Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 1 (1946)
Heft: 10

Artikel: Eis aus Luft
Autor: Walter, Emil
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-654096

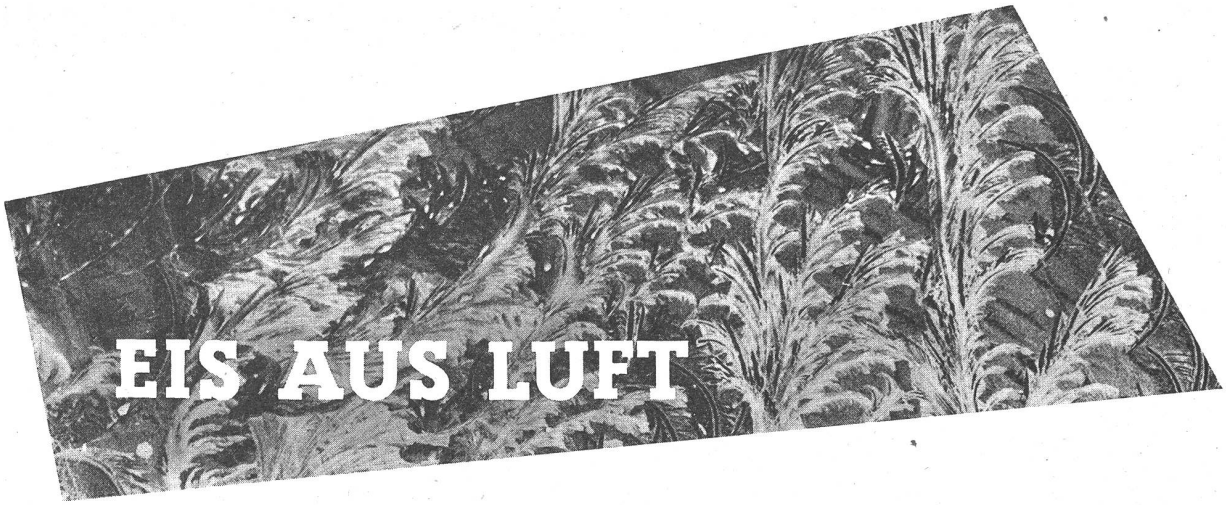
Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch



EIS AUS LUFT

Dr. Emil Walter

Ist es nicht geradezu ein Wunder, diese Bildung von Eisplättchen aus kalter, mit unsichtbarem Wasserdampf leicht übersättigter Luft? Bist du einmal irgendwo im Gebirge im Winter mit den Skis unter den Füßen auf einem Schneegrat durch die stille Gebirgswelt gewandert, so hast du vielleicht schon diese seltsame Erscheinung erlebt. Blau wölbt sich der Himmel über dir. Die Sonne strahlt in vollstem Glanz über die Berge. Aber aus der klaren Luft tanzen kleine, in allen Regenbogenfarben schillernde Eisplättchen hernieder, als ob sie ein unsichtbarer Zauberkünstler in wirbelnder Bewegung in die Luft geworfen hätte. Aus dem Nichts tauchen sie auf, diese kleinen Kristalle: Eis ist aus Luft entstanden. Millionen und Abermillionen kleinster, unsichtbarer Wasserdampfmoleküle rasten mit fast unvorstellbaren Geschwindigkeiten von mehreren hundert Metern in der Sekunde durch die ebenso rasch bewegten, aber viel zahlreicheren Moleküle des Sauerstoffs oder Stickstoffs. Immer wieder stoßen sie aufeinander und prallen wieder von einander ab. Allein dann, wenn ihre Bewegung schwächer geworden ist, wenn sie mit anderen Worten etwas «kälter» als null Grad wurden, dann kommt es vor, daß sie beim Zusammenstoß doch aneinander «haften» bleiben. Einige lösen sich wieder. Immerhin bleiben doch mehr Wassermoleküle beisammen. Ein zunächst noch unsichtbarer «Kristallkeim» hat sich gebildet. Die unregelmäßige Bewegung wird abgelöst von geregelten, in gewissen Grenzen eingeschlossenen Schwingungen. Die flüchtige luftartige Materie wird zum festen, greifbaren Kristall. Ein Eiskriställchen ist entstanden. Die ordnende Kraft der gegenseitigen Anziehung der Moleküle hat über die trennende Kraft der Wärmebewegung gesiegt. Und der Mensch freut sich an der Schönheit und Harmonie der vergänglichen Formen, welche ihm nun als Sublimationsprodukte in Form von Schneeflocken, Eisplättchen oder Rauhreif entgegentreten. Die Kälte wurde zum Künstler, zum Schöpfer kristallener Schönheit.

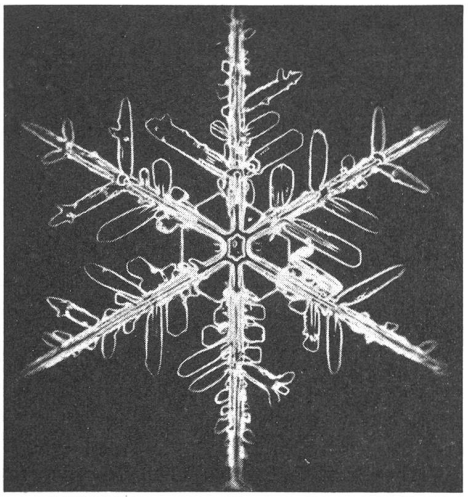
*

Die Luft der freien Atmosphäre enthält wechselnde Mengen von Wasserdampf, aber selten mehr als vier Volumprozente. Weil der Wasserdampf selbst vollkommen farb- und geruchlos ist, werden wir uns dieser Tatsache erst dann bewußt, wenn der Wasserdampf sich in flüssiger Form als Nebel- oder Regentropfen (Bild 3) oder in fester Form als Eisplättchen, Schneeflocken, Rauhreif oder Eisblumen ausscheidet.

Luft ist mit Wasserdampf unbegrenzt und in allen Verhältnissen mischbar. Aber der Wasserdampfgehalt der Luft kann bei gegebener Temperatur gewisse Werte nicht überschreiten. Diese Werte nennt man die Sättigungsfeuchtigkeit. In Bild 2 sind die Werte für die Sättigungsfeuchtigkeit bei verschiedenen Temperaturen angegeben, und zwar pro Kubikmeter Luft.

Bei der Bildung von flüssigem Wasser durch Kondensation oder von Eis durch Sublimation aus dem Wasserdampf spielt das Verhältnis von «absoluter Feuchtigkeit» und «Sättigungsfeuchtigkeit», das heißt die «relative Feuchtigkeit» die entscheidende Rolle.

Betrachten wir ein einfaches Beispiel. Bei der Lufttemperatur von 30 Grad beträgt die absolute Feuchtigkeit ungefähr 20 Gramm pro Kubikmeter Luft. Dann ist die relative Feuchtigkeit 65,7 Prozent; denn 20 Gramm sind 65,7 Prozent von 31,83 Gramm, dem Wert der Sättigungsfeuchtigkeit bei 30 Grad. Wenn nun die betreffende Luftmasse beim Aufstieg in die Höhe oder bei nächtlicher Abkühlung durch Ausstrahlung kälter wird, so bleibt die absolute Feuchtigkeit erhalten, aber die relative Feuchtigkeit nimmt mit sinkender Temperatur zu. Erreicht sie den Wert von 100 Prozent, das heißt, werden absolute Feuchtigkeit und Sättigungsfeuchtigkeit einander gleich, so kann nach Bild 2 die Ausscheidung von Wasserdampf beginnen. Man nennt daher die betreffende Temperatur den «*Taupunkt*». Bei unserem Beispiel erreicht die relative Feuchtigkeit 100 Prozent bei 22,5 Grad. Die Temperatur von 22,5 Grad ist somit jener Taupunkt, welcher der



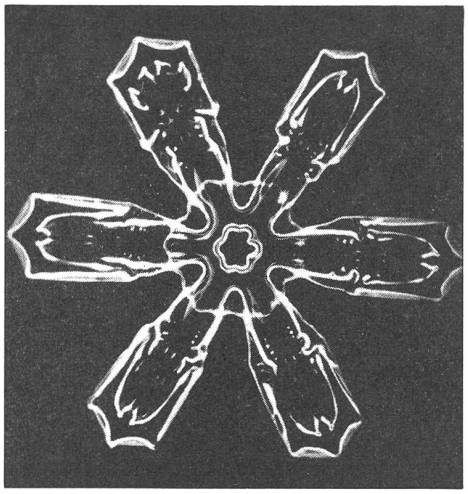


Bild 1 a links: *Schneekristall in 45facher Vergrößerung. Frisch gefallener, noch nicht veränderter Schneekristall mit Haupt- und Nebenästen.*

Bild 1 b rechts: *Beinahe symetrischer Schneekristall in 60-facher Vergrößerung. Der Schneekristall beginnt sich bereits durch Umkristallisation umzuwandeln.*

absoluten Feuchtigkeit von 20 Gramm Wasserdampf im Kubikmeter entspricht.

Zunächst ist die Menge Wasser, die durch Kondensation ausgeschieden werden kann, gering. Sie ist gegeben durch den Unterschied von absoluter Feuchtigkeit zur Sättigungsfeuchtigkeit bei jenen Temperaturen, die unter den Taupunkt absinken. Bei einer Abkühlung auf 20 Grad kann die Menge des ausgeschiedenen Wassers maximal 2,68 Gramm, das heißt, 20 Gramm minus 17,32 Gramm, bei 15 Grad schon 7,25 Gramm und bei null Grad sogar 16,6 Gramm, immer bezogen auf einen Kubikmeter Luft, betragen.

Indessen wird praktisch bloß ein kleiner Teil dieser Wassermenge ausgeschieden, weil die Kondensation des Wassers nur dann möglich ist, wenn erstens Kondensationskerne vorhanden und zweitens eine gewisse *Übersättigung* des Wasserdampfes zu beobachten ist. Je kleiner nämlich die ausgeschiedenen Nebeltröpfchen sind, umso höher muß zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes zwischen Nebeltropfen und Wasserdampf dessen Übersättigung sein. Denn allzu kleine Tröpfchen verdunsten wieder, weil ihre Oberfläche zu stark gekrümmt ist.

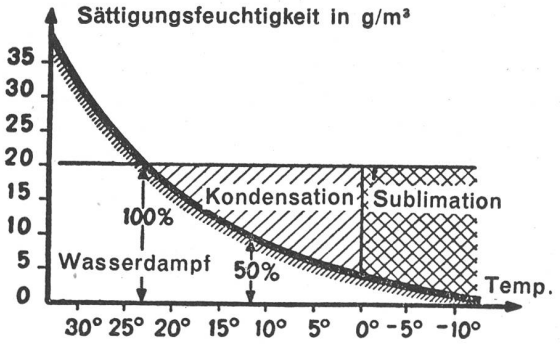


Bild 2: *Temperaturkurve der Sättigungsfeuchtigkeit. Mit sinkender Temperatur nimmt die Sättigungsfeuchtigkeit (in g/m³) ab. Die bei der Abkühlung durch Kondensation und Sublimation ausscheidbare Menge an Wasserdampf ist (für eine absolute Feuchtigkeit in 20 g/m³) gegeben durch die Höhe der schraffierten Flächen.*

Noch komplizierter sind die Verhältnisse unterhalb des Gefrierpunkts. Wasser unter null Grad, sogenanntes «unterkühltes» Wasser und Eis besitzen einen verschiedenen Dampfdruck. Und zwar hat das unterkühlte Wasser, da es den unbeständigeren Zustand darstellt, stets einen höheren Dampfdruck als das Eis von gleicher Temperatur.

Der Unterschied des Dampfdruckes von Wasser und Eis nimmt vom Gefrierpunkt bis zu einer Temperatur von —12 Grad zu, dann wieder ab. In einer Eiswolke kann die Luft wohl in bezug auf Eis, nicht aber auf flüssiges Wasser gesättigt sein. Befinden wir uns dagegen in einer Wolke von «unterkühlten» Wassertröpfchen, so muß deren Luft unter allen Umständen in bezug auf Eiskristalle übersättigt sein. Bei —10 Grad steigt die Übersättigung auf 5 Prozent, bis —20 Grad schon auf 21 Prozent. Aus diesem Grunde sind Wasserwolken nur bis zu Temperaturen von etwa —15 Grad existenzfähig. Wird diese Temperatur unterschritten, so gibt es nur noch Wolken aus Eisnädelchen oder Eiskristallen, wie zum Beispiel die hohen Cirrusschleierwolken.

In dem Übergangsgebiet vom Gefrierpunkt bis zur Temperatur von —15 Grad können nebeneinander eigentliche Eiswolken, gemischte Eis-Wasserwolken und reine Wasserwolken aus unterkühlten Wassertropfen auftreten. Nebel oder Wolken, die aus unterkühlten Wassertröpfchen bestehen, lagern besonders leicht an irgendwelchen mehr oder weniger scharfkantigen Gegenständen, an denen sie vorüberstreichen, Eiskristalle ab. So entsteht der *Rauhreif* (Bild 4) entweder durch direkte Sublimation des Wasserdampfes oder durch Erstarren der unterkühlten Wassertropfen.

Bild 3: *Wasserdunst im Walde. Der feine Wasserdunst der Luft wird oft sichtbar, wenn Sonnenstrahlen vor dunkelm Hintergrund durch die feuchte Luftschicht einfallen.*

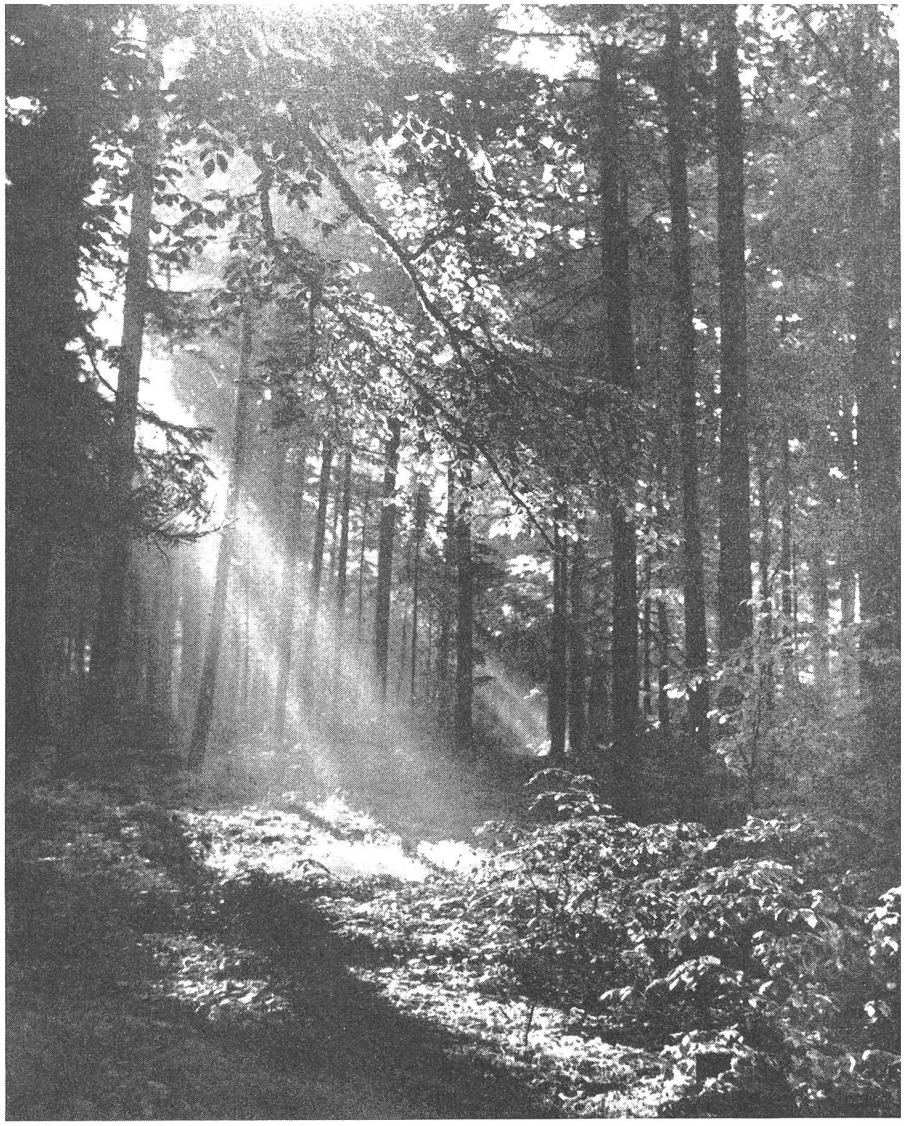


Bild 4: *Rauhreifschmuck nach kalter Winternacht*

Photo Meerkämper, Davos

Natürlich können die Bedingungen zur Bildung von Rauhreif wechseln. Es ist zum Beispiel möglich, daß Regen aus wärmeren Luftschichten in kältere Luftschichten hineinfällt und daß dabei die Wassertropfen unterkühlt werden. Diese Erscheinung ist manchmal verantwortlich für die Entstehung von Glatteis, wenn im Winter eine durch Ausstrahlung stark abgekühlte Luftschicht dicht über dem Boden lagert. Und weil diese Luftschicht gleichzeitig spezifisch schwerer ist, kann sie durch heranstreichende Regenluft nicht sofort vom Boden abgehoben werden. Wenn dann Regentropfen diese kalte Bodenschicht durchfallen, verwachsen sie beim Aufprallen auf den Boden zu der gefürchteten Glatteisschicht analog dem Schoopschen Metallspritzverfahren, das auch erlaubt, mit auffallenden Metalltröpfchen beliebige Gegenstände zu metallisieren.

In unseren Gebirgen erreicht die Vereisung von Telegraphenstangen, Bäumen usw. im Winter ein Maximum in einer Höhe von etwa 1000 bis 1500 Meter. In höheren Luftschichten ist die Luft schon dünn, der absolute Wasserdampfgehalt zu niedrig, als daß die Rauhreifbildung in großem Maßstabe möglich wäre.

Reif bildet sich allerdings gleich wie der Tau auch ohne Nebelbildung nach starker Abkühlung des Bodens. Ein Teil des abgeschiedenen Reifes stammt dabei aus dem Boden oder der Schneeschicht. Die Pflanzendecke oder die oberste Schneeschicht kühlt sich am stärksten ab. Auf ihnen scheidet sich das in tieferen Schichten verdunstete Wasser wieder in Form von Eiskristallen aus.

*

Das Wasser kristallisiert im sogenannten hexagonalen Kristallsystem. Das Eis bildet sechskantige Pyramiden oder Prismen mit seitlichen Platten. Und zwar umso leichter, je geringer die Übersättigung der Luft an Wasserdampf bei der direkten Sublimation ist. Ist die Übersättigung groß, so bilden sich vor allem lange Nadeln und dendritische Formen, weil die Übersättigung das Wachstum begünstigt und darum wegen der seitlich verminderten Stoffzufuhr die Wachstumsgeschwindigkeit am Ende der Nadeln am größten ist. Deshalb schießen bei der Bildung eines dendritischen Schneesterns (Bild 1a und 1b) an den Kern sechs Stabformen, die Hauptäste an, die unter einander Winkel von 60 Grad einschließen. In den Zwischenräumen zwischen diesen Hauptästen wird durch Diffusion die Übersättigung der Luft sofort kleiner als an der Spitze des Hauptastes. Seitenäste können dennoch erst dann von den Hauptästen aus gebildet werden, wenn die Hauptäste so lang geworden sind, daß in den Zwischenräumen wieder durch Diffusion Übersättigung möglich ist. Schneesterne zeigen somit nicht die wirkliche Kristallform des Eises. Diese ist lediglich an den bei tiefen Temperaturen sich bildenden Eisplättchen oder dann nach entsprechender Umwandlung im körnigen Altschnee zu erkennen.

VEREISUNG AN FLUGZEUGEN

Ing. Omar Weber

Bizarre Eisgebilde auf Schiffen bei winterlichen Fahrten und stürmischer See, dicke mit Eis überzogene, von Eiszapfen starrende Felsküsten, welch prächtige Naturerscheinung! Wer kennt sie nicht, die bissige Bise und die vereisten Quais von Genf? Die Vorgänge, die sich bei derartigen Vereisungen abspielen, sind uns geläufig: Bei tiefer Kälte wird Wasser mit einer Temperatur über null Grad Celsius durch den sehr kalten Wind an die ebenfalls kalten Gegenstände am Ufer oder auf Schiffen geschleudert und friert dort an. Am stärksten zeigt sich diese Vereisung, wenn die Luft sehr kalt ist und je näher die Wassertemperatur gegen null Grad rückt.

Im Gegensatz zu diesen bekannten Vereisungen stehen diejenigen der Flugzeuge, wo *unterkühlte Wassertröpfchen* mit einer Temperatur *unter null Grad* beim Aufschlagen auf die Flugzeugteile sofort erstarren und anfrieren. Schon mancher Flugpassagier ist in einem vereisten Flugzeug geflogen (Bild 1 und 2) und hat es gar nicht bemerkt. Gar oft sind aber beide Flügel über die ganze Spannweite vorne an der Flügelnase mit einem dicken, rauhen und weißen Wulst überzogen (Bilder 3 und Bilder 6 und 8), ein andermal ist die Flügeloberfläche mit großen weißen Zähnen, ähnlich denen der Waldsäge, übersät. Unmerklich kann sich auch die Tragfläche mit einer glasigen, gleichmäßigen Eisschicht überziehen, aber erst wenn gleichzeitig Schläge an die metallene Außenhaut des Rumpfes ertönen, wird der Passagier aufmerksam, und die Stewardeß wird auf seine Frage antworten, daß die Propeller vereist seien und daß einzelne von ihnen fortgeschleuderte Eisstücke diese Schläge verursachen.

Wo, das heißt in diesem Falle in welchen Luftschichten trifft das Flugzeug nun auf die oben erwähnten unterkühlten Wassertröpfchen? Fast alle