

# Gruppenpuzzle zum Thema Wasser

## Expertengruppen und Themen:

- A Die große Oberflächenspannung des Wassers  
 B Die hohe Siedetemperatur des Wassers  
 C Die Dichteanomalie des Wassers + **Zusatztext:** Leben unter Eis  
 D Die symmetrischen Eiskristalle

Das **Kernthema** aller ersten Themen ist die Wasserstoffbrückenbindung.

## Organisation der Expertengruppen und Expertenrunden:

Schülerzahl	Expertengruppen	Expertenrunden	Kopienanzahl
16	AAAA BBBB CCCC DDDD	ABCD ABCD ABCD ABCD	4*A 4*B 4*C 4*D
20	1) wie bei 16 Schülern, zusätzlich 4*A oder 4*B oder 4*C oder 4*D  2) die 4 leistungsstärksten Schüler bilden gleich eine Expertenrunde und beraten in der 2. Phase die Expertenrunden	ABCD+A oder ABCD+B oder ABCD+C oder ABCD+D Gefahr von 5er-Gruppen: <i>das fünfte Rad am Wagen!</i>	1) wie bei 16 Schülern, zusätzlich 4*A oder 4*B oder 4*C oder 4*D  2) 1*(A+B+C+D)
24	1) wie bei 16 Schülern, zusätzlich (4*A + 4*B) <b>oder</b> (4*A + 4*C) <b>oder</b> (4*A + 4*D) <b>oder</b> (4*B + 4*C) <b>oder</b> (4*B + 4*D) <b>oder</b> (4*C + 4*D)	ABCD + AB+CD aus der ABCD + AB+... 4er-Gruppe ABCD + AB+... ABCD + AB+... Entsprechend der Darstellung sind auch andere Kombinationen möglich!	1) wie bei 16 Schülern, zusätzlich (4*A + 4*B) oder (4*A + 4*C) usw.
28	1) wie bei 16 Schülern, zusätzlich (4*A + 4*B + 4*C) <b>oder</b> (4*A + 4*C + 4*D) <b>oder</b> (4*B + 4*C + 4*D)	ABCD + ABC+ D aus der ABCD + ABC+... aus der 4er- ABCD + ABC +... Gruppe ABCD + ABC+... Entsprechend der Darstellung sind auch andere Kombinationen möglich!	1) wie bei 16 Schülern, zusätzlich (4*A + 4*B + 4*C) oder (4*A + 4*C + 4*D) usw.
32	wie bei 16 Schülern, nur alles doppelt!		

## Organisation und Durchführung:

### Phase I:

- Jeweils zwei/drei/vier Schüler bilden eine Expertengruppen. 4 Schüler sind das Gruppenmaximum.
- Die Lernziele werden in den Gruppen schriftlich erarbeitet.

### Phase II:

- Nach Abschluss der Gruppenarbeit trifft sich die Expertenrunde: Aus jeder Gruppe A, B, C und D nimmt **ein** Vertreter an der Expertenrunde teil. Bei mehr als 16 Schülern gibt es dann eben mehrere Expertenrunden, bei unvollständigen Expertenrunden mit Unterstützung aus anderen Runden!

Das Wasser		Bearbeitet von:	Datum
<b>Expertengruppe A</b>	<b>Die Oberflächenspannung des Wassers</b>		
Expertengruppe B	Siedetemperatur		
Expertengruppe C	Dichteanomalie		
Expertengruppe D	Schneekristalle		

Folgende **Versuche** werden durchgeführt:

- Zu einem mit Wasser randvoll gefüllten **Uhrglas** wird vorsichtig tropfenweise weiter Leitungswasser gegeben, bis das Glas übertoll ist. Betrachte das Uhrglas von der Seite: *Was siehst du?* Eine Stecknadel wird vorsichtig auf die Wasseroberfläche gelegt. *Was passiert?* Berühre nun die Oberfläche mit einer Nadel. Betrachte dabei genau die Wasseroberfläche. *Welche Beobachtung machst du?*
- Ein zu zwei Dritteln gefülltes Becherglas wird vorsichtig mit einer Spatelspitze Kohlepulver von oben herab bestreut. *Wie verhält sich das Kohlepulver?* Danach gibt man einen (1!) Tropfen Spülmittel dazu. *Was passiert jetzt? Notiere deine Versuchsbeobachtungen!*

Tropft man auf ein randvoll mit Wasser gefülltes Glas vorsichtig noch Wasser hinzu, so bildet sich ein **Flüssigkeitsberg** über dem Glasrand. Es erscheint so, als hätte die Wasseroberfläche eine dehnbare **Haut**, die das Innere zusammenhält. Eine Stecknadel, die vorsichtig auf eine Wasseroberfläche gelegt wird, versinkt nicht. Drückt man aber ein Ende durch die Oberfläche hindurch, so sinkt sie durch das entstandene "Loch".

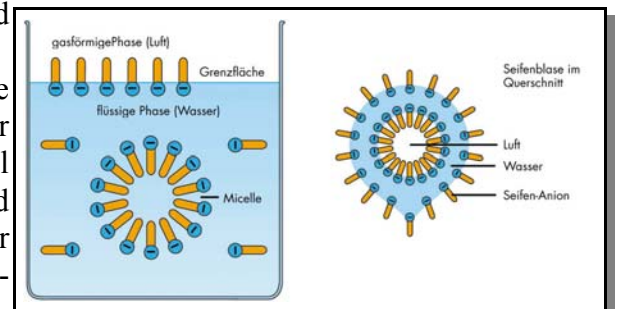
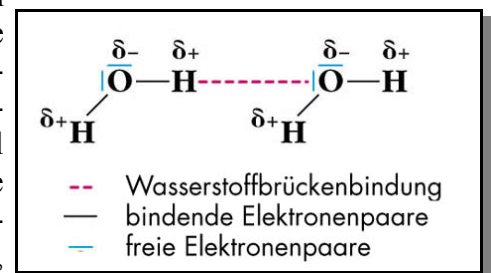
Wenn ein **Wasserläufer** (s. Abb.) über die Wasseroberfläche läuft, bilden sich zwar Dellen an den Fußenden des Insekts, es versinkt aber nicht. Auch hier verhält sich die Wasseroberfläche wie eine elastische Membran. Die große **Oberflächenspannung** bewirkt auch, dass **Wassertropfen** annähernd kugelige Gestalt annehmen (s. Abb.).

Die große **Oberflächenspannung** deutet darauf hin, dass die Wassermoleküle an der **Oberfläche** der Flüssigkeit durch relativ starke Kräfte an die restliche Flüssigkeit gebunden werden. Es handelt sich bei diesen Kräften um Anziehungskräfte zwischen den Molekülen: **zwischenmolekulare Anziehungskräfte**. Die beiden Bindungen im Wassermolekül sind stark polar (große EN-Differenz => **Teilladungen** mit  $\delta^+$  beim H-Atom und  $\delta^-$  beim O-Atom), **Polarität** und **gewinkelte Struktur** machen das Wassermolekül zum **Dipol**. Zwischen den Dipolen gibt es aufgrund der Teilladungen eine elektrostatische Anziehung, die **Dipol-Dipol-Kraft**. Zusätzlich existiert eine Bindung zwischen einem freien, nicht-bindenden Elektronenpaar eines O-Atoms im Wassermolekül und einem partiell positiv geladenen H-Atom eines benachbarten Wassermoleküls, die **Wasserstoffbrückenbindung**. Das freie, nicht-bindende Elektronenpaar bildet quasi eine „Brücke“ zum nächsten Wassermolekül. Diese, durch ein freies, nicht-bindendes Elektronenpaar gebildete „Wasserstoffbrücke“ ist fünfmal stärker als die Anziehung aufgrund der Dipol-Eigenschaft.

**Seifen** und **Tenside** sind **grenzflächenaktive Stoffe**, die die Oberflächenspannung herabsetzen. Seifen bilden in Wasser Anionen, die aus einem unpolaren und einem polaren Teil bestehen. Sie reichern sich an der Wasseroberfläche an und richten sich aus: Der polare Teil steckt im Wasser und der unpolare Teil ragt in die Luft. Dadurch wird die Oberflächenspannung des Wassers gemindert.

**Lernziele zum Thema Oberflächenspannung:**

- Du hast die Versuche durchgeführt und kannst die Beobachtungen beschreiben!
- Du kannst das Zustandekommen der Oberflächenspannung des Wassers beschreiben!
- Du kannst die zwischenmolekularen Bindungskräfte des Wassers erklären!
- Du weißt, wie Tenside/Seifen die Oberflächenspannung des Wassers vermindern!



Das Wasser		Bearbeitet von:	Datum
Expertengruppe A	Oberflächenspannung		
<b>Expertengruppe B</b>	<b>Die hohe Siedetemperatur des Wassers</b>		
Expertengruppe C	Dichteanomalie		
Expertengruppe D	Schneekristalle		

Wir kochen unsere Lebensmittel in Wasser. Es siedet bei **100 °C** und wir finden nichts Besonderes daran. Erst ein Vergleich mit den **Siedetemperaturen der Wasserstoffverbindungen von Elementen der gleichen Gruppe** und der **gleichen Periode**, in der Sauerstoff im PSE steht, verdeutlicht: Wasser tanzt mit seiner hohen Siedetemperatur aus der Reihe.

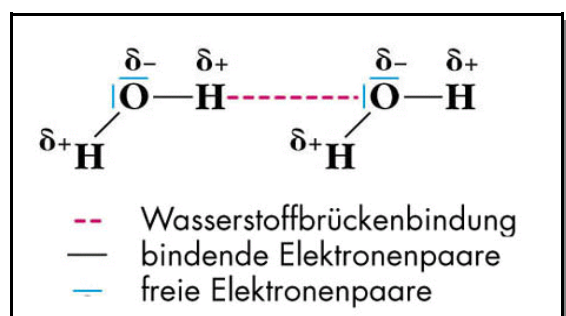
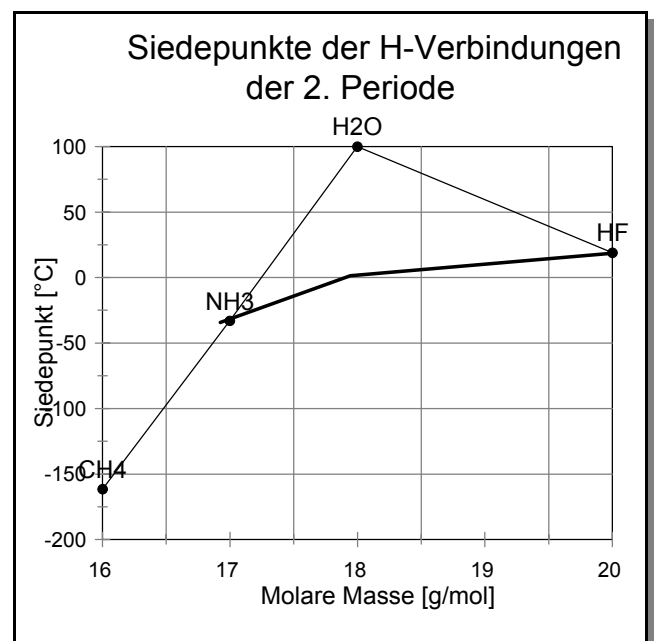
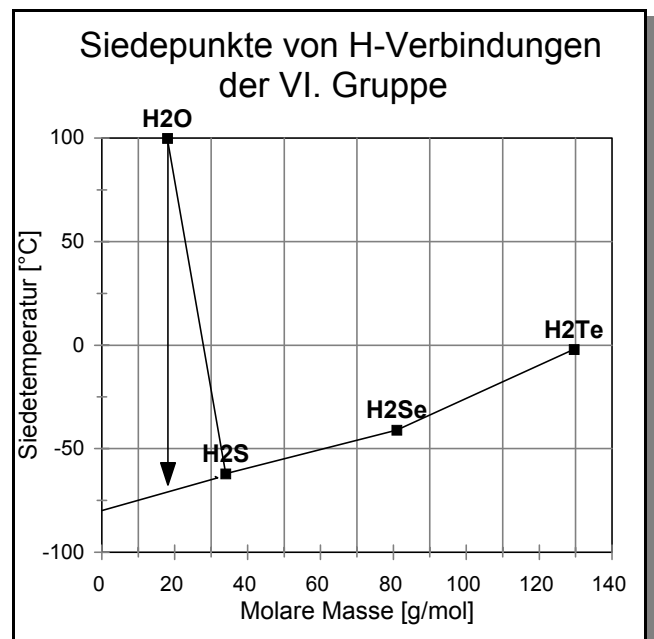
Verglichen mit den drei anderen Wasserstoffverbindungen seiner **Gruppe** müsste Wasser aufgrund seiner molekularen Masse bei **ca. -80 °C** siedend (siehe rechte Abb.). Würde sich Wasser in die Reihe der Wasserstoffverbindungen seiner Nachbarn in der **2. Periode** einordnen, so müsste es in der Nähe von 0 °C siedend (vgl. mittlere Abb.).

Es handelt sich bei diesen Kräften um Anziehungskräfte zwischen den Molekülen: **zwischenmolekulare Anziehungskräfte**. Die beiden Bindungen im Wassermolekül sind stark polar (große EN-Differenz => **Teil Ladungen** mit  $\delta+$  beim H-Atom und  $\delta-$  beim O-Atom), **Polarität** und **gewinkelte Struktur** machen das Wassermolekül zum **Dipol**. Zwischen den Dipolen gibt es aufgrund der Teil Ladungen eine elektrostatische Anziehung, die **Dipol-Dipol-Kraft**. Zusätzlich existiert eine Bindung zwischen einem freien, nicht-bindenden Elektronenpaar eines O-Atoms im Wassermolekül und einem partiell positiv geladenen H-Atom eines benachbarten Wassermoleküls, die **Wasserstoffbrückenbindung**. Das freie, nicht-bindende Elektronenpaar bildet quasi eine „Brücke“ zum nächsten Wassermolekül. Diese, durch ein freies, nicht-bindendes Elektronenpaar gebildete „Wasserstoffbrücke“ ist fünfmal stärker als die Anziehung aufgrund der Dipol-Eigenschaft.

#### Lernziele zum Thema Siedetemperatur:

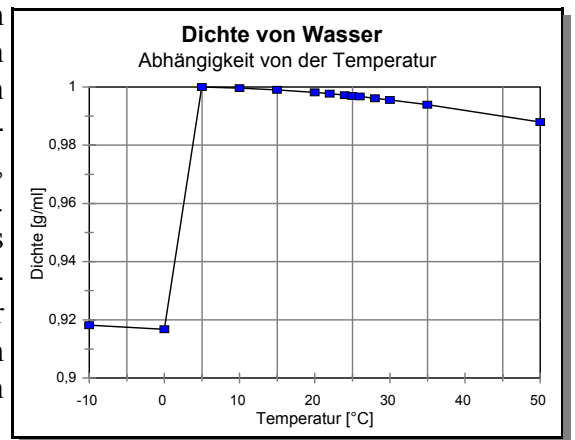
1. Du kannst das erste Diagramm „Siedepunkte von Wasserstoffverbindungen der VI. Gruppe“ in Abhängigkeit von der Molekülmasse beschreiben, erklären und den außergewöhnlich hohen Siedepunkt von Wasser zuordnen.
2. Du kannst das Diagramm zum Vergleich der „Siedepunkte von H-Verbindungen“ aus der 2. Periode interpretieren.
3. Du kannst die zwischenmolekularen Anziehungskräfte zwischen den Wassermolekülen erklären.
4. Du kannst den Zusammenhang „zwischenmolekulare Anziehungskräfte“ und „Siedetemperatur eines Stoffes“ am Beispiel Wasser erläutern.
5. Du kannst begründen, warum Wasser einen höheren Siedepunkt als Fluorwasserstoff hat, obwohl die OH-Bindung weniger polar ist als die H-F-Bindung.

02/11.04.2005



Das Wasser		Bearbeitet von:	Datum
Expertengruppe A	Oberflächenspannung		
Expertengruppe B	Die hohe Siedetemperatur des Wassers		
<b>Expertengruppe C</b>	<b>Die Dichteanomalie des Wassers</b>		
Expertengruppe D	Schneekristalle		

Lässt man bei Frost eine mit Wasser gefüllte Flasche draußen stehen, so platzt das Glas. Auch Rohre können platzen, wenn in ihnen das Wasser gefriert. Gestein und Straßenbeläge verwittern bei Frost schneller, weil in die Spalten und Ritzen Wasser eindringt und gefriert. All das ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass Wasser sich beim Gefrieren ausdehnt. Eis hat ein um ca. 10% größeres Volumen als Wasser, d.h. dass die Dichte von Eis geringer ist als von Wasser. Das ist ungewöhnlich, denn normalerweise ist die Dichte eines Feststoffes größer als die einer Flüssigkeit (**Beispiel:** Festes Kerzenwachs schwimmt am Boden). Eis hingegen schwimmt aufgrund seiner geringeren Dichte auf dem Wasser.

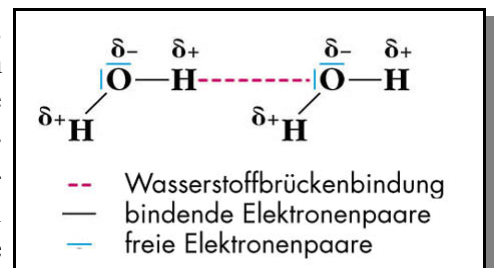


Wasser zeigt zudem die ungewöhnliche Eigenschaft, dass seine **Dichte bei 5 °C am größten** ist (s. Abb.). Dies wird als Dichteanomalie bezeichnet (von anomalos, griech. = abweichend).

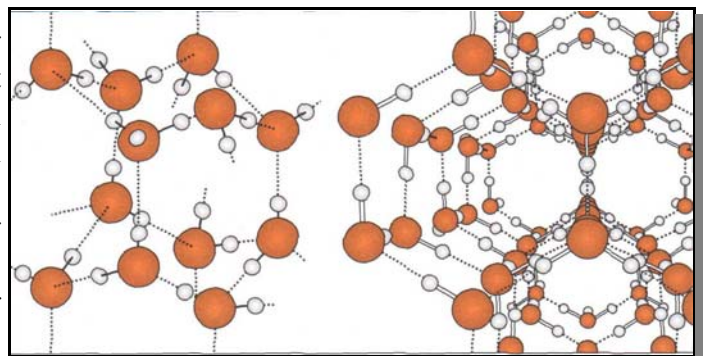
Die Dichteanomalie ist so zu deuten, dass die Moleküle in einer Portion Wasser bei 5 °C dichter gepackt sind als in einem Eiskristall. Im Eiskristall sind die Moleküle in einem regelmäßigen Gitter mit relativ großen Hohlräumen angeordnet. Dieses Gitter kommt aufgrund der so genannten **Wasserstoffbrückenbindungen** zustande.



Es handelt sich bei diesen Kräften um Anziehungskräfte zwischen den Molekülen: **zwischenmolekulare Anziehungskräfte**. Die beiden Bindungen im Wassermolekül sind stark polar (große EN-Differenz => **Teilladungen** mit  $\delta^+$  beim H-Atom und  $\delta^-$  beim O-Atom), **Polarität** und **gewinkelte Struktur** machen das Wassermolekül zum **Dipol**. Zwischen den Dipolen gibt es aufgrund der Teilladungen eine elektrostatische Anziehung, die **Dipol-Dipol-Kraft**. Zusätzlich existiert eine Bindung zwischen einem freien, nicht-bindenden Elektronenpaar eines O-Atoms im Wassermolekül und einem partiell positiv geladenen H-Atom eines benachbarten Wassermoleküls, die **Wasserstoffbrückenbindung**. Das freie, nicht-bindende Elektronenpaar bildet quasi eine „Brücke“ zum nächsten Wassermolekül. Diese, durch ein freies, nicht-bindendes Elektronenpaar gebildete „Wasserstoffbrücke“ ist fünfmal stärker als die Anziehung aufgrund der Dipoleigenschaft.



Wenn Eis schmilzt, löst sich nur ein geringer Teil der Wasserstoffbrückenbindungen. Das Eisgitter zerfällt stückweise. Die Hohlräume des Gitters werden durch einzelne Wassermoleküle besetzt, daraus ergibt sich die höhere Dichte des flüssigen Wassers. Bei 4 °C erreicht die Dichte ihr Maximum. Oberhalb dieser Temperatur verhält sich Wasser wie eine normale Flüssigkeit: die Dichte nimmt mit steigender Temperatur ab.



### Lernziele zum Thema Dichte:

1. Du kannst das Diagramm Temperatur-Volumen des Wassers interpretieren.
2. Du weißt, warum Eis eine geringere Dichte als Wasser hat.
3. Du kannst das Überleben von Wassertieren in zugefrorenen Gewässern erklären.
4. Du kannst das Stichwort „Dichteanomalie“ erläutern.

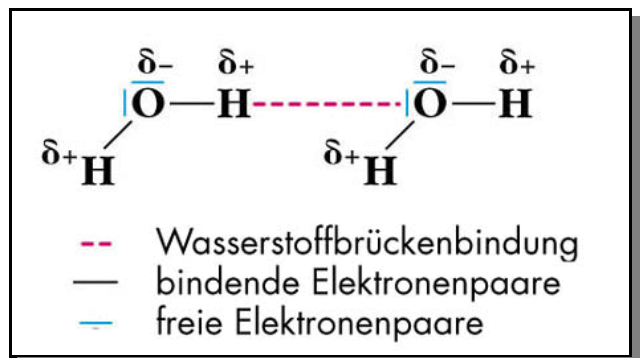
Das Wasser		Bearbeitet von:	Datum
Expertengruppe A	Oberflächenspannung		
Expertengruppe B	Siedetemperatur		
Expertengruppe C	Dichteanomalie		
<b>Expertengruppe D</b>	<b>Die symmetrischen Schneekristalle</b>		

Es konnten bereits **über 2450** verschiedene Schneekristalle fotografiert werden. Sie sind alle **symmetrisch** und machen auf das Auge den Eindruck eines "aufgelockerten Gebildes mit vielen Verzerrungen". Thomas Mann (1875 bis 1955, 1929 Nobelpreis für Literatur) war begeistert von diesen "Zaubersternchen, wie sie der getreueste Juwelier nicht hätte reicher und minuziöser darstellen können". Die schönsten, stark verästelten Schneeflocken werden zwischen  $-10^{\circ}\text{C}$  und  $-20^{\circ}\text{C}$  bei hoher Luftfeuchtigkeit gebildet. Bei niedriger Luftfeuchtigkeit

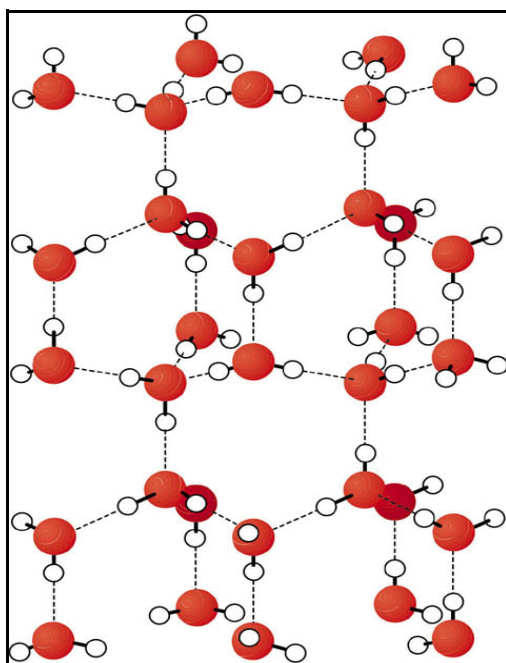


sind die Kristalle in diesem Temperaturbereich flach, wenig verästelt. Die **Symmetrie** der Kristalle ist immer die gleiche: nämlich hexagonal (sechseckartig): denkt man sich eine Achse, die senkrecht durch die Kristallmitte geht, so wird der Kristall bei jeder  $60^{\circ}$ -Drehung um diese Achse in sich selbst überführt. Diese Symmetrie hängt mit der Anordnung der Kristalle im Schneekristall zusammen. Die Anordnung der Moleküle wird wiederum von den **zwischenmolekularen Wechselwirkungen** beeinflusst.

Es handelt sich bei diesen Wechselwirkungen um Anziehungskräfte zwischen den Molekülen: **zwischenmolekulare Anziehungskräfte**. Die beiden Bindungen im Wassermolekül sind stark polar (große EN-Differenz  $\Rightarrow$  **Teilladungen** mit  $\delta+$  beim H-Atom und  $\delta-$  beim O-Atom), **Polarität** und **gewinkelte Struktur** machen das Wassermolekül zum **Dipol**. Zwischen den Dipolen gibt es aufgrund der Teilladungen eine elektrostatische Anziehung, die **Dipol-Dipol-Kraft**. Zusätzlich existiert eine Bindung zwischen einem freien, nicht-bindenden Elektronenpaar eines O-Atoms im Wassermolekül und einem partiell positiv geladenen H-Atom eines benachbarten Wassermoleküls, die **Wasserstoffbrückenbindung**. Das freie, nicht-bindende Elektronenpaar bildet quasi eine „Brücke“ zum nächsten Wassermolekül. Diese, durch ein freies, nicht-bindendes Elektronenpaar gebildete „Wasserstoffbrücke“ ist fünfmal stärker als die Anziehung aufgrund der Dipol-Eigenschaft.



Es handelt sich bei diesen Wechselwirkungen um Anziehungskräfte zwischen den Molekülen: **zwischenmolekulare Anziehungskräfte**. Die beiden Bindungen im Wassermolekül sind stark polar (große EN-Differenz  $\Rightarrow$  **Teilladungen** mit  $\delta+$  beim H-Atom und  $\delta-$  beim O-Atom), **Polarität** und **gewinkelte Struktur** machen das Wassermolekül zum **Dipol**. Zwischen den Dipolen gibt es aufgrund der Teilladungen eine elektrostatische Anziehung, die **Dipol-Dipol-Kraft**. Zusätzlich existiert eine Bindung zwischen einem freien, nicht-bindenden Elektronenpaar eines O-Atoms im Wassermolekül und einem partiell positiv geladenen H-Atom eines benachbarten Wassermoleküls, die **Wasserstoffbrückenbindung**. Das freie, nicht-bindende Elektronenpaar bildet quasi eine „Brücke“ zum nächsten Wassermolekül. Diese, durch ein freies, nicht-bindendes Elektronenpaar gebildete „Wasserstoffbrücke“ ist fünfmal stärker als die Anziehung aufgrund der Dipol-Eigenschaft.



#### Anordnung der Wassermoleküle im Eis- und Schneekristall:

Von jedem O-Atom gehen tetraedrisch 2 Elektronenpaarbindungen und 2 Wasserstoffbrückenbindungen aus. Die Bindungsenergie der Wasserstoffbrückenbindung beträgt ca.  $1/20$  der Bindungsenergie der Elektronenpaarbindung.

Wenn Eis schmilzt, werden nur ca. 30% der Wasserstoffbrückenbindungen aufgebrochen. Im Wasser ist ihre Anzahl also geringer.

#### Lernziele zum Thema Dichte:

1. Du kannst die Symmetrie der Schneekristalle mit der Anordnung der Moleküle im Kristall erklären.
2. Du weißt, wie diese Anordnung zustande kommt.
3. Du weißt, unter welchen Bedingungen sich die schönsten Schneeflocken bilden.

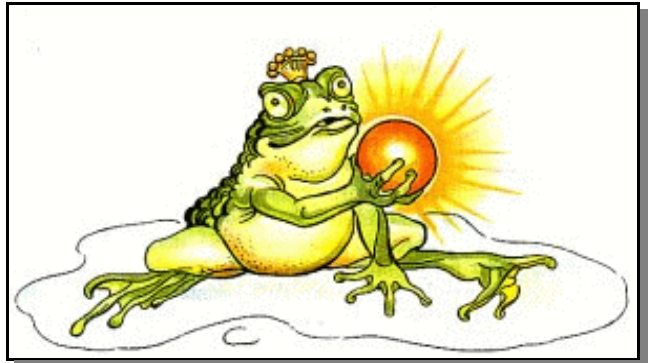
#### Quellen:

M. Tausch, M.v.Wachtendonk, Chemie I -Stoff Formel Umwelt SI; Bamberg 1996;  
Asselborn, Jäckel, Risch: Chemie heute, SII, Hannover 1998;

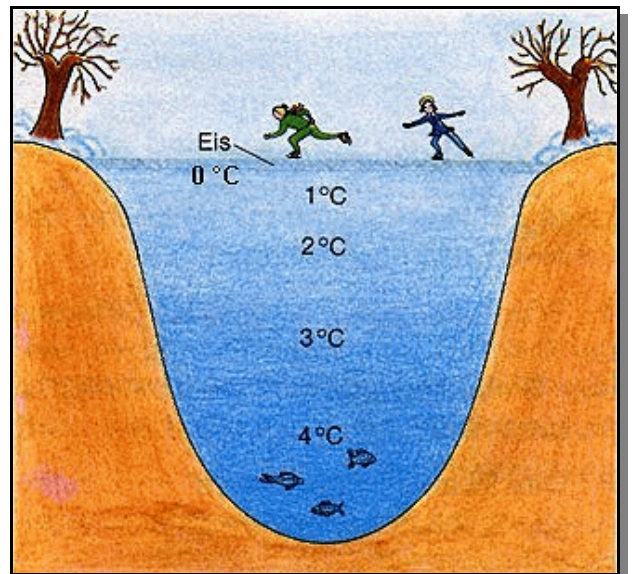
Das Wasser		Bearbeitet von:	Datum
Expertengruppe A	Die Oberflächenspannung des Wassers		
Expertengruppe B	Siedetemperatur		
<b>Expertengruppe C</b>	<b>Zusatztext: Die Dichteanomalie des Wassers: Überleben unter Eis</b>		
Expertengruppe D	Schneekristalle		

## Überleben von Tieren im zugefrorenen Teich

Das Überleben von Wassertieren im zugefrorenen Teich hat die **Dichteanomalie** des Wassers zur Voraussetzung. Zunächst einmal hat die geringe Dichte von Eis zur Folge, dass Teiche nie von unten her, sondern von oben her zufrieren. Das Eis garantiert an seiner Grenze zum Wasser die Gleichgewichtstemperatur von 0 °C, egal wie kalt es "draußen" ist. Hinzu kommt, dass Eis ein hervorragendes **Isoliermaterial** ist. Die Eisdecke isoliert das Wasser mit zunehmender Dicke immer besser gegen weiteren Wärmeverlust. Es bilden sich unter unseren irdischen Bedingungen deshalb höchstens etwa 75 cm dicke Schichten. Diese schirmen nicht nur die Kälte ab, sondern sind außerdem für die Photosynthese durch Algen ausreichend **lichtdurchlässig**, so dass auch unter diesen Bedingungen Sauerstoff produziert werden kann.



Unter der Eis/Wasser-Grenze steigt die Temperatur mit der Tiefe des Sees an, um bei etwa 1,20 m stehen zu bleiben. Jetzt ist der Eigendruck auf das Wasser so groß, dass es sein **Minimalvolumen** erreicht. Damit verbunden ist die Temperatur von 4 °C. Egal wie hoch der Druck wird: Das Wasser hat seine dichteste Struktur erreicht und die damit verbundene Temperatur kann nicht 4 °C unterschreiten, aber auch nicht überschreiten. Dann müsste ja das Volumen des Wassers zunehmen. Deshalb sind ausreichend tiefe Oberflächengewässer, Meere und Ozeane ohne sonderliche Strömungen in größeren Tiefen immer 4 °C kalt - oder 4 °C warm, wenn man so will. Bei diesen Temperaturen fühlen sich Fische und andere Lebewesen recht wohl.



Die Konsequenz aus der Anomalie des Wassers: Tiefere Seen und Meere frieren nach unten hin nie ganz zu. Es gibt genug Raum für das Leben, wenn auch manchmal nur für Leben im Schnecken tempo. Wasser garantiert also ideale Bedingungen für das Leben im Wasser - nicht nur in den Ozeanen der Polarregion, sondern auch im Goldfischteich.

Allerdings hat die Dichteanomalie auch **negative Auswirkungen** auf das Leben im Teich: Die Schichtung des Wassers kann bei stehenden Gewässern dazu führen, dass ein kontinuierlicher Stoffaustausch zwischen den Zonen unterbleibt. Daher neigen stehende Gewässer zum „**Umkippen**“, d. h. zur Ausbildung sauerstoffarmer und deshalb lebensfeindlicher Zonen. Das ist vor allem bei Seen mit viel Pflanzenwachstum der Fall. Paradoxerweise versorgen die Wasserpflanzen den See nicht mit Sauerstoff, wie sie es für die Atmosphäre tun. Denn aufgrund des schnellen Wachstums (z. B. wegen Düngereintrag) sterben sie auch rascher ab. Beim Verwesen der Biomasse wird durch die Bakterien übermäßig viel Sauerstoff verbraucht. Es bilden sich reduzierende Verhältnisse aus. Dadurch entstehen Methan, Schwefelwasserstoff und Phosphin (PH<sub>3</sub>). Letzteres entzündet sich spontan beim Kontakt mit Luftsauerstoff. Hierauf beruhen die Legenden von den Flämmchen und Geistern im Moor.

Prof. Uni Bielefeld: Prof. Dr. Blumes Bildungsserver: