



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser

Vorabklärung bezüglich des Potentials der Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser im Gebäude respektive auf dem Grundstück

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Stefan van Velsen, Michael Benz, 3-Plan Haustechnik AG

Fröschenweidstrasse 10, 8404 Winterthur, www.3-plan.ch



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Impressum

Datum 27.11.2013

Im Auftraggeber des Bundesamtes für Energie

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00
www.bfe.admin.ch
Rita Kobler, rita.kobler@bfe.admin.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichtes verantwortlich.



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
1.1	Chancen und Risiken der Wärmerückgewinnung aus Abwasser.....	5
1.2	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	5
2	Einleitung.....	7
2.1	Struktur der Vorabklärung	7
3	Grundlagen.....	8
3.1	Systemabgrenzung.....	8
3.2	Rechtliche Situation	8
3.3	Übersicht Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten im Gebäude.....	8
1.	Aktive Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe und Abwasserspeicher respektive Wärmetauscher in Niedrigtemperaturspeicher (z.B. Eisspeicher).....	8
2.	Passiver Wärmetauscher zentral (16-23°C).....	8
3.	Wärmetauscher warm lokal (38°C).....	8
4.	Wärmetauscher kalt lokal (~21°C).....	8
3.4	Entwicklung des Wärmebedarfs von Gebäuden	9
3.5	Abwassermenge in Privathaushalten	10
4	Potential der aktiven Wärmerück-gewinnung aus Abwasser	12
4.1	Annahmen.....	12
4.2	Potential der verschiedenen Gebäudetypen.....	12
4.3	Vergleich Energiequellen	14
5	Übersicht erhältlicher Wärmerückgewinnungskomponenten aus Schmutzwasser	15
5.1	Passive Wärmerückgewinnungskomponenten	15
5.1.1	Passive lokale Wärmetauscher	15
5.1.2	Passive zentrale Wärmetauscher	16
5.1.3	Passive zentrale Wärmetauscher in Kombination mit Niedertemperaturspeicher	16
5.1.4	Schlussfolgerungen	17
5.2	Aktive Wärmerückgewinnungskomponenten	17
5.2.1	Aktive Wärmerückgewinnungssystem ohne Speicher.....	18
5.2.2	Aktive Wärmerückgewinnungssystem mit Speicher	19
5.2.3	Schlussfolgerungen	21
6	Vergleich Wärmepumpensysteme je nach Objektgrösse	22
6.1	Kleinere Objekte	22
6.2	Mittlere Objekte	22
6.3	Grosse Objekte.....	23
6.4	Schlussfolgerungen	23
7	Referenzen	24



1 Zusammenfassung

Die 3-Plan AG ist beauftragt worden, eine Vorabklärung bezüglich des Potentials der Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser im Gebäude beziehungsweise auf dem Areal durchzuführen. Wärmerückgewinnungssysteme aus dem Schmutzwasser in Gebäuden respektive auf privaten Grundstücken bestehen schon seit geraumer Zeit. Diese Systeme sind aktuell aber noch wenig verbreitet. Teilweise wurden bestehende Anlagen sogar aufgrund von technischen oder wartungsbedingten Gründen stillgelegt. In der Vorabklärung soll geklärt werden, wo allenfalls ein Einsatz solcher Systeme ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist. Mit der Besichtigung von Anlagen soll der reale Betrieb von laufenden Anlagen überprüft, sowie der anfallende Wartungsaufwand abgeschätzt werden.

Infolge des Wasserkreislaufes verlässt das Gebäude Schmutzwasser mit einer Temperatur von ca. 16-23°C. Da das Frischwasser eine Temperatur von ca. 6-12°C hat, resultiert daraus ein Wärmeverlust im Gebäude. Um diesen Wärmeverlust zu reduzieren gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Einerseits kann das Frischwasser für den Warmwasserbedarf mittels einer Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser passiv vorgewärmt werden. Andererseits kann mittels einer Wärmepumpe dem Abwasser aktiv Wärme entzogen werden und diese zum Beispiel für die Warmwasseraufbereitung eingesetzt werden.

Eine Markt- und Produktanalyse hat gezeigt, dass es sehr wenige erhältliche Systeme gibt. Oft werden diese nur in Pilot- und Demonstrationsanlagen installiert. Passive Systeme sind zwar in spezifischen Anwendungen wie in Wäschereien, Molkereien usw. verbreitet, in Wohnbauten aber nur selten eingesetzt. Aufgrund des diskontinuierlichen Anfalls von Abwasser ist das Potential der zentralen Wärmerückgewinnung ohne Zwischenspeicherung eher gering. Seit ein paar Jahren gibt es daher Anbieter, welche lokale Wärmetauscher, z.B. in Duschtassen anbieten. Diese Systeme wirken bedarfsreduzierend und können bis zu 65% der Wärme zurückgewinnen.

Ein zuverlässiges System am Markt gibt es mit Zwischenspeicherung. Dieses kommt bei grösseren Wohnbauten, Sportanlagen, sowie Spitälern zum Einsatz. Mit mehr als 200 installierten Anlagen und laufenden Optimierungen sind die Anlagen störungsarm und wartungsoptimiert.

Für kleinere Objekte gibt es leider keine Lösungen mit Zwischenspeicherung am Markt erhältlich. Im Moment sind aber wieder einige Pilotanlagen, bei denen die Wärmerückgewinnung aus privaten Abwässern genutzt werden in Planung bzw. vor kurzem realisiert worden. Leider liegen für diese Anlagen noch keine Zahlen vor, so dass der Nutzungsgrad der Anlagen noch unbekannt ist.

Folgende grundlegenden Erkenntnisse zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser gibt es:

- Der Wasserkreislauf im Gebäude ist auch ein Energiekreislauf
- Infolge der besseren Gebäudehüllen nimmt die Bedeutung des Wasserkreislaufes stark zu
- Die Warmwasseraufbereitung verursacht bei heutigen Gebäuden einen grossen Teil des Wärmebedarfs
- Mit aktiver Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe kann der Wärmebedarf für Warmwasser gedeckt werden
- Eine Anbindung der Abwasserwärmerückgewinnung an das Heizsystem macht in der Regel keinen Sinn
- Die Energiequelle Abwasser ist beschränkt
- Das mittlere Temperaturniveau des Abwassers ist höher als bei heutigen Erdwärmesystemen
- Insbesondere in Kleinobjekten haben wartungsaufwändige Systeme wenig Marktchancen
- Passive Systeme ohne Wärmepumpe können stark bedarfsreduzierend wirken



1.1 Chancen und Risiken der Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser ist noch wenig verbreitet, demzufolge gibt es noch wenig Erfahrung mit diesen Systemen. Einzig für grössere Wohnbauten, Spitäler und Sportbauten gibt es eine gewisse Verbreitung von aktiver Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpen. Bei diesen Systemen wird das Abwasser zwischengespeichert, um auch aus diskontinuierlicher anfallender Abwassermenge genügend Energie für die Warmwasseraufbereitung zu entziehen.

Dennoch bietet die Wärmerückgewinnung einige Chancen:

- passive Systeme lokal oder zentral installiert können die Exergie des Abwassers direkt nutzen
- mit der Abwasserwärmerückgewinnung kann ein weiteres Wärmeleck in der Gebäudehülle geschlossen werden
- Erhöhung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen dank hoher Temperatur des Abwassers
- neue Produkte für die effiziente Nutzung von Abwasserwärme für kleinere und mittlere Objekte könne entwickelt werden

Auf der anderen Seite gibt es auch einige technische aber auch planerische Risiken:

- die Energiequelle Abwasser ist beschränkt, da das Abwasser nicht beliebig abgekühlt werden kann
- steht in Konkurrenz zu anderen Energiequellen wie Erdsonden, aber auch zu anderen Wärmeerzeugern wie Fernwärme oder auch Holzfeuerungsanlagen.
- für Wohnbauten geringe Verbreitung der Systeme
- deckt nur Warmwasserbedarf, daher ist eine bivalente Deckung des Wärmebedarfs nötig
- Wartungsaufwand bei Speichersystemen verhindert oft deren Einsatz
- bei einer Gebäudeintegration können allenfalls Geruchproblematiken auftreten
- Abgrenzungsprobleme Sanitär- / Heizungstechniker da gewerksübergreifendes System
- zur Verfügung stehende Wärmemenge bzw. Abwassermenge kann stark variieren

1.2 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Da der Wasserkreislauf eine der letzten grossen Lücken im modernen Gebäude ist, gilt es den Wasserverbrauch minimal zu halten, insbesondere den Warmwasserverbrauch. Demzufolge soll Wassersparen weiterhin gefördert werden und Durchflussbegrenzer wo sinnvoll installiert werden.

Mittels lokaler Wärmetauscher zum Beispiel in der Duschtasse, kann eine Bedarfsreduktion für den Wärmebedarf des Warmwassers erzielt werden. Diese Systeme sind im Moment noch wenig im Einsatz, da in der Branche noch nicht genügend bekannt. Diese sollten aktiv von den Sanitärinstallateuren gefördert werden. Aus Komfortgründen sollten Thermostat-Mischbatterien verwendet werden. Systembedingt tritt die Wirkung der Wärmerückgewinnung bei diesen Systemen erst nach einer gewissen Zeitspanne ein. Dennoch gilt auch hier ein sparsamer Umgang mit Warmwasser.

Für grössere Wohnbauten, Spitäler und Sportbauten sind Abwasserspeichersysteme eine interessante Energiequelle. Mit einer Wärmepumpe kann so der Wärmebedarf für die Warmwasseraufbereitung bereitgestellt werden. Dank der hohen Quelltemperatur laufen diese Systeme mit einer hohen Jahresarbeitszahl. Im Moment sind aber leider noch wenige Produkte erhältlich. Der Wartungsaufwand dieser Systeme verhindert zudem oft deren Einsatz. Hier gilt es die vorhandenen Produkte hinsichtlich Wartungsaufwand weiter zu verbessern. Die Produkte sollten als Gesamtsystem verkauft werden, um allfällige Schnittstellen mit anderen Gewerken zu verringern.

Für kleinere Wohnbauten gibt es gemäss dieser Recherche nur ein Produkt am Markt zur aktiven Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser. Das Einsatzspektrum sind hier vor allem kleinere Passivhäuser. Aus wirtschaftlichen Gründen wird das Produkt im Moment nicht mehr angeboten. Hier gilt



es neue robuste Produkte zu kreieren, die ohne aufwendige Wartungs- und Reinigungsarbeiten auskommen, damit diese auch in Mehrfamilienhäuser ohne Schulung der Benutzer einsetzbar sind.

Im Moment sind zwei Pilotanlagen in der Planung bzw. realisiert worden, bei denen das Abwasser mittels Wärmetauscher, im Winterhalbjahr Energie an einen Eisspeicher bzw. Kaltwasserspeicher abgeben. Inwiefern sich solche System am Markt durchsetzen werden und somit eine einfache Nutzung der Abwasserwärme möglich ist, muss sich erst noch zeigen. Aufgrund der einfachen Nutzung der Abwasserenergie sollten diese Projekte in Zukunft ausgewertet werden.



2 Einleitung

Durch die Ausbildung hochwertiger Gebäudehüllen bei Neubauten und Gesamtanierungen hat der Wärmebedarf für Warmwasser bei Wohnbauten mit Standardnutzung 75 MJ/m²a einen vergleichbaren oder bedingt durch das höhere Temperaturniveau des Warmwassers sogar einen grösseren Stellenwert erhalten wie die Zielwerte für den Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 zeigen. Aus diesem Grund gilt es in der Planung vermehrt ein Auge auf den Warmwasserbedarf respektive dessen Deckung zu legen.

Bei Lüftungsanlagen wird seit längerem eine Wärmerückgewinnung eingesetzt. Dies geschieht entweder über einen Wärmetauscher oder aktiv mit einer Wärmepumpe. Das Abwasser stellt ein letztes grosses Leck in der modernen Gebäudehülle dar. Dank der immer besseren Dämmung der Hülle gewinnen die Verluste über das Abwasser zudem stark an Bedeutung.

Die Abwassertemperaturen im Gebäude sind mit 16-25°C relativ hoch. Da das Frischwasser nur eine Temperatur von ca. 6-12°C aufweist, entsteht so ein Wärmeverlust im Gebäude, der bis zu 40% des Heizwärmebedarfs betragen kann.

Dank des hohen Temperaturniveaus stellt Abwasser eine gute Energiequelle dar. Die Wärmerückgewinnung kann entweder lokal mit Wärmetauschern bzw. aktiv mit einer Wärmepumpe realisiert werden. Typischerweise wird die Anergie des Abwassers zur Aufbereitung des Warmwassers genutzt. Planerisch fällt die Warmwasseraufbereitung in den Fachbereich der Sanitärplanung was zu Abgrenzungsproblemen in Bezug auf die Wärmeversorgung führen kann. Es ist daher wichtig, dass die Systeme sowohl planerisch als auch technisch aufeinander abgestimmt sind.

Daher gilt es zu untersuchen, wo Wärmerückgewinnungssysteme unter aktuellen Marktbedingungen Chancen haben und wie Sie ihren korrekten Einsatz finden.

Interessierten ist ebenfalls die Broschüre der Berliner Netzwerke E zu empfehlen, die einen Überblick über das Thema gibt und einige Pilotanlagen vorstellt [1].

2.1 Struktur der Vorabklärung

Zuerst werden die Grundlagen der Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser dargestellt, sowie eine Systemabgrenzung durchgeführt. Dann werden die Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten im Gebäude und die rechtlichen Grundlagen aufgezeigt. Anhand von Wärmebedarfsentwicklungen für Heizung und Warmwasser wird zudem auf die zunehmende Bedeutung der Warmwassererzeugung hingewiesen.

Anhand einer Wärmebedarfssimulation wird im Abschnitt 4 das Potential der Wärmerückgewinnung theoretisch dargestellt. Im Abschnitt 5 werden die heute am Markt erhältlichen Systeme kurz vorgestellt.

Im Abschnitt 6 werden ein Vergleich mit anderen Wärmepumpensystemen sowie das Einsatzspektrum heutiger Abwasserwärmerückgewinnungsanlagen gezeigt. Zusätzlich werden Ideen für neue Produkte sowie Forschungs- bzw. Entwicklungsbedarf für neue Systeme aufgezeigt.



3 Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen sowie die Systemabgrenzung der vorliegenden Arbeit beschrieben.

3.1 Systemabgrenzung

Im Rahmen dieser Analyse haben wir uns auf die Wärmerückgewinnung aus dem privaten Abwasser beschränkt. In Abbildung 1 sind die drei Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus Abwässern dargestellt:

- I. Wärmerückgewinnung aus gereinigtem Abwasser nach der ARA
- II. Wärmerückgewinnung aus Rohabwasser aus der öffentlichen Kanalisation vor der ARA
- III. Wärmerückgewinnung aus dem Schmutzwasser im Gebäude bzw. auf dem Areal

Für die Wärmerückgewinnung aus öffentlichen Abwässern sei der Leser auf die Referenzen [2]-[6] verwiesen. Prozessspezifische Abwärmenutzung in der Industrie werden ebenfalls nicht untersucht (z.B. Molkerei, Wäscherei usw.).

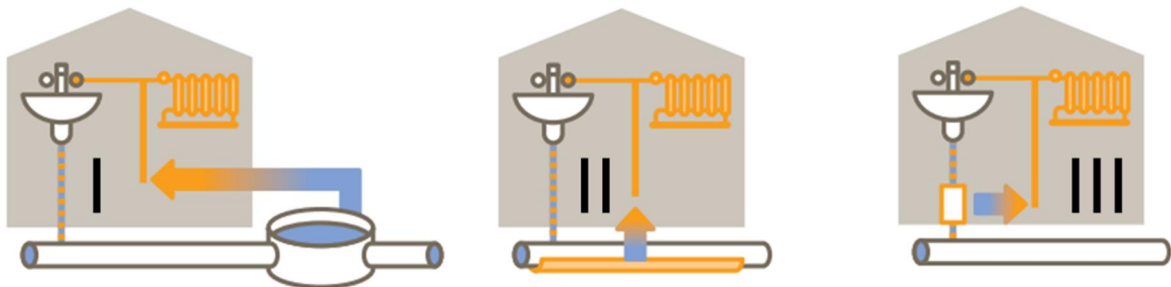


Bild 1: Übersicht Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten [1]

3.2 Rechtliche Situation

Für die Wärmeentnahme aus der öffentlichen Kanalisation gibt es Einschränkungen (Gewässerschutzrechtliche Genehmigung, vorhandener Nutzungsvertrag). Die Nutzung der Abwasserenergie auf dem eigenen Grundstück wird hingegen im Rahmen der Baubewilligung erledigt. Dennoch gibt es systembedingte Einschränkungen. So kann dem Abwasser nicht beliebig Energie entzogen werden, da es ansonsten gefriert. Meist wird eine Grenztemperatur von 5°C verwendet.

3.3 Übersicht Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten im Gebäude

Wärmeverluste durch das abfließende Abwasser können bei modernem Gebäude bis zu 40% des Wärmebedarfs der Heizung betragen. Die Abbildung 2 zeigt schematisch die Frisch- und Abwasserströme im Gebäude und dessen Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten. Diese kann grundsätzlich an vier Stellen im Gebäude realisiert werden.

1. Aktive Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe und Abwasserspeicher respektive Wärmetauscher in Niedrigtemperaturspeicher (z.B. Eisspeicher) (16-23°C)
2. Passiver Wärmetauscher zentral (16-23°C)
3. Wärmetauscher warm lokal (38°C)
4. Wärmetauscher kalt lokal (~21°C)

Die passiven Systeme wirken alle reduzierend auf den Wärmebedarf für Warmwasser, wobei die lokalen Wärmetauschersysteme die Exergie besser ausnutzen können. Mittels eines zentralen Wärmetau-



schers kann das Frischwasser für den Warmwasserspeicher vorgewärmt werden. Idealerweise werden dafür zwei Falllinien eingesetzt und nur das Abwasser der Duschtassen durch den Wärmetauscher geleitet. Dies verhindert einerseits die Verschmutzung des Wärmetauschers, andererseits hat dieses Abwasser ein höheres Temperaturniveau. Die damit erzielbaren Wärmerückgewinnungsgrade liegen in der Grössenordnung von 20% [7].

Für Wohnbauten braucht es für die effiziente aktive Wärmerückgewinnung ein Abwasserspeicher, welcher von einer Wärmepumpe als Anergiequelle genutzt wird. So lässt sich typischerweise der gesamte Wärmebedarf für Warmwasser decken. Nachteilig an diesem System ist hingegen der erhöhte Wartungsaufwand. Auf der anderen Seite kann das Abwasser bis auf ca. 5°C abgekühlt werden und damit dem Abwasser noch zusätzliche Energie entzogen werden. Auch mit 5°C kaltem Abwasser steht immer noch eine gute Anergiequelle zur Verfügung.

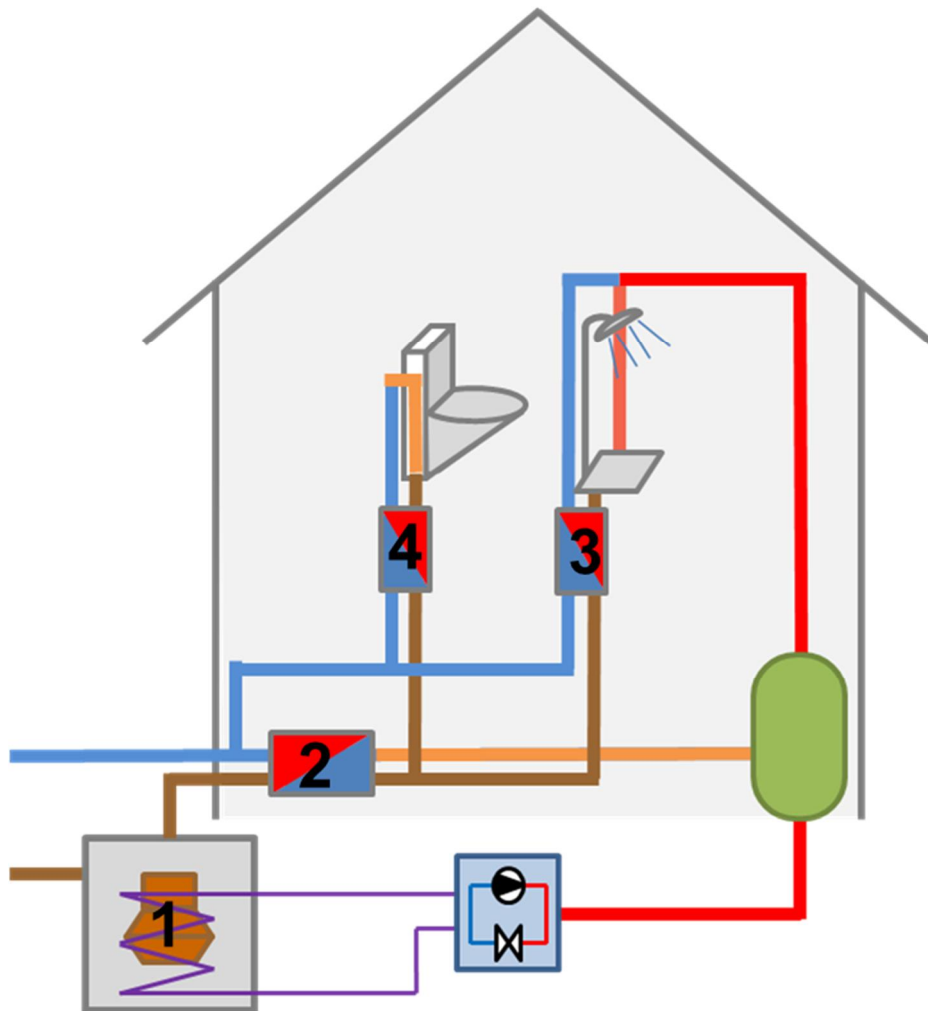


Bild 2: Übersicht Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten im Gebäude

3.4 Entwicklung des Wärmebedarfs von Gebäuden

In den letzten 30 Jahren hat sich die Qualität der Gebäudehüllen stark verbessert. Infolge der strengeren gesetzlichen Anforderungen an die Dämmwerte und die erfolgreiche Einführung von Energielabels wie Minergie®, ist der Wärmebedarf der Heizung um ca. 75% zurückgegangen. Die Abbildung 3 zeigt dies anschaulich. Der Wärmebedarf für Warmwasser ist hingegen gleich geblieben. Infolge dessen, ist der prozentuale Anteil des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitstellung stark gestiegen. Zudem liegen die nötigen Vorlauftemperaturen für die Warmwasseraufbereitung höher, worunter die Effizienz



der Wärmeerzeugung leidet. Bei Wärmepumpen kann dies bis zu 30% schlechtere COP-Werte bedeuten. Der Warmwasserbereitstellung muss also vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. In grün sind die Verluste infolge des Abwasserstroms dargestellt. Es zeigt sich auch hier, dass diese Verluste an Bedeutung gewonnen haben. Bei modernen Wohnbauten entsprechen sie bis zu 25% des Gesamtwärmebedarfs. Bei Verwaltungsgebäude (siehe Abbildung 4) ist der prozentuale Wärmeverlust infolge des abfließenden Abwassers sowie der Wärmebedarf insbesondere für die Warmwasseraufbereitung deutlich geringer.

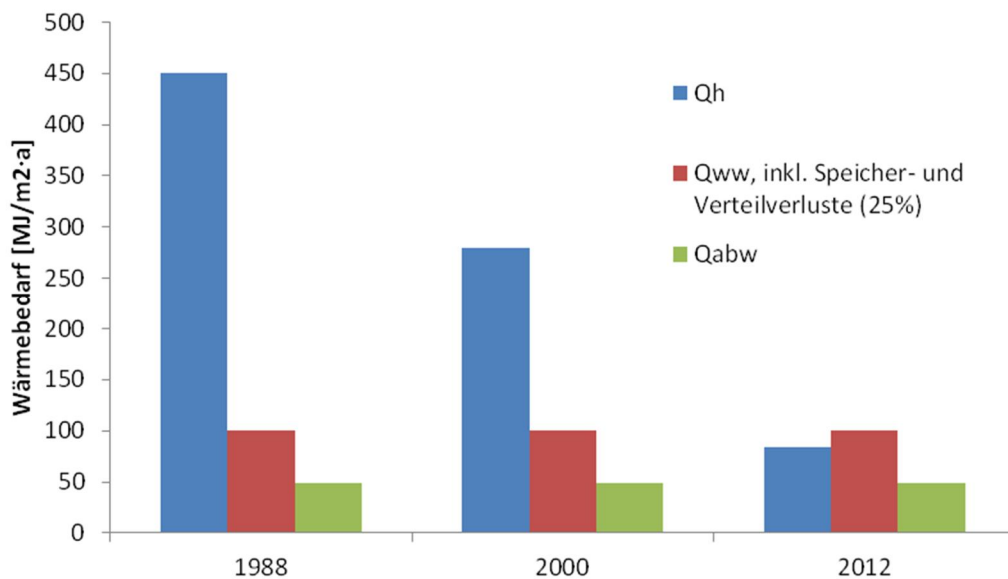


Bild 3: Entwicklung des Wärmebedarfs von Privathaushalten [8,9]

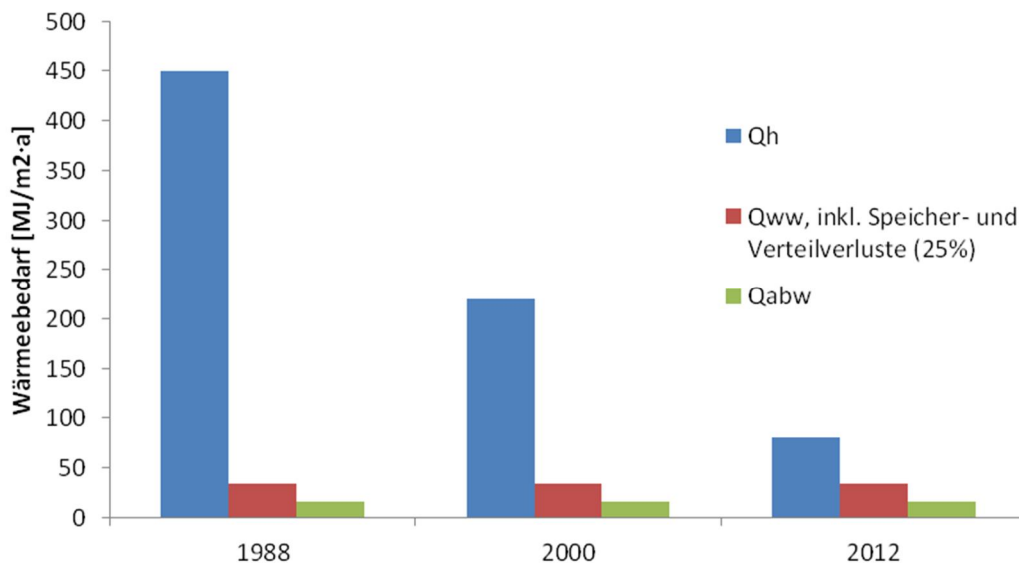


Bild 4 Entwicklung des Wärmebedarfs von Verwaltungsgebäuden [8,9]

3.5 Abwassermenge in Privathaushalten

Der tatsächliche Wasserverbrauch ist in Privathaushalten höher als in der SIA Norm 2024 angenommen [10]. Eine Fallstudie des SVGW hat gezeigt, dass der Verbrauch im Durchschnitt 162 l/P-d be-



trägt [11]. Im Rahmen der Vorabklärung wurde von Werten gemäss der SIA Norm ausgegangen. Der Anteil Warmwasser am Gesamtwasserverbrauch ist in beiden Quellen vergleichbar. In Abbildung 5 ist die Aufteilung des Wasserverbrauchs für die diversen Nutzungen für Privathaushalte dargestellt. Der grösste Verbraucher ist die Toilettenspülung, die fast einen Drittel des Gesamtverbrauchs ausmacht. An zweiter Stelle kommt der Wasserbedarf für Duschen und Baden. Ein ähnlich grosser Anteil wird für die Waschmaschine, für Kochen und Trinken und für die Körperpflege verwendet.

Für Verwaltungsgebäude gibt es keine ähnliche Studie. Der Warmwasserverbrauch ist aber deutlich geringer. Das Wasser wird mehrheitlich für die Toilettenspülung verwendet. Das Temperaturniveau des Abwassers ist demzufolge auch tiefer.

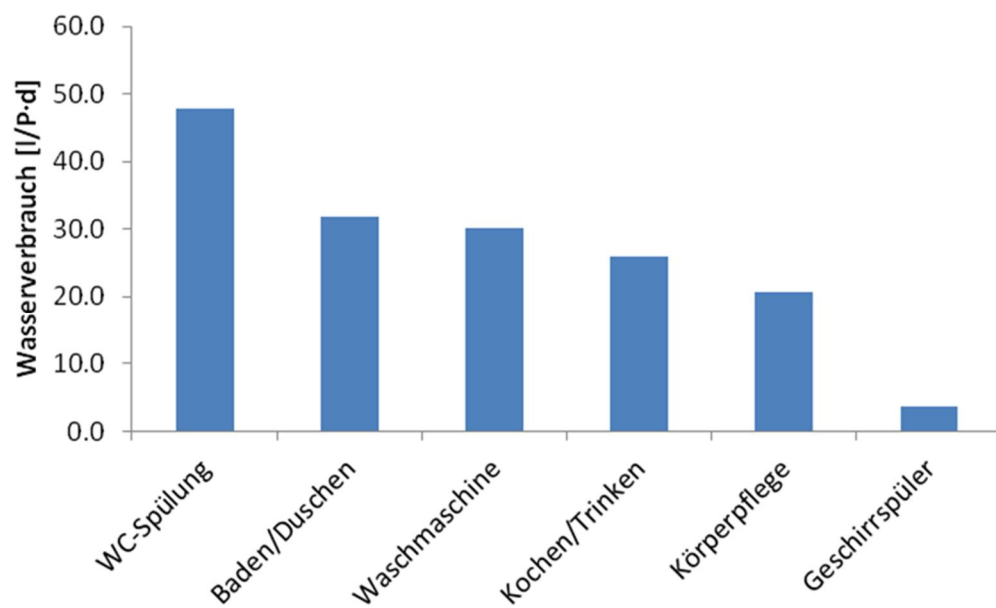


Bild 5 Aufteilung des Wasserverbrauchs in Privathaushalten [11]



4 Potential der aktiven Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Um das Potential der Wärmerückgewinnung aus Abwasser zu bestimmen, werden im folgenden Abschnitt Jahressimulationen für diverse Gebäudetypen durchgeführt. Bei allen Simulationen wird dem Abwasser aktiv Wärme mittels einer Wärmepumpe entzogen.

4.1 Annahmen

Für die Temperaturniveaus werden folgende Annahmen getroffen:

Temperatur Abwasser: 23°C
Temperatur Frischwasser: 10°C
Minimale Abwassertemperatur: 5°C

Der Wärmebedarf für die Heizung entspricht den Zielwerten gemäss SIA Norm 380/1 für Neubauten, definiert je nach Gebäudetyp. Der Zielwert entspricht 60% des Grenzwertes. Der Bedarf für Warmwasser ist ebenfalls der SIA 380/1 entnommen. Daraus berechnet sich der jährliche Warmwasserverbrauch pro Quadratmeter als

$$V_{ww} = \frac{Q_{ww}}{\rho_{H2O} \cdot c_{H2O} \cdot \Delta T}$$

Wobei Q_{ww} der Wärmebedarf für Warmwasser, ρ_{H2O} die Dichte von Wasser und c_{H2O} die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist. Für die Analyse wird von einem Temperaturhub ΔT von 50°C ausgegangen, um 60°C heisses Warmwasser zu erhalten.

Für die Simulation wird die Abwassermenge anhand des Warmwasserbedarfs abgeschätzt, wobei die Abwassermenge 2.75-mal dem Warmwasserverbrauchs entspricht. Daraus lässt sich mit der brutto Personenfläche gemäss SIA 380/1 die Abwassermenge pro Quadratmeter berechnen. Es ist aber davon auszugehen, dass insbesondere für Spitäler und Altersheime die realen Abwassermengen leicht höher ausfallen.

4.2 Potential der verschiedenen Gebäudetypen

Gemäss Tabelle 1 kann der Bedarf für Warmwasser mittels Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser vollständig gedeckt werden. Da das Verhältnis zwischen Wasserverbrauch und Warmwasserverbrauch immer gleich ist, resultiert für alle Gebäudetypen ein Deckungsgrad von 110%. Da die realen Wasserverbräuche sogar etwas höher ausfallen, sollte der Deckungsgrad sogar noch etwas höher ausfallen. Entscheidend ist aber wie vorhin angetönt vor allem das Verhältnis zwischen Wasser- und Warmwasserverbrauch. Zusätzlich kommt hinzu, dass bei grösseren Gebäude infolge der Verluste durch die Warmwasser-Zirkulation, ein deutlich höherer Wärmebedarf resultieren kann.

Für die Abschätzung des täglichen Heizwärmebedarfs $Q_{h,d}$ wurde eine vereinfachte Jahressimulation durchgeführt und der Tagesbedarf folgendermassen abgeschätzt

$$Q_{h,d} = \frac{Q_h}{G_{14}} \cdot (\theta_{hg} - \theta_{ad}) \text{ falls } \theta_{hg} > \theta_{ad}$$

wobei G_{14} wie folgt berechnet wird

$$G_{14} = \sum_1^z \theta_{hg} - \theta_{ad}$$



Die Anzahl Heiztage z sind die Tage, welche eine mittlere Aussentemperatur θ_{ad} kleiner der Heizgrenze θ_{hg} von hier angenommen 14°C haben. Der tägliche prozentuale Heizwärmebedarf am Gesamtwärmebedarf der Heizung ist in Abbildung 6 dargestellt.

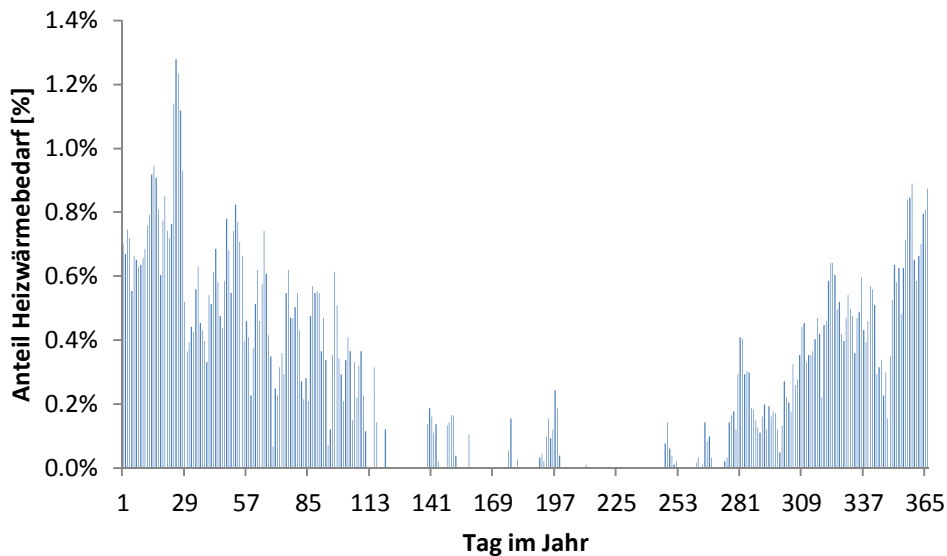


Bild 6: Täglicher Anteil des Heizwärmebedarfs am gesamten Wärmebedarf für die Heizung

Anhang der Simulationen wurden die Deckungsgrade für die Heizung bzw. Heizung und Warmwasser abgeschätzt. Die Resultate der Simulationen gelten nur für neue Gebäude, welche die aktuellen Zielwerte gemäss SIA 380/1 erfüllen.

Tabelle 1 zeigt, dass der Deckungsgrad für die Heizung deutlich kleiner ist, da der Heizwärmebedarf entgegen dem Warmwasser im Winter viel höher ist. Ausser für Sportbauten kann demzufolge eine Anbindung der Wärmerückgewinnung an das Heizungssystem nicht empfohlen werden. Im Einzelfall kann im Winterhalbjahr eine Anbindung an ein Niedrigtemperaturspeichersystem Sinn machen, um die Energiequelltemperatur zu erhöhen.

Tabelle 1: Übersicht Potential der Wärmerückgewinnung je nach Gebäudetyp

	Wohnen MFH	Wohnen EFH	Verwaltung	Spital	Sportbauten
Personenfläche brutto [m ² /P]	40	60	20	30	20
Wärmebedarf Heizung [MJ/m ²]	84	98	80	86	146
Wärmebedarf WW [MJ/m ²]	75	50	25	100	300
Warmwasser [l/m ² ·a]	359	239	120	478	1435
Abwassermenge [l/m ² ·a]	986	658	329	1315	3945
Energieinhalt Abwasser [MJ/m ²]	74	50	25	99	297
Deckungsgrad Warmwasser [-]	111%	111%	111%	111%	111%
Deckungsgrad nur Heizung [-]	26%	16%	3%	33%	54%
Deckungsgrad HWW [-]	68%	48%	34%	77%	96%

Mit der Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser kann der Bedarf für Warmwasser für alle Gebäudetypen gedeckt werden. Dies konnte bei der Besichtigung von Anlagen so bestätigt werden [20]. Es



braucht aber eine zusätzliche Energiequelle bzw. eine bivalente Energieerzeugung für die Abdeckung des Gesamtwärmebedarfs.

Typischerweise wird die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser zur Bereitstellung des Wärmebedarfs für Warmwasser verwendet, da die Abwassermenge und der Warmwasserbedarf stark gekoppelt sind.

4.3 Vergleich Energiequellen

Ein Vergleich mit anderen Wärmequellen zeigt, dass Abwasser eine interessante Energiequelle ist. In Abbildung 7 wird das Temperaturniveau verschiedener Energiequellen verglichen. Im Gegensatz zu Aussenluft, weist das Abwasser ganzjährig eine hohe Temperatur auf. Die mittlere Quelltemperatur ist ebenfalls leicht höher als das Temperaturniveau von heutigen Erdwärmesonden.

Im Jahresvergleich schneidet aber die Luft/Wasser Wärmepumpe nicht viel schlechter ab, da Sie von den hohen Aussentemperaturen im Sommer mit den entsprechend hohen COP-Werten profitiert. Für die Bereitstellung des Warmwassers ist also auch Aussenluft über das Jahr gesehen eine gute Energiequelle, insbesondere da der COP-Wert mit zunehmender Quelltemperatur ansteigt. Im Winterfall ist hingegen die Warmwassererzeugung bei tiefen Aussentemperaturen mit Luftwärmepumpen oft nur dank elektrischen oder fossilen Zusatzerhitzern möglich.

Der COP-Wert zur Aufbereitung von Warmwasser (60°) nimmt im Temperaturbereich zwischen 0-10°C mit jedem Grad um ca. 2% zu. Infolgedessen kann mit einer um 10 Grad erhöhten Quelltemperatur der Strombedarf der Wärmepumpe um ca. 20% verringert werden.

Ein grosser Nachteil der Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser ist der beschränkte Energieinhalt, der wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt nur für die Aufbereitung des Warmwassers ausreicht.

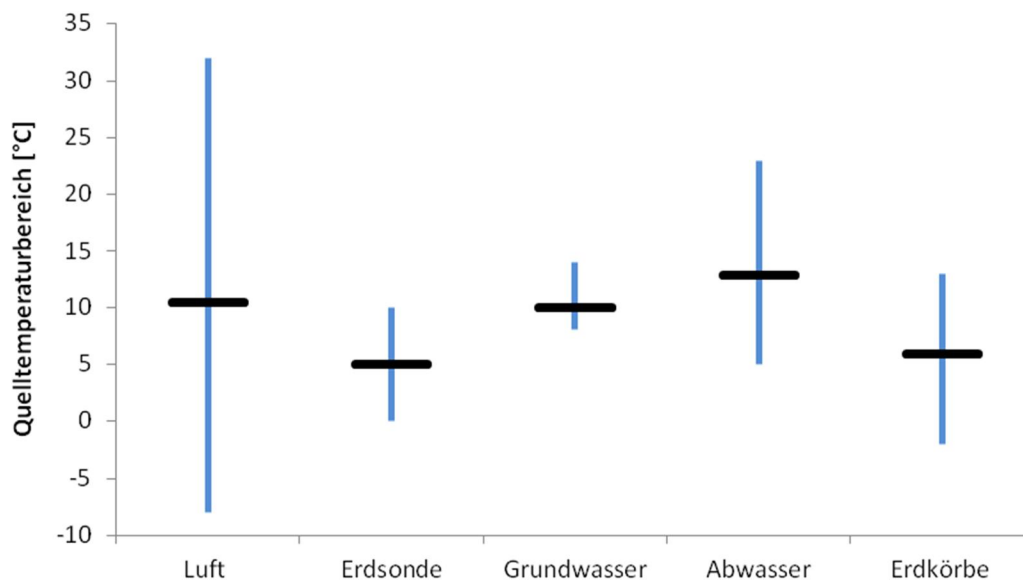


Bild 7: Übersicht der Temperaturniveaus der verschiedenen Energiequellen für die Warmwasserbereitstellung



5 Übersicht erhältlicher Wärmerückgewinnungskomponenten aus Schmutzwasser

Im folgenden Abschnitt werden die heute erhältlichen Komponenten zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser vorgestellt. Dabei wird zwischen passiven Komponenten ohne Wärmepumpe und aktiven Systemen mit Wärmepumpe unterschieden.

Generell kann gesagt werden, dass Wärmerückgewinnungssysteme aus Abwasser im Gebäude noch wenig verbreitet sind. Ausgenommen sind spezifische Anwendungen, die einen hohen Wasser- bzw. Warmwasserbedarf wie zum Beispiel Molkereien, Wäschereien usw. haben.

5.1 Passive Wärmerückgewinnungskomponenten

Bei passiven Systemen müssen drei Ansätze unterschieden werden.

5.1.1 Passive lokale Wärmetauscher

Bei lokalen Wärmetauschern wird direkt die hohe Exergie des Warmwassers genutzt, um kaltes Frischwasser vorzuwärmen und somit den Bedarf an Warmwasser zu reduzieren. Sinnvolle Anwendungsorte für solche lokalen Wärmetauscher sind in Duschtassen integrierte Systeme. Aus Komfortgründen sollte bei solchen Systemen eine Thermostat-Mischbatterie vorgesehen werden. Grundsätzlich können solche Systeme aber überall eingesetzt werden, wo Abwasser und Frischwasser gleichzeitig fließen. Eine Übersicht über erhältliche Systeme gibt es unter [21]. Die Wirtschaftlichkeit einer Installation muss im Einzelfall geprüft werden. Für Wohnbauten und insbesondere für Sportbauten sollte die Wärmerückgewinnung in Duschwannen zum Standard werden. Entsprechend kostengünstige und zuverlässige Systemlösungen müssen bereitgestellt werden. **Wichtig:** Trotz der Installation dieser Wärmetauscher gilt weiterhin, das Wassersparen die effizienteste Methode zur Energieeinsparung ist. Daher ist auch weiterhin auf unnötig langes Duschen zu verzichten.

Vorteile lokaler Wärmetauscher:

- Bedarfsreduktion bis 65% möglich
- Exergie wird genutzt
- wartungsarm

Nachteile lokaler Wärmetauscher:

- muss lokal bei allen Warmwassernutzungen installiert werden
- Installation teurerer Thermostat-Mischbatterien sinnvoll
- geringe Verbreitung solcher Systeme
- ermöglichen erst ab einer gewissen Zeit Wärmerückgewinne

Tabelle 2: Übersicht passiver lokaler Systeme

	Kleinere Objekte (1-3 WE)	Mittlgrosse Objekte (3-70 WE)	Grosse Objekte / Areale (>70 WE)
Passive Systeme (Lokal)			



5.1.2 Passive zentrale Wärmetauscher

Im Gegensatz zu den lokalen Wärmetauschern nutzen die zentralen Wärmetauscher die Abwärme des gemischten Abwassers um das Frischwasser für den Warmwasserbedarf vorzuwärmen. Die geringe Exergie dieses Abwassers reduziert trotzdem den Wärmebedarf für Warmwasser um bis zu 20%. Eine höhere Reduktion kann bei getrennten Fallleitungen erzielt werden. Der Installationsaufwand und Platzbedarf einer solchen Lösung ist aber deutlich höher.

Die Wärmetauscher sind bei zentralen Lösungen zu isolieren und mit einer hohen Speicherkapazität auszulegen, damit ein Teil der Abwärme zwischengespeichert werden kann. Somit kann auch bei zeitlich verschobenem Auftreten von Abwasser- und Frischwasserströmen ein Teil der Exergie direkt genutzt werden.

Vorteile zentraler Wärmetauscher:

- einfache zentrale Installation
- wartungsarm
- Bedarfsreduktion bis ca. 30% bei getrennten Fallleitungen
- Wärmerückgewinnung auch bei diskontinuierlichen Abwasserströmen möglich

Nachteile zentraler Wärmetauscher:

- gemischtes Abwasser mit tiefer Exergie wird genutzt
- Geringerer Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung

5.1.3 Passive zentrale Wärmetauscher in Kombination mit Niedertemperaturspeicher

Eine weitere Möglichkeit die Abwasserwärme zu nutzen ist mittels Wärmetauscher die Abwärme in einem Niedertemperaturspeicher (Eisspeicher, Kaltwasserspeicher mit 5° bis ca. 30°C) abzugeben. Im Winterhalbjahr kann mit dieser Lösung die anderen Wärmequellen wie z.B. Niedertemperatur- bzw. Hybridkollektoren unterstützt und somit die Speichertemperatur angehoben werden. Dieses System hat den Vorteil, dass die Abwasserwärmenutzung einfach und wartungsarm umgesetzt werden kann.

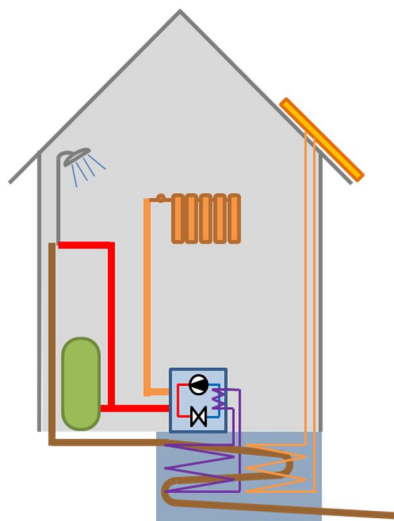


Bild 8: Wärmerückgewinnung mittels Wärmetauscher und Niedertemperaturspeicher

Vorteile passiver Wärmetauscher mit Niedertemperaturspeicher:

- einfache zentrale Installation
- wartungsarm
- Wärmerückgewinnung auch bei diskontinuierlichen Abwasserströmen möglich
- Höherer Wärmerückgewinnungsgrad als bei rein passiven Wärmetauschern
- Interessante Wärmequelle für Niedertemperaturspeicher im Winterhalbjahr



Nachteile passiver Wärmetauscher mit Niedertemperaturspeicher:

- Nur einsetzbar in Systemen mit Niedertemperaturspeichern
- Wirtschaftlichkeit von Niedertemperaturspeichern ist fraglich
- Wie die im Abwasser enthaltene Energie ist auch der Energieinhalt des Niedertemperaturspeichers beschränkt. Eine zusätzliche Wärmequelle für Spitzenlasten im Winter wird benötigt.

5.1.4 Schlussfolgerungen

Die passive Wärmerückgewinnung aus Abwasserströmen ist aus ökologischer Sicht meistens sinnvoll. Mit lokalen Wärmetauschern in Duschwannen kann der Gesamtwärmebedarf für Warmwasser um bis zu 30% reduziert werden. Da diese Systeme wartungsarm sind, sollte ein störungsarmer Betrieb möglich sein. Ob sich diese Systeme auch durchsetzen, hängt stark von dessen Produktkosten ab. Hier sind die Hersteller von Sanitärkomponenten gefordert einfache Systeme zu entwickeln und diese aktiv zu vermarkten. Folgende Anbieter bieten solche Wärmetauscher-Systeme an:

- HEI-TECH Energy Saving Systems [12]
- Fercher AG [13]
- Joulia SA [19]
- Meander Heat Recovery [21]

Für zentrale Wärmetauscher gibt es noch keine Anbieter. Für Pilotanlagen wurden die Wärmetauscher projektspezifisch hergestellt [7].

In zwei Pilotprojekten wird die Abwasserwärmenutzung in Kombination mit einem Niedertemperaturwärmespeicher geprüft ([27], [28]). Noch sind von den Projekten keine Betriebszahlen erhältlich, bzw. sind erst in der Projektierungsphase. Zudem wird im einen Projekt ein Direktwärmetauscher eingesetzt. Die Effizienz der Wärmerückgewinnung lässt sich in diesem Fall nur schwer abschätzen [27]. Im anderen Fall ist eine Energiemessung vorgesehen [28].

5.2 Aktive Wärmerückgewinnungskomponenten

Bei aktiven Systemen, welche die Wärme aktiv mit einer Wärmepumpe zurückgewinnen, muss zwischen speicherlosen und solchen mit Speicher unterschieden werden. Speicherlose Systeme kommen vorwiegend in spezifischen Anwendung vor, wie z.B. Schwimmbäder, Wäschereien usw. Bei Wohnbauten mit einem diskontinuierlichen Anfall an Abwasser werden vor allem Systeme mit Speicher eingesetzt, um einen hohen Wärmerückgewinnungsgrad zu erzielen. Die Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die am Markt erhältlichen Systeme.

Tabelle 3: Übersicht aktiver Systeme

	Kleinere Objekte (1-3 WE)	Mittelgrosse Objekte (3-40 WE)	Grosse Objekte / Areale (>40 WE)
Aktive Systeme (Ohne Speicher)	Keine Systeme		
Aktive Systeme (Mit Speicher)			



5.2.1 Aktive Wärmerückgewinnungssystem ohne Speicher

Im Folgenden werden die Produkte kurz vorgestellt.

AquaCond [14]

Das Gerät AquaCond dient der Wärmerückgewinnung aus Abwässern beispielsweise aus Schwimmbädern, Wäschereien. Das zuvor von groben Verunreinigungen gefilterte Abwasser durchläuft in diesem Gerät einen zweistufigen Prozess: Zunächst durchströmt es einen Doppelrohrwärmeüberträger, in dem es einen Großteil der Wärme direkt an das Frischwasser abgibt. Im nächsten Schritt wird dem Abwasser über die integrierte Wärmepumpe zusätzliche Wärme entzogen. Bei schmutzbelastetem Abwasser verfügt die Wärmerückgewinnungsanlage über eine zusätzliche automatische Reinigung.

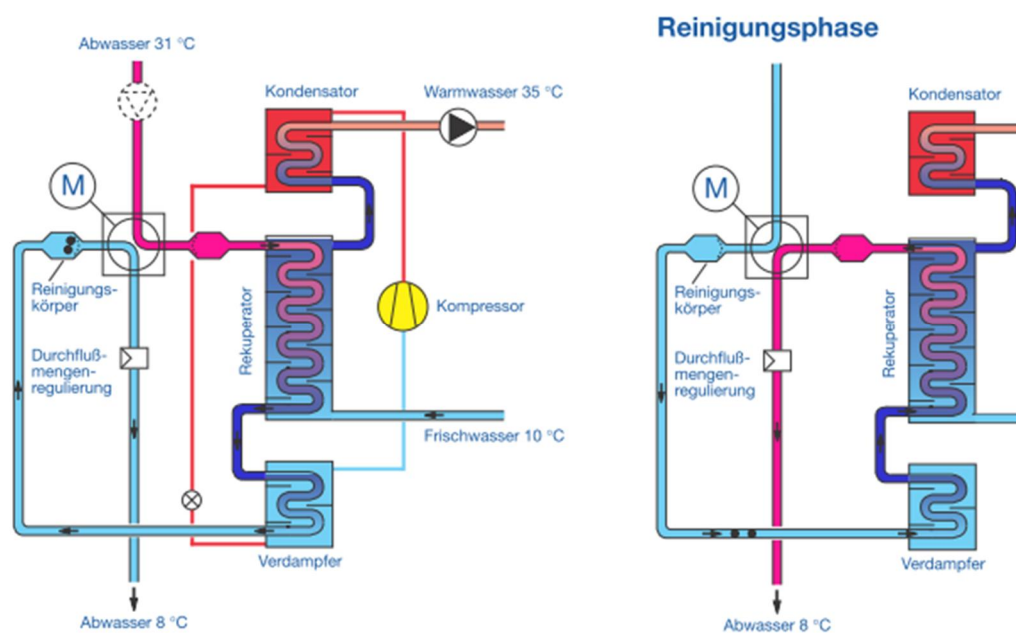


Bild 9: Funktionsprinzip AquaCond [14]

Halbschalen-Absorber der PEWO Energietechnik GmbH mit zusätzlicher Wärmepumpe [15]

Der Doppelmantelwärmeüberträger („Halbschalen-Absorber“) aus Kupfer wird von außen an (bestehende) Abwassersammelleitungen (SML-Gussrohr) angebracht. Die Wärmeübertragerelemente haben jeweils eine Länge von 1 m. Weiterhin wird durch die Leitfähigkeit der SML-Gussrohre die Wärme über die ganze Oberfläche der Rohre bereitgestellt. Um Wärmeverluste am Doppelmantelwärmeüberträger zu verringern, gehören angepasste, Wasser abweisende Dämmelemente aus PUR-Schaum zu dem System. Die Wärmerückgewinnung findet mit einer Wärmepumpe statt. Erste erfolgreiche Pilotanlagen wurden in Wohnbauten mit 20-300 Wohneinheiten realisiert ([22], [23]). Insgesamt sind in den letzten 10 Jahren 8 Anlagen in Deutschland erstellt worden. Alle Systeme sind mit Monitoringsystemen ausgerüstet worden. Gemäss Hersteller beträgt die optimale elektrische Leistung der Wärmepumpe für 100 Wohneinheiten ca. 5 kW. Die Anlagen erzielen Betriebszeiten zwischen 4000-6000 Stunden pro Jahr. Somit können ca. 15-25% der Abwasserenergie zurückgewonnen werden. Die mittlere gemessene Abwassertemperatur beträgt dabei ca. 20 °C. Gemäss Herstelleruntersuchungen kämpfen die Anlagen bei den derzeitigen Energiepreisen mit der Wirtschaftlichkeit. Zudem braucht es für die Bereitstellung von Warmwasser eine zusätzliche Wärmequelle. Ein Kombination mit einer weiteren Anergiequelle oder einem Heizkessel ist daher nötig.

Im Weiteren wurde eine Pilotanlage mit eine Gaswärmepumpe (Robur GmbH) in einem Schwimmbad realisiert. Zahlen zum Betrieb sind noch keine verfügbar.

Vorteile Systeme ohne Speicher:

- Wartungsarm



- einfache Installation
- mit Wärmepumpe hohes Temperaturniveau mit gutem Jahresarbeitszahlen erreichbar

Nachteile Systeme ohne Speicher:

- tieferer Wärmerückgewinnungsgrad
- zusätzliche Wärmequelle nötig für Gesamtbedarfsdeckung

5.2.2 Aktive Wärmerückgewinnungssystem mit Speicher

Im Folgenden werden am Markt erhältliche Produkte kurz vorgestellt, die insbesondere für grössere Wohnbauten, Altersheime, Spitäler und Sportbauten geeignet sind. Dank der Zwischenspeicherung kann dem Abwasser viel Energie entzogen werden und normalerweise der gesamte Wärmebedarf für Warmwasser bereitgestellt werden.

Bei Gebäuden mit langen Zirkulationsleitungen muss eine sorgfältige Auslegung des Gesamtsystems erfolgen. Insbesondere der Warmwasserspeicherbewirtschaftung mittels Wärmepumpe muss besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da ansonsten ineffiziente Ladevorgänge mit hohen Temperaturen auf der Warmseite der Wärmepumpe resultieren.

FEKA-Modul [16]

Das FEKA-System besteht aus Wärmepumpe, Steuerung und Filter/Wärmetauscher. Hier findet der Wärmeaustausch nicht direkt im Abflussrohr statt, sondern in einem zwischengeschalteten Schacht. Vor der Zuleitung in den Schacht wird das Abwasser zunächst gefiltert. Dabei werden Fäkal- sowie grobe Schmutzstoffe zurückgehalten und in regelmäßigen Reinigungszyklen mittels einer Spülpumpe direkt in die Kanalisation befördert. Um Verstopfungen des Grobfilters zu vermeiden, findet täglich eine automatische Rückspülung statt. Über den Schacht, in dem das Wasser des Gebäudekomplexes gesammelt wird, findet mittels des Wärmeüberträgers die Wärmeentnahme statt. Nach der Wärmeabgabe beginnt die Ableitung des Abwassers in die Kanalisation. Der Wärmetauscher und der Schacht müssen jährlich gereinigt werden. Gemäss Nachfragen bei Gebäudebetreibern entstehen dadurch jährliche Wartungskosten von ca. 2000 CHF. Wichtig ist für die einfache Reinigung, dass in der Nähe des FEKA-Moduls ein Schacht der öffentlichen Kanalisation, bzw. privaten Kanalisation zur Verfügung steht, damit das Abwasser während den Reinigungsarbeiten umgeleitet werden kann.

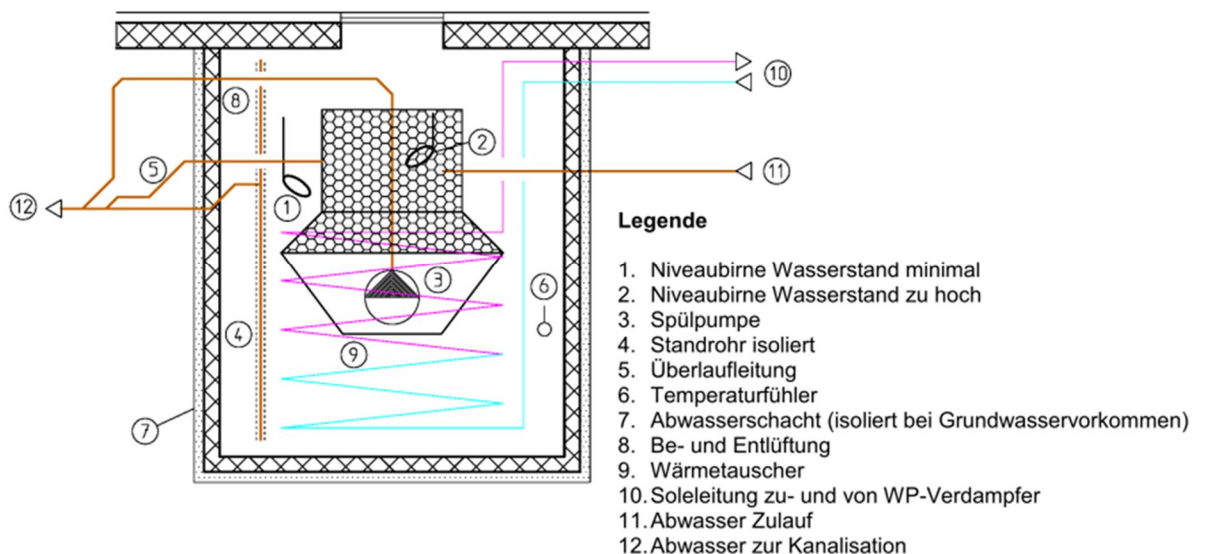


Bild 10: Funktionsprinzip FEKA-Modul [16]



Das FEKA-System wird in grösseren Wohnbauten ab ca. 40 Wohneinheiten, Altersheimen, Spitäler und Sportbauten eingesetzt. Dieses System ist in der Schweiz ziemlich verbreitet mit über 200 Anlagen. Optional kann es mit einer Erdsonde gekoppelt werden. In diesem Fall wird sobald die Temperatur des Abwasserspeichers einen Schwellwert unterschreitet, zusätzlich das Erdsondensystem seriell zugeschaltet. Mit dieser Lösung kann der Gesamtwärmebedarf des Gebäudes sichergestellt werden.

Ein weiterer Vorteil des FEKA-Systems ist, dass falls das Abwasser sowieso gepumpt werden muss, dies direkt durch das FEKA Modul erfolgt. Somit ist ein störungsarmer Betrieb der Abwasserhebeanlage sichergestellt. Bei der besichtigten Anlage kam es innerhalb von 6 Jahren nur zu einem Störfall wegen einer verstopften Pumpe infolge eines im Abwasser entsorgten Putzlappens.

Das FEKA-System wird vom Hersteller komplett inklusive Wärmepumpe und Steuerung geliefert. Somit kann ein effizienter und störungsfreier Betrieb gewährleistet werden. Bei Anlagenbesichtigungen konnte der reibungsfreie Betrieb bestätigt werden ([20], [24]). Jahresarbeitszahlen von 4 können bei Wohnbauten mit diesem System erreicht werden. Diese sind deutlich besser als bei Luft/Wasser Wärmepumpen. Bei den besichtigten Anlagen konnte 100% des Warmwassers durch das FEKA-System gedeckt werden. Trotzdem empfiehlt der Hersteller eine zusätzliche Wärmequelle, um die Warmwasserbereitstellung während Wartungsarbeiten, Spitzenlasten und Störfällen jederzeit garantieren zu können.

Aqua-Re-Energie-Trichter [17]

Auch der für häusliche oder industrielle Abwässer entwickelte Aqua-Re-Energie-Trichter staut das Abwasser zunächst auf, um den Wärmeübergang zu ermöglichen. Das Abwasser gelangt über einen Zulauf in einen Trichter. Die Trichterform erzielt beim Abwasserdurchfluss einen Selbstreinigungseffekt. Bei sehr starken Verschmutzungen des Abwassers kommen ein Grobteilfilter im Schmutzwasserzulauf und ein im Trichter integrierter Rotationsdüsenstock (integraler Reinigungsmechanismus) zum Einsatz.

Der Aqua-Re-Energie-Trichter ist sowohl in Wohnhäusern als auch in gewerblichen oder industriellen Betrieben mit hohem Wasserverbrauch und stark verschmutztem Abwasser einsetzbar.

Die folgende Abbildung zeigt ein Grobschema für den Einbau des Aqua-Re-Energie-Trichters.

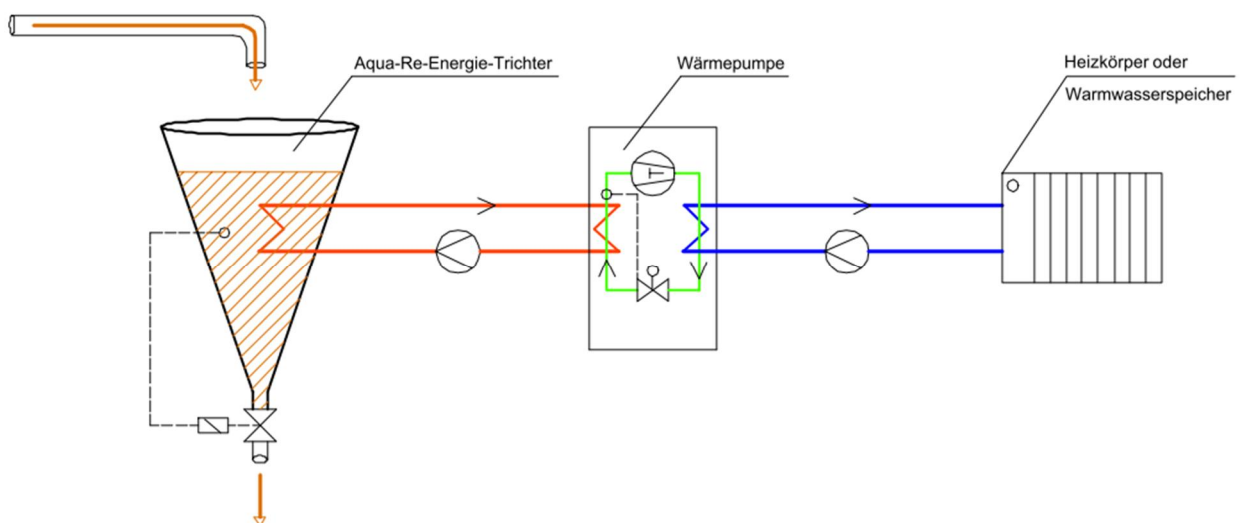


Bild 11: Funktionsprinzip Aqua-Re-Energie-Trichter [17]

Im Moment ist nur eine Pilotanlage in Berlin in Betrieb [23]. Infolge Ablagerungen im Trichter muss die Anlage alle 2-3 Wochen gereinigt werden. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist so im Moment nicht möglich.



Dolder Wärmetechnik Abwasserspeicher [18]

Für Einfamilienhäuser bot die Firma Dolder Wärmetechnik AG eine Speicherlösung mit aktiver Wärmerückgewinnung mittels einer Wärmepumpe an. Die Reinigung des Systems erfolgt mit einer Reinigungslösung, welche in die gefüllte Badewanne gegeben wird. Beim Ablassen der Badewanne füllt sich so der Abwasserspeicher und der Wärmetauscher wird gereinigt. Falls eine Verstopfung des Systems auftritt gibt es eine Reinigungsöffnung. Für einen zuverlässigen Betrieb müssen die Bewohner darauf achten, möglichst wenig Feststoffe ins Abwasser zu geben. Dies schränkt den Betrieb in Mehrfamilienhäusern ein.

Der Speicher wurde mittels einer kleinen Wärmepumpe (700W) in Kombination mit einem Erdregister betrieben [25]. Mit einer zusätzlichen Wärmepumpe für das Winterhalbjahr konnte der Gesamtwärmebedarf gedeckt werden.

Aus wirtschaftlichen Gründen sind seit 8 Jahren keine neuen Anlagen mehr erstellt worden. Die Nutzung von Abwasser mittels Speichersystemen ist für kleine Anlagen nicht konkurrenzfähig zu anderen Energiequellen wie Erdsonden oder Luft.

Vorteile Systeme mit Speicher:

- ermöglicht Rückgewinnung auch aus diskontinuierlich anfallenden Abwässern
- hohe Jahresarbeitszahlen erreichbar

Nachteile Systeme mit Speicher:

- erst ab ca. 20-40 WE wirtschaftlich sinnvoll
- erhöhter Wartungsaufwand für die Reinigung der Wärmetauscher und Speicherbehälter

5.2.3 Schlussfolgerungen

Aktive Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpen ermöglicht einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe dank dem hohen Temperaturniveau der Energiequelle. Leider deckt die Energiequelle nur den Wärmebedarf für Warmwasser. Für die Bereitstellung der Heizwärme braucht es eine zusätzliche Quelle typischerweise eine Erdsonde oder einen zusätzlichen Wärmeerzeuger.

Für spezifische Anwendung wie Schwimmbäder sind speicherlose Systeme gut geeignet, um den kontinuierlichen Wasseraustausch so verlustarm wie möglich zu gestalten. Speicherlose Systeme können aber auch für diskontinuierlich anfallende Abwassermenge eingesetzt werden. Solche Systeme erfordern aber eine hohe Wärmekapazität des Tauschers und eine zusätzliche Isolation. Der Vorteil der speicherlosen Systeme ist deren wartungsarmer Betrieb. Bis jetzt sind aber nur Pilotanlagen in Betrieb.

Systeme mit Speicher wurden schon mehrfach erfolgreich eingesetzt. Insbesondere in grösseren Wohnbauten, Altersheimen und Sportbauten. In solchen Anlagen ist auch der Wartungsaufwand vertretbar. Die hohen erzielbaren Jahresarbeitszahlen dieser Systeme ermöglichen eine effiziente Bereitstellung des Warmwassers. Mit der Koppelung einer weiteren Energiequelle lässt sich allenfalls der gesamte Wärmebedarf des Gebäudes decken. Leider gibt es im Moment nur ein funktionierendes System am Markt. Dieses wurde während Jahren verbessert, so dass es heute störungsarm betrieben werden kann. Trotzdem ist eine jährliche Reinigung des Speicherschachts nötig. Insbesondere bei Gebäudeprojekten, bei denen eine Hebeanlage für das Abwasser benötigt wird, ist der Einsatz eines FEKA-System empfehlenswert.

Für die vermehrte Nutzung von Speichersystemen sollten diese Technologie gefördert werden, so dass in Zukunft mehrere Hersteller störungs- und wartungsarme Systeme anbieten können.



6 Vergleich Wärmepumpensysteme je nach Objektgrösse

Im folgenden Abschnitt soll kurz gezeigt werden, welche Wärmepumpensysteme je nach Objektgrösse eingesetzt werden kann und wo es allenfalls Potential für neue Produkte gibt. Die Objekte sind in folgende Grössen unterteilt:

- Kleine Objekte bis 1-3 Wohneinheiten
- Mittlere Objekte 4-40 Wohneinheiten
- Grosse Objekt ab 40 Wohneinheiten

Eine Wohneinheit wird als durchschnittlich ein 3-Personenhaushalt angenommen.

6.1 Kleinere Objekte

Bei Kleinobjekten sind heutzutage sowohl Luft/Wasser als auch Sole/Wasser Wärmepumpen im monovalenten Einsatz. Aufgrund der tieferen Investitionskosten und der hohen COP-Werte im Sommer werden in kleinen Wohnobjekten häufig Luftwärmepumpen eingesetzt. Auf der anderen Seite haben Lösungen mit Erdsonden einen deutlich höheren COP-Wert im Heizbetrieb. Zudem können diese Lösungen im Sommer auch zu passiven Kühlzwecken benutzt werden. Eine aktive Abwasserwärmerückgewinnung ist in solchen Objekten schwierig, da der Wartungsaufwand für solche Systeme nicht vertretbar ist. Allenfalls ist es möglich eine Wärmerückgewinnung im Erdregister oder Erdkorb bzw. in Kombination mit einem Niedertemperaturwärmespeichers zu realisieren. Hier müssten weitere Abklärungen und Simulationen zeigen, wie gross das Potential eines solchen Systems wäre. Bei den derzeitigen Energiepreisen ist ein wirtschaftlicher Betrieb schwierig zu realisieren. Im Gegensatz zu Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpe stecken die Abwassernutzungsanlagen noch in der Pilotphase.

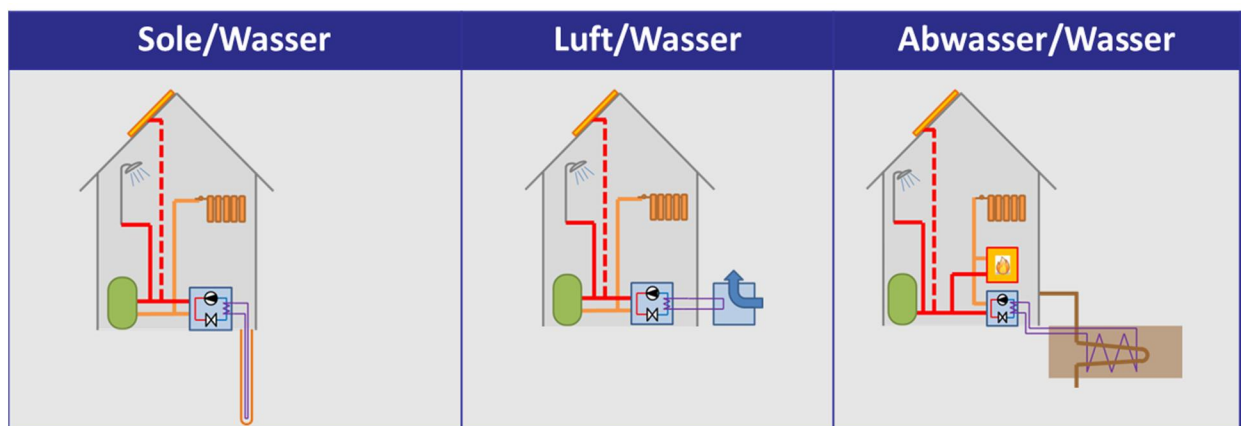


Bild 12: Übersicht Wärmepumpensysteme in kleineren Objekten

6.2 Mittlere Objekte

Bei mittleren Objektgrössen wird die Luftwärmepumpe grösstenteils von einem fossilen Kessel im Spitzenbetrieb unterstützt. Bei Erdsonden kommen teilweise zwei Wärmepumpen zum Einsatz, die eine für den Heizbetrieb, die andere für die Warmwasseraufbereitung, optimiert. Für die aktive Wärmerückgewinnung gibt es keine verbreiteten Produkte am Markt. Pilotanlagen mit einem Speichertichter sind vorhanden, der Wartungsaufwand zeigt aber, dass hier noch ein grosser Entwicklungsbedarf besteht. Hier gilt es neue Produkte zu entwickeln. Die Produkte sollten einerseits kostengünstig, andererseits möglichst wartungsfrei sein. Ansonsten ist ein grossflächiger Einsatz fraglich.

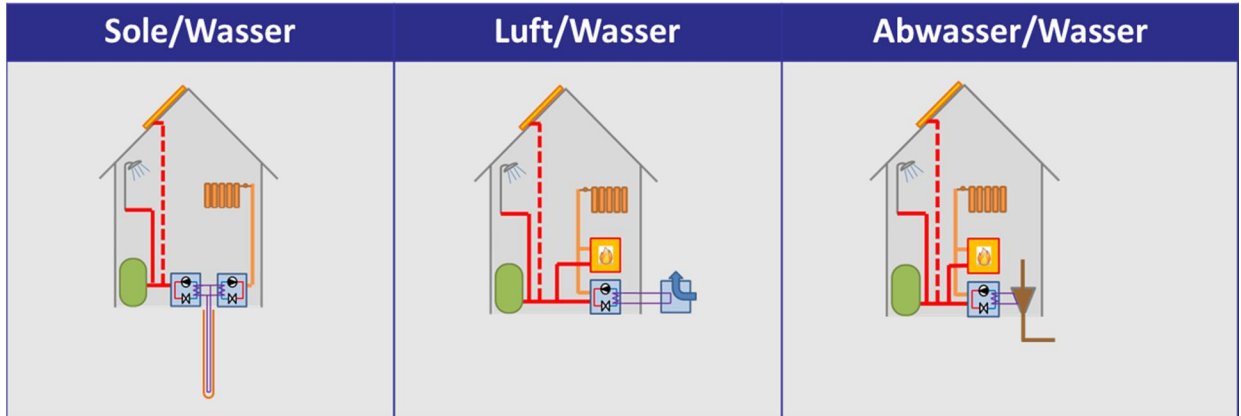


Bild 13: Übersicht Wärmepumpensysteme in mittleren Objekten

6.3 Grosse Objekte

In Grossobjekten werden Luftwärmepumpen wegen der höheren Betriebskosten und der Lärmemissionen des Aussenwärmetauschers selten eingesetzt. Der Betrieb von Erdsonden, Grundwasserwärmepumpen ist hier dank deren hohen Jahresarbeitszahlen ökologisch wie ökonomisch sinnvoller. Abwasserwärmerückgewinnungssysteme finden hier teilweise ihren Einsatz in grossen Wohnbauten, Spitälern, Altersheimen und Sportbauten. Dank des hohen Temperaturniveaus des Abwassers kann hier effizient der Wärmebedarf des Warmwassers gedeckt werden. Aufgrund der Grösse spielt es bei solchen Objekten auch keine Rolle, dass ein zusätzlicher Wärmeerzeuger für die Heizung benötigt wird, da die Systeme sowieso meistens entkoppelt sind.

Die Abwasserwärmerückgewinnung kann auch mit einer Erdsonde gekoppelt werden, in diesem Fall wäre ein monovalenter Betrieb möglich.

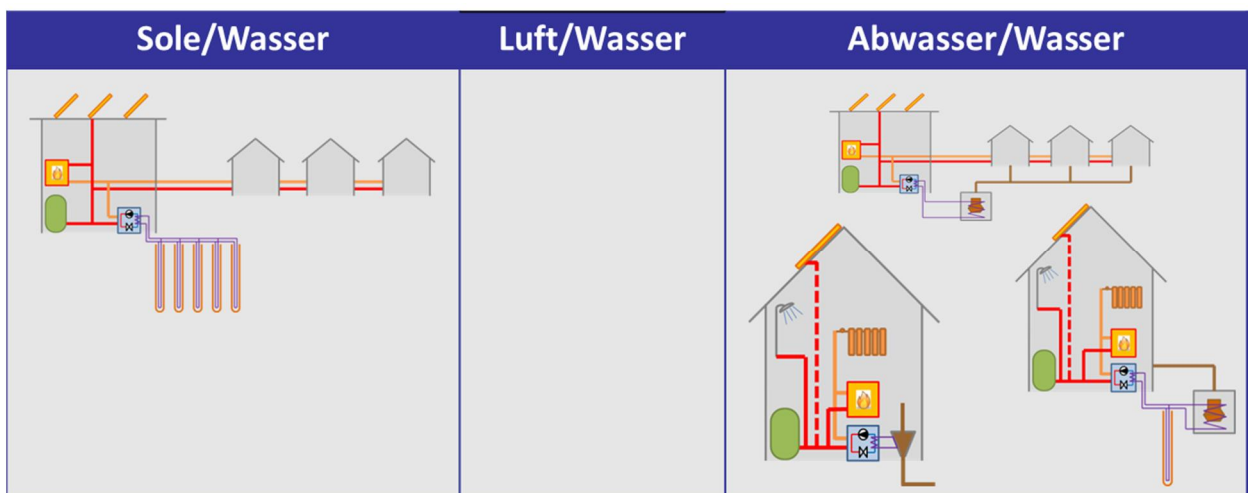


Bild 14: Übersicht Wärmepumpensysteme in grossen Objekten

6.4 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich werden heutzutage Abwasserwärmerückgewinnungssysteme nur in Grossobjekten verbreitet eingesetzt. Für kleinere und mittlere Objekte ist der Einsatz von solchen Systemen trotz der höheren erreichbaren Jahresarbeitszahlen selten zu empfehlen, da der Aufwand für die Wartung bzw. den sorgfältigen Umgang der Anlagen diesen Vorteil meist nicht aufwiegt. Hier gibt es noch Forschungspotential betreffend wartungsfreier Systeme für kleinere und mittlere Objekte. Diese sollten möglichst als einfaches Komplettsystem für die Warmwasseraufbereitung vorgesehen werden und



vom Sanitärunternehmen eingebaut werden. So sind Überlappungen und Schnittstellen mit anderen Gewerken klein.

7 Referenzen

- [1] Berliner Netzwerke E, Gebäudebezogene Nutzung von Abwasserwärme, 2011
- [2] O. Wanner, Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen, BFE Schlussbericht, 9/2004.
- [3] F. Schmid, Wärmerückgewinnung aus Abwassern, gwa, 6/2007.
- [4] O. Wanner, Wärmerückgewinnung aus Abwasser, Schriftenreihe der Eawag Nr. 19, 2009.
- [5] E. Müller, Untersuchung der Voraussetzungen für Projekte zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser, 12/2010.
- [6] AWEL, Heizen und Kühlen mit Abwasser, Leitfaden für die Planung, Bewilligung und Realisierung von Anlagen zur Abwasserenergienutzung, 9/2010.
- [7] Erfolgskontrolle Plus-Energie-Mehrfamilienhaus Bennau, Schlussbericht BFE, 12/2011
- [8] Schweizer Energiefachbuch, 1995
- [9] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau, 2009
- [10] Norm SIA 2024, Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, 2006
- [11] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Wasserverbrauch im Haushalt, Studie des SVGW in Zusammenarbeit mit dem BUWAL, 2001
- [12] <http://www.hei-tech.nl>, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [13] <http://www.fercher.at>, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [14] <http://www.menerga.com>, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [15] <http://www.pewo.com>, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [16] <http://www.feka.ch>, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [17] www.de-tec.net, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [18] <http://www.dolder-waermetechnik.ch>, letzter Zugriff am 16.12.2012
- [19] www.joulia.ch, letzter Zugriff am 15.01.2013
- [20] A. Lauper Besichtigung Eulachhof, Else Züblin Str. 91, 8404 Winterthur
- [21] A. Kimmels, Meander Heat Recovery, 2011, <http://www.meanderhr.com>
- [22] N. Petrick, PEWO Energietechnik AG, Telefonbesprechung, 28.08.2013
- [23] J. Lang, e.qua Energierückgewinnung & Ressourcenmanagement, www.e-qua.de, Telefonbesprechung, 28.08.2013
- [24] D. Kalberer, FEKA-Energiesysteme AG, Telefonbesprechung, 12.08.2013
- [25] M. Dolder, Dolder Wärmetechnik AG, Telefonbesprechung, 26.08.2013
- [26] R. Ritzmann, www.eisspeicher.ch, Besprechung Planungstand
- [27] <http://www.sun21.ch/index.php?id=375>, letzter Zugriff am 16.10.2013
- [28] S. Berger, Berger Controlling AG, Telefonbesprechung, 02.10.2013