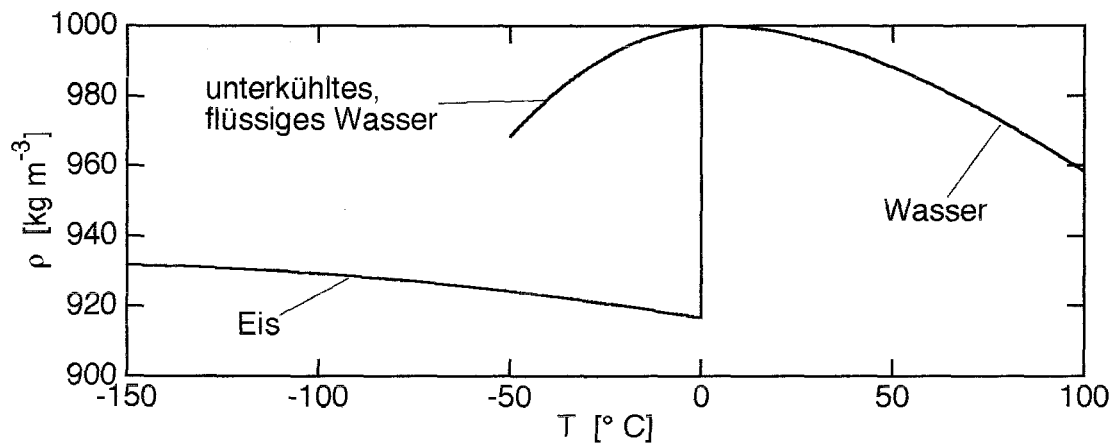


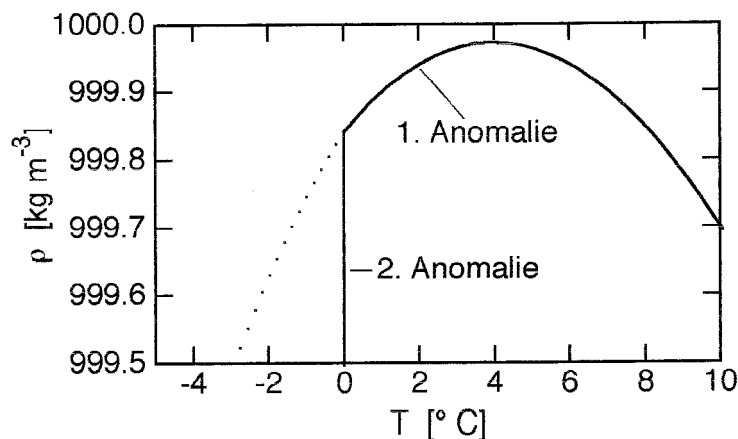
# Dichteanomalie des Wassers

Lie.

Darunter versteht man zweierlei: 1. Wasser hat seine maximale Dichte bei 4 °C, d.h. nicht am Erstarrungspunkt. 2. Eis ist weniger dicht als Wasser. (Figur 1 und 2)



Figur 1: Dichte von Wasser und Eis als Funktion der Temperatur bei Normdruck ( $\approx 1$  bar) nach Pruppacher und Klett, "Microphysics of Clouds and Precipitation"



Figur 2: Dichte von Wasser um 0°C, Ausschnitt aus Fig. 1. Die erste Anomalie, dass sich Wasser bei Erwärmung von 0 auf 4°C zusammenzieht, ist in Meerwasser wegen des Salzes nicht mehr vorhanden.

Wegen dieser Anomalien schwimmt Eis auf Wasser und herrscht am Grund tieferer Süßwasserseen immer eine Temperatur von 4 °C. Dies ist wichtig für das Leben im Wasser, vgl. Figuren 3-5 mit stark schematisierten Temperaturverteilungen in Seen.

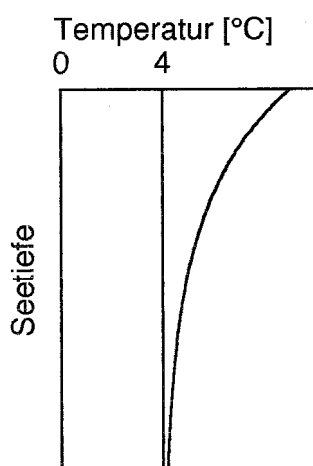


Fig. 3: "Sommer"

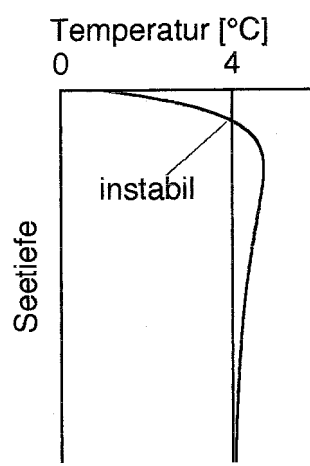


Fig. 4: "Herbst" (Umwälzung)

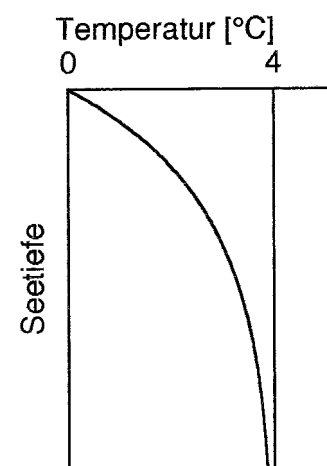


Fig. 5: "Winter"

Ist es lange warm, so wird sich eine Temperaturverteilung nach Figur 3 einstellen: Das warme Wasser ist weniger dicht und schwimmt oben. Das dichteste Wasser mit einer Temperatur von 4 °C befindet sich am Grund des Sees. Ist es lange kalt, so wird sich eine Temperaturverteilung nach Figur 5 einstellen: Das kalte Wasser, ev. sogar eine Eisschicht, ist weniger dicht und schwimmt oben. Unten in einem genügend tiefen See befindet sich Wasser von 4 °C, in dem z.B. Fische überwintern können. In der Übergangszeit, s. Fig. 4, tritt sicher einmal die Situation ein, dass sich eine Schicht mit 4 °C über einer weniger dichten, wärmeren Schicht befindet. Das ist natürlich eine un stabile Situation. Die viergrädige Schicht wird abtauchen und dabei sauerstoffreiches Oberflächenwasser mit in die Tiefe reissen. Dieser Prozess ist wichtig für die Belüftung unserer Seen.

Weil sich Wasser beim Erstarren ausdehnt, kann es in geschlossenen Hohlräumen grosse Drücke erzeugen. Damit treibt es die Erosion von Gesteinen an. Es wird auch zu einem Problem für Wasserleitungen, die im Winter zufrieren können.

Figur 1 wurde berechnet mit Interpolationsformeln für die Dichte  $\rho$  aus Pruppacher und Klett, "Microphysics of Clouds and Precipitation":

Eis:  $\rho = a + bT + cT^2$  mit  $a = 916.7$ ,  $b = -0.175$ ,  $c = -5.0 \cdot 10^{-4}$ , wobei  $T$  in °C einzusetzen ist und die Dichte  $\rho$  in  $\text{kg/m}^3$  herauskommt. Die Formel gilt im Bereich -150 °C bis 0° C mit einer Genauigkeit von 0.5  $\text{kg/m}^3$ .

Wasser:  $\rho = (a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 + fT^5)/(1 + gT)$  in  $\text{kg/m}^3$  wobei  $T$  in °C einzusetzen ist. Es ist  $a = 999.8396$ ,  $b = 18.224944$ ,  $c = -7.922210 \cdot 10^{-3}$ ,  $d = 55.44846 \cdot 10^{-6}$ ,  $e = 149.7562 \cdot 10^{-9}$ ,  $f = -393.2952 \cdot 10^{-12}$ ,  $g = 18.159725 \cdot 10^{-3}$ .

Die Formel gilt im Bereich 0° C bis 100° C mit einer Genauigkeit von  $10^{-3} \text{ kg/m}^3$ . unterkühltes, flüssiges Wasser:  $\rho = a + bT + cT^2$  in  $\text{kg/m}^3$  wobei  $T$  in °C einzusetzen ist. Es ist  $a = 999.84$ ,  $b = 0.0860$ ,  $c = -0.0108$ . Diese Formel gilt im Bereich -50° C bis 0° C mit einer Genauigkeit besser als  $10^{-2} \text{ kg/m}^3$ .

Einige andere Stoffe zeigen auch Anomalien, z.B. Antimon, Bismut, Gallium, Germanium, Plutonium, Silizium und einigen Legierungen (z.B. Letternmetall). Man kann Bismut für Metallegierungen verwenden, die beim Erstarren weder schrumpfen noch expandieren sollen.

Die Dichte von flüssigem Wasser hat ihr Maximum etwa bei 4 °C (genauer 3.984 °C). Die Erklärung geht so: Man hat mittels Röntgenstrukturanalyse festgestellt, dass die Gitterstruktur von schmelzendem Eis nicht völlig verschwindet, sondern dass der mittlere Abstand zwischen benachbarten Gittermolekülen sich weiter vergrößert. Die Dichtezunahme muss also dem Effekt zugeschrieben werden, dass "Zwischenräume" durch Wassermoleküle "ausgefüllt" werden, die normale Gitterplätze verlassen haben.