Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin

Herausgeber: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung

Band: - (1996)

Heft: 31

Artikel: Wie Xenon-Kristalle wachsen

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-551523

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: 15.07.2025

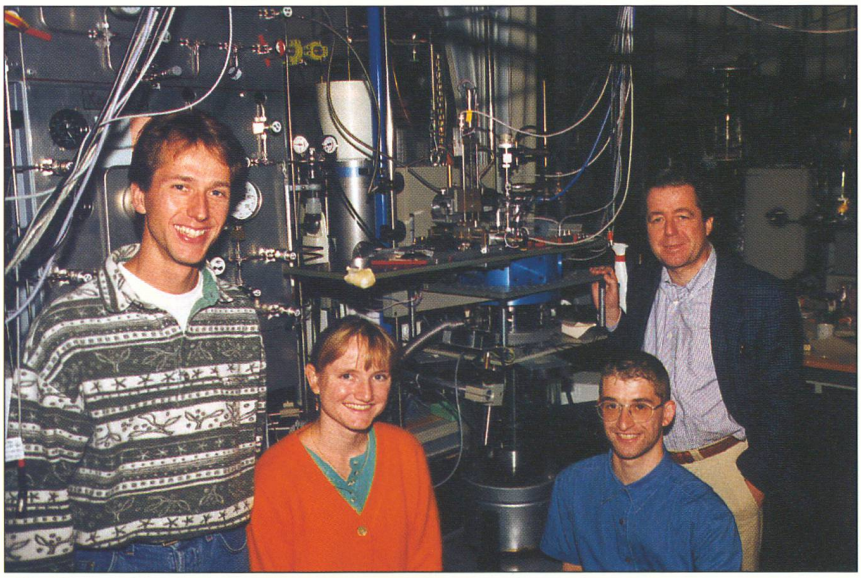
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wie Xenon-Kristalle wachsen

Was geschieht, wenn metallische Schmelzen wie Eisenguss oder Stahl erstarren? Aufschlüsse darüber konnten Physiker und Physikerinnen der ETH Zürich gewinnen, indem sie das Wachstum von Xenon-Kristallen beobachteten. Beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand spielen geometrische Gegebenheiten eine wichtige Rolle.

Wer die Entstehungsweise eines Waldes begreifen will, muss wissen, wie der einzelne Baum heranwächst. Diese Regel mag in manchen Bereichen der Wissenschaft gelten – nicht aber in der Metallurgie. Hier verstehen es die Fachleute zwar in grossem Stil, die verschiedensten Metalle und Legierungen herzustellen: vor Jahrtausenden schon Kupfer, Bronze und Eisen, später Stahl, Aluminium und weitere, zum Teil kompliziert zusammengesetzte Stoffe. Doch was dabei im Detail geschieht, blieb lange Zeit weitgehend unbekannt.

Photos ETHZ



Jörg Bilgram (rechts) mit seinem Team vor der Apparatur, die er zum Beobachten des Wachstums von Xenon-Kristallen entworfen hat.

«Dass eine metallische Schmelze erstarrt, sobald die Schmelztemperatur unterschritten wird, ist allgemein bekannt», erklärt Jörg Bilgram vom Laboratorium für Festkörperphysik an der ETH Zürich. «Aber wir haben noch immer grosse Schwierigkeiten zu erklären, welche Veränderungen beim Wechsel vom flüssigen in den festen Zustand im mikroskopischen Bereich auftreten. Beim Erstarren bildet sich eine Struktur winziger Kristalle in Tännchenform, *Dendriten* genannt. Zum Vorgang ihrer Entstehung gibt es verschiedene Theorien, jedoch nur wenige eingehendere Mikro-Beobachtungen.»

Weltweit bilden sich bei der Stahlproduktion jede Sekunde etwa zehn Milliarden Dendriten (das griechische Wort «*dendron*» bedeutet «Baum»). Ihre Grösse und Form bestimmen das Gefüge und damit mechanische wie auch chemische Eigenschaften – etwa Korrosionsfestigkeit – des wichtigen Werkstoffes. Übrigens gibt es Dendriten nicht allein bei Metallen und Legierungen: Auch in den Wolken werden sie erzeugt, wenn sich Wasserdampf beim Abkühlen in Schneekristalle verwandelt.

Weil Metalle undurchsichtig sind, ist es hier nicht möglich, das Wachstum von Dendriten genau zu studieren. Deshalb musste Jörg Bilgram auf Xenon ausweichen. Dieses Edelgas bleibt selbst in flüssigem und festem Zustand schön transparent. Bei geeigneter Beleuchtung lässt sich sehr gut beobachten, wie im Xenon-Bad dendritische Kristalle heranwachsen. Zwei Nachteile freilich hat diese Methode: Einmal sind dafür recht tiefe Temperaturen erforderlich – Xenon erstarrt bei etwa minus 112 Grad Celsius –, und zum anderen ist das Material teuer: Flüssiges Xenon kostet etwa so viel wie das entsprechende Volumen Gold!

«Im Durchschnitt beobachten wir ungefähr 50 Kristallisationen pro Jahr», ergänzt Evelyne Kaufmann, die unlängst zum Forschungsteam gestossen ist. «Das mag nach wenig aussehen, doch erklärt es sich durch die aufwendigen Vorbereitungsarbeiten. Jedes eigentliche

Experiment dauert bloss zehn bis dreissig Minuten. Zuvor verstreichen aber viele Stunden, bis die Temperatur des flüssigen Xenons auf ein zehntausendstel Grad genau eingestellt ist. Und nach Abschluss des Versuchs muss vom verwendeten Deziliter der letzte Tropfen zurückgewonnen werden.»

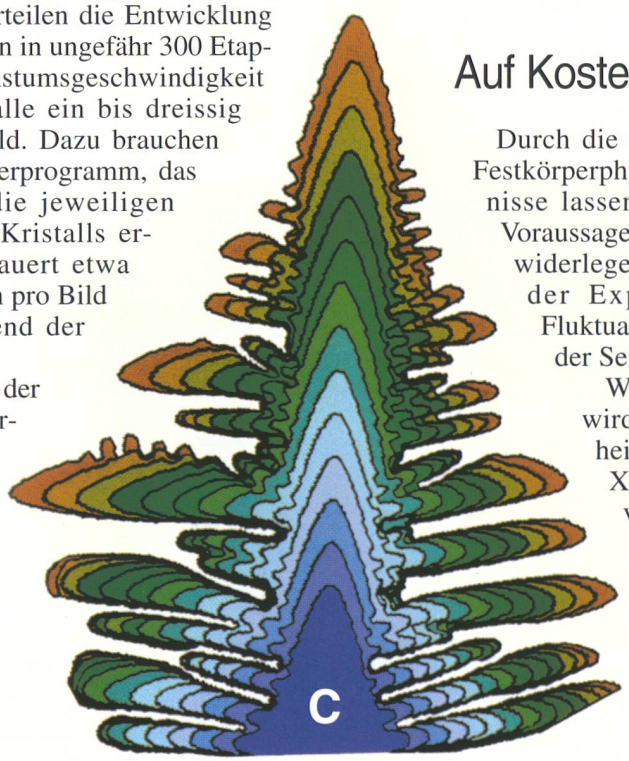
Ist einmal die Temperatur des flüssigen Xenons stabil, wird sie auf zwei bis zwanzig Hundertstelgrade unter den Erstarrungspunkt von minus 111,7603 Grad Celsius gesenkt. Nun beginnt an der Spitze einer feinen Hohlnadel die Kristallisation: Fünf Dendriten spriessen senkrecht zueinander – und dies desto rascher, je weiter die Temperatur unter den Erstarrungspunkt fällt. Sobald die bäumchenartigen Kristalle eine Länge von ungefähr anderthalb Zentimetern erreicht haben, brechen sie unter ihrem eigenen Gewicht zusammen: Das Experiment ist zu Ende. Der ganze Vorgang wird mit 25 Bildern pro Sekunde durch eine Videokamera festgehalten.

Jörg Bilgram betont, wie wichtig diese Aufzeichnungen sind: «Unsere Erkenntnisse beruhen auf der Auswertung der Video-Sequenzen. Wir unterteilen die Entwicklung eines jeden Dendriten in ungefähr 300 Etappen. Je nach Wachstumsgeschwindigkeit analysieren wir alle ein bis dreissig Sekunden ein Bild. Dazu brauchen wir ein Computerprogramm, das automatisch die jeweiligen Umrisse des Kristalls erfasst. Das dauert etwa zehn Minuten pro Bild und wird während der Nacht ausgeführt.»

Was kam nun bei der Analyse der vielen tausend Aufnahmen heraus? Es zeigte sich, dass der «Stamm» der Dendriten-Bäumchen nicht gerundet ist, wie man bisher aufgrund theoretischer Überlegungen vermutet hatte – im Querschnitt treten vielmehr vier kreuzförmig angeordnete Rippen auf. Auf diesen Rippen wachsen dann die Seitenäste.

Ferner ergaben die Experimente an der ETH Zürich, dass der Stammdurchmesser – mit Ausnahme der Spitzenpartie – konstant bleibt. Der Stammdurchmesser beträgt übrigens das Achtzehnfache des Spitzenradius. Weitere Resultate: Die ersten Seitenäste wachsen stets in gleicher Entfernung von der Dendritenspitze aus dem Stamm. Die Rundung der Spitze ist keine perfekte Parabel, wie zuvor angenommen, sondern weicht etwas von dieser Idealform ab. «Solche Einzelheiten sind von grosser praktischer Bedeutung für die Metallurgie, denn sie bilden sich bei jedem der vielen hundert Dendriten in jedem Kubikzentimeter eines Metalls oder einer Legierung», sagt Jörg Bilgram.

So trägt die Grundlagenforschung zur Produktion immer besserer Werkstoffe bei. Wenn die Metallurgen die geometrischen Gegebenheiten der Dendritenbildung verstehen, können sie die Kristallgrösse gezielt beeinflussen: je kleiner die «Bäumchen», desto homogener das Material und desto höher die Qualität.



A. Ein Xenon-Dendrit in 20-facher Vergrösserung. Wie ein Baum besteht er aus Stamm und Seitenästen.

B. Dendritenspitze 50x vergrössert. Wo der Krümmungsradius abnimmt, setzen die ersten Seitenäste an.

C. Die farbig markierten Partien zeigen das Wachstum eines Dendriten (30-fach vergrössert) von Minute zu Minute.

Auf Kosten der Kleinen

Durch die im ETH-Laboratorium für Festkörperphysik gewonnenen Erkenntnisse lassen sich einige theoretische Voraussagen stützen, andere hingegen widerlegen. Ein wichtiges Ergebnis der Experimente: Thermische Fluktuationen lösen das Wachstum der Seitenäste aus.

Wo die Kristallisation erfolgt, wird Reaktionswärme frei und heizt das umgebende flüssige Xenon auf; auf diese Weise verzögert sich hier die Erstarrung. Rasch wachsende Seitenäste behindern also durch die von ihnen erzeugte Wärme die Entwicklung benachbarter kleinerer Äste. Solche können sogar teilweise wieder schmelzen. Eine schöne Parallele zu den Bäumen im Wald: Auch dort müssen die Kleinen im Schatten der Grossen verkümmern.