

WÄRMETAUSCHER IM KANAL - THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Dipl.-Ing. Horst Klinger, Ludwigsburg; Dipl.-Ing. Stefan Weber, Kornwestheim

Inhaltsverzeichnis

- Zusammenfassung
- 1. Einleitung
- 2. Beschreibung der Technik
 - 2.1 Prinzipieller Aufbau
 - 2.2 Wärmetauscher
- 3. Theoretische Grundlagen
 - 3.1 Abwassertemperatur
 - 3.2 Abwassermenge und deren Schwankung
 - 3.3 Wärmepotential des Abwassers
 - 3.4 Ökologische Aspekte
- 4.0 Zusammenstellung von Auswahlkriterien für geeignete Standorte
- 5.0 Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

Der Artikel beschreibt die technischen Maßnahmen zur Rückgewinnung von Wärme aus Abwasserkanälen. Es wird auf die Grundlagen eingegangen und hergeleitet, dass das große Wärmepotenzial überwiegend der umgebenden Erdwärme entstammt. Außerdem werden Kriterien für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Technik aufgezeigt.

1. Einleitung

Kochen, warm duschen, heiß baden, Wäsche waschen überall wird in unseren Haushalten Wasser erwärmt bzw. erhitzt um es zu nutzen. In vielen Fällen ist das Wasser dann auch noch warm, wenn es durch den Ablauf als Abwasser Häuser und Wohnungen verlässt und über Kanäle der Kläranlage zugeleitet wird. Die Nutzung dieser Abwasserwärme wird in der Schweiz schon seit einigen Jahren praktiziert. Durch Einbau von Wärmetauschern in Kanälen wird hier dem Abwasser Wärme entzogen und durch den Einsatz von Wärmepumpen ganze Wohnviertel mit Heizwärme versorgt.

Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen dieser Technik und die Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz dargestellt.

2. Beschreibung der Technik

2.1 Prinzipieller Aufbau

Um die Wärme dem Abwasser zu entziehen, werden eigens hierfür entwickelte Wärmetauscher eingesetzt, die in vorhandene oder neu zu verlegende Abwasserkanäle eingebaut werden. Diese patentierten Wärmetauscher werden derzeit von der Firma Rabtherm GmbH vertrieben. Sie bestehen aus einer Edelstahlschale (Werkstoff 1.4571) und den darunter liegenden drei Zwischenmediumsrohren. Über diese Kunststoffrohre wird das Zwischenmedium (reines Wasser) von der Wärmepumpe zum Wärmetauscher geleitet, dort durch das Abwasser erwärmt und wieder zur Wärmepumpe zurückgeführt. Eine Wärmedämmung der Rohre ist aufgrund des geringen Temperaturunterschiedes zum Erdreich nicht erforderlich. Die auf einem Temperaturniveau von mindestens 8 °C - 10 °C dem Abwasser entzogene Wärme wird durch eine Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau (50 °C - 60 °C) „gepumpt“. Die Temperaturerhöhung erfolgt durch Verdichtung eines Kältemittels im Kompressor der Wärmepumpe.

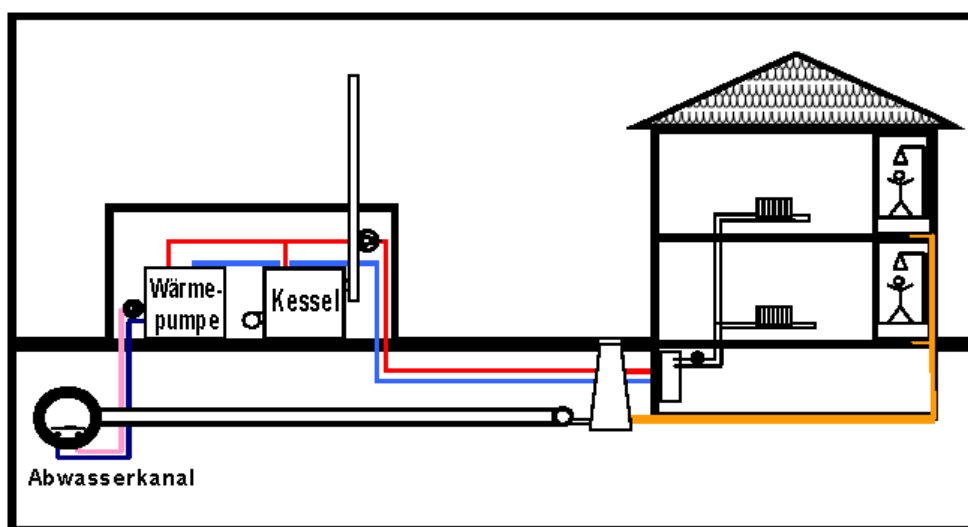


Bild 1: Prinzip der Abwärmenutzung aus Abwasser

Aus wirtschaftlichen Überlegungen und aus Gründen der Versorgungssicherheit besteht eine Anlage meistens aus der Wärmepumpe selbst und einem zusätzlichen Heizkessel. Wärmepumpen sind vergleichsweise teuer und werden daher meist auf ca. 30% des benötigten Spitzenbedarfs ausgelegt. Der Heizkessel dient somit der Abdeckung der Wärmespitzen im Winter und als Ausfallreserve. Damit lassen sich im Mittel folgende Deckungsanteile am Wärmeverbrauch erzielen:

- 60 % aus dem Abwasser
- 20 % aus Strom (Antrieb der Wärmepumpe)
- 20 % aus Heizöl oder Erdgas (Heizkessel)

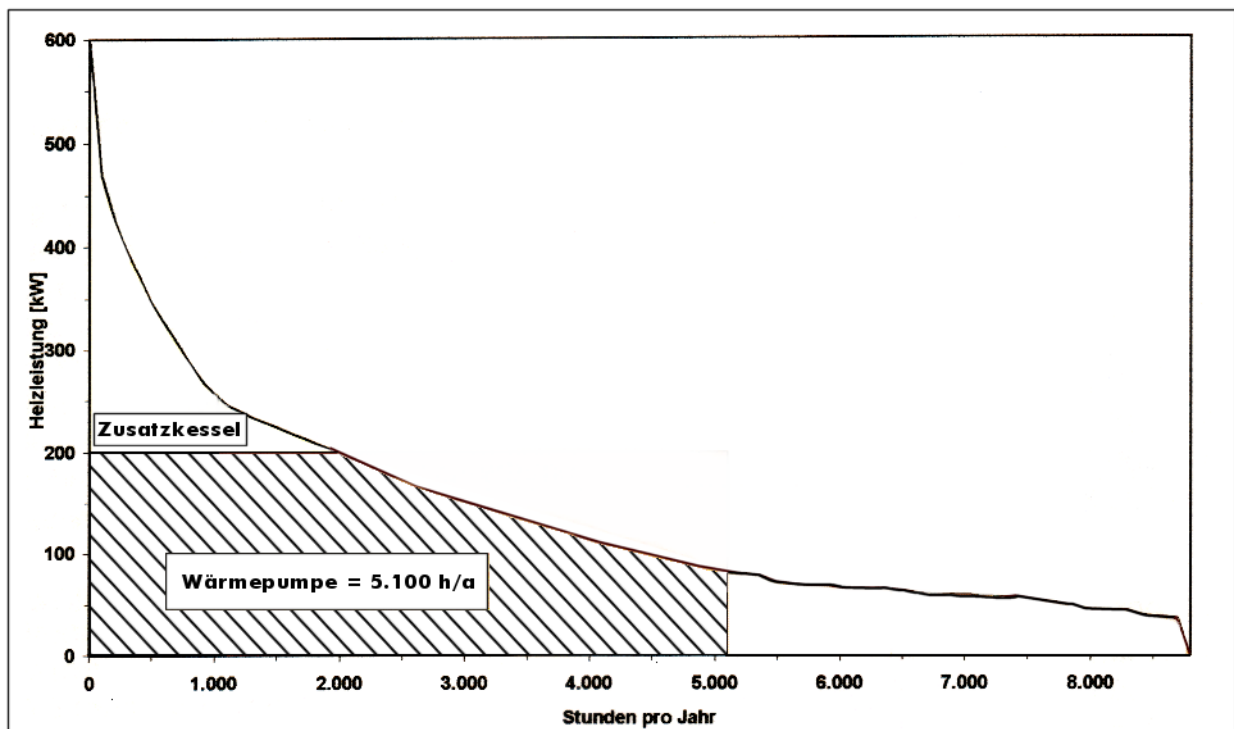


Bild 2: Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs mit Deckungsanteilen aus Wärmepumpe

Die Heizanlage kann entweder in einem eigenen Gebäude oder im Heizraum eines bestehenden Gebäudes untergebracht werden. Mehrere Objekte können von einer Heizzentrale aus über Wärmeleitungen versorgt werden.

2.2 Wärmetauscher

Ein Wärmetauschermodul ist bis zu 3 m lang. Die Wandstärke der Edelstahlschale beträgt ca. 4 mm. Von der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz wurde bestätigt, dass bei diesen Wärmetauschern von Nutzungsdauern von über 50 Jahren ausgegangen werden kann.

Die Wärmetauscher werden entweder in bestehende Kanäle, mit ausreichendem Querschnitt und Sohlgefälle, nachträglich eingebaut oder bei neuen Kanälen bzw. Kanalauswechslungen als vorgefertigte Bauteile komplett mit dem Abwasserrohr installiert.

In jedem Fall sollten möglichst große Fließgeschwindigkeiten erreicht werden, da dann die schädliche Sielhautbildung minimiert und der Wärmeaustausch begünstigt wird.



Bild 3: Wärmetauscher

Bild 3 zeigt die vorgefertigten Wärmetauscher im Betonwerk vor dem Einbringen in die Schalung und in Bild 4 ist ein nachträglich eingebauter Wärmetauscher dargestellt.

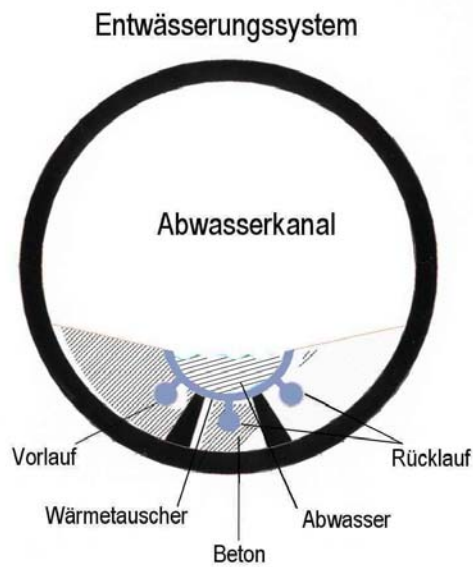


Bild 4: Querschnitt Abwasserkanal mit Wärmetauscher

Aus Gründen des gleichen Strömungswiderstandes müssen die Wärmetauschermodule nach dem in Bild 5 dargestellten Prinzip hintereinandergeschaltet werden. Hierzu sind 2 Rücklaufrohrleitungen erforderlich.

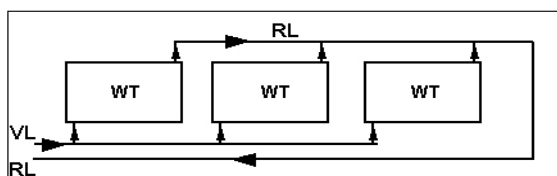


Bild 5: Tichelmann-Prinzip

Bisher ist es nur ab einem Durchmesser DN 800 möglich, Wärmetauscher in einen bestehenden Kanal einzubauen.

3. Theoretische Grundlagen

Um die oben beschriebene Technik einsetzen zu können, müssen folgende Fragen geklärt werden:

- Steht die Wärme sicher zur Verfügung?
- Welches Wärmepotential ist vorhanden?
- Welche Auswirkungen hat die Nutzung der Abwasserwärme auf die Abwasserreinigungsanlage?

3.1 Abwassertemperatur

Die nutzbare Temperatur des Mischwassers in der Kanalisation unterliegt mutmaßlich folgenden Einflüssen:

- Menge und Temperatur des Schmutzwassers
- Menge und Temperatur des Fremdwassers
- Menge und Temperatur des Oberflächenwasser (Regen, Schmelzwasser)
- Fließzeiten
- Gewerbeeinleitungen
- Bodentemperatur

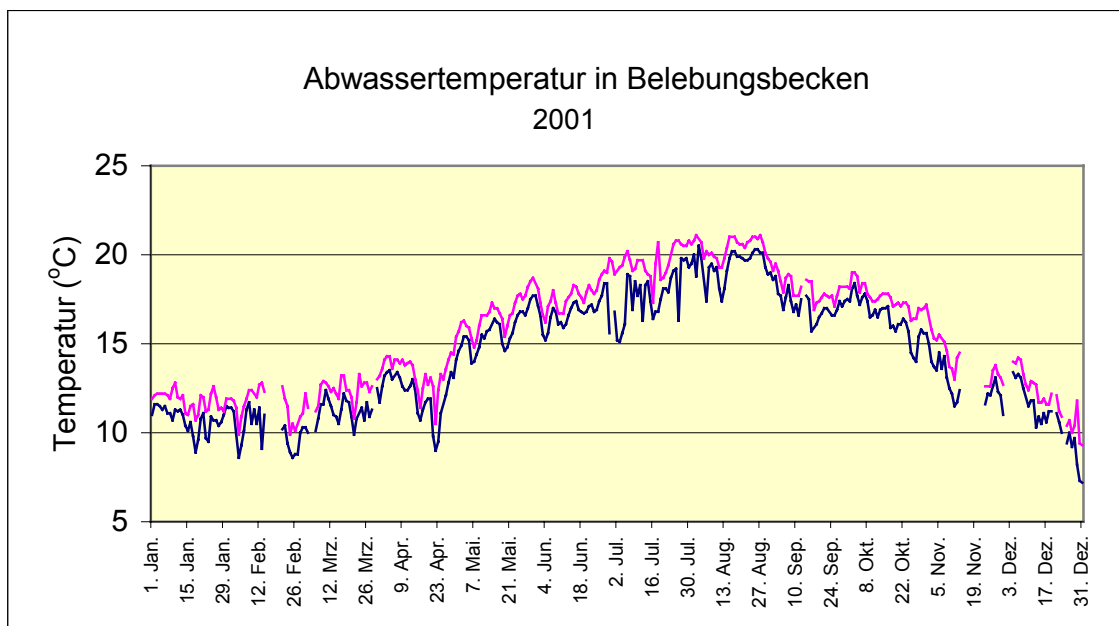


Bild 6: Temperaturverlauf im Belebungsbecken KA Stgt.-Büsnau [1]

Vergleichende Temperaturmessungen (Tagesmaxima / Tagesminima, Bild 6) in der Kläranlage Stuttgart-Büsnau und in der Kläranlage der Stadt Wiesloch (Bild 7) zeigen im Vergleich einen nahezu identischen Temperaturverlauf sowohl bezüglich der Minimal- und Maximalwerte als auch bezüglich des jahreszeitlichen Verlaufes. Und dies, obwohl sich die Einzugsgebiete der beiden Kläranlagen hinsichtlich der Größe, der Fließzeiten, der Abwasserzusammensetzung (Industrieanteil) und der Topografie deutlich unterscheiden. Aus diesem Vergleich kann abgeleitet werden, dass diese Parameter nur einen geringen Einfluss auf die Abwassertemperatur haben. Insbesondere die geringe Differenz der Tagesmaxima und –minima (Bild 6) zeigt die untergeordnete Bedeutung von Schmutzwassertemperaturen.

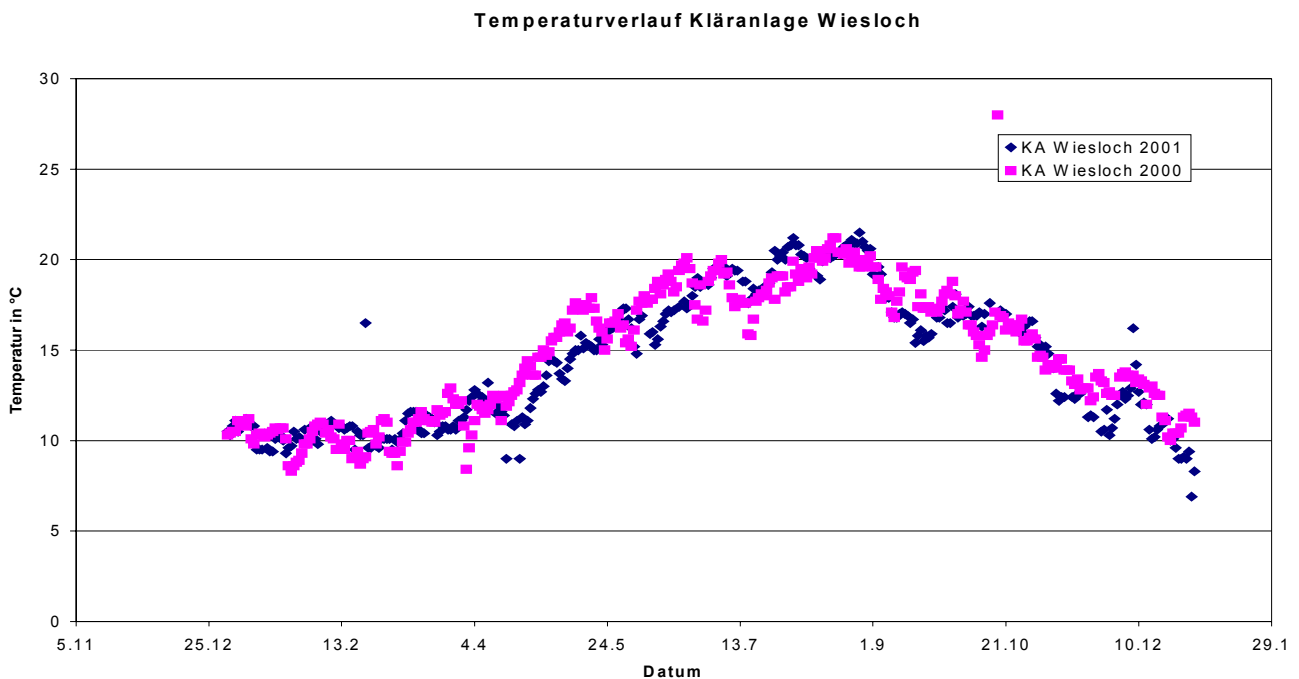


Bild 7: Temperaturverlauf Kläranlage Wiesloch 2000 und 2001 [2]

Folgendes Bild stellt den Temperaturverlauf der oberen Bodenschicht in Abhängigkeit von der Tiefe dar. In diesem Bereich hängt die Temperatur noch nicht von der in tieferen Bodenschichten vorhandenen Erdwärme ab, sondern von der Lufttemperatur, der Sonneneinstrahlung und deren Eindringtiefe.

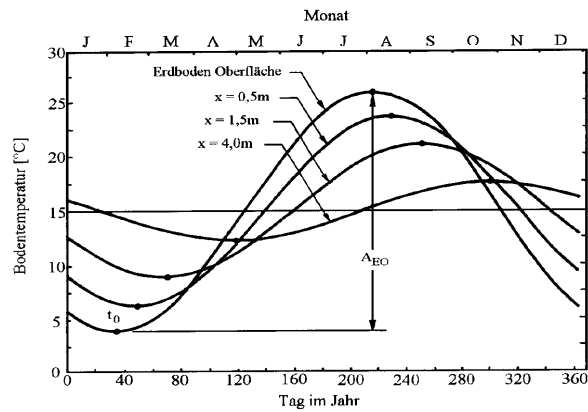


Bild 8: Typische Variation der Bodentemperatur in Abhängigkeit der Tiefe über ein Jahr [3]

Vergleicht man diese Kurven mit dem, im Abwasser gemessenen Temperaturverlauf, stellt man eine gute Übereinstimmung insbesondere des jahreszeitlichen Verlaufes mit den in 1,5 – 4,0 m Tiefe gemessenen Bodentemperaturen fest. Diese Tiefe entspricht der durchschnittlichen Verlegetiefe von Abwasserkanälen.

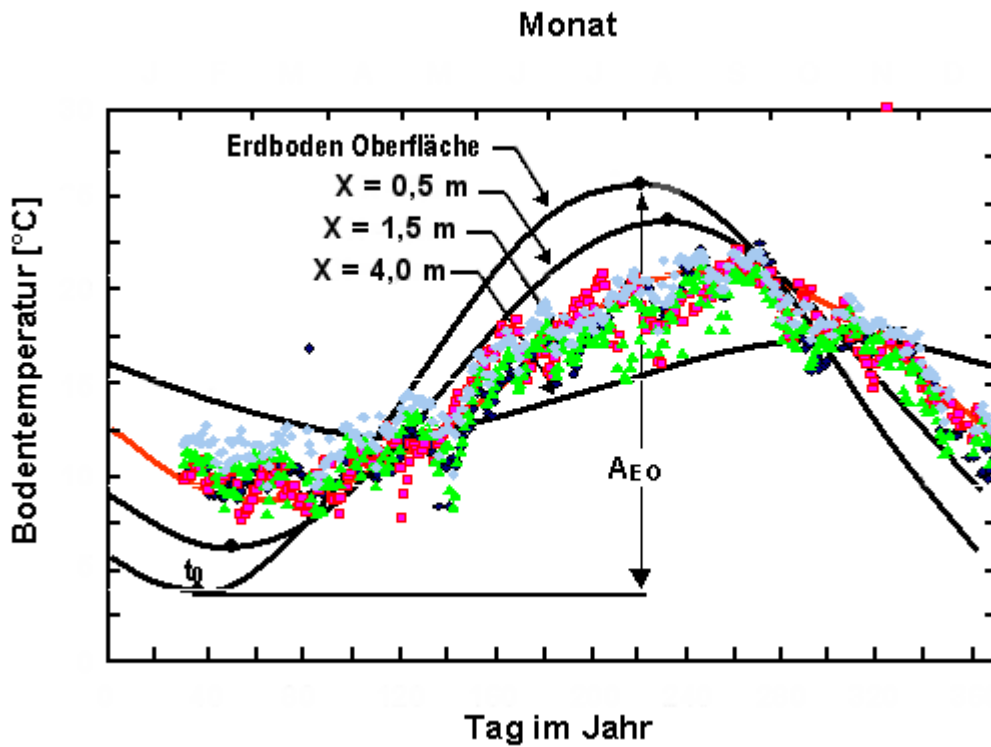


Bild 9: überlagerte Temperaturkurven

Die nachfolgende Grafik (Bild 10) zeigt analog die ganzjährigen Wassertemperaturen der Bodensee-Wasserversorgung [5] an der Gewinnungsstelle und den Verlauf nach einer längeren Transportstrecke. Dieses Bild bestätigt den dominierenden Einfluss der Bodentemperaturen auf den Temperaturverlauf.

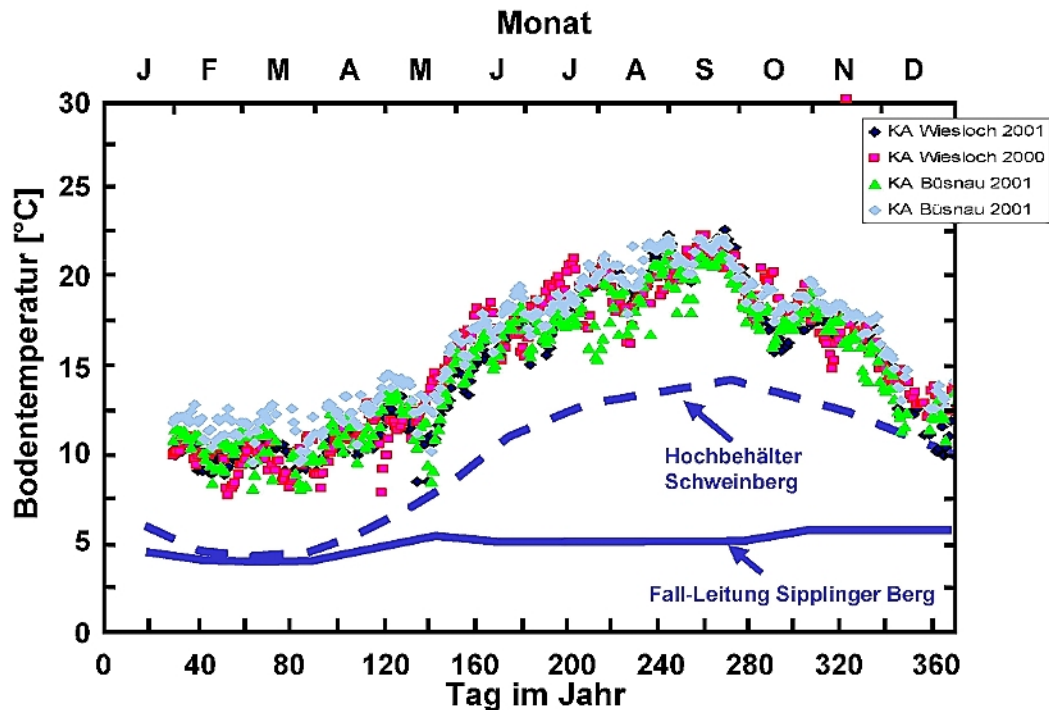


Bild 10:

Berücksichtigt man noch den Wärmegewinn in den Wasserverteilungsnetzen bis zur Hausübergabe und vergleicht diese Kurven mit den Abwassertemperaturen, so kann der Einfluss der Wassererwärmung in den Haushalten selbst mit 2 bis maximal 3 °C abgeschätzt werden.

Hieraus lässt sich schließen, dass vor allem die umgebende Bodentemperatur und somit auch die Fließzeit (= Aufenthaltszeit im Kanalnetz) und der Fremdwasserzutritt (die Fremdwassertemperatur entspricht der Bodentemperatur) entscheidend sind für die Abwassertemperaturen im Kanal, das heißt, dass der Abwasserkanal an sich ein großer Wärmetauscher gegen das ihn umgebende Erdreich ist.

Der ganzjährig gleichmäßige Schmutzwasserzufluss aus Haushalten und seine Temperatur (i. M. 24 °C) vergleichmäßig allenfalls die Schwankungen der Bodentemperaturen und verbessert somit die ganzjährige Nutzung der Wärmeenergie aus Abwasser insbesondere bei langen Frostperioden.

Als weitere Erkenntnis kann abgeleitet werden, dass lokale Energieentnahmen nach einer entsprechenden Fließzeit ausgeglichen werden (regenerieren) und dann zu keiner Beeinträchtigung der Abwasserreinigung führen.

3.2 Abwassermenge und deren Schwankung

Bild 11 zeigt eine typische Abwasserzuflussganglinie in einem großen Einzugsgebiet (~ 50.000 EW). Es ist ersichtlich, dass der Mindestzufluss bei ca. 67% des mittleren Zuflusses liegt, das Bild veranschaulicht, dass in größeren Einzugsgebieten immer mit einem Mindestdurchfluss gerechnet werden kann, wobei sich größere Fremdwasserzuflüsse eher positiv auf die Wärmeentzugsmöglichkeit auswirken. Dies steht anderen Umweltaspekten entgegen, nach denen der Fremdwasseranteil möglichst gering sein soll. Der durchschnittliche Mindestdurchfluss von 15 l/s, ab dem die Wärmenutzung aus Abwasser nach Erfahrungen aus der Schweiz erst wirtschaftlich ist, lässt nach Bild 11 auch in den Nachtstunden noch einen Durchfluss von ca. 10 - 12 l/s erwarten.

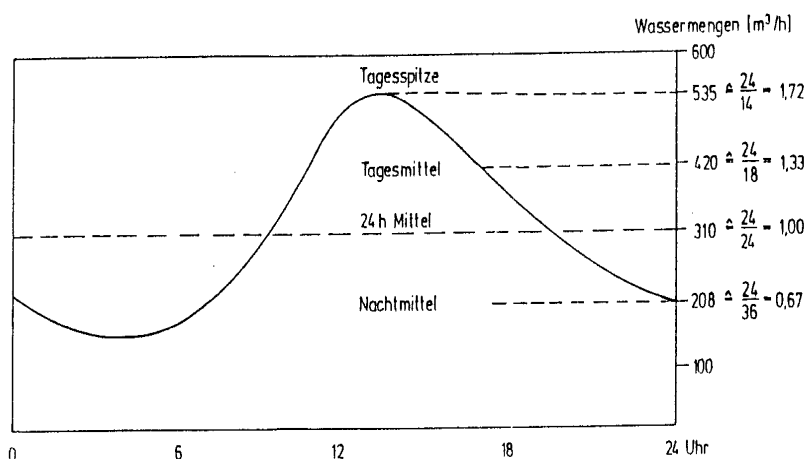


Bild 11: Abwassermenge einer Stadt von 50.000 Einwohnern [4]

Da in den frühen Morgenstunden, in den Zeiten geringen Durchflusses, auch der Wärmebedarf (infolge Nachtabsenkung) geringer ist, ist ein Gleichklang der Ganglinien des Wärmedargebotes und der Wärmenutzung gegeben. Eine Wärmepufferung ist somit im Normalfall nicht erforderlich.

Gemessene Werte in einem Teileinzugsgebiet der Stadt Wiesloch bestätigten diese Aussagen (Bild 11).

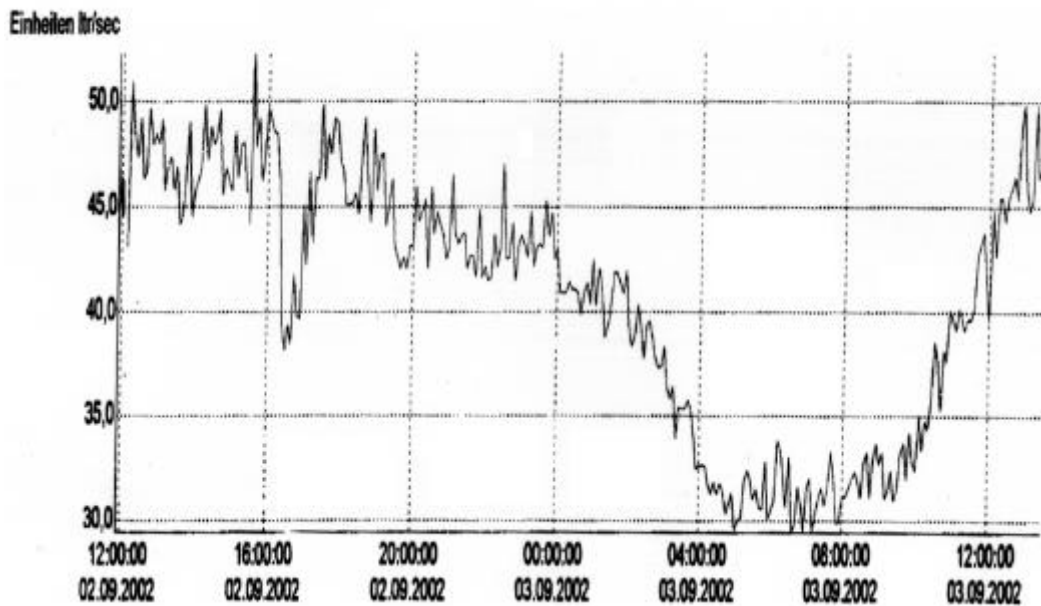


Bild 12: Abwassermessungen Wiesloch

3.3 Wärmepotential des Abwassers

Bei der Abkühlung von 1 l Wasser um 1 °C entsteht 1 kcal Wärme; hieraus errechnet sich ein **Faktor von 4,1868 Kilowatt je Grad Celsius und je Sekundenliter Durchfluss.**

Bei einem Wasserverbrauch von 150 l/(E x d) ergibt sich ein durchschnittlicher Abfluss von $1,736 \times 10^{-3} \text{ l/(s x E)}$. Die Erfahrung in der Schweiz hat gezeigt, dass für den wirtschaftlichen Betrieb der Wärmetauscher in Abwasserkanälen ein mittlerer Abfluss von ca. 15 l/s vorhanden sein sollte. Aufgrund dieser Vorgabe ergibt sich für die Planung, dass je nach Fremdwasseranteil vor der ersten Wärmeentnahmestelle ca. 4500 (100 % Fremdwasserzuschlag) bis ca. 9000 (ohne Fremdwasser) Einwohner angeschlossen sein sollten.

Bei einer Abkühlung um 2 °C ergibt sich folgende Energieentnahme:

$$4.500 \text{ E} \times 1,736 \times 10^{-3} \times 200 \% \times 4,1868 \text{ kW/}^\circ\text{C l/s} \times 2 \text{ }^\circ\text{C} = 130,8 \text{ kW}$$

Das theoretische Wärmepotential im Zulauf einer mittelgroßen Kläranlage errechnet sich somit wie folgt:

Tab. 1: Theoretisches Wärmepotential im Zulauf einer mittelgroßen Kläranlage

Mittlere Abwasserbelastung:	70.000	EW
	=	120 l/s i. M.
Fremdwasserzufluss (~ 50 %)	=	60 l/s
Mittl. TW-Zufluss:	=	180 l/s
Bei Abkühlung um 2 °C:	1500	kW

Dies entspricht dem Wärmebedarf für Grund- und Mittellast von ca. 500 Gebäuden.

3.3 Wärmepotential des Abwassers

Bei der Abkühlung von 1 l Wasser um 1 °C entsteht 1 kcal Wärme; hieraus errechnet sich ein **Faktor von 4,1868 Kilowatt je Grad Celsius und je Sekundenliter Durchfluss.**

Bei einem Wasserverbrauch von 150 l/(E x d) ergibt sich ein durchschnittlicher Abfluss von **1,736 x 10⁻³ l/(s x E)**. Die Erfahrung in der Schweiz hat gezeigt, dass für den wirtschaftlichen Betrieb der Wärmetauscher in Abwasserkanälen ein mittlerer Abfluss von ca. 15 l/s vorhanden sein sollte. Aufgrund dieser Vorgabe ergibt sich für die Planung, dass je nach Fremdwasseranteil vor der ersten Wärmeentnahmestelle ca. 4500 (100 % Fremdwasserzuschlag) bis ca. 9000 (ohne Fremdwasser) Einwohner angeschlossen sein sollten.

Bei einer Abkühlung um 2 °C ergibt sich folgende Energieentnahme:

$$4.500 \text{ E} \times 1,736 \times 10^{-3} \times 200 \% \times 4,1868 \text{ kW/}^\circ\text{C l/s} \times 2 \text{ }^\circ\text{C} = 130,8 \text{ kW}$$

Das theoretische Wärmepotential im Zulauf einer mittelgroßen Kläranlage errechnet sich somit wie folgt:

Tab. 1: Theoretisches Wärmepotential im Zulauf einer mittelgroßen Kläranlage

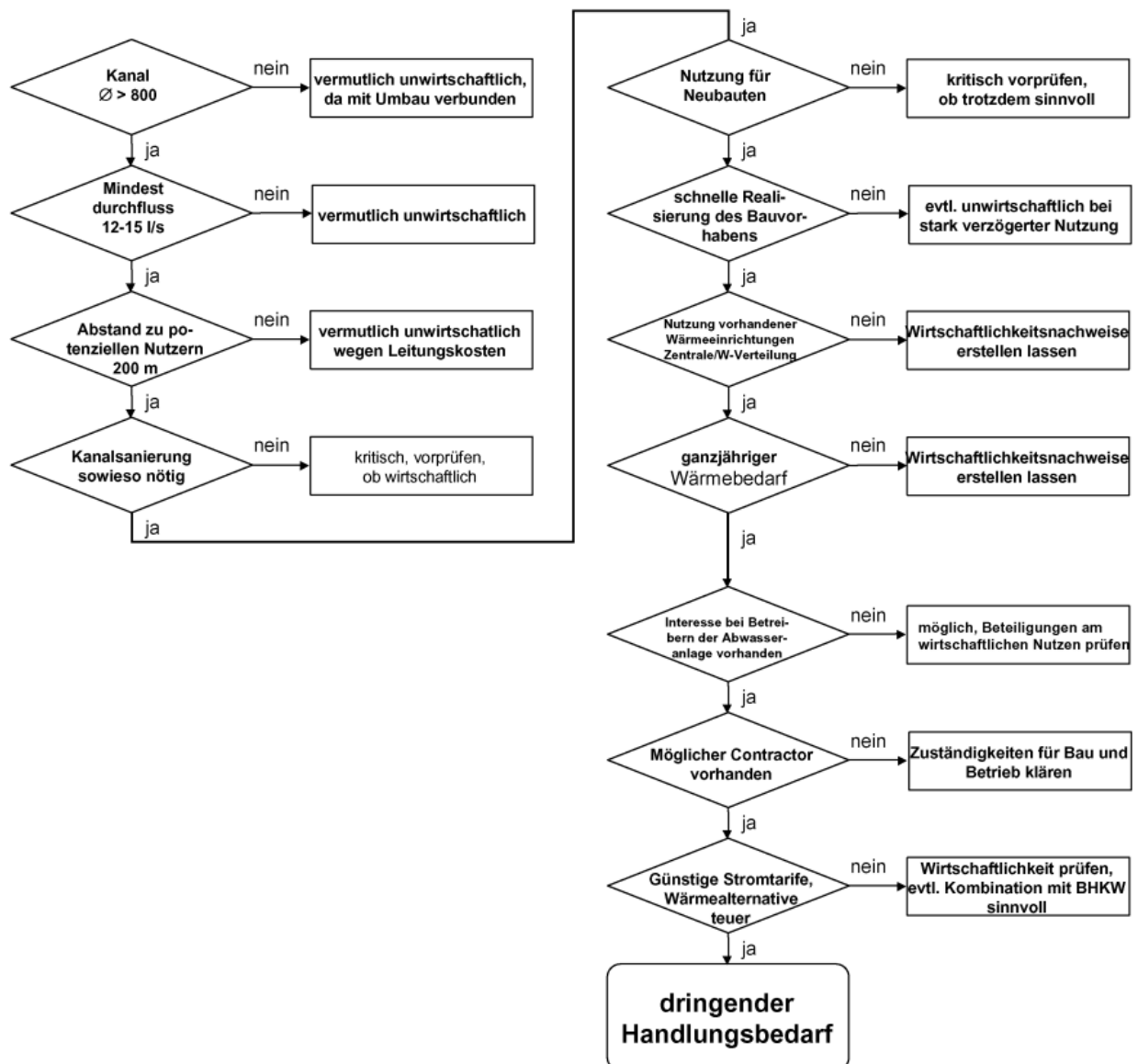
Mittlere Abwasserbelastung:	70.000	EW
	=	120 l/s i. M.
Fremdwasserzufluss (~ 50 %)	=	60 l/s
Mittl. TW-Zufluss:	=	180 l/s
Bei Abkühlung um 2 °C:	1500	kW

Dies entspricht dem Wärmebedarf für Grund- und Mittellast von ca. 500 Gebäuden.

3.4 Ökologische Aspekte

Bei ca. 5000 Betriebsstunden pro Jahr würden bei dem errechneten Deckungsgrad in Wiesloch 7500 MWh/a Strom gespart. Dies entspricht 0,75 Mio. Liter Heizöl und ca. 2100 t CO₂/a.

4.0 Zusammenstellung von Auswahlkriterien für geeignete Standorte:



5.0 Literaturverzeichnis

[1] LFKW Stuttgart-Büsnau, Auswertung der Abwassertemp. im Belebungsbecken

[2] Abwasserverband Leimbach-Angelbach, Auswertung der Betriebstagebücher

[3] Jens Jasper, ECOS – Umwelttechnische und wissenschaftliche Publikationen 2000

[4] Karl und Klaus R. Imhoff, Taschenbuch der Stadtentwässerung, 27. Auflage, S 105

[5] Dr. Ing. Maier, Dr. rer. nat. Mäcke, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Heft 80

Autoren

Dipl.-Ing. Horst Klinger, Geschäftsführer

Klinger und Partner GmbH

Dornierstr. 6

71634 Ludwigsburg

Email: horst.klinger@klinger-partner.de

Dipl.-Ing. Stefan Weber, Geschäftsführer

IPG mbH

Albstr. 32

70806 Kornwestheim

Email: ipg.kornwestheim@t-online.de