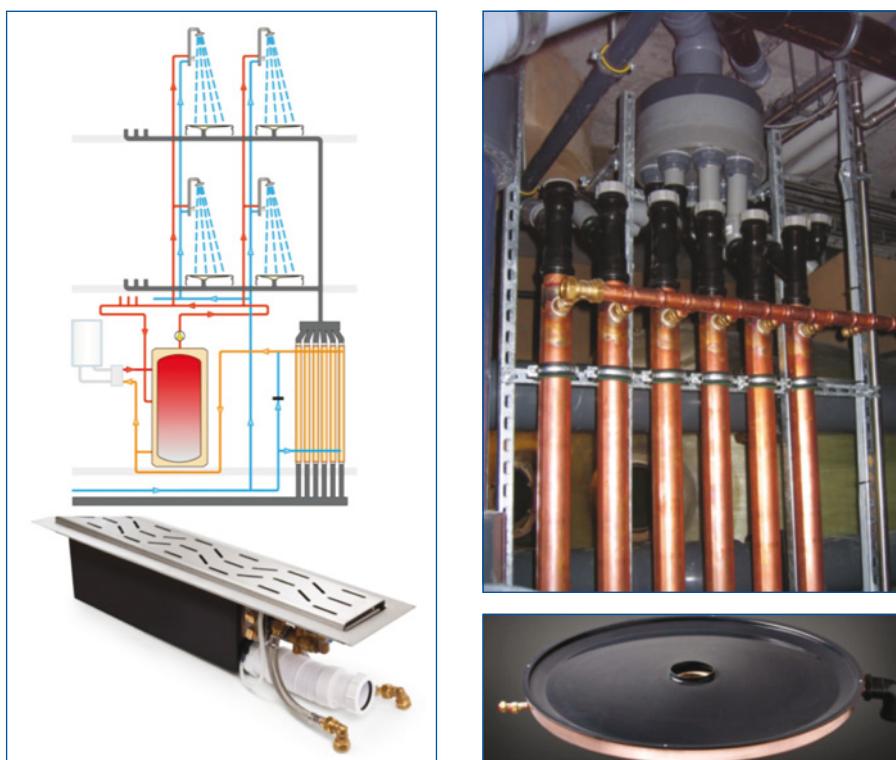
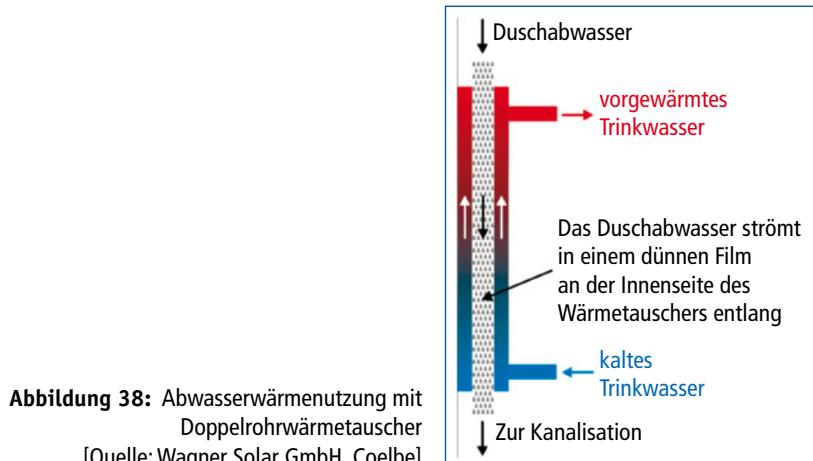


Abbildung 37: Abwasserwärmevernutzung bei Einzelverbrauchern [Quelle: Hei-tech b.v., Emmen]

69 vgl. [ACO 2015, S. 1 ff.]

In Abbildung 38 ist der Doppelrohrwärmetauscher im Schnitt dargestellt. Hier wird die Wirkungsweise der Wärmerückgewinnung zur Nutzung der Trinkwasservorerwärmung anhand des Doppelrohrwärmetauschers skizziert.



Ein weiteres auf dem Markt verfügbares System wird als Gegenstrom-Wärmetauscher ausgeführt, mit dessen Hilfe zufließendes Leitungswasser erwärmt wird.



Abbildung 39: Plattenwärmetauscher für Warmwassererwärmung
[Quelle: Rain-o-tec, Martinsberg, www.rain-o-tec.at]

Das System (Abbildung 39) kann beispielsweise in folgenden Bereichen eingesetzt werden und ist jederzeit nachrüstbar:⁷⁰

- Hallenbäder, Sportstätten
- Großküchen oder Kantinen ab 200 Mahlzeiten/Tag, Einsatz nach Fettabscheider
- Duschen und Waschbecken ab 2000 Litern/Tag
- Hotels, Pflege-, Seniorenheime, Sportstätten, Justizanstalten usw.
- Waschanlagen
- Wohnbauten mit Trennentwässerung ohne Fäkalabwässer
- lebensmittelverarbeitende Industrie.

Neben dem Plattenwärmemtauscher in Abbildung 39 steht vom Hersteller ergänzend ein statisches Behältersystem zur Verfügung. Im Behälter wird Abwasser gesammelt und innerhalb eines bestimmten Zeitraumes erfolgt der Wärmeentzug.

Fazit:

Die aufgeführten Wärmetauschersysteme für den Einsatz im Gebäude sollten im Einzelfall frühzeitig hinsichtlich einer Nutzungsmöglichkeit berücksichtigt werden. Gleicher gilt für Systeme im Bereich der Kanalisation.

Die nachfolgenden Betrachtungen zu energetischen Varianten, die sich an bauordnungsrechtlichen Nachweisen zum Wärmeschutz und am Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien orientieren, beziehen sich mit Blick auf eine Abwasserwärmennutzung auf Systeme, die die Wärme aus dem Kanalnetz zurückgewinnen und für die Raumheizung einsetzen.

2.8 Energetische Varianten von Gebäudehülle und Gebäudetechnik

Aufgrund der Kombinationsmöglichkeiten der Standards von Gebäudehülle und Wärmequelle bzw. Heiztechnik sind im Planungsprozess frühzeitig Varianten zu vergleichen. Dieser Vergleich dient einerseits der Entscheidungsfindung auf der technischen Seite und andererseits insbesondere auf der wirtschaftlichen Ebene. Letztlich wird in der Regel die technische Ebene durch die wirtschaftliche Ebene bestimmt. Dieses Grundprinzip besteht vor allem beim Wirtschaftsbau und beim gewerblichen Wohnungsbau.

Von daher ist es erfolgversprechender für die Umsetzung einer Abwasserwärmennutzungsanlage, wenn den Entscheidern wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die nicht nur die Investitionskosten beinhalten, aufgezeigt werden.

70 vgl. [RAI 2015]

Grundlage von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind energetische Betrachtungen zu den Varianten hinsichtlich Gebäudehülle und Heiztechnik. Dabei ist die Abwasserwärmeverwendung mit in den Fokus zu rücken.

Dazu sind Berechnungen nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) durchzuführen und Nachweise für das Einhalten des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) zu führen.

Am Beispiel von eigenen Untersuchungen⁷¹ zu vier Varianten wird die Vorgehensweise aufgezeigt, die bei einem konkreten Projekt angewendet werden kann. Anhand der nachfolgend aufgeföhrten Zusammenfassung kann der Anwender Schritt für Schritt, auch ohne eigene Vergleichsberechnungen anstellen zu müssen, erste Wirtschaftlichkeitsverhältnisse zum Einsatz der Abwasserwärme abschätzen.

Energetische Berechnungen zu Varianten von Gebäudehülle und Wärm 技术

Bei der Heiztechnik werden Varianten unterschieden, die einer Ersatzmaßnahme (Unterschreitung der EnEV um mindestens 15 Prozent) oder der Nutzung von erneuerbaren Energien bzw. Abwärme (Abwasser, Umweltwärme bzw. Biomasse mit einem Anteil von mindestens 50 Prozent) nach EEWärmeG entsprechen.

Bei den Ersatzmaßnahmen werden die Abwasserwärmeverwendung und der fossile Brennstoff Heizöl zugrunde gelegt. Die Berechnungen zu den Varianten basieren auf der EnEV 2009.

Die Ergebnisse sollten auch, nachdem die aktualisierte EnEV im Jahr 2014 verbindlich wurde, für den hier beabsichtigten Leitfaden relevant sein. Zwar sind bessere Ergebnisse des Jahres-Primärenergiebedarfs unter dem Ansatz der EnEV 2014 für Elektro-Wärmepumpen (Umweltwärme, Abwasserwärmeverwendung) zu erwarten, da der Primärenergiefaktor von 2,6 auf 2,4 gesenkt wurde. Doch werden deutlichere Unterschiede nach der EnEV 2013/2014 erst ab dem Jahr 2016 relevant sein, wenn der Primärenergiefaktor auf 1,8 gesenkt und die Anforderungen beim Neubau weiter erhöht werden.

Dies wird die wirtschaftlichen Randbedingungen zur Abwasserwärmeverwendung weiter verbessern. Der hier aufgeföhrte Vergleich auf Basis der EnEV 2009 ist demzufolge zunächst weiterhin vertretbar. Es werden nachfolgende Varianten betrachtet:

- **Heizölkessel** (Ersatzmaßnahme: EnEV um 15 Prozent unterschreiten), **Variante »EnEV -15 %«**
- monovalente Sole-Wasser-Wärmepumpe, Quelle = **Abwasserwärme** (Ersatzmaßnahme, Abwärme ≥ 50 Prozent), **Variante »Abwasserwärme«**

71 vgl. [Ham 2012]

- bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe, Nachheizung mit Heizstab für Spitzenlast, erneuerbare Energiequelle = **Außenluft** (Einsatz von Umweltwärme \geq 50 Prozent), **Variante »Umweltwärme«**
- Biomassekessel, erneuerbare Energiequelle = **Pellets, Variante »Biomasse«.**

Die eigenen Untersuchungen orientierten sich an unterschiedlichen Typen von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Die jeweils angegebene Flächengröße zu den Objekttypen beziffert die maximale beheizte Fläche als Referenzfläche. Je Objekttyp wurde ein Gebäude mit vorliegenden geometrischen Objektdaten ausgewählt und einer BKI⁷²-Gebäudeart zugeordnet. Andere gebäudespezifische Angaben in BKI sind hier nicht relevant. Nachfolgend werden die Objekttypen mit Bezug zur BKI-Gebäudeart aufgeführt. Es wurden insgesamt 15 Objekttypen untersucht:

- Wohnanlagen:
 - bis 250 m² (Einfamilienhaus)⁷³
 - bis 400 m² (Einfamilienhaus mit Einlieger)⁷⁴
 - bis 700 m² (Einfamilienhaus mit Einlieger)⁷⁵
 - bis 1 700 m² (Wohnanlage, bestehend aus 2 Mehrfamilienhäusern, eine Heizzentrale)⁷⁶
 - bis 6 000 m² (8-geschossige Wohnanlage)⁷⁷
- Büro/Verwaltung:
 - Büro/Verwaltung bis 1 800 m² (mit Flachdach)⁷⁸
 - Verwaltungsgebäude bis 5 000 m² (Gebäudehülle gemäß Objekttyp Hotel)
- Handelsobjekte mit 17 °C Innenraumtemperatur für energetische Bilanzierung (Flachdächer):
 - Großhandel bis 700 m²⁷⁹
 - Einzelhandel bis 2 000 m² mit Kühlprodukten und Lüftung⁸⁰
 - Einzelhandel bis 4 000 m² mit Kühlprodukten und Lüftung⁸¹
 - Handelsobjekt bis 10 000 m² mit Lüftung (z. B. Baumarkt, eingeschossig, Raumhöhe 8,50 m)⁸²

72 vgl. [BKI 2011]

73 vgl. [BKI 2011, S. 296, 6100-762]

74 vgl. [BKI 2011, S. 251, 6100-225]

75 vgl. [BKI 2011, S. 277, 6100-328]

76 vgl. [BKI 2011, S. 452, 6100-659]

77 vgl. [BKI 2011, S. 453, 6100-629]

78 vgl. [BKI 2011, S. 91, 1300-088]

79 vgl. [BKI 2011, S. 586, 7300-052]

80 vgl. [BKI 2011, S. 558, 7200-045]

81 vgl. [BKI 2011, S. 559, 7200-030]

82 vgl. [BKI 2011, S. 578, 7100-026]

- Handelsobjekt bis 25 000 m² mit Lüftung (z. B. SB-Warenhaus, Einkaufszentrum oder Möbelhaus, 2-geschossig, Raumhöhe 4,25 m)⁸³
- Hotel bis 5 000 m² ⁸⁴
- Kindergarten bis 1 000 m² (Flachdach)⁸⁵
- Schule bis 3 000 m² ⁸⁶.

Die gewählten Projekte aus dem Bereich Handel können bei gleichen Randbedingungen auch für die Beurteilung im Einsatzbereich von Gewerbe- und Logistikhallen gleicher Bauart verwendet werden.

Die detaillierten Grundlagen der Berechnungen können der Veröffentlichung aus dem Jahr 2012 entnommen werden.⁸⁷

Die gewählten Dämmmaterialstärken (in Zentimeter) je Variante sind für die Dachflächen, Fassaden und Böden in den folgenden Ergebnistabellen erkennbar. Außerdem sind hier auch die Flächenanteile und die Ergebnisse für die gewählten Objekttypen aufgeführt. Es ist wichtig für den Anwender zu erkennen, dass unterschiedliche Maßnahmen zum Erreichen der bauordnungsrechtlichen Vorgaben je Variante notwendig sind und generell ein Variantenvergleich beim konkreten Projekt durchgeführt werden sollte.

83 vgl. [BKI 2011, S. 578, 7100-026]

84 vgl. [BKI 2011, S. 113, 1300-061]

85 vgl. [BKI 2011, S. 192, 4400-115]

86 vgl. [BKI 2011, S. 149, 4100-017]

87 vgl. [Ham 2012]

Tabelle 12: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Wohnanlagen

Wohnanlagen						
Projekttyp/ Projekt	Temperatur = 19°C					Fläche in m ²
	EnEV -15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holzpellets		
Wohnen						
bis 250 m ² , beheizte Fläche = 241,77 m ²	Qp = -16 % HT = -35 % Dach: 20 cm Wand: 16 cm Boden: 12 cm	Qp = -25 % HT = -2 % Dach: 12 cm Wand: 4 cm Boden: 8 cm	Qp = -9 % HT = -9 % Dach: 12 cm Wand: 6 cm Boden: 8 cm	Qp = -57 % HT = -2 % Dach: 12 cm Wand: 4 cm Boden: 8 cm		147 199 128
bis 400 m ² , beheizte Fläche = 334,25 m ²	Qp = -15 % HT = -28 % Dach: 30 cm Wand: 16 cm Boden: 12 cm	Qp = -32 % HT = -4 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 8 cm	Qp = -12 % HT = -4 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 8 cm	Qp = -61 % HT = -4 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 8 cm		175 240 164
bis 700 m ² , beheizte Fläche = 670,98 m ²	Qp = -16 % HT = -24 % Dach: 30 cm Wand: 16 cm W. Erdreich: 12 cm Boden: 12 cm	Qp = -28 % HT = -6 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm W. Erdreich: 8 cm Boden: 8 cm	Qp = -15 % HT = -6 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm W. Erdreich: 8 cm Boden: 8 cm	Qp = -62 % HT = -6 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm W. Erdreich: 8 cm Boden: 8 cm		183 337 100 202
bis 1 700 m ² , beheizte Fläche = 1700 m ²	Qp = -Ω16 % HT = -35 % Dach: 28 cm Wand: 14 cm Boden: 16 cm Fenster: 1,4	Qp = -30 % HT = 0 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 6 cm Fenster: 1,9	Qp = -8 % HT = 0 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 6 cm Fenster: 1,9	Qp = -60 % HT = 0 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 6 cm Fenster: 1,9		562 1204 560 142
bis 6 000 m ² , beheizte Fläche = 5293,4 m ²	Qp = -15 % HT = -10 % Dach: 16 cm Wand: 12 cm Boden: 6 cm	Qp = -25 % HT = 0 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 4 cm	Qp = -11 % HT = 0 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 4 cm	Qp = -45 % HT = 0 % Dach: 14 cm Wand: 6 cm Boden: 4 cm		759 2402 759

Nur bei der Variante mit fossilem Brennstoff ist die EnEV um mindestens 15 Prozent zu unterschreiten, damit das EEWärmeG erfüllt wird. Die Ersatzmaßnahme »Abwärmennutzung/Abwasserwärmennutzung« erfüllt das EEWärmeG gemäß § 7 Absatz 1 Nummer a, wenn der Wärmeenergiebedarf mindestens zu 50 Prozent aus der Abwärme bzw. dem Abwasser gedeckt wird.

Bei den energetischen Betrachtungen zu den Varianten mit Abwasserwärme, Umweltwärme und Biomasse sind auf Grund der Einhaltung des EEWärmeG als Zielsetzung der Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p) und der Transmissionswärmeverlust H_T bzw. der mittlere U-Wert bei Nichtwohngebäuden mit 100 Prozent der EnEV-Anforderungen und nicht mit mindestens minus 15 Prozent unter den EnEV-Anforderungen einzuhalten.

Tabelle 13: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Kindergarten

Kindergarten		Temperatur = 21 °C				Fläche
Projekttyp/ Projekt	Kindergarten	EnEV –15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holzpellets	in m ²
beheizte Fläche = 856,00 m ²	$Q_p = -15\%$	$Q_p = -1\%$	$Q_p = -1\%$	$Q_p = -62\%$		
	üopak: -72 %	üopak: -11 %	üopak: -31 %	üopak: -2 %		
	ütransp.: -26 %	ütransp.: -26 %	ütransp.: -26 %	ütransp.: 0 %		
	üLichtkuppel: -13 %	üLichtkuppel: -13 %	üLichtkuppel: -13 %	üLichtkuppel: -13 %		
	Lichtkuppel: 2,7	Lichtkuppel: 2,7	Lichtkuppel: 2,7	Lichtkuppel: 2,7		
	Fenster: 1,4	Fenster: 1,9	Fenster: 1,9	Fenster: 1,9	185	
	Dach: 36 cm	Dach: 10 cm	Dach: 16 cm	Dach: 8 cm	824	
	Wand: 16 cm	Wand: 6 cm	Wand: 10 cm	Wand: 6 cm	223	
	Boden: 24 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	856	

Tabelle 14: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Hotel

Hotel		Temperatur = 21 °C				Fläche
Projekttyp/ Projekt	Hotel	EnEV –15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holzpellets	in m ²
beheizte Fläche = 4846,00 m ²	$Q_p = -15\%$	$Q_p = -11\%$	$Q_p = -3\%$	$Q_p = -54\%$		
	üopak: -48 %	üopak: -3 %	üopak: -3 %	üopak: -3 %		
	ütransp.: -26 %	ütransp.: 0 %	ütransp.: 0 %	ütransp.: 0 %		
	Fenster: 1,4	Fenster: 1,9	Fenster: 1,9	Fenster: 1,9	773	
	Dach: 16 cm	Dach: 10 cm	Dach: 10 cm	Dach: 10 cm	960	
	Fertigteil: 16 cm	Fertigteil: 6 cm	Fertigteil: 6 cm	Fertigteil: 6 cm	243	
	Wand: 20 cm	Wand: 10 cm	Wand: 10 cm	Wand: 10 cm	2137	
	Boden: 12 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	960	

Tabelle 15: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Schule

Schule		Temperatur = 21 °C				Fläche
Projekttyp/ Projekt		EnEV -15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holzpellets	in m ²
Schule						
beheizte Fläche = 2 676,00 m ²	Qp = -15 %	Qp = -7 %	Qp = 0 %	Qp = -66 %		
	üopak: -73 %	üopak: -5 %	üopak: -13 %	üopak: -5 %		
	ütransp.: -42 %	ütransp.: -26 %	ütransp.: -26 %	ütransp.: -26 %		
	Fenster: 1,1	Fenster: 1,4	Fenster: 1,4	Fenster: 1,4	770	
	Dach: 34 cm	Dach: 10 cm	Dach: 14 cm	Dach: 10 cm	1 338	
	Wand: 30 cm	Wand: 10 cm	Wand: 10 cm	Wand: 10 cm	1 150	
	Boden: 22 cm	Boden: 4 cm	Boden: 4 cm	Boden: 4 cm	1 338	

Tabelle 16: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Bürogebäude

Büro- und Verwaltungsgebäude		Temperatur = 21 °C				Fläche
Projekttyp/ Projekt		EnEV -15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holzpellets	in m ²
Büro/ Verwaltung						
Büro bis 1 800 m ² beheizte Fläche = 1 785,2 m ²	Qp = -15 %	Qp = -4 %	Qp = -1 %	Qp = -46 %		
	üopak: -74 %	üopak: -1 %	üopak: -14 %	üopak: -6 %		
	ütransp.: -26 %	ütransp.: -26 %	ütransp.: -26 %	ütransp.: 0 %		
	Fenster: 1,41	Fenster: 1,4	Fenster: 1,4	Fenster: 1,9	368	
	Dach: 36 cm	Dach: 14 cm	Dach: 14 cm	Dach: 12 cm	664	
	Wand: 30 cm	Wand: 6 cm	Wand: 8 cm	Wand: 6 cm	833	
	Boden: 30 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	664	
Büro bis 5 000 m ² beheizte Fläche = 4 846,00 m ²	Qp = -15 %	Qp = -10 %	Qp = -3 %	Qp = -47 %		
	üopak: -62 %	üopak: -2 %	üopak: -2 %	üopak: -2 %		
	ütransp.: -32 %	ütransp.: -32 %	ütransp.: -32 %	ütransp.: 0 %		
	Fenster: 1,3	Fenster: 1,3	Fenster: 1,3	Fenster: 1,9	774	
	Dach: 28 cm	Dach: 10 cm	Dach: 10 cm	Dach: 10 cm	953	
	Wand: 24 cm	Wand: 8 cm	Wand: 8 cm	Wand: 8 cm	2 137	
	Boden: 20 cm	Boden: 8 cm	Boden: 8 cm	Boden: 8 cm	953	

Die Tabellen 12 bis 18 zeigen für die untersuchten Objekttypen, dass die Variante »EnEV -15 %« die Anforderungen des EEWärmeG jeweils nur mit deutlich höheren Dämmstärken erreicht. Unter dem Aspekt, dass sich auf Grundlage der EnEV im Jahr 2016 die Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf um weitere 25 Prozent erhöhen werden, ist davon auszugehen, dass es im Wesentlichen auf die Wahl der

Wärmeenergiequellen ankommen wird, damit die Anforderungen dann bautechnisch noch sinnvoll eingehalten werden können. Bei den übrigen drei Varianten sind bautechnisch sinnvolle Dämmstärken oder monolithische Bauweisen realisierbar.

Sollen darüber hinaus noch KfW-Effizienzhausstandards eingehalten werden, wird deutlich, welche Planungstiefe von Beginn an erreicht werden muss. Nur dadurch kann die Auswahl der Baumaterialien für die Gebäudehülle und der Wärmequelle für die Heiztechnik frühzeitig erfolgen. Dies hat auch von Beginn an Einfluss auf das statische Konzept, den Schallschutz, den Brandschutz und andere planungs- und kostenrelevante Randbedingungen, die zum nachhaltigen Gesamterfolg der Immobilie beitragen.

Tabelle 17: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Handelsflächen bis 4 000 m²

Handelobjekte bis 4 000 m ² , Innenraumtemperatur für EnEV = 17 °C						
Projekttyp/ Projekt	Temperatur = 17 °C				Fläche	
	EnEV –15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holzpellets	in m ²	
Handel						
Großhandel bis 700 m ² , beheizte Fläche = 640 m ²	Qp = –15 %	Qp = –8 %	Qp = –1 %	Qp = –28 %		
	üopak: –77 %	üopak: –27 %	üopak: –54 %	üopak: –22 %		
	ütransp.: –54 %	ütransp.: 0 %	ütransp.: –54 %	ütransp.: 0 %		
	üLichtband: –45 %	üLichtband: –3 %	üLichtband: –3 %	üLichtband: –3 %		
	Lichtband: 1,7	Lichtband: 3,0	Lichtband: 3,0	Lichtband: 3,0	40	
	Fenster: 1,3	Fenster: 2,8	Fenster: 1,3	Fenster: 2,8	19	
	Dach: 28 cm	Dach: 10 cm	Dach: 12 cm	Dach: 8 cm	600	
	Wand: 24 cm	Wand: 8 cm	Wand: 10 cm	Wand: 8 cm	492	
	Boden: 20 cm	Boden: 4 cm	Boden: 6 cm	Boden: 4 cm	640	
Einzelhandel bis 2000 m ² , mit Kühl- produkten, beheizte Fläche = 1 848 m ²	Qp = –15 %	Qp = 0 %	Qp = –1 %	Qp = –31 %		
	üopak: –58 %	üopak: –48 %	üopak: –51 %	üopak: –40 %		
	ütransp.: –54 %	ütransp.: –54 %	ütransp.: –54 %	ütransp.: –32 %		
	Fenster: 1,3	Fenster: 1,3	Fenster: 1,3	Fenster: 1,9	160	
	Dach: 18 cm	Dach: 12 cm	Dach: 14 cm	Dach: 10 cm	1 848	
	Wand: 20 cm	Wand: 14 cm	Wand: 14 cm	Wand: 10 cm	862	
	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	1 848	
Einzelhandel bis 4000 m ² , mit Kühl- produkten, beheizte Fläche = 3 777 m ²	Qp = –15 %	Qp = 0 %	Qp = 0 %	Qp = –31 %		
	üopak: –65 %	üopak: –53 %	üopak: –54 %	üopak: –32 %		
	ütransp.: –54 %	ütransp.: –54 %	ütransp.: –54 %	ütransp.: –32 %		
	Fenster: 1,3	Fenster: 1,3	Fenster: 1,3	Fenster: 1,9	58	
	Dach: 26 cm	Dach: 16 cm	Dach: 18 cm	Dach: 12 cm	3 777	
	Wand: 20 cm	Wand: 20 cm	Wand: 16 cm	Wand: 10 cm	1 697	
	Boden: 8 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 4 cm	3 777	

Die Ergebnisse der Handelsflächen werden in den Tabellen 17 und 18 gesondert aufgeführt. Die Unterscheidungen sind von Bedeutung, da die Raumluft- und Heiztechnik bei diesen Gebäuden beispielsweise durch Umluftbetrieb, Abwärmerückgewinnung durch Kühltheken oder die Wärme aus der Beleuchtung besonders beeinflusst werden und inzwischen insbesondere im Handel nachhaltige Gebäude wertgeschätzt werden.

Tabelle 18: Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Handelsflächen bis 25 000 m²

Handelobjekte bis 25 000 m ² , Innenraumtemperatur für EnEV = 17 °C					
Projekttyp/ Projekt	Temperatur = 17 °C				Fläche in m ²
	EnEV –15 %, Hülle, Ölheizung	Abwasserwärme, Sole-Wasser- Wärmepumpe	Umweltwärme, Luft-Wasser- Wärmepumpe	Biomasse, Holz- pellets	
Handel					
Handel bis 10 000 m ² , ohne Kühlprodukte, beheizte Fläche = 8506,00 m ²	Qp = –18 %	Qp = –1 %	Qp = 0 %	Qp = –35, –36 %	
	üopak: –59 %	üopak: –51 %	üopak: –53 %	üopak: 106, –39 %	
	ütransp.: –54 %	ütransp.: –33 %	ütransp.: –46 %	ütransp.: –43 %	
	ülichtband: –42 %	ülichtband: –42 %	ülichtband: –3 %	ülichtband: –3 %	
	Lichtband: 1,8	Lichtband: 1,8	Lichtband: 3,0	Lichtband: 3,0	530
	Fenster: 1,3	Fenster: 1,9	Fenster: 1,9	Fenster: 1,9	541
	Dach: 22 cm	Dach: 16 cm	Dach: 18 cm	Dach: 12 cm	7976
	Fertigteil: 12 cm	Fertigteil: 8 cm	Fertigteil: 8 cm	Fertigteil: 8 cm	1535
	Kassette: 16 cm	Kassette: 14 cm	Kassette: 14 cm	Kassette: 14 cm	1566
	volle Däm- mung: 8506 m ²	volle Däm- mung: 8506 m ²	volle Däm- mung: 8506 m ²	Randdäm- mung: 1180 m ²	
Handel bis 25 000 m ² , ohne Kühlprodukte, beheizte Fläche = 24 990,00 m ²	Boden: 8 cm	Boden: 8 cm	Boden: 8 cm	Boden: 8 cm	
	Qp = –17 %	Qp = –3 %	Qp = 0 %	Qp = –28, –28 %	
	üopak: –56 %	üopak: –41 %	üopak: –51 %	üopak: 119, –37 %	
	ütransp.: –54 %	ütransp.: –32 %	ütransp.: –54 %	ütransp.: –32 %	
	ülichtband: –42 %	ülichtband: –3 %	ülichtband: –3 %	ülichtband: –3 %	
	Lichtband: 1,8	Lichtband: 3,0	Lichtband: 1,8	Lichtband: 3,0	1412
	Fenster: 1,3	Fenster: 1,9	Fenster: 1,3	Fenster: 1,9	834
	Dach: 22 cm	Dach: 12 cm	Dach: 18 cm	Dach: 12 cm	11 083
	Fertigteil: 10 cm	Fertigteil: 8 cm	Fertigteil: 8 cm	Fertigteil: 8 cm	1166
	Kassette: 18 cm	Kassette: 10 cm	Kassette: 16 cm	Kassette: 14 cm	1843
	volle Däm- mung: 12 495 m ²	volle Däm- mung: 12 495 m ²	volle Däm- mung: 12 495 m ²	Randdäm- mung: 2 000 m ²	
	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 6 cm	Boden: 8 cm	

Auch Handelsketten lassen inzwischen Gebäude zertifizieren (nach Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), wobei gerade die CO₂-Emissionen von Bedeutung sind. Hierzu kann die Abwasserwärmennutzung ihren Anteil leisten, da beispielsweise die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen höher ist als bei der Umwelt-

wärmenutzung. Die Zielsetzungen für ein nachhaltiges Gebäude finden sich letztlich in vordefinierten Baubeschreibungen wieder, die jede Handelskette formuliert.

Zusätzlich ist aus energetischer Sicht zu beachten, dass sich die Hallenbauweise bei großflächigen Gebäuden von sonstigen Gebäuden unterscheidet und der Einfluss der hier sehr großen Bodenplatte von Bedeutung ist.

Die Ergebnisse der energetischen Berechnungen und Definitionen zur jeweiligen Gebäudehülle und Heiztechnik gehen in die wirtschaftlichen Grundlagen der vier betrachteten Varianten ein.

2.9 Grundlagen der Heizlastberechnung

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Grundlagen zur der Heizlastberechnung vorgestellt und Bemessungsdiagramme aufgezeigt, mit deren Hilfe eine erste überschlägige Ermittlung der Heizlast möglich ist. Auf Basis der Heizlast ist es im weiteren Projektverlauf dann möglich, die Größenordnung der Wärmepumpe und des Wärmetauschers für die Abwasserwärmenutzung zu bestimmen und eine Kostenschätzung zu erstellen.

Die Berechnung der Heizlast erfolgt in Anlehnung an die DIN EN 12831⁸⁸. Die Bauteilflächen und die U-Werte der zugehörigen Bauteile für die Berechnung des Transmissionswärmeverlusts können der projektspezifischen EnEV-Berechnung entnommen oder gesondert vorgegeben werden. Folgende Parameter stellen die Grundlage in Anlehnung an DIN EN 12831 für die überschlägige Berechnung der Heizlast dar:

- standortunabhängig (Außentemperatur)
- Norm-Außentemperatur $\Theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$
- Norm-Innentemperatur Wohnen, Büro, Schule, Hotel, Kindergarten: $\Theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, Handel: $\Theta_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (Auslegungstemperatur)
- Berechnung für einen Raum (Zonen zusammengefasst)
- U-Werte, Hüllflächen, Transmissionsverluste Hülle aus EnEV-Berechnungen
- Bei großen, randgedämmten Bodenplatten wird der HT-Wert mit gedämmtem U-Wert berechnet, dadurch erfolgt in etwa eine Gleichsetzung mit dem äquivalenten U-Wert⁸⁹ und den Korrekturfaktoren für Grundwassereinfluss G_w (1 bzw. 1,15), Außentemperaturschwankungen f_{g1} (1,45) und Temperaturdifferenz des Erdreichs f_{g2} (0,30 – 0,45).
- Wärmebrückenzuschlag gemäß EnEV-Berechnung: $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

⁸⁸ DIN EN 12831:2003-08 Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Deutsche Fassung EN 12831:2003 in Verbindung mit Beiblatt 1:2008-07 und Berichtigung zum Beiblatt 1:2010-11. Entwurf liegt mit Ausgabedatum 2014-08 vor.

⁸⁹ vgl. DIN EN 12831:2003-08 Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Deutsche Fassung EN 12831:2003, Bilder 3 bis 6 und Tabellen 4 bis 7

- Mindestluftwechsel für alle Nichtwohngebäude $n_{min} = 0,5/h$
- Luftvolumen V_i aus EnEV-Berechnung
- Lüftungswärmeverlust über Mindestvolumenstrom ermittelt, Lüftungswärmeverlust über Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung vernachlässigt.

Der Wärmeverlust durch große Bodenplatten ist aufgrund des Einmalaufheizeffektes eher gering. In der Praxis verursacht im Wesentlichen der Randbereich einen relevanten Heizenergieverlust. Vereinfacht wird daher der Wärmeverlust durch eine vollständig gedämmte Bodenplatte für die Heizlast angenommen, auch wenn nur eine randgedämmte Bodenplatte ausgeführt wird, bei der das Mittelfeld ungedämmt bleibt.

Die Lüftungswärmeverluste (Φ_V) werden mithilfe des Mindestvolumenstromes berechnet. Dieser Wert ist in der Regel größer als der Infiltrationsvolumenstrom und damit maßgebend. Bei einer mechanischen Lüftung können die Verluste vernachlässigt werden, da die Zuluft je nach Objekttyp mittels eines Umluftbetriebes nicht vorgewärmt werden muss. Bei einer Wärmerückgewinnung mit bis zu 90 Prozent Wirkungsgrad kann die Vorerwärmung bei einer überschlägigen Betrachtung ebenso unberücksichtigt bleiben. Die Norm-Heizlast (Φ_{HL}) ergibt sich wie folgt:⁹⁰

Formel 19: Norm-Transmissionsheizlast Φ_T

$$\Phi_T = (\Theta_i - \Theta_e) \cdot H_{T,ie} / 1\,000 \quad [\text{kW}]$$

Formel 20: Norm-Lüftungsheizlast Φ_V inkl. Gleichzeitigkeitsfaktor

$$\Phi_V = 0,5 \cdot V_i \cdot n_{min} \cdot 0,34 \cdot (\Theta_i - \Theta_e) / 1\,000 \quad [\text{kW}]$$

Formel 21: Norm-Heizlast Φ_{HL}

$$\Phi_{HL} = \Phi_T + \Phi_V \quad [\text{kW}]$$

In Tabelle 19 ist eine Beispielberechnung für eine Schule mit Abwasserwärmennutzung aufgeführt. Anhand dieses Beispiels kann die überschlägige Berechnung der Norm-Heizlast nachvollzogen werden. Die Berechnung verdeutlicht die Vorgehensweise bei der Transmissions- und Lüftungsheizlastberechnung.

90 vgl. [Rec 2011, S. 818 ff.]

Tabelle 19: Beispiel Heizlastberechnung – Schule

Heizlastberechnung: Beispiel Schule Wärmeverlust H_T aus EnEV-Berechnung übernommen								
Nr.	Bezeichnung	Ausrichtung	Neigung [°]	Fläche [m²]	U-Wert [W/m²K]	Bauteilkennung	H_T [W/K]	F_x
1	Dachfläche	Nord	0	510	0,32	Dach als Systemgrenze	190,86	1
2	Dachfläche	Nord	0	510	0,32	Dach als Systemgrenze	188,7	1
3	Dachfläche	Nord	0	159	0,32	Dach als Systemgrenze	58,83	1
4	Dachfläche	Nord	0	159	0,32	Dach als Systemgrenze Wand/Fenster/Decke	58,83	1
5	Außenwand	Süd	90	230	0,32	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	85,36	1
6	Wärmeschutzverglasung	Süd	90	100	1,4	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	145	1
7	Außenwand	Nord	90	230	0,32	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	85,1	1
8	Wärmeschutzverglasung	Nord	90	100	1,4	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	145	1
9	Außenwand	West	90	345	0,32	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	127,65	1
10	Wärmeschutzverglasung	West	90	285	1,4	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	413,25	1
11	Außenwand	Ost	90	345	0,32	gegen Außenluft Wand/Fenster/Decke	127,65	1
12	Wärmeschutzverglasung	Ost	90	285	1,4	gegen Außenluft Floor To Ground With	413,25	1
13	Bodenplatte	Nord	0	1338	0,71	Perimeter	1 022,74	0,2
		Σ		4596			3 062,22	

Temperaturdifferenz $\Theta_1 - \Theta_e =$

$20 - (-12) = 32 \text{ K}$

Transmissionsheizlast $\Phi_T =$

98 kW

Luftvolumen =

8697 m^3

Mindestluftwechsel $n_{\min} =$

$0,5 \text{ l/h}$

Lüftungswärmeverlust =

$0,74 \text{ kWh/m}^3/\text{K}$

Lüftungsheizlast $\Phi_V =$

24 kW

Normheizlast $\Phi_{HL} =$

122 kW

Für verschiedene Objekttypen sind in den nachfolgenden Abbildungen 40 bis 44 Diagramme zur Verfügung gestellt, mit deren Hilfe die überschlägige Heizlast beim Einsatz der Abwasserwärmennutzung und Erfüllung der EnEV sowie des EEWärmeG abgelesen werden kann.

Die Diagramme wurden mittels eigener Berechnungen für Wohnanlagen, Büronutzungen, Handelsflächen, Kindergärten und Schulen sowie Beherbergungseinrichtungen erstellt.

Es ist lediglich die beheizte Fläche in Quadratmetern als Eingangsgröße zu ermitteln.

Die überschlägige Berechnung kann dadurch entfallen. Sie kann projektspezifisch alternativ als Vergleichsrechnung durchgeführt werden.

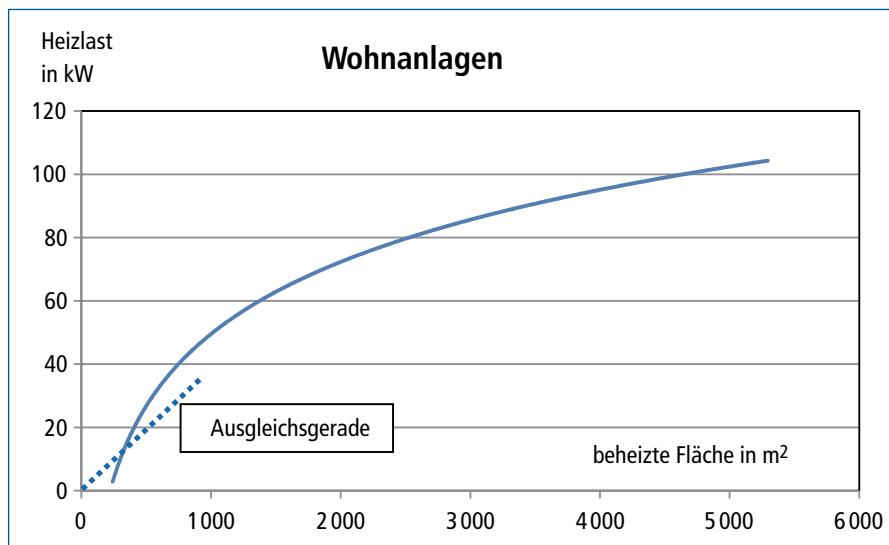


Abbildung 40: Heizlastdiagramm für Wohnanlagen

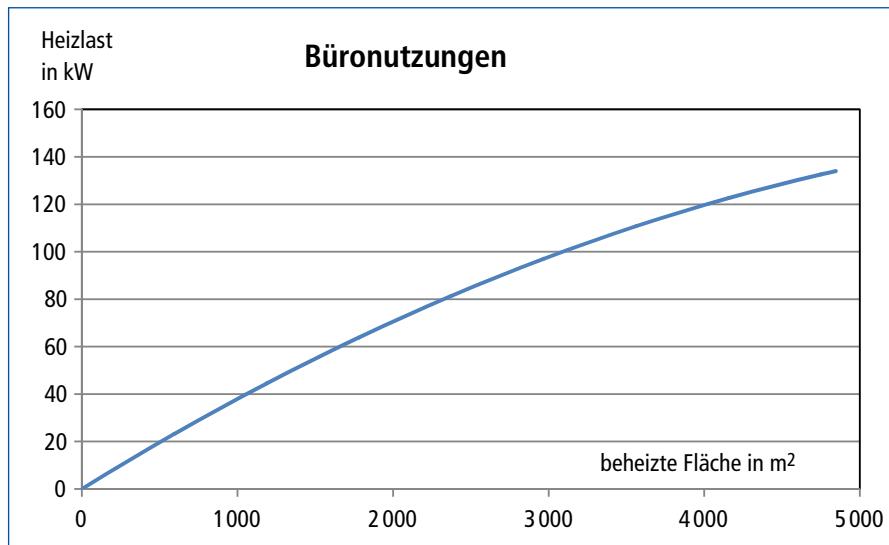


Abbildung 41: Heizlastdiagramm für Büronutzungen

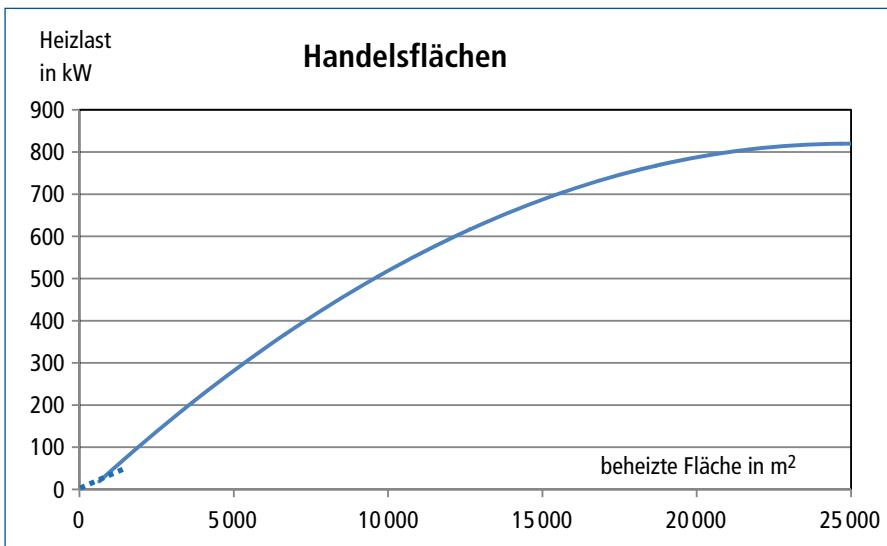


Abbildung 42: Heizlastdiagramm für Handelsflächen

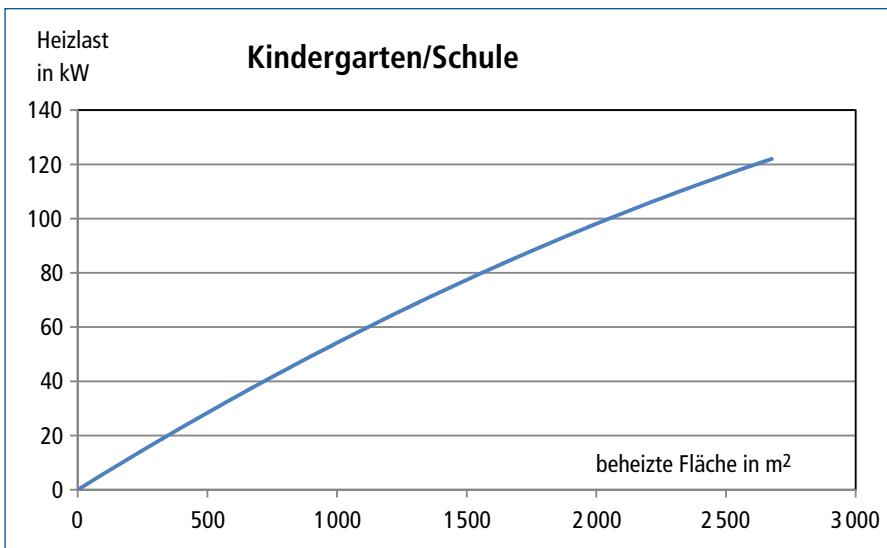


Abbildung 43: Heizlastdiagramm für Kindergärten und Schulen

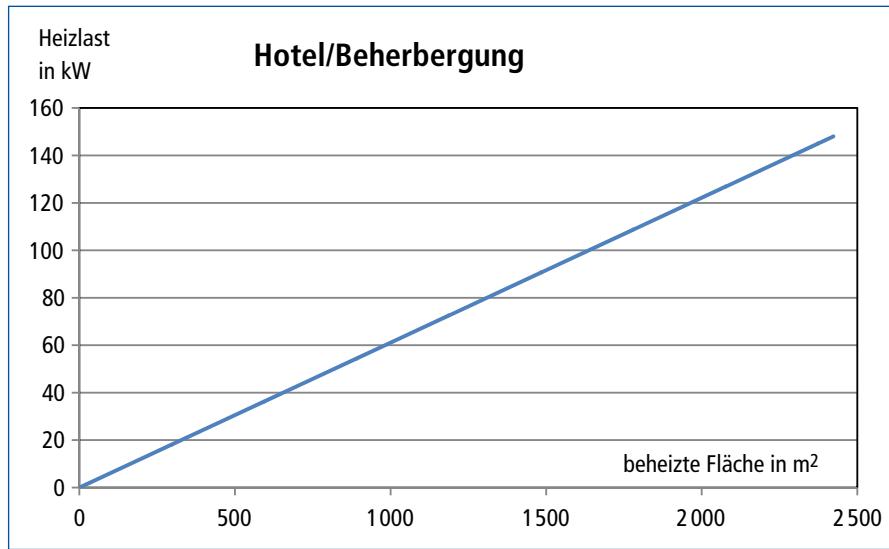


Abbildung 44: Heizlastdiagramm für Hotels und Beherbergungseinrichtungen

2.10 Sonstiges

Intelligente Einzelraumregelung als Ergänzung

Ergänzend wird im Zusammenhang mit der zu definierenden Auslegungsgröße für die Heizlast und in Verbindung mit dem verfügbaren Abwasserwärmepotenzial auf die Möglichkeit und den Einfluss von intelligenten Heizungsregelungssystemen hingewiesen. Aufgrund dieser Systeme kann die Heizlast, angepasst an die Nutzung, reduziert werden. Dadurch können auch bei Abwassermengen, die bei herkömmlichen Betrachtungen die Heizlast nicht zu 100 Prozent decken können, monovalente Abwasserwärmennutzungsanlagen entstehen. Durch diese Regelung kann eine niedrigere, nutzungsabhängige Heizlast gedeckt werden.

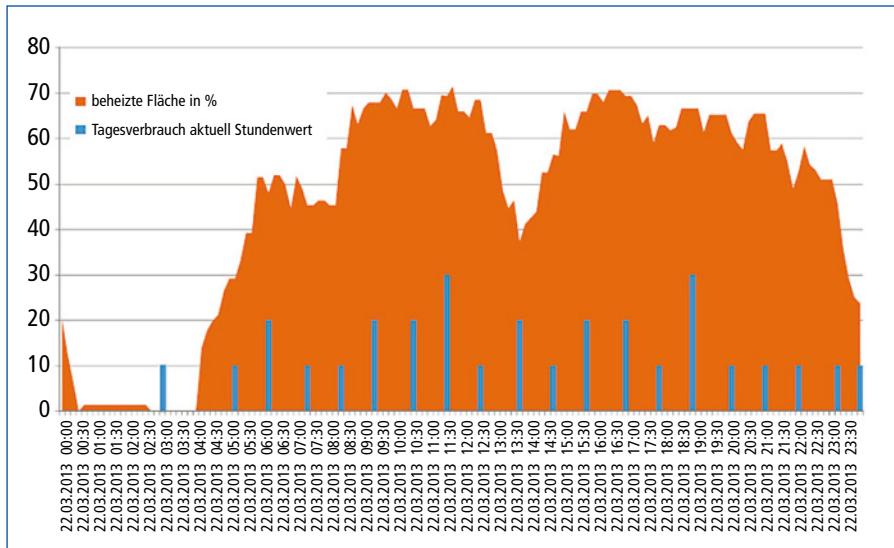
Der Markt reagiert mit innovativen Produkten, sodass inzwischen lernfähige Einzelraumregel installiert werden können. Diese registrieren die Raumnutzung bzw. das Nutzerverhalten. Am Beispiel einer Schulklassennutzung wird in Abbildung 45 für verschiedene Stunden an sieben Wochentagen die erlernte Nutzungszeit aufgezeigt. Die Farbfelder stellen die Nutzungszeiten dar. Beispielsweise nutzt zusätzlich eine Volkshochschulkasse an zwei Tagen die Woche ab 17.30 Uhr den Klassenraum. Spätere Nutzungszeiten und die Nutzung am Samstag sind im Beispiel durch die Raumreinigung verursacht.

Uhr	6	7	8	13	14	17	18	20	21
Mo	0 0 0 0	1 1 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0	0 1 1 1	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0	1 1 0 0
Di	0 0 0 0	0 0 0 0	0 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 0 0
Mi	0 0 0 0	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0	1 1 0 0
Do	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1	0 0 0 0	0 1 1 1	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 0 0
Fr	0 0 0 0	1 1 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0	0 1 1 1	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 0 0
Sa	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
So	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0

Abbildung 45: Nutzungszeiträume Schulklassenraum [Grafik in Anlehnung an Kieback&Peter]

Bei zwei Pilotanlagen wurde festgestellt, dass die zu beheizende Fläche, die auf Komforttemperatur beheizt wird, in der Kernzeit zwischen 15 und 70 Prozent der Gesamtfläche beträgt.⁹¹

In Abbildung 46 wird der Zusammenhang verdeutlicht. Maximal werden etwa 70 Prozent der zu beheizenden Fläche genutzt. Wird die Temperatur im Bereich der ungenutzten Flächen bzw. in den ungenutzten Räumen abgesenkt, lässt sich eine geringere vorzuhaltende Heizlast erzielen.

**Abbildung 46:** Nutzerabhängiges Heizen auf Komforttemperatur [Grafik: Kieback&Peter]

Monitoring-Ergebnisse der Untersuchung zur Abwasserwärmennutzung

Untersuchungen der RWTH Aachen im Rahmen eines Forschungsauftrages zeigen, dass in Gebäuden Abwassertemperaturen von durchschnittlich 23 bis 26 °C innerhalb von Gebäuden zur Verfügung stehen. Mithilfe einer Wärmerückgewinnungsanlage mit Wärmepumpe, die im Gebäude installiert wird, ist eine Trinkwasservorwärmung auf 45 °C bei einer Jahresarbeitszahl von etwa 4,5 möglich. Bei einer

91 Angaben und Unterlagen zu Pilotanlagen von Firma Kieback&Peter

Erwärmung auf 60 °C sinkt die Jahresarbeitszahl auf ca. 3,0. Das Abwasser wird dabei um etwa 15 °C abgekühlt. Der Deckungsgrad lag bei den Untersuchungen zwischen 82 und 92 Prozent. Die verbleibenden Anteile von 8 bis 18 Prozent mussten von einem zweiten Wärmeerzeuger erbracht werden.⁹²

Die Ergebnisse verdeutlichen den sinnvollen Einsatz der Systeme, die in Kapitel 2.7.4 vorgestellt wurden, innerhalb von Gebäuden.

Smart Energy, Smart Grid und die Abwasserwärmennutzung

Der Umbau der Energiewirtschaft in eine intelligente Form ist in vollem Gange. Die intelligente Energiewirtschaft wird als »Smart Energy«⁹³ bezeichnet. Sie benötigt intelligente Strom- und Gasnetze, die den Energieanfall und -bedarf steuern und die Differenzen zwischen den zu verschiedenen Zeiten anfallenden Energiemengen ausgleichen. Intelligente Netze heißen »Smart Grids«. Der Begriff »Smart Meter« für intelligente Zähler rundet den Dreiklang ab.⁹⁴

Intelligente Lösungen sollen sicherstellen, dass zur richtigen Zeit am richtigen Ort die erforderliche Energie zur Verfügung steht. Ein wesentlicher Baustein hierfür ist die Speicherung von Energie. Ein Energiespeicher in Verbindung mit der Abwasserwärme ist das Erdreich. In diese Speichermasse lassen sich Kälte und Wärme einlagern.⁹⁵

Die ungenutzte Abwasserwärme wird zwangsläufig in das umgebende Erdreich abgegeben. Für die Nutzbarmachung dieser Energieform hat der Markt bereits innovative Lösungen hervorgebracht. Es sind Abwasserwärmetauscher-Rohrsysteme verfügbar, die die Abwasserwärme nutzen und gleichzeitig Energie aus dem den Kanal umgebenden Erdreich gewinnen.

Bei dieser Kombination werden etwa 20 Prozent Wärme aus dem Abwasser im Kanal und etwa 80 Prozent Energie aus dem erwärmten Erdreich nutzbar gemacht. Die Energiespeicherfähigkeit des Erdreiches kann durch den Einsatz eines thermisch optimierten Kanalgrabenverfüllbaustoffs verbessert werden.⁹⁶

Eine weitere Idee sieht den Kanal als Wärmenetz vor. Der Grundgedanke ist, dass überschüssige industrielle Abwärme, die dem Abwasser zugeführt wird, an anderer Stelle zur Raumbeheizung wieder entnommen werden kann.⁹⁷

Auch diese Vision und die noch in der Zukunft liegende intelligente Umsetzung der Wärmezwischenspeicherung haben etwas mit intelligenten Netzen (Smart Grids) zu tun.

92 vgl. [Bru 2013, S. 73 ff.]

93 vgl. [Roß 2012, S. 287]

94 vgl. [Roß 2012, S. 287, 299]

95 vgl. [Fra 2014, S. 1]

96 vgl. [Fra 2014, S. 2f.]

97 vgl. [WMU 2012]

2.11 Wirtschaftliche Grundlagen

Wirtschaftliche Entscheidungen zu Immobilien werden von den Akteuren zu oft ausschließlich auf Basis von Investitionskosten getroffen. Umfängliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind jedoch von Vorteil.

Daher sollen hier zunächst zwei Modelle zur Investitionskostenabschätzung für Abwasserwärmevernutzungsanlagen vorgestellt werden.

Danach wird der wirtschaftliche Einsatzbereich der Abwasserwärmevernutzung mithilfe einer Gebäudetypologie und Jahreskostenbetrachtungen und somit auf Basis von ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsberechnungen aufgezeigt. Gerade die Jahreskosten, die hier anhand von dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen ermittelt werden, sollten die Entscheidungsgrundlage bilden. Die Jahreskosten beinhalten die kapitalisierten Investitionskosten sowie die Betriebskosten und spiegeln somit die tatsächlichen Kosten wider.

Die nachfolgende Zusammenfassung der Kostenbetrachtungen und die Kostenfunktionen basieren auf eigenen Untersuchungen.⁹⁸ Diese können in der genannten Quelle bei Bedarf detailliert nachvollzogen werden. Die Kosten für die jeweilige Gebäudehülle beinhalten nur die unmittelbaren energetischen Maßnahmen und deren Differenzkosten im Variantenvergleich. Die Kostenangaben zur Heiztechnik gelten nur für die Maßnahmen, die für die jeweilige Heizungszentrale notwendig sind.

Die Kostenfunktionen (Modell 2) können somit als Abschätzungsgrundlage für Differenzkosten zwischen den vier Varianten genutzt werden, jedoch nicht für die Bestimmung von absoluten Kosten.

2.11.1 Investitionskostenmodelle für die Abwasserwärmevernutzung im Gebäudebestand und Neubau

Modell 1 berücksichtigt die Investitionskosten für die Heiztechnik mit Abwasserwärmevernutzung in realisierten Projekten und somit bei Bestandsgebäuden. Das Modell soll bereits in der frühen Vorplanungsphase erste Kostenschätzungen für Investitionen im Bestand ermöglichen.

Modell 2 bezieht bei Neubauprojekten die notwendigen Investitionskosten für die Gebäudehülle und die Heiztechnik mit ein, die zur Einhaltung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) führen. Dabei werden zwecks Kostenvergleichs beim Modell 2 zusätzlich zu den Kostenfunktionen für die Abwasserwärmevernutzung auch solche für die drei gewählten alternativen Möglichkeiten gemäß EnEV und EEWärmeG aufgezeigt.

98 vgl. [Ham 2012]

Modell 1: Investitionskosten für Heiztechnik mit Abwasserwärmeverwendung, bei Bestandsgebäuden

Mithilfe eigener Untersuchungen wurden Kostenfunktionen für realisierte Projekte, basierend auf unterschiedlichen Bezügen (Kilowattstunde pro Jahr, Kilowatt und Quadratmeter beheizte Fläche), gefunden. In Abbildung 47 ist die Kostenfunktion für die Realisierung der vollständigen Technik (Wärmetauscher, Wärmepumpe usw.), die zum Betrieb der Abwasserwärmeverwendung im Gebäudebestand benötigt wird, in Euro pro Kilowattstunde und Jahr dargestellt.

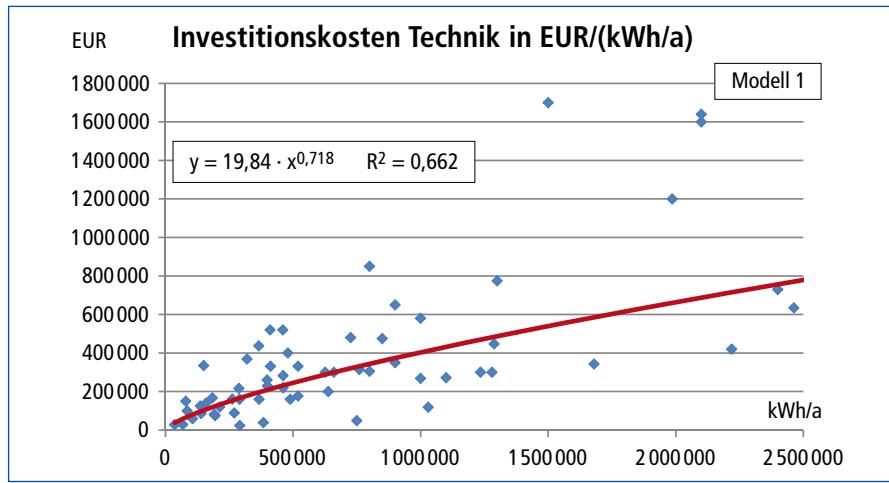


Abbildung 47: Investitionskosten in EUR/(kWh/a) für die Abwasserwärmeverwendung bei Bestandsgebäuden, Modell 1 [Ham 2012, S. 142]

In Abbildung 47 wird das Bestimmtheitsmaß R^2 angegeben. Dabei liegt ein perfekter linearer Zusammenhang bei Annäherung an die Zahl 1 vor. Bezogen auf den Datensatz liegt hier das Bestimmtheitsmaß bei 0,662. Die Potenzfunktion für die Investitionskosten bei Bestandsgebäuden lautet:

Formel 22: Potenzfunktion für realisierte Investitionskosten, Bezug: EUR/(kWh/a)

$$y = 19,84 \cdot x^{0,718} \quad [\text{EUR}]$$

Die alternativen Potenzfunktionen in Euro je Kilowatt Wärmepumpenleistung und Euro je Quadratmeter beheizte Fläche lauten:

Formel 23: Potenzfunktion für realisierte Investitionskosten, Bezug: EUR/kW

$$y = 4\,308,24 \cdot x^{0,7955} \quad [\text{EUR}]$$

Formel 24: Potenzfunktion für realisierte Investitionskosten, Bezug: EUR/m²

$$y = 1\,664,95 \cdot x^{0,592} \quad [\text{EUR}]$$

Hierbei steht die Variable x für die Ausgangsgröße in kWh/a, kW oder m² und die Variable y für die Investitionskosten in EUR. Dies gilt für alle nachfolgenden Kostenfunktionen. In den Kostenfunktionen ist die Umsatzsteuer (MwSt.) bereits enthalten.

Modell 2: Investitionskosten für Heiztechnik und Gebäudehülle bei Neubauten

Die nachfolgend aufgezeigten Funktionen können für erste, grobe Kostenschätzungen für die aufgeführten vier Varianten im Neubaubereich angesetzt werden.

Die Funktionen zur Berechnung der Investitionskosten für den thermischen Anteil der Gebäudehülle bzw. zur Berechnung der Differenzkosten innerhalb der Varianten und der Kosten für die jeweilige Heizzentrale werden in Abbildung 48 veranschaulicht. Die Kostenfunktionen zu den Varianten lauten wie folgt:

Formel 25: Potenzfunktionen für Neubau-Investitionen, Bezug: EUR/(kWh/a)

$$\text{Variante EnEV -15 \%: } y = 26,157 \cdot x^{0,7624} \quad (\text{EUR})$$

$$\text{Variante Abwasserwärme: } y = 11,574 \cdot x^{0,8156} \quad (\text{EUR})$$

$$\text{Variante Umweltwärme: } y = 9,379 \cdot x^{0,8127} \quad (\text{EUR})$$

$$\text{Variante Biomasse/Holzpellets: } y = 20,747 \cdot x^{0,7511} \quad (\text{EUR})$$

In diesen Investitionskostenfunktionen ist keine Umsatzsteuer (MwSt.) enthalten.

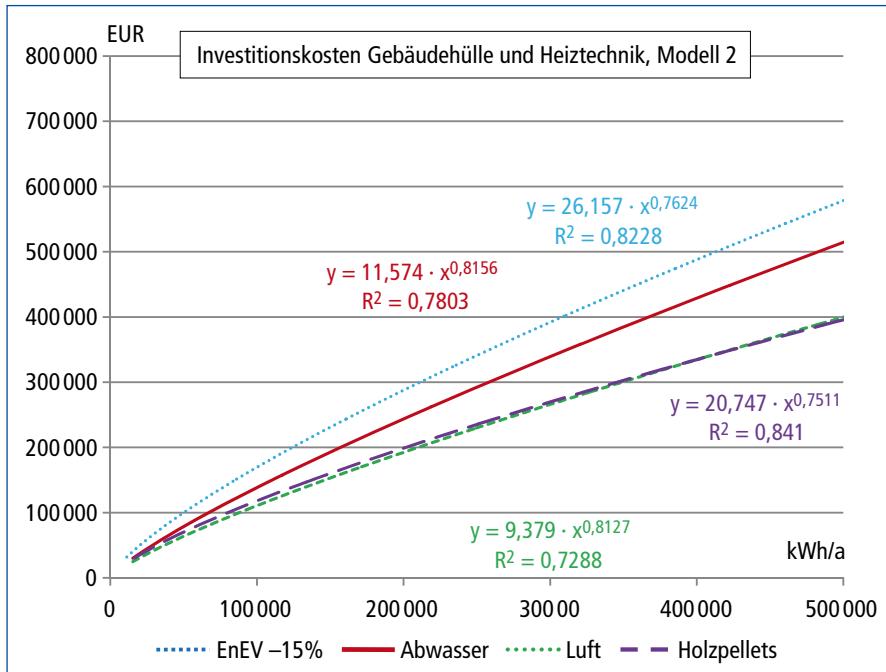


Abbildung 48: Investitionskosten in EUR/(kWh/a) für vier Varianten gemäß EnEV und EEWärmeG, Neubau, Modell 2 [Ham 2012, S. 153]

Bezogen auf Quadratmeter beheizte Fläche lassen sich die Kostenfunktionen für die Varianten wie folgt beschreiben:

Formelsammlung 26: Potenzfunktionen für Neubau-Investition, Bezug: EUR/m²

Variante EnEV -15 %:	$y = 572,08 \cdot x^{0,7275}$	(EUR)
Variante Abwasserwärme:	$y = 355,27 \cdot x^{0,7943}$	(EUR)
Variante Umweltwärme:	$y = 258,73 \cdot x^{0,7983}$	(EUR)
Variante Biomasse/Holzpellets:	$y = 540,12 \cdot x^{0,7109}$	(EUR)

Damit bei Bedarf eine Differenzierung von Handelsobjekten hinsichtlich der Abwasserwärmennutzung möglich ist, werden nachfolgend weitere Kostenfunktionen angegeben. Mit deren Hilfe können objektspezifischere Investitionskostendifferenzen zur Gebäudehülle und Heiztechnik abgeschätzt werden:

Formelsammlung 27: Potenzfunktionen für Neubau-Investition je nach Objekttyp⁹⁹

Variante Abwasserwärme (Wohnen, Büro, Hotel, Kindergarten, Schule):
 $y = 742,6 \cdot x^{0,6794}$ [EUR, Bezug: EUR/m²]

Variante Abwasserwärme (Handelsflächen):
 $y = 814,96 \cdot x^{0,7334}$ [EUR, Bezug: EUR/m²]

Die Formelsammlung 27 wird aufgeführt, da es sich bei den Untersuchungen (siehe Quellenangabe zu Formelsammlung 27) gezeigt hat, dass bei den aufgeführten Objekttypen Wohnen, Büros, Hotels, Kindergärten und Schulen die Kostenzusammenhänge überschlägig für eine erste Schätzung in einer Funktion ausgedrückt werden können. Die Handelsobjekte, die auch großflächig auftreten, weichen stärker von dem Zusammenhang ab, sodass hierfür eine separate Kostenfunktion erstellt wurde.

Modell 2: Investitionskosten für Heiztechnik bei Neubauten

Damit die Investitionen bei Bestandsimmobilien und Neubauten verglichen werden können, werden die zuvor aufgeführten Kostenfunktionen für den Neubaubereich weiter differenziert und nachfolgend nur die Investitionen in die Heiztechnik aufgeführt.

Die unterschiedlichen Investitionskosten bei den vier aufgezeigten Varianten für die Heiztechnik bei Neubauprojekten unter Berücksichtigung der Umsatzsteuer und bezogen auf Quadratmeter beheizte Fläche, lassen sich mithilfe von Abbildung 49 veranschaulichen und ermitteln (Abwasserwärmennutzung in Rot).

99 [Ham 2012, S. 154]

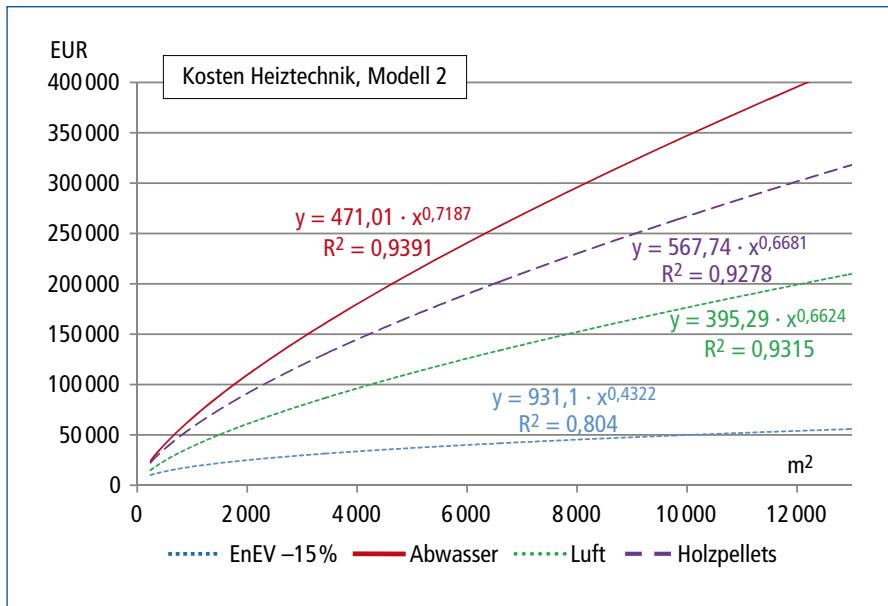


Abbildung 49: Investitionskosten für vier alternative Heiztechniken in EUR/m² inkl. MwSt., Modell 2 [Ham 2012, S. 155]

Die Kostenfunktion für die Technik der Heizzentrale inklusive Wärmetauscher zur Nutzung der Abwasserwärme bei Neubauten lautet demnach:

Formel 28: Potenzfunktion für Heiztechnik »Abwasserwärme«, Neubau, Bezug: EUR/m²

$$y = 471,01 \cdot x^{0,7187} \quad (\text{EUR})$$

Zusammenfassung Investitionskostenfunktionen für Heiztechnik bei Abwasserwärmennutzung in Bestand und Neubauten

Werden hinsichtlich der Investitionskosten für die Abwasserwärmennutzung die beiden Modellansätze für Bestandsimmobilien und Neubauten verglichen, erscheint es am sinnvollsten, als Bezugsgröße »Quadratmeter beheizte Fläche« zu berücksichtigen.

Da der Wärmeenergiebedarf in Kilowattstunden pro Jahr gemäß den Bestandsprojekten auf tatsächlichen Verbräuchen beim Modell 1 basiert und die Wärmemengen zu Modell 2 aus den EnEV-Bilanzierungen zu den Objekttypen resultieren, erscheint dieser Ansatz zweckmäßig.

Für erste Investitionskostenabschätzungen für die Abwasserwärmennutzung hinsichtlich Heiztechnik können folgende Ansätze (inklusive MwSt.) angewendet werden:

Formelsammlung 29: Potenzfunktionen für Heiztechnik »Abwasserwärme«, Bezug: EUR/m² ¹⁰⁰

Bestandsobjekte : $y = 1\,664,95 \cdot x^{0,592}$ (EUR) Neubauprojekte : $y = 471,01 \cdot x^{0,7187}$ (EUR)

Ein Vergleich der Investitionskosten für unterschiedliche Varianten stellt jedoch noch keine ausreichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dar. Aufgrund dessen werden nachfolgend Jahreskostenfunktionen bei Neubauprojekten für die vier angenommenen Varianten vorgestellt. Mit deren Hilfe können den verantwortlichen Immobilienakteuren umfängliche Entscheidungsgrundlagen vorgelegt werden.

2.11.2 Jahreskosten für die Abwasserwärmemenutzung und Vergleich mit drei weiteren Varianten

Zusätzlich zu den Investitions- bzw. Kapitalkosten werden beim Modell 2 Betriebskosten für die resultierenden Jahreskosten berücksichtigt. Dadurch können wirtschaftliche Einsatzbereiche der Abwasserwärmemenutzung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Objekttypen im Vergleich zu den drei übrigen Varianten aufgezeigt werden. Die nachfolgenden Regressionsfunktionen für die Jahreskosten für Neubauprojekte werden auf Quadratmeter beheizte Fläche bezogen. In Abbildung 50 sind die Jahreskostenfunktionen am Beispiel von Wohnobjekten, Büros, Schulen, Kindergärten und Hotels dargestellt.

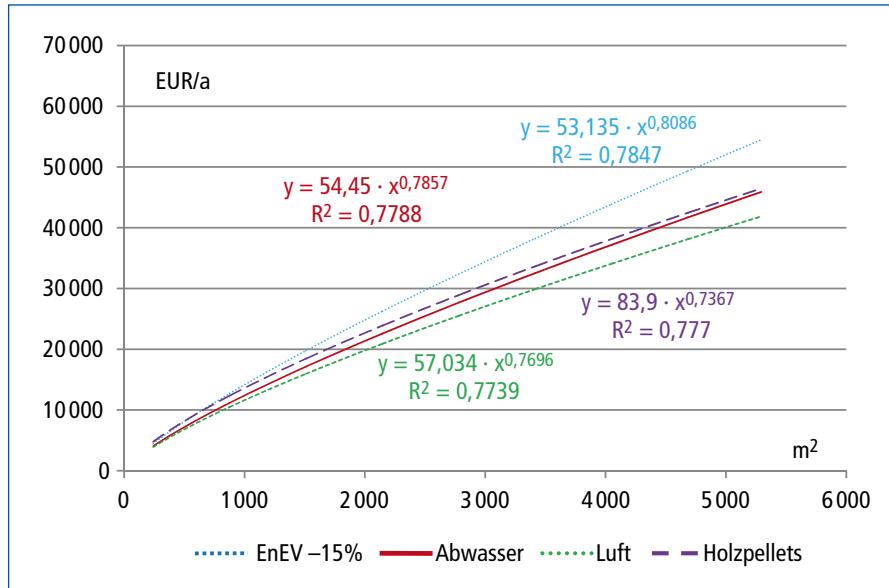


Abbildung 50: Jahreskostenvergleich der Objekttypen Wohnen, Büro, Schule, Kindergarten und Hotel, Modell 2 [Ham 2012, S. 165]

100 [Ham 2012, S. 156]

Die Potenzfunktionen für die Jahreskosten lauten für die Varianten wie folgt:

Formelsammlung 30: Potenzfunktionen für Neubau-Jahreskosten der Objekttypen Wohnen, Büro, Schule, Kindergarten und Hotel, Bezug: EUR/a/m²

EnEV -15 %:	$y = 53,13 \cdot x^{0,808}$	[EUR/a]
Abwasserwärme:	$y = 54,45 \cdot x^{0,785}$	[EUR/a]
Luftwärme:	$y = 57,03 \cdot x^{0,769}$	[EUR/a]
Biomasse/Holzpellets:	$y = 83,90 \cdot x^{0,736}$	[EUR/a]

Die Jahreskosten für Handelsobjekte weichen von den übrigen Objekttypen ab, so dass hierfür gesonderte Jahreskostenfunktionen aufbereitet wurden. Die Regressionsfunktionen lauten für Handelsobjekte wie folgt:

Formelsammlung 31: Potenzfunktionen für Neubau-Jahreskosten für den Handel, Bezug: EUR/a/m² ¹⁰¹

EnEV -15 %:	$y = 160,1 \cdot x^{0,662}$	[EUR/a]
Abwasserwärme:	$y = 80,40 \cdot x^{0,768}$	[EUR/a]
Luftwärme:	$y = 82,44 \cdot x^{0,754}$	[EUR/a]
Biomasse/Holzpellets:	$y = 143,6 \cdot x^{0,683}$	[EUR/a]

2.11.3 Wirtschaftlicher Einsatzbereich der Abwasserwärmemenutzung

Abbildung 50 verdeutlicht, dass die Abwasserwärmemenutzung im Vergleich zur Variante Biomassenverbrennung (Holzpellets) und zu Ersatzmaßnahmen an der Gebäudehülle (EnEV -15 %) wirtschaftlicher ist. Dieser Vergleich lässt sich bei einem Bezug auf Objekttypen sinnvoll in einem Netzdigramm aufzeigen. In Abbildung 51 ist das Netzdigramm für die definierten Grundlagen aufgeführt.

101 [Ham 2012, S. 165]

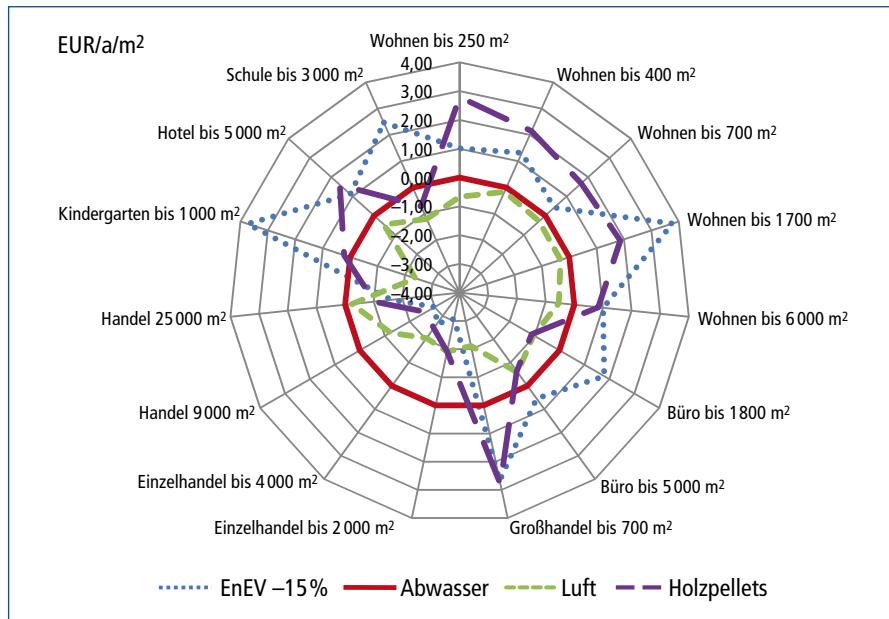


Abbildung 51: Wirtschaftliche Einsatzgrenzen der Abwasserwärmennutzung im Vergleich zu drei Varianten, Bezug: Jahreskosten und beheizte Fläche, Modell 2 [Ham 2012, S. 168]

Im Netzdiagramm der Abbildung 51 wird deutlich, bei welchen Gebäudetypen die Varianten »EnEV -15 %«, »Luftwärme« und »Biomasse/Holzpellets« unter wirtschaftlichen Aspekten oberhalb oder unterhalb der Variante »Abwasserwärme« liegen.

Demnach kann der wirtschaftliche Einsatzbereich der Abwasserwärmennutzung aufgrund der Jahreskosten bis auf den Bereich der großflächigen Einzelhandels- und Handelsobjekte festgestellt werden.

Die Variante »Luftwärme« ist größtenteils wirtschaftlicher bzw. in etwa deckungsgleich mit der Abwasserwärmennutzung. Diese Variante stellt jedoch aufgrund anderer betrieblicher Aspekte (zum Beispiel bivalente Anlage bzw. Nachheizung, evtl. höherer Verschleiß bei Wärmepumpe, evtl. höhere Geräuschenwicklung, höhere CO₂-Emissionen) nur bedingt eine Alternative dar, sofern die Abwasserwärmennutzung grundsätzlich beim betrachteten Gebäudestandort technisch machbar ist.

Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse kann die mögliche Bandbreite der Jahreskosten abgeschätzt werden. Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist in Abbildung 52 dargestellt.

Das Netzdiagramm beinhaltet folgende Variationen der Berechnungsgrundlagen:

- Die Investitionskosten für die Gebäudehülle sind um 20 Prozent höher.
- die Investitionskosten für Wärmetauscher und Wärmepumpen sind um 20 Prozent niedriger.

- Die Kapitalzinsen werden mit 5 statt 6 Prozent angenommen.
- Eine Förderung der Abwasserwärmeverwendung um 30 Prozent wird angenommen.
- Höhere Energiepreise: Heizöl und Pellets um plus 20 Prozent, Strom um plus 10 Prozent.
- Für den Wärmetauscher im Kanal und für die Gebäudehülle wird die Nutzungsdauer von 20 Jahren auf 40 Jahre angehoben, die Wärmepumpen und Kesselanlagen werden nach 20 Jahren ersetzt.

Werden die Berechnungsgrundlagen wie oben aufgeführt variiert, zeigen sich deutliche Verschiebungen der Jahreskosten zugunsten der Abwasserwärmeverwendung.

Unter diesen Voraussetzungen sind auch großflächige Handelsobjekte mit der Abwasserwärmeverwendung wirtschaftlich betreibbar. Bei den anderen Objekttypen ist die Abwasserwärmeverwendung teilweise deutlich wirtschaftlicher als die drei anderen aufgeführten Varianten.

Grundsätzlich ist demnach für ein konkretes Projekt festzuhalten, dass die Abwasserwärmeverwendung nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich eine Alternative für jeden Objekttyp darstellen kann. Spezifische Kostenuntersuchungen sind im Einzelfall anzustellen.

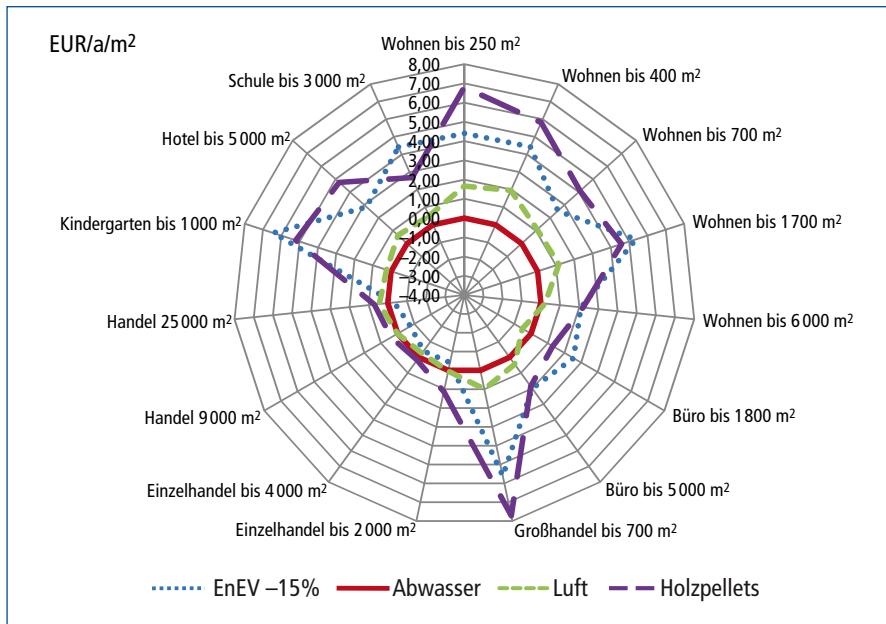


Abbildung 52: Wirtschaftliche Einsatzgrenzen der Abwasserwärmeverwendung bezogen auf Jahreskosten und beheizte Fläche, Modell 2 mit Varianten [Ham 2012, S. 179]

Der wirtschaftliche Einsatzbereich der Abwasserwärmennutzung kann zusammenfassend folgenden Gebäudetypen zugeordnet werden, wobei hier insgesamt nicht davon ausgegangen wird, dass Gebühren für die Nutzung der Abwasserwärme im öffentlichen Kanal anfallen:

- Wohngebäude
- Hallen für Großhandel und Gewerbe
- Kindergärten
- Hotels
- Schulen.

Je nach Kombination der beeinflussenden Faktoren, können auch bei nachstehenden Objekttypen wirtschaftliche Rahmenbedingungen vorliegen:

- Büro- und Verwaltungsgebäude
- eingeschossige Handels-, Gewerbe-, und Logistikgebäude
- zweigeschossige Handels-, Gewerbe-, und Logistikgebäude.

3 Arbeitshilfen für ein konkretes Projekt

Bisher wurden Grundlagen aufgezeigt, die bei der Abwasserwärmennutzung von Bedeutung sind. In Kapitel 3 werden diese Grundlagen am Beispiel eines praktischen Projektes angewendet und somit die Vorgehensweise bei der Planung und Aufbereitung einer Entscheidungsgrundlage insgesamt verdeutlicht. Es werden Bestandteile des Planungsprozesses als Grundlage beschrieben.

Der Architekt/Ingenieur/Planer wird in die Lage versetzt, mithilfe einer überschlägigen Heizlastberechnung und weiterer Berechnungen zur Abwasserwärmennutzung die wesentlichen Grundlagen zu schaffen. Diese Grundlagen fließen letztlich in einen Variantenvergleich zur Gebäudehülle und Heiztechnik mit Blick auf die Investitions- und Jahreskosten ein.

3.1 Vorgehensweise am Beispiel »Dorfcenter«

In Abbildung 53 sind die Erdgeschossgrundrisse von insgesamt vier Gebäuden dargestellt, wie sie in der frühen Projektphase vorgesehen waren. Diese vier Gebäude bilden zusammen das hier gewählte Beispiel »Dorfcenter«, bestehend aus Bankfiliale mit Wohneinheiten und einer gewerblichen Nutzungseinheit, Arztpraxis mit Physiotherapeut, Backgastronomie mit Ladeneinheit und einem Dorfladen. Die Wohneinheiten und der Physiotherapeut sind in den Obergeschossen untergebracht. Die Heizzentrale ist nach diesem Entwurfsstand im rechten Baukörper platziert.

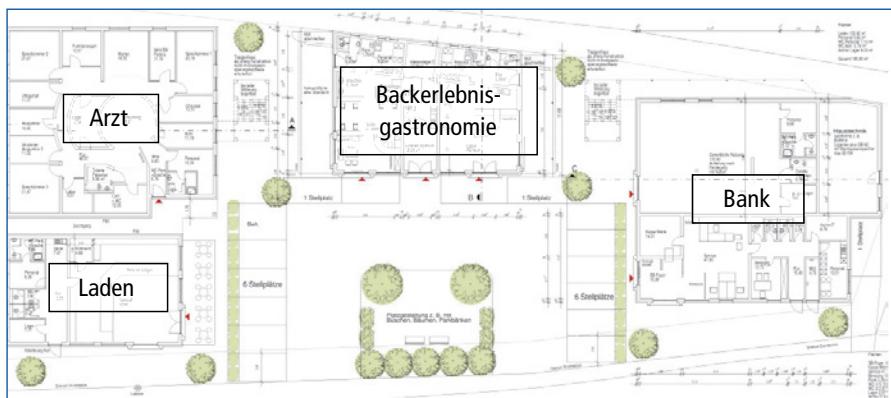


Abbildung 53: Erdgeschossgrundrisse der Gebäude des »Dorfcenters«
[Quelle: RS-Plan AG, Bad Kreuznach]

Abbildung 54 zeigt die Gebäude zur Veranschaulichung als Panoramabild, wie sie letztlich nach der Ausführungsplanung und den Mietvertragsabschlüssen reali-

siert wurden. In der parallel verlaufenden Durchgangsstraße liegt beim Beispiel der Hauptsammler eines Abwasserverbandes. In diesem Mischwasserkanal wird das Schmutzwasser eines Einzugsgebietes von etwa 12 000 Einwohnern an der Liegenschaft vorbeigeleitet.

Das Regenwasser wird im Einzugsgebiet an mehreren Stellen in Regenüberlaufbecken zurückgehalten bzw. in den jeweiligen örtlichen Vorfluter nach siedlungswirtschaftlichen Methoden entlastet. Im nachlaufenden Regenwetterfall steht ein Abwasserabfluss von etwa der doppelten Schmutzwassermenge zur Wärmeentnahme zur Verfügung. Während des Niederschlagsereignisses steht die Regenwassermenge, die im unmittelbaren Einzugsgebiet anfällt, im Mischwasserkanal zur Verfügung. Im Trockenwetterfall ist der Schmutz- und Fremdwasserabfluss in unterschiedlichen Durchflussmengen, bezogen auf die Tagesganglinie, zu betrachten.



Abbildung 54: Panoramablick Gebäudeanordnung »Dorfcenter« [Foto: Achim Hamann]

Anhand der örtlichen Randbedingungen ist zunächst die allgemeine Machbarkeit der Abwasserwärmennutzung zu prüfen. Dies kann mithilfe einer Checkliste erfolgen.

3.2 Checkliste

Die Vorüberlegungen:

Es ist sinnvoll, die allgemeinen Prüfungen zum Standort unter Zuhilfenahme einer Checkliste durchzuführen und damit die eigene Arbeitsweise effizienter zu gestalten. Das sich sonst wiederholende Zusammenstellen von Grundlagen und Prüfpunkten kann dadurch entfallen. Jedoch sollte eine Checkliste dem Planer nicht die Kreativität bei der Lösungsfindung nehmen und den Planungsansatz auf ein Schema reduzieren.

Die erstellte Checkliste enthält daher nur die ersten wichtigsten Punkte, die bereits beim Projekteinstieg, sei es während der Bauleitplanung, der Projektentwicklung oder zu Beginn beim konkreten Gebäude, bedacht werden sollten. Die Vorgehensweise wird zunächst näher erläutert.

Wichtige Größen sind die Heizlast und die zur Verfügung stehende Abwassermenge. Die Abbildungen 40 bis 44 zeigen Heizlastdiagramme von verschiedenen Objekttypen. Je nach zu betrachtendem konkreten Projekt können diese zur Abschätzung der notwendigen Heizlast genutzt werden.

Wird jedoch von einer Mischbebauung ausgegangen oder liegen zum frühen Zeitpunkt einer neu zu entwickelnden Bebauungsfläche noch keine konkreten Kenntnisse vor bzw. sind Ansiedlungsannahmen zu treffen, kann das Diagramm in Abbildung 55 helfen.

Hier werden die Objekttypen vereint und eine lineare Gleichung zur ersten Abschätzung der Heizlast (Φ_{HL}) in Abhängigkeit der beheizten Gebäudefläche (A_b) für die mischgenutzte Ansiedlung angegeben. Die Gleichung lautet:

Formel 32: Heizlast bei Mischnutzung

$$\Phi_{HL} = 0,0337 \cdot A_b + 12 \quad [\text{kW}]$$

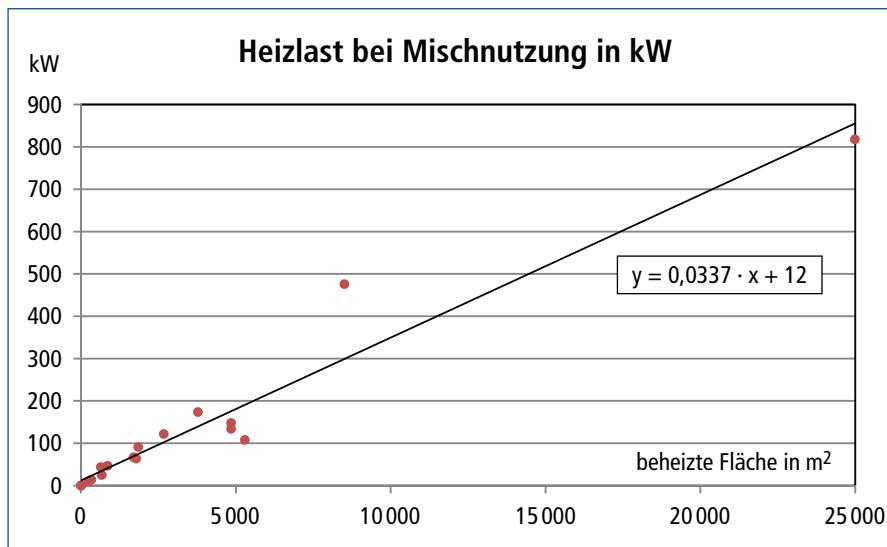


Abbildung 55: Abschätzung Heizlast bei mischgenutzter Bebauung

Zum Beispiel kann bei 1 000 Quadratmetern zu beheizender Fläche die Heizlast vereinfacht mit etwa 45 Kilowatt (= $0,0337 \times 1000 + 12$) angenommen werden.

Im nächsten Schritt ist die Abwassermenge abzuschätzen. Liegen konkrete Nutzungen vor, kann die Schmutzwassermenge mithilfe der Angaben in Kapitel 2.4.7 und der Tabellen 6 bis 9 ermittelt werden. Ist dies nicht der Fall und soll die Abwassermenge beispielsweise innerhalb des Einzugsgebietes ermittelt werden, sind zunächst Ansätze zur Ermittlung eines mittleren Abflusses zu prüfen. Spezifische Abflüsse aus einer Gewerbefläche oder aus bekannten Ansiedlungen sollten dabei gesondert betrachtet werden (vgl. 2.4.7).

Die Abflussmenge, bezogen auf die Einwohnerzahl, kann mit dem spezifischen Wert von 5 Litern pro Sekunde je 1 000 Einwohner oder 150 Litern je Einwohner und Tag berechnet werden (vgl. 2.4.7). Nachfolgend wird ein Mittelwert aus Einwoh-

nern und Flächennutzung berechnet und geprüft, ob der zuvor genannte Wert von 5 Litern pro Sekunde auch für die überschlägige Ermittlung der Mischnutzflächen innerhalb eines Einzugsgebietes sinnvoll ist. Dazu werden die spezifischen Abflüsse, die in den Tabellen 6 bis 9 benannt und auf Verbraucher bezogen sind, auf Abflüsse in Litern pro Sekunde umgerechnet. Dies erfolgt unter dem Ansatz von spezifischen Umrechnungsfaktoren ($n = 8 \text{ h/d}$ bis $n = 16 \text{ h/d}$).

In Abbildung 56 werden die Ergebnisse aus den fünf untersuchten Bereichen dargestellt und der Mittelwert von etwa 3,6 Litern pro Sekunde und 1000 Einwohnern gekennzeichnet. Da die Standardabweichung bei rund 2,2 Litern pro Sekunde liegt, ist ein allgemeiner Berechnungsansatz für den Schmutzwasseranfall zu den Einwohnern im Einzugsgebiet sowie zur schwierig zu bewertenden Mischnutzung durchaus mit Werten zwischen 3 Litern pro Sekunde und 5 Litern pro Sekunde und 1000 Einwohner und/oder Verbraucher (E,V) für eine überschlägige Ermittlung denkbar. Ist der Anteil der Dienstleistungen (Büronutzung) stärker zu gewichten, sollte der Ansatz von 3 Litern pro Sekunde und 1000 Einwohnern gewählt werden.

Dominieren die Wohnbebauung oder andere gewerbliche Einheiten innerhalb des betrachteten Einzugsgebietes, sollte der Mittelwert eher mit 5 Litern pro Sekunde und 1000 Einwohnern zum Ansatz gebracht werden. Dem Schmutzwasserabfluss (Q_{s+f}) kann letztlich ein 30-prozentiger Aufschlag für Regen- und Fremdwasser hinzugerechnet werden (vgl. 2.4.7) und lautet dann beispielsweise wie folgt.

Formel 33: Mittlerer Schmutzwasserabfluss bei Mischnutzung in Litern je Sekunde, Bezug: Einwohner/Verbraucher im Einzugsgebiet

$$Q_{s+f} = 1,3 \cdot 0,003 \text{ bis } 0,005 \cdot E,V \quad [\text{l/s}]$$

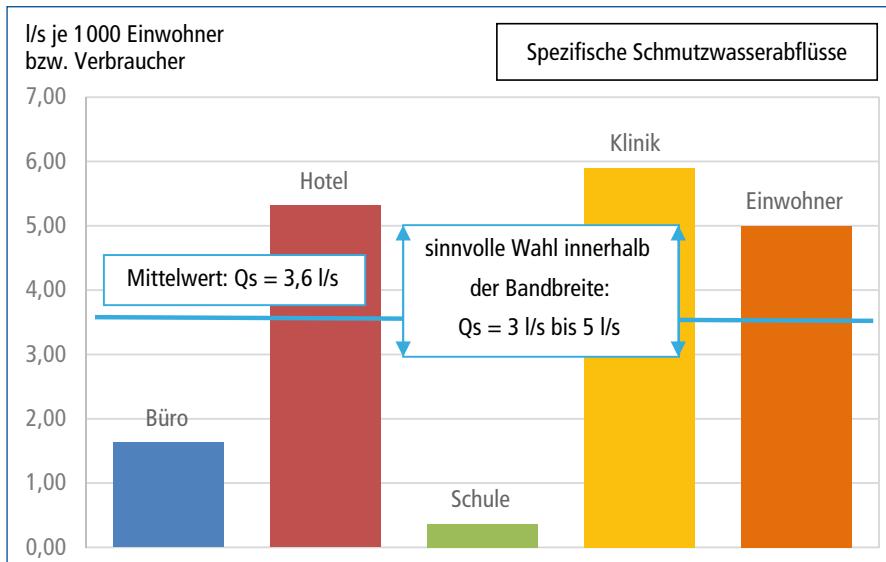


Abbildung 56: Abschätzung der Abwassermenge bei mischgenutzter Bebauung

Falls ein Ansatz hilfreich ist, der auf flächenspezifischen Daten gemäß Abbildung 16 basiert, kann hierzu ebenfalls ein Mittelwert für eine erste überschlägige Betrachtung zum Einzugsgebiet herangezogen werden. Aus den Daten der Abbildung 16 wird dazu ein jährlicher mittlerer flächenspezifischer Abfluss, bezogen auf die Bruttogrundfläche, für das betrachtete Einzugsgebiet generiert. Dieser ist in Abbildung 57 veranschaulicht. Er liegt bei 0,48 Kubikmetern pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr.

Die Berechnung des zur Verfügung stehenden Abwasserabflusses kann überschlägig unter der Annahme von im Mittel 250 Tagen Betriebszeit im Jahr, dem Tagesspitzenfaktor von acht Stunden je Tag und 3 600 Sekunden je Stunde sowie dem Aufschlagsfaktor für Regen- und Fremdwasseranteile (vgl. 2.4.7) wie folgt vereinfacht durchgeführt werden:

Formel 34: Mittlerer Schmutzwasserabfluss bei Mischnutzung in Litern je Sekunde, Bezug: Bruttogrundfläche im Einzugsgebiet

$$\begin{aligned}
 Q_{s+f} &= 1,3 \cdot 0,4804 \cdot \text{BGF} / (8 \cdot 250 \cdot 3600) \\
 &= 8,673 \cdot 10^{-8} \cdot \text{BGF}
 \end{aligned}
 \quad [\text{l/s}]$$

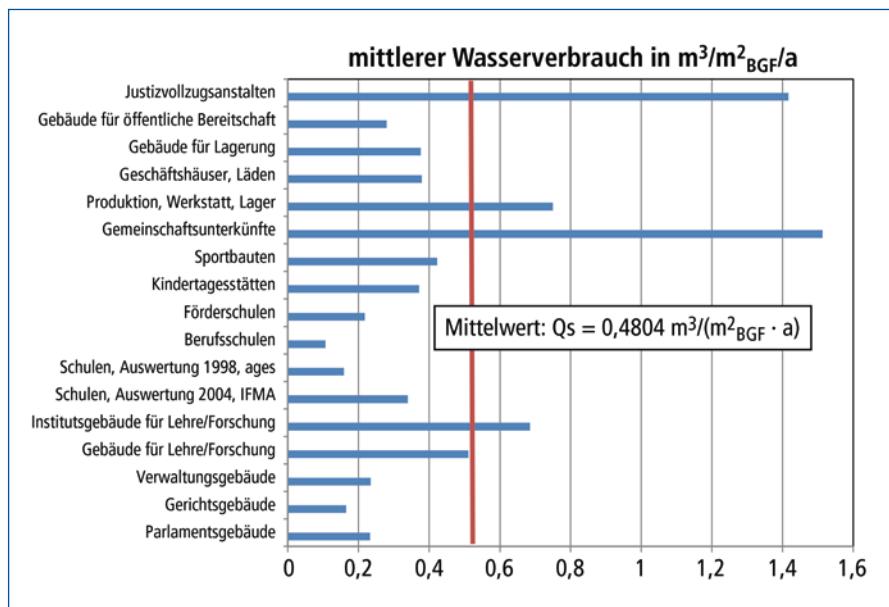


Abbildung 57: Abschätzung der Abwassermenge bei mischgenutzter Bebauung mit Hilfe des Wasserverbrauchs (Grafik in Anlehnung an [Bog 2008, S. 169])

Für welche Heizlast die Abwasserabflussmenge aus dem betrachteten Einzugsgebiet auf Grundlage der Formeln 3, 32, 33 und 34 sowie einer Temperaturabkühlung von 2 °K ausreichend ist, kann wie folgt überschlägig mithilfe des Deckungsgrades (P_{WP}/Φ_{HL}) ermittelt werden:

Formel 35: Deckungsgrad in Prozent, Bezug: Bruttogrundfläche im Einzugsgebiet und Jahresmittelwert der Abwassermenge

$$\frac{P_{WP}}{\Phi_{HL}} = \frac{8,673 \cdot 10^{-8} \cdot BGF \cdot 4,19 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \frac{JAZ}{(JAZ-1)}}{(0,0337 \cdot A_b + 12)} \cdot 100 =$$

$$\frac{P_{WP}}{\Phi_{HL}} = \frac{7,268 \cdot 10^{-7} \cdot BGF \cdot \frac{JAZ}{(JAZ-1)}}{(0,0337 \cdot A_b + 12)} \cdot 100 = [\%]$$

oder bei 4 Litern pro Sekunde je 1000 Einwohner bzw. Verbraucher:

Formel 36: Deckungsgrad in Prozent, Bezug: Einwohner/Verbraucher im Einzugsgebiet und Abwasserspitzenabfluss

$$\frac{P_{WP}}{\Phi_{HL}} = \frac{1,3 \cdot 0,004 \cdot E,V \cdot 4,19 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \frac{JAZ}{(JAZ-1)}}{(0,0337 \cdot A_b + 12)} \cdot 100 =$$

$$\frac{P_{WP}}{\Phi_{HL}} = \frac{0,043576 \cdot E,V \cdot \frac{JAZ}{(JAZ-1)}}{(0,0337 \cdot A_b + 12)} \cdot 100 = \quad [\%]$$

Die Berechnung des Deckungsgrads wird am Beispiel später noch veranschaulicht. Bezogen auf die Ansiedlungsfläche insgesamt oder ein einzelnes Gebäude kann somit eine erste grobe Aussage getroffen werden, welcher Deckungsgrad durch die Abwasserwärme erreicht werden kann. Eventuell ist eine Gesamtdeckung möglich. Ist lediglich eine Teildeckung für ein Objekt realisierbar, ist über eine bivalente Anlage nachzudenken.

Die Checkliste

Die nachfolgende Checkliste fasst die zu berücksichtigenden Punkte zusammen. Diese Aufstellung soll helfen, Fragen zum Wärmebedarf und zum Wärmeangebot sowie zu allgemeinen technischen und formalen Randbedingungen rechtzeitig zu klären.

Tabelle 20: Checkliste zur Projektierung der Abwasserwärmennutzung

Checkliste zur Abwasserwärmennutzung:	
1.	Generell: die formale Zustimmung des Abwasserbetriebes einholen
2.	Hydraulische Verhältnisse prüfen: – Kanalquerschnitt – hydraulische Auslastung – Fließgeschwindigkeit im Kanal (idealerweise zwischen 0,2 m/s und 0,8 m/s) – Kanalgefälle (idealerweise zwischen 0,1 Prozent und 10 Prozent).
3.	Beteiligte sollen bei einem Vertragsentwurf mit dem Entwässerungsbetrieb oder mit einem Wärme-Contractor mitwirken.
4.	Zugänglichkeit und Entfernung zum Kanal klären
5.	Klären, ob eventuell eine Kanalsanierung oder ein Kanalneubau im betroffenen Kanalteilstück geplant ist
6.	Prüfen, ob Abwasserwärme auch direkt im Gebäude nutzbar gemacht werden kann

Tabelle 20: Checkliste zur Projektierung der Abwasserwärmemenutzung (Fortsetzung)

7.	Frühzeitige EnEV-Bewertung zum geplanten Objekt
	<ul style="list-style-type: none"> – kann zunächst mit vereinfachter, modellhafter Kubatur die EnEV-Berechnung erfolgen – daraus kann die bilanzierte Jahreswärmemenge genutzt werden – erstes Ergebnis zur Gebäudehülle und Heiztechnik kann unabhängig von der Thematik »Abwasserwärmemenutzung« für die Einordnung hinsichtlich KfW-Fördermittel genutzt werden
8.	Überschlägig Heizlast bei Abwasserwärmemenutzung, bezogen auf die beheizte Fläche unter Einhaltung der EnEV berechnen (siehe 2.9).
	<ul style="list-style-type: none"> – bei Bedarf: Vergleich der Ergebnisse aus überschlägiger Heizlastberechnung mit den Abbildungen 40 bis 44
9.	Überschlägige Abwassermenge ermitteln (idealerweise mindestens 15 l/s), eventuell können auch verwertbare Angaben des Entwässerungsbetriebes genutzt werden.
10.	Überschlägige Berechnung des Wärmepotenzials aus der zur Verfügung stehenden Abwassermenge und der maximalen Wärmepumpenleistung.
11.	Deckungsgrad abschätzen (monovalente oder bivalente Anlage).
12.	Klären, ob das Gebäude auch gekühlt werden soll.
13.	Bestimmung der Wärmepumpenleistung
14.	Bestimmung der Wärmetauscherleistung
15.	Bestimmung der Wärmetauscheroberfläche (Annahme: Wärmetauscher wird im Kanal montiert)
16.	Abschätzung der Investitionskosten und Jahreskosten
17.	Umrechnung auf flächenspezifische Kosten und Einordnung der Einsatzgrenzen im Vergleich zu Varianten → Entscheidung herbeiführen

3.3 Anwendung der Checkliste am Beispiel »Dorfcenter«

3.3.1 Beteiligung der politischen und verwaltungstechnischen Akteure

Anhand der Checkliste (Punkt 1 bis 5) ist zunächst die grundsätzliche Möglichkeit der Abwasserwärmenumutzung zu klären. Dazu sind die Akteure aus dem Bereich der Abwasserbetriebe und gegebenenfalls der politischen Gremien einzubinden.

Bereits in der frühen Planungsphase ist parallel zu allen weiteren Planungsprozessen und dem Gebäudeorentwurf bzw. -entwurf mit dem örtlichen Abwasserträger die Möglichkeit der Abwasserwärmenumutzung zu erörtern. Die Verantwortlichen sind beispielsweise bei Abwasserverbänden, Stadtentwässerungsbetrieben, Tiefbauämtern, Verbandsgemeindewerken usw. zu finden.

Wenn der zuständige Akteur, hier »Werkleiter« genannt, den Planungsgedanken grundsätzlich unterstützt, werden die Punkte 1 bis 5 der Checkliste gemeinsam abgestimmt und Daten zur Verfügung gestellt. Je nach Struktur des Entwässerungsbetriebes wird das Anliegen dem zuständigen politischen Ausschuss zur Beratung und Zustimmung vorgelegt. Dazu sollte ein Exposé mit Inhalten beispielsweise zum Stand der Abwasserwärmenumutzung in Deutschland, zu den Vorteilen hinsichtlich der Abwärmenumutzung und zur CO₂-Reduzierung erstellt werden. Zusätzlich sollten spezifische Unterlagen zum Projekt zur Verfügung gestellt werden. In der Regel beschließt der Ausschuss die grundsätzliche Zustimmung zur Abwasserwärmenumutzung und verweist zwecks Ausarbeitung von vertraglichen Regelungen und Klärung weiterer technischer Details, die mit den Punkten 1 bis 5 der Checkliste in Zusammenhang stehen, an die »Werkleitung« bzw. den Bauherren zurück.

Beim Beispielprojekt steht eine Kanaldimension von 600 Millimetern zur Verfügung. Das Kanalgefälle beträgt etwa 0,4 Prozent. Die Fließgeschwindigkeit und die hydraulische Auslastung des Rohrquerschnittes lassen ebenfalls den Einbau eines Kanalwärmetauschers zu. Eine Kanalsanierung oder ein Kanalneubau des infrage kommenden Teilstückes war seitens des Entwässerungsbetriebes nicht beabsichtigt. Die Kanaltiefe liegt bei etwa 3 Metern. Durch Einstiegsschächte ist die Zugänglichkeit zum Kanal gesichert. Der Kanal verläuft unmittelbar an der Grundstücksgrenze im Straßenraum. Vom Kanalwärmetauscher bis zur Heiztechnikzentrale sind rund 20 Meter zu überwinden. Für diese Strecke ist die Vor- und Rücklaufleitung des Sole-Wasser-Kreislaufes bis zur Wärmepumpe einzuplanen.

Aufgrund der erteilten grundsätzlichen Zustimmung der relevanten Akteure (hier Werksausschuss) wird die Entwurfsplanung weiter vorangetrieben und die Gebäude des Dorfcenters inklusive der Planung der Gebäudetechnik werden konkretisiert. Dabei sind zunächst energetische Betrachtungen von Interesse. Die Abarbeitung

der notwendigen Schritte anhand der Checkliste wird nachfolgend am gewählten Beispiel aufgezeigt.

3.3.2 EnEV-Bilanzierung und Jahreswärmeverbrauch

Punkt 6 der Checkliste: Beim Beispiel ist keine Unterkellerung vorgesehen, daher werden keine Nutzungen mit Wärmetauschern untersucht, die in Fallleitungen oder abgehängten Sammelleitungen Platz finden. Des Weiteren ist der Schmutzwasseranfall beim Objekt selbst sehr gering, sodass nur eine Wärmerückgewinnung aus dem öffentlichen Kanal betrachtet wird.

Punkt 7 der Checkliste: Die EnEV-Berechnung in der frühen Projektierungsphase geht von folgenden den unten stehenden U-Werten zur Gebäudehülle und Heiztechnik aus, womit durch die Anwendung der Abwasserwärmevernutzung die Einhaltung der EnEV und des EEWärmeG erreicht wird:

- Dach: 0,17 W/(m² · K)
- Wände: 0,23 W/(m² · K)
- Boden: 0,30 W/(m² · K)
- Fenster: 1,10 W/(m² · K)
- Sole-Wasser-Wärmepumpe als Wärmeerzeuger
- Heizkörper als Übergabekomponenten.

Mit diesen Grundlagen werden die EnEV-Anforderungen an Neubauten hinsichtlich des Jahres-Primärenergiebedarfs und der mittleren U-Werte eingehalten bzw. etwas unterschritten. Die Einhaltung des EEWärmeG durch Ersatzmaßnahmen (wärmetechnische Verbesserung der Gebäudehülle), die zu einer Unterschreitung der EnEV um mindestens 15 Prozent führen, ist damit nicht notwendig. Unter Einsatz einer marktüblichen Software zur EnEV und zur DIN V 18599 wurden nachfolgende Ergebnisse zum jährlichen Nutzenergiebedarf je Gebäudeteil berechnet. Insgesamt ergibt sich ein Heizbedarf (Nutzenergie) von **148 047 Kilowattstunden pro Jahr:**

- Gebäude Bäcker, Nutzenergie Heizung: 15 610 kWh/a
- Gebäude Arztpraxis, Nutzenergie Heizung: 75 494 kWh/a
- Gebäude Bank/Wohnen, Nutzenergie Heizung: 35 361 kWh/a
- Gebäude Laden, Nutzenergie Heizung: 21 582 kWh/a.

In Abbildung 58 wird beispielhaft das Ergebnis der Monatsbilanzierung für den Bau teil »Arztpraxis« gezeigt. Der rechnerische Kühlungsbedarf, der in der Bilanzierung mit bewertet wurde, kann technisch mit der Abwasserwärmepumpe realisiert werden, ist jedoch insgesamt gesehen hier eher von untergeordneter Bedeutung. Ob die

Kühlung technisch umgesetzt wird, kann auch noch zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt entschieden werden und hängt von Nutzervorgaben und aus Investorensicht vom Mietvertrag ab (siehe Checkliste Punkt 12).

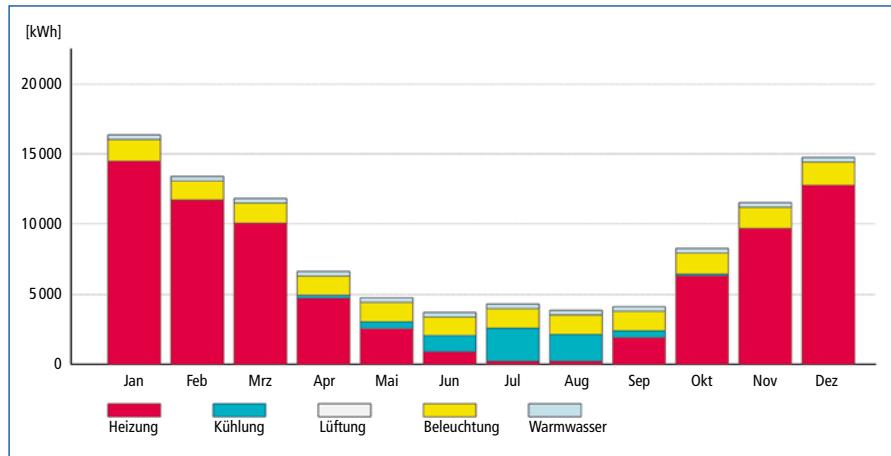


Abbildung 58: Beispiel Monatsbilanzierung Nutzenergiebedarf – Arztpraxis

3.3.3 Abschätzungen der Heizlast

Punkt 8 der Checkliste: Die Heizlast wird hier zum Vergleich mithilfe von zwei Ansätzen ermittelt. Zum einen wird die Gleichung in Abbildung 55 für die überschlägige Ermittlung der Heizlast bei einer Mischnutzung angewendet. Zusätzlich wird die überschlägige Ermittlung mithilfe der Abbildungen 40 bis 44 durchgeführt.

Am Beispiel des Gebäudeteils »Arztpraxis« wird in Tabelle 21 die überschlägige Berechnung gemäß Tabelle 19 aufgezeigt und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Die Größe der jeweils beheizten Fläche zur Ermittlung der jeweils entsprechenden Heizlast anhand der Diagramme in den Abb. 40 bis 44 und 55 oder Formel 32 kann den Flächenzusammenstellungen zum Projekt oder den Eingangsdaten zur EnEV-Berechnung entnommen werden. Hierbei werden die Grundflächen des Bau- teils »Bodenplatte« für das Erdgeschoss und die Dachflächen für die Obergeschosse vereinfacht der beheizten Fläche gleichgesetzt. Die Flächenmaße lauten gerundet wie folgt, wobei die Summe 1685 Quadratmeter beträgt:

- Gebäude Bäcker: 200 m²
 - Gebäude Arztpraxis (EG+OG): 720 m²
 - Gebäude Bank/Wohnen (EG+OG): 590 m²
 - Gebäude Laden: 175 m².

Unter Anwendung der Gleichung in Abbildung 55 bzw. der Formel 32 ergibt sich folgende überschlägige Heizlast (Φ_{HL}) für das gesamte Dorfcenter:

$$\Phi_{HL} = 0,0337 \cdot 1685 + 12 \approx 68 \text{ kW}$$

Für die einzelnen Gebäudeteile können mithilfe der Abbildungen 41 und 42, die für kleine Flächenbezüge in den Abbildungen 59 und 60 aufbereitet wurden, folgende Heizlasten abgeschätzt werden:

- Gebäude Bäcker, Abbildungen 42, 60: 8 kW
- Gebäude Arztpraxis (EG+OG), Abbildungen 41, 59: 27 kW
- Gebäude Bank/Wohnen (EG+OG), Abbildungen 41, 59: 23 kW
- Gebäude Laden, Abbildungen 42, 60: 7 kW

Die gesamte Heizlast kann demnach auf etwa 65 Kilowatt abgeschätzt werden, was eine sehr gute Übereinstimmung mit der dem Ergebnis von Formel 32 bedeutet.

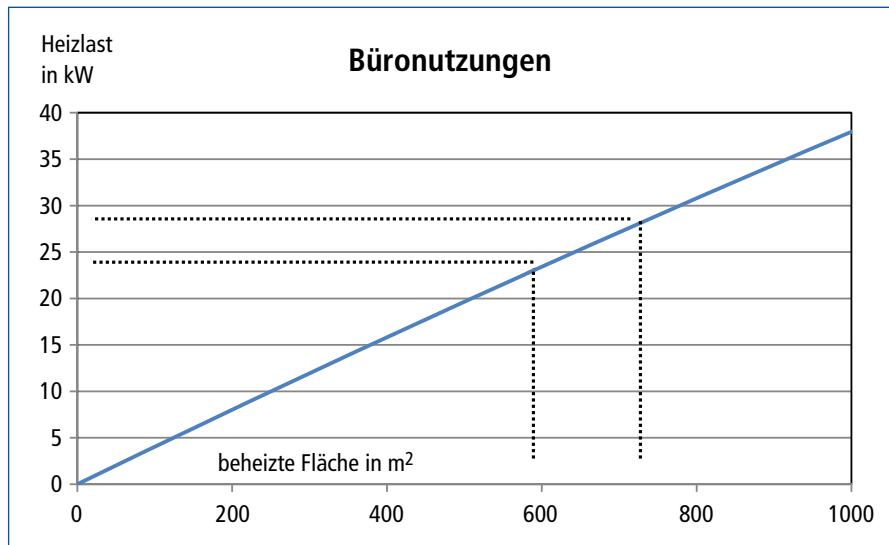


Abbildung 59: Heizlastdiagramm für Büronutzungen bis 1000 m²

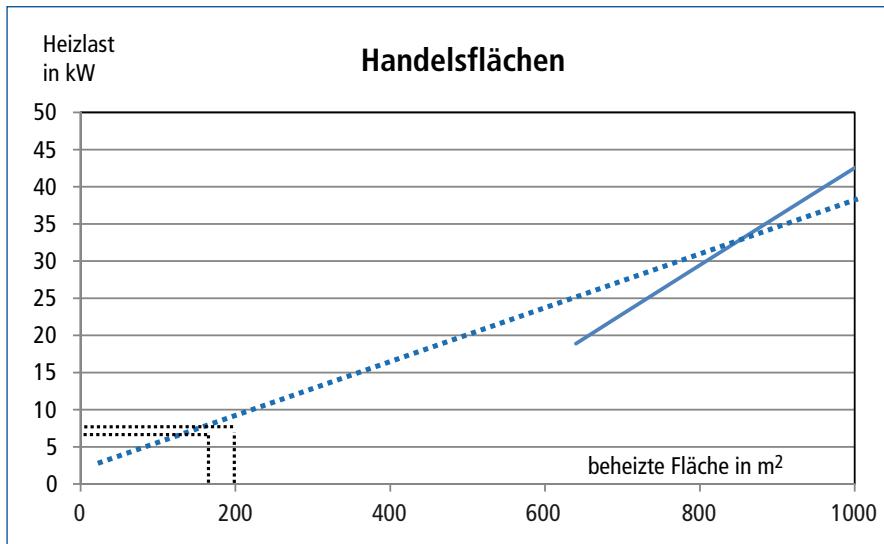


Abbildung 60: Heizlastdiagramm für Handelsflächen bis 1000 m²

Wird für jedes Gebäudeteil aufgrund der Transmissionswärmeverluste und Lüftungsverluste die Heizlast etwas genauer berechnet, ergibt sich am Beispiel des Gebäudeteils »Arztpraxis« und der Nutzfläche im Obergeschoss (Physiotherapeut) eine Heizlast von 23 Kilowatt.

Die Berechnung ist in Anlehnung an Tabelle 19 in nachfolgender Tabelle 21 dargestellt. Die ermittelten 23 Kilowatt weichen im Vergleich zu den zuvor ermittelten 27 Kilowatt anhand der Gleichung in Abbildung 55 nach unten ab, was dennoch eine gute Übereinstimmung darstellt.

Der Vergleich zeigt insgesamt, dass für die frühe Projektphase alle drei Ansätze zur Abschätzung der notwendigen Heizlast genutzt werden können. Die Heizlast muss letztlich bei einer monovalenten Heizanlage durch die Abwasserwärmennutzung gedeckt werden. Alternativ kann ein bivalentes Heizsystem aufgebaut werden. Dazu ist die Ermittlung des Deckungsgrades notwendig, wobei zunächst das Wärmepotenzial des Abwassers ermittelt wird.

Tabelle 21: Heizlastberechnung Gebäudeteil »Arztpraxis«

Nr.	Bezeichnung	Ausrichtung	Neigung [°]	Fläche [m ²]	U-Wert [W/m ² K]	H _T [W/K]	F _x
1	Dachfläche	Horizontal	0	360	0,17	78,06	1
2	Außenwand EG	Nord-Ost	90	71,98	0,23	20,39	1
3	Wärmeschutzverglasung EG	Nord-Ost	90	6,02	1,1	6,93	1
4	Außenwand OG	Nord-Ost	90	41,27	0,23	11,56	1
5	Wärmeschutzverglasung OG	Nord-Ost	90	4,76	1,1	5,48	1
6	Außenwand EG	Süd-Ost	90	49,26	0,23	13,79	1
7	Wärmeschutzverglasung EG	Süd-Ost	90	20,94	1,1	24,09	1
8	Außenwand OG	Süd-Ost	90	28,56	0,23	8	1
9	Wärmeschutzverglasung OG	Süd-Ost	90	20,94	1,1	24,09	1
10	Außenwand EG	Süd-West	90	62,44	0,23	17,48	1
11	Wärmeschutzverglasung EG	Süd-West	90	15,56	1,1	17,9	1
12	Außenwand OG	Süd-West	90	37,96	0,23	10,63	1
13	Wärmeschutzverglasung OG	Süd-West	90	8,07	1,1	9,28	1
14	Außenwand EG	Nord-West	90	59,09	0,23	16,54	1
15	Wärmeschutzverglasung EG	Nord-West	90	11,11	1,1	12,78	1
16	Außenwand OG	Nord-West	90	38,39	0,23	10,75	1
17	Wärmeschutzverglasung OG	Nord-West	90	11,11	1,1	12,78	1
18	Bodenplatte	Horizontal	0	360	0,3	126,44	0,5
				Σ	1 207,47		426,97

$$\text{Temperaturdifferenz } \Theta_i - \Theta_e =$$

$$20 - (-12) = 32 \text{ K}$$

$$\text{Transmissionsheizlast } \Phi_T =$$

$$14 \text{ kW}$$

$$\text{Luftvolumen} =$$

$$3\,390 \text{ m}^3$$

$$\text{Mindestluftwechsel } n_{\min} =$$

$$0,5 \text{ 1/h}$$

$$\text{Lüftungswärmeverlust} =$$

$$0,29 \text{ kWh/m}^3/\text{K}$$

$$\text{Lüftungsheizlast } \Phi_V =$$

$$9 \text{ kW}$$

$$\text{Normheizlast } \Phi_{HL} =$$

$$23 \text{ kW}$$

3.3.4 Ermittlung der Abwassermengen und des Wärmepotenzials

Punkt 9 der Checkliste: Für das abwassertechnische Einzugsgebiet in Fließrichtung oberhalb des Projektstandortes können 12 000 Einwohner bzw. Verbraucher angenommen werden (vgl. 3.1). Daraus lässt sich überschlägig mithilfe der Formel 33 die Spitzenabwassermenge je Sekunde bzw. je Stunde berechnen, wobei 4 Liter je 1 000 Einwohner (E) und Sekunde Abwasseranfall angenommen werden:

$$\begin{aligned} Q_{s+f} &= 1,3 \cdot 0,004 \text{ l/(E} \cdot \text{s)} \cdot 12\,000 \text{ E} = 62 \text{ l/s} \\ &= 223 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Wird der Aufschlagsfaktor für Fremdwasser vernachlässigt, stehen 48 Liter je Sekunde zur Verfügung ($0,004 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{s}) \cdot 12000 \text{ E} = 48 \text{ l/s}$).

Die tägliche und jährliche zur Verfügung stehende Abwassermenge inklusive Fremdwasseranteil (Q_s) wird mithilfe des spezifischen täglichen Abwasseranfalls ermittelt (vgl. 2.4.7):

$$Q_s = 1,3 \cdot \frac{12000 \text{ E} \cdot 150 \frac{1}{\text{E} \cdot \text{d}}}{1000 \frac{1}{\text{m}^3}} = 2340 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$= 854\,100 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}$$

Ohne Aufschlagsfaktor für Fremd- und Regenwasseranteile kann die tägliche bzw. jährliche Abwassermenge auf 1800 bzw. 657 000 Kubikmeter beziffert werden. Mit diesen Werten sollte das Wärmepotenzial ebenso berechnet werden, damit eine Bandbreite zum Wärmepotenzial zwecks Bewertung einer sicheren monovalenten Betriebsweise vorliegt. Beim Entwässerungsbetrieb wurde parallel die Jahresschmutzwassermenge der unterhalb des Ortes liegenden Kläranlage angefragt. Diese beträgt rund 800 000 Kubikmeter, was die oben aufgeführte Vorgehensweise zur Abschätzung der Größenordnung der Jahresschmutzwassermenge bestätigt.

Punkt 10 der Checkliste: Die zur Verfügung stehende Spitzenwärmleistung des Wärmetauschers (W_{WT}) aufgrund der Spitzenabwassermenge je Sekunde wird in Anlehnung an Formel 3 mit und ohne Fremdwasseraufschlag und einer Temperaturabkühlung des Abwassers von 2°K ermittelt.

$$W_{WT} = 4,19 \text{ kJ/kg/K} \cdot 1 \text{ kg/l} \cdot 62 \text{ l/s} \cdot 2^\circ\text{K} = 519 \text{ kW}$$

$$W_{WT} = 4,19 \text{ kJ/kg/K} \cdot 1 \text{ kg/l} \cdot 48 \text{ l/s} \cdot 2^\circ\text{K} = 402 \text{ kW}$$

Bezogen auf die tägliche Abwassermenge ergibt sich die Leistung wie folgt:

$$W_{WT} = \frac{\frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2340 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 2 \text{ K}}{86400 \text{ s/d}} = 227 \text{ kW}$$

Das jährliche Wärmepotenzial (W) aus dem zur Verfügung stehenden Abwasser wird unter Anwendung der Formel 13 für die mögliche Bandbreite berechnet.

$$W = \frac{\frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 854\,100 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \cdot 2 \text{ K}}{3600 \text{ s/h}} = 1988\,155 \text{ kWh/a}$$

$$W = \frac{\frac{4,19 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 657\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \cdot 2 \text{ K}}{3600 \text{ s/h}} = 1529\,350 \text{ kWh/a}$$

Aus dem jährlichen Wärmepotenzial lässt sich die zur Verfügung stehende tägliche Wärmeleistung im Vergleich zur oben berechneten Spitzenleistung mithilfe von 8760 Stunden pro Jahr ableiten. Die mögliche Wärmeleistung eines Wärmetauschers beträgt somit im Durchschnitt rund **175 bis 227 Kilowatt**.

Insgesamt sollte vom täglich durchschnittlich zur Verfügung stehenden Abwasser und der daraus resultierenden Größenordnung von im Mittel etwa **200 Kilowatt Wärmetauscherleistung** bzw. Entzugsleistung aus dem Abwasser ausgegangen werden.

Zur Sicherstellung der Raumbeheizung ist die niedrigste Wärmetauscherleistung in Kilowatt maßgebend, da bei Tiefsttemperaturen (in der Regel im Januar oder Februar) die erforderliche Heizlast durch die Heizleistung der Abwasserwärmepumpenanlage gedeckt werden muss. Ansonsten ist ein zweiter Wärmeerzeuger vorzuhalten und eine bivalente Anlage zu installieren. Die Deckung der erforderlichen Jahresheizenergie ist bei Deckung der Heizlast jedenfalls gegeben. Dies ist aufgrund der ermittelten rund 150 000 Kilowattstunden pro Jahr (vgl. 3.3.2) gemäß Bedarfsberechnung erkennbar. Auch bei Ansatz der niedrigsten Jahresabwassermenge steht immerhin eine resultierende Wärmemenge von rund 1,5 Millionen Kilowattstunden pro Jahr durch den Wärmetauscher zur Verfügung.

Auch ohne Berechnung des Deckungsgrades und des Aufschlages zur resultierenden Heizleistung unter Ansatz einer Jahresarbeitszahl aufgrund der Wärmepumpenfunktion ist bereits an dieser Stelle erkennbar, dass das Dorfcenter vollständig mithilfe des Abwassers aus dem öffentlichen Kanal beheizt werden kann.

3.3.5 Bestimmung der möglichen Wärmepumpenleistung

Noch zu Punkt 10 der Checkliste: Die mögliche Wärmepumpenleistung, hier bezogen auf die minimale zur Verfügung stehende Wärmeleistung des Wärmetauschers im Durchschnitt, wird nach Formel 9 bzw. Abbildung 12 ermittelt. Die Jahresarbeitszahl wird dabei mit 4,0 angenommen.

$$W_{WP} = 175 \text{ kW} \cdot 4 / (4-1) = 233 \text{ kW}$$

bzw. bezogen auf die jährliche Wärmemenge

$$W_{WP} = 1\,529\,350 \text{ kWh/a} \cdot 4 / (4-1) = 2\,039\,133 \text{ kWh/a}$$

Mithilfe der Ermittlung der maximal möglichen Wärmepumpenleistung am Projektstandort kann abgeschätzt werden, welche Größenordnung an Heizleistung zur Deckung der Heizlast fehlt bzw. welche Leistung für eventuelle Gebäudeerweiterungen oder sonstige Gebäude im Bereich des Projektstandortes zur Verfügung steht.

Es kann beispielsweise geprüft werden, ob Akteure aus der Nachbarschaft aufgrund einer anstehenden Modernisierung der Heizanlage auf Abwasserwärmemut-

zung umsteigen und sich an einem entsprechenden Wärmetauscher oder einer gemeinsamen Gesamtanlage beteiligen wollen.

3.3.6 Betrachtungen zum Deckungsgrad

Punkt 11 der Checkliste: In Kapitel 3.3.4 wird bereits deutlich, dass beim gewählten Beispiel die Heizlast und der Jahreswärmeverbrauch gedeckt werden können. Demnach ist es möglich, eine monovalente Anlage zu installieren und die Gebäude vollständig mit Wärme aus dem Abwasserkanal zu beheizen.

Die Anwendung der Formel 36 wird zur Verdeutlichung der Vorgehensweise und der Vollständigkeit halber dennoch aufgezeigt. Hierbei wird nicht die Wärmepumpenleistung bei der Spitzenabwassermenge berücksichtigt, sondern die Leistung auf Basis des täglichen Abflusses (vgl. 3.3.5).

Die Auswahl der Ansätze der Bewertungsgrundlagen bleibt eine planerische Aufgabe. Empfehlenswert sind Betrachtungen zur Bandbreite und die Berechnung des Deckungsgrades (DE) für die Spitzenabflussmenge und eines Mittelwertes. Im Rahmen der Ausführungsplanung können auf dieser Basis, gerade bei bivalenten Anlagen, weitere Aspekte wie beispielsweise die Dimensionierung des Pufferspeichers betrachtet werden.

Die mögliche Wärmepumpenleistung, bezogen auf den unteren Wert der Bandbreite der Jahresabwassermenge, beträgt gemäß Kapitel 3.3.5 etwa 233 Kilowatt. Die Heizlast wurde gemäß Kapitel 3.3.3 auf rund 70 Kilowatt abgeschätzt. Der Deckungsgrad ergibt sich demnach wie folgt:

$$DE = \frac{P_{WP}}{\Phi_{HL}} = \frac{233 \text{ kW}}{70 \text{ kW}} \cdot 100 = 333\%$$

Erst wenn die Wärmepumpenleistung aufgrund der möglichen Wärmetauscherleistung die Heizlast nicht decken kann, ist ein zweiter Wärmeerzeuger zu installieren. Hierbei ist mit Blick auf das EEWärmeG sicherzustellen, dass der jährliche Heizenergiebedarf mindestens zu 50 Prozent von der Abwasserwärmepumpe zur Verfügung gestellt wird. Ansonsten müssen zusätzliche Ersatzmaßnahmen wie eine bessere Gebäudedämmung oder der Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien realisiert werden.

3.3.7 Betrachtungen zur Kühlleistung

Punkt 12 der Checkliste: In Kapitel 3.3.2 wird darauf hingewiesen, dass die Realisierung der Kühlung beispielsweise von vertraglichen Bedingungen abhängt. Generell ist die Kühlung mit der Abwasserwärmennutzung realisierbar. In der Kühlphase wird die abzugebende Raumwärme über die Wärmepumpe auf den Sole-Wasser-Kreislauf übertragen und dem Abwasser zugeführt. Dazu steht die gleiche Wärmetauscheroberfläche zur Verfügung wie im Heizfall.

Eine abweichende Dimensionierung des Wärmetauschers für den Kühlfall kann in der Ausführungsplanung näher untersucht werden, wird jedoch in der Praxis selten

eine Rolle spielen. In der frühen Projektphase wird davon ausgegangen, dass die Kühllast der Heizlast entspricht und die Kühlleistung nicht die relevante Grundlage für die Abwasserwärmeanlage darstellt.

Die überschlägige Kühlleistung (Q_K) kann in der frühen Projektphase mithilfe von Erfahrungswerten zur spezifischen Kühllast (q_K) und unter Ansatz der Fläche (A_b) berechnet werden. Für gut isolierte Räume wird beispielsweise von etwa 40 Watt pro Quadratmeter ausgegangen.¹⁰²

Formel 37: Überschlägige Berechnung der Kühlleistung

$$Q_K = \frac{q_K \left(\frac{W}{m^2} \right) \cdot A_b(m^2)}{1000 \left(\frac{W}{kW} \right)} \quad [kW]$$

Für das Beispiel »Dorfcenter« ergibt sich für die gesamte Fläche eine Kühllast von:

$$Q_K = \frac{40 \cdot 1685}{1000} = 67 \text{ kW}$$

Wird nicht die gesamte Fläche gekühlt, was in der Regel zu erwarten ist, ist die Kühllast um einiges geringer als die Heizlast.

Die berechnete, überschlägige Kühllast für die gesamte Fläche entspricht der ebenso überschlägig ermittelten Heizlast von rund 70 Kilowatt (vgl. 3.3.3). Somit bestätigt sich, dass der Heizfall die Grundlage für Betrachtungen zur Abwasserwärmeanlage darstellt.

3.3.8 Festlegung der Wärmepumpenleistung aufgrund der Heizlast

Punkt 13 der Checkliste: Gemäß Kapitel 3.3.3 ist von einer Heizlast von knapp 70 Kilowatt auszugehen. Dieser Nutzwärmebedarf muss für die vier Gebäudeile des Dorfcenters zur Verfügung gestellt werden. Unabhängig von zu berücksichtigenden Verlusten beim Wärmeerzeuger und bei der Wärmeverteilung, wird bei der überschlägigen Betrachtung von einer Leistung von $W_{WP}=70$ Kilowatt für die Wärmepumpe ausgegangen.

Die Jahresarbeitszahl der Sole-Wasser-Wärmepumpe wird mit 4,0 angenommen.

Die zu installierende elektrische Leistung für die Wärmepumpe liegt in Anlehnung an Formel 12 somit bei etwa 20 Kilowatt:

$$W_{el} = 70 - \frac{70}{4} = 17,5 \text{ kW}$$

102 vgl. [IBS 2015]

Diese elektrische Leistung muss vom Stromversorger sichergestellt werden. Sie fällt jedoch niedriger im Vergleich zu einer Luftwärmepumpe aus, da die Jahresarbeitszahl bzw. der Coefficient of Performance bei Abwasserwärmepumpen aufgrund des wärmeren Energieträgers höher ist.

3.3.9 Bestimmung der Wärmetauscherleistung und -oberfläche

Punkt 14 der Checkliste: Steht in Anlehnung an die Heizlast die Wärmepumpenleistung fest, kann die erforderliche Wärmetauscherleistung zur Deckung der Heizlast bestimmt werden. Dies erfolgt mittels Formel 9, die wie folgt umgestellt wird:

$$W_{WT} = \frac{W_{WP} \text{ [kW]}}{\frac{JAZ}{JAZ-1}} = \frac{70}{\frac{4}{4-1}} = 52,5 \text{ kW}$$

Punkt 15 der Checkliste: Anschließend wird unter Anwendung von Formel 7 die erforderliche Wärmetauscheroberfläche (AWT) berechnet. Dabei werden die Temperaturabkühlung von 2 °K und ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,75 Kilowatt pro Quadratmeter und Kelvin zugrunde gelegt.

$$A_{WT} = \frac{52,5}{0,75 \cdot 2} = 35 \text{ m}^2$$

Die Wärmetauscheroberfläche kann alternativ in Anlehnung an Abbildung 8 grafisch abgeschätzt werden. Diese Vorgehensweise wird in der nachfolgenden Abbildung 61 für das gewählte Beispiel aufgezeigt.

Beim Beispiel wird von einem nachzurüstenden Wärmetauscher im Kanal ausgegangen. Es ist natürlich auch eine externe Aufstellung möglich. Die möglichen Systemvarianten wurden in Kapitel 2.7 vorgestellt.

Für die vorhandene Kanaldimension von 600 Millimetern wird hier eine wirksame Wärmetauscherbreite (B_{WT}) von 700 Millimetern angenommen. Das genaue Maß kann beim Hersteller angefragt werden.

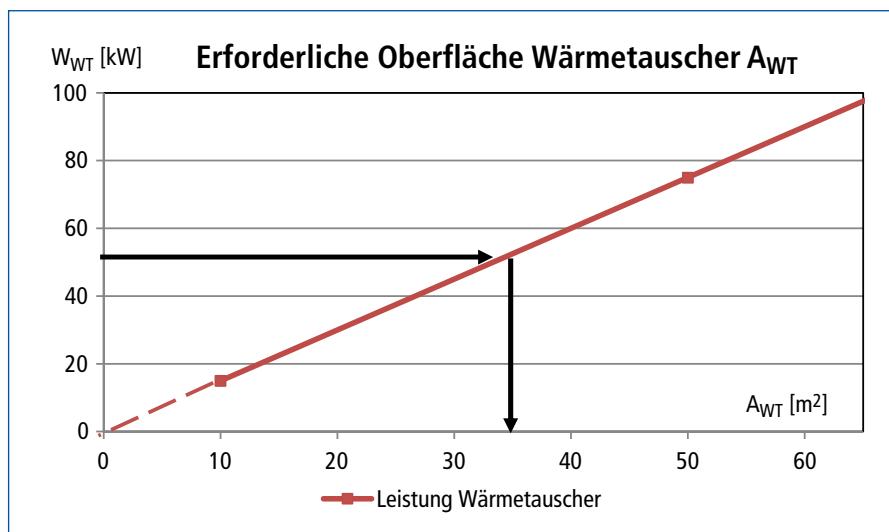


Abbildung 61: Oberflächengröße Wärmetauscher für Beispiel »Dorfcenter«

Damit einige grundlegende hydraulische Daten zum öffentlichen Kanalrohr vorliegen, kann ergänzend eine Berechnung des Abflussquerschnitts erfolgen. Die Berechnung der Abflussleitung bei Vollfüllung (Q_v , in m^3/s) oder Teilfüllung (Q_t , in m^3/s) bzw. der Wasserstand im Kanal in Abhängigkeit von der durchflossenen Fläche (F_v oder F_t in m^2) wird mithilfe der »Prandtl-Colebrook-Fließformel«¹⁰³ durchgeführt oder aus Tabellenwerken abgelesen (J =Gefälle, R =hydraulischer Radius). Die Berechnung der Teilfüllhöhe ist iterativ möglich.

Formel 38: Berechnung der Abflussleistung und Füllhöhe im Kanal

$$Q_{v,t} = F_{v,t} \cdot \left(-2 \cdot \log \left[\frac{2,51 \cdot 1,31 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot R \cdot \sqrt{8 \cdot 9,81 \cdot R \cdot J}} + \frac{0,75}{14,84 \cdot R \cdot J} \right] \cdot \sqrt{8 \cdot 9,81 \cdot R \cdot J} \right)$$

Bei einer Nennweite von 600 Millimetern und einem Gefälle von 0,4 Prozent ergibt sich eine Vollfüllleistung von rund 422 Litern je Sekunde. Da der Abwasserabfluss bei Trockenwetter zwischen dem Spitzenabfluss von 62 Litern je Sekunde (vgl. 3.3.4) und dem Nachtabfluss schwankt, ist die Teilfüllhöhe für die Konstruktion des Wärmetauschers von Interesse. Dieser sollte optimal an die Wasserstände angepasst werden, damit eine Benetzung mit Abwasser weitestgehend sichergestellt ist.

Der niedrige Nachtabfluss kann mithilfe der Abbildung 14 abgeschätzt werden. Es ist in Abbildung 14 erkennbar, dass zwischen dem Spitzenabfluss und dem Nachtabfluss ein Faktor 2,5 angenommen werden kann. Der Nachtabfluss liegt demnach bei etwa 25 Litern je Sekunde (= 62 l/s/2,5). Werden auf Grundlage der Abflüsse von 25

103 vgl. [Uek 1972, S. 20f.]

bzw. 62 Litern je Sekunde die Teilstückshöhen im Kanal berechnet, ergeben sich etwa 10 bzw. 16 Zentimeter Wasserstand im vorhandenen Kanalrohr. Wenn der Einbau des Wärmetauschers berücksichtigt wird, verändern sich die Wasserstände infolge der Anpassung des hydraulischen Profils. Dies ist jedoch erst für die spätere Umsetzung von Interesse und in der frühen Projektphase nicht im Detail von Bedeutung.

Für die überschlägige Abschätzung der Länge des Wärmetauschers und der Konstruktionsweise in der frühen Projektphase reichen die zuvor aufgeführten Annahmen zur wirksamen Wärmetauscherbreite völlig aus. Die Konstruktionsweise, die wirksame Wärmetauscherbreite und die Bandbreite der Wasserstände bei Teilfüllung des vorhandenen Kanalrohrs sind in der nachfolgenden Skizze verdeutlicht.

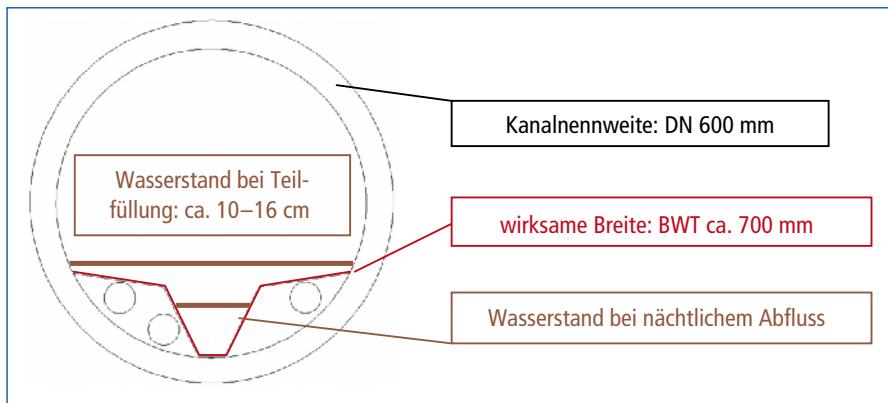


Abbildung 62: Wärmetauschereinbau im vorhandenen Kanalrohr

Es ist erkennbar, dass der Wärmetauscher bei nächtlichen Abflusswerten nicht unbedingt voll benetzt wird und nicht die volle Entzugsleistung erreichen kann. Ein kreisrunder Wärmetauscher kann hier zum Optimum beitragen (vgl. Abbildung 25, Form B). Wenn von einer Nachabsenkung oder Nachabschaltung ausgegangen wird, muss die volle Leistung in den Nachtstunden nicht zur Verfügung stehen. Des Weiteren ist nicht permanent von einer winterlichen Außentemperatur von minus 12 °C, die der Heizlastberechnung zugrunde liegt, auszugehen.

Der nächtliche Betrieb kann sich auch auf das Laden des Pufferspeichers beschränken, damit nach der Nachtabschaltung oder Nachtabsenkung genügend Wärme zur Verfügung steht. Ab den morgendlichen Stunden steht gemäß Abbildung 14 wieder genügend Abwasser zur Verfügung, damit bei Bedarf die volle Heizlast gedeckt werden kann. Aufgrund der wirksamen Breite ergibt sich die erforderliche Länge des Wärmetauschers (L_{WT}) nach Formel 39 wie folgt:

Formel 39: Überschlägige Länge des Kanal-Wärmetauschers

$$L_{WT} = \frac{A_{WT(m^2)}}{B_{WT(m^2)}} = \frac{35}{0,70} = 50 \text{ m}$$

In Abbildung 63 wird die Einbaustrecke von 50 Metern im öffentlichen Kanal aufgezeigt. Am Ende des Wärmetauschers, vom bestehenden Kanalschacht aus, werden die Vor- und Rücklaufleitungen des Sole-Wasser-Gemisches in Richtung Heizzentrale bis zur Wärmepumpe verlegt.

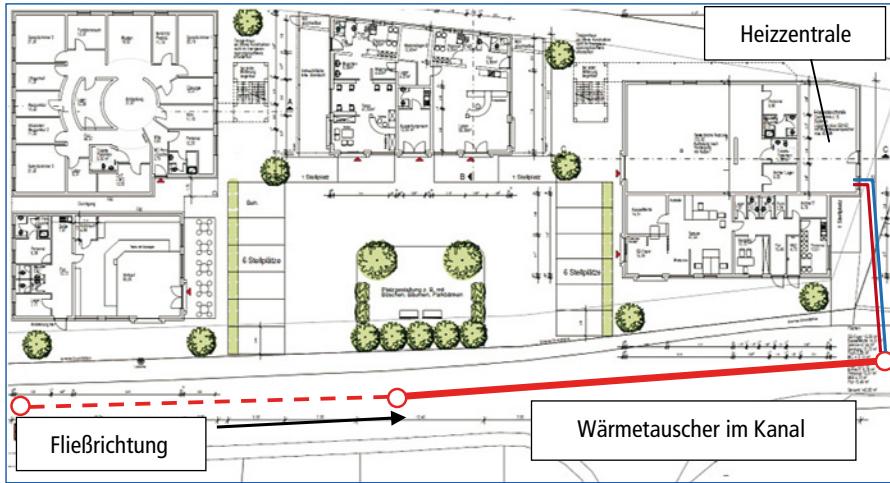


Abbildung 63: Kanalwärmetauscher im Straßenraum [Quelle: RS-Plan AG, Bad Kreuznach]

3.3.10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Punkt 16 der Checkliste: Die beabsichtigten Betrachtungen zum konkreten Beispiel sollen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Abwasserwärmeverwendung mit alternativen Ausführungen vergleichen. Dazu werden für eine erste grobe Kostenabschätzung Kostenfunktionen herangezogen.

Bei dem Beispielobjekt handelt es sich um einen Neubau, daher wird das Kostenmodell 2 nach Kapitel 2.11.1 für die Investitionskosten angewendet. Die Investitionskosten beinhalten zwecks Vergleichs mit alternativen Ausführungen lediglich den thermischen Anteil an der Gebäudehülle und die Kosten für die Heizzentrale. Kosten, die unabhängig von der Alternative anfallen, wie Kosten für Konstruktion und Wärmeverteilung, bleiben unberücksichtigt. Diese werden als neutral eingestuft.

Die Differenzkosten zu den Investitionen der vier Varianten gemäß Kapitel 2.11 werden in Abhängigkeit von der beheizten Fläche abgeschätzt. Die weiteren Möglichkeiten mit Bezug zum jährlichen Wärmebedarf (kWh) können angewendet werden, wenn die EnEV-Berechnungen für die drei Varianten gemäß Kapitel 2.11 durchgeführt werden. Da die Grundlagen insgesamt für die EnEV-Berechnung erfasst sind, können ohne großen Zusatzaufwand alternative EnEV-Berechnungen mit Anpassungen bei Gebäudehülle und Heiztechnik erfolgen. Für das hier gewählte Beispiel werden keine Varianten berechnet und die Vorgehensweise für den Flächenbezug

und die Kombination »Gebäudehülle und Abwasserwärmevernutzung« im Vergleich mit den drei definierten Varianten aufgezeigt.

Zur Abschätzung der zugehörigen Investitionskosten erfolgt die Anwendung der Kostenfunktionen gemäß 2.11.1. Die beheizte Fläche beträgt beim Beispiel 1685 Quadratmeter. Gemäß Formelsammlung 26 in Kapitel 2.11.1 ergeben sich für die vier Varianten folgende Differenzkosten zu den Investitionen (ohne MwSt.):

- Variante EnEV -15%: $y = 572,08 \cdot 1685^{0,7275} = 127\,000 \text{ EUR}$
- Variante Abwasserwärme: $y = 355,27 \cdot 1685^{0,7943} = 130\,000 \text{ EUR}$
- Variante Umweltwärme: $y = 258,73 \cdot 1685^{0,7983} = 97\,000 \text{ EUR}$
- Variante Biomasse/Holzpellets: $y = 540,12 \cdot 1685^{0,7109} = 106\,000 \text{ EUR.}$

Die Ersatzmaßnahme zur Unterschreitung der EnEV um mindestens 15 Prozent bei Nutzung von fossilen Brennstoffen verursacht in etwa die gleichen Investitionen wie die Ersatzmaßnahme »Abwasserwärmevernutzung«.

Die Varianten der eingesetzten Wärmeenergien, »Luft« und »Biomasse«, verursachen etwa 20 bis 25 Prozent geringere Differenzkosten, da der Aufwand für den Abwasserwärmetauscher entfällt.

Sind zunächst nur die Investitionskosten für die Heizzentrale von Interesse, können die Varianten mithilfe der Funktionen in Abbildung 49 ermittelt werden (inklusive MwSt.):

- Variante EnEV -15%: $y = 931,10 \cdot 1685^{0,4322} = 23\,000 \text{ EUR}$
- Variante Abwasserwärme: $y = 471,01 \cdot 1685^{0,7187} = 98\,000 \text{ EUR}$
(inklusive Wärmetauscher)
- Variante Umweltwärme: $y = 395,29 \cdot 1685^{0,6624} = 54\,000 \text{ EUR}$
- Variante Biomasse/Holzpellets: $y = 567,74 \cdot 1685^{0,6681} = 81\,000 \text{ EUR.}$

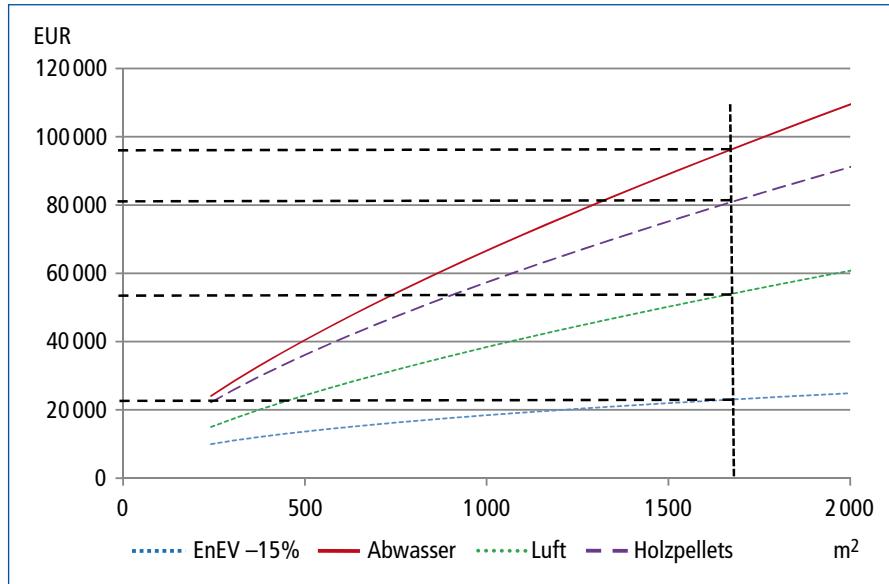


Abbildung 64: Investitionskosten für alternative Heiztechniken am Beispiel »Dorfcenter«

Die aufgezeigten Kosten sollen nicht die absoluten Projektkosten darstellen. Sie sind als Vergleichsmaßstab zu verstehen und genügen damit für eine erste Bewertung als Entscheidungsgrundlage vollkommen. Sie ersetzen jedoch keine konkreten Kostenschätzungen für das Projekt.

Ein Investitionskostenvergleich alleine stellt keine ausreichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dar. Es fehlen der Einfluss der Betriebs- und Energiekosten und der Nutzungsdauer sowie die Kapitalisierung der Investitionen mithilfe der Annuitätenmethode. Insgesamt kann daher die Beurteilung anhand von Jahreskosten empfohlen werden¹⁰⁴, da diese Kosten die Größenordnung der jährlichen Belastung widerspiegeln und somit besser verständlich sind.

In der Siedlungswasserwirtschaft werden seit Langem eine dynamische Kostenvergleichsrechnung angewendet und die Projektkostenbarwerte sowie die Jahreskosten verglichen. Die dazugehörige Leitlinie zur Durchführung der dynamischen Kostenvergleichsrechnung wurde bereits im Jahr 1986 herausgegeben.¹⁰⁵

Eigene ökonomische Untersuchungen am Beispiel von klärtechnischen Varianten basierten bereits im Jahr 1990 auf einem Jahreskostenvergleich.¹⁰⁶

Für die Immobilienwirtschaft und Planer werden zwar inzwischen in der Lehre die Nutzungsdauer und Lebenszykluskosten betrachtet sowie ganzheitliche Wirtschaft-

104 vgl. [Ham 2012, S. 157–168]

105 vgl. [DWA 2012]

106 vgl. [Ham 1990]

lichkeitsberechnungen vermittelt, jedoch sieht aus eigenen Erfahrungen die Praxis noch anders aus.

In der Regel werden nach wie vor Investitionskosten als das Maß der Dinge verstanden. Mit diesen ist aber kein vollständiger Kostenvergleich möglich, was zu falschen Entscheidungen führen kann.

Die hier favorisierte Betrachtung der Jahreskosten basiert auf Untersuchungen zur Abwasserwärmemenutzung im Jahr 2011.¹⁰⁷

Für die Abschätzung der Jahreskosten stehen hieraus Funktionen für die Objekttypen »Wohnen, Büro, Schule, Kindergarten und Hotel« sowie für den Objekttyp »Handel« zur Verfügung.

Da beim untersuchten Entwurf der Anteil »Handel« untergeordnet ist, werden die Funktionen für die Typen »Wohnen, Büro, Schule, Kindergarten und Hotel« herangezogen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Jahreskostenberechnungen gemäß Formelsammlung 30 aufgeführt:

- EnEV –15%: $y = 53,13 \cdot 1685^{0,808} = 21\,447 \text{ EUR/a}$
- Abwasserwärme: $y = 54,45 \cdot 1685^{0,785} = 18\,573 \text{ EUR/a}$
- Luftwärme: $y = 57,03 \cdot 1685^{0,769} = 17\,273 \text{ EUR/a}$
- Biomasse/Holzpellets: $y = 83,90 \cdot 1685^{0,736} = 19\,886 \text{ EUR/a}$.

Es ist erkennbar, dass die Jahreskosten für die Abwasserwärmemenutzung unmittelbar nach den Jahreskosten für die Umweltwärmemenutzung an zweiter Stelle liegen und die Abwasserwärmemenutzung insgesamt nicht nur eine ökologische, sondern auch eine ökonomische Lösung darstellt.

Punkt 17 der Checkliste: Werden für das Beispielprojekt »Dorfcenter« die Jahreskosten auf die beheizte Fläche von 1685 Quadratmetern bezogen, ergibt sich ein spezifischer Kostenansatz von rund 11 EUR je Quadratmeter und Jahr ($11,02 = 18\,573 \text{ EUR} / 1685 \text{ m}^2$) für die Abwasserwärmemenutzung und für die übrigen Varianten wie folgt:

- EnEV –15%: $21\,447 \text{ EUR/a} / 1685 \text{ m}^2 = 12,73 \text{ EUR}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- Luftwärme: $17\,273 \text{ EUR} / 1685 \text{ m}^2 = 10,25 \text{ EUR}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- Biomasse/Holzpellets: $19\,886 \text{ EUR} / 1685 \text{ m}^2 = 11,80 \text{ EUR}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

In Abbildung 65 werden spezifische Jahreskosten je Quadratmeter beheizte Fläche aufgezeigt, die für insgesamt 15 Objekttypen in Anlehnung an Abbildung 52 ermittelt wurden. In Abbildung 52 wurden die Differenzkosten mit Bezug zur Variante »Abwasserwärme« dargestellt. In Abbildung 65 werden dagegen die absoluten Jah-

¹⁰⁷ vgl. [Ham 2012]

reskosten pro Quadratmeter beheizter Fläche für die vier betrachteten Varianten (EnEV –15 %, Abwasserwärme, Luftwärme, Biomasse) aufgezeigt.

Zusätzlich ist der oben genannte spezifische Jahreskostenansatz von 11 EUR/m² für das »Dorfcenter« gemäß Punkt 17 der Checkliste markiert. Es wird erkennbar, dass die abgeschätzten Jahreskosten für die Abwasserwärmeverwendung bei der Mischnutzung des Beispiels »Dorfcenter« im vertretbaren Bereich liegen, da die Jahreskosten je nach Objekttyp und Variante auch darüber liegen können. Die Objekttypen mit deutlich geringeren Jahreskosten (großflächiger Handel und große Wohnanlagen) sind nicht mit dem Beispielprojekt vergleichbar und scheiden daher beim Vergleich aus.

Werden demnach nur die Objekttypen der 15 untersuchten gemäß Abbildung 65 isoliert betrachtet, die dem Projektbeispiel von der Größe und Nutzung her am nächsten liegen (Wohnen bis 1 700 m², Einzelhandel, Großhandel, Büro) kann das Ergebnis wie in Abbildung 66 dargestellt werden.

Die in Abbildung 66 auf die Mischnutzung des Beispielobjektes reduzierte Darstellung verdeutlicht, dass die Abwasserwärmeverwendung mit Bezug auf die Jahreskosten eine wirtschaftliche Lösung darstellt.

Anhand der Abbildungen 65 und 66 wird deutlich, dass die Abwasserwärmeverwendung, wie hier im Beispiel mit 11 EUR/(m² · a), generell eine wirtschaftliche Umsetzung von Energieeinsatz und Ressourcennutzung in Anlehnung an die EnEV und das EEGWärmeG ermöglicht. Im Einzelfall sind konkrete Betrachtungen anzustellen.

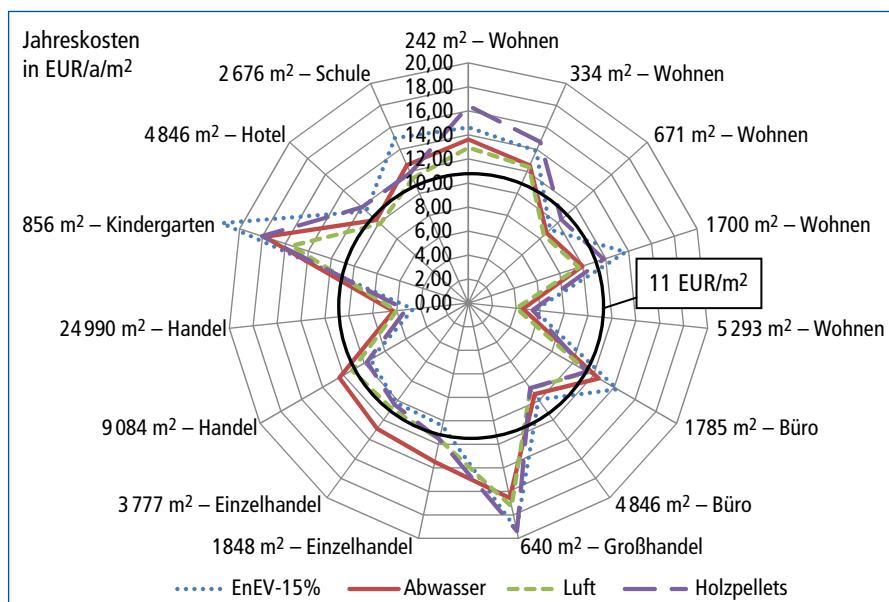


Abbildung 65: Jahreskosten der Varianten Dorfcenter in EUR/m², Vergleich mit 15 Objekttypen

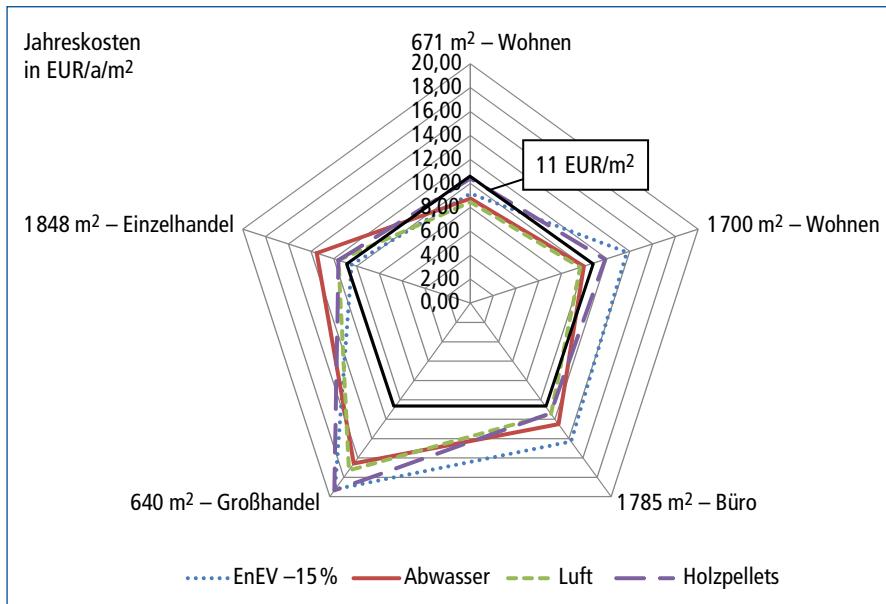


Abbildung 66: Jahreskosten der Varianten Dorfcenter in EUR/m², Vergleich mit Mischnutzung

Der Vergleich in Abbildung 66 soll die wirtschaftlichen Entscheidungsgrundlagen für eine mischgenutzte Fläche bzw. Gebäudeanordnung, wie beim Beispiel »Dorfcenter«, verdeutlichen. Aus Sicht der Technik, des Klimas, der Umwelt, der Energieflüsse, der gesellschaftlichen Grundhaltung und der Wirtschaftlichkeit stellt die Abwasserwärmennutzung für das »Dorfcenter« eine sinnvolle, zukunftsfähige und nachhaltige Lösung dar.

Gemeinsam mit Fachplanern, sofern sie in der jeweiligen Phase des Projekts mitwirken ist letztlich von der Bauherrschaft die Entscheidung für eine Energiequelle auf Basis der Ausarbeitungen in diesem Leitfaden zu treffen.

Nach den Festlegungen für die Heiztechnik und Lüftung kann im Rahmen des weiteren Planungsprozesses die gesamte Baukonstruktion (Tragwerk, Baumaterialien und Bauteilaufbauten, Wärmebrücken usw.) in Anlehnung an den gestalterischen Entwurf konkretisiert werden.

3.4 Hinweise zum Betrieb eines Wärmetauschers im Kanal

Aus Sicht der Siedlungswasserwirtschaft und damit der Entwässerungsbetriebe ist die Wartung des Wärmetauschers im Kanal oder im Schacht oder als externe Anlage von Bedeutung. Aber auch aus immobilientechnischer Sicht ist sie von Interesse, da nach der Planungs- und der Bauphase die Unterhaltungs- und Betriebsphase folgen und ausschließlich für diese Abschnitte das Gebäude geplant und gebaut wird.

Damit die Unterhaltsaufwendungen technisch und kaufmännisch kalkulierbar sind, sollte sich der Betriebsphase ebenso gewidmet werden. Im letzten Abschnitt wird daher auf diesen Sachverhalt am Beispiel eines eingebauten Wärmetauschers im Kanal eingegangen.

Generell werden Kanäle turnusmäßig vom Abwasserbetreiber gereinigt bzw. geplütt. Die anfallenden Kosten sind in den Kanalbenutzungsgebühren enthalten. Ein Wärmetauscher im Kanal verursacht ebenso Reinigungs- und Wartungszyklen. Der Immobilienbetreiber hat die Kosten hierzu zu erfassen und kalkulatorisch zu bewerten, wenn diese die zuvor genannten allgemeinen Kanalbenutzungsgebühren bzw. Wartungskosten übersteigen.

Zwecks Kanalreinigung werden verschiedene Verfahren eingesetzt, wobei die Reinigungszyklen je nach Kanalgefälle und Rohrdimension zwischen 6 und 18 Monaten liegen. Folgende Reinigungsverfahren kommen in Frage:¹⁰⁸

- Schwallspülung
- Durchzugsverfahren mit Pflug, Schrapper, Spirale, Wurzelreißer
- selbstlaufende Schildgeräte
- Kugeln und Walzen
- Hochdruckspülung mit verschiedenen Düsentypen
- Profilreinigung, beispielsweise mit Hamburger Sielwolf oder Kanal-Jumbo.

Die genannten Verfahren werden zur planmäßigen Reinigung bzw. zur Grundräumung im Kanal eingesetzt. Bei größeren Kanaldimensionen und eingebauten Wärmetauschern sind zur Reinigung die Hochdruckspülung und die Profilreinigung zu favorisieren.

Bei den oben genannten Reinigungsintervallen, die der Kanalbetreiber durchführt, ist in der Regel kein zusätzliches Reinigungsintervall für den Teilabschnitt mit dem Wärmetauscher notwendig. Fallen aufgrund des eingebauten Wärmetauschers bei der Kanalspülung Mehrkosten für den Kanalbetreiber an, wird dieser die Zusatzaufwendungen weiterberechnen. Die Vorgehensweise sollte vorab mit dem

108 vgl. [Boe 2002, S. 71ff.]

Abwasserbetreiber und Kanalreinigungsunternehmen abgestimmt und etwaige Mehrkosten beziffert werden.

Generell ist beim im Kanal eingebauten Wärmetauscher zu beachten, dass eine Sielhautbildung möglich ist. Dieser Biofilm bildet sich auf der Edelstahloberfläche infolge der permanenten Benetzung mit Abwasser und verringert den Wärmeübergang. Der Wärmetauscher ist entweder periodisch, zum Beispiel halbjährlich, zu reinigen und von der Sielhaut zu befreien oder größer zu dimensionieren. Versuche haben gezeigt, dass der Biofilm den Wärmeübergang auf 61 Prozent verringern kann. Nach periodischen Spülvorgängen kann die Leistungsverringerung auf 81 Prozent reduziert werden. Da er auch bei größeren Wassermengen und Schleppspannungen nicht komplett beseitigt werden kann, sind die Reinigungsintervalle einzuhalten. Zusätzlich wurden Versuche zum Einfluss der Reinigung auf den Wärmetauscher durchgeführt. Trotz 30 Belastungszyklen durch Hochdruckreinigungsversuche, Schleifeinflüsse und Falleinwirkungen durch die Düse auf den Edelstahlwärmetauscher konnten keine relevanten Auswirkungen festgestellt werden.¹⁰⁹

Insgesamt ist von einer sehr langen Lebensdauer und keinen zusätzlichen Reinigungsintervallen auszugehen.

Die Lebensdauer kann mit 50 Jahren angegeben werden. Zur Reduzierung der Sielhautbildung kann der Einbau von dünnen Kupferstreifen, die alle drei Meter in den Wärmetauscher integriert werden, beitragen. Dadurch ist die Reduzierung des Wärmeübergangs von 40 Prozent auf maximal 15 Prozent möglich und die Sielhautbildung wird behindert.¹¹⁰

Ansonsten ist bei der Dimensionierung des Wärmetauschers aufgrund des reduzierten Wärmeübergangs ein Erhöhungsfaktor von etwa 1,30 zu beachten, wodurch die Erhöhung der Wärmetauscheroberfläche einem möglichen Leistungsverlust vorbeugt.

109 vgl. [Rom 2004], S. 57 und 95 ff.

110 vgl. [Rab 2015]

4 Fazit und Ausblick

Dieser Leitfaden stellt die wesentlichen Grundlagen für die Nutzung von Wärme aus Abwasser zusammen und zeigt an einem Beispiel, wie bereits in der frühen Projektphase und ohne großen Aufwand der Einsatz der Abwasserwärmevernützung bei einem konkreten Projekt geprüft und bewertet werden kann.

Des Weiteren können damit erste technische Parameter und wirtschaftliche Randbedingungen aufgezeigt werden, die der Entscheidungsfindung für die Weiterverfolgung der Wärmerückgewinnung aus Abwasser dienen.

Detaillierte Projektbetrachtungen zur Abwasserwärmevernützung sollen spätestens nach der Entscheidung für den Einsatz von Abwärme aus dem Kanal durch eine Fachplanung erfolgen.

Abwasserwärmevernützung vereint die Aspekte des sogenannten Nachhaltigkeitsdreiecks. Nur wenn die Prinzipien zu ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten berücksichtigt werden, kann ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Wirken entstehen. Dies ist bei der Abwasserwärmevernützung grundsätzlich gegeben und sollte beim konkreten Projekt aufgezeigt werden.

Die Vielfältigkeit der inzwischen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, ob im Gebäude oder außerhalb, führt zu anwendbaren und erfolgsorientierten Lösungen.

Den Architekten und Planern steht darüber hinaus mittlerweile eine Vielzahl von Referenzprojekten und Erfahrungen zur Verfügung, wodurch sich die Anzahl der Projekte in der Zukunft vervielfachen sollte.

Nur dadurch kann die sonst ungenutzte Abwasserwärme als Ressource ihren Anteil an der Entwicklung von zukunftsfähigen Lebensräumen leisten.

Gerade hinsichtlich des Jahres 2016 und die weiteren bereits per Verordnung festgeschriebenen Verschärfungen der EnEV muss der Blick auf diese Wärmequelle gerichtet werden.

Das Ende der Fahnenstange ist damit jedoch noch nicht erreicht. Die Zielvorstellung der nächsten Jahre beinhaltet die Schaffung eines klimaneutralen Gebäudebestandes. Ihre Umsetzung bedarf einer enormen gesellschaftlichen Leistung und innovativer Entwicklungen. Innovationen finden bereits heute statt. Was fehlt, sind Prozesse zur Vervielfältigung.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Standortübersicht realisierter Projekte in Deutschland, Stand 2010	15
Abbildung 2:	Histogramm zur realisierten jährlichen Wärmeenergie	17
Abbildung 3:	Vertragsmodelle für die Abwasserwärmemenutzung	26
Abbildung 4:	Anwendungsbereiche Abwasserwärme-Contracting	28
Abbildung 5:	Wärmeentzug aus einem öffentlichen Abwasserkanal	30
Abbildung 6:	Energieflussprinzip bei der Abwasserwärmemenutzung	31
Abbildung 7:	Theoretische Wärmetauscherleistung bei $\Delta T = 2 \text{ }^{\circ}\text{K}$	32
Abbildung 8:	Erforderliche Oberfläche Wärmatauscher	34
Abbildung 9:	Idealer und realer Kreisprozess im Enthalpie-Druck-Diagramm	36
Abbildung 10:	Schema Wärmepumpenkreisläufe	37
Abbildung 11:	Energiefluss einer Wärmepumpe je m^3/h Abwasser und $\Delta T = 2 \text{ }^{\circ}\text{K}$	38
Abbildung 12:	Wärmeleistung Wärmepumpe in kW bei verschiedenen JAZ und ΔT	40
Abbildung 13:	Leistungsbereiche einer bivalenten Anlage	41
Abbildung 14:	Beispiel einer Abwassertagesganglinie im Zulauf einer Kläranlage	43
Abbildung 15:	Konfidenzintervalle für Abwasserabflussmenge	44
Abbildung 16:	Schmutzwasseranfall im Einzugsgebiet der Abwasserwärmemenutzung	49
Abbildung 17:	Beispiel Abwassertagesganglinie	52
Abbildung 18:	Abwasserwärmemenutzung – Geschosswohnungsbau in Frankfurt	53
Abbildung 19:	Kanalwärmatauscher – Frankfurt Speicherstraße	53
Abbildung 20:	Schema Energieversorgung – Frankfurt Speicherstraße	54
Abbildung 21:	Untersuchungen zur Abwasserwärmemenutzung – Dorfcenter	55
Abbildung 22:	Reduzierung der CO_2 -Emissionen in privaten Haushalten bei Nutzung des theoretischen Abwasserwärmepotenzials	57
Abbildung 23:	Vergleich CO_2 -Emissionen Heizöl, Erdgas, Luftwärme, Abwasserwärme	58
Abbildung 24:	Rohr- und Rinnenwärmatauscher	59
Abbildung 25:	Rinnenwärmatauscher	60
Abbildung 26:	Bypass-Lösung	61
Abbildung 27:	Externer Wärmatauscher	62
Abbildung 28:	Halbschalen-Absorber	63
Abbildung 29:	Abwasserdruckrohr-Wärmeübertrager	64
Abbildung 30:	Flexibler Wärmeübertrager	64
Abbildung 31:	Wärmeübertrager für offene Strömung, Nutzwassermenge ab 1 l/s	65
Abbildung 32:	Systemaufbau mit Wärmatauscher, Wärmepumpe, Pufferspeicher	66
Abbildung 33:	Systemaufbau zur Abwasserwärmemenutzung	67
Abbildung 34:	Wärmeübertrager für offene Strömung, Nutzwassermenge bis 1 l/s	68
Abbildung 35:	Abwasserschacht zur Abwasserwärmerückgewinnung	69
Abbildung 36:	Energie-Trichter	69
Abbildung 37:	Abwasserwärmemenutzung bei Einzelverbrauchern	70
Abbildung 38:	Abwasserwärmemenutzung mit Doppelrohrwärmatauscher	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 39:	Plattenwärmetauscher für Warmwassererwärmung	71
Abbildung 40:	Heizlastdiagramm für Wohnanlagen	84
Abbildung 41:	Heizlastdiagramm für Büronutzungen	84
Abbildung 42:	Heizlastdiagramm für Handelsflächen	85
Abbildung 43:	Heizlastdiagramm für Kindergärten und Schulen	85
Abbildung 44:	Heizlastdiagramm für Hotels und Beherbergungseinrichtungen	86
Abbildung 45:	Nutzungszeiträume Schulklassenraum	87
Abbildung 46:	Nutzerabhängiges Heizen auf Komforttemperatur	87
Abbildung 47:	Investitionskosten in EUR/(kWh/a) für die Abwasserwärmennutzung bei Bestandsgebäuden, Modell 1	90
Abbildung 48:	Investitionskosten in EUR/(kWh/a) für vier Varianten gemäß EnEV und EEWärmeG, Neubau, Modell 2	91
Abbildung 49:	Investitionskosten für vier alternative Heiztechniken in EUR/m ² inkl. MwSt., Modell 2 .	93
Abbildung 50:	Jahreskostenvergleich der Objekttypen Wohnen, Büro, Schule, Kindergarten und Hotel, Modell 2	94
Abbildung 51:	Wirtschaftliche Einsatzgrenzen der Abwasserwärmennutzung im Vergleich zu drei Varianten, Bezug: Jahreskosten und beheizte Fläche, Modell 2	96
Abbildung 52:	Wirtschaftliche Einsatzgrenzen der Abwasserwärmennutzung bezogen auf Jahreskosten und beheizte Fläche, Modell 2 mit Varianten	97
Abbildung 53:	Erdgeschossgrundrisse der Gebäude des »Dorfcenters«	99
Abbildung 54:	Panoramablick Gebäudeanordnung »Dorfcenter«	100
Abbildung 55:	Abschätzung Heizlast bei mischgenutzter Bebauung	101
Abbildung 56:	Abschätzung der Abwassermenge bei mischgenutzter Bebauung	103
Abbildung 57:	Abschätzung der Abwassermenge bei mischgenutzter Bebauung mit Hilfe des Wasserverbrauchs	104
Abbildung 58:	Beispiel Monatsbilanzierung Nutzenergiebedarf – Arztpraxis	109
Abbildung 59:	Heizlastdiagramm für Büronutzungen bis 1 000 m ²	110
Abbildung 60:	Heizlastdiagramm für Handelsflächen bis 1 000 m ²	111
Abbildung 61:	Oberflächengröße Wärmetauscher für Beispiel »Dorfcenter«	118
Abbildung 62:	Wärmetauschereinbau im vorhandenen Kanalrohr	119
Abbildung 63:	Kanalwärmewärmetauscher im Straßenraum	120
Abbildung 64:	Investitionskosten für alternative Heiztechniken am Beispiel »Dorfcenter«	122
Abbildung 65:	Jahreskosten der Varianten Dorfcenter in EUR/m ² , Vergleich mit 15 Objekttypen	124
Abbildung 66:	Jahreskosten der Varianten Dorfcenter in EUR/m ² , Vergleich mit Mischnutzung	125

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verteilung realisierter Projekte und Studien in Deutschland	15
Tabelle 2:	Realisierte Projekte in Deutschland, aktueller Stand	16
Tabelle 3:	Leistung Wärmetauscher je m ³ /h Abwasser bei ΔT = 2 °K, 3 °K, 4 °K	33
Tabelle 4:	Leistung je m ² Wärmetauscheroberfläche bei ΔT = 2 °K, 3 °K, 4 °K	35
Tabelle 5:	Wärmeleistung Wärmepumpe in kW bei verschiedenen JAZ und ΔT	39
Tabelle 6:	Wasserverbrauch Krankenhaus	46
Tabelle 7:	Wasserverbrauch Schulen	47
Tabelle 8:	Wasserverbrauch Verwaltungsgebäude/Büros	47
Tabelle 9:	Wasserverbrauch Hotels/Beherbergungen	47
Tabelle 10:	Abwassermengen Gewerbe und Industrie	48
Tabelle 11:	Abwassermengen Handelsobjekte	49
Tabelle 12:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Wohnanlagen	76
Tabelle 13:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Kindergarten	77
Tabelle 14:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Hotel	77
Tabelle 15:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Schule	78
Tabelle 16:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Bürogebäude	78
Tabelle 17:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Handelsflächen bis 4 000 m ²	79
Tabelle 18:	Ergebnisse EnEV-Berechnungen – Handelsflächen bis 25 000 m ²	80
Tabelle 19:	Beispiel Heizlastberechnung – Schule	83
Tabelle 20:	Checkliste zur Projektierung der Abwasserwärmennutzung	105
Tabelle 20:	Checkliste zur Projektierung der Abwasserwärmennutzung (Fortsetzung)	106
Tabelle 21:	Heizlastberechnung Gebäudeteil »Arztpraxis«	112

Abkürzungsverzeichnis

α	Irrtumswahrscheinlichkeit
A_b	beheizte Gebäudefläche
AbwV	Abwasserverordnung
ATV 131	Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131
A_{WT}	Fläche Wärmetauscheroberfläche
B	Gästebetten
BE	Beschäftigtenzahl
BGF	Bruttogrundfläche; summierte, umbaute Gebäudegrundrissfläche einschließlich überdachter Außenflächen und Freiflächen (ohne Anlieferungsbereich)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, jetzt BMUB
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
B_{WT}	Breite Wärmetauscher
BZ	Bettenzahl
CO_2	Kohlendioxid
spez. CO_2	spezifischer CO_2 -Emissionsfaktor je Brennstoff
COP	Coefficient of Performance
c	spezifische Wärmekapazität
d	Tag
DE	Deckungsgrad
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
E	Einwohner
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEG	Energieeinspargesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnEV-UVO	Verordnung zur Umsetzung der Energieeinsparverordnung
EWärmeG BW	Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg
EW	Einwohnerwerte
FQ	Aufschlagsfaktor für Regen- und Fremdwasseranteil
f_{g1}	Außentemperaturschwankungen
f_{g2}	Temperaturdifferenz des Erdreichs
F_t, F_v	durchflossene Querschnittsfläche Kanal
GWh	Gigawattstunden
G_w	Grundwassereinfluss
h	Konfidenzintervall
H_T	Transmissionswärmeverlust
$H_{T,ie}$	Transmissionswärmeverlustkoeffizienten von innen (i) nach außen (e)
HZ	Hotelzimmer
Φ_{HL}	Norm-Heizlast
J	Kanalgefälle
JAZ	Jahresarbeitszahl Elektrowärmepumpe
JSM	Jahresschmutzwassermenge
k	Wärmedurchgangskoeffizient Wärmetauscher
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LBO	Landesbauordnung
L_{WT}	Länge Wärmetauscher

MwSt.	Umsatzsteuer
n	Stichprobenumfang
n	spezifischer Schmutzwasserabfluss, Umrechnungsfaktor von Tagesabfluss auf stündlichen Abfluss
n_{\min}	Mindestluftwechsel
NRW	Nordrhein-Westfalen
P_{WP}	Leistung Wärmepumpe
Q	Abwasservolumenstrom
'Q	Wärmeleistung
ΔQ	Wärmemenge
Q_E	einwohnerspezifische Schmutzwassermenge pro Tag
Q_H	Wärmestrom
$Q_{JSM,E}$	einwohnerspezifischer Abfluss aus Jahresschmutzwassermenge
Q_K	Kühlleistung
q_k	spezifische Kühllast
Q_p	Jahres-Primärenergiebedarf
Q_s	stündlicher Spitzenabfluss
Q_{s+f}	mittlerer Schmutzwasserabfluss bei Mischnutzung
Q_t	Teilfülleistung Kanal
Q_V	Vollfülleistung Kanal
ρ	Dichte des Abwassers
Φ_T	Norm-Transmissionsheizlast
Θ_i	Norm-Innentemperatur
Θ_e	Norm-Außentemperatur
R	hydraulischer Radius
R^2	Bestimmtheitsmaß
RP	Rheinland-Pfalz
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
S	Standardabweichung
SL	Anzahl Verbraucher
ΔT	Temperaturdifferenz, Temperaturabkühlung
t	Student-t-Verteilung
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TWh	Terawattstunden
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil
V	Anzahl Patienten und Personal, Anzahl Hotelgäste
V_i	Luftvolumen
Φ_V	Norm-Lüftungsheizlast
W_{el}	elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpe
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
W_H	spezifische Heizenergie
W_{Nutz}	Nutzwärmeleistung, theoretisches Nutzwärmepotenzial
WP	Wärmepumpe
$W_{WT} = P_{WT}$	Leistung Wärmetauscher, Wärmeübertragungsmenge des Wärmetauschers
W_{WP}	Leistung Wärmepumpe, nutzbare Wärmemenge
W	Energie
\bar{x}	Mittelwert aus x-Werten

Quellenverzeichnis

- [ABG 2015] **ABG Frankfurt Holding**, Frankfurt am Main (Hrsg.): Maßstäbe aus Frankfurt. Wohnen im Aktiv-Stadthaus. URL: <http://www.abg-fh.com/bauen/aktuelle-projekte/aktiv-stadthaus.html> [Aufruf vom 29. 01. 2015]
- [ACO 2015] **ACO Passavant GmbH**, Philippsthal: ACO ShowerDrain X. Die Wärmetauscherduschrinne. URL: http://www.aco-haustechnik.de/fileadmin/de_aco_haustechnik/documents/ACO_ShowerDrain_X.pdf [Aufruf vom 30. 01. 2015]
- [Bie 2008] **Biesalski, Mark:** Wärmegegewinnung aus dem Kanalabwasser. Erfahrungen mit weiterentwickelten Wärmetauschern. In: Wegener, Thomas (Hrsg.): Rohrleitungen – Unternehmen im Umbruch. 22. Oldenburger Rohrleitungsforum 2008. Essen: Vulkan-Verlag, 2008, S. 444–451 (Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg; 32)
- [BKI 2011] **Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern**
BKI Baukosten Gebäude 2011: Statistische Kostenkennwerte Teil 1, Stuttgart, 2011
- [BMU 2010a] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB –**, Berlin: Erfolg für Klimaschutz und für die Staatengemeinschaft. URL: http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/print/46829.php? [Aufruf vom 02. 01. 2011]
- [BMU 2010b] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB –**, Berlin: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf [Aufruf vom 19. 02. 2011]
- [BMVBS 2011] **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – BMVBS –**, Berlin (Hrsg.): Wohnen und Bauen in Zahlen 2010/2011. URL: <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/54084/publicationFile/54753/wohnen-und-bauen-in-zahlen-2010-2011.pdf>. Stand: 22. 05. 2012 [Aufruf: 22. 05. 2012]
- [Boe 2002] **Böhm, Adolf:** Abwasserrohrleitungen und -rohrnetze. Betrieb, Erneuerung und Instandhaltung. Essen: Vulkan-Verlag, 2002
- [Bog 2008] **Bogenstätter, Ulrich:** Property Management und Facility Management. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008
- [Bru 2013] **Brunk, Marten et al.:** Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013 (Bauforschung für die Praxis; 105)
- [CSR 2006] **CSR-Experts – die Experten für Nachhaltigkeit und CSR:** Umwelt – Molkerei. Kenndaten von Molkereiproduktionsabwässern. URL: <http://csr-experts.at/umweltmolkerei.htm> [Aufruf vom 09. 01. 2011]
- [Dan 2009] **Danish Crown:** Konzernjahresbericht 2008/2009. URL: <http://www.danishcrown.de/lib/file.aspx?fileID=2266&target=blank> [Aufruf vom 09. 01. 2011]
- [DBU 2009] **Deutsche Bundesstiftung Umwelt – DBU –**, Osnabrück; Bundesverband Wärme pumpe e.V. – BWP –, Berlin; Institut Energie in Infrastrukturanlagen, Zürich (Hrsg.): Energierückgewinnung aus häuslichem und kommunalem Abwasser. Heizen und Kühl en mit Abwasser. Ratgeber für Bauträger und Kommunen. 2009. URL: http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/Flyer-Broschueren/abwasser_2009.pdf [Aufruf vom 22. 01. 2011]

- [Des 2010] **Statistisches Bundesamt Deutschland (Destatis)**, Wiesbaden: Das Statistische Jahrbuch 2010. Kapitel 12 »Umwelt«. URL: <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/SharedContent/Oeffentlich/B3/Publikation/Jahrbuch/StatistischesJahrbuch.property=file.pdf> [Aufruf vom 05. 02. 2011]
- [Des 2011] **Statistisches Bundesamt Deutschland (Destatis)**, Wiesbaden: Schaubild zum StATmagazin im Januar 2011. Direkte CO₂-Emissionen der privaten Haushalte. URL: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Grafien/Publikationen/STATmagazin/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/CO2_EmissionenPrHH_Direkte,templateId=renderLarge.psml [Aufruf vom 05. 02. 2011]
- [Deu 2008] **Deutscher Bundestag**: Gesetzentwurf der Bundesregierung. EEWärmeG. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/081/1608149.pdf> [Aufruf 24. 02. 2011]
- [Deu 2009] **Deutscher Bundestag**: Stadtentwicklungsbericht 2008. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/131/1613130.pdf> [Aufruf vom 24. 02. 2011]
- [DVGW 1999] **Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. – DVGW –**, Bonn (Hrsg.); Sattler, Robert (Bearbeiter); Hirner, Wolfram (Bearbeiter); Fleckner, Hans (Bearbeiter): Lehr- und Handbuch Wasserversorgung. Bd. 2. Wassertransport und -verteilung. München: Oldenbourg Verlag, 1999
- [DWA 2009] **Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.** – DWA –, Hennef (Hrsg.): Merkblatt DWA-M 114 Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie. Hennef: DWA, 2009
- [DWA 2012] **Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.** – DWA –, Hennef (Hrsg.): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8., überarb. Aufl. Hennef, 2012
- [End 2011] **Endress+Hauser Messtechnik GmbH + Co. KG**: Abwässer in Brauereien, Abwässer in der Papierindustrie. URL: <http://www.de.endress.com/eh/sc/europe/dach/de/home.nsf/systemcontentview/index.html?Open&DirectURL=C1256E690032F843C12568AC0032C68C> [Aufruf vom 09. 01. 2011]
- [Fra 2014] **Frank, Thomas; Läufle, Bernhard**: Erdreichgebundene Abwasser-Wärmetauscher als Wärmequelle, Energiespeicher und erfolgswirksame Komponente im zukünftigen Smart Grid. URL: <http://www.frank-gmbh.de/de-wAssets/docs/download/download-deutsch/download/fachbeitraege/PKS-Thermpipe-Erdreichgebundene-Abwasserwaermetauscher-und-Smart-Grid.pdf> [Aufruf vom 30. 01. 2015]
- [Gel 2008] **Gelhaus, Christian**, Hans Huber AG (Hrsg.): Der Abwasserkanal als Energiequelle – Nutzung eines Wärmepotenzials. Huber Report, Ausgabe 04/2008, S. 4. URL: http://www.huber.de/fileadmin/08_HUBER_Report/03_nach_Ausgabe/de_Report_2008-01.pdf [Aufruf vom 17. 10. 2010]
- [Gül 1994] Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich (Hrsg.); **Gülec, Tolga; Kolmetz, Sven; Rouvel, Lothar**: Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudewölle. 1994
- [Ham 1990] **Hamann, Achim**: Einsatzgrenzen für die simultane aerobe Schlammstabilisation bei der kommunalen Abwasserreinigung – Ökonomischer Vergleich von klärtechnischen Verfahren zur Schlammstabilisierung. Diplomarbeit Fachhochschule Mainz, Fachbereich Bauingenieurwesen. 1990

-
- [Ham 2012]** **Hamann, Achim:** Nachhaltige Immobilienwirtschaft am Beispiel der Abwasserwärmenutzung – Technische Grundlagen, Sachstand in Deutschland und wirtschaftliche Vergleiche unter Berücksichtigung der Anforderungen des EEWärmeG's und der EnEV: München: Oldenbourg Industrieverlag, 2012
- [Ham 2014 a]** **Hamann, Achim:** Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren – Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungsszenarien am Beispiel Wuppertal. München: oekom Verlag GmbH, 2014
- [Ham 2014 b]** **Hamann, Achim:** Anhang zu: Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren – Bestandsmodellierung und CO₂-Minderungsszenarien am Beispiel Wuppertal. München: oekom Verlag GmbH, 2014.
URL: http://www.oekom.de/fileadmin/buecher/PDF_Leseprobe/9783865816993_Hamann_Klimaschutzstrategien_Anhang.pdf
- [Heg 2014]** **Hegger, Manfred; Fisch, Norbert:** Aktiv-Stadthaus. Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main. Kurzberichte aus der Bauforschung 55 (2014), Nr. 3/4, S. 8–11
- [IBS 2015]** **IBS Ingenieurbüro für Haustechnik Schreiner**, Rudolstadt: Planungshilfen. Berechnung von Klimaanlagen. URL: http://energieberatung.ibs-hlk.de/planLuK_planhinw.htm [Aufruf vom 25. 01. 2015]
- [Kad 2010]** **Kadel, Peter:** Gebäude-Energieberatung. Grundlagen und Praxis. 3. Aufl. München/Heidelberg: Hüthig & Pflaum Verlag, 2010
- [KfW 2008]** **Kreditanstalt für Wiederaufbau – KfW –**, Frankfurt am Main: Abschlussbericht Detailberatung. URL: http://www.kfw.de/kfw/de/I/II/Download_Center/Foerderprogramme/verstecker_Ordner_fuer_PDF/141561_F_EEB_Abschlussbericht_Detailberatung_Funktional.pdf [Aufruf vom 03. 02. 2011]
- [Kli 2013]** Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen (**Klimaschutzgesetz NRW**). URL: <http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMG16-29.pdf?von=1&bis=0> [Aufruf vom 20. 09. 2013]
- [Koh 1999]** **Kohler Niklaus, Hassler Uta, Paschen Herbert** [Hrsg.] Stoffströme in den Bereichen Bauen und Wohnen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999
- [Kop 1999]** **Koppe, Paul; Stozek, Alfred:** Kommunales Abwasser. Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozess einschließlich Klärschlämme. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verlag, 1999
- [Lan 204]** **Landtag Rheinland-Pfalz:** Gesetzentwurf und Beschlussempfehlung zum Landesgesetz zur Förderung des Klimaschutzes. Drucksache 16/3744 vom 17. 07. 2014 und 16/3288 vom 13. 02. 2014. URL: <http://www.landtag.rlp.de/landtag/drucksachen/3288-16.pdf>; <http://www.landtag.rlp.de/landtag/drucksachen/3744-16.pdf> [Aufruf vom 28.01.2015]
- [Mar 1987]** **Martz, Georg:** Siedlungswasserwirtschaft. Tl. 2. Kanalisation. 3. Aufl. Werner Verlag GmbH, 1987 (Werner-Ingenieur-Texte)
- [Mil 2011]** **Milsdoerffer, Ralf; Christ Oliver:** Abwasserwärmennutzung. Es rechnet sich! URL: <http://www.gfm-ingenieure.de/news/abwasserwaermenutzung.html> [Aufruf vom 20. 01. 2011]
- [Mue 2010]** **Müller, Thorsten; Oschmann, Volker; Wustlich, Guido:** EEWärmeG. Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Kommentar. München: Verlag C. H. Beck, 2010

- [Mut 2014] Fritsch, Peter et al.: **Mutschmann/Stimmelmayr** Taschenbuch der Wasserversorgung. 16., vollst. überarb. u. aktual. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014
- [Rab 2015] **Rabtherm**: Rabtherm Anti-fouling-System. URL: <http://www.rabtherm.ch/de/news/67-rabtherm-anti-fouling-system.html> [Aufruf vom 27. 01. 2015]
- [RAI 2015] **RAIN-O-TEC**: Die Firma RAIN-O-TEC plant und installiert Wärmerückgewinnungsanlagen für alle Bereiche. URL: <http://www.rain-o-tec.at> [Aufruf vom 30. 01. 20015]
- [Rec 2011] **Schramek, Ernst-Rudolf; Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard**: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. 75. Aufl. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2010
- [Rom 2004] **Institut für Unterirdische Infrastruktur – IKT –**, Gelsenkirchen (Hrsg.): Rometsch, Lutz: Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen. URL: <http://www.ikt.de/down/f0118langbericht.pdf> [Aufruf vom 30. 12. 2010]
- [Roß 2012] **Roß, Andreas**: Smart Grids – Welche Intelligenz braucht das Netz der Zukunft? In: Servatius, Hans-Gerd; Schneidewind, Uwe; Rohlfing, Dirk (Hrsg.): Smart Energy – Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2012, S. 287–301
- [Sch 2007] Grazer Energieagentur GmbH; Berliner Energieagentur GmbH (Hrsg.); **Schinnerl, Daniel et al.**: Abwasserwärmenumutzung. Leitfaden zur Projektentwicklung. URL: http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenumutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf [Aufruf vom 22. 01. 2011]
- [Stö 1999] **Stöcker, Horst** (Hrsg.): Lineare Algebra. Optimierung, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik. Thun und Frankfurt: Verlag Harri Deutsch, 1999
- [Str 2008] PortalHaus Internetservices GmbH (**Stromtipp.de**): Klimaschutzfaktoren der Erneuerbaren bereits fühlbar. URL: <http://www.stromtip.de/News/21071/UBA-berechnet-Klimaschutzfaktor-der-Erneuerbaren.html> [Aufruf vom 07. 03. 2011]
- [UBA 2007] **Umweltbundesamt**, Dessau-Roßlau (Hrsg.): Nachhaltige Wärmeversorgung. Sachstandsbericht. URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3196.pdf> [Aufruf vom 22. 05. 2012]
- [UBA 2013] **Umweltbundesamt**, Dessau-Roßlau (Hrsg.): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990–2012. URL: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_07_2013_icha_co2emissionen_des_dt_strommixes_webfassung_barrierefrei.pdf [Aufruf vom 10. 12. 2014]
- [Uek 1972] Fachverband Steinzeugindustrie e.V. – FVST –, Frechen (Hrsg.); **Ueker; Klaus Jürgen**: Tabellen zur hydraulischen Berechnung von Steinzeugrohren nach Prandtl-Colebrook. Bonn: Carl Weyler, 1972
- [Uhr 2011] **Uhrig Kanaltechnik GmbH**, Geisingen: Therm-Liner: Energie aus Abwasser. URL: http://www.uhrig-bau.eu/de/therm_liner [Aufruf vom 19. 01. 2011]
- [Wal 2007] **Waldschmitt, Wolfgang**: ABC der Wärmepumpe. Frankfurt/Berlin/Heidelberg: VWEW Energieverlag GmbH, 2007
- [WMU 2012] **WMU GmbH**, Wendling: Der Kanal als Wärmenetz. URL: <http://www.wmu-gmbh.com/index.php/umwelttechnik/therm-liner/der-kanal-als-waermenetz> [Aufruf vom 31. 01. 2015]

Kühlen und Klimatisieren mit Wärme

Hans-Martin Henning,
Thorsten Urbaneck, u.a.



2., Aufl. 2015, 168 Seiten,
ca.140 farb. Abbildungen,
Kartoniert
ISBN 978-3-8167-9401-1

E-Book:
ISBN 978-3-8167-9402-8

Raumluftechnische Anlagen erhöhen den Energiebedarf und die Betriebskosten eines Gebäudes. Ziel jeder Planung sollte es daher sein, den Kühlungsbedarf zu minimieren. Dennoch ist es in vielen Fällen notwendig, aktive Systeme zur Regelung von Temperatur und Raumluftfeuchte einzusetzen.

Daher wächst das Interesse an wärmegetriebenen Kühl- und Entfeuchtungsverfahren, die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau wie z.B. Fernwärme, Abwärme und insbesondere auch solare Wärme für die Klimatisierung nutzen. Das Fachbuch gibt einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Verfahren, Wärme als Antriebsenergie für die Kälteerzeugung zu nutzen.

Fraunhofer IRB Verlag
Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 · 70569 Stuttgart · www.baufachinformation.de

Bauteilaktivierung

Einsatz – Praxiserfahrungen – Anforderungen

Jens Pfafferott, Doreen Kalz,
Roland Koenigsdorff



2015, 228 Seiten, zahlr.
Abbildungen und Tabellen,
Gebunden
ISBN 978-3-8167-9357-1

E-Book:
ISBN 978-3-8167-9358-8

Die Bauteilaktivierung hat sich als wirtschaftliches und ökologisches System zur Flächenheizung und -kühlung etabliert. Das Fachbuch führt Ergebnisse aus langjährigen Forschungsarbeiten zusammen und leitet daraus Regeln und Anforderungen für den energieeffizienten Einsatz thermoaktiver Bauteilsysteme ab. Es werden Betriebsauswertungen und Praxiserfahrungen vorgestellt und Strategien zur optimalen Auslegung, Betriebsführung und Regelung der Systeme aufgezeigt.

Die im Buch dokumentierte wissenschaftliche Begleitung thermoaktiver Bauteilsysteme stellt einen wichtigen Beitrag dar, um zu einem energieoptimierten Gesamtkonzept aus Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik zu gelangen.

Fraunhofer IRB■Verlag

Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 · 70569 Stuttgart · www.baufachinformation.de

Achim Hamann

Grundlagen der Abwasserwärmemenutzung

Leitfaden für Architekten,
Ingenieure und Stadtplaner

Der Ressourcen- und Energieverbrauch von Gebäuden ist einer der wichtigsten Aspekte hinsichtlich eines energieeffizienten Gebäudebetriebs, weshalb im Zuge von nachhaltiger Bau- und Betriebsweise jede Energieressource genutzt werden sollte.

Die Abwasserwärmemenutzung als sehr großes, nicht ausgeschöpftes Potenzial stellt eine wichtige Komponente beim energieeffizienten Betrieb von Gebäuden dar.

Abwasserwärmemenutzung ist relevant für Neubauten, Umbauten und Erweiterungen, aber auch für die gesamte Stadterneuerung oder für Quartiere. Der Autor zeigt, dass Abwasserwärmemenutzung in vielen Fällen wirtschaftlich ist.

Das Buch soll helfen, die Voraussetzungen für den Einsatz der Abwasserwärmemenutzung bei Neubauten oder Bestandssanierungen zu prüfen. Deshalb werden die Grundlagen erläutert, die für die Abwasserwärmemenutzung von Belang sind und durch die Darstellung von beispielhaften Anwendungen ergänzt. Nacheinander wird auf rechtliche und physikalische Grundlagen sowie wirtschaftliche Zusammenhänge eingegangen, darauf aufbauend werden Wärmetauschersysteme dargestellt. Auf dieser Grundlage wird ein Leitfaden zur Projektbearbeitung erstellt und auf ein Projektbeispiel angewendet.

Der Autor versteht das Buch als Beitrag zum interdisziplinären Zusammenwirken der im Bauwesen Beteiligten, es soll also ein Leitfaden für Architekten, Ingenieure und Stadtplaner, aber auch für Facilitymanager, Investoren, Projektentwickler, Banken, Kommunalpolitiker, Abwasseranlagenbetreiber und Energiecontractoren sein.

ISBN 978-3-8167-9467-7



9 783816 794677