

WASSER



ABFALL

REGELWERK

■ **ARBEITSBEHELFE**

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

ÖWAV-Arbeitsbehelf 43

Leitfaden zur Anwendung der Thermalfahnenformel des ÖWAV-Regelblatts 207

Wien 2014

Dieser Arbeitsbehelf ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher
Gemeinschaftsarbeit.

Dieser Arbeitsbehelf ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine fachgerechte Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist ausgeschlossen.

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Hersteller: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Verlages ausgeschlossen ist.

Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung, und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Redaktion, Satz und Layout: Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

© 2014 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Vorwort

In den letzten Jahrzehnten hat die Nutzung der Erdwärme einen großen Aufschwung erfahren. Die verbesserten technischen Möglichkeiten und das umfassende Wissen hinsichtlich thermischer Eigenschaften des Untergrundes ermöglichen dabei ein wirtschaftliches Heizen und Kühlen von energieeffizienten Gebäuden. Als Hilfestellung bei Planung, Errichtung und Betrieb derartiger Anlagen sowie auch um ökologische Auswirkungen auf ein tolerierbares Maß zu minimieren, wurde 2009 das ÖWAV-Regelblatt 207 „Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen“ neu herausgegeben.

Es hat sich gezeigt, dass die Anwendung des empfohlenen Excel Sheets zur Abschätzung von Temperaturanomalien nicht immer befriedigende Ergebnisse liefert bzw. Unklarheiten in deren Anwendung, Parameterwahl etc. auftreten. Der vorliegende Leitfaden soll daher eine Hilfestellung zur Anwendung des ÖWAV-Regelblattes 207 (2009) darstellen und insbesondere die Berechnungsmethodik und Parameterwahl näher präzisieren.

ÖSTERREICHISCHER
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im Juni 2014

An der Erstellung des ÖWAV-Arbeitsbehelfs 43 haben mitgewirkt:

Ausschussleiter:

HR DI Johann ASCHAUER, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz

Ausschussmitglieder:

Ing. Herbert BAUER, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Eisenstadt

Alfons FORSTER, FORSTER Brunnen- und Grundbau, Wasserversorgungsanlagen GmbH,
St. Florian bei Linz

DI Gerhard FREUNDL, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt

Dr. GASSER Gert, Dr. Gert Gasser Hydrogeologie, Bohrwesen GmbH, Jenbach

DI Wolfram HANEFELD, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz

Ing. Martin HARTER, Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg

Ing. Heinrich HUBER, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien

Christine JAWECKI, MA 29 – Brückenbau und Grundbau, Wien

Dr. Hans KUPFERSBERGER, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz

ORR Mag. Michael LUNZ, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz

DI Karl MAYER, Fa. DI Karl Mayer Brunnenbau – Bohrungen – Heizungen – Sanitär, Pattigham

DI August NEUMÜLLER, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz

GF Ing. Thomas PIRKNER, Vereinigung Österreichischer Bohr-, Brunnenbau- und Spezialtiefbau-
unternehmungen (VÖBU), Wien

DI Dr. Ulrike PRÜFERT, MA 15 – Gesundheitswesen, Wien

Eduard RAMEDEK, Schnauer Energie-, Solar- und Umwelttechnik GmbH & Co KG, Krems

Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang RAUCH, Universität Innsbruck

Dr. Jochen SCHLAMBERGER, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt

DI Dr. Robert SITZENFREI, Universität Innsbruck

OBR Dr. Gunther SUETTE, Technisches Büro für Geologie Dr. Gunther Suetter, Dörfla

DI Axel TSCHINKOWITZ, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten

DI Christoph WAGNER, MA 45 – Wiener Gewässer, Wien

Für den ÖWAV:

Andreas GAUL, Bereichsleiter Wasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	7
2	Grundlagen der Berechnung	8
2.1	Analytische Berechnungsverfahren	8
2.1.1	Allgemeines	8
2.1.2	Radiale Ausbreitung im „Grundwassersee“	10
2.1.3	Adaptiertes Modell „Grundwassersee“	11
2.1.4	Grundwasserstrom	12
2.2	Näherungsformel nach Ingerle	13
2.2.1	Herleitung	13
2.2.2	Sensitivitätsanalyse der Eingangsparameter – Berechnungsformel nach Ingerle.....	17
2.2.3	Maßgebliche Grundwassermächtigkeit für die Wärmeausbreitung	18
2.3	Instationäre Verhältnisse.....	20
2.3.1	Allgemein	20
2.3.2	Unterschiedliche hydraulische Verhältnisse (Grundwasserfließgeschwindigkeiten)	21
2.3.3	Unterschiedliche Brunnenbetriebsdauern	22
3	Anwendungsgrenzen für vereinfachte Berechnungen	25
3.1	Anwendungsgrenzen Hydraulik	25
3.2	Anwendungsgrenzen Instationäre Berechnung.....	25
3.2.1	Anwendung unterschiedliche Betriebsdauern	25
3.2.2	Betrieb zu Kälte- und Wärmenutzung.....	26
3.3	Anwendungsgrenzen Komplexität der Anlage und regionale Betrachtungen	26
3.3.1	Komplexe Anlagen.....	27
3.3.2	Temperaturabbruchkriterium.....	27
4	Excel-Spreadsheet	29
4.1	Allgemeines	29
4.2	Berechnungsmodell	29
4.3	Definitionen und Parameterbereiche	31
4.3.1	Eingabeparameter	31
4.3.2	Ergebnisse.....	33
4.3.3	Interne Berechnungswerte und Hilfwerte.....	33
4.4	Manual	35
5	Nomenklatur	46
6	Literatur	47
	ÖWAV-Regelwerk	49

1 Einleitung und Zielsetzung

Die nachhaltige Nutzung der regenerativen Energiequelle Geothermie stellt einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und somit auch einen bedeutenden Eckpunkt der österreichischen Energiestrategie dar. Die nutzbare oberflächennahe Erdwärme umfasst Energie im Grundwasser sowie im Untergrund. Durch die Nutzung dieser Energie mittels Wärmepumpen (Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen etc.) können fossile Brennstoffe zum Heizen weitgehend substituiert werden. Durch die Nutzung des Grundwassers kann auch der Energieverbrauch zum Kühlen wesentlich reduziert werden. Gerade in den letzten Jahrzehnten hat deshalb die Nutzung der Erdwärme einen großen Aufschwung erfahren. Die verbesserten technischen Möglichkeiten und das umfassende Wissen hinsichtlich thermischer Eigenschaften des Untergrundes ermöglichen dabei ein wirtschaftliches Heizen und Kühlen von energieeffizienten Gebäuden. Als Hilfestellung bei Planung, Errichtung und Betrieb derartiger Anlagen sowie auch um ökologische Auswirkungen auf ein tolerierbares Maß zu minimieren, wurde 2009 das ÖWAV-Regelblatt 207 „Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen“ neu herausgegeben.

Es hat sich gezeigt, dass die Anwendung des empfohlenen Excel-Sheets zur Abschätzung von Temperaturanomalien nicht immer befriedigende Ergebnisse liefert bzw. Unklarheiten in deren Anwendung, Parameterwahl etc. auftreten. Der vorliegende Leitfaden soll daher eine Hilfestellung zur Anwendung des ÖWAV-Regelblattes 207 (2009) darstellen und insbesondere die Berechnungsmethodik und Parameterwahl näher präzisieren.

Im Leitfaden sind überdies eine detaillierte Darstellung der Theorie zur Ausbreitung von Temperaturanomalien sowie die Grundlagen und Herleitung der vereinfachten Berechnungsmethodik (Berechnungsansatz nach Ingerle, 1988) und die daraus resultierenden Limitierungen enthalten. Dazu werden die Parameter für die vereinfachte Berechnung (nötige Daten und Bezugsquellen, plausible Größenordnungen, Sensitivitäten der einzelnen Parameter) diskutiert, um insbesondere die Relevanz der unterschiedlichen Eingangsgrößen für eine Berechnung nach Ingerle (1988) aufzuzeigen.

Einen weiteren wesentlichen Aspekt stellen Anwendungsgrenzen der Berechnungsmethodik nach Ingerle – insbesondere für instationäre Verhältnisse und komplexe Anlagen – dar, welche in diesem Leitfaden ebenfalls aufgezeigt und näher quantifiziert werden. Anhand von Anwendungsbeispielen wird die Handhabung der empfohlenen Berechnungsmethodik aufgezeigt.

2 Grundlagen der Berechnung

2.1 Analytische Berechnungsverfahren

2.1.1 Allgemeines

Analytische Modelle gehen sowohl von einem homogenen, isotropen Bodenaufbau sowie vom Fehlen maßgeblicher konvektiver Energieeinträge durch Infiltration oder Grundwasserzuflüsse aus. Unter stationären Bedingungen ergibt sich damit ein ausgeglichenes System. Ein zusätzlicher Energieeintrag infolge von Wärmeleitung kann sich damit nur infolge einer (anthropogen verursachten) Wärmenutzung ergeben. Unter diesen Vereinfachungen ergibt sich die Grundformel der Temperaturentwicklung einer singulären Quelle als Exponentialfunktion nach folgendem Schema.

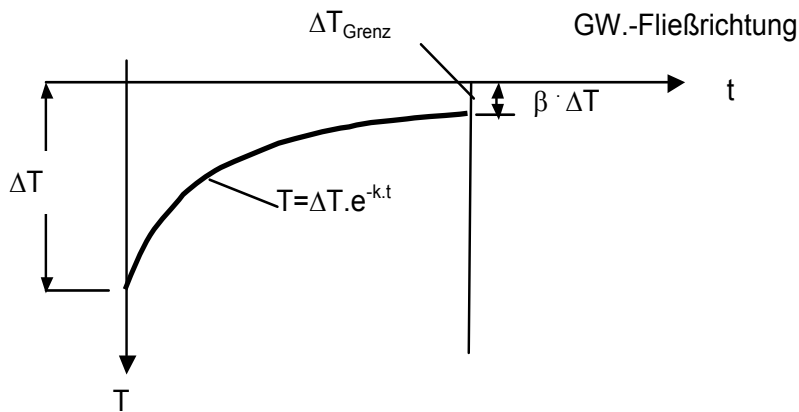


Abbildung 1: Temperaturverlauf in Grundwasser-Fließrichtung

Bei Einsatz einer Wärmepumpe wird z. B. Grundwasser entnommen und – um ΔT abgekühlt – wieder in das System eingeleitet. Diese Temperaturdifferenz wird nachfolgend als Spreizung bezeichnet. Die Temperatur T im Grundwasser nimmt – bei einer eindimensionalen Betrachtung – vom niedrigen Temperaturniveau bei der Einleitung entlang einer Exponentialfunktion stetig zu. Durch Wärmeeintrag von der Oberfläche nähert sie sich asymptotisch der Entnahmetemperatur und die Abkühlung geht auf Null zurück. Drückt man den Temperaturverlauf unterstrom eines Rückgabebunnens nicht über den Abstand vom Brunnen, sondern über die Verweildauer des thermisch genutztes Wasser aus, ergibt sich generell

$$T = \Delta T \cdot e^{-k \cdot t}$$

mit $k =$ Boden- bzw. Systemkennwert [s^{-1}]
 $t =$ zeitlicher Verlauf eines Wasser-Paketts in Fließrichtung [s]
 $\Delta T =$ Temperaturspreizung [K]

Für die praktische Berechnung werden Abmachungen getroffen, ab wann die Auswirkungen der Temperaturveränderungen durch eingeleitetes thermisch genutztes Wasser rechnerisch vernachlässigt werden können. Damit kann die zeitliche Begrenzung der Ausbreitung t_β als derjenige Wert festgelegt werden, bei dem die Temperaturdifferenz auf $\beta \cdot \Delta T$ bzw. ΔT_{Grenz} abgesunken ist.

Die Wärmetransportgeschwindigkeit v_T einer Temperaturanomalie im Aquifer kann mittels einer Massenbilanz über ein Volumens-Element abgeleitet werden. Leitet man in das Element (Querschnittsfläche F , Länge dx) über einen Zeitabschnitt dt Wasser mit der Temperaturdifferenz ΔT (über einem Niveau T) ein, so wird sich im Element eine entsprechende Temperaturdifferenz ΔT einstellen:

$$\Delta T \cdot Q \cdot c_{vw} \cdot dt = \Delta T \cdot F \cdot c_v \cdot dx$$

$$\frac{dx}{dt} = v_T = \frac{Q}{F} \cdot \frac{c_{vw}}{c_v} = v_f \cdot \frac{c_{vw}}{c_v}$$

Für die spezifische Wärmekapazität des Aquifers c_v gilt es zu beachten, dass sich der wassergesättigte Aquifer aus Wasser und Korngerüst zusammensetzt:

$$c_v = n_e \cdot c_{vw} + (1-n_e) \cdot c_s$$

mit $n_e = \text{Porosität} (\sim 0.2)$

$$c_{vw} = \text{spezifische Wärmekapazität von Wasser} = 4,19 \cdot 10^6 \text{ [J/m}^3\text{/K]}$$

$$c_s = \text{spezifische Wärmekapazität des Bodens / Korngerüst} \sim 2 \cdot 10^6 \text{ [J/m}^3\text{/K]}$$

Setzt man obige Werte ein, dann zeigt sich, dass sich eine Temperaturanomalie ca. doppelt so schnell wie die Filtergeschwindigkeit v_f ausbreitet, aber nur halb so schnell wie die Abstandsgeschwindigkeit ($v_A = v_f/n_e$).

$$v_T \approx 2v_f \approx \frac{v_A}{2}$$

Auch die jeweilige Wärmeleitfähigkeit λ ist vom Material und von der Wassersättigung abhängig und wird berechnet nach:

$$\lambda = n_e \cdot \lambda_w + (1-n_e) \cdot \lambda_s$$

mit $n_e = \text{Porosität} (\sim 0,2)$

$\lambda_w = \text{Wärmeleitfähigkeit von Wasser} = 0,6 \text{ [W/m/K]}$

$\lambda_s = \text{Wärmeleitfähigkeit des Bodens – trocken} \sim 0,5 \text{ [W/m/K]}$

$\lambda_s = \text{Wärmeleitfähigkeit des Bodens – gesättigt} \sim 1,5 - 3 \text{ [W/m/K]}$

Es ist daher grundsätzlich zu unterscheiden zwischen einem erdfeuchten, nicht gesättigten Boden in der Überdeckung ($\lambda \sim 1,5 \text{ W/m.K}$ aus Messungen abgeleitet) und der Wärmeleitfähigkeit des Aquifers.

2.1.2 Radiale Ausbreitung im „Grundwassersee“

Im Fall einer stagnierenden Grundwasserströmung (im Folgenden als „Grundwassersee“ bezeichnet) wird sich die Temperaturanomalie radial (mit $R = \text{radialer Abstand von der Einleitungsstelle}$) ausbreiten. Das Gleichgewicht zwischen eingeleiteter Energie und dem Energiestrom durch Wärmeleitung für einen Zylinderring beträgt

$$Q \cdot c_{vw} \cdot dT = \frac{-\lambda_D}{A} \cdot 2r \cdot \pi \cdot (T - T_0) \cdot dr$$

$$\frac{T - T_0}{T_E - T_0} = e^{-\left(\frac{\lambda_D \cdot \pi \cdot R^2}{Q \cdot c_{vw} \cdot A}\right)}$$

bzw. nach R aufgelöst

$$R^2 = \frac{Q \cdot c_{vw} \cdot A}{\lambda_D \cdot \pi} \ln\left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T}\right)$$

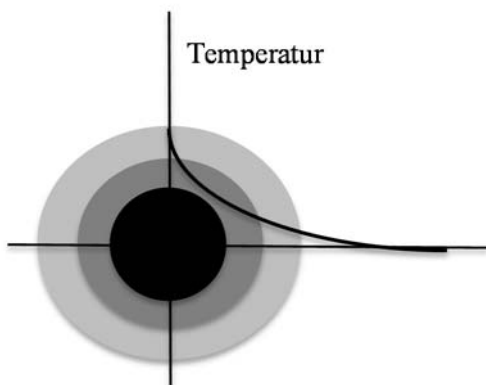


Abbildung 2: Radiale Wärmeausbreitung im „Grundwassersee“

2.1.3 Adaptiertes Modell „Grundwassersee“

Für die praktische Anwendung des einfachen Modells GW-See gilt es noch folgende beiden Punkte zu beachten:

1) Für die Wärmeleitung über die Deckschicht wurde von Ingerle (1988) eine Modifikation vorgeschlagen, welche die zusätzliche Wärmeleitung im Aquifer berücksichtigt (siehe 2.2.1). Damit erhält man:

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot c_{vw} \cdot \left(A + \frac{H}{4}\right)}{\lambda_D \cdot \pi} \ln\left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T}\right)}$$

2) In fast allen Fällen ist die Grundwassergeschwindigkeit nicht Null, sondern nur sehr gering. In diesen Fällen wird die Ausbreitung nicht radial erfolgen, sondern näherungsweise elliptisch. Da der maßgebliche Einfluss zur Ausbreitung der Temperaturanomalie die Wärmeleitung zur Oberfläche darstellt, kann – in erster Näherung – von einer Flächentreue ausgegangen werden: Radiale Ausbreitung = Elliptische Ausbreitung

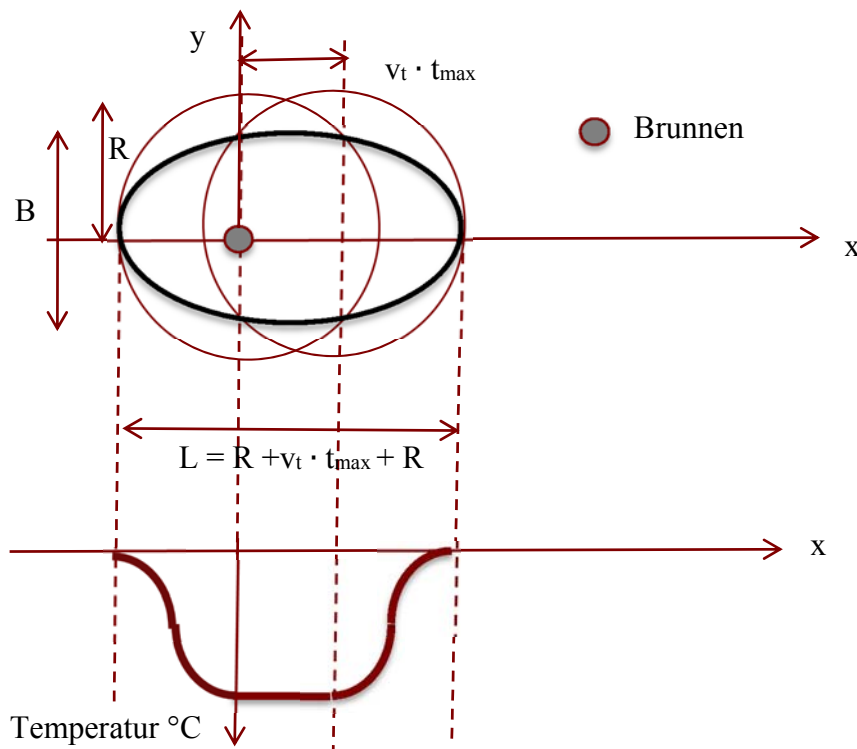


Abbildung 3: Schema des Modells Grundwassersee. Oben: horizontal-ebene Ausbreitung der elliptischen Temperaturanomalie. Unten: Temperaturverlauf entlang der x-Achse („Grundwasserströmungsrichtung“)

Mit der Beziehung

$$F_{\text{Ellipse}} = a \cdot b \cdot \pi = F_{\text{Kreis}} = R^2 \cdot \pi$$

und der Definition ($2a = L$ – Länge der Anomalie und $2b = B$ – Breite der Anomalie) folgt

$$B = \frac{4 \cdot R^2}{L}$$

Für die Länge der Temperaturanomalie kann man davon ausgehen, dass sich die Temperaturinseln mit der Wärmetransportgeschwindigkeit nach unterstrom bewegen, sodass gilt:

$$L = 2 \cdot R + v_t \cdot t_{\text{max}}$$

Damit sind alle Terme zur Berechnung bekannt, mit Ausnahme der Zeitdauer der Ausbreitung t_{max} . Dieser Wert kann aus der Überlegung ermittelt werden, dass die radiale hydraulische Ausbreitung der thermischen Ausbreitung dem Modell Grundwassersee entsprechen muss und damit

$$R^2 = \frac{Q \cdot t}{H \cdot \pi \cdot n_e} = \frac{Q \cdot c_{vw} \cdot (A + \frac{H}{4})}{\lambda_D \cdot \pi} \ln \left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T} \right)$$

folgt

$$t_{\text{max}} = \frac{H \cdot n_e \cdot c_{vw} \cdot (A + \frac{H}{4})}{\lambda_D} \ln \left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T} \right)$$

Man beachte, dass mit der obigen Annahme eines Transports der Insel nach unterstrom die Grundwassertemperatur über die Strecke $v_t \cdot t_{\text{max}}$ konstant die Temperatur der Einleitung aufweist (siehe Abbildung 3).

2.1.4 Grundwasserstrom

Auch für den Fall des Grundwasserstroms kann ein Gleichgewicht zwischen der eingebrachten Wärmeenergie und dem vertikalen Wärmeaustausch mit der Oberfläche formuliert werden. Dazu wird die Energiebilanz für ein Volumens-Element mit der hydraulischen Breite B aufgestellt:

$$Q \cdot c_{vw} \cdot dT = \frac{-\lambda_D}{A} \cdot B \cdot (T - T_0) \cdot dx$$

$$\frac{T - T_0}{T_E - T_0} = e^{-\left(\frac{\lambda_D \cdot B \cdot x}{Q \cdot c_{vw} \cdot A}\right)} = e^{-\left(\frac{\lambda_D \cdot x}{H \cdot v_f \cdot c_{vw} \cdot A}\right)}$$

bzw. nach x aufgelöst

$$x = \frac{H \cdot v_f \cdot c_{vw} \cdot A}{\lambda_D} \ln \left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T} \right)$$

Diese Formel wurde erstmals von Kobus (1980) veröffentlicht und bildet die Grundlage des ÖWAV-Arbeitsbehelfs Nr. 3 (1986). Mit der ergänzenden Überlegung von Ingerle zur Wärmeleitung erhält man

$$x = \frac{H \cdot v_f \cdot c_{vw} \cdot \left(A + \frac{H}{4} \right)}{\lambda_D} \ln \left(\frac{\Delta T_E}{\Delta T} \right)$$

2.2 Näherungsformel nach Ingerle

2.2.1 Herleitung

Die Formel von Ingerle (1988) zur Berücksichtigung der Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasserstrom beruht auf analogen Überlegungen hinsichtlich der Wärmeleitung. Die Brunnenhydraulik wird dabei entkoppelt vom Wärmetransport vereinfacht berücksichtigt. Zusätzlich wird bei der Berechnung nach Ingerle noch der Einfluss von Dispersion und Verschwenkung der Grundwasserströmungsrichtung als reiner Mischungsvorgang mit einem seitlichen Ausbreitungswinkel α berücksichtigt. Die Effekte der beiden Wärmetransportmechanismen Mischungsvorgang und Wärmtausch mit der Oberfläche werden iterativ für Kontrollvolumina berechnet.

Hydraulische Näherung des Strömungsbildes

Die Brunnenhydraulik kann basierend auf der Potenzialtheorie als Superposition der Lösung für eine Quelle (Grundwasserrückgabebrunnen als Punktquelle) und eines Grundwasserstroms analytisch beschrieben werden. In Abbildung 4 links sind die Randstromlinie sowie die Stromlinien dargestellt. Für die Berechnung nach Ingerle wird als hydraulische Näherung ein Parallelströmungskörper mit der hydraulischen Breite B verwendet (Abbildung 4 rechts). Dabei wird statt der Punktquelle Brunnen eine Linienquelle verwendet. Wie im Vergleich Abbildung 4 rechts und links ersichtlich, führt dies insbesondere im Bereich des Brunnens zu einer Unterschätzung der Fließgeschwindigkeiten. Mit fortschreitender Entfernung vom Brunnen Richtung Unterstrom, nähert sich die analytische Lösung jedoch dem des Parallelströmungskörpers an und die Breite konvergiert zur hydraulischen Einflussbreite B.

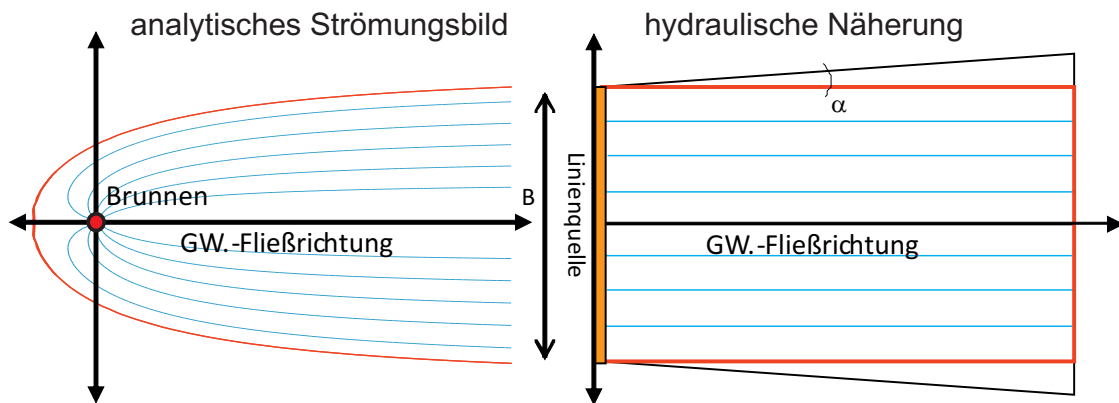


Abbildung 4: Analytisches Strömungsbild (links) und hydraulische Näherung Ingerle-Berechnung (rechts)

Als Näherung für jahreszeitliche Änderungen der Grundwasserfließrichtung sowie zur Berücksichtigung von Dispersion, wird der seitliche Ausbreitungswinkel α verwendet (Abbildung 4 rechts).

Reiner Mischungsvorgang

Aus der in Abbildung 5 dargestellten geometrischen Beziehung für ein definiertes Kontrollvolumen im Parallelströmungskörper kann eine Mischungsrechnung über die Temperatur durchgeführt werden.

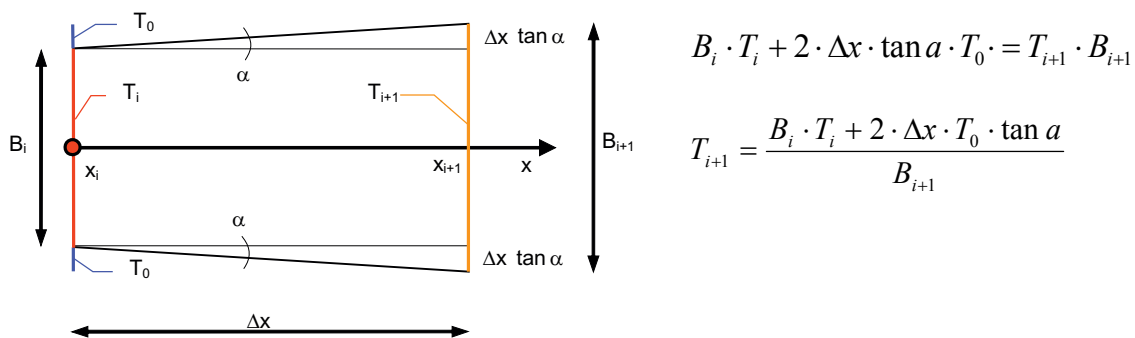


Abbildung 5: reiner Mischungsvorgang für ein Kontrollvolumen Berechnung nach Ingerle

Wärmetausch mit der Oberfläche

Der Wärmetausch mit der Atmosphäre ist ein instationärer Wärmetransportvorgang, der mithilfe der eindimensionalen Wärmeleitungsdifferentialgleichung beschrieben werden kann. Führt man den Temperaturverlauf bei einem vertikalen Profil auf eine konstante Ausgangstemperatur und stationäre Einleitbedingungen zurück, so vereinfacht sich die Beschreibung dieses

Vorgangs auf die Wärmeabgabe durch die Deckschicht (Wärmestrom P_L in Abbildung 6). Dabei gilt die Annahme, dass die Ausgangstemperatur von Grundwasser, Korngerüst und Deckschicht dem Jahresmittelwert der Oberflächentemperatur entspricht.

In der Deckschicht herrscht somit eine stationäre Temperaturdifferenz vor, aus der ein linearer Temperaturverlauf resultiert. Da der Grundwasserleiter aus einem Feststoffanteil und den mit Wasser gefüllten Poren besteht, findet die Wärmeübertragung in beiden Phasen mit unterschiedlichen Mechanismen statt.

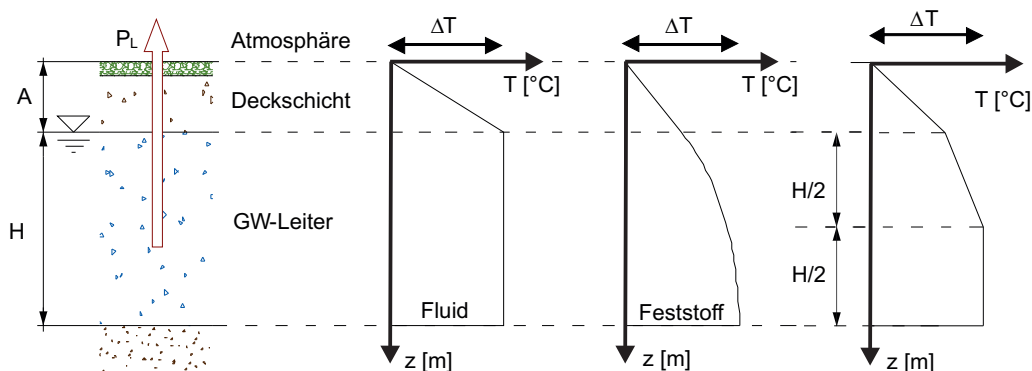


Abbildung 6: Wärmeabgabe (P_L) für stationären vertikalen Temperaturverlauf durch die Deckschicht (Fluidmodell, Feststoffmodell, Näherungsmodell)

In der Fluidphase (Abbildung 6) geht man davon aus, dass durch freie Konvektion eine vollkommene Durchmischung über die Mächtigkeit des Grundwasserleiters erfolgt und somit eine konstante Temperatur vorherrscht. Der Abbau des Temperaturgradienten erfolgt nur in der Deckschicht A. Im Feststoffanteil ist die Wärmeleitung proportional zum Temperaturgradienten. Der Abbau des Temperaturgradienten erfolgt hierbei im GW-Leiter sowie auch in der Deckschicht.

Die Möglichkeit einer Durchmischung der Fluidphase ist nicht immer gegeben. Ein anisotroper Bodenaufbau mit einer verminderten Durchlässigkeit in vertikaler Richtung oder ein geschichteter Grundwasserleiter können mit dem Feststoffmodell besser dargestellt werden. Bei nur geringer Überdeckung hingegen bietet das Fluidmodell eine brauchbare Abbildung der natürlichen Verhältnisse.

Da das Feststoffmodell jedoch für häufig auftretende natürliche Randbedingungen eine bessere Abbildung des Wärmetransports ist, wird die schwierig zu behandelnde Formulierung des Wärmestroms entlang des Temperaturgradienten durch einen abschnittsweise linearen Verlauf approximiert. Der auf Ingerle zurückgehende Vorschlag eines Näherungsmodells approximiert den graduellen Temperaturverlauf bilinear (Abbildung 6 rechts). Der lineare Temperaturgradient erstreckt sich bis in die Mitte des GW-Leiters. Für den quasistationären Zustand kann hierbei der Wärmestrom analog zum Wärmestrom durch eine geschichtete Wand mit den Wärmeleitfähigkeiten für Aquifer und Deckschicht (λ_{GW} und λ_D) berechnet werden mit dem Wärmedurchlasswiderstand ($1/\Lambda_{gesamt}$) durch n Schichten und mit den Schichtdicken s_i als:

$$\frac{1}{\Lambda_{gesamt}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\Lambda_i} = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{A}{\lambda_D} + \frac{H/2}{\lambda_{GW}} = \frac{A + \frac{H}{2} \cdot \frac{\lambda_D}{\lambda_{GW}}}{\lambda_D}$$

Für die Näherung $\lambda_D : \lambda_{GW} = 1 : 2$ berechnet sich somit der Wärmestrom P_L über die Fläche F zu:

$$P_L = -\Lambda_{gesamt} \cdot F \cdot \Delta T = -\frac{\lambda_D}{A + \frac{H}{4}} \cdot F \cdot \Delta T$$

Berücksichtigung von Mischung und Wärmetausch

Für ein Kontrollvolumen der Länge Δx wird die Energie bilanziert. Das Kontrollvolumen hat wie in Abbildung 7 rechts dargestellt eine mittlere Temperaturdifferenz ΔT zur durchschnittlichen Entnahmetemperatur T_0 von

$$\Delta T = (T_0 - 1/2 \cdot (T_{i+1} + T_i))$$

Diese mittlere Temperaturdifferenz wird zur Berechnung des Energieeintrages aus der Oberfläche herangezogen. Für die Bilanzierung wird die Energiemenge der linken Stirnseite $B_i \cdot T_i \cdot Q/B \cdot c_{vW}$, die Energiemenge der Längsseiten $2 \cdot \Delta x \cdot \tan \alpha \cdot T_0 \cdot Q/B \cdot c_{vW}$ und der Energieeintrag aus der Oberfläche $P_L = \lambda_D / (A + H/4) \cdot F \cdot \Delta T$ bzw. $P_L = \lambda_D / (A + H/4) \cdot (B_i + \Delta x \cdot \tan \alpha) \cdot \Delta x \cdot (T_0 - 1/2 \cdot (T_{i+1} + T_i))$ der Energie auf der rechten Seite $B_{i+1} \cdot T_{i+1} \cdot Q/B \cdot c_{vW}$ gegenübergestellt.

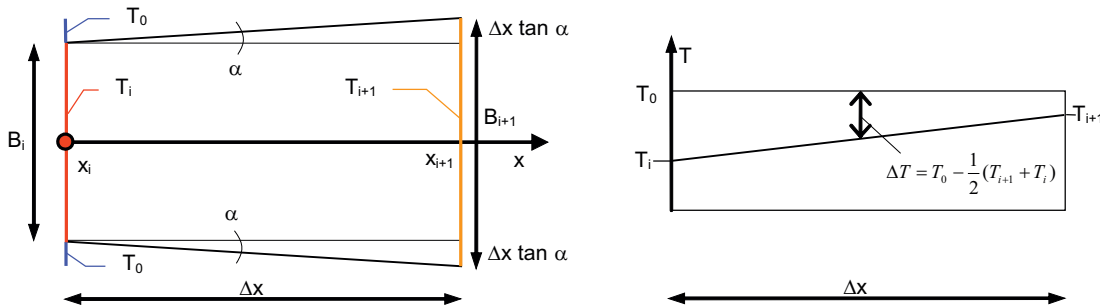


Abbildung 7: Energiebilanz für ein Kontrollvolumen nach Ingerle (1988)

Nach Umformen leitet sich die in ÖWAV-Regelblatt 207 angeführte iterative Berechnungsformel der Temperaturanomalie ab, ausgehend vom Rückgabeburgen ($x = 0$ und $T_i = T_A$) in Grundwasserströmungsrichtung

$$T_{i+1} = \frac{T_i \cdot \left(B_i - \frac{w_i}{2} \right) + T_0 \cdot (2 \cdot \Delta x \cdot \tan \alpha + w_i)}{B_{i+1} + \frac{w_i}{2}}$$

mit den Hilfwerten

$$B_{i+1} = B_i + 2 \cdot \Delta x \cdot \tan \alpha \quad \text{und} \quad w_i = \frac{\lambda_D}{A + \frac{H}{4}} \cdot (B_i + \Delta x \cdot \tan \alpha) \cdot \Delta x \cdot \frac{1}{\frac{Q}{B} \cdot c_{vw}}$$

2.2.2 Sensitivitätsanalyse der Eingangsparameter – Berechnungsformel nach Ingerle

Basierend auf einer linearen Sensitivitätsanalyse für alle Eingangsparameter der Berechnungsformel nach Ingerle wurde die Wichtigkeit bzw. Relevanz der einzelnen Parameter für die Ermittlung der Länge der Temperaturanomalie ermittelt.

Die Ergebnisse der linearen Sensitivitätsanalyse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Basierend auf der Sensitivität der ermittelten Längen, wurde eine Klassifizierung der Sensitivitäten in geringe Bedeutung (-), mäßige Bedeutung (+), starke Bedeutung (++) und sehr starke Bedeutung (+++) auf das Berechnungsergebnis durchgeführt. Schlussendlich wird noch eine qualitative Beurteilung des Wissens über den jeweiligen Parameter bzw. der Verfügbarkeit und sowie der Genauigkeit in derselben Klassifizierung wie für die Sensitivitäten eingeführt. Eine Verschneidung dieser Sensitivitäten über den Parameter ergibt eine Beurteilung, wie wichtig dieser Parameter für die Berechnung der Temperaturanomalie nach Ingerle ist.

Tabelle 1: Zusammenfassung Sensitivitäten, Gegenüberstellung Wissen/Verfügbarkeit, Priorisierung der Parameter.

Parameter	Sensitivität	Wissen/ Verfügbarkeit	Wichtigkeit
Länge iterativer Schrittes in x-Richtung Δx (m)	-	-	-
Rückgabetemperatur T_A (°C)	+	-	-
Förderstrom Q (l/s)	+	+	+
maßgebliche Grundwassermächtigkeit mH (m)	+++	+++	+++
Flurabstand A (m)	++	+	+
Grundwasserspiegelgefälle I (m/m)	++	-	+
Durchlässigkeitsbeiwert k_f (m/s)	++	-	+
Seitlicher Ausbreitungswinkel α (°)	+	++	++
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht λ_D (W/mK)	+++	+	++

Zusammenfassend kann die für die Wärmeausbreitung maßgebende Grundwassermächtigkeit als wichtigster Parameter für eine genauere Betrachtung identifiziert werden. Dieser Wert wird durch die vertikale Ausbreitung der Anomalie beeinflusst (thermische Tiefe ThT) und nachfol-

gend erläutert. Als weitere wichtige Parameter sind der Ausbreitungswinkel α sowie die Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht λ_D anzusehen. Diese werden daher anschließend näher betrachtet.

Ergänzend können zur Sensitivität des Kontrollvolumens (Länge des iterativen Schrittes) folgende Feststellungen getroffen werden: Bei Verringerung des Kontrollvolumens oszilliert die ermittelte Länge der Temperaturanomalie. Dennoch konvergiert der Wert der berechneten Länge gegen die Länge berechnet mit einem Kontrollvolumen von 0,1 m. Die Oszillation der Fahnenlänge ist im Betrag maximal die Länge des Kontrollvolumens, wobei keine wesentliche Unterschreitung der Länge der Temperaturanomalie erreicht wird, lediglich eine Überschätzung. Daher liegen die Werte bei einer „ungünstigen“ Wahl des Kontrollvolumens auf der sicheren Seite (Länge der Temperaturanomalie wird überschätzt). Mit einem Standardwert von 10 m (bzw. 25 m bei größeren Anlagen) oder weniger kann mit ausreichender Genauigkeit die Länge der Temperaturanomalie bestimmt werden.

2.2.3 Maßgebliche Grundwassermächtigkeit für die Wärmeausbreitung

Analytische Berechnungsverfahren gehen üblicherweise von einer Einleitung des genutzten Wassers über die gesamte Grundwassermächtigkeit H aus, d. h., es wird ein vollkommener Brunnen angenommen. Insbesondere für Situationen, in denen die effektive Länge des Filterrohrs (LF) signifikant kleiner ist als die Grundwassermächtigkeit H , ist eine detailliertere Berücksichtigung der vertikalen Ausbreitung einer Temperaturanomalie unumgänglich.

Die vertikale thermische Ausbreitung, respektive die thermische Tiefe (ThT), kann basierend auf einem Temperaturabbruchkriterium von $dT = 1$ K bestimmt werden. Dabei wird die maßgebende thermische Tiefe definiert als vertikale Ausbreitung in der Entfernung der halben thermischen Länge L vom Filterrohr (siehe Abbildung 8 unten).

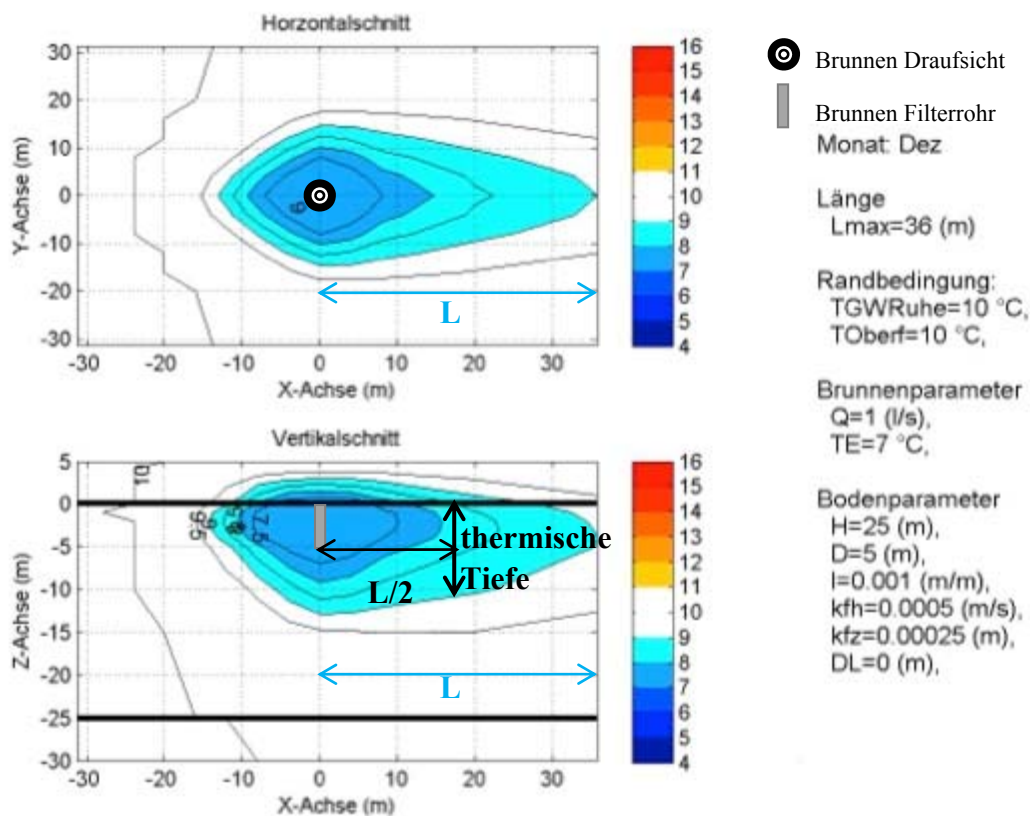


Abbildung 8: Auswertungsmethodik thermische Tiefe. Die Berechnung erfolgt mittels 3-dimensionaler numerischer Modelle über das Gesamtsystem Überdeckung, Aquifer und GW-Stauer.

In 3-dimensionalen mathematischen Modellen werden die thermische sowie die hydraulische Ausbreitung gekoppelt berechnet. Daher kommt es aufgrund von temperaturabhängigen physikalischen Eigenschaften des Wassers (beispielsweise temperaturabhängige Dichte, Viskosität und daher auch hydraulische Leitfähigkeiten des Bodens) zu unterschiedlichen Effekten für Kaltwasserinjektionen (Heizbetrieb) und Warmwasserinjektionen (Kühlbetrieb). Dies können beispielsweise Auftriebs- und Schichtungseffekte aufgrund der unterschiedlichen Dichten oder auch unterschiedliche thermische Längen aufgrund temperaturabhängiger Fließgeschwindigkeiten sein.

In Sitzenfrei et al. (2013) wurde die vertikale thermische Ausbreitung für Kaltwasserinjektion und Warmwasserinjektion systematisch mittels 8.640 Parametervariationen untersucht. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde folgende empirische Gleichung abgeleitet (Abbildung 9):

$$ThT = (2 + |\Delta T|) \cdot \sqrt{\left(\frac{Q}{kf^{0.5} \cdot \beta \cdot I \cdot \pi} \right)} \text{ in m}$$

Alle Werte in SI und °C. Hilfsgröße $\beta = \sqrt{kf_H / kf_V}$

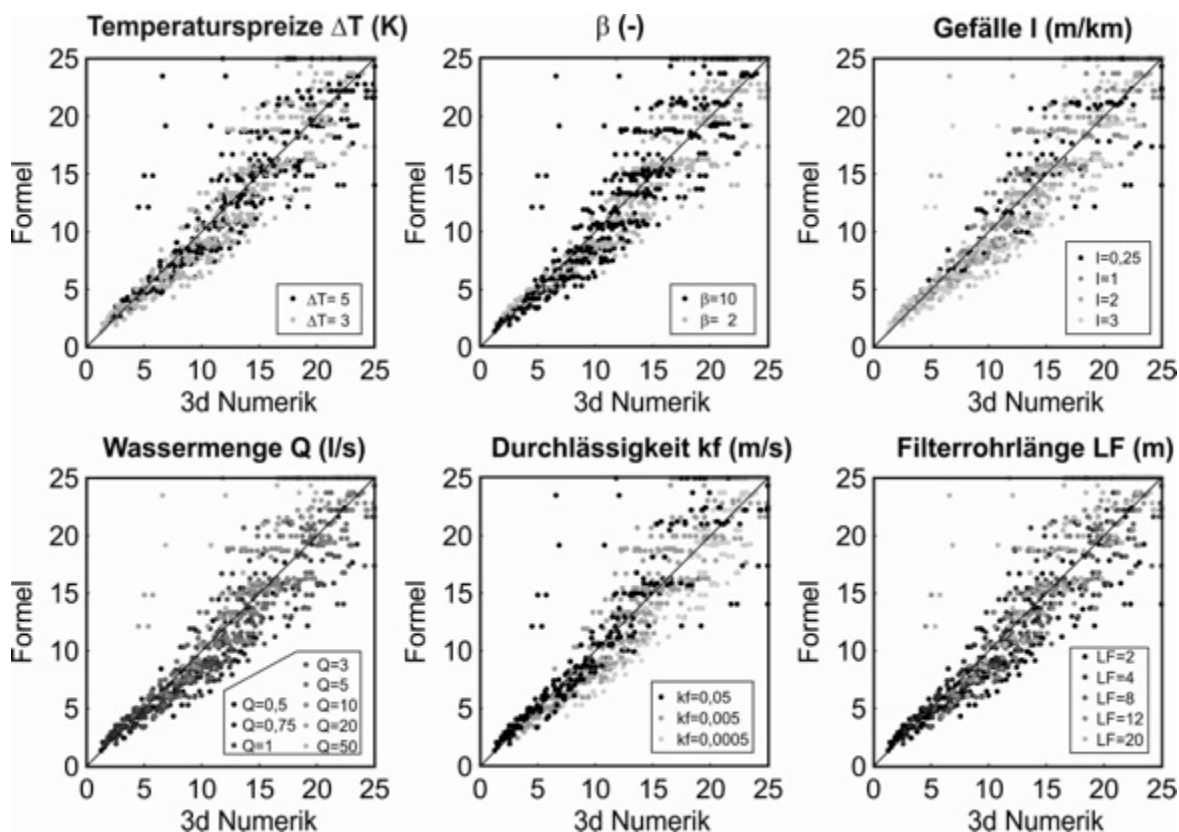


Abbildung 9: Gegenüberstellung empirische zu numerischer Lösung mit farblichen Unterscheidungen für unterschiedliche Parameterwerte

Des Weiteren haben detaillierte numerische Untersuchungen gezeigt, dass die Verwendung der thermischen Tiefe als für Wärmeausbreitung maßgebende Grundwassermächtigkeit bei der Berechnung nach Ingerle zu einer besseren Genauigkeit bei der Bestimmung der Länge sowie auch der Breite der Temperaturanomalie führt. Für die praktische Anwendung im Rahmen von Berechnungsverfahren ist zu berücksichtigen, dass mit der Länge des Filterrohrs LF und der Grundwassermächtigkeit H untere und obere Grenzen der maßgebende Grundwassermächtigkeit mH festgelegt sind, somit gilt:

$$mH = ThT [LF, H]$$

Diese Beziehung ist auch für den Fall eines Sickerschachtes gültig. Auch wenn die Länge des Filterrohrs mit 0 m angenommen wird beträgt die minimal errechnete thermische Tiefe 2 m.

2.3 Instationäre Verhältnisse

2.3.1 Allgemein

Die Berechnungsformel nach Ingerle wurde primär für die Beurteilung eines kontinuierlichen Betriebs von Grundwasserwärmepumpen entwickelt (Betriebsdauer 12 Monate im Jahr). Bis zu einem gewissen Ausmaß kann diese Berechnungsformel jedoch auch unter instationären Randbedingungen (beispielsweise nur wenige Betriebsmonate pro Jahr) angewendet werden.

In diesem Kontext wird im ÖWAV-Regelblatt 207 (2009) als maßgebende Brunnenwassermenge für die Berechnung der Länge der Temperaturanomalie die mittlere jährliche Versickerungsmenge empfohlen. Insbesondere bei sehr geringer Anzahl an Betriebsstunden (z. B. 1 Monat pro Jahr), kann diese Mittelung zu nicht plausiblen Werten führen. Die Randbedingungen, unter denen eine solche Mittelung sinnvoll ist, werden in weitere Folge genauer quantifiziert.

2.3.2 Unterschiedliche hydraulische Verhältnisse (Grundwasserfließgeschwindigkeiten)

Wie Ingerle (1988) bereits formulierte, kann bezüglich Wärmepumpen im Grundwasser von drei unterschiedlichen Fällen ausgegangen werden:

1. Brunnen im Grundwassersee: Ausbildung einer annähernd konzentrischen Temperaturanomalie auch bei diskontinuierlichem Betrieb der Anlage.
2. Brunnen im Grundwasser mit mittleren Grundwasserfließgeschwindigkeiten: Ausbildung einer klassischen zusammenhängenden Temperaturanomalie.
3. Brunnen im Grundwasser mit hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten: Ausbildung einer nicht zusammenhängenden Temperaturanomalie (Temperaturinseln). Dabei ist das Verhältnis von Länge der Temperaturanomalie verursacht durch die diskontinuierliche Einleitung und der Wärmetransportgeschwindigkeit in der restlichen Zeit von Bedeutung.

Konkrete Grenzen für die Anwendung der verschiedenen Fälle werden im Rahmen dieses Leitfadens aufgelistet. Für die Betrachtung von instationären Verhältnissen hat sich basierend auf Szenarienanalysen gezeigt, dass sich auch bei aufwendigen numerischen Modellen (3D-Modellen) das Produkt aus Leitfähigkeit (k_f) und Grundwasserspiegelgefälle (I) – also die Filtergeschwindigkeit nach Darcy (v_f) – als charakterisierender Parameter eignet.

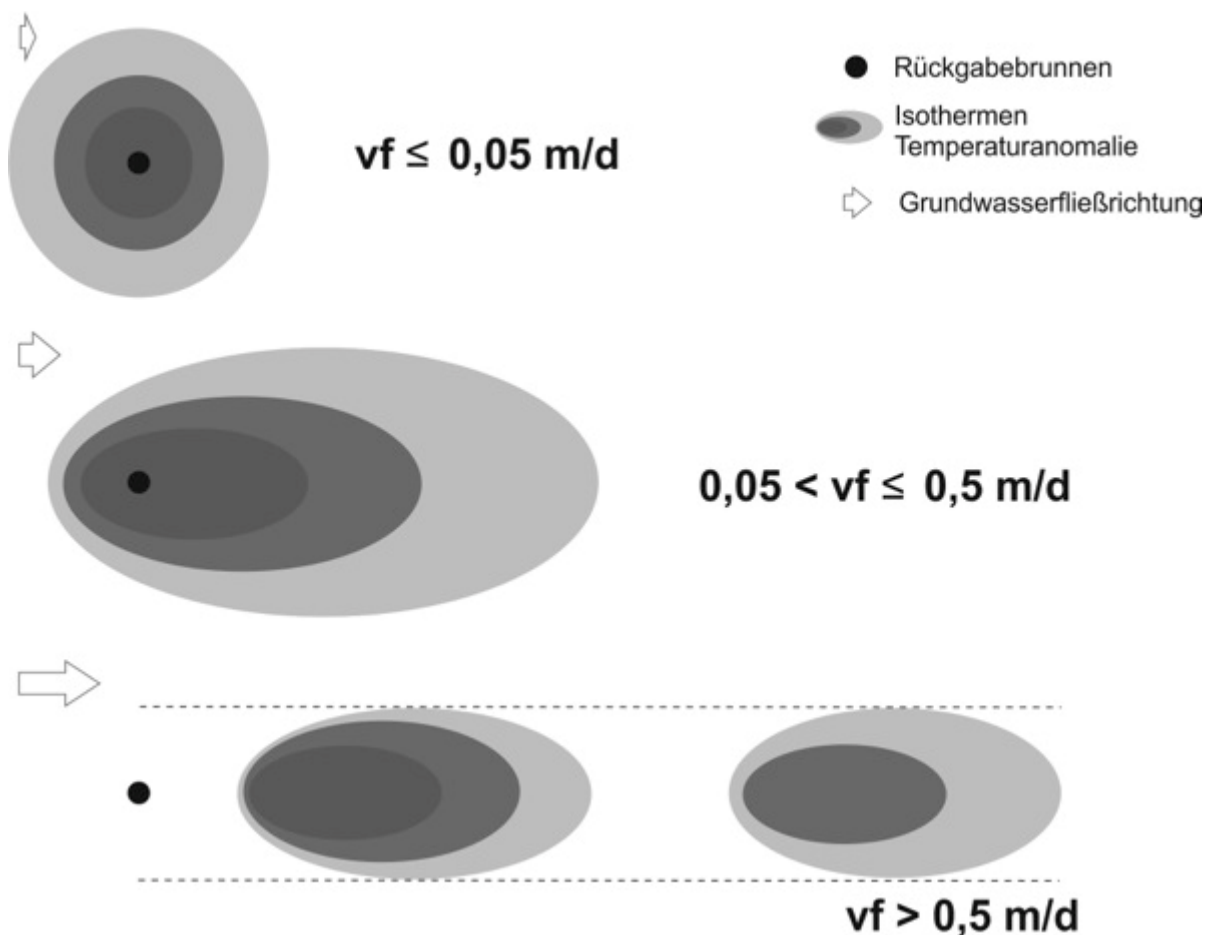


Abbildung 10: unterschiedliche hydraulische Verhältnisse von thermischen Grundwasser-
nutzungen

2.3.3 Unterschiedliche Brunnenbetriebsdauern

Nach ÖWAV-Regelblatt 207 kann eine Temperaturanomalie nach Ingerle mit der mittleren Jahreswassermenge bestimmt werden. Es wird nun näher quantifiziert, in welchem Ausmaß eine solche Jahresmittelung sinnvoll bzw. möglich ist.

Dazu wurden basierend auf numerischen Studien mit einem 3-dimensionalen Modell Vergleichsrechnungen durchgeführt. Analog zur hydraulischen Klassifizierung in drei Kategorien kann eine darauf aufbauende Unterscheidung für unterschiedliche Betriebsdauern getroffen werden.

Exemplarisch werden nun Ergebnisse dreier Szenarien aufgezeigt. Jedes Szenario stellt einen Grundwasserbrunnen zur thermischen Nutzung unter unterschiedlichen hydraulischen Bedingungen (analog zu 2.3.2) dar. Für jedes Szenario werden die Betriebsdauern von 12 Monaten Betrieb (kontinuierlicher Betrieb) monatsweise reduziert bis 1 Monat Betrieb (daher 12 Variationen) untersucht. Für jedes der 3 Szenarien und die dazugehörigen 12 Variationen der Be-

triebsdauer werden instationäre 3D-Berechnungen (10 Jahre Simulationszeit in Wochenschritten) durchgeführt und die Ergebnisse daraus denen der Berechnung nach Ingerle mit Jahresmitteilung der Brunnenwassermenge gegenüber gestellt.

Nachfolgend werden die Ergebnisse dieser drei exemplarischer Szenarien aufgezeigt. Dargestellt werden die Länge der Temperaturanomalie nach Ingerle (bezeichnet als Ingerle, Abbildung 11 bis Abbildung 13) sowie die sich ergebende Breite der Temperaturanomalie an der Einleitstelle (Ingerle min) sowie die Endbreite der Temperaturanomalie (Ingerle max) dargestellt.

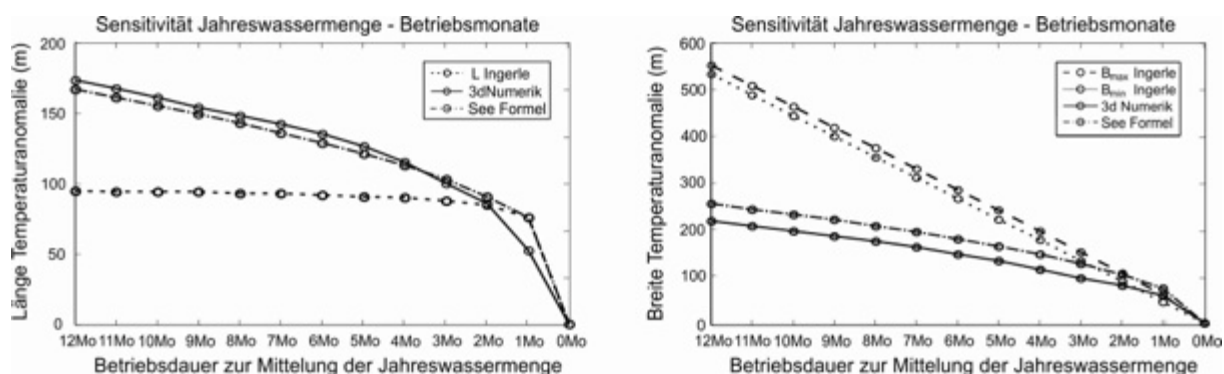


Abbildung 11: Szenario 1, niedrige Grundwasserfließgeschwindigkeit (GW See)

Für Szenario 1 (Abbildung 11) zeigt sich, dass die Berechnung nach Ingerle weder für die Länge der Temperaturanomalie noch für die Breite zufriedenstellende Ergebnisse für unterschiedliche Betriebsdauern liefert. Während insbesondere bei 12 Monaten Betriebsdauer die Berechnung nach Ingerle für die Länge wesentlich zu kurze Werte ergibt, wird die Breite (Anfangsbreite sowie Endbreite) überschätzt. Da bereits für den kontinuierlichen Betrieb unzureichende Ergebnisse erhalten werden, ist ebenso für den diskontinuierlichen Betrieb eine Beschreibung mittels der Berechnung nach Ingerle **nicht** möglich.

Mit der Berechnungsformel für den Grundwassersee (2.1.2) lassen sich diese Temperaturanomalien jedoch beschreiben. Für die Länge der Temperaturanomalie sowie für deren Breite, lassen sich mit dieser Berechnungsformel auch unterschiedliche Betriebsdauern beschreiben.

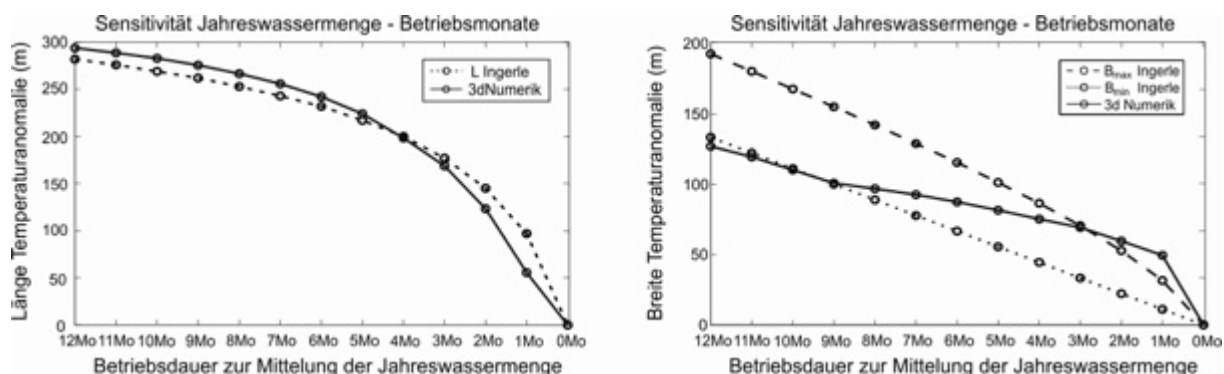


Abbildung 12: Szenario 2; mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit ($k_f=0,001\text{ m/s}$; $J=0,001$)

Für Szenario 2 (Abbildung 12) ist ersichtlich, dass für die thermische Länge mit der Berechnungsformel nach Ingerle eine sehr gute Beschreibung erfolgen kann. Ebenfalls kann mit der Jahresmittelung der Brunnenwassermenge das instationäre Verhalten für unterschiedliche Betriebsdauern abgebildet werden. Für die thermische Breite bei abnehmenden Betriebsdauern zeigt sich jedoch, dass mit der Ingerle-Berechnung insbesondere auf Höhe der Einleitung (Ingerle min) die thermische Breite im Vergleich zu den Ergebnissen einer 3D-Numerik unterschätzt werden. Bei Betriebsdauern über 3 Monaten ist beim gezeigten Beispiel die Endbreite der Temperaturanomale höher als die thermische Breite der 3D-Numerik. Bei Betriebsdauern unter 9 Monaten ist beim gezeigten Beispiel die Anfangsbreite der Temperaturanomale geringer als die thermische Breite der 3D-Numerik.

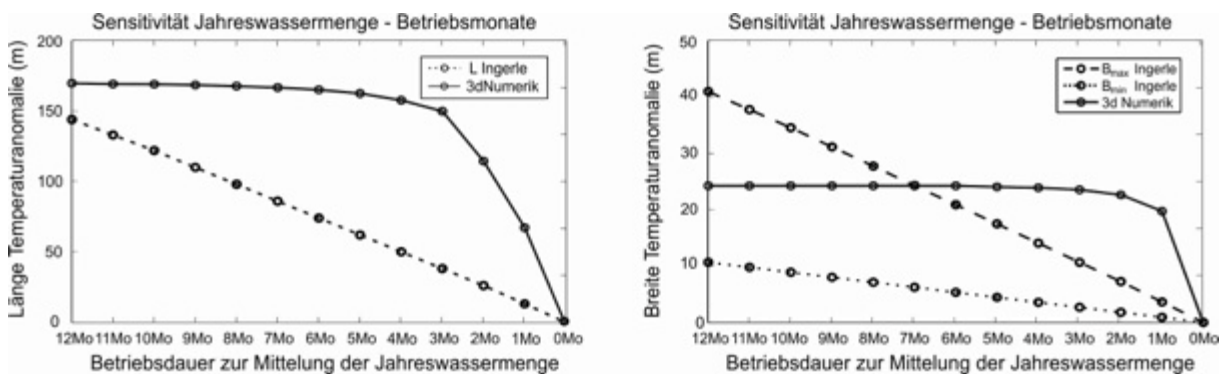


Abbildung 13: Szenario 3, hohe Grundwasserfließgeschwindigkeit (Inselbildung)
($k_f=0,0025\text{m/s}$; $J=0,005$)

Für Szenario 3 (Abbildung 13), ist ersichtlich, dass für einen kontinuierlichen Betrieb von 12 Monaten eine ausreichende Beschreibung der Temperaturanomale mit der Formel nach Ingerle erfolgen kann. Aus den Ergebnissen der 3D-Numerik wird jedoch ersichtlich, dass für Betriebsdauern von 12 Monaten bis 3 Monaten annähernd konstante Längen sowie Breiten berechnet werden. Dieser Effekt kann auf die Bildung von Temperaturinseln, welche sich in Grundwasserfließrichtung bewegen, zurückgeführt werden. Mit der Berechnungsformel nach Ingerle kann ein solches Verhalten nicht abgebildet werden bzw. ist die Jahresmittelung der Brunnenwassermenge nicht zulässig.

Ein weiteres Indiz für die Bildung einer Temperaturinsel ist durch den Zeitraum zur Ausbildung der Temperaturanomale gegeben. Diese als „Aufbauzeitraum“ bezeichnete Periode ist vereinfacht als $T_{\text{aufbau}} = \text{Länge der Anomalie} / \text{Geschwindigkeit der Temperaturenbreitung}$ definiert. Ist dieser Zeitraum geringer als 3 Monate, ist eine Inselbildung wahrscheinlich – auch wenn die Fließgeschwindigkeit $< 0,5 \text{ m/d}$ ist.

3 Anwendungsgrenzen für vereinfachte Berechnungen

Im Folgenden werden für die Berechnung nach Ingerle Anwendungsgrenzen hinsichtlich Hydraulik, Jahresmittelung der Brunnenwassermenge (instationäre Berechnung) und Betrieb zur Wärme- und Kältenutzung formuliert. Darüber hinaus werden Empfehlungen bezüglich regionaler Betrachtungen sowie komplexer Anlagen erläutert.

3.1 Anwendungsgrenzen Hydraulik

Basierend auf 2.3 können folgende drei Fälle unterschieden werden:

- (1) Für $v_f < 0,05$ m/d kann näherungsweise das Modell des GW-Sees verwendet werden (ähnliche Werte für Länge und Breite). Diese Verhältnisse sind eher ungünstig für thermische Nutzungen. Wesentliche thermische Kurzschlüsse zwischen Entnahme und Versickerung sind oft gegeben.
- (2) Für $0,05 < v_f \leq 0,5$ m/d Ausbildung einer „klassischen“ Temperaturanomalie, Berechnung nach der Formel von Ingerle mit thermischer Tiefe als maßgebende Grundwassermächtigkeit.
- (3) Für $v_f > 0,5$ m/d „Inselbildung“, begünstigt durch geringe Entnahmemenge. Es ist die Ausbreitung der Temperaturanomalie nach Unterstrom bei Nichtbetrieb des Brunnens zu beachten.

Bei starken jahreszeitlichen Schwankungen der Grundwasserfließrichtung (Änderung über 15°), ist gesondert z. B. durch Messungen nachzuweisen, dass eine Berechnung nach Ingerle anwendbar ist.

Grundsätzlich ist für die Festlegung der geohydraulischen Randbedingungen wie Aquifermächtigkeit H , Überdeckung A und Grundwasserspiegelgefälle J vom Jahresmittelwert der Parameter auszugehen. Wird in der Berechnungsmethodik davon abgewichen, sind die Annahmen der Berechnung nach Ingerle nicht mehr zutreffend.

3.2 Anwendungsgrenzen Instationäre Berechnung

Basierend auf empirisch bestimmten Anwendungsgrenzen (siehe 2.3.3), wird die Anwendbarkeit der Jahresmittelung der Brunnenwassermenge (unterschiedliche Betriebsdauern) sowie die Betrachtung eines intermittierenden Betriebs (Heiz- und Kühlperiode) erläutert.

3.2.1 Anwendung unterschiedliche Betriebsdauern

Wie in 2.3 exemplarisch gezeigt, kann prinzipiell von drei unterschiedlichen Konfigurationen ausgegangen werden. Dabei wurden die hydraulischen Bedingungen (d. h. Grundwasserfließgeschwindigkeit) als maßgebende Charakteristik der sich ausbildenden Art von Temperaturanomalien identifiziert. Als generelle Anforderung der Berechnung kann eine Betriebsdauer von mindestens 1 Monat pro Jahr definiert werden.

- (1) Für $v_f < 0,05$ m/d kann näherungsweise das Modell des GW-Sees verwendet werden. Gemäß den Modellansätzen können instationäre Verhältnisse durch eine Jahresmittelung der Brunnenwassermenge (entweder Heiz- oder Kühlbetrieb)

abgebildet werden.

- (2) Für $0,05 < v_f \leq 0,5$ m/d kommt es zu einer Ausbildung einer „klassischen“ Temperatur-anomalie und die Berechnung gemäß der Formel nach Ingerle mit der Berücksichtigung der thermischen Tiefe als maßgebende Grundwassermächtigkeit ist möglich. Eine Jahresmittelung der Brunnenwassermenge für die Berücksichtigung von instationären Verhältnissen ist zulässig und führt zu sinnvollen Ergebnissen für die Länge sowie zu einer leichten Überschätzung der maßgeblichen thermischen Breite B_{max} am Ende der Temperatur-anomalie.
- (3) Für $v_f > 0,5$ m/d kommt es besonders bei geringen Entnahmemengen zu einer „Inselbildung“. Es ist die Ausbreitung der Temperatur-anomalie nach Unterstrom bei Nichtbetrieb des Brunnens zu beachten. Eine Jahresmittelung der Brunnenwassermenge (wie in den anderen beiden Fällen) ist aufgrund der „Inselbildung“ nicht zulässig. Die Berechnung der instationären Verhältnisse hat (getrennt für Heizen und/oder Kühlen) jeweils für die über die Betriebsdauer gemittelte Brunnenwassermenge zu erfolgen. Eine Berechnung mit einer über die maßgebliche Betriebsdauer gemittelten Brunnenwassermenge ist sinnvoll, da sich – unabhängig von der Anzahl der Betriebsmonate – eine annähernd konstante Länge der Temperatur-anomalie einstellt (siehe 2.3.3).

Da sich die verschiedenen Modelle nur durch die Fließgeschwindigkeit v_f unterscheiden, können im Übergangsbereich (v_f ca. 0,05 m/d bzw. ca. 0,5 m/d) Sprünge im Ergebnis auftreten. Liegt also v_f im Übergangsbereich, ist zu empfehlen, jeweils beide Modelle anzuwenden und zu diskutieren. Dies gilt vor allem, sobald der Aufbauzeitraum der Anomalie gering ist – z. B. < 3 Monate.

3.2.2 Betrieb zu Kälte- und Wärmenutzung

Beim Betrieb zur abwechselnden Kälte- und Wärmenutzung wird empfohlen, eine separate Berechnung für den Heizbetrieb sowie für den Kühlbetrieb vorzunehmen. Je nach hydraulischer Konfiguration kann es zu einem Temperatúrausgleich (Auslöschung einer Wärme- und Kälteinsel) oder auch zu kompakten, abgeschlossenen Wärme- und Kälteinseln kommen. Nur mit einem numerischen Modell kann beurteilt werden, ob sich die Wärme- und Kälteinseln aufheben oder bestehen bleiben.

3.3 Anwendungsgrenzen Komplexität der Anlage und regionale Betrachtungen

Für komplexe Anlagen muss von Fall zu Fall entschieden werden, inwieweit die getroffenen Berechnungsannahmen zulässig sind. Empfehlungen zur Abgrenzung von komplexen Anlagen werden im Folgenden getroffen (3.3.1).

Für regionale Betrachtungen (z. B. bei Potenzialermittlungen) bedarf es, über die wasserrechtliche Relevanz hinaus, einer erweiterten Berücksichtigung von Temperatur-anomalien. Die Problematik des Temperaturabbruchkriteriums bei regionalen Betrachtungen wird in 3.3.2 erläutert bzw. werden Empfehlungen zu Betrachtungen quantifiziert.

3.3.1 Komplexe Anlagen

Bei komplexen Anlagen ist entsprechend den nachfolgend beispielhaft angeführten Kriterien im Einzelfall zu prüfen, wieweit eine numerische Simulation erforderlich bzw. sinnvoll ist:

- Bei Gefahr der Beeinträchtigung konkurrierender Grundwassernutzungen (z. B. Trinkwassernutzungen, thermische Nutzungen) insbesondere bei großen Wassermengen mit $Q > 10 \text{ l/s}$.
- Bei Berücksichtigung eines intermittierenden Betriebs (Heiz- und Kühlperiode) in der Berechnung (z. B. Aufhebung von Wärme- und Kälteinseln).
- Bei Betriebsdauer < 1000 Stunden wie z. B. bei Kühlanlage mit wenigen Betriebsstunden im Sommer.
- Wenn saisonale Schwankungen der hydrogeologischen Verhältnisse (T_0, A, H, J) berücksichtigt werden (müssen).
- Bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen, z. B. GW-Fließrichtungsschwankungen $> 15^\circ$, maßgeblicher Inhomogenität/Anisotropie des Aquifers, relevanter Beeinflussung durch Oberflächengewässer etc.

3.3.2 Temperaturabbruchkriterium

Die gängigen Berechnungsmethoden lassen sich nur bedingt auf regionale Beurteilungen von intensiv genutzten Aquiferen übertragen. Bei einer lokalen Beurteilung (eine oder wenige Einzelanlagen) wird die horizontale Ausbreitung von Temperaturanomalien mit einem Temperaturabbruchkriterium von $\Delta T = 1 \text{ K}$ verwendet.

Insbesondere bei einer regionalen Betrachtung von Temperaturanomalien bzw. Wärme- und Wasserbilanzen in diesem Kontext kann eine solche Berechnungsannahme ($\Delta T = 1 \text{ K}$) zu Fehlern in der Wärmebilanz führen.

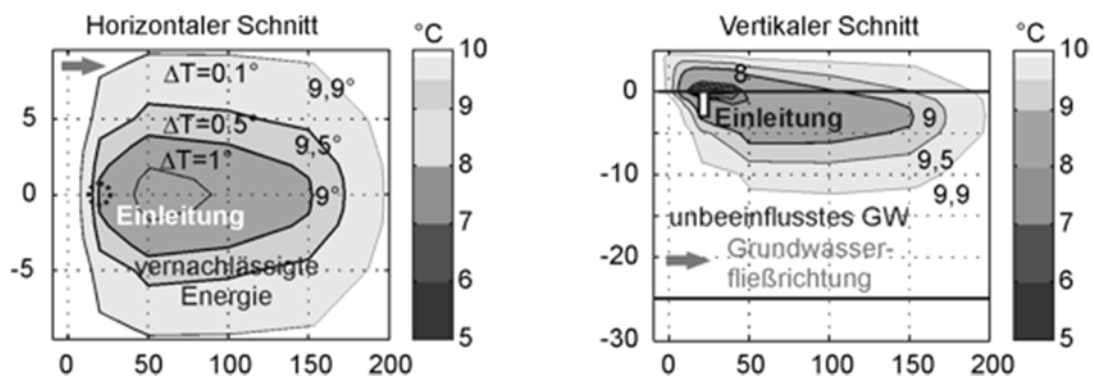


Abbildung 14: vernachlässigte Energie durch $\Delta T = 1 \text{ K}$ in Berechnung

In Abbildung 14 sind die betrachteten und vernachlässigten Energien einer solchen Betrachtung dargestellt. Abbildung 14 links stellt einen horizontalen und Abbildung 14 rechts einen vertikalen Schnitt durch eine Temperaturanomalie dar. In Blau dargestellt wird dabei die mit $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ betrachtete Temperaturanomalie. Die grauen Bereiche der Temperaturanomalien stellen jene Bereiche dar, die durch die Annahme $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ vernachlässigt werden. Diese vernachlässigte Energie stellt bei der lokalen Betrachtung (wenigen Anlagen oder Einzelanlagen)

zwar auch eine Diskrepanz zu den tatsächlichen Verhältnissen dar, jedoch führt dies bei einer regionalen Betrachtung stark genutzter Aquifere zu Unstimmigkeiten in der regionalen Wärmebilanz.

Hieraus kann empfohlen werden, dass bei einer Beurteilung im regionalen Kontext z. B. bei Potenzialanalysen besondere Aufmerksamkeit auf dieses Kriterium (ΔT) gelegt werden muss. Generell wird empfohlen bei einer regionalen Betrachtung wenn möglich ein geringeres ΔT (je nach Methodik $\Delta T = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ oder sogar $\Delta T = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) zu berücksichtigen.

4 Excel-Spreadsheet

4.1 Allgemeines

Im Rahmen der Erarbeitung des ÖWAV-Regelblattes 207 wurde der Praxis für die Berechnung der Ausbreitung der Temperaturanomalien für thermische Grundwassernutzungen ein einfaches Excel-Spreadsheet zu Verfügung gestellt. Im Rahmen der gegenständlichen Erarbeitung des Leitfadens wurde dieses Excel-Spreadsheet maßgeblich erweitert. Insbesondere wurden hier Methoden aufgenommen, die eine Abschätzung eines instationären Betriebs ermöglichen. Zudem wurden fallweise Eingabeparameter präzisiert bzw. die Standardwerte von hydrogeologischen Parametern neuen Studienergebnissen angepasst. Obwohl sich die Grundlagen der Berechnung nicht geändert haben, werden dennoch im Einzelfall die Berechnungsergebnisse des adaptierten Excel-Spreadsheets vom bisherigen Stand abweichen. Die Anwendung des ursprünglichen Excel-Spreadsheets kann daher nicht mehr empfohlen werden.

Es ist an dieser Stelle nochmals anzumerken, dass die Berechnung im Excel-Spreadsheet auf vereinfachten Ansätzen beruht. Für detaillierte Aussagen und/oder komplexe Anlagen bzw. komplexe hydrogeologische Situationen sind numerische Berechnungen der Ausbreitung der Temperaturanomalien notwendig.

4.2 Berechnungsmodell

Je nach Fließgeschwindigkeit und Betrieb der Anlage sind verschiedene Mechanismen für die Ausbreitung der Temperaturanomalie maßgebend. Im Folgenden werden die Zusammenhänge im Sinne eines Berechnungsschemas dargestellt:

- Ist die Fließgeschwindigkeit gering ($v_f < v_{fu}$ mit v_{fu} = empirisch bestimmter unterer Grenzwert = 0,05 m/d), so kann die Berechnung sowohl für stationäre als auch instationäre Betriebsweisen nach dem Modell GW-See erfolgen. Die Berechnung erfolgt daher für die durchschnittliche Jahreswassermenge: $Q_m = Q_B \cdot BSTDA / 8760$ in l/s.
- Für größere Fließgeschwindigkeiten ($v_f > v_{fu}$) erfolgt die Berechnung grundsätzlich nach dem Verfahren von Ingerle für einen GW-Strom.
 - Für einen kontinuierlichen Betrieb ist für die Berechnung nach Ingerle die durchschnittliche Jahreswassermenge heranzuziehen: $Q_m = Q_B \cdot BSTDA / 8760$ in l/s
 - Handelt es sich um einen instationären Betrieb ist wiederum die Fließgeschwindigkeit maßgeblich:
 - Für mittlere Fließgeschwindigkeiten ($v_f < v_{fo}$ mit v_{fo} = empirisch bestimmter oberer Grenzwert) kann für die Berechnung näherungsweise von einem kontinuierlichem Betrieb ausgegangen werden. Die maßgebliche Bemessungswassermenge ist wiederum die durchschnittliche Jahreswassermenge. $Q_m = Q_B \cdot BSTDA / 8760$ in l/s.

- Bei hohen Fließgeschwindigkeiten ($v_f > v_{fo}$ mit v_{fo} = empirisch bestimmter oberer Grenzwert = 0,5 m/d) ist die Annahme eines kontinuierlichen Betriebs mit mittleren Einleitungsmengen nicht mehr gültig. Vielmehr bilden sich im instationären Betrieb einzelne thermische Inseln aus, die sich in weiterer Folge nach Grundwasserunterstrom verlagern. Die Umhüllende der thermischen Inseln entspricht in etwa der Ausbreitung bei kontinuierlichem Betrieb, aber mit erhöhten Versickerungsmengen. Die Berechnung ist für die mittlere Versickerungsmenge über die maßgebliche Dauer des Kühl- oder Heizbetriebs vorzunehmen. Die maßgebliche Bemessungswassermenge errechnet sich damit zu Jahreswassermenge durch maßgebliche Betriebsdauer, d.h. $Q_i = Q_B \cdot \text{BSTDA} / \text{BMON} / 30 / 24$ in l/s.

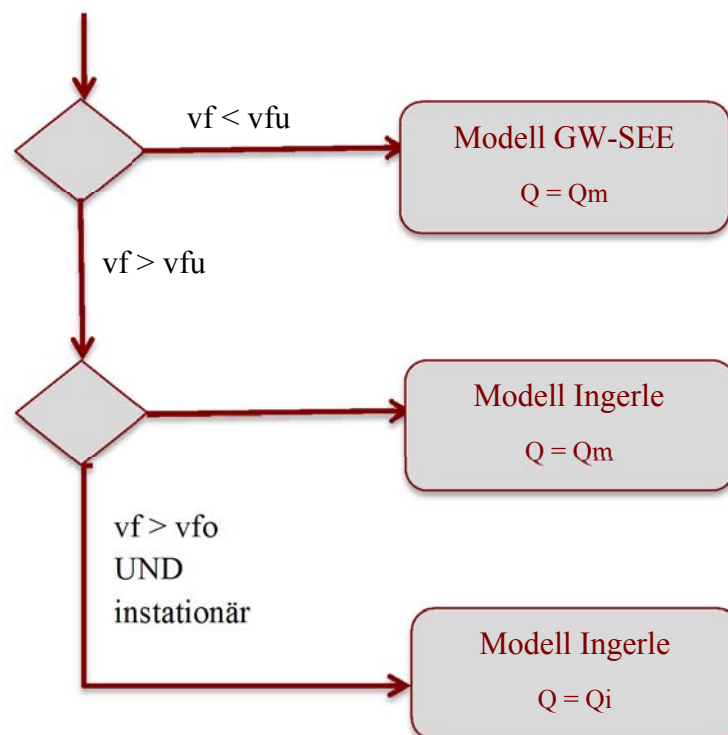


Abbildung 15: Schema des Berechnungsablauf im Excel-Spreadsheet

4.3 Definitionen und Parameterbereiche

4.3.1 Eingabeparameter

- **Betriebsart:** Ein kontinuierlicher Betrieb ist gegeben, wenn die Anlage über mindestens 9 Monate oder länger im Jahresmittel betrieben wird. Ansonsten ist von einem instationären Betrieb auszugehen.
- **T₀ Durchschnittliche Entnahmetemperatur [°C]:** mittlere, unbeeinflusste Grundwassertemperatur im Entnahmebrunnen.
- **T_A Durchschnittliche Rückgabetemperatur [°C]:** mittlere, maßgebliche Rückgabetemperatur im Rückgabebrunnen bzw. Versickerungsschacht.
- **Q_B Bemessungswassermenge [l/s]:** maximale Bemessungswassermenge (Spitzenkonsens) der Einleitung. (Hinweis: Es handelt sich nicht um das Tagesmittel.)
- **Betriebsstunden pro Jahr (BSTDA) [h]:** Effektive Betriebsstunden der Einleitung nach Dimensionierung der Anlage oder Betriebsaufzeichnungen in Stunden. Die Jahreswassermenge der Einleitung in m³ errechnet sich demgemäß zu $Q_B \text{ (l/s)} * BSTDA \text{ (h)} * 3,6$.
- **Maßgebliche Heiz- bzw. Kühlperiode BMON [Monate]:** Dieser Wert ist für die instationäre Berechnung relevant. Die Berechnung der maßgeblichen Bemessungswassermenge Q_i erfolgt nach der Beziehung Jahreswassermenge durch BMON. Bei gleicher thermischer Last gilt für jeweils Heiz- oder Kühlbetrieb: je kürzer BMON, desto größer die Anomalie. Es wird daher angenommen, dass eine Heizanlage maßgeblich 5 Monate in Betrieb ist und eine Kühlanlage 2 Monate. Abweichungen sind zu begründen. Man beachte, dass hier entweder Heizen oder Kühlen betrachtet wird – ein intermittierender Betrieb kann mit diesem Excel-Spreadsheet nicht berechnet werden.
- **Länge Filterrohr LF [m]:** Die Einleitung von genutztem Wasser erfolgt nur im Sonderfall über die gesamte Grundwassermächtigkeit (entsprechend einem vollkommenen Brunnen). Als Wert LF ist die effektive Länge des Filterrohrs nach Planung/Ausbau des Schluckbrunnens anzugeben. Im Falle eines Sickerschachtes ist LF mit 0 m anzunehmen (durch die Berücksichtigung der maßgeblichen thermischen Tiefe (siehe ebendort) weist ein Sickerschacht eine Mindestdiefe von 2 m auf).
- **Grundwassermächtigkeit H [m]:** mittlere Mächtigkeit des Aquifers im Bereich der Rückgabe des genutzten Wassers. Typische Werte liegen zwischen 5 und 50 m. Der Wert ist als räumlicher und zeitlicher Mittelwert anzugeben.

- **Flurabstand A [m]**: Differenz zwischen Geländeoberkante und dem Grundwasserspiegel. A ist also die Dicke der Deckschicht zwischen Atmosphäre und Aquifer. Auch hier ist der Mittelwert im Bereich der Rückgabe des genutzten Wassers einzusetzen. Typische Werte liegen zwischen 1 und 10 m. Für $A > 10$ m erreichen die Temperaturanomalien theoretisch große Ausdehnungen. Der Wert ist als räumlicher und zeitlicher Mittelwert anzugeben.
- **Grundwasserspiegelgefälle J [-]**: mittlere Neigung des Grundwasserstroms. Typischerweise liegt J im Promillebereich (m/km), d. h. 0,001 bis 0,005. Der Wert ist als räumlicher und zeitlicher Mittelwert anzugeben.
- **Durchlässigkeitsbeiwert kf [m/s]**: mittlere Durchlässigkeit des Grundwasserleiters. Typische Werte liegen zwischen 0,01 und 0,001 m/s. Der Wert ist als räumlicher und zeitlicher Mittelwert anzugeben.
- **Seitlicher Ausbreitungswinkel α [°]**: Bei der Einleitung von Wassermengen in einen schnell fließenden Grundwasserstrom kommt es zu einer Dispersion quer zur Strömungsrichtung. Dies führt – mit zunehmenden Abstand von der Einleitungsstelle – zu einer seitlichen Verbreiterung der Temperaturanomalie, aber auch zu entsprechend geringeren Temperaturen. Zusätzlich treten kurzfristige Verschwenkungen des Grundwasserstroms durch Änderung der hydrologischen Randbedingungen (z. B. Niederschläge, Randzuflüsse) und infolge wechselnder Abflüsse im Oberflächengewässer auf. Das Ausmaß der Verschwenkung/Verbreiterung wird in der Berechnung mit dem semi-empirischen seitlichen Ausbreitungswinkel ausgedrückt. Als Standardwert ist von 6° auszugehen; Abweichung davon sind durch Messungen zu begründen. Die Bandbreite von α liegt zwischen 5° und 15° (Rauch, 1992). Der Wert ist als räumlicher und zeitlicher Mittelwert anzugeben.
- **Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht λ_D [W/(mK)]**: Dieser Wert ist aus einer Reihe von Untersuchungen in Österreich mit etwa 1,5 W/m/K erhoben worden. Dieser Wert wird daher als Standardwert der Berechnung festgelegt. Abweichungen davon sind durch aussagekräftige Untersuchungen und Messungen zu begründen.
- **Empirisch bestimmter unterer Grenzwert zur Modellwahl v_{fu} in m/d**: Darcy GW-Geschwindigkeitswert, der die Grenze zwischen der Berechnung GW-See und GW-Strom festlegt. Empirisch mit 0,05 m/d bestimmt. Eine Veränderung des Wertes ist für die Überprüfung des Übergangsbereichs notwendig.
- **Empirisch bestimmter oberer Grenzwert zur Modellwahl v_{fo} in m/d**: Darcy GW-Geschwindigkeitswert, der die Grenze zwischen der Berechnung stationärer und instationärer GW-Strom festlegt. Empirisch mit 0,5 m/d bestimmt. Eine Veränderung des Wertes ist für die Überprüfung des Übergangsbereichs notwendig.

4.3.2 Ergebnisse

- **Maßgebliche Temperaturspreize ΔT [K]:** Die der Bemessung der Temperaturfahne zugrunde liegende Differenz zwischen Entnahmetemperatur und der Rückgabetemperatur. Nach ÖWAV-Regelblatt 207, Pkt. 4.4, ist dies mit 6 K begrenzt.
- **Maßgebliche Wassermenge Q_m bzw Q_i [l/s]:** maßgebliche Wassermenge für die Berechnung. Diese wird entweder als durchschnittliche Jahreswassermenge Q_m angegeben oder als mittlere Wassermenge Q_i über den Betriebszeitraum $BMON$ (für stationären Betrieb).
- **Maßgebliche Grundwassermächtigkeit für die Wärmeausbreitung mH [m]:** Die für die Wärmeausbreitung maßgebende Grundwassermächtigkeit berechnet sich als thermische Tiefe innerhalb der Grenzen Länge des Filterrohrs und Aquifermächtigkeit ($LF < ThT < H$).
- **Maßgebliche hydraulische Breite B_{min} [m]:** Hier wird die hydraulische Breite am Brunnenstandort für die maßgebliche Wassermenge (Q_m oder Q_i) und unter Berücksichtigung der maßgeblichen Grundwassermächtigkeit folgendermaßen errechnet: $B_{min} = \frac{Q}{k_f * l * mH}$. Dieser Wert wird in der Berechnung nach Ingerle mit der thermischen Ausbreitung am Brunnenstandort gleichgesetzt. Man beachte, dass die kurzfristige thermische Ausbreitung im Brunnennahbereich (z. B. im Monat mit den höchsten Betriebsstunden) größer sein kann und diese Ausbreitung natürlich auch gegen die Grundwasserfließrichtung stattfindet. Dieser Einfluss ist aus der Brunnenberechnung ersichtlich. Für das Modell GW-See kann naturgemäß keine derartige Aussage erfolgen.
- **Maximale thermische Breite B_{max} [m]:** Hier wird die maximale thermische Breite für die maßgebliche Wassermenge (Q_m oder Q_i) nach dem jeweiligen Modell angegeben.
- **Länge der Thermalfront L_{th} [m]:** Hier wird die maximale thermische Ausbreitung in Grundwasserfließrichtung für die maßgebliche Wassermenge (Q_m oder Q_i) nach dem jeweiligen Modell angegeben.

4.3.3 Interne Berechnungswerte und Hilfwerte

- **Darcy Fließgeschwindigkeit v_f in m/d:** $v_f = J * k_f$
- **Abstandsgeschwindigkeit v_a [m/d]:** $v_a = v_f / n_e$ mit $n_e = 0,2$.
- **Aufbauzeitraum T_{aufbau} (Monaten):** $L_{th} / v_a * 2/30$

- **Beta β [-]** : Dimensionsloses Verhältnis von horizontaler zur vertikaler Durchlässigkeit nach der Formel $\beta = \sqrt{\frac{k_{fh}}{k_{fv}}}$. Wird hier standardmäßig mit $\beta = 2$ angenommen. Abweichende Werte sind durch Messungen zu begründen.
- **Thermische Tiefe ThT [m]**: Die Temperaturanomalie breitet sich nach unterstrom auch vertikal aus. Die Berechnung der thermischen Tiefe ThT (mittlere theoretische vertikale Ausbreitung) erfolgt nach der empirischen Formel von Sitzenfrei et al. (2013).
- **Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung Δx [m]**: Je kleiner dieser Wert gewählt wird, desto größer ist die Genauigkeit der Berechnung –desto größer aber auch der Berechnungsaufwand. Δx wird im Excel-Spreadsheet automatisch berechnet.
- **Radiale thermische Ausbreitung R_{See} [m]**: Aufgrund der Eingabedaten wird im Excel-Spreadsheet automatisch die maximale radiale Ausbreitung für die Bemessungswassermenge der Einleitung unter der Annahme eines Grundwassersees, d. h. für $v_f \approx 0$ berechnet. Dieser Wert dient einerseits als zusätzliche Information und andererseits zur Abschätzung einer geeigneten Schrittgröße Δx .
- **Länge der thermischen Ausbreitung nach Formel von Kobus L_{Kobus} [m]**: Aufgrund der Eingabedaten wird im Excel-Spreadsheet automatisch die Länge der thermischen Ausbreitung für die Bemessungswassermenge der Einleitung berechnet. Dieser Wert dient einerseits als zusätzliche Information und andererseits zur Abschätzung einer geeigneten Schrittgröße Δx .
- **Länge der thermischen Ausbreitung nach adaptierten Formel von Kobus L_{Kadapt} [m]**: Hier wird auf Basis einer Flächenbilanz der Einfluss der seitlichen Ausbreitung auf die Kobus-Mehlhorn-Formel näherungsweise berücksichtigt: $B \cdot L_{Kobus} = L_{Kadapt} \cdot (B + L_{Kadapt} \cdot \text{tg } \alpha)$. Dies führt auf eine quadratische Gleichung für die adaptierte Länge L_{Kadapt} . Dieser Wert dient nur zur Abschätzung einer geeigneten Schrittgröße Δx .

$$L_{Kadapt} = \frac{-B}{2 \text{tg } \alpha} * \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4 \text{tg } \alpha * L_{Kobus}}{B}} \right)$$

4.4 Manual

Das Excel-Spreadsheet besteht aus 4 Seiten:

- Eingabe: Dies ist die zentrale Seite für den Anwender. Hier werden sowohl Eingaben getätigt als auch die Berechnungsergebnisse angezeigt.
- Berechnung: interne Berechnung nach vorgestelltem Verfahren. Dieser Teil benötigt keine Eingaben bzw. Interaktionen und ist nur für detaillierte Ergebnisse von Bedeutung.
- Diagramm GW-See bzw. GW-Strom: Je nachdem, welches Modell zutreffend ist, werden die Berechnungsergebnisse auch grafisch dargestellt. Für das jeweils nichtzutreffende Modell werden keine Ergebnisse angezeigt.

Berechnung von Temperaturanomalien im Grundwasser nach ÖWAV Regelblatt 207
 © W. Rauch, R. Sitzenfrei und U. Stegner
 und der ÖWAV übernehmen keine wie immer geartete Verantwortung für Ergebnisse und die Verwendung des Excel Spreadsheets.

EINGABEDATEN		
Beschreibung	Einheit	Wert
Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
Durchschnittliche Rückgabetemperatur	°C	5,0
Maximale Bemessungswassermenge	l/s	1,0
Betriebsstunden pro Jahr	h	2000
Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	5,0
Grundwassermächtigkeit	m	0,0
Flurabstand	m	5,0
Grundwasserspiegelgefälle	m	2,0
Durchlässigkeitsbeiwert	[-]	0,0010
seitlicher Ausbreitungswinkel	m/s	0,0050
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	°	6
Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	W/m/K	1,5
Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,05
	m/d	0,50

Eingabedaten

Ergebnis		
Beschreibung	Einheit	Wert
Heizen oder Kühlen		Heizen
Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Berechnungsmodell		GW Strom-stat
maßgebliche Temperaturspreize	°C	-5,0
durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,23
massgebliche Wassermenge = Jahreswassermenge	l/s	0,23
massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	5,0
massgebliche hydraulische Breite	m	9,1
maximale thermische Breite	m	29,9
Länge der Thermalfront	m	99,0

Ergebnis

Fließgeschwindigkeit (Darcy) = $k_f \cdot I$	m/d	0,43
Abstandsgeschwindigkeit ($n_e=0,2$)	m/d	2,16
spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m ³ /K	4200000
Berechnungsmodell (1=GWSEE; 2=GWStrom-stat; 3 = GWStrom-instat)		2
beta = Wurzel (kfh/kfv)		2,00
Thermische Tiefe nach Formel Sitzenfrei	m	5,58
Dauer zur Ausbildung der Temperaturanomalie	Monate	0,76
Länge der Thermalfront nach Berechnung Kobus	m	366,15
Lkobus mit Korrekturfaktor für setl. Ausbreitung	m	140,14
Radiale Ausbreitung der Thermalfront für $v_f=0$	m	
Transport der Wärmeinsel für das Modell GW-See	m	
Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung	m	1,80

Einstellungen und Hilfsgrößen

Abbildung 16: Eingabeseite und Ergebnisse. Die grün markierte Zone zeigt die Felder, die als Eingabe benötigt werden.

Für die Anwendung werden im Folgenden 5 einfache Fälle gezeigt.

Fall A: Es handelt sich hier um eine einfache Wärmepumpenanlage $Q_B = 1 \text{ l/s}$, die 2.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist. Die Grundwassertemperatur beträgt 10 °C und die Rückgabetemperatur 5 °C . Die Rückgabe erfolgt über einen Sickerschacht. Die Bodenkennwerte wurden wie folgt ermittelt: $A = 2 \text{ m}$; $H = 5 \text{ m}$; $k_f = 0,003 \text{ m/s}$ und $J = 0,001$. Der Seitliche Ausbreitungswinkel wurde mit 6° und die Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht mit $1,5 \text{ W/m/K}$ angenommen.

EINGABEDATEN		
Beschreibung	Einheit	Wert
Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
Durchschnittliche Rückgabetemperatur	°C	5,0
Maximale Bemessungswassermenge	l/s	1,0
Betriebsstunden pro Jahr	h	2000
Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	5,0
Grundwassermächtigkeit	m	0,0
Flurabstand	m	5,0
Grundwasserspiegelgefälle	m	2,0
Durchlässigkeitsbeiwert	[-]	0,0010
seitlicher Ausbreitungswinkel	m/s	0,0030
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	°	6
Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	W/m/K	1,5
Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,05
	m/d	0,50
Ergebnis		
Beschreibung	Einheit	Wert
Heizen oder Kühlen		Heizen
Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Berechnungsmodell		GW Strom-stat
maßgebliche Temperaturspreize	°C	-5,0
durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,23
massgebliche Wassermenge = Jahreswassermenge	l/s	0,23
massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	5,0
massgebliche hydraulische Breite	m	15,2
maximale thermische Breite	m	36,7
Länge der Thermalfront	m	102,0
Fliessgeschwindigkeit (Darcy) = $k_f \cdot I$	m/d	0,26
Abstandsgeschwindigkeit ($n_e=0,2$)	m/d	1,30
spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m ³ /K	4200000
Berechnungsmodell (1=GWSEE; 2=GWStrom-stat; 3 = GWStrom-instat)		2
beta = Wurzel (k_{fh}/k_{fv})		2,00
Thermische Tiefe nach Formel Sitzenfrei	m	6,07
Dauer zur Ausbildung der Temperaturanomale	Monate	5,25
Länge der Thermalfront nach Berechnung Kobus	m	219,69
Lkobus mit Korrekturfaktor für setl. Ausbreitung	m	120,09
Radiale Ausbreitung der Thermalfront für $v_f=0$	m	
Transport der Wärmeinsel für das Modell GW-See	m	
Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung	m	1,50

Die Fließgeschwindigkeit errechnet sich hier zu 0,26 m/d und gemäß der Methodik wird damit als Berechnungsmodell ein *stationärer Betrieb im GW-Strom* ausgewählt. Damit ist auch die maßgebliche Heizperiode nicht von Belang – für die Berechnung sind nur die Betriebsstunden pro Jahr relevant. Die Überprüfung der Aufbaudauer der Temperaturanomalie ergibt 5,25 Monate – dies entspricht in etwa der maßgeblichen Heizperiode pro Jahr, sodass das gewählte Modell sinnvoll erscheint.

Als Resultat zeigt sich eine lange, schmale Temperaturanomalie mit einer Länge von ca. 100 m und Breiten zwischen 15 und 37 m.

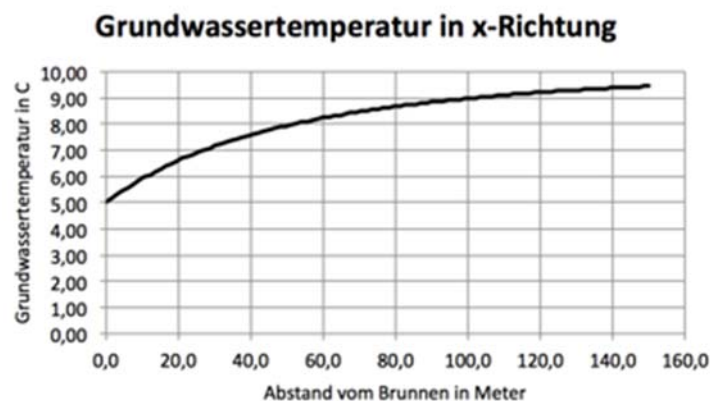
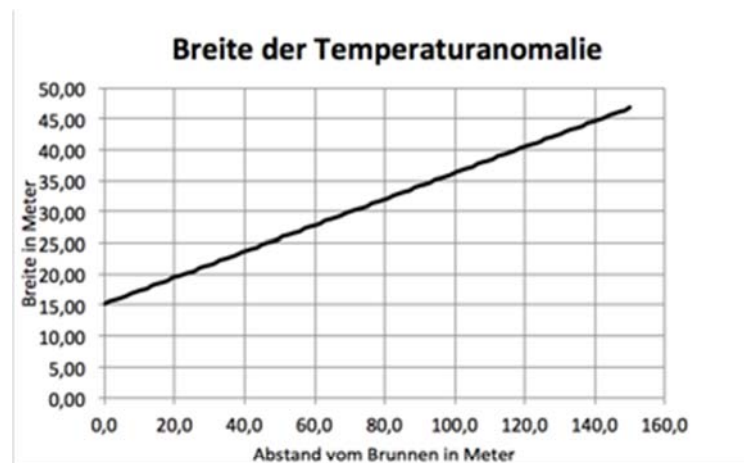
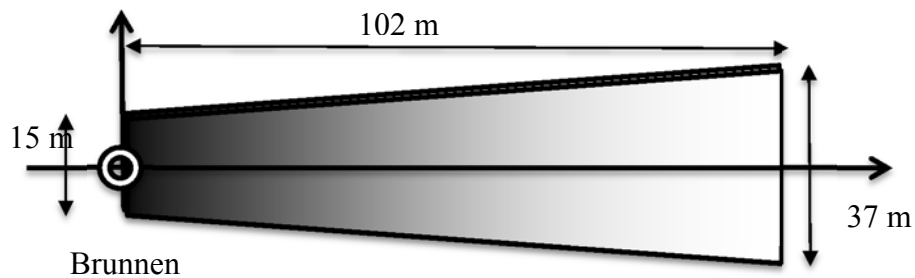


Abbildung: Vertikal-ebene Ausbreitung nach dem Modell GW-Strom

Fall B: Die obige Wärmepumpenanlage wird in einem sehr langsam fließenden GW-Strom betrieben, d. h. $J = 0,0001$.

EINGABEDATEN		
Beschreibung	Einheit	Wert
Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
Durchschnittliche Rückgabtemperatur	°C	5,0
Maximale Bemessungswassermenge	l/s	1,0
Betriebsstunden pro Jahr	h	2000
		5,0
Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	0,0
Grundwassermächtigkeit	m	5,0
Flurabstand	m	2,0
Grundwasserspiegelgefälle	[-]	0,0001
Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,0030
seitlicher Ausbreitungswinkel	°	6
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	1,5
Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	m/d	0,05
Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,50

Ergebnis		
Beschreibung	Einheit	Wert
Heizen oder Kühlen		Heizen
Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Berechnungsmodell		GW See
maßgebliche Temperaturspreize	°C	-5,0
durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,23
maßgebliche Wassermenge = Jahreswassermenge	l/s	0,23
maßgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	5,0
Länge der Thermalfront GEGEN Grundwasserstromrichtung	m	32,6
Thermische Breite der Ausbreitungsellipse	m	57,5
Länge der Thermalfront in Grundwasserstromrichtung	m	41,5

Fließgeschwindigkeit (Darcy) = $k_f \cdot I$	m/d	0,03
Abstandsgeschwindigkeit ($n_e=0,2$)	m/d	0,13
spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m ³ /K	4200000
Berechnungsmodell (1=GWSEE; 2=GWStrom-stat; 3 = GWStrom-instat)		1
beta = Wurzel (k_{fh}/k_{fv})		2,00
Thermische Tiefe nach Formel Sitzenfrei	m	14,88
Dauer zur Ausbildung der Temperaturanomalie	Monate	21,35
Länge der Thermalfront nach Berechnung Kobus	m	
Lkobus mit Korrekturfaktor für setl. Ausbreitung	m	
Radiale Ausbreitung der Thermalfront für $v_f=0$	m	32,62
Transport der Wärmeinsel für das Modell GW-See	m	8,79
Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung	m	0,50

Die Berechnung hat nun nach dem adaptierten Modell GW-See zu erfolgen. Dabei wird angenommen, dass sich die Temperaturinsel um ca. 9 m nach unterstrom bewegt.

Die Ausbreitungsellipse erreicht damit eine Längserstreckung vom Brunnen von ca. 41 m und eine Breite von 57 m.

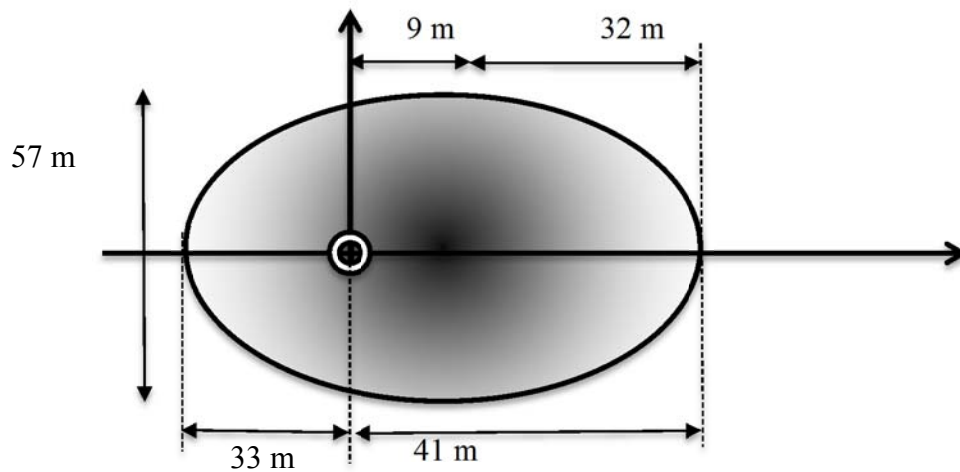


Abbildung: Vertikal-ebene Ausbreitung nach dem Modell GW-See

Fall C: Die obige Wärmepumpenanlage wird nun in einem schnell fließenden GW-Strom betrieben, d. h. $J = 0,01$.

EINGABEDATEN

Beschreibung	Einheit	Wert
Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
Durchschnittliche Rückgabetemperatur	°C	5,0
Maximale Bemessungswassermenge	l/s	1,0
Betriebsstunden pro Jahr	h	2000
Massgebliche Heizperiode (ca 5 Monate)	Monate	5,0
Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	0,0
Grundwassermächtigkeit	m	5,0
Flurabstand	m	2,0
Grundwasserspiegelgefälle	[-]	0,0100
Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,0030
seitlicher Ausbreitungswinkel	°	6
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	1,5
Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	m/d	0,05
Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,50

Ergebnis

Beschreibung	Einheit	Wert
Heizen oder Kühlen		Heizen
Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Berechnungsmodell		GW Strom-instat
maßgebliche Temperaturspreize	°C	-5,0
durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,23
massgebliche Wassermenge für instationären Betrieb	l/s	0,56
massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	4,0
massgebliche hydraulische Breite	m	4,6
maximale thermische Breite	m	22,0
Länge der Thermalfront	m	82,8

Fließgeschwindigkeit (Darcy) = k^*l	m/d	2,59
Abstandsgeschwindigkeit ($ne=0,2$)	m/d	12,96
spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m ³ /K	4200000
Berechnungsmodell (1=GWSEE; 2=GWStrom-stat; 3 = GWStrom-instat)		3
beta = Wurzel (k_{fh}/k_{fv})		2,00
Thermische Tiefe nach Formel Sitzenfrei	m	4,01
Dauer zur Ausbildung der Temperaturanomale	Monate	0,43
Länge der Thermalfront nach Berechnung Kobus	m	2196,88
Lkobus mit Korrekturfaktor für setl. Ausbreitung	m	289,53
Radiale Ausbreitung der Thermalfront für $vf=0$	m	
Transport der Wärmeinsel für das Modell GW-See	m	
Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung	m	3,60

Die Berechnung ergibt eine hohe Fließgeschwindigkeit von 2,6 m/d und ist nun gemäß dem Modell *instationärer Betrieb im GW-Strom* durchzuführen. Für dieses Modell ist die maßgebliche Betriebsdauer relevant – hier wird eine Heizperiode von 5 Monaten angegeben. Die Aufbaudauer der Temperaturanomale wird mit 0,4 Monaten errechnet – entsprechend dem angenommenen Aufbau einzelner „Temperaturinseln“.

Als Ergebnis zeigt sich eine lange, schmale Temperaturanomalie mit einer Länge von ca. 80 m und Breiten zwischen 5 und 22 m. Gegenüber der stationären Berechnung ist die Einleitungsmenge hier mehr als zweimal so hoch, aber durch die höhere GW-Fließgeschwindigkeit ist einerseits die hydraulische Breite gering und andererseits spielt die seitliche Vermischung eine große Rolle.

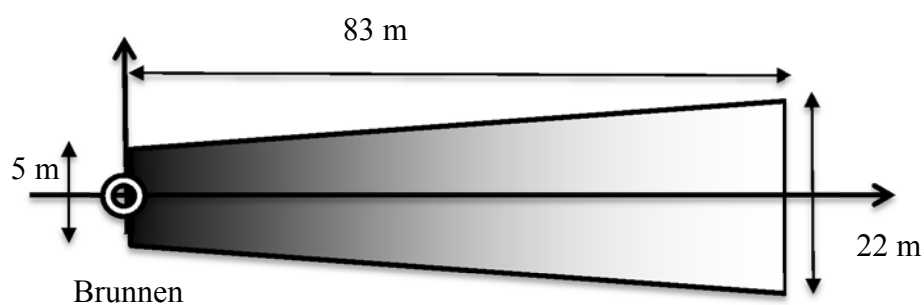


Abbildung: Vertikal-ebene Ausbreitung nach dem Modell GW-Strom

Fall D: Es handelt sich nun um eine kombinierte Anlage mit einer Bemessungswassermenge von $Q_B = 5 \text{ l/s}$, die 3.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist. Über 5 Wintermonate wird die Anlage im Heizbetrieb (2.000 Betriebsstunden) gefahren – Rückgabetemperatur = 5 °C und 2 Sommermonate im Kühlbetrieb (1.000 Betriebsstunden) – Rückgabetemperatur = 16 °C . Die Grundwassertemperatur beträgt 10 °C und die Rückgabe erfolgt über einen Sickerschacht. Die Bodenkennwerte wurden wie folgt ermittelt: $A = 2 \text{ m}$; $H = 5 \text{ m}$; kf-Wert = $0,003 \text{ m/s}$ und $J = 0,001$. Der seitliche Ausbreitungswinkel wurde mit 6° angenommen und die Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht mit $1,5 \text{ W/m/K}$.

Wichtig: Eine kombinierte Anlage kann mit dem Berechnungsmodell nicht direkt berechnet werden. Es sind also getrennt jeweils die Zusammenhänge für Heizen und Kühlen zu berechnen und daraus ist der Gesamteinfluss abzuleiten. Im gegenständlichen Fall zeigen sich ähnliche Ausbreitungen für beide Betriebsarten.

EINGABEDATEN		
Beschreibung	Einheit	Wert
Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
Durchschnittliche Rückgabetemperatur	°C	5,0
Maximale Bemessungswassermenge	l/s	5,0
Betriebsstunden pro Jahr	h	2000
		5,0
Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	0,0
Grundwassermächtigkeit	m	5,0
Flurabstand	m	2,0
Grundwasserspiegelgefälle	[-]	0,0010
Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,0030
seitlicher Ausbreitungswinkel	°	6
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	1,5
Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	m/d	0,05
Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,50

Ergebnis		
Beschreibung	Einheit	Wert
Heizen oder Kühlen		Heizen
Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Berechnungsmodell		GW Strom-stat
maßgebliche Temperaturspreize	°C	-5,0
durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	1,14
massgebliche Wassermenge = Jahreswassermenge	l/s	1,14
massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	5,0
massgebliche hydraulische Breite	m	76,1
maximale thermische Breite	m	111,7
Länge der Thermalfront	m	169,4

Abbildung: Ergebnis für Heizperiode

EINGABEDATEN		
Beschreibung	Einheit	Wert
Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
Durchschnittliche Rückgabetemperatur	°C	16,0
Maximale Bemessungswassermenge	l/s	5,0
Betriebsstunden pro Jahr	h	1000
		5,0
Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	0,0
Grundwassermächtigkeit	m	5,0
Flurabstand	m	2,0
Grundwasserspiegelgefälle	[-]	0,0010
Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,0030
seitlicher Ausbreitungswinkel	°	6
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	1,5
Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	m/d	0,05
Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,50
Ergebnis		
Beschreibung	Einheit	Wert
Heizen oder Kühlen		Kühlen
Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Berechnungsmodell		GW Strom-stat
maßgebliche Temperaturspreize	°C	6,0
durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,57
massgebliche Wassermenge = Jahreswassermenge	l/s	0,57
massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	5,0
massgebliche hydraulische Breite	m	38,1
maximale thermische Breite	m	71,6
Länge der Thermalfront	m	159,6

Abbildung: Ergebnis für Kühlperiode

Fall E: Es handelt sich hier wieder um eine einfache Wärmepumpenanlage $Q_B = 1 \text{ l/s}$, die aber nur 1.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist. Die maßgebliche Betriebsdauer liegt bei 4 Monaten pro Jahr. Die Grundwassertemperatur beträgt 10 °C und die Rückgabtemperatur 5 °C . Die Rückgabe erfolgt über einen Sickerschacht. Die Bodenkennwerte wurden wie folgt ermittelt: $A = 2 \text{ m}$; $H = 5 \text{ m}$; $k_f = 0,005 \text{ m/s}$ und $J = 0,001$. Der seitliche Ausbreitungswinkel wurde mit 6° und die Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht mit $1,5 \text{ W/m/K}$ angenommen.

EINGABEDATEN			
Parameter	Beschreibung	Einheit	Wert
	Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
T_o	Durchschnittliche Entnahmetemperatur	$^{\circ}\text{C}$	10,0
T_A	Durchschnittliche Rückgabtemperatur	$^{\circ}\text{C}$	5,0
Q_B	Maximale Bemessungswassermenge	l/s	1,0
BSTDA	Betriebsstunden pro Jahr	h	1000
LF	Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	5,0
H	Grundwassermächtigkeit	m	0,0
A	Flurabstand	m	5,0
J	Grundwasserspiegelgefälle	[-]	2,0
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,0010
α	seitlicher Ausbreitungswinkel	$^{\circ}$	0,0050
l_D	Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	6
v_{fu}	Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	m/d	1,5
v_{fo}	Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,05
Ergebnis			
Parameter	Beschreibung	Einheit	Wert
Typ	Heizen oder Kühlen		Heizen
Betrieb	Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Modell	Berechnungsmodell		GW Strom-stat
ΔT	maßgebliche Temperaturspreize	$^{\circ}\text{C}$	-5,0
Q_m	durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,11
Q_m	massgebliche Wassermenge = Jahreswassermenge	l/s	0,11
mH	massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	4,5
Bmin	massgebliche hydraulische Breite	m	5,0
Bmax	maximale thermische Breite	m	18,6
Lth	Länge der Thermalfront	m	64,4
v_f	Fließgeschwindigkeit (Darcy) = $k_f \cdot J$	m/d	0,43
v_a	Abstandsgeschwindigkeit ($ne=0,2$)	m/d	2,16
c_{ww}	spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m ³ /K	4200000
Modell	Berechnungsmodell (1=GWSEE; 2=GWStrom-stat; 3 = GWStrom-instat)		2
β	beta = Wurzel (k_{fh}/k_{fv})		2,00
ThT	Thermische Tiefe nach Formel Sitzenfrei	m	4,53
t_{Aufbau}	Dauer zur Ausbildung der Temperaturanomalie	Monate	1,99
LKobus	Länge der Thermalfront nach Berechnung Kobus	m	366,15
LK adaptiert	Lkobus mit Korrekturfaktor für setl. Ausbreitung	m	110,64
RSee	Radiale Ausbreitung der Thermalfront für $v_f=0$	m	
$v_f \cdot t_{\text{max}}$	Transport der Wärmeinsel für das Modell GW-See	m	
Δx	Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung	m	1,40

Aus den Daten ergibt sich eine Filtergeschwindigkeit von $0,43 \text{ m/d}$, sodass eigentlich das Modell *stationärer Betrieb im Grundwasserstrom* anzuwenden wäre. Damit würde sich die Länge der Temperaturanomalie mit ca. 64 m errechnen.

Allerdings liegt der Wert $v_f = 0,43 \text{ m/d}$ schon nahe beim empirischen Grenzwert der Modellwahl ($v_{f0} = 0,5 \text{ m/d}$). Zudem ist die Dauer zur Ausbildung der Anomalie mit ca. 2 Monaten

signifikant geringer als die maßgebliche Betriebsdauer von 4 Monaten. Es ist hier also eine weitere Simulation mit dem Modell *instationärer Betrieb im Grundwasserstrom* vorzunehmen. Dazu ist in der Eingabemaske der Parameter v_{f0} (Modellwahl obere Grenze) entsprechend zu adaptieren, d. h. $v_{f0} < v_f = 0,43$ m/d zu setzen.

EINGABEDATEN			
Parameter	Beschreibung	Einheit	Wert
	Betriebsart: Kontinuierlich = 1 Instationär=0	0 / 1	0
T_o	Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	10,0
T_A	Durchschnittliche Rückgabetemperatur	°C	5,0
QB	Maximale Bemessungswassermenge	l/s	1,0
BSTDA	Betriebsstunden pro Jahr	h	1000
BMON	Massgebliche Heizperiode (ca 5 Monate)	Monate	4,0
LF	Länge Filterrohr (Sickerschacht LF=0)	m	0,0
H	Grundwassermächtigkeit	m	5,0
A	Flurabstand	m	2,0
J	Grundwasserspiegelgefälle	[-]	0,0010
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,0050
α	seitlicher Ausbreitungswinkel	°	6
l_D	Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	1,5
v_f	Modellwahl untere Grenze (GW-See) - 0,05 m/d	m/d	0,05
v_{f0}	Modellwahl obere Grenze (GW Strom instat) - 0,5 m/d	m/d	0,42
Ergebnis			
Parameter	Beschreibung	Einheit	Wert
Typ	Heizen oder Kühlen		Heizen
Betrieb	Kontinuierlich oder Instationär		Instationär
Modell	Berechnungsmodell		GW Strom-instat
ΔT	maßgebliche Temperaturspreize	°C	-5,0
Q_m	durchschnittliche Jahreswassermenge	l/s	0,11
Q_i	massgebliche Wassermenge für instationären Betrieb	l/s	0,35
mH	massgebliche Grundwassermächtigkeit für Berechnung	m	5,0
Bmin	massgebliche hydraulische Breite	m	13,9
Bmax	maximale thermische Breite	m	40,4
Lth	Länge der Thermalfront	m	126,0
v_f	Fließgeschwindigkeit (Darcy) = $k_f \cdot I$	m/d	0,43
v_a	Abstandsgeschwindigkeit (ne=0,2)	m/d	2,16
c_{vw}	spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m ³ /K	4200000
Modell	Berechnungsmodell (1=GWSEE; 2=GWStrom-stat; 3 = GWStrom-instat)		3
β	beta = Wurzel (kfh/kfv)		2,00
ThT	Thermische Tiefe nach Formel Sitzenfrei	m	6,42
t_{Aufbau}	Dauer zur Ausbildung der Temperaturanomalie	Monate	3,89
LKobus	Länge der Thermalfront nach Berechnung Kobus	m	366,15
LK adaptiert	Lkobus mit Korrekturfaktor für setl. Ausbreitung	m	163,60
RSee	Radiale Ausbreitung der Thermalfront für $v_f=0$	m	
$v_t \cdot t_{\text{max}}$	Transport der Wärmeinsel für das Modell GW-See	m	
Δx	Länge des iterativen Schrittes in x-Richtung	m	2,00

Nach diesem Modell ergibt sich eine fast doppelt so lange Erstreckung der Temperaturanomalie – nämlich 126 m Länge.

Beide Berechnungsergebnisse sind hinsichtlich Plausibilität abzuwägen. Im gegenständlichen Fall (und auch zur Sicherheit) ist das Modell *instationärer Betrieb im Grundwasserstrom* als relevantes Modell für die Planung anzuwenden.

5 Nomenklatur

T	Grundwassertemperatur an der Stelle x
T_0	durchschnittliche Entnahmetemperatur = mittlere, unbeeinflusste Grundwassertemperatur
T_A	durchschnittliche Rückbetemperatur = Temperatur des eingeleiteten Wassers
ΔT_E	Temperaturspreizung an der Einleitungsstelle ($\Delta T_E = T_E - T_0$)
ΔT	Temperaturspreizung an der Stelle x ($\Delta T = T - T_0$)
L	Länge der Temperaturlausbreitung
B	Breite der Temperaturlausbreitung
x	Entfernung von der Rückgabestelle
t	Verweilzeit der Temperatur bis zu Erreichen der Stelle x ($t = x/v_T$)
t_{max}	maximale Verweilzeit der Temperatur ($t_{max} = L/v_T$)
λ_D	Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht
n_e	nutzbare Porosität
c_{vw}	spezifische Volumenwärme des Wassers
mH	für die Wärmeausbreitung maßgebende Mächtigkeit
A	Mächtigkeit der Deckschichten
v_T	mittlere Temperaturlausbreitungsgeschwindigkeit
v_f	Filtergeschwindigkeit ($v_f = k_f \cdot I$)
v_A	Abstandsgeschwindigkeit ($v_A = v_f / n_e$)
B	Einzugs- oder Rückgabebreite der Nutzung ($B = Q/H \cdot v_f$)
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert
J	Gefälle des unbeeinflussten Grundwasserstroms
QB	Bemessungswassermenge (Spitzenkonsens)

6 Literatur

- Ingerle, K.: Beitrag zur Berechnung der Abkühlung des Grundwasserkörpers durch Wärmepumpen; *Österreichische Wasserwirtschaft*, Jg. 40, H. 11/12, 1988.
- Kobus, H. und Mehlhorn, H.: Beeinflussung von Grundwassertemperaturen durch Wärmepumpen; *GWF*, 121, H. 6, 1980.
- ÖWAV (Hrsg.): ÖWAV-Regelblatt 207 – Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme (AGE), Wien 1993.
- ÖWWV-Kurs 3: Thermische Beeinflussung des Grundwassers; Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 52, Wien 1983.
- Rauch, W.: Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasser. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, Universität Innsbruck 1992. ISBN 3-900259-25-9.
- Rauch, W. und Sitzenfrei, R.: Bestimmung von Temperaturanomalien im Grundwasser mit einfachen analytischen Lösungen. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* (in Bearbeitung).
- Sitzenfrei, R. und Rauch, W.: Anwendungsgrenzen einfacher analytischer Lösungen zur Bestimmung von Temperaturanomalien im Grundwasser. *GWF*, Vol. 155, no. 03, pp. 330-339, 2014.

ÖWAV-REGELWERK

Die nachstehend angeführten Preise gelten für **gedruckte (Print)** bzw. **digitale Ausgaben (Download)**, ab Erscheinungsjahr 1999 erhältlich) der angeführten Titel und verstehen sich exkl. USt. zuzügl. Versandkosten. ÖWAV-Mitglieder erhalten im Einzelverkauf 15 % Rabatt auf den Listenpreis, im Abonnement 20 % (**gilt nur für Printversion!**).

(Die Preisliste ist **gültig bis 31. Dezember 2014**. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.)

A) Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Regelblätter erschienen)

Abwassertechnik und Gewässerschutz

- ÖWAV-Regelblatt 1 Abwasserentsorgung im Gebirge. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2000. (*Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich*) *Download: Euro 23,40*
- ÖWWV-Regelblatt 2 Das Fachpersonal auf Abwasserreinigungsanlagen – Merksätze für Gemeinden und Abwasserverbände. 1978. (*vergriffen*)
- ÖWWV-Regelblatt 3 Hinweise für das Ableiten von Abwasser aus Schlachthanlagen und fleischverarbeitenden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage. Überarb. Neuausgabe 1992. *Print: Euro 24,00*
- ÖWAV-Regelblatt 4 Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus Betrieben in eine öffentliche Kanalisationsanlage. 2., vollständige überarbeitete Auflage. 2001. *Print: Euro 31,00 / Download: Euro 27,90*
- ÖWWV-Regelblatt 5 Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Abwasserkanälen. 1980. (*zurückgezogen*)
- ÖWAV-Regelblatt 6 Fremdüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen. Teil 1: Fremdüberwachung gemäß 1. AEV für kommunales Abwasser. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 1998. *Print: Euro 20,00*
Teil 2: Gesamtprüfung. 2000. *Print: Euro 20,00 / Download: Euro 18,00*
- ÖWAV-Regelblatt 7 Mindestausrüstung für die Eigen- und Betriebsüberwachung biologischer Abwasserreinigungsanlagen (inkl. Indirekteinleiterüberwachung). 4., vollständig überarbeitete Auflage. 2003. *Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40*
- ÖWAV-Regelblatt 8 Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus oberflächenbehandelnden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage oder einen Vorfluter. Neuauflage 1993. *Print: Euro 28,00*
- ÖWAV-Regelblatt 9 Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2008. *Print: Euro 23,00 / Download: Euro 20,70*
- ÖWWV-Regelblatt 10^{*)} Richtlinien für die Ausführung von Abwassermeßschächten. 1981. (*vergriffen*)
- ÖWAV-Regelblatt 11 Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2009. *Print: Euro 37,00 / Download: Euro 33,30*
- ÖWWV-Regelblatt 12 Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus milchbe- und -verarbeitenden Betrieben in eine Abwasseranlage. 1982. (*vergriffen*)
- ÖWAV-Regelblatt 13 Betriebsdaten von Abwasserreinigungsanlagen – Erfassung, Protokollierung und Auswertung. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2013. *Print: Euro 16,00 / Download: Euro 14,40*
- ÖWAV-Regelblatt 14 Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (Kläranlagen) – Errichtung – Anforderungen an Bau und Ausrüstung. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. *Print: Euro 20,00 / Download: Euro 18,00*
- ÖWAV-Regelblatt 15 Der Klärfacharbeiter – Berufsbild, Ausbildungsplan und Prüfungsordnung. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2013. *Print: Euro 16,00 / Download: Euro 14,40*

^{*)} vom Bundesministerium für Bauten und Technik zur Anwendung empfohlen.

ÖWAV-Regelblatt 16	Einleitung von Abwasser aus der Betankung, Reparatur und Reinigung von Fahrzeugen in öffentliche Abwasseranlagen oder in Gewässer. 4., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 17	Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2004 (<i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i>). <i>Download: Euro 27,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 18	Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (Kläranlagen) – Ausrüstung und Betrieb. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000 (<i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i>). <i>Download: Euro 14,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 19	Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2007. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>
ÖWWV-Regelblatt 20	Musterbetriebsordnung für Abwasserreinigungsanlagen. 1988. <i>(zurückgezogen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 21	Kanalkataster. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 1998. <i>(vergriffen, ersetzt durch ÖWAV-Regelblatt 40)</i>
ÖWWV-Regelblatt 22	Kanalwartung und Kanalerhaltung. 1989. <i>(vergriffen)</i>
ÖWWV-Regelblatt 23	Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen. 1991. <i>Print: Euro 17,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 24	EDV-Einsatz auf Abwasseranlagen. Prozessleittechnik – Prozessdatenverarbeitung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2008. <i>Print: Euro 22,00 / Download: Euro 19,80</i>
ÖWAV-Regelblatt 25	Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. <i>Print: Euro 22,00 / Download: Euro 19,80</i>
ÖWAV-Regelblatt 26	Hinweise für das Einleiten von Abwässern aus Weinbau- und Kellereibetrieben in eine Abwasseranlage. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2006. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 27	Möglichkeiten der Entsorgung von Senkgrubenhälften und Schlämmen aus Kleinkläranlagen. 1992. <i>(vergriffen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 28	Unterirdische Kanalsanierung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2007. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 29	Entsorgung von Räumgut aus kommunalen Abwasseranlagen. 1994. <i>Print: Euro 25,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 30	Sicherheitsrichtlinien für den Bau und Betrieb von Faulgasbehältern auf Abwasserreinigungsanlagen. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2007. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 31	Deponiesickerwasser. Reaktordeponie. 2000. <i>Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 32	Sicherheit auf Abwasserableitungsanlagen (Kanalisationsanlagen) – Bau und Einrichtung, Ausrüstung und Betrieb. 2000. <i>Print: Euro 22,00 / Download: Euro 19,80</i>
ÖWAV-Regelblatt 33	Überwachung wasserrechtlich nicht bewilligungspflichtiger Indirekteinleiter. 2002. <i>Print: Euro 20,00 / Download: Euro 18,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 34	Hochdruckreinigung von Kanälen. 2003. <i>Print: Euro 29,00 / Download: Euro 26,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 35	Behandlung von Niederschlagswässern. 2003 (<i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i>). <i>Download: Euro 27,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 36	Dienstanweisung für das Betriebspersonal von Abwasserbehandlungsanlagen. Inkl. CD-ROM. 2003. <i>Print: Euro 29,00 / Download: Euro 26,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 38	Überprüfung stationärer Durchflussmessenrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen. 2007. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 39	Einleitung von fetthaltigen Betriebsabwässern aus Gastronomie, Küchen und Lebensmittelverarbeitung in öffentliche Abwasseranlagen. 2008 (<i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i>). <i>Download: Euro 20,70</i>
ÖWAV-Regelblatt 40	Leitungsinformationssystem – Wasser und Abwasser (gemeinsam mit ÖVGW, = ÖVGW-Richtlinie W 104). 2010 (<i>Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich</i>). <i>Download: Euro 35,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 42	Unterirdische Kanalsanierung – Hauskanäle. 2011. <i>Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40</i>

- ÖWAV-Regelblatt 43 Optische Kanalinspektion. 2013. *Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40*
 ÖWAV-Regelblatt 44 Der Kanalfacharbeiter – Berufsbild, Ausbildungsplan und Prüfungsordnung. 2012. *Print: Euro 16,00 / Download: Euro 14,40*

Wasserhaushalt und Wasserversorge

- ÖWAV-Regelblatt 201 Praktische Anleitung für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen. 2., überarbeitete Auflage. 2007. *Print: Euro 37,00 / Download: Euro 33,30*
- ÖWWV-Regelblatt 202*) Tiefengrundwässer und Trinkwasserversorgung. 1986. *(zurückgezogen)*
 ÖWWV-Regelblatt 203¹⁾ Trinkwassernotversorgung. 1989. *(zurückgezogen)*
 ÖWWV-Regelblatt 204 Richtlinien für die Wasserversorgung im alpinen Bereich. 1990. *(zurückgezogen)*
- ÖWWV-Regelblatt 205*) Nutzung und Schutz von Quellen aus nicht verkarsteten Bereichen. 1990. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 206 Klein- und Einzeltrinkwasserversorgungsanlagen (gemeinsam mit ÖVGW). 1993. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2009. *Print: Euro 29,00 / Download: Euro 26,10*
- ÖWAV-Regelblatt 208 Bohrungen zur Grundwassererkundung. 1993. *(zurückgezogen)*
 ÖWAV-Regelblatt 209 Entscheidungshilfen für Planung, Anlage, Bau und Betrieb von Golfplätzen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. 1993. *(vergriffen)*
- ÖWAV-Regelblatt 210 Beschneigungsanlagen. 2., überarbeitete Auflage. 2007. *Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40*
- ÖWAV-Regelblatt 211 Nutzung artesischer und gespannter Grundwässer. 2000. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Regelblatt 212 Skipisten. 1999. *Print: Euro 34,00 / Download: Euro 30,60*
 ÖWAV-Regelblatt 213 Tiefbohrungen zur Wassergewinnung. 2002. *Print: Euro 37,00 / Download: Euro 33,30*
- ÖWAV-Regelblatt 214 Markierungsversuche in der Hydrologie und Hydrogeologie. 2007. *Print: Euro 34,00 / Download: Euro 30,60*
- ÖWAV-Regelblatt 215 Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen. 2010. *Print: Euro 37,00 / Download: Euro 33,30*
- ÖWAV-Regelblatt 216 Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) von Golfplätzen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. 2009. *Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40*
- ÖWAV-Regelblatt 217 Schutz des Grundwassers beim Abbau von Sand und Kies. 2014. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*

Wasserbau und Ökologie

- ÖWWV-Regelblatt 301*) Leitfaden für den natur- und landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern. 2. Auflage 1985. *(zurückgezogen)*
 ÖWAV-Regelblatt 302 Expertenliste Biologie des ÖWAV. 2., überarbeitete Auflage 1999. *(zurückgezogen)*

Qualität und Hygiene

- ÖWAV-Regelblatt 401 Grundwasseruntersuchungen zur Beurteilung von altlastenverdächtigen Altablagerungen. 1992. *(zurückgezogen)*
 ÖWAV-Regelblatt 402 Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen. Teil 2: Eingangs-, Verfahrens- und Endproduktkontrolle auf Kompostierungsanlagen. 1999. *Print: Euro 22,00*
 ÖWAV-Regelblatt 403²⁾ Nutzwasserverwendung. Mitteilung über die Verwendung von Nutzwasser in Gebäuden, ausgenommen Industrielle Anwendungen. 1998. *(zurückgezogen)*

*)... vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

¹⁾... Erschienen als ÖVGW-Regelblatt W 74 (1989). Ersetzt durch Neuauflage 2006. Bezug: Austrian Standards plus Publishing, 1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-444, sales@as-plus.at, www.as-plus.at.

²⁾... Erschienen als ÖVGW-Mitteilung W 86 (1998). Ersetzt durch Neuauflage 2005. Bezug: Austrian Standards plus Publishing, 1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-444, sales@as-plus.at, www.as-plus.at.

- ÖWAV-Regelblatt 404 Sicherheit, Gesundheitsschutz und Arbeitshygiene für Beschäftigte in der Abfallwirtschaft. 2001. *Print: Euro 32,00 / Download: Euro 28,80*
- ÖWAV-Regelblatt 405 Arbeitshygienische und arbeitsmedizinische Richtlinien für Abwasseranlagen. 2004. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 406 Begriffe der Membrantechnologie. 2002. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*

Abfallwirtschaft

- ÖWAV-Regelblatt 501 Ermittlung des Kapazitätsbedarfs für Kompostanlagen zur Verarbeitung getrennt erfaßter biogener Abfälle. 1996. *(vergriffen)*
- ÖWAV-Regelblatt 502 Entgasung von Deponiekörpern. 1997. *Print: Euro 30,00*
- ÖWAV-Regelblatt 503 Allgemeine Ausführungsrichtlinien für stationäre Problemstoffsammelstellen. 1997. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 504 Deponieeingangskontrolle. Anforderungsprofil für Leiter der Eingangskontrolle und Kontrollpersonal, Ausbildungsplan. 1997. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 505 Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen. Teil 1: Eingangskontrolle auf Deponien. 1997. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 506 Das Fachpersonal für Problemstoffsammelstellen. Anforderungsprofil und Ausbildungsplan. 1997. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 507 Fachkraft Abfallwirtschaft. Anforderungen an die Ausbildung des Betriebspersonals von Abfallbehandlungsanlagen. 1998. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 508 Musterbetriebsprotokoll für Bioabfallkompostierungsanlagen. 1998. *Print: Euro 32,00*
- ÖWAV-Regelblatt 509 Abfallminimierung. Begriffe – Evaluierung – Berechnungsbeispiele. 2000. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Regelblatt 510 Problemstoff-Ausbildungslehrgänge. Ausbildung zum Befugten für die Problemstoffsammlung bzw. zum Abfallrechtlichen Geschäftsführer für kommunale Problemstoffsammlung. 1999. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Regelblatt 511 Durchführung der Eingangskontrolle auf Deponien. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Regelblatt 512 Abfallrechtlicher Geschäftsführer gemäß § 26 AWG 2002. Anforderungen und Ausbildungsinhalte für abfallrechtliche Geschäftsführer und Erlaubniswerber. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2008. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Regelblatt 513 Betrieb von Biofiltern. 2002. *Print: Euro 29,00 / Download: Euro 26,10*
- ÖWAV-Regelblatt 514 Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft. 2003. **(Gratis-download von www.oewav.at/publikationen)**
- ÖWAV-Regelblatt 515 Anaerobe Abfallbehandlung. Anforderungen an den Betrieb von Biogasanlagen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2013. *Print: Euro 34,00 / Download: Euro 30,60*
- ÖWAV-Regelblatt 516 Ausbildungskurs für das Betriebspersonal von Biogasanlagen. Anforderungen und Ausbildungsinhalte. 2006. *Print: Euro 28,00 / Download: Euro 25,20*
- ÖWAV-Regelblatt 517 Anforderungen an die Ausstattung und den Betrieb von Zwischenlagern für gefährliche Abfälle bei Abfallsammlern nach § 25 AWG 2002. 2008. *Print: Euro 34,00 / Download: Euro 30,60*
- ÖWAV-Regelblatt 518 Anforderungen an den Betrieb von Kompostierungsanlagen. 2009. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Regelblatt 519 Energetische Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen. 2., überarbeitete Auflage. 2013. *Print: Euro 26,00 / Download: Euro 23,40*
- ÖWAV-Regelblatt 520 Durchführung der Eingangskontrolle auf Bodenaushubdeponien. Auszug aus ÖWAV-Regelblatt 511 (2. Auflage, 2010). 2011. *Print: Euro 22,00 / Download: Euro 19,80*

Recht und Wirtschaft

- ÖWAV-Regelblatt 601 Ermittlung der Nachsorgekosten-Rückstellung bei Deponieanlagen. 1998. *Print: Euro 42,00*
- Rechenmodell auf CD-ROM *(auf Anfrage)*

B) Arbeitsbehelfe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Arbeitsbehelfe erschienen)

Abwassertechnik und Gewässerschutz

- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 1 Die Ausbildung von Klärwärtern auf Lehrkläranlagen. 1981. *(vergriffen)*
- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 8 Kläranlagennachbarschaften in Österreich – Ein Beitrag zur Reinhaltung der Gewässer. 1991. *Print: Euro 14,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 9 Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen. Teil 1: Ablaufqualität – Bewertung und Beurteilung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000. *Print: Euro 13,00 / Download: Euro 11,70*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 14 Eigen- und Betriebsüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen (> 50 EW). 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. *Print: Euro 20,00 / Download: Euro 18,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22 Kläranlagenzustandsbericht. 1999. *Print: Euro 24,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 24 Evaluierung von Arbeitsplätzen in Abwasseranlagen und deren Dokumentation. 2000. *Print: Euro 27,00 / Download: Euro 24,30*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 25 Indirekteinleiterkataster. 1999. *Print: Euro 17,00 / Download: Euro 15,30*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 27 Praktikum auf Lehrkanalanlagen (Ausbildungskanalbetrieben). 2000. *Print: Euro 16,00 / Download: Euro 14,40*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 29 Öffentlichkeitsarbeit auf Kläranlagen (inkl. Arbeitsmaterialien für Pflichtschulen). 2004. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 31 Membrantechnologie – Verfahren zur Abwasserbehandlung. 2003. *Print: Euro 34,00 / Download: Euro 30,60*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 34 Leitfaden für die Ausschreibung der Hochdruckreinigung von Kanälen. 2005. *(Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich)*. *Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 36 Praxishilfe zum Erstellen des Explosionsschutzdokuments (ExSD) für abwassertechnische Anlagen (Kanal- und Kläranlagen). 2006. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 37 Überprüfung des Betriebszustandes von Abwasserreinigungsanlagen (> 50 EW) Teil A: Fremdüberprüfung. Teil B: Eigenüberprüfungen. 2010. *Print: Euro 20,00 / Download: Euro 18,00*

Wasserhaushalt und Wasserversorgung

- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 2 Grundwasser-Schongebiete. 1984. *(zurückgezogen)*
- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 3 Wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte für die Projektierung von Grundwasserwärmepumpenanlagen (GWPA). 1986. *(vergriffen)*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 19 Leitfaden für die Bearbeitung von Grundwassersanierungsgebieten. 1996. *(zurückgezogen)*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 43 Leitfaden zur Anwendung der Thermalfahnenformel des ÖWAV-Regelblatts 207. 2014. *(zurückgezogen)*

Wasserbau und Ökologie

- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 4 Grundsätze der Gewässerinstandhaltung. 1987. *(zurückgezogen)*

Qualität und Hygiene

- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 11 Empfehlungen für Bewässerungswasser. 2., überarbeitete Auflage. 2003. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 30 Informationen zum Membranbelebungsverfahren. 2002. *Print: Euro 32,00 / Download: Euro 28,80*
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 32 Anwendung von Membranverfahren in der Reinwassertechnologie. 2005. *Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00*

- ÖWAV-Arbeitsbehelf 38 Bestimmung der Oberflächenspannung in gereinigten Abwässern. 2012. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 39 Korrosion im Wasser- und Abwasserfach. 2010. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)

Recht und Wirtschaft

- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 5 Mustersatzungen für Hochwasserschutzverbände. 3., überarb. Auflage. 2003. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 6 Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Abwasserverbänden. 1988. (zurückgezogen)
- ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 7 Grundsätze für die Versicherung von Abwasserentsorgungsanlagen. 1988. Print: Euro 14,00
Ergänzungsblatt: Grundsätze für Versicherungsfragen in der Siedlungswasserwirtschaft. 1991. Print: Euro 5,00
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 10 Interkommunale Zusammenarbeit – Betriebs- und Betreuungsgemeinschaften in der Abwasserentsorgung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2011. Print: Euro 19,00 / Download: Euro 17,10
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 12 Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Wasserversorgungs- und Abfallverbänden. Ergänzungsband zum Arbeitsbehelf Nr. 6. 1993. (zurückgezogen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 13 Mustersatzungen für Wasserversorgungs- und Reinhaltverbände. 2., überarbeitete Auflage. 2003. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 15 Mustersatzungen für Abfallwirtschaftsverbände. 1996. (zurückgezogen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 16 Grundsätze der Gebührenkalkulation in der Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft. 1996. (zurückgezogen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 18 Musterbetriebskostenrechnung am Beispiel der Abwasserentsorgung. 1996. (zurückgezogen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 20 Anwendung des UVP-Gesetzes. 1996. (zurückgezogen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 21 Abfallgebührenkalkulation und Abfallgebührenmodelle. Ein Arbeitsbehelf für Gemeinden. 1997. (vergriffen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 23 Geschäftsbedingungen für die Indirekteinleitung in öffentliche Kanalisationsanlagen. 2., überarbeitete Auflage. 2002. Print: Euro 32,00 / Download: Euro 28,80
- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 28 Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Ver- und Entsorgungsverbänden. 2000. (zurückgezogen)
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 33 Leitfaden für die Vorgangsweise bei der Auftragsvergabe in der Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. 2004. Print: Euro 37,00 / Download: Euro 33,30
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 35 Aktuelle Finanzierungs- und Veranlagungsmöglichkeiten für die Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2011. Print: Euro 37,00 / Download: Euro 33,30
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 40 Grundlagen und Aufbau des Rechnungswesens in der Abwasserentsorgung. Buchführung und Jahresabschluss. 2010. (Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich). Download: Euro 33,30
- ÖWAV-Arbeitsbehelf 41 Grundlagen und Aufbau der Kosten- und Leistungsrechnung in der Abwasserentsorgung. 2013. Print: Euro 30,00 / Download: Euro 27,00

Abfallwirtschaft

- ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 17 Logistik in der Abfallwirtschaft. 1996. (zurückgezogen)

Wasserbau, Ökologie

- ÖWAV-Arbeitsbehelf 42 Mobiler Hochwasserschutz. 2013. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)

Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen

1. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 1992/93“. 1993. (vergriffen)
2. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 1994/95“. 1995. (vergriffen)
3. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 1996“. 1996. (vergriffen)
4. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 1997“. 1997. Print: Euro 63,00
5. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 1998“. 1998. Print: Euro 59,00
6. Folge: „Grundkurs für das Betriebspersonal von Kanalisationsanlagen“. 1998. (vergriffen)
7. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 1999“. 1999. (vergriffen)
8. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 2000“. 2000. (vergriffen)
9. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2001“. 2001. Print: Euro 64,00
10. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2002“. 2002. (vergriffen)
11. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2003“. 2003. Print: Euro 64,00
12. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2004“. 2004. Print: Euro 66,00
13. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2005“. 2005. Print: Euro 66,00
14. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2006“. 2006. (vergriffen)
15. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2007“. 2007. (vergriffen)
16. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2008“. 2008. Print: Euro 66,00
17. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2009“. 2009. Print: Euro 64,00
18. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2010“. 2010. Print: Euro 56,00
19. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2011“. 2011. (vergriffen)
20. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2012“. 2012. Print: Euro 56,00
21. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2013“. 2013. Print: Euro 56,00

Merkblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Merkblätter erschienen)

- ÖWAV-Merkblatt ÖPUL – Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung. Merkblatt für Landwirte und Kläranlagenbetreiber. 2000. Print: Euro 1,00
- ÖWAV-Merkblatt Hygiene-Merkblatt für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen. 2004. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWAV-Merkblatt Mindestanforderung für die Sicherheitsausrüstung im Kanalbetrieb. 2005. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWAV-Merkblatt Zivil- und strafrechtliche Haftung und Verantwortung in Wasser-, Abwasser- und Abfallverbänden. 2006. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWAV-Merkblatt Private Hallen- und Freischwimmbekken – Ableitung von Spül-, Reinigungs- und Beckenwasser. 2008. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)
- ÖWAV-Merkblatt Personalbedarf für den Betrieb kommunaler biologischer Kläranlagen. 2008. (**Gratisdownload** von www.oewav.at/publikationen)

Arbeitsbehelfe, Regelblätter sowie Publikationen der Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen sind zu beziehen über: Austrian Standards plus Publishing, 1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-444, Fax DW 818, sales@as-plus.at, www.as-plus.at.

ÖWAV-Umweltmerkblätter

(zuvor als ÖWAV-WIFI-Umweltmerkblätter erschienen)

- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Autobus-, Taxi- und Mietwagenunternehmen. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Autoverwertungsbetriebe. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Betreiber von Campingplätzen. 2005.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Frächter. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Gastronomie- und Beherbergungsbetriebe. 2009.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Holz bearbeitende Betriebe. 2005.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Kfz-Freiwashplätze und Waschanlagen. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Kfz-Werkstätten. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für kleine Molkereien und Käsereien. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für kleine Schlachtbetriebe und Fleischer. 2005.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für die Lagerung von Chemikalien in Betrieben. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Lkw-Washplätze. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Malerbetriebe. 2008
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Metall verarbeitende Betriebe. 2011.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Sägewerke. 2005.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Tankstellen. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt Umweltschutz im Bürobetrieb. 2010.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Weinbau und Weinkellereien. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt Wasserwirtschaft und Gewässerschutz auf Baustellen. 2008.

ÖWAV-Umweltmerkblätter können kostenlos von der Website des ÖWAV (www.oewav.at/publikationen) heruntergeladen werden.



zukunft
SEIT 1909
denken

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Tel. +43-1-535 57 20, Fax +43-1-535 40 64, buero@oewav.at, www.oewav.at

Das österreichische **Kompetenz-Zentrum**
für **Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft.**

Veranstaltungen

- Österreichische Abfallwirtschaftstagung
- Österreichische Wasserwirtschaftstagung
- Österreichische Umweltrechtstage
- Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
- Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abwasser-, Abfallbehandlungs- und Hochwasserschutzanlagen
- Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften
- Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse in den Bereichen Gewässerpflege, kleine Stau- und Sperrenanlagen, Hochwasserschutz- und Beschneigungsanlagen
- Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
- Exkursionen

Fachgruppen und Arbeitsausschüsse

- Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen, Merkblättern und Leitfäden
- Erarbeitung von Positions- und Ausschusspapieren sowie Stellungnahmen zu Gesetzesvorhaben

Beratung und Information

- Auskünfte und individuelle Beratung
- Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichungen

- Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW)
- ÖWAV-Homepage (www.oewav.at)
- ÖWAV-News (HTML-Newsletter)
- Tätigkeitsbericht des ÖWAV
- Schriftenreihe des ÖWAV (Wasser- und Abfallrechtliche Judikatur in Leitsatzform)
- Veröffentlichungen zu Tagungen und Seminaren des ÖWAV
- Regelblätter*), Arbeitsbehelfe*) und Merkblätter des ÖWAV, Positions- und Ausschusspapiere
- Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen*)
- ÖWAV-WKO-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
- KA-Betriebsinfo¹⁾
- Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer¹⁾

Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA

Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EUREAU (gem. mit ÖVGW)
- International Solid Waste Association – ISWA
- International Water Association – IWA (gem. mit ÖVGW)

*) in Kommission bei Austrian Standards plus Publishing, Wien

¹⁾ Mitherausgeber