

8 Physical properties of ice — Physikalische Eigenschaften von Eis

8.0 Introduction — Einleitung

Ice covers about 10% of the earth's land surface and, varying with the seasons up to 12% of the surface of the oceans. Therefore it must be regarded as a very common naturally occurring rock; it plays a very important role in global heat balance and surface processes. It is also the largest resource of fresh water. Its singularity in composition – it is a mono-mineralic rock – justifies a special treatment in this volume.

Altogether there are nine crystalline forms of water as is shown in Fig. 1. As the high pressure polymorphs of ice do not occur naturally, we shall discuss here ice Ih only.

Eis bedeckt etwa 10% der Landoberfläche der Erde und mit jahreszeitlichen Veränderungen bis zu 12% der Oberfläche der Ozeane. Eis ist daher als weitverbreitetes natürliches Gestein anzusehen und ist von großer Bedeutung für die globale Wärmebilanz, für das Klima und für Prozesse, die an der Erdoberfläche stattfinden. Eis ist auch das größte Süßwasservorkommen. Da Eis ein monomineralisches Gestein ist und dazu noch aus einem sehr einfachen Molekül aufgebaut ist, wird es in diesem Band gesondert behandelt.

Insgesamt sind 9 verschiedene kristalline Phasen des Wassers bekannt (Fig. 1). Da die Hochdruckphasen von Eis nicht in der Natur vorkommen, wird im folgenden immer von Eis Ih gesprochen.

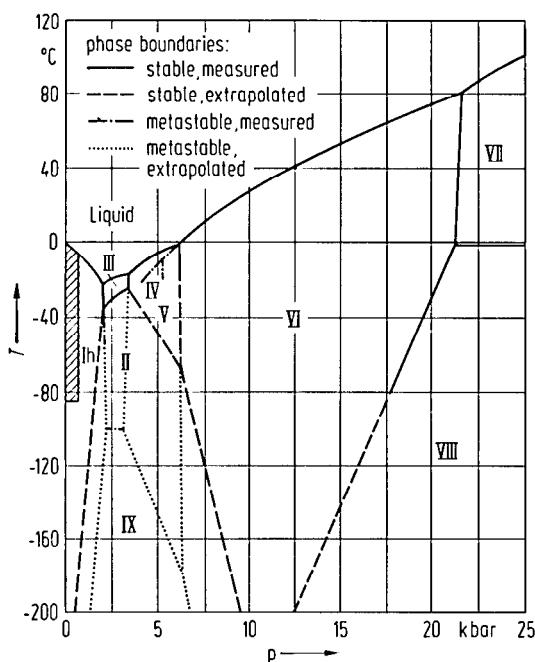


Fig. 1. Phase diagram of the solid phases of water. Ice IV is metastable in the region of ice V. Hatched area: approximate region for naturally occurring ice.

The clathrate hydrates will not be discussed here although they potentially form economic hydrocarbon deposits in permafrost-regions. They are solid phases of water with large holes which are filled with inert molecules such as ethylene chloride.

Ice Ih is a member of the hexagonal crystal system with the cell dimensions

$$a_0 = 4.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

$$c_0 = 7.32 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

The density of pure ice is 0.931 Mg m^{-3} .

Die Klathrat-Hydrate, die in Perma-Frost-Regionen potentiell nutzbare Kohlenwasserstoff-Lagerstätten bilden können, werden hier nicht behandelt. Es handelt sich dabei um Eis, dessen Kristallstruktur offen ist; in den relativ großen Löchern finden sich neutrale Moleküle wie z. B. Äthylenchlorid.

Eis Ih bildet Kristalle des hexagonalen Kristallsystems mit den Zell-Parametern

Die Dichte von reinem Eis bei 0°C ist 0.931 Mg m^{-3} .

Natural fresh-water ice occurs on the earth's surface in the form of Glaciers or Ice-sheets or within the uppermost few hundred meters of the earth's crust as Permafrost; it is always an agglomerate of single crystal grains. In greater amounts, naturally occurring ice is almost never free of impurities and imperfections which are incorporated during the freezing process in the atmosphere or during the metamorphism from snow to ice. Thus physical properties vary whenever the pure one-phase-system ice is contaminated. This holds much more so for sea ice, which is frozen from sea water and incorporates not only ions of the dissolved salts, but also brine pockets during the freezing process.

Natürlich vorkommendes Süßwasser-Eis ist immer ein Agglomerat von einzelnen Eiskristallkörnern. Über ein größeres Volumen betrachtet, ist natürliches Eis niemals frei von Verunreinigungen und Fehlstellen, die bereits während des Gefriervorganges in der Atmosphäre oder während der Metamorphose von Schnee zu Eis in die Kristalle eingebaut werden. Entsprechend sind die physikalischen Eigenschaften beeinflusst und ändern sich, wenn das reine Einphasensystem verunreinigt ist. Dies wird beim Meer-Eis besonders deutlich, da dieses aus Meerwasser gefriert und während des Gefriervorganges nicht nur gelöste Salzionen aufnimmt, sondern auch Laugenbläschen in das Gefüge eingeschlossen werden.

List of symbols – Symbolliste

a	[cm^{-1}]	absorption coefficient in the infrared – Absorptionskoeffizient im Infraroten
a_0, c_0	[10^{-8} m]	hexagonal lattice parameters – hexagonale Gitterkonstanten
c	[m s^{-1}]	velocity of light – Lichtgeschwindigkeit
C_{ij}	[bar]	matrix elements of stiffness constant – Matricelemente der Elastizitätsmodul
c_p	[$\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$]	specific heat at constant pressure – spezifische Wärme bei konstantem Druck
E	[bar]	modulus of elasticity (Young's modulus) – Elastizitätsmodul
E	[eV]	activation energy – Aktivierungsenergie
E_τ	[eV]	electrical activation energy – elektrische Aktivierungsenergie
E_m	[eV]	activation energy for mechanical relaxation – Aktivierungsenergie für mechanische Relaxation
f	[Hz]	frequency of seismic wave – Frequenz der seismischen Welle
G	[bar]	modulus of rigidity – Scherungsmodul
H	[J]	enthalpy – Enthalpie
i	[deg]	angle of incidence – Einfallswinkel
I_0	[cd]	total incident intensity – totale Einfallintensität
I_z	[cd]	intensity at distance z below the surface – Intensität in einer Entfernung z unterhalb der Oberfläche
K	[bar]	bulk modulus – Kompressionsmodul
k	[bar^{-1}]	modulus of compressibility – Kompressibilitätsmodul
k	[eV K^{-1}]	Boltzman constant – Boltzmannkonstante
k	[$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$]	thermal conductivity – Wärmeleitfähigkeit
L_F	[kJ kg^{-1}]	heat of fusion – Schmelzwärme
L_S	[kJ kg^{-1}]	heat of sublimation – Sublimationswärme
n_E		extraordinary index of refraction – außerordentlicher Brechungsindex
n_O		ordinary index of refraction – ordentlicher Brechungsindex
p	[bar]	pressure – Druck
Q		quality factor – Qualitätsfaktor
R	[%]	surface reflection coefficient – Reflexionskoeffizient an der Oberfläche
S_{ij}	[bar^{-1}]	matrix elements of compliance constant – Matricelemente der Elastizitätskoeffizienten
T	[°C, K]	temperature – Temperatur
t	[s, h]	time – Zeit
U	[J]	internal energy – innere Energie
V	[m^3]	volume – Volumen
v	[m s^{-1}]	velocity of seismic waves – Geschwindigkeit der seismischen Wellen
v_E	[m s^{-1}]	velocity of extraordinary wave – Geschwindigkeit der außerordentlichen Welle
v_O	[m s^{-1}]	velocity of ordinary wave – Geschwindigkeit der ordentlichen Welle
v_P	[m s^{-1}]	longitudinal wave velocity – Geschwindigkeit der longitudinalen Welle
v_S	[m s^{-1}]	transversal wave velocity – Geschwindigkeit der transversalen Welle