

# **Grundwasser**

## **Richtlinien für Beobachtung und Auswertung**

### **Teil 2 – Grundwassertemperatur**

**1987**

Heräusgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

Bearbeiter: Arbeitskreis „Grundwassermessung“

Grundwasserrichtlinie 2/87

ISBN 3-88754-010-7

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung des Nachdruckes, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung mit Ausnahme der im Text sowie in den Anlagen vorgestellten Muster für die Erfassung statistischer Daten, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, über deren Höhe der Verlag Auskunft gibt.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und der Bundesminister für Verkehr (BMV), als Herausgeber dieses Werkes, empfehlen die im Text sowie in den Anlagen vorgestellten Muster für die Erfassung statistischer Daten zur Einführung und Verwendung in der Praxis und geben diese Muster unter Angabe der Quelle zur Wiedergabe frei.

© 1988 Woeste Druck + Verlag, 4300 Essen 1, Lazarettstraße 34, Telefon (0201) 224641  
Printed in West Germany by Woeste Druck + Verlag, Essen

Produktion und Kommissionsvertrieb: Woeste Druck + Verlag, Essen

## Vorwort

*Der Deutsche Grundwasserausschuß hatte in seiner 1961 erschienenen Grundwasserrichtlinie erste Anweisungen zur Temperaturmessung im Grundwasser herausgegeben. Sie beschränkten sich darauf, ein möglichst einheitliches Vorgehen bei der Erfassung der Meßwerte zu erreichen, ohne auf die Form der Auswertung oder auf die eng damit verknüpfte Interpretation der Meßergebnisse einzugehen.*

*Erst die in den vergangenen Jahren wesentlich vereinfachte und verbesserte Meßtechnik ermöglichte die Erfassung der komplexen Temperaturverhältnisse im Untergrund. Die gewässerkundliche Beobachtung der Grundwassertemperatur wird heute verstärkt bei der Lösung von Fragen der Grundwassererkundung und des Grundwasserschutzes eingesetzt.*

*Die Vielzahl der z. Z. angebotenen Meßgeräte, die unterschiedlichen Meßtechniken bei der Meßwernerfassung, das Messen an bereits vorhandenen Meßstellen und die noch fehlenden Vorgaben für eine einheitliche Auswertung und Interpretation der Messungen machen diese Richtlinie als eigenständigen Teil erforderlich. Sie soll unter anderem dabei helfen, diesen beim Grundwasser so charakteristischen und wichtigen Parameter „Temperatur“ in allen seinen Möglichkeiten für praktische Fragestellungen zu nutzen. Die Richtlinie behandelt nicht den Meßvorgang bei der Erfassung der Grundwassertemperatur im Zusammenhang mit der Probenahme für Untersuchungen der Grundwasserbeschaffenheit.*

*Der Arbeitskreis „Grundwassermessung“ legt nunmehr die Grundwasserrichtlinie Teil 2 „Grundwassertemperatur“ vor. Da die Kenntnisse über die physikalischen Zusammenhänge des Wärmehaushaltes und der Wärmeausbreitung im Grundwasser weniger verbreitet sind, wurde ausführlicher darauf eingegangen, als es bei Richtlinien üblich ist. Nach dem bereits erschienenen Teil 1 „Grundwasserstand“ sind weitere Richtlinien über Quellschüttung und Grundwasserbeschaffenheit vorgesehen.*

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	
<b>1 Grundlagen</b>	<b>6</b>
1.1 Wärmehaushalt	6
1.2 Wärme- und Temperatursausbreitung	8
1.3 Temperaturverteilung	10
<b>2 Aufgaben der Temperaturmessung</b>	<b>12</b>
2.1 Beobachtung der Grundwassertemperatur	12
2.2 Temperaturmessungen als Funktionskontrolle	12
<b>3 Grundwassertemperaturmeßstellen</b>	<b>15</b>
3.1 Anforderungen an Grundwassertemperaturmeßstellen	15
3.2 Spezielle Grundwassertemperaturmeßstellen	15
3.3 Eignung vorhandener Grundwassermeßstellen	16
<b>4 Meßgeräte</b>	<b>17</b>
4.1 Anforderungen an die Geräte	17
4.2 Meßprinzipien	17
4.3 Tragbare Meßgeräte für Einzelmessungen	18
4.4 Meßgeräte für kontinuierliche Messungen	18
4.5 Kalibrieren der Meßgeräte	18
<b>5 Messen und Meßwerterfassung</b>	<b>19</b>
5.1 Temperaturmeßpunkte	19
5.2 Meßturnus	20
5.3 Meßvorgang	20
5.4 Meßwerterfassung	21
5.5 Einweisung und Betreuung des Beobachters	21
<b>6 Prüfung und Aufbereitung</b>	<b>22</b>
6.1 Prüfung	22
6.2 Aufbereitung	23
<b>7 Auswertung</b>	<b>25</b>
7.1 Punktuelle Auswertung, Isoplethen	25
7.2 Flächenhafte Auswertung, Temperaturgleichen	27
<b>8 Aufbewahrung und Sicherung</b>	<b>29</b>
Richtlinien und Normen	30
Stichwortverzeichnis	32
Anlage – Blatt 1 Erfassungsbeleg für Grundwassertemperatur	34
– Blatt 2 Anweisung für den Beobachter	35

## 1 Grundlagen

Zur Beurteilung von Grundwassertemperaturdaten ist es erforderlich, die Einflußgrößen zu kennen, welche die Temperatur bestimmen. Außerdem ist die Kenntnis der für die Wärmeausbreitung im Untergrund und damit der für die Temperaturverteilung maßgebenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten notwendig.

### 1.1 Wärmehaushalt

Der Wärmehaushalt des Untergrundes ergibt sich aus der Summe aller Wärmehaushaltsgrößen, sowohl der Wärmeaufnahme als auch der Wärmeabgabe (*Abb. 1.1*). Die Wärmehaushaltsgrößen unterliegen verschiedenen natürlichen und anthropogenen Einflüssen.

#### Natürliche Einflüsse

Der Wärmehaushalt der Erdoberfläche wird überwiegend durch Strahlungsenergie bestimmt. Im Sommer und am Tage nimmt die Erdoberfläche Wärme hauptsächlich aus direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung auf. Im Winter und bei Nacht ist die Wärmeabgabe durch Abstrahlung des Bodens größer als die Wärmeaufnahme aus atmosphärischer Gegenstrahlung.

Von geringerem Einfluß als die Strahlungsenergie sind Niederschlag und Kondensation sowie der Wärmeaustausch mit der Luft. Örtlich kann durch Versickerung aus oberirdischen Gewässern die Gesteins- und Grundwassertemperatur nachhaltig beeinflusst werden.

Die in die Erdoberfläche durch Strahlung eingetragene Wärmestromdichte (*Tab. 1*) liegt in Deutschland etwa zwischen  $50 \text{ W/m}^2$  im Winter und  $400 \text{ W/m}^2$  im Sommer. Sofern anthropogene Einflüsse fehlen, ist in der Regel von einer ausgeglichenen Wärmebilanz auszugehen, d. h. der Wärmeaufnahme steht im langjährigen Mittel eine etwa gleich große Wärmeabgabe der Erdoberfläche gegenüber.

Im Gegensatz zu den sich zeitlich stark ändernden Einflüssen an der Erdoberfläche kann der geothermische Wärmestrom als zeitlich nach Richtung und Größe gleichbleibend angenommen werden. Seine Größe wird durch die geologischen Gegebenheiten in der Erdkruste bestimmt. Er beträgt in Deutschland zwischen  $0,04 \text{ W/m}^2$  und  $0,14 \text{ W/m}^2$  und ist somit im Vergleich zum Wärmeaustausch an der Erdoberfläche sehr klein. Aufsteigendes, geothermisch erwärmtes Wasser (*Abb. 1.1*) kann den Wärmeaustausch in der Erdkruste durch konvektiven Wärmetransport örtlich stark erhöhen.

#### Anthropogene Einflüsse

Eingriffe des Menschen können auf zweierlei Weise, mittelbar durch Veränderung der natürlichen Einflüsse und unmittelbar durch Wärmezufuhr oder -entzug, den Wärmehaushalt des Gesteins und des Grundwassers beeinflussen.

Mittelbar kann sich eine Änderung der Bodennutzung nachhaltig auf die Temperatur des Untergrundes auswirken. Beispielsweise sind unter Waldflächen wegen der stärkeren Reflektion der Strahlung und der höheren Verdunstung die Temperaturen geringer als unter Ackerflächen. Stadtlandschaften mit ihrem hohen Anteil an dunklen, befestigten Flächen lassen dagegen die Temperatur ansteigen. Auch können Grundwasserentnahmen zu einem Zustrom wärmeren oder kälteren Wassers führen (z. B. Aufsteigen warmen Grundwassers aus großer Tiefe, Infiltration wechselwarmen Wassers aus oberirdischen Gewässern). Temperaturanomalien, die durch Versickerungen aus oberirdischen Gewässern hervorgerufen werden, können durch Ausbaumaßnahmen, die sich auf die Größe der Versickerung auswirken, oder durch Veränderungen der Temperatur des oberirdischen Gewässers beeinflusst werden.

Unmittelbar wirken sich Wärmeabgabe und Wärmeentzug auf die Temperatur des Untergrundes aus. Beispielsweise erhöhen Abwasser- und Fernheizleitungen sowie erwärmte Keller in Siedlungsgebieten zusammen mit der dort vorhandenen erhöhten Aufnahme von Strahlungsenergie die Bodentemperatur oft um mehrere Grad im Vergleich zu unbesiedelten Flächen. Neben diesen großräumigen Temperaturveränderungen lassen Einleitungen abgekühlten oder erwärmten Wassers örtliche Temperaturanomalien entstehen, deren Ausdehnung durch die Temperaturentbreitungsvorgänge im Grundwasser und den Wärmeaustausch mit den über dem Grundwasser liegenden Deckschichten bestimmt wird. Bei kurzzeitigen Beeinflussungen entstehen Temperaturanomalien im allgemeinen nur in unmittelbarer Nähe der Störstelle.

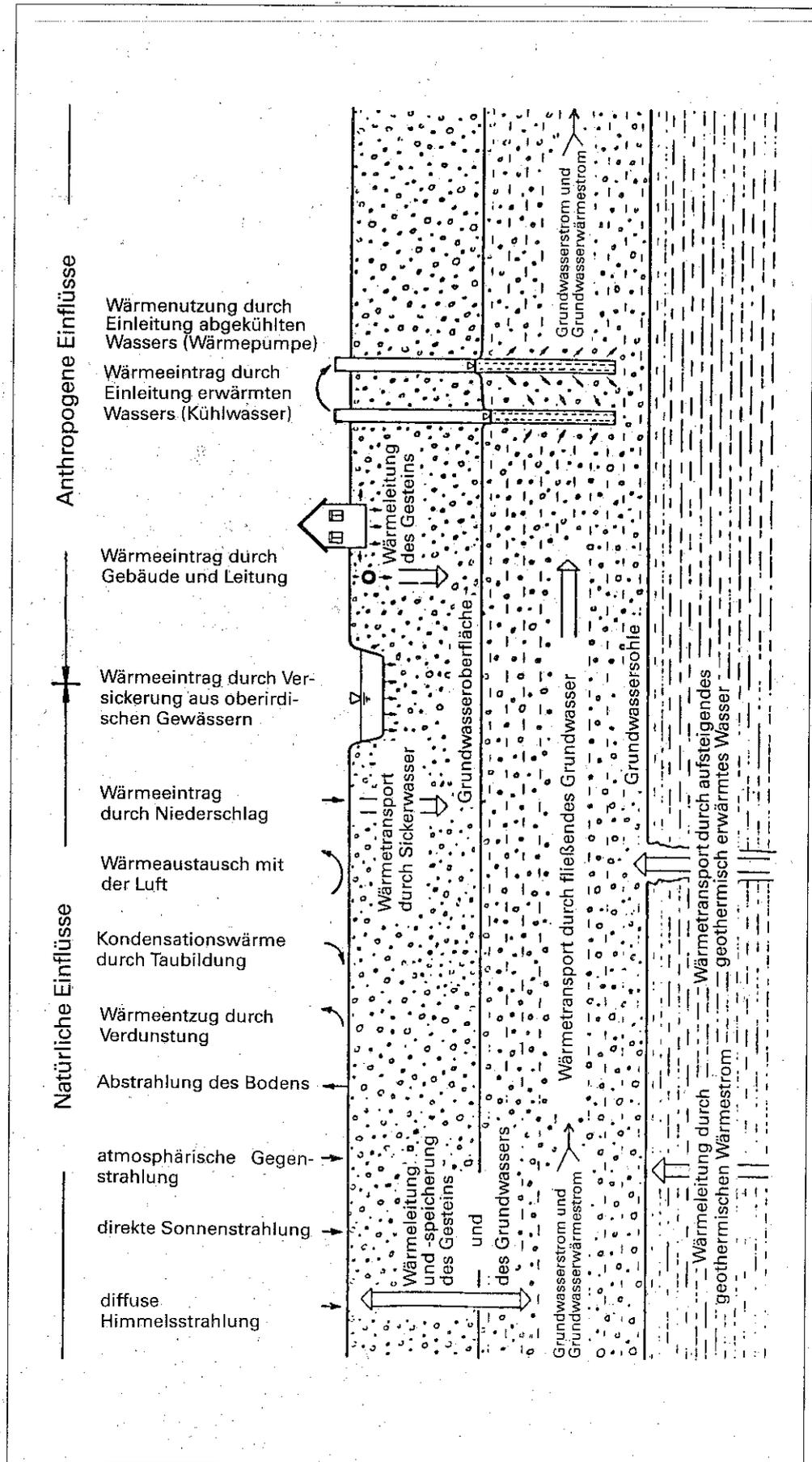


Abb.1.1 Wärmehaushaltsgrößen

## 1.2 Wärme- und Temperatursausbreitung

Während für den Wärmeeintrag an der Erdoberfläche im wesentlichen die Strahlung verantwortlich ist, erfolgt die Wärmeübertragung im Untergrund nahezu ausschließlich durch den Wärmetransport des fließenden Wassers (Konvektion) und durch Wärmeleitung (Konduktion). Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Wärmeausbreitung im Grundwasserraum und in dem nicht vom Grundwasser erfüllten Gesteinskörper.

Das Maß für die auf die Flächeneinheit bezogene Wärmeübertragung ist die Wärmestromdichte  $q$  (Tab. 1) mit den Anteilen aus Konvektion  $q_v$  und aus Konduktion  $q_d$ .

Benennung	Zeichen	Einheit	Erklärung
thermodynamische Temperatur	$T$	K	bezogen auf den absoluten Nullpunkt
Temperatur	$\vartheta$	°C	$\vartheta = T - 273,15$
Wärme, Wärmemenge	$Q$	J	(vergleichbar: Wassermenge)
Wärmeleistung, Wärmestrom	$\Phi$	W	1 W = 1 J/s
Wärmestromdichte	$q$	W/m <sup>2</sup>	durch die Flächeneinheit fließender Wärmestrom $q_v$ konvektiver Anteil $q_d$ konduktiver Anteil
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	W/m · K	gibt die Wärmeleitfähigkeit des wärmeleitenden Mediums an $q_d = -\lambda \cdot \text{grad } T$
spezifische Wärmekapazität	$c$	J/kg · K	Wärmeenergie, die erforderlich ist, die Mengeneinheit eines Stoffes um 1 K zu erwärmen
spezifische Wärmekapazität des Wassers	$c_w$	J/kg · K	bei 10° C: $c_w = 4190 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
spezifische Wärmekapazität des Gesteins	$c_s$	J/kg · K	Quarz bei 10° C: $c_s = 700 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
Dichte	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	
Dichte des Wassers	$\rho_w$	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ bei 4° C
Dichte des Gesteins	$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	
Hohlraumanteil	$n$	–	Quotient aus dem Volumen aller Hohlräume eines Gesteinskörpers und dessen Gesamtvolumen
durchflußwirksamer Hohlraumanteil	$n_f$	–	Hohlraumanteil, bei dem nur die durchflossenen Hohlräume berücksichtigt sind
Abstandsgeschwindigkeit	$v_a$	m/s	Quotient aus der Länge eines Stromlinienabschnittes und der vom Grundwasser beim Durchfließen dieses Abschnittes benötigten Zeit
Filtergeschwindigkeit	$v_f$	m/s	Quotient aus dem Grundwasserdurchfluß und der zugehörigen Grundwasserquerschnittsfläche

Tabelle 1 Kenngrößen und Begriffe

### Grundwasserraum

Für die Wärmeausbreitung in dem mit Grundwasser erfüllten Gesteinskörper ist in der Regel das fließende Wasser maßgebend. Dabei erfolgt die Ausbreitung wie bei Wasserinhaltsstoffen durch Konvektion als Folge von hydraulischem Gefälle und von Dichteunterschieden sowie durch Dispersion.

Der konvektive Wärmetransport ( $q_v$ ) gehorcht der Beziehung:

$$q_v = v_f \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot \Delta T \quad (\text{Tab. 1})$$

Abweichend vom Transport eines idealen Tracers ist beim Wärmetransport zu beachten, daß infolge des Wärmeaustausches zwischen dem fließenden Wasser und dem Gestein Temperaturanomalien abgebaut werden und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Temperatur  $v_T$  erheblich hinter der Abstandsgeschwindigkeit des Wassers  $v_a$  zurückbleibt.

Es besteht die Beziehung:

$$\frac{v_T}{v_a} = \frac{n_f \cdot \rho_w \cdot c_w}{n \cdot \rho_w \cdot c_w + (1-n) \rho_s \cdot c_s} \quad (\text{Tab. 1})$$

Bei Lockergesteinsgrundwasserleitern ergeben sich in der Regel Werte zwischen

$$0,1 < (v_T/v_a) < 0,5.$$

Mit der Temperatur des Wassers ändert sich auch dessen Dichte und Viskosität (Zähigkeit), was Auswirkungen auf Richtung und Größe der Grundwasserströmung und die Grundwasserstände haben kann. Bei 10° C, d. h. im Temperaturbereich des Grundwassers, ruft ein Absinken der Temperatur um 3 K eine Verminderung der kinematischen Viskosität und damit der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters von etwa 10% hervor (Abb. 1.2). Außerdem wirken sich Temperaturveränderungen auf die biologische und chemische Grundwasserbeschaffenheit aus.

Neben der konvektiven Wärmeausbreitung sind die übrigen Ausbreitungsfaktoren im allgemeinen von geringerem Einfluß. Bei sehr kleiner Fließgeschwindigkeit muß jedoch die Wärmeleitung berücksichtigt werden. Der Einfluß der Dispersion auf die Wärmeausbreitung entspricht dem bei der Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen. Die Wärmeaufnahme und -abgabe des Gesteins ist vergleichbar der Sorption und Desorption von Wasserinhaltsstoffen.

Die Wärmeausbreitung im Grundwasser ist stets ein räumlicher Vorgang. Im Gegensatz hierzu erfolgt der Wärmetransport im grundwasserfreien Raum überwiegend in vertikaler Richtung.

### Grundwasserfreier Raum

Im nicht mit Grundwasser erfüllten Gesteinskörper erfolgt die Konvektion durch versickerndes oder aufgrund von Kapillarkräften auf- oder absteigendem Wasser. Ihr Einfluß auf die Wärmeübertragung tritt in der Regel größtmäßig hinter den der Konduktion zurück.

Die Wärmeleitung ( $q_d$ ) wird durch folgende Beziehung beschrieben:

$$q_d = - \lambda \cdot \text{grad } T \quad (\text{Tab. 1}).$$

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ist dabei nicht nur vom Gestein und dessen Lagerungsdichte, sondern vor allem von dessen Wassersättigung abhängig. Während bei einem Sättigungsgrad von mehr als 25% die Wärmeleitfähigkeit von Lockergestein in der Regel Werte zwischen  $2 < \lambda < 2,5$  W/mK annimmt, sinkt mit zunehmender Trockenheit die Wärmeleitfähigkeit und kann bei einem Sättigungsgrad unter 5% bis auf  $\lambda < 0,5$  W/mK zurückgehen (Abb. 1.3).

### 1.3 Temperaturverteilung

Die mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche ist je nach der Bodenbedeckung etwa gleich der mittleren Jahreslufttemperatur oder liegt einige Grade darüber (Kap. 1.1).

Als Folge des jahreszeitlich wechselnden Wärmeaustausches an der Erdoberfläche sind dort die Temperaturschwankungen sehr hoch. Zur Tiefe hin nehmen sie exponentiell ab. In einer Tiefe von etwa 20 m ist ein Jahrestemperaturgang in der Regel kaum mehr festzustellen (Abb. 4). Der Einfluß der täglichen Temperaturänderungen endet bereits wenige Dezimeter unter Gelände.

Proportional zur Tiefe unterliegen die Temperaturganglinien einer Phasenverschiebung. In 10 m Tiefe beträgt diese, bezogen auf die Erdoberfläche, etwa ein halbes Jahr. Die Temperaturamplituden an der Erdoberfläche werden von den in Kapitel 1.1 genannten Einflußgrößen bestimmt. Ihre Auswirkungen auf tiefere Bereiche hängen von den in Kapitel 1.2 beschriebenen Temperatúrausbreitungsvorgängen ab. Eigenschaften des Grundwasserleiters oder einzelne Ereignisse können sich nachhaltig auf die Größe und Geschwindigkeit der Übertragung der erdoberflächennähen Temperaturschwankungen auswirken. Beispielsweise beschleunigen starke Niederschläge oder Schneeschmelzen durch Konvektion des Sickerwassers und durch Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit als Folge der höheren Wassersättigung des Bodens im Sickerraum die Temperatúrausbreitung zwischen Erdoberfläche und Grundwasser. Im grundwassererfüllten Bereich führen starke Dispersion, wie sie in sehr inhomogenen Grundwasserleitern zu beobachten ist, und nach unten gerichtete Vertikalströmungen zu einer gegenüber den o. g. Richtwerten schnelleren und tieferreichenden Übertragung der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Die gegenteilige Wirkung rufen nach oben gerichtete Vertikalströmungen hervor.

Wenn sich unter wärmerem Grundwasser kälteres einschichtet, wird diese Schichtung durch die Dichteunterschiede stabilisiert, so daß auf weite Strecken im Abstrombereich die Temperatur des Grundwasserkörpers entgegen dem Einfluß des geothermischen Wärmestromes zur Tiefe hin abnimmt. In der Regel steigen jedoch die Temperaturen mit wachsender Tiefe um etwa 0,03 K/m an, wobei dieser Richtwert in Abhängigkeit von der geothermischen Wärmestromdichte, der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins sowie durch Vertikalströmung und Dispersion des Grundwassers örtlich deutlich über- oder unterschritten werden kann.

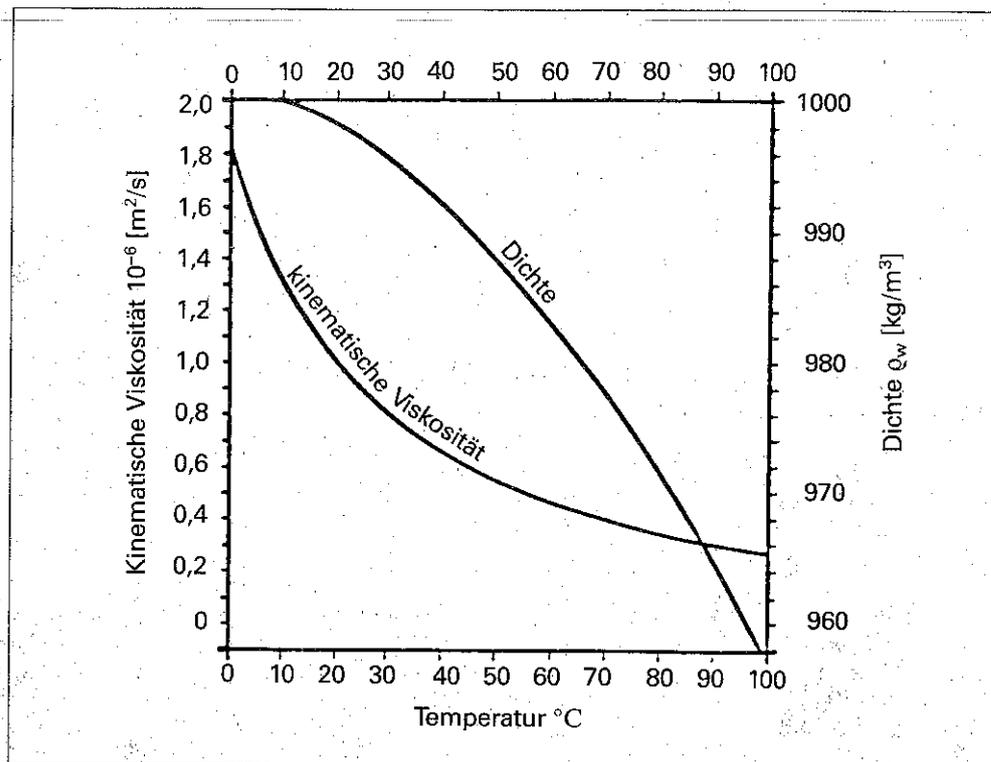


Abb. 1.2 Temperaturabhängige Wassereigenschaften (Dichte und kinematische Viskosität)

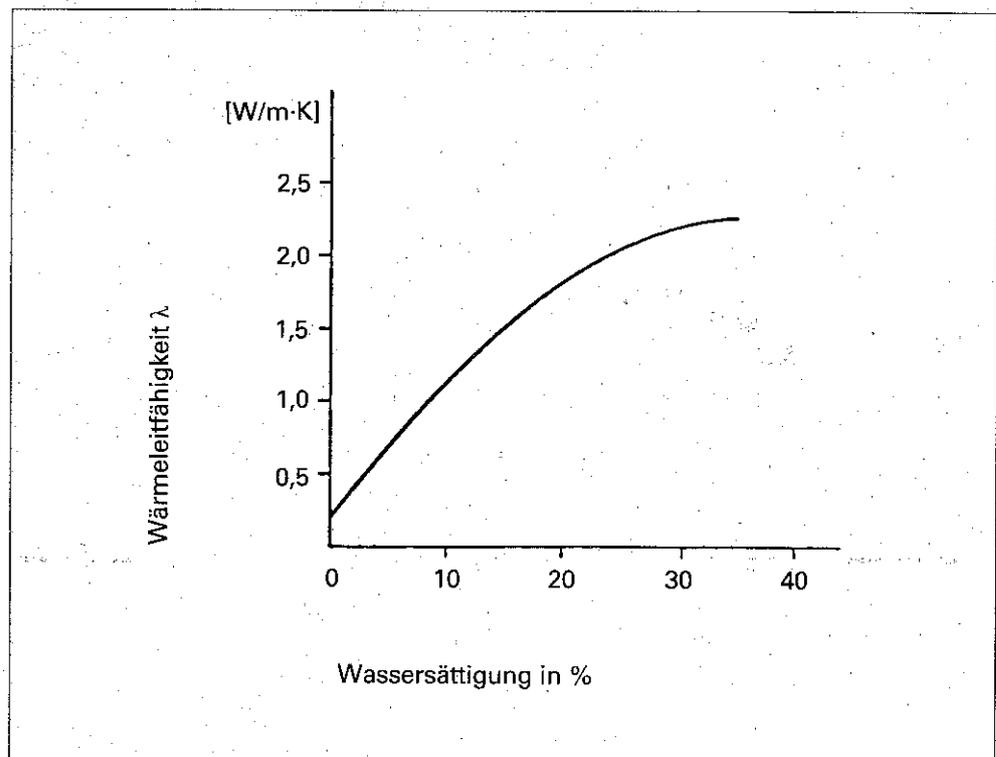


Abb. 1.3 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  einer Sandschüttung in Abhängigkeit vom Wassersättigungsgrad

## 2 Aufgaben der Temperaturmessung

Bei Temperaturmessungen in Grundwassermeßstellen sind grundsätzlich zwei Aufgabengebiete zu unterscheiden:

- Beobachtung der Grundwassertemperatur und deren Veränderung
- Funktionskontrolle von Grundwassermeßstellen bzw. Brunnen

Durch die Bohrarbeiten kann die Temperatur im Grundwasser verändert werden. Zur Erfassung der unbeeinflussten Grundwassertemperatur ist daher bei neuerrichteten Meßstellen eine Wartezeit einzuhalten, bis sich die Temperaturanomalie abgebaut hat. Die Wartezeit hängt von der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ab.

### 2.1 Beobachtung der Grundwassertemperatur

Grundwassertemperaturmessungen finden nicht nur Anwendung bei Untersuchungen des Grundwasserwärmehaushaltes. Wegen der tracerähnlichen Eigenschaften der Wärme (Kap. 1.2) geben Grundwassertemperaturen vielfach auch Hinweise auf Grundwasserströmungsvorgänge. Während die Bestimmung von Wasserinhaltsstoffen aufwendig ist, hat die Temperatur den Vorzug, die neben dem Wasserstand am leichtesten zu ermittelnde Meßgröße der Grundwasserhydrometrie zu sein. Somit können Grundwassertemperaturmessungen dienen zur:

- Untersuchung naturgegebener Grundwasserströmungsvorgänge, wie z. B. Aufsteigen von wärmerem Grundwasser aus größerer Tiefe, Absinken von kälterem Grundwasser oder Infiltrieren wechselwarmen Wassers aus oberirdischen Gewässern
- Beweissicherung bei Maßnahmen, die den Wärmehaushalt des Grundwassers direkt beeinflussen, wie z. B. Wärmeeintrag durch Kühlwassereinleitungen, Deponien, Bauwerke oder Leitungen, Wärmeentzug durch Wärmepumpen oder Veränderung des Wärmeaustausches mit der Atmosphäre durch Wechsel der Bodennutzung
- Beweissicherung bei Maßnahmen, die sich auf die Grundwasserströmungsvorgänge auswirken, wie z. B. Grundwasserentnahmen, die ein Zuströmen aus anderen Grundwasserstockwerken hervorrufen, oder Gewässerausbaumaßnahmen, durch die der Austausch mit dem Grundwasser verändert wird

Temperaturmessungen in oberirdischen Gewässern können Hinweise auf Ort und Größe von Grundwasseraustritten geben.

Neben diesen problemorientierten Temperaturmessungen sollten zur Erweiterung der hydrologischen Grundlagen zum Vergleich auch die Grundwassertemperaturen an Stellen ohne außergewöhnliche natürliche oder anthropogene Beeinflussungen gemessen werden. Ein dem Grundwasserstandsmeßnetz entsprechendes, flächendeckendes Temperaturmeßnetz ist jedoch nicht erforderlich.

Temperaturuntersuchungen zur Beweissicherung sollen einen Beobachtungszeitraum von mehreren Jahren umfassen, weil sich die Grundwassertemperaturen im allgemeinen nur sehr langsam ändern und außerdem durch den Jahrestemperaturgang beeinflusst werden können. Bei Untersuchungen natürlicher Vorgänge in tiefen Grundwässern genügen eine oder wenige Einzelmessungen; im oberflächennahen Grundwasser ist in der Regel die Erfassung eines Jahresganges ausreichend. Zur Untersuchung des Austausches zwischen Grundwasser und oberirdischen Gewässern ist vielfach ein mehrjähriger Meßzeitraum erforderlich.

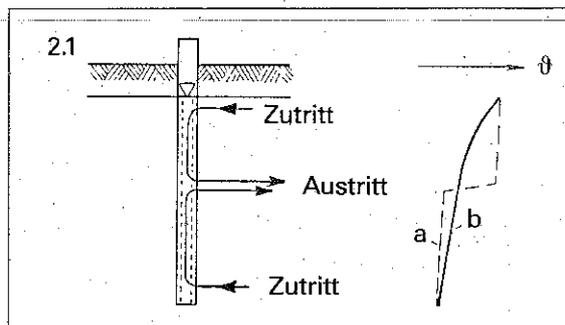
Meßstellen zur Beurteilung der Grundwassertemperatur müssen den in Kapitel 3 beschriebenen Anforderungen genügen.

### 2.2 Temperaturmessungen als Funktionskontrolle

Durch Temperaturmessungen in Grundwasserstandsmeßstellen und Brunnen können deren hydraulische Eigenschaften überprüft werden. Bei der Lösung folgender Fragen haben sich Temperaturmessungen bewährt:

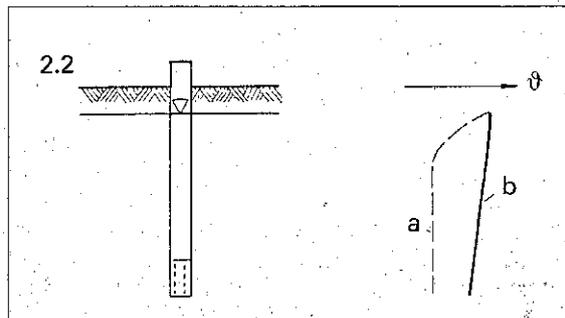
#### Vertikalströmungen in durchgehend verfilterten Beobachtungsrohren

Aus dem Temperaturprofil der Wassersäule im Beobachtungsrohr lassen sich Bereiche erkennen, in denen Grundwasser in das Rohr eintritt bzw. wieder austritt. Dadurch wird



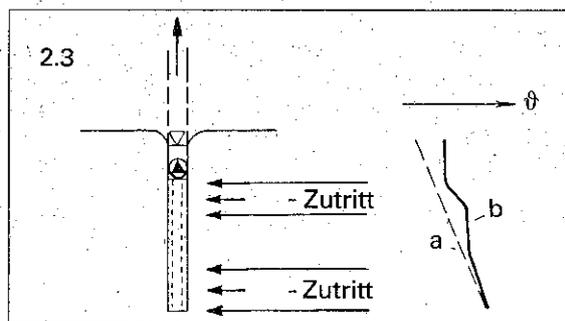
Temperaturprofil während des Sommers bei **oberflächennahem** Grundwasser mit Vertikalströmung (a) und ohne (b)

Die Temperatur des Grundwassers an der Eintrittsstelle bestimmt die Temperatur der Wassersäule im Rohr bis zur Höhe der Austrittsstelle.



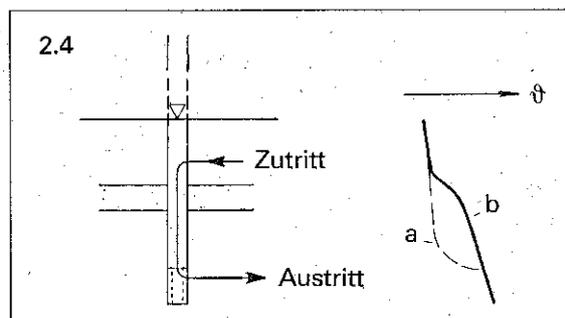
Temperaturprofil während des Sommers in **oberflächennahem** Grundwasser bei aufwärtsgerichteter Vertikalströmung (a) und bei abwärtsgerichteter (b)

Der Einfluß des jahreszeitlichen Temperaturganges im Grundwasser reicht bei nach oben gerichteter Vertikalströmung weniger tief als bei nach unten gerichteter. Im übrigen sind die Auswirkungen auf die Temperatur ähnlich wie bei 2.1, jedoch in der Regel weniger ausgeprägt.



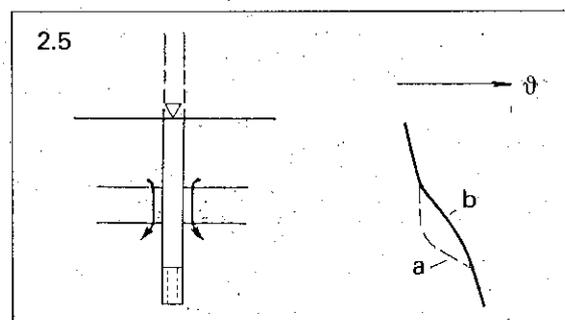
Temperaturprofil in **tiefen** Brunnen ohne Entnahme (a) und mit Entnahme (b)

Sofern das Grundwasser, das in den Brunnen eintritt, deutliche Temperaturunterschiede zum Wasser im Brunnen aufweist, sind aus der Größe des Temperaturgradienten während der Entnahme die Grundwasserzutrittsbereiche zu erkennen.



Temperaturprofil einer **tiefen** Grundwassermeßstelle mit Grundwasserzutritt im Vollwandrohr (a) und ohne (b)

Wie bei 2.1 werden die Temperaturen der Wassersäule zwischen Grundwasserzu- und -austrittsstelle durch die Grundwassertemperatur im Zutrittsbereich bestimmt. Der bei völliger Dichtigkeit in der Regel vorhandene stärkere Temperaturgradient in Höhe der Zwischenschicht zwischen den Grundwasserstockwerken ist nicht zu erkennen.



Temperaturprofil einer **tiefen** Grundwassermeßstelle bei defekter Abdichtung des Ringraumes (a) und bei wirksamer (b)

Bei einem Wasseraustausch zwischen zwei ungenügend gegeneinander abgedichteten Grundwasserstockwerken mit unterschiedlicher Temperatur und Druckpotential breitet sich das Wasser des Stockwerkes mit dem höheren Potential über den Abdichtungsbereich hinweg auf das andere Stockwerk aus und überträgt dabei die Temperatur.

Abb. 2 Schematische Darstellung einiger Temperaturprofile und deren Interpretation

es möglich, aus der Meßstelle gewonnene Wasserproben bestimmten Grundwassertiefen zuzuordnen (*Abb. 2.1 und 2.2*).

#### **Grundwasserzutritte in Brunnen**

Bei Entnahmebrunnen, die über eine sehr große Strecke verfiltert sind, strömt Grundwasser zu, das aufgrund der Geothermik unterschiedlich warm ist. Die Zuflüsse in den verschiedenen Tiefen und deren jeweilige Temperatur bestimmen die Mischtemperatur des aus dem Brunnen geförderten Wassers. Bereiche mit verstärkten Grundwasserzutritten machen sich im Temperaturlängsprofil des Brunnens durch stärkere Temperaturgradienten bemerkbar (*Abb. 2.3*). Sofern die Temperatur des zuströmenden Grundwassers bekannt ist, kann die Größe der einzelnen Grundwasserzutritte berechnet werden.

#### **Dichtigkeit von Verrohrungen und Ringraumabdichtungen**

Auf den nicht verfilterten Strecken von Verrohrungen kann, beispielsweise durch undichte Rohrverschraubung, Grundwasser in das Rohr einströmen und die Messungen, insbesondere der Grundwasserbeschaffenheit, verfälschen. Derartige Grundwasserzutritte verändern das Temperaturgefälle der Wassersäule im Rohr (*Abb. 2.4*). Ähnliche Auswirkungen haben undichte Ringraumabdichtungen (*Abb. 2.5*).

#### **Höhenlage von Zementabdichtungen**

Die beim Abbinden des Zementes entstehende Wärme macht sich durch Temperaturerhöhung in der entsprechenden Tiefe der Wassersäule bemerkbar. Nach der Zementierung durchgeführte Temperaturmessungen im Beobachtungsrohr lassen somit die Höhenlage der Zementabdichtung erkennen.

### 3 Grundwassertemperaturmeßstellen

Aufgrund der Gesetzmäßigkeiten der Wärmeausbreitung im Untergrund und der Aufgabenstellung muß im Einzelfall entschieden werden, ob vorhandene Grundwassermeßstellen zur Erfassung der Grundwassertemperatur geeignet und welche Fehler bei ihrer Verwendung zu erwarten oder ob gegebenenfalls spezielle Meßstellen erforderlich sind, die ausschließlich der Temperaturmessung dienen.

#### 3.1 Anforderungen an Grundwassertemperaturmeßstellen

Die Grundwassertemperaturmeßstelle muß die Temperatur des umgebenden Grundwassers bzw. Gesteins in verschiedener Tiefe genau wiedergeben. Diese Forderung ist theoretisch nur zu erfüllen, wenn Meßfühler im grundwassererfüllten Raum eingebettet sind. Hinreichend genaue Ergebnisse lassen sich unter bestimmten Bedingungen auch durch Messungen in Beobachtungsrohren erreichen. Allerdings ist darauf zu achten, daß in einer Grundwassermeßstelle einschließlich des umgebenden Filterraumes keine Ausgleichsströmungen auftreten; diese sind entweder rein hydraulisch bedingt oder gehen auf Dichteunterschiede innerhalb der Wassersäule zurück.

Die hydraulisch bedingten Vertikalströmungen, die zu Durchmischungen und somit zu Verfälschungen des Temperaturprofils in der Meßstelle führen, können verschiedene Ursachen haben:

- durchgehende oder abschnittsweise Verfilterung der Meßstelle, so daß im Bereich größerer Standrohrspiegelhöhe Grundwasser in das Rohr eintritt und im Bereich geringerer Standrohrspiegelhöhe wieder austritt (*Abb. 2.1*),
- undichte Rohrverbindungen, die zu ähnlichen Effekten führen (*Abb. 2.4*),
- Ausgleichsströmungen im Ringraum, wenn dieser bei unterschiedlichen Standrohrspiegelhöhen nicht ausreichend gedichtet wurde (*Abb. 2.5*).

Dichteströmungen können bei wassererfüllten offenen oder geschlossenen Rohren nur auftreten, wenn die Temperatur mit zunehmender Tiefe ansteigt, also wärmeres und somit spezifisch leichteres Wasser kälteres und daher schwereres Wasser unterschichtet. Die Dichteströmungen sind abhängig von:

- Temperaturgefälle
- Nennweite des Rohres
- kinematischer Viskosität bzw. Temperatur des Grundwassers
- Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials

Das kritische Temperaturgefälle (K/m), bei dessen Überschreitung es zu Vertikalströmungen kommt, ist in besonderem Maße von der Nennweite des Rohres und von der Wassertemperatur abhängig. Je kleiner der Rohrdurchmesser und die Temperaturdifferenz sind, desto größer wird das kritische Temperaturgefälle. Bei den üblichen Temperaturen des oberflächennahen Grundwassers zwischen 8 und 14° C liegt in wassergefüllten Rohren mit DN 50 das kritische Temperaturgefälle bei 0,1 K/m; deshalb sind Verfälschungen der Temperaturmessung im Rohr mit DN 50 in der Regel nicht zu befürchten. Bei Rohren mit DN 100 treten Dichteströmungen bereits bei weniger als 0,01 K/m auf (*Abb. 3*).

Bei Grundwassertemperaturmessungen bis zu einer Tiefe von ca. 10 m ist infolge des jährlichen Temperaturganges das Temperaturgefälle besonders ausgeprägt und die Meßwertverfälschung in den Jahreszeiten, in denen kälteres Wasser wärmeres überlagert, besonders groß, so daß auch bei Rohren mit DN 50 Verfälschungen auftreten können.

#### 3.2 Spezielle Grundwassertemperaturmeßstellen

Die speziell der Grundwassertemperaturmessung dienende Meßstelle besteht aus einem Stahl- oder Kunststoffrohr mit maximal DN 50. Die Filterstrecke sollte höchstens 1 m betragen. Um Vertikalströmungen im Ringraum zu unterbinden, sind gerammte Rohre gebohrt und im Ringraum verfüllten vorzuziehen. Bei größerer Tiefe muß aus technischen Gründen allerdings gebohrt werden. Temperaturmessungen im Sickerraum erfor-

dem ein geschlossenes Rohr, das mit Wasser gefüllt ist. Gegen Gefrieren kann das Wasser durch Zugabe von Frostschutzmittel geschützt werden; wegen möglicher Leckagen sollten jedoch nur unbedenkliche Mittel eingesetzt werden. Um eine Verfälschung der Meßwerte infolge atmosphärischer Einflüsse zu vermeiden, ist das obere Rohrende zu isolieren.

Grundwassertemperaturmeßstellen mit verloren eingebauten Meßfühlern, die gegebenenfalls mit geeignetem geringdurchlässigem Dämmungsmaterial (Ton) voneinander getrennt werden müssen, haben den Nachteil, daß diese nicht ausgetauscht, nicht überprüft und in ihrer Tiefenlage nicht mehr verändert werden können.

### 3.3 Eignung vorhandener Grundwassermeßstellen

Sieht man von besonderen Fragestellungen ab, für die spezielle Temperaturmeßstellen einzurichten sind, wird man für die Temperaturmessung im allgemeinen auf vorhandene Meßstellen zurückgreifen müssen. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob Mehrzweckmeßstellen auch die angestrebte unverfälschte Erfassung der Grundwassertemperatur gewährleisten (Abb. 3). Meßstellen mit  $DN > 50$  sind von vornherein nur dann als ungeeignet auszuschließen, wenn sie durchgehend oder mehrfach verfiltert sind. Vielfach wird es wegen der hohen Kosten für spezielle Temperaturmeßstellen notwendig sein, auch vorhandene Meßstellen mit größerer Nennweite für die Temperaturmessung heranzuziehen und die dabei durch Dichteströmungen auftretenden Meßfehler in Kauf zu nehmen.

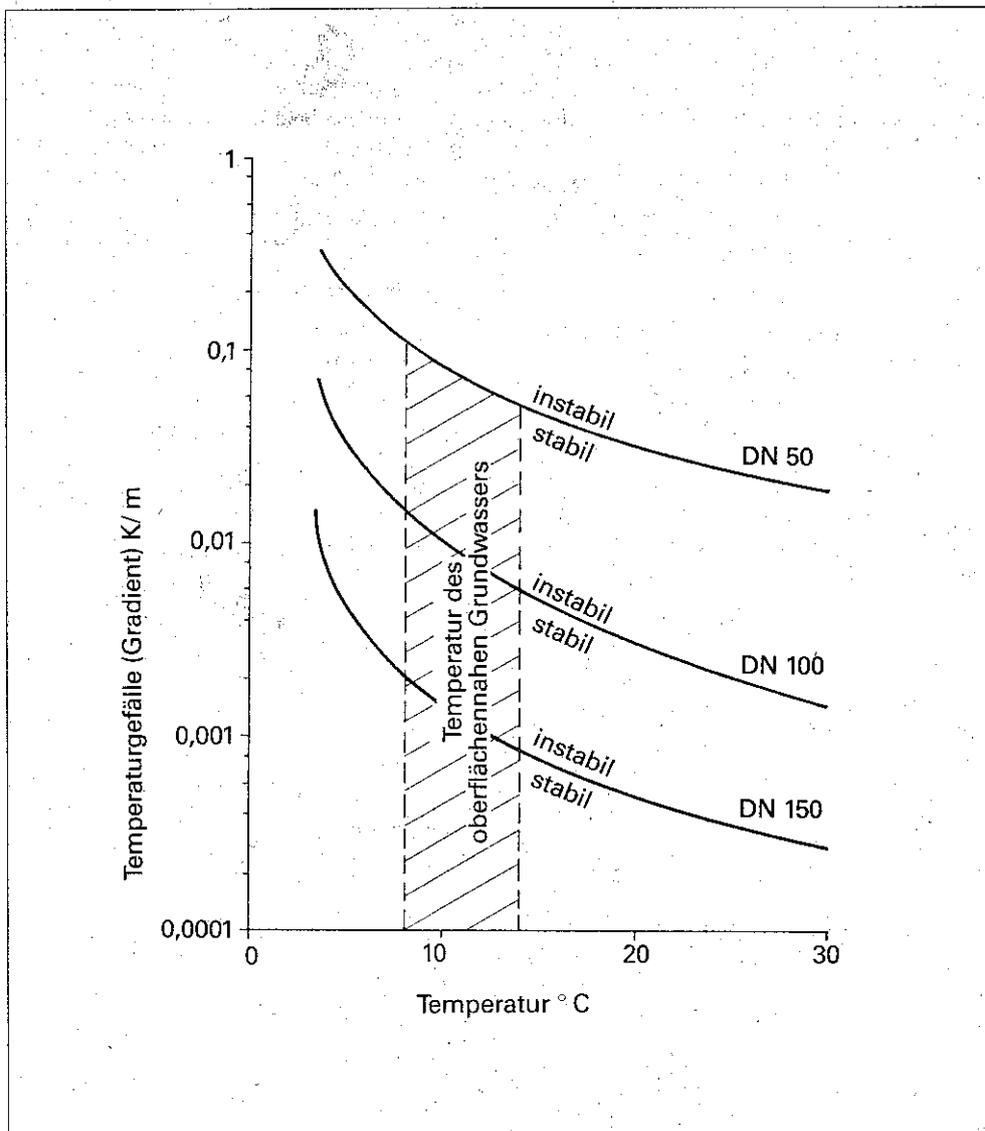


Abb. 3 Stabilität der Temperaturschichtung in Grundwassermeßstellen

## 4 Meßgeräte

Zum Messen der Temperatur kann grundsätzlich jede temperaturabhängige, meßbare physikalische Eigenschaft verwendet werden. Entsprechend vielfältig sind die Meßprinzipien, die den Geräten zugrunde liegen. Die schnelle Entwicklung der Gerätetechnik und der sich daraus ergebende häufige Wandel im Geräteangebot lassen eine endgültige Festlegung der für den Grundwassermeßdienst geeigneten Temperaturmeßgeräte nicht zu. Es ist daher zum Zeitpunkt der Gerätebeschaffung zu prüfen, ob die angebotenen Geräte den Anforderungen im Grundwassermeßdienst genügen. Diese Anforderungen sind bei tragbaren Geräten für Einzelmessungen und bei stationären Geräten für kontinuierliche Messungen teilweise verschieden oder unterschiedlich gewichtet.

### 4.1 Anforderungen an die Geräte

Bei der Auswahl der Meßgeräte ist folgendes zu beachten:

- Die Geräte müssen die Erfassung des Meßwertes erlauben, während sich der Fühler in der gewünschten Tiefe der Wassersäule befindet.
- Im Temperaturbereich zwischen 0 und 40° C darf das Meßgerät nicht mehr als 0,2 K von der wirklichen Temperatur abweichen. Die Meßwerte müssen mindesten auf 0,1 K genau angezeigt werden. Die Langzeitdrift (Alterung) der gesamten Meßkette darf nicht über 0,1 K/a liegen.
- Die Geräte sollen bedienungs- und wartungsfreundlich und so robust sein, daß sie speziell für den Einsatz im Gelände geeignet sind. Sie müssen einen Spritzwasserschutz besitzen und bei Umgebungstemperaturen zwischen -20 und +60° C sowie bei Betauung funktionsfähig sein. Geräte für den stationären Einsatz sollen im oder auf dem Beobachtungsrohr montiert werden können; dabei ist auf ein stabiles Gehäuse zu achten. Tragbare Geräte für Einzelmessungen sollten leicht und gut transportfähig sein.
- Das Meßprinzip und seine technische Ausführung müssen sicherstellen, daß durch die Kabellänge die Meßgenauigkeit nicht beeinflußt wird.
- Bei Meßgeräten mit Digitalanzeige muß diese auch bei grellem Licht gut ablesbar sein.
- Bei tragbaren Geräten für Einzelmessungen müssen die Meßfühler so ausgebildet sein, daß sie beim Durchfahren des Beobachtungsrohres nicht hängenbleiben und keine stärkeren Vermischungen des Wassers hervorrufen können.
- Bei Meßgeräten für Einzelmessungen muß am Meßkabel der Abstich zentimetergenau ablesbar sein. Das Kabel muß gegen mechanische Beanspruchung widerstandsfähig sein und darf an der Wandung des Beobachtungsrohres nicht haften bleiben. Damit der Zeitaufwand bei Einzelmessungen nicht zu groß wird, sollen die Ansprechzeiten  $t_{063} \leq 1$  s und  $t_{099} \leq 5$  s betragen. (Die Ansprechzeiten  $t_{063}$  und  $t_{099}$  sind die Zeiträume, die das Gerät benötigt, um 63 bzw. 99% der Temperaturänderungsspanne zu erfassen.)
- Die Meßgeräte sollen netzunabhängig betrieben werden können. Geräte für den stationären Einsatz sollen ohne Austausch der Stromquelle Betriebszeiten von mindestens 3 Monaten erlauben.
- Bei Geräten für den stationären Einsatz muß der Anschluß mehrerer Temperaturfühler möglich sein.

### 4.2 Meßprinzipien

Die Forderung nach Meßbarkeit der Temperatur in jeder beliebigen Tiefe der Wassersäule im Beobachtungsrohr läßt sich durch Temperaturmeßgeräte mit elektrisch arbeitenden Fühlern erfüllen. Die hierbei üblicherweise angewandten Meßprinzipien sind:

- Messung des temperaturabhängigen elektrischen Widerstandes von Metallen (z. B. PT 100) und
- Messung des temperaturabhängigen elektrischen Widerstandes von Halbleitern (NTC)

Die NTC haben gegenüber dem PT 100 den Vorteil, daß sich ihr elektrischer Widerstand etwa 100mal stärker in Abhängigkeit von der Temperatur ändert. Dadurch werden Temperatureinflüsse auf das Leitungskabel vernachlässigbar. Außerdem besitzen die NTC eine

geringere Stromaufnahme und sind daher für batteriebetriebene Geräte besser geeignet. Ihre Genauigkeit entspricht etwa dem des PT 100,  $\frac{1}{2}$  DIN 43 760. Beim PT 100 muß der Einfluß der Umgebungstemperatur auf das Verbindungskabel und damit auf das Meßsignal durch spezielle Schaltungstechnik der Übertragungsverfahren ausgeschaltet werden.

Eine Kalibrierung der Meßgeräte ist unabhängig vom verwendeten Meßfühler regelmäßig erforderlich, weil die Elektronik des Meßgerätes ihr Verhalten mit der Zeit ändern kann. Flüssigkeitsthermometer, z. B. in Form des Schöpfthermometers, mit denen nur die Temperatur an der Wasseroberfläche ausreichend genau ermittelt werden kann, sind für Messungen im Beobachtungsrohr nicht geeignet.

### 4.3 Tragbare Meßgeräte für Einzelmessungen

Als besonders zweckmäßig haben sich Kabellichtlote mit Temperatursonden erwiesen. Diese Geräte ermöglichen die Messung des Wasserstandes und der Temperatur. Das Meßband besitzt eine Zentimetereinteilung und wird in Längen bis zu 500 Metern angeboten. Einige Geräte sind zur Darstellung der Temperaturwerte mit gut ablesbaren Digital-Anzeigen ausgestattet, bei anderen Geräten kann der Temperaturwert durch Drehen einer Skalenscheibe ermittelt werden.

Die Ablesegenauigkeit beträgt bei diesen Geräten teils 0,1, teils 0,01 K; die Meßgenauigkeit ist aber nicht besser als 0,1 K.

### 4.4 Meßgeräte für kontinuierliche Messungen

Die in Kapitel 4.1 erhobene Forderung, daß das Gerät in der Lage sein muß, die Temperaturen in verschiedenen Tiefen gleichzeitig zu messen, und die Forderung nach geringem Stromverbrauch lassen sich am besten durch Geräte mit digitaler Datenerfassung auf Halbleiterspeichern (Datensammler) erfüllen. Damit neben Temperaturfühlern auch andere Meßgeräte, wie z. B. Druckmeßgeräte und Leitfähigkeitsmeßgeräte, angeschlossen werden können, sollte zwischen Meßgerät und Datensammler eine genormte Schnittstelle (z. B. 0 – 20 mA, 4 – 20 mA, 0 – 10 V) vorhanden sein.

Geräte mit analoger Registrierung erlauben im allgemeinen entweder nur Einpunktmessungen mit wählbaren Zeitschritten oder haben einen Strombedarf, der keinen 3-monatigen, netzunabhängigen Betrieb ohne Austausch der Stromquelle zuläßt.

### 4.5 Kalibrieren der Meßgeräte

Um die geforderte Meßgenauigkeit sicherzustellen, sind die Geräte mindestens einmal jährlich zu kalibrieren. Die Kalibrierung erfolgt durch Vergleichsmessung mit einem geeichten Referenztemperaturmeßgerät im Thermostaten. Kalibriert wird der Temperaturwert 0° C (Nullpunkt) und ein oder mehrere weitere Temperaturwerte, wobei ein Temperaturwert an der oberen Grenze des Meßbereiches liegen soll (Steigung).

An Stelle des Thermostaten kann ersatzweise eine Thermosflasche verwendet werden, die für den 0° C-Temperaturpunkt mit einem Eis-Wasser-Gemisch gefüllt wird. Für die Vergleichsmessung beim zweiten Temperaturwert wird die Thermosflasche mit Wasser gefüllt, dessen Temperatur etwa der Umgebungstemperatur entspricht. Um Kalibrierfehler durch Temperaturunterschiede des Wassers in der Thermosflasche zu vermeiden, muß die Kalibriermessung unter dauerndem Umrühren erfolgen.

Als Referenzmeßgerät sind geeichte Laborthermometer nach DIN 12 770, 12 775, 12 778 und 12 781 oder elektrische Präzisionsmeßgeräte geeignet. Zur Untersuchung, ob die Abweichung zwischen den Geräten auf Veränderung im Meßfühler oder in der Elektronik des Meßgerätes zurückzuführen ist, wird statt des Meßfühlers ein Temperatursimulator angeschlossen.

Wenn die Kalibriermessung Abweichungen von mehr als 0,1 K ergibt, sind die Meßgeräte zu korrigieren oder von der Herstellerfirma korrigieren zu lassen.

## 5 Messen und Meßwerterfassung

Anders als beim Grundwasserstand werden Meßtiefe und Meßturnus bei der Temperaturmessung in einer Grundwassermeßstelle von Fall zu Fall unterschiedlich sein, denn die Temperaturmeßpunkte sind in Abhängigkeit von der räumlichen und der Meßturnus von der zeitlichen Änderung der Temperatur zu wählen. Meßtiefen und Meßturnus sind von der zuständigen Dienststelle vorzugeben und auf dem Erfassungsbeleg einzutragen.

### 5.1 Temperaturmeßpunkte

Die Temperatur des Grundwassers ist immer in einem Vertikalprofil zu erfassen. Das bedeutet, daß die Meßpunkte, an denen die Temperatur gemessen wird, so über die Tiefe der Meßstelle zu verteilen sind, daß der tatsächliche Temperaturverlauf des Profils durch die einzelnen Meßpunkte hinreichend genau erfaßt wird. Als Bezugspunkt für die Temperaturmeßpunkte ist der Meßpunkt der Meßstelle (z. B. Rohroberkante) maßgebend.

Im allgemeinen ist das vertikale Temperaturprofil des Grundwassers durch einen stetigen Verlauf gekennzeichnet. Die jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen und die dadurch hervorgerufenen Temperaturgradienten werden mit zunehmender Tiefe geringer (Abb. 4). Dementsprechend können die Meßpunktabstände mit der Tiefe größer gewählt werden. Sofern sich bei einer ersten, zweckmäßigerweise in Meterabständen über die Tiefe durchgeführten Messung keine ungewöhnlichen Temperatursprünge zeigen, können folgende Werte als Anhaltspunkte dienen:

Meßtiefe unter Gelände	Abstand der Temperaturmeßpunkte
< 10 m	1 m
10 – 40 m	2 m
> 40 m	10 m

Im oberflächennahen Bereich kann in besonderen Fällen der Abstand der Temperaturmeßpunkte auch 0,5 m betragen. Bei Grundwasserständen mit sehr geringem Flurabstand kann über das Beobachtungsrohr die Grundwassertemperatur an der Grundwasseroberfläche beeinflusst sein.

Tiefenkontinuierliche Temperaturprofilmessungen sind nur als einmalige Messungen etwa zur Überprüfung von Meßstellen oder bei Neueinrichtung von tiefen Meßstellen erforderlich.

In vertikal durchströmten Bohrlöchern können dort, wo das Wasser in den Grundwasserleiter zurückfließt, Temperatursprünge entstehen (Abb. 2.1). In diesem Fall sind kontinuierliche Messungen über die Tiefe bzw. sehr geringe Meßpunktabstände notwendig.

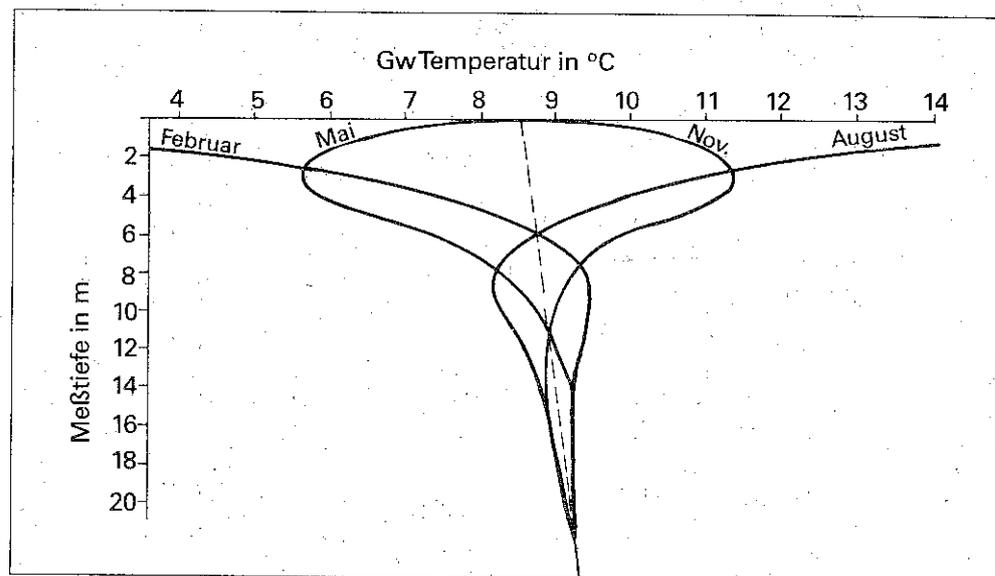


Abb. 4 Temperaturprofile im Untergrund zu verschiedenen Zeitpunkten des Jahres

## 5.2 Meßturnus

Der Meßturnus ist so festzulegen, daß zwischen zwei Messungen keine größeren Temperaturschwankungen zu erwarten sind. Üblicherweise erfolgt die Messung in Anlehnung an den Meßturnus bei der Beobachtung des Grundwasserstandes.

Sofern die Boden- und Grundwassertemperaturen allein oder überwiegend durch den Temperaturgang der Erdoberfläche bestimmt werden, kann für die Festlegung des Meßturnus das nachfolgende Diagramm (Abb. 5) als Anhalt dienen.

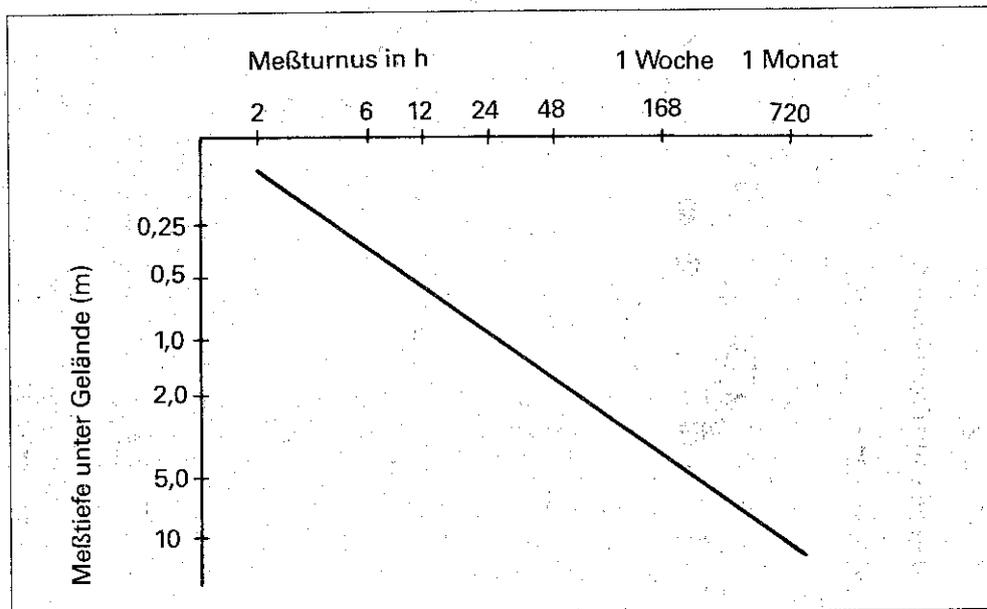


Abb. 5 Abhängigkeit des Meßturnus von der Meßtiefe unter Gelände

## 5.3 Meßvorgang

Die Meßgenauigkeit hängt nicht nur von der Empfindlichkeit des Meßgerätes, sondern in erheblichem Maße auch von seiner richtigen Handhabung ab.

Je nach der Art des verwendeten Meßfühlers ist eine mehr oder weniger lange Zeitspanne erforderlich, bis das Meßgerät einen gleichbleibenden Wert anzeigt. Die entsprechenden Angaben des Herstellers sind zu beachten. Die Meßgeräte sollen nicht extremen Außentemperaturen und sehr hoher Luftfeuchtigkeit ausgesetzt werden. Bei größeren Temperaturdifferenzen zwischen Meßfühler und Grundwasser können längere Wartezeiten bis zum Temperatúrausgleich erforderlich sein.

Alle Messungen sind vom Meßpunkt aus vorzunehmen. Vor der Temperaturmessung ist der Grundwasserstand (Abstich) zu messen und in den Erfassungsbeleg einzutragen. Dann erfolgt die Messung der Temperatur an der Grundwasseroberfläche (1. Meßpunkt) durch Eintauchen (ca. 20 cm) des Meßfühlers. Danach ist der Meßfühler nacheinander auf die jeweiligen Temperaturmeßpunkte herabzulassen. Die Temperaturmeßwerte sind auf 0,1 K genau abzulesen und in den Erfassungsbeleg einzutragen. Eine Messung auf dem Rückweg, d. h. beim Hochziehen des Meßfühlers, ist wegen der Durchmischung des im Rohr befindlichen Grundwassers und der damit verbundenen Verfälschung der Temperaturverhältnisse nicht vorzunehmen. Auch Wiederholungsmessungen sind bei Beobachtungsrohren mit kleineren Rohrdurchmessern (DN 50) aus den genannten Gründen problematisch und deshalb nicht zu empfehlen.

#### **5.4 Meßwerterfassung**

Im Erfassungsbeleg (Anlage – Blatt 1) sind von der zuständigen Dienststelle die Meßstellenummer, die Bezeichnung der Meßstelle sowie die jeweiligen Meßtiefen für die Temperaturmessung einzutragen. Vom Beobachter sind die Meßwerte des Grundwasserstandes, der Temperatur, der tatsächliche Meßzeitpunkt und unter „Hinweise“ besondere Vorkommnisse zu vermerken. Der Beleg ist vom Beobachter zu unterschreiben.

#### **5.5 Einweisung und Betreuung des Beobachters**

Die Erfassung der Grundwassertemperatur verlangt sowohl im Hinblick auf die Handhabung des Meßgerätes als auch hinsichtlich der Messung selbst besondere Sorgfalt. Deshalb ist es notwendig, geeignete und zuverlässige Beobachter zu gewinnen. Sie sind von der zuständigen Dienststelle umfassend in Ihre Aufgaben einzuweisen (Anlage – Blatt 2) und auf die Einhaltung der Beobachteranweisung zu verpflichten (Dienstanweisung oder Vertrag).

## 6. Prüfung und Aufbereitung

Durch Prüfung der erfaßten Daten und Meßergebnisse sollen die Vollständigkeit und Richtigkeit der Stammdaten und Eintragungen im Erfassungsbeleg festgestellt sowie die formale und fachliche Plausibilität der Meßwerte kontrolliert werden. Die Datenaufbereitung umfaßt die Verarbeitung der geprüften Daten als Grundlage der Datenauswertung.

### 6.1 Prüfung

Die Prüfung von Temperaturmeßdaten setzt die Kenntnis von Einwirkungen auf den Wärmehaushalt des Grundwassers voraus. Daher sollten die Meßdaten möglichst zeitnah zur Messung geprüft werden.

Bei der formalen Prüfung der Meßwerte ist die Vollständigkeit der Eintragungen auf dem Erfassungsbeleg festzustellen. Die sachliche Prüfung der Temperaturmessung beinhaltet die Durchsicht der Meßergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität.

Da sich die Grundwassertemperaturen in großer Tiefe nur langsam und stetig ändern, dürfen die Meßwerte in diesem Tiefenbereich nicht stark von den Meßwerten vorangegangener Messungen an derselben Meßstelle abweichen. Weichen die Meßwerte von Meßtermin zu Meßtermin erheblich voneinander ab, so ist zunächst zu prüfen, ob das Meßgerät falsch kalibriert war. Dies kann durch eine Vergleichsmessung mit einem zweiten Gerät oder durch erneute Kalibrierung des Gerätes festgestellt werden. Die Meßergebnisse können entsprechend den Abweichungen korrigiert werden.

Wenn Zweifel an den Meßdaten nicht vollständig beseitigt werden können, ist zu prüfen, ob sich Mängel an der Meßstelle eingestellt haben. Insbesondere ist auf die mögliche Ausbildung von Vertikal- und Dichteströmungen zu achten (Kap. 2 und 3).

Werden auf dem Erfassungsbeleg eingetragene Meßwerte berichtigt, so müssen die ursprünglichen Werte noch lesbar bleiben. Die Hinweise des Beobachters sind bei der anschließenden Aufbereitung der Meßdaten zu verwerten und erforderliche Maßnahmen, wie z. B. die Überprüfung von Meßgeräten und Meßstellen, unverzüglich einzuleiten.

### 6.2 Aufbereitung

Die Aufbereitung stellt die Daten in übersichtlicher Form für die Auswertung bereit. Sie umfaßt listenförmige Zusammenstellungen und graphische Darstellungen der überprüften Meßergebnisse.

#### Temperaturmeßliste

Anders als beim Grundwasserstand können die geprüften Erfassungsbelege als listenförmige Zusammenstellung dienen. Bei der Aufbereitung der Daten mit Hilfe der EDV können entsprechende Listen erstellt werden.

Wegen der größeren Übersichtlichkeit sollte das Schwergewicht auf die zeichnerische Darstellung in Form von Temperaturprofilen und Temperaturganglinien gelegt werden.

#### Temperaturprofile

Temperaturprofile zeigen Temperaturveränderungen in den Beobachtungsrohren mit der Tiefe. Die Meßwerte werden in Abhängigkeit von der Meßtiefe eingetragen. Dabei eignet sich für die Temperaturmeßwerte der Maßstab  $1 \text{ cm} \triangleq 1^\circ\text{C}$ .

Für den Tiefenmaßstab werden je nach Tiefe der Meßstelle folgende Maßstäbe empfohlen:

< 20 m Tiefe	$1 \text{ cm} \triangleq 1 \text{ m}$
20 – 100 m Tiefe	$1 \text{ cm} \triangleq 5 \text{ m}$
> 100 m Tiefe	$1 \text{ cm} \triangleq 10 \text{ m}$

Die Ausbildung der Temperaturprofile steht unter anderem in engem Zusammenhang mit dem geologischen Aufbau des Grundwasserleiters. Daher sollten neben die Temperaturprofile maßstabsgleiche geologische Profile und der Meßstellenausbau gezeichnet werden. Weiterhin sollte der Grundwasserstand ersichtlich sein.

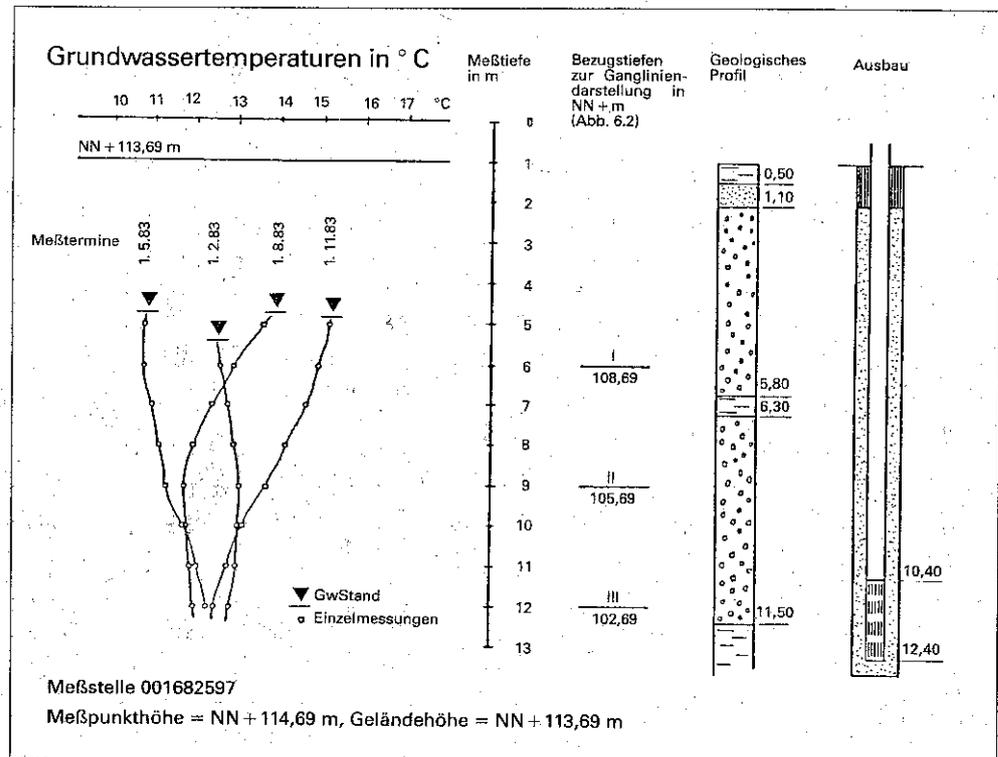


Abb. 6.1 Temperaturprofil

### Temperaturganglinien

Bei Temperaturganglinien wird der zeitliche Verlauf der Temperatur in bestimmten Tiefen dargestellt. Für die zeichnerische Darstellung der Temperaturganglinien können die in der Grundwasserrichtlinie 1/82 abgebildeten Formblätter zur Wasserstandsdarstellung verwendet werden; anstelle der Wasserstände sind auf der Ordinate die Temperaturen im Maßstab 1 cm  $\cong$  1 °C aufzutragen.

In der Abb. 6.2 sind die Temperaturganglinien einer Meßstelle in drei verschiedenen Tiefen dargestellt. Es handelt sich um dieselbe Meßstelle, für die in der Abb. 6.1 das Temperaturprofil gezeigt wurde. Die drei zu den Temperaturganglinien gehörigen Tiefenordinaten sind in der Abb. 6.1 angegeben.

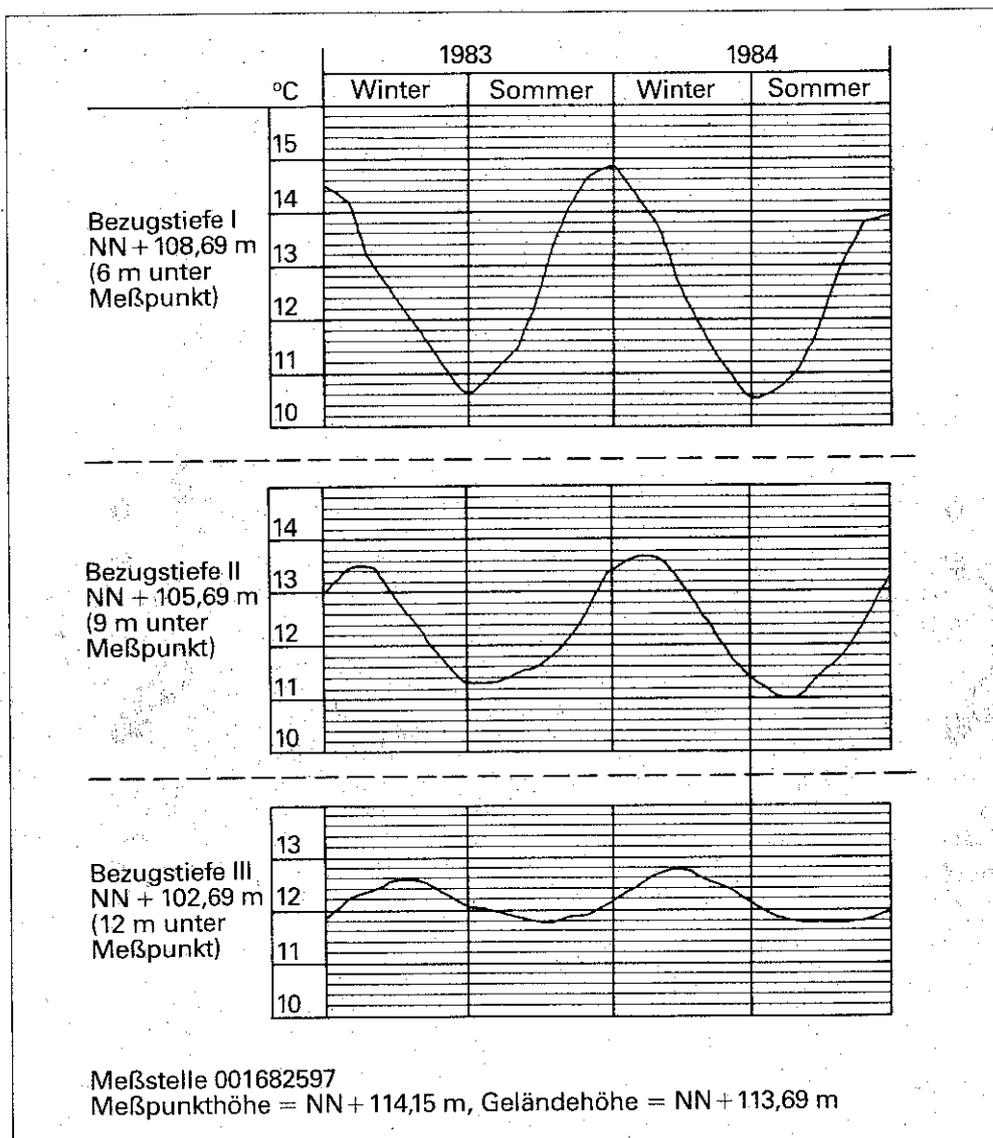


Abb. 6.2 Temperaturganglinien

## 7 Auswertung

Die aufbereiteten Grundwassertemperaturmeßwerte bilden die Ausgangsbasis für Auswertungen. Während in der Regel alle Meßdaten aufbereitet werden, beschränken sich Auswertungen oft nur auf Datenteilmengen, die entsprechend den jeweiligen Fragestellungen ausgewählt werden. Da die Grundwassertemperaturen zeit- und ortsabhängig sind, werden Auswertungen sowohl die zeitlichen Veränderungen als auch die räumlichen Zusammenhänge zu erfassen versuchen. Im folgenden wird zwischen punktueller Auswertung zeitlich veränderlicher Größen und flächenhafter Auswertung zur Darstellung der räumlichen Zusammenhänge unterschieden.

### 7.1 Punktuelle Auswertung, Isoplethen

Die einfachste Auswertung basiert auf Daten, die in Form von Ganglinien und Profilen aufbereitet wurden. Die Profile verdeutlichen die Temperaturänderung zur Tiefe hin für einen bestimmten Zeitpunkt. Sie sind stets dem geologischen Profil gegenüberzustellen.

Die Ganglinien lassen den Temperaturverlauf in bestimmten Tiefen erkennen. Sie eignen sich zur Verdeutlichung der Wärmeausbreitung im Grundwasser nach Wärme- oder Kälteeinleitungen. So kann an Meßstellen, die auf einer Stromlinie liegen, aus dem zeitlichen Versatz der Temperaturspitzen und der Entfernung die Geschwindigkeit der Wärmeausbreitung ermittelt werden. Diese ist nicht identisch mit der Abstandsgeschwindigkeit (Kap. 1.2).

Die Isoplethen sind Linien gleicher Temperatur. Sie zeigen für eine bestimmte Meßstelle, wie sich die Temperaturen mit der Zeit und der Tiefe ändern. Zur Konstruktion der Isoplethen werden die Mehrpunktmessungen – wie in Abb. 7.1 für die Monate November und Dezember 1983 beispielhaft geschehen – entsprechend der zeitlichen Aufeinanderfolge nebeneinander aufgetragen. Der Verlauf der Isoplethen wird durch Interpolation zwischen den benachbarten Temperaturwerten und plausible Verbindung der so erhaltenen Punkte ganzzahliger Temperaturwerte gewonnen.

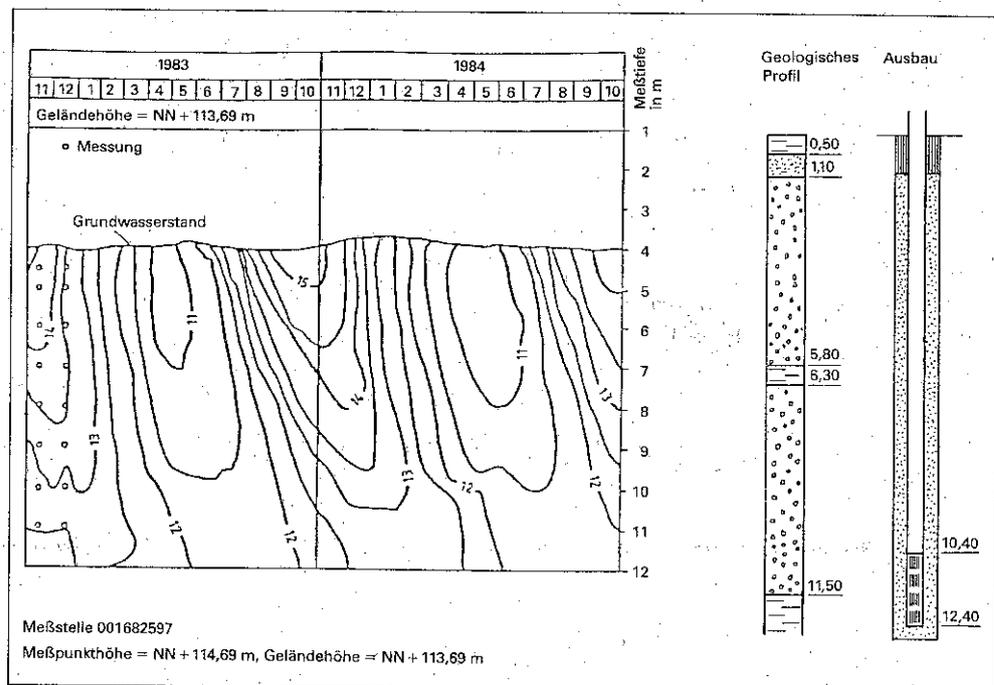


Abb. 7.1 Isoplethen

Die Isolethendarstellung eignet sich wie Temperaturprofile und Temperaturganglinien, um zeitlich stark wechselnde Beeinflussungen des Wärmehaushalts im Grundwasser zu verdeutlichen und um die Zeitpunkte von Temperaturbeeinflussungen herauszuarbeiten.

Isolethenpläne beinhalten und verdichten die Aussagen von Temperaturprofilen und Temperaturganglinien (Abb. 7.2).

Den Isolethendarstellungen sind die geologischen Profile und die Ausbaupläne der Meßstellen zuzuordnen. In die Isolethendarstellungen sind die Grundwasserstandsganglinien einzutragen, um Zeiten des durch erhöhte Grundwasserneubildung verursachten Grundwasseranstiegs mit dem häufig damit einhergehenden Wärme- oder Kälteeintrag feststellen zu können.

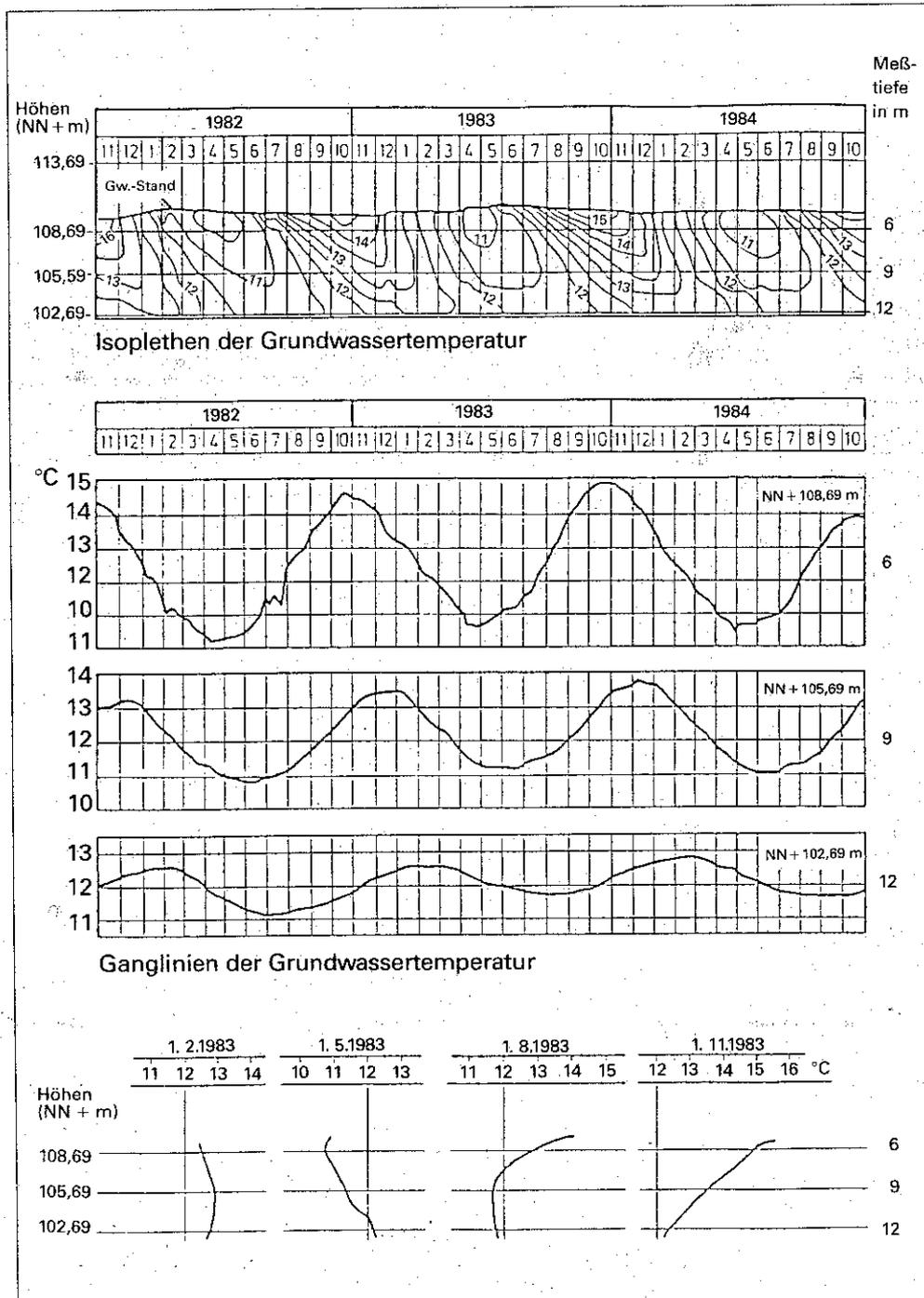


Abb. 7.2 Grundwassertemperaturen an der Meßstelle 001682597

## 7.2 Flächenhafte Auswertung, Temperaturgleichen

Temperaturgleichen können für horizontale und vertikale Ebenen dargestellt werden:

- Horizontale Auswertungen zeigen, wie sich zu einem Zeitpunkt oder im Mittel während eines Zeitraumes die Temperaturen auf bestimmten Flächen, in einer bestimmten Tiefe unter der Gelände- oder der Grundwasseroberfläche oder über hydrogeologischen Trennflächen (Grundwassersohle) verteilen.
- Vertikale Auswertungen stellen die Temperaturverteilung in vertikalen Schnitten, z. B. längs einer Meßstellenreihe, dar.

Durch Temperaturgleichenpläne für verschiedene Zeitpunkte können Veränderungen von Temperaturanomalien dargestellt werden (*Abb. 7.4*).

Neben der Darstellung in Form von Temperaturgleichen haben sich besonders wegen der Schwierigkeit der Interpolation zwischen den verschiedenen Meßpunkten auch andere Darstellungsformen bewährt, wie beispielsweise Farbsymbole oder Kreise mit verschiedenem Durchmesser.

### Horizontale Temperaturgleichen

Die Konstruktion horizontaler Temperaturgleichen bietet sich an, wenn die flächenhaften Auswirkungen von Temperaturbeeinflussungen des Grundwassers beispielsweise durch Kühlwassereinleitungen, durch Wärmepumpen, Besiedlung oder Aufsteigen warmen Tiefengrundwassers dargestellt werden sollen.

Die Temperaturgleichen sind möglichst für Zeitpunkte zu zeichnen, an denen sich die Temperaturen in den untersuchten Tiefen nicht kurzzeitig infolge intensiver Niederschläge, infiltrierten Hochwassers usw. ändern. Zur Beurteilung der Temperaturgleichen ist es notwendig, die für die Konstruktion herangezogenen Meßstellen mit Angabe der gemessenen Temperaturen und der Meßtiefe in die Karte einzutragen. Neben dem geologischen Profil ist auch der Ausbau der Meßstelle von Bedeutung.

Sofern die Meßtiefe nicht zufällig mit der Tiefe übereinstimmt, für die der Temperaturgleichen gezeichnet werden soll, wird der für die Konstruktion der Gleichen maßgebende Temperaturwert durch lineare Interpolation ermittelt.

Bei der Konstruktion der Gleichen im Bereich von Temperaturanomalien sind die Wärmeausbreitungsvorgänge zu berücksichtigen. Durch lineare Interpolation kann eine zu große Ausbreitung vorgetäuscht werden.

### Vertikale Temperaturgleichen

Temperaturgleichen in vertikalen Schnitten gestatten eine gute Übersicht über den Zusammenhang zwischen der Ausbildung der Temperaturverteilung und der hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters.

Bei der Konstruktion der Temperaturgleichen liefern die rein rechnerischen Ergebnisse der linearen Interpolation lediglich einen Anhalt. In stärkerem Maß als bei den horizontalen Temperaturgleichen sind die speziellen hydraulischen Verhältnisse der Grundwasserleiter sowie die ggfs. vorliegenden Beeinflussungen des Wärmehaushalts über Erfahrungsansätze zu beachten.

In die Temperaturgleichenpläne sind die Geländeoberfläche einschließlich der oberirdischen Gewässer, die Grundwasseroberfläche und der geologische Aufbau einzuzichnen. Außerdem sind alle Grundwassermeßstellen darzustellen und zu bezeichnen, die zur Konstruktion der Pläne herangezogen wurden. Orte künstlicher Beeinflussung der Grundwassertemperatur sind kenntlich zu machen.

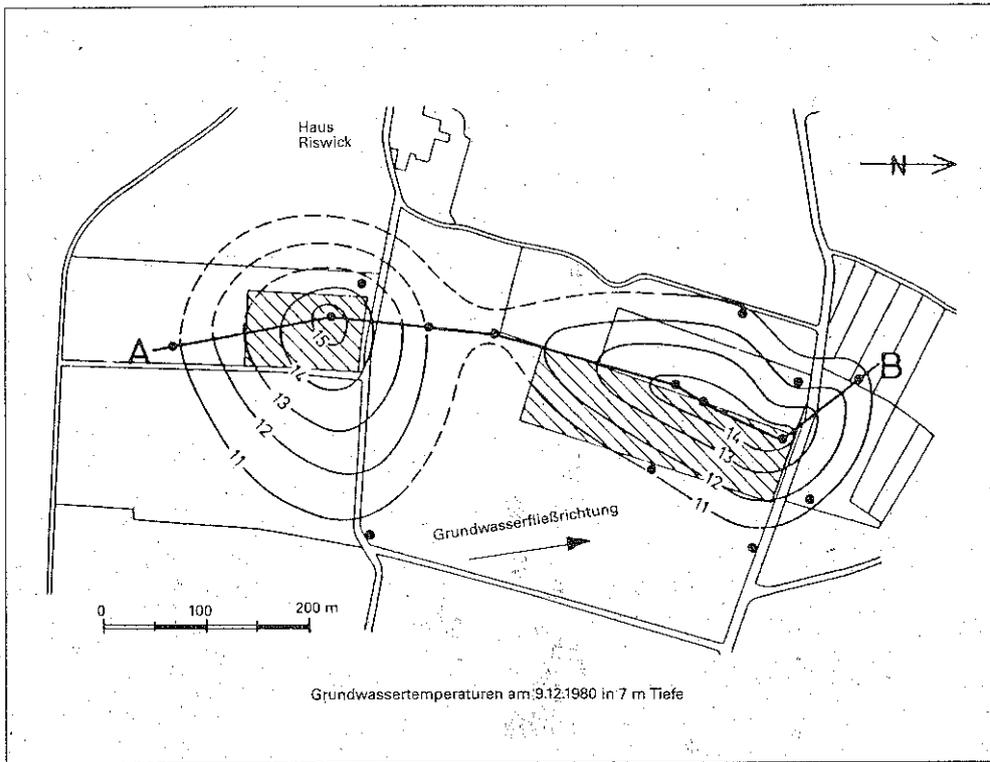


Abb. 7.3 Horizontale Temperaturgleichen

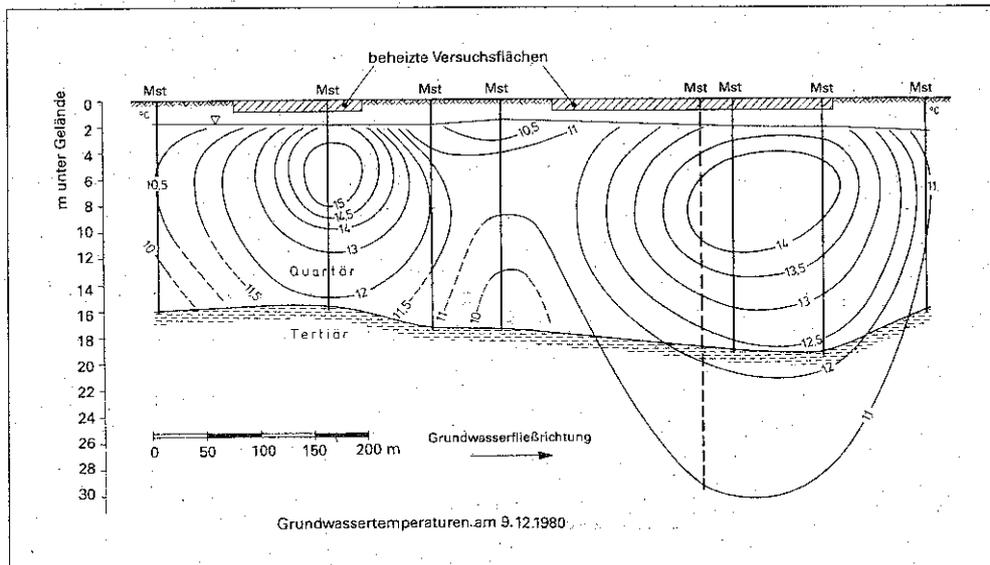


Abb. 7.4 Vertikale Temperaturgleichen

## **8. Aufbewahrung und Sicherung**

Die Aufbewahrung und Sicherung der mit der Temperaturmessung verbundenen Daten erfolgt entsprechend den Regelungen der Grundrichtlinie 1/82.

## Richtlinien und Normen

Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 1 – Grundwasserstand 1982  
Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

Grundwasser, Richtlinien für die Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung  
Kuratorium für Kulturbauwesen, herausgegeben von der Arbeitsgruppe für elektronische Datenverarbeitung in der Wasserwirtschaft – Unterausschuß Gewässerkunde –, Dezember 1972

Empfehlungen zum Aufbau wasserwirtschaftlicher Datenbanken  
Heft 105/1977

Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen e. V. (KWK)  
Deutscher Verband für Wasserwirtschaft e. V. (DVWW)

LAWA – Arbeitsblatt Pumpversuche in Porengrundwasserleitern, 1979

Empfehlungen zu Umfang, Inhalt und Genauigkeitsanforderungen bei chemischen Grundwasseruntersuchungen

Heft 111/1979

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK)

Entnahme von Proben für hydrogeologische Grundwasseruntersuchungen  
DVWK – Regeln zur Wasserwirtschaft Nr. 203/32

DVGW – Regelwerk, Arbeitsblatt-W 111. Technische Regeln für die Ausführung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung, Mai 1975

DVGW – Regelwerk, Arbeitsblatt-W 115. Bohrungen bei der Wassererschließung, Febr. 1977

	Ausgabedatum
DIN 1304 Allgemeine Formelzeichen	2.78
DIN 1333 Zahlenangaben	
Teil 1, Dezimalschreibweisen	2.72
Teil 2, Runden	2.72
DIN 1341 Wärmeübertragung; Begriffe, Kenngrößen	10.86
DIN 1345 Thermodynamik; Formeln, Zeichen, Einheiten	9.75
DIN 2425 Planwerke für die Versorgungswirtschaft, die Wasserwirtschaft und für Fernleitungen	
Teil 5, Karten und Pläne der Wasserwirtschaft	10.83
DIN 4021 Baugrund; Erkundung durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben	
Teil 1, Aufschlüsse im Boden	7.71
Teil 2, Aufschlüsse im Fels	2.76
Teil 3, Aufschluß der Wasserverhältnisse	8.76
DIN 4022 Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Bodenarten und Fels	
Teil 1, Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	11.69
Teil 2, Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein)	3.81
Teil 3, Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein)	5.82
DIN 4023 Baugrund und Wasserbohrungen; Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse	9.75
DIN 4922 Stahlfilterrohre für Bohrbrunnen	
Teil 1, Schlitzbrückenlochung und Laschenverbindung	2.78
Teil 2, Gewindeverbindung DN 100 bis DN 500	4.81
Teil 3, Flanschverbindung, NW 500 bis NW 1000	12.75

DIN 4924 Filtersande und Filterkiese für Brunnenfilter	2.75
DIN 4925 Kunststoff-Filterrohe aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC hart, PVC-U) für Bohrbrunnen, mit Querschlitzen und Gewindeverbindung	
Teil 1, DN 40 bis DN 100	9.81
Teil 2, DN 125 bis DN 200	9.81
Teil 3, DN 250 bis DN 400	9.81
DIN 4049 Hydrologie	
Teil 1, Begriffe, quantitativ	9.79
DIN 12770 Laborgeräte aus Glas; Flüssigkeits-Glasthermometer;	
Allgemeine Bestimmungen	8.82
DIN 12770 Beiblatt 1	
Laborgeräte aus Glas; Flüssigkeits-Glasthermometer; Allgemeine Hinweise, Erläuternde Angaben	8.82
DIN 12775 Laborgeräte aus Glas; Laborthermometer, Skalenwerte 0,1° C, 0,2° C und 0,5° C	4.75
DIN 12778 Laborgeräte aus Glas; Laborthermometer, Skalenwerte 1° C und 2° C	4.75
DIN 12781 Laborgeräte aus Glas; Labor-Stockthermometer	4.78
DIN 43760 Elektrische Thermometer; Grundwerte der Meßwiderstände für Widerstandsthermometer	10.80
DIN 43760 Elektrische Temperaturlaufnehmer; Grundwerte der Nickel-Meßwiderstände für Widerstandsthermometer – Entwurf	8.85

## Stichwortverzeichnis

	Seite
Aufbereitung .....	22, 23
Aufbewahrung .....	29
Ausbreitungsgeschwindigkeit .....	9
Ausgleichsströmungen .....	15
Auswertung .....	23, 25, 27
Beobachteranweisung .....	21, 35
Beobachtungszeitraum .....	12
Beweissicherung .....	12
Dichte .....	8, 9, 11
Dichteströmung .....	15, 16, 22
Dichteunterschiede .....	9, 10, 15
Dispersion .....	9, 10
Einzelmessung .....	17, 18, 25
Elektronik .....	18
Erfassungsbeleg .....	19, 20, 21, 22, 23, 34, 35
Filterstrecke .....	15
Funktionskontrolle .....	12
Geothermik .....	14
Geothermischer Wärmestrom .....	6, 10
Horizontale Temperaturgleichen .....	27, 28
Isoplethe .....	25, 26
Kabellichtlot .....	18
Kalibrieren .....	18, 22
Konduktion .....	8, 9
Konvektion .....	8, 9, 10
Kritisches Temperaturgefälle .....	15, 16
Langzeitdrift .....	17
Mehrpunktmessung .....	25
Mehrzweckmeßstelle .....	16
Meßfehler .....	17
Meßfühler .....	15, 16, 17, 18, 20, 35
Meßgenauigkeit .....	17, 18, 20
Meßkabel .....	17
Meßpunktabstände .....	19
Meßstellenbezeichnung .....	34
Meßstellenummer .....	21
Meßtiefe .....	19, 20, 21, 22, 27, 35
Meßturnus .....	19, 20
Meßwerterfassung .....	17, 19, 21
Meßzeitpunkt .....	21
Meßzeitraum .....	12
NTC .....	17
Prüfung von Temperaturmeßdaten .....	22
PT 100 .....	17, 18
Sicherung .....	29
Temperaturanomalie .....	6, 9, 12, 27
Temperaturfühler .....	17, 18
Temperaturganglinie .....	10, 23, 24, 26
Temperaturgefälle .....	14, 15, 16

	Seite
Temperaturgleichen .....	27, 28
Temperaturgradient .....	13, 14, 16, 19
Temperaturmeßliste .....	23
Temperaturmeßpunkte .....	19, 20
Temperaturprofil .....	12, 13, 14, 15, 19, 23, 24, 26
Temperaturschwankungen .....	10, 19, 20
Temperatursimulator .....	18
Thermometer .....	18
Vertikale Temperaturgleichen .....	27, 28
Vertikalströmung .....	10, 12, 13, 15, 22
Viskosität .....	9, 11, 15
Wärmebilanz .....	6
Wärmehaushalt .....	6, 7, 12, 22, 26, 27
Wärmeleitfähigkeit .....	8, 9, 10, 11, 15
Wärmeleitung .....	7, 8, 9
Wärmestromdichte .....	6, 8, 10
Wärmetransport .....	6, 7, 8, 9
Wärmeübertragung .....	8, 9

### Erfassungsbeleg für Grundwassertemperatur

	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p style="text-align: center; margin: 0;">Meßstellenummer</p>																				
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p style="text-align: center; margin: 0;">Bezeichnung der Meßstelle</p>																					
	<p style="margin: 0;">NN + m</p> <table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p style="text-align: center; margin: 0;">Meßpunkthöhe</p>																				

Datum der Messung					
GwStand in m über/unter Meßp.					
Temp. °C an der GwOberfläche					
Meßtiefe in m unter Meßpunkt	Grundwassertemperatur in °C				

Hinweise mit Datum:

Grundwasserrichtlinie 2/87	Unterschrift
----------------------------	--------------

## Beobachterbuch für Grundwasser-Meßwerte

**Anweisung für den Beobachter**

Name und Anschrift des Beobachters:

---



---



---

Die Temperaturmessungen sind zu dem von der zuständigen Dienststelle festgesetzten Zeitpunkt und in den von ihr festgesetzten Meßtiefen unter Meßpunkt vorzunehmen. Beides ist dem Erfassungsbeleg zu entnehmen. Vor der Temperaturmessung ist der Grundwasserstand zu messen und in den Erfassungsbeleg einzutragen. Dann erfolgt die Messung der Temperatur an der Grundwasser Oberfläche durch Eintauchen des Meßfühlers (ca. 20 cm). Sodann ist der Meßfühler jeweils auf die von der zuständigen Dienststelle für die Meßstelle vorgeschriebene Tiefe unter dem Meßpunkt herabzulassen. Die jeweiligen Temperaturmeßwerte sind auf 0,1 K genau abzulesen und in den Erfassungsbeleg unter der Meßtiefe einzutragen. Eine Messung beim Herausziehen des Meßfühlers ist nicht mehr vorzunehmen. Eine Wiederholung der Messung ist in der Regel erst am folgenden Tag zulässig. Das tatsächliche Datum der Messung und besondere Vorkommnisse sind einzutragen. Der Erfassungsbeleg ist zu dem von der zuständigen Dienststelle festgesetzten Zeitpunkt unterschrieben an diese weiterzugeben.

Zusätzliche Anweisungen:

Grundwasserrichtlinie 2/87

