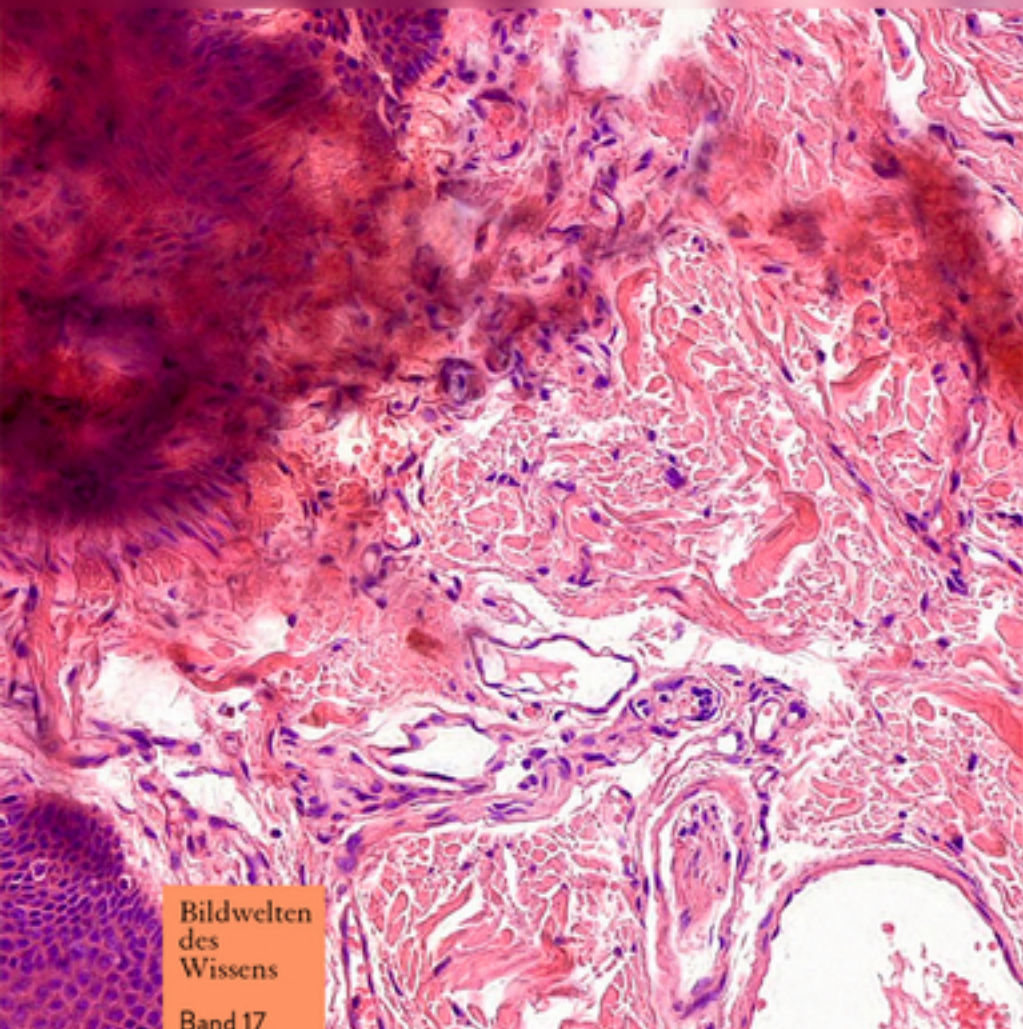


Matthias Bruhn (Hg.)

KÄLTEBILDER

Ästhetik und Erkenntnis am Nullpunkt



Bildwelten
des
Wissens

Band 17

DE GRUYTER

Matthias Bruhn (Hg.)

Kältebilder
Ästhetik und Erkenntnis am Gefrierpunkt



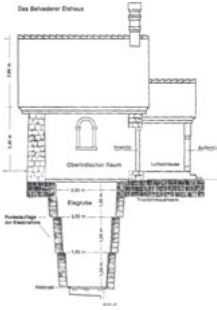
Bildwelten des Wissens
Band 17

Matthias Bruhn (Hg.)

KÄLTEBILDER

Ästhetik und Erkenntnis am Gefrierpunkt

DE GRUYTER



1



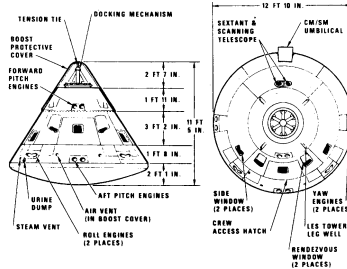
2



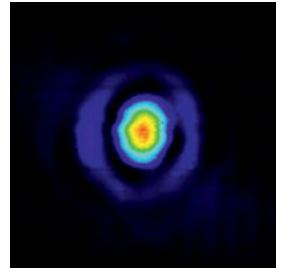
3



4



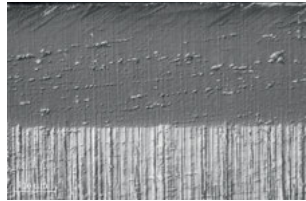
5



6



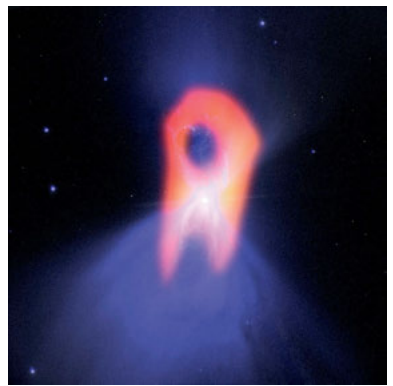
7



8



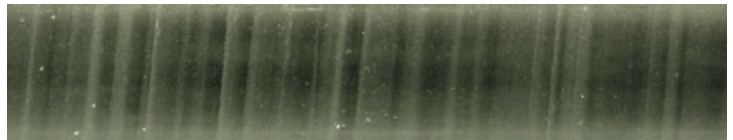
9



10



11



12

1: Angelika Schneider, Peter Vent: Tafel am Belvederer Eishaus, Vorlage für Siebdruck, 1995. 2: Belvederer Eishaus, 1863. 3: Dr. Jerry Lemler, Präsident und CEO der Alcor Life Extension Foundation im Patient Care Bay Areal des Hauptquartiers der Firma, Scottsdale, Arizona. 4: Yach-tschäl in Yazd, ab 500 v. u. Z. 5: Schnittdarstellung des Kommandomoduls der Apollo 10 der Mondumlaufbahn-Mission. 6: Strahlprofil und Halo eines Lasers zur Kühlung am Experimentierspeicherring der Gesellschaft für Schwerionenforschung. 7: My Favourite: Love at Absolute Zero, Album Cover, 1999. 8: Mikroskopansicht der Einwegklingschneide eines Mikrotoms. 9: Ed Hawkins: Warming Stripes for GLOBE from 1850-2019. 10: Atacama Large Millimeter/submillimeter Telescope: Bumerangnebel, 2013. 11: Gefriergetrocknete Eiscreme. 12: Längsschnitt eines Bohrkerns aus dem Grönländischen Eisschild, 2009.



13



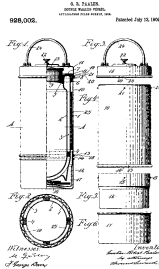
14



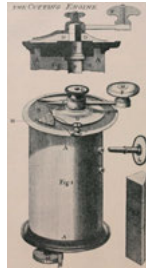
15



16



17



18



19



20



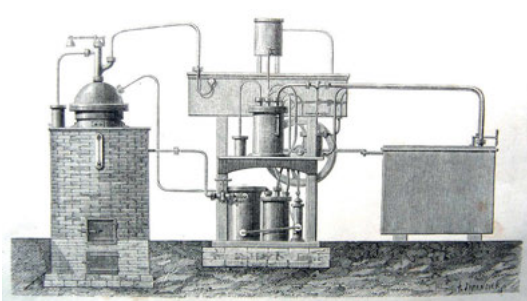
21



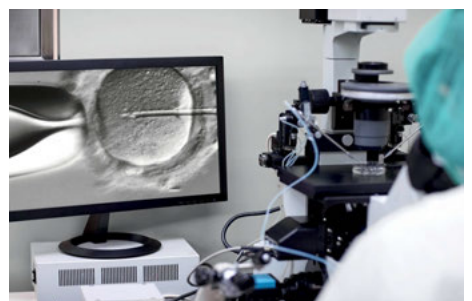
22



23



24



25

13: Stickstofftank der Firma Linde, 2007. **14:** Gefriertrocknungsanlage Sublimator 50 EKS der Firma Zirbus Technology, 2018. **15:** Jordan Salkin: Thermische Vakuumprüfkammer, 2019. **16:** Willis Carrier: Entwurf der ersten modernen Klimaanlage, Zeichnung, 1904. **17:** Gustav Robert Paalen: Doppelwandiges Gefäß, Patent 27. Juni 1908, veröffentlicht am 13. Juli 1909. **18:** Mikrotom Alexander Cummings nach John Hill, 1770. **19:** Fieber- u. Erkältungsmixtur, 1970. **20:** Orlando Hodgson: Hydroselbsttherapie, Farblithografie, 19. Jh. **21:** Schneekanone, 2017. **22:** Unbekannt: Willi Carriers Klimaanlage im Sommer 1902 in der Sackett & Wilhelms Druckerei Brooklyn, New York, veröffentlicht August 1954. **23:** MECOTEC: Tiefkalte Lösungen für Impfstoffe, CGI, 2021. **24:** Gaston Tissandier: Eismaschine Ferdinand Carrés, patentiert 1860, Kupferstich, 1878. **25:** Henry Fertility: In-vitro-Fertilisation, 2020.

Inhalt

- 7 **Editorial**
- 10 K. Lee Chichester
„Snowflake Generation“. Die Kristallisierung kosmischer (Un-)Ordnung
- 28 **Bildbesprechung**
Johanna Schiffler: **„Aus der Wirklichkeit ins Stilisierte“.**
Cuno Amiets Schneelandschaft mit Skifahrer
- 35 Kostas Gavroglu
Alice in the Land of Cold
- 43 Lodewijk Johannes Reinders
The Quest for Absolute Zero. Early Historical Developments in Cryogenics
- 58 Hans-Jörg Rheinberger
Verlangsamen. Kälteumgebungen biologischen Experimentierens
- 69 Winfried Gerling
Bilder einfrieren, oder: Wie das Bewegtbild in den Eisschrank kommt
- 82 Katja Müller-Helle
Monobloc. Kältetechnik bei Via Lewandowsky
- 90 Andreas Homann
Eis für alle. Bilder der Kälte als kollektive Symbole
- 102 Katharina Weinstock
Kann Kunst die Welt verändern? Arktisches Eis in Werken
Olafur Eliassons, Willem de Rooijs und Susan Schupplis
- 114 **Bildnachweis**
- 118 **Autorinnen und Autoren**

Editorial

Der moderne Mensch ist ein kaltes Wesen. Nachdem die Beherrschung des Feuers seit mythischen Zeiten die Macht des Menschen über die Natur versinnbildlicht hatte, ist im Industriezeitalter auch die Kälte in ihrer wissenschaftlichen Bedeutung erkannt und als technische Herausforderung angenommen worden. Nach Galvanismus und organischer Chemie versprechen neue Verfahren zur Herstellung und Kontrolle künstlicher Kälte eine weitere Stufe in der Höherentwicklung des Lebendigen. Sie wecken Hoffnungen, das Leben verlängern oder den Tod überwinden zu können, und werden ein fester Bestandteil der utopischen Literatur und Science-Fiction. Auch in kalifornischer Wendung ist die Kryotechnik neben Elektrizität und Raumfahrt weiterhin ein Schlüssel im transhumanistischen Plan.

Jenseits der Fantastik gehört künstlich erzeugte Kälte tatsächlich zu den folgenreichsten Errungenschaften der jüngeren Geschichte: Mitte des 19. Jahrhunderts stellte der englische Bierbrauer James Prescott Joule fest, dass sich bestimmte Gasmischungen unter Druck erwärmen und bei nachlassendem Druck wieder abkühlen – ein Phänomen, das seither auf unterschiedlichste Weise zur Anwendung gekommen ist. Zur Jahrhundertwende entstanden Laboratorien, in denen unter extremer Kälte Gase verflüssigt werden konnten, mit Effekten, die den Naturgesetzen zu widersprechen schienen. Im Jahr 1911 beobachtete Heike Kamerlingh Onnes in seinem Leidener Labor, dass leitfähige Materialien bei extremer Kälte keinen elektrischen Widerstand mehr aufweisen. Diese *Supraleitung* wurde von Lew Wassiljewitsch Schubnikow, einem Pionier der sowjetischen Kryogenik, in Charkiw weiter untersucht, aber erst später in ihrer vollen Bedeutung erkannt. So beruht beispielsweise die Magnetresonanztomografie auf starken Magnetfeldern, die mit Hilfe von Supraleitern erzeugt werden können. Sie ist damit ebenfalls und auf indirekte Weise ein bildgebendes Verfahren, das aus der Kälte kam.

Die Kältelabore in Leiden, Berlin oder Charkiw entstanden ungefähr zeitgleich mit der Jagd nach dem kältesten natürlichen Punkt der Erde. Onnes machte seine Beobachtung im selben Jahr, in dem auch eine norwegische Expedition den geografischen Südpol erreichte. Diese entbehrungsreichen Reisen in das angeblich ewige Eis waren von großer Medienaufmerksamkeit begleitet, Fotografien schwarzer Silhouetten vor absolutem Weiß wurden zu Ikonen männlicher Abhärtung und eines unerbittlichen Pioniergeistes, dem am Ende nur noch der Aufbruch in die Leere des Weltraums bleibt.

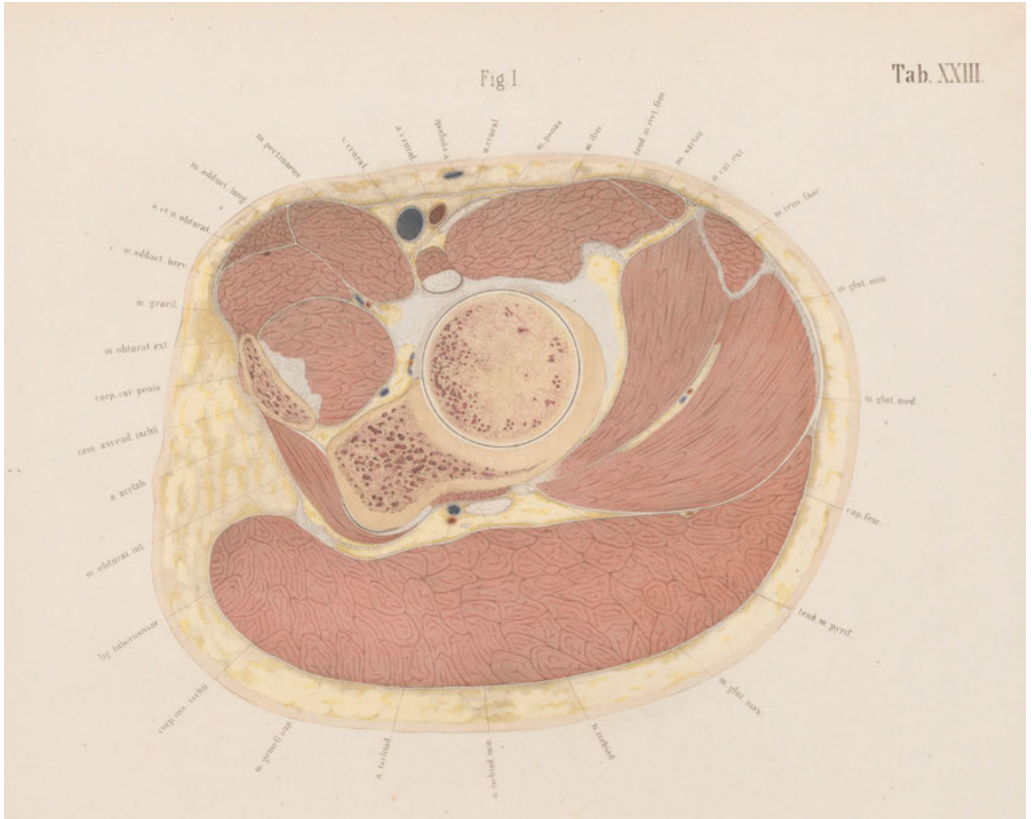
Mit den neuen Verfahren veränderten sich die Lebensgewohnheiten, und den Wissenschaften erwachsen ungeahnte Möglichkeiten, weil sich biologische Prozesse durch Kälte verlangsamen, neue Werkstoffe per Gefriertechnik formen oder prüfen lassen. Quantenrechner setzen wie die medizinische Diagnostik auf Supraleitung.

Auch in epistemologischer Hinsicht ist Kälte damit so fundamental wie die Einführung optischer Systeme zur Mikro- oder Fernbeobachtung, und in vielen Fällen ist sie mit dieser direkt verbunden, etwa in Gestalt von Gefrierschnitten für die mikro- und makroskopische Beobachtung, deren zeitgenössische Form der Buchdeckel dieses Heftes vor Augen führt. Aber Kälte ist nicht gleich Kälte. Neben der Temperatur entscheiden auch die Geschwindigkeit und das Verfahren über ihren erfolgreichen Einsatz: Eisbildung kann organische Strukturen zum Platzen bringen. Schockfrostung hinterlässt andere Muster als eine allmähliche Abkühlung oder eine stabil gehaltene Dauerkälte.

Einen besonders drastischen Fall liefern die anatomischen Schnittbilder nach gefrorenen menschlichen Kadavern, die der Leipziger Anatomie-Professor Christian Wilhelm Braune im Jahre 1867 in einem aufwendigen chromolithografischen Atlas herausgebracht hat. Braune musste sich noch mit winterlichen Temperaturen und mit herkömmlichen Kühlkammern behelfen. Sein Werk blieb lange Zeit unübertroffen wegen einer Darstellungsweise, deren Radikalität im Zeitalter strahlenbasierter Verfahren leicht übersehen werden kann, denn es bestand dem Titel entsprechend aus farbigen Wiedergaben vollständig durchgesägter menschlicher Leichname. **Abb. 1** Die sprichwörtlich gewordene Kälte oder *Coolness* des wissenschaftlichen Labors artikuliert sich hier gleichermaßen technisch wie symbolisch. Erst das *Visual Human Project*, bei dem ein männlicher und ein weiblicher Leichnam in Hunderte feiner Lagen zerschnitten wurden – was entsprechende ethische Vorwürfe mit sich brachte –, ist in Sachen formaler Gnadenlosigkeit noch einen Schritt weiter gegangen, und zwar gerade weil bildgebende Verfahren zur Verfügung standen, die aber noch nicht dieselbe Feinheit boten.

Zuletzt ist die Bedeutung von Kühlprozessen in allgemeine Erinnerung gerufen worden durch komplexe Impfstoffe auf Basis von mRNA, die bei -70°C in Trockeneis gelagert werden müssen. Es gehört zur Dialektik der Kühltechnik, dass sie Leben abtöten und verlängern kann oder dass ihr steigender Energiehunger den menschengemachten Klimawandel begleitet und mitverschuldet: eine überkochende Erde aus Verbrennungs- und Klimaanlagen, deren Atmosphäre in ein Treibhaus verwandelt wird, während dahinter der absolute Nullpunkt wartet. Die Bilder für diesen Prozess – Diagramme oder Aufnahmen schmelzender Gletscher und Polkappen – scheinen daran wenig ändern zu können.

Im vorliegenden Band soll es nicht um moralische, sondern um technische Kälte gehen. Es sind darin aus gutem Grunde die künstlerischen Formen der Beobachtung und Darstellung eingeschlossen, die ohne sie nicht zu denken sind. Kälte ist ästhetische Haltung oder kristalline Form. Ein weißer Papiergrund ist mit wenigen Strichen in eine Winterlandschaft aus imaginärem Schnee verwandelt. Und für die bildenden



1: Wilhelm Braune: Topographisch-anatomischer Atlas nach Durchschnitten an gefrorenen Cadavern, Tab. XXIII Fig. II, Oberschenkel, 1867, kolorierter Holzschnitt, lebensgroß.

Künste der Gegenwart ist der Klimawandel mehr als nur Thema, er ist ein ernsthaftes konservatorisches Problem, das die eigene Arbeit betrifft, denn Museen sind in der Regel Kühlräume zur Aufbewahrung fragiler Gebilde. Es braucht daher auch den Blick auf die Kälte und ihre Bedeutung für das Entstehen und Verschwinden von Bildern, um die globale Entwicklung ganz zu erfassen.

Matthias Bruhn mit Claudia Blümle, Horst Bredekamp und Katja Müller-Helle

K. Lee Chichester

„Snowflake Generation“. Die Kristallisierung kosmischer (Un-)Ordnung

Der Schneekristall hat eine fragile Struktur, die nur unter Kälte stabil ist. Zuletzt wurde das Schneeflöckchen, das so leicht dahinschmilzt, sogar zum politischen Kampfbegriff, als rechte Kräfte im US-Präsidentenwahlkampf 2016 die angeblich von antiautoritärer Erziehung verweichlichte Jugend mit ihren hypersensiblen Forderungen nach *Safe Spaces*, Trigger-Warnungen und Gendergerechtigkeit zur „Snowflake Generation“ erklärten. Weil damit auf einen medial gesteigerten Narzissmus angespielt wurde, holte der Vorwurf am Ende sogar den Kandidaten Donald Trump selber ein, der wegen seiner Empfindlichkeit gegenüber Kritik von der Londoner Tageszeitung *The Guardian* als „Snowflake-in-Chief“ betitelt wurde.¹

Die empfindliche Schneeflocke ist aber nicht nur politische Metaphorik, sie ist seit Jahrhunderten eine wissenschaftliche Herausforderung mit besonderer bildhistorischer Bewandnis. Ihre Struktur wie auch das Prinzip ihrer Genese blieb bis zur Erfindung der Mikrofotografie sowie letztlich der Röntgendiffraktometrie ungeklärt. Sie war Modellgegenstand im Disput um die Mathematisierbarkeit oder Kontingenz der Natur – ein Konflikt, der sich in Bildern des Schneekristalls manifestierte, im Versuch einer Fixierung des Ephemeren zur Analyse natürlicher Gestaltungskräfte. Als komplexer Körper, der in unendlicher Vielfalt in Erscheinung tritt und zugleich verspricht, sich auf wenige Grundprinzipien zurückführen zu lassen, bot der Schneekristall Ansatzpunkte für eine mechanistische Erklärung nicht nur der anorganischen Welt, sondern auch des Lebendigen. In der Erforschung dieser „Kunstform der Natur“ übernahmen künstlerische Praktiken als gestalterische Episteme eine Schlüsselrolle.

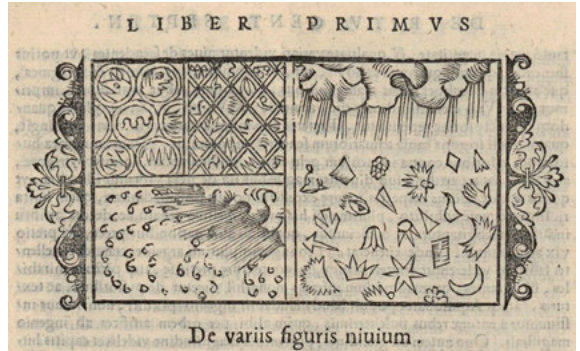
Während in China bereits um 135 v. u. Z. die Sechsstrahligkeit des Schneekristalls als Naturprinzip identifiziert wurde, ist aus der griechischen Antike keine Beobachtung hierzu überliefert.² In Nordeuropa, wo Schneestürme keine Seltenheit waren, sollte erst Albertus Magnus im 13. Jahrhundert die „Sternförmigkeit“ der Schneekristalle erwähnen.³ Allerdings fand diese Erkenntnis noch keinen Niederschlag in der ersten überlieferten Darstellung von Schneeflocken in Olaus Magnus' *Historia de gentibus septentrionalibus* („Geschichte der nordischen Völker“) von 1555. Die Radierung zeigt unter den 23 abgebildeten Flocken nur einen einzigen, immerhin sechsstrahligen

- 1 Paul John Brammer: America: Behold, Your Snowflake-in-Chief. In: *The Guardian*, 16.01.2017, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/jan/16/snowflake-in-chief-donald-trump> (Stand 3/2020).
- 2 So überliefert das *Taiping Yulan*, eine Enzyklopädie des 10. Jahrhunderts, eine Passage aus einem Buch von ca. 135 v. u. Z.: „Blüten von Pflanzen und Bäumen sind meist fünfstrahlig, jene des Schnees sind jedoch immer sechsstrahlig.“ Zit. nach Joseph Needham, Lu Gwei-Djen: *The Earliest Snow Crystal Observations*. In: *Weather*, 1961, Nr. 16 (10), S. 319–326, hier S. 320. Aristoteles hat Beobachtungen zum Schnee angestellt, jedoch keine prinzipielle Sechsstrahligkeit bemerkt.
- 3 Die Sechsstrahligkeit fügt sich in die chinesische Numerologie ein, der zufolge dem Element Wasser die Zahl sechs zugeordnet ist. Dies mag für die Entdeckung sensibilisiert haben; ebd. S. 323.

Stern. **Abb. 1** Damit hatte der Bischof von Uppsala zwar die Formenvielfalt der Schneekristalle erkannt, nicht aber ihr hexagonales Grundprinzip.⁴

Es blieb dem Hofmathematiker und -astronomen Rudolphs II., Johannes Kepler, überlassen, die Sechsstrahligkeit des Schnees in einer Publikation zu behandeln, wobei er die folgenreiche Kausalfrage stellte: „cur semper sexangula?“⁵ Der leichtfüßig-humorvolle Tonfall der Schrift *Strena Seu De Nive Sexangula* („Neujahrsgabe, oder: Vom sechseckigen Schnee“), die Kepler als Neujahrsgeschenk für seinen Gönner Johann Matthäus Wacker von Wackenfels im Winter 1610 verfasst hat, täuscht über ihre wissenschaftshistorische Gewichtigkeit hinweg.⁶ In Anspielung auf seinen offenbar ausstehenden Lohn sinnt Kepler darüber nach, wie er dem Reichshofrat und bekennenden Liebhaber des Nichts ebenfalls Nichts schenken könnte. Als es plötzlich zu schneien beginnt, verfällt er auf den Gedanken, eine Schrift über Schnee, auf Lateinisch *nix*, zu verfassen.⁷ Als die Flöckchen jedoch schneller dahinschmelzen, als der Astronom sie beobachten kann, droht aus dem Unterfangen selbst ‚nix‘ zu werden.

Nach erneutem Schneefall muss Kepler obendrein erkennen, dass er sich über die Gestalt der Flocken grundlegend getäuscht hat. War er davon ausgegangen, dass die vom Himmel fallenden „Sterne“ winzige Oktaeder darstellten, die sich erst durch Aufprall und einsetzende Schmelze sternförmig abflachten, stellt er nun fest, dass dem Schnee bereits im Anflug eine sechseckige Plättchenform eigen ist. Für den Erfinder der *Machina mundi artificialis*, eines polyedrischen Kosmosmodells, ist dies ein schwerer Schlag.⁸ Es ist vielleicht eines der poetischsten Bekenntnisse des Scheiterns, wenn



1: Olaus Magnus: Schneekristalle, 1555, Radierung, in: *Historia de gentibus septentrionalibus*, Kapitel: „De variis figuris nivium“, Rom, S. 37.

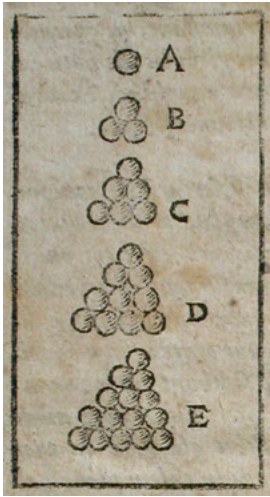
4 Der Physiker und Meteorologe William J. Humphreys mutmaßte 1931 wohlwollend: „However, the engraver certainly must have lost the good bishop’s sketches and instructions, and then given to his greenest novice the honor of making this first of all cuts of the snow crystal.“ Wilson A. Bentley, William J. Humphreys: *Snow Crystals*, New York/London 1931, S. 1.

5 Johannes Kepler: *Strena Seu De Nive Sexangula*, Frankfurt a. M. 1611, S. 5.

6 Kepler hat die Schrift vermutlich bereits 1610 verfasst, da ihn sein Bruder in einem Brief vom 16. April 1610 nach dem „libellus latinus de nive sexangula“ fragt. Johannes Kepler: *The Six-Cornered Snowflake*, hg. v. Lancelot Law Whyte, Oxford 1966, S. 65, Endnote 1.

7 Johannes Kepler: *Vom sechseckigen Schnee*, hg. u. übers. v. Lothar Dunsch, Dresden 2005, S. 35.

8 Ebd., S. 50. Im *Mysterium cosmographicum* (Tübingen 1596) hatte Kepler sein berühmtes Modell des Kosmos vorgestellt, bestehend aus ineinandergeschachtelten Polyedern und Sphären, die sich mechanisch drehten. Das Modell hatte Kepler selbst aus Papier konstruiert, um es von Kunsthandwerkern am Hof



2: Johannes Kepler: Dichteste Kugelpackung, 1611, Holzschnitt, in: *Strena Seu De Nive Sexangula*, Frankfurt a. M., S. 10.

Kepler, kurz nachdem er sich gerühmt hat, durch seine Verschränkung von Mikro- und Makrokosmos „mit fast Nichts beinahe ein allumfassendes Universum selbst errichtet“ zu haben, feststellen muss:

„So sollte ich hier einen Rückzug antreten und mir Mühe geben zu bekennen, daß das, was ich angegeben und gesagt habe, Nichts ist. Das wird herauskommen, so schnell wie meine Schneeflocke schmilzt, so ziehe ich mein triviales Argument zurück mit ebenso trivialen Gegenargumenten und reduziere sie auf – Nichts.“⁹

Die von Kepler beklagte Kurzlebigkeit seiner Objekte ist womöglich ein Grund, weshalb er die ornamentale Gestalt der Schneekristalle in seiner Neujahrsgebe nicht abgebildet hat. Stattdessen finden sich drei Bilder, die trotz ihrer Schlichtheit eine tiefe Spur in der Wissenschaftsgeschichte hinterlassen haben: Es sind Darstellungen aneinandergelagerter Kreise und Kugeln in unterschiedlichen Formationen. **Abb. 2** Sie zeugen von Keplers Beschäftigung mit dem Problem der dichtesten Kugelpackung, das er in seiner Schrift ‚nebenbei‘ gelöst hat.¹⁰ Aus der platzsparendsten Packung von Sphären (als Modell für kleinste Partikel) leitet er eine physikalische Erklärung für geometrische Formbildungen ab, die bislang als kapriziöse *ludi naturae* gegolten hatten. Am Ausgangspunkt steht die Frage, ob die Sechsstrahligkeit des Schnees durch ein Agens bewirkt werde, das „von innen vorhanden oder eine wirksame Ursache von außen“ sei: „Formt es die sechseckige Gestalt mit dem Stoff aus, wie es der Stoff vorgibt, oder wird es durch eine eigene Natur bewirkt“?

Friedrichs I. von Württemberg in Silber und Edelstein bauen zu lassen. Diese Umsetzung blieb allerdings unausgeführt. Siehe Horst Bredekamp: *Antikenschnusucht und Maschinenglauben. Die Geschichte der Kunstakademie und die Zukunft der Kunstgeschichte*, Berlin 2007, S. 41f. Zur kunsthandwerklichen Reflexion über Polyeder als Bausteine des Kosmos siehe Robert Felfe: *Naturform und bildnerische Prozesse. Elemente einer Wissensgeschichte in der Kunst des 16. und 17. Jahrhunderts*, Berlin 2015, insbes. S. 212–231, sowie die Master-Arbeit der Verfasserin: *Der Kosmos aus der Materie. Wenzel Jamnitzer und die verkörperte Geometrie der Frühen Neuzeit*, Humboldt-Universität zu Berlin 2014.

⁹ Kepler: *Vom sechseckigen Schnee* (s. Anm. 7), S. 49.

¹⁰ Anregung erhielt Kepler durch eine Korrespondenz mit dem englischen Mathematiker und Atomisten Thomas Harriot, der Ende des 16. Jahrhunderts die Stapelung von Kanonenkugeln im Auftrag Sir Walter Raleighs untersucht und neben Vergleichen zu kunsthandwerklichen Objekten auch Analogien zur dichtesten Packung von Atomen hergestellt hatte. Seine unpublizierten Erkenntnisse sind im British Museum und Petworth House Sussex erhalten; Basil John Mason: *On the Shapes of Snow Crystals*. In: Kepler: *The Six-Cornered Snowflake* (s. Anm. 6), S. 52. Erst 2017 konnte Keplers Vermutung durch Thomas Hales' Computermodell mathematisch bewiesen werden.

Letztere imaginiert er als eine Art geistige Kraft, die nach Zweck bzw. Schönheit formt.¹¹ Kepler entscheidet sich zunächst für die ideengeschichtlich revolutionäre Variante einer mechanischen Kraft, die „mit dem Stoff“ formt, „wie es der Stoff vorgibt“.

Zur Erörterung wendet er sich geometrischen Formationen in der Natur zu, allen voran der Bienenwabe. Ihre hexagonale Gestalt lasse sich auf den Konstruktionsprozess zurückführen, bei dem die Bienen mit geringstem Material- und Arbeitsaufwand lückenlose Waben von größtem Füllraum herstellten, wobei sie dem Prinzip der dichtesten Kugelpackung folgten.¹² Würden nämlich Kugeln zum Tetraeder gestapelt und dann zusammengedrückt, entstünden durch Berührung von jeweils zwölf benachbarten Sphären, den „Zwängen des Stoffes“ folgend, rhombische Dodekaeder von sechseckigem Querschnitt.¹³ Diese Form findet er auch in Granatapfelkernen, deren Gestalt sich durch *necessitas materialis* bilde, also als stofflich notwendiges Ergebnis des Zusammenspiels von Materie und mechanischem Druck.¹⁴

Mit der Darstellung kondensierter Wasserdampfteilchen als gestapelte Kügelchen stiftete Kepler eine neue, langlebige Ikonografie des Korpuskels. Indem sein Holzschnitzer diese Körper durch schraffierte Schattierungen und perspektivische Verzerrung räumlich wiedergab, ging er über die vom Atomisten Giordano Bruno verwendeten schwarzen Punkte hinaus.¹⁵ Während Kepler die Entstehung seiner Schrift dem glücklichen Zufall zuschrieb, dass es gerade, als er auf dem Weg zu seinem Gönner war, zu schneien begann, fielen seine Beobachtungen doch nicht vom Himmel. Vielmehr hatte er schon diverse Experimente mit Ton- oder Wachskugeln sowie mit Polyeder-Modellen angestellt, und manches deutet darauf hin, dass Kepler Inspiration in fürstlichen Kunstkammern fand, wo sich unter den *naturalia* und *artificialia* unzählige Anschauungsbeispiele für autopoietische Geometrien und stereometrische Versuche

11 Kepler: Vom sechseckigen Schnee (s. Anm. 7), S. 36.

12 Ebd., S. 36f.

13 Ebd., S. 38f., s. zudem Anm. 5. Die Gruppe der Rhomben-Polyeder hat Kepler in *De Nive Sexangula* erstmals in einer Veröffentlichung benannt, jedoch erst in *Harmonices Mundi*, Buch II (Linz 1619) illustriert. Die erste Erwähnung findet sich in einem Brief an Michael Maestlin von 1599. Siehe Judith Veronica Field: Kepler's Geometrical Cosmology, London 1988, Appendix 4, S. 201–219.

14 Kepler: *Strena seu* (s. Anm. 5), S. 16.

15 1588 veröffentlichte Giordano Bruno Darstellungen von Atomen als dicht gepackte schwarze Punkte in *De triplici minimo* sowie in *Articuli adversus mathematicos*. Kepler beschäftigte sich just um 1610/11 mit Giordano Brunos astronomischen Theorien. Christoph Lüthy: The Invention of Atomist Iconography. In: Wolfgang Lefèvre (Hg.): *The Power of Images in Early Modern Science*, Basel 2003, S. 117–138, hier S. 117f. Siehe auch ders.: Die Erfindung atomistischer Ikonografie. In: Charlotte Bigg, Jochen Hennig (Hg.): *Atombilder. Ikonografie des Atoms in Wissenschaft und Öffentlichkeit des 20. Jahrhunderts*, Göttingen 2009, S. 19f.

darboten.¹⁶ Das Gerüst des Kosmos war mittels einer „verkörperten Geometrie“ aus der konkreten Materie abgeleitet worden, einschließlich der Beobachtung, dass sich die Partikel im Knetkugelmodell nicht durchweg idealtypisch verhalten.¹⁷

Die Anwendung von Keplers Modell auf Schneeflocken scheiterte allerdings. Deutete er diese zunächst als Oktaeder, die durch Kondensation von jeweils sechs Wasserdampfpartikeln um einen Keim bei Kälteeinwirkung hervorgehen, musste er beim nächsten Schneefall ernüchtert einsehen, dass die Flocken durchweg hexagonal sind.¹⁸ Da er sich ihre flache Form nicht aus einem materiellen Zwang erklären konnte, griff er auf die mittelalterliche *vis formatrix* zurück.¹⁹ Dieses formgebende Vermögen der Erde machte er schließlich für all jene Selbstbildungen der Natur verantwortlich, die frei von stofflicher Notwendigkeit entstünden, nicht zuletzt zum Schmuck. Mit dieser Teil-Revision seines mechanistischen Standpunktes zugunsten eines Kunstvollens der Natur schloss Kepler seine Beobachtungen, das Problem der Kristallbildung an die Chemie verweisend. *Nihil sequitur* – nichts folgt.²⁰

Die ephemere Schneeflocke muss sich dem Mathematiker Kepler als selbstgenerierte, funktionsfreie irdische Gestalt höchster Ordnung bei zugleich unendlicher Variation als Untersuchungsgegenstand für die Grundlegung eines neuen physikalischen Weltbildes geradezu aufgedrängt haben: Der flüchtige Schnee oder *nix* war das Verbindungs-

16 So schreibt Kepler: „Wenn man eine Menge gleicher und runder Kügelchen aus einem weichen Stoff in ein rundes Gefäß gibt und durch Eisenreifen von allen Seiten gleich zusammendrückt, so werden die meisten Kügelchen zu einer rhombischen Figur zusammendrückt, besonders wenn man sie durch geeignetes Schütteln des Gefäßes zuvor in eine enge Anordnung gebracht hat.“ Kepler: Vom sechseckigen Schnee (s. Anm. 7), S. 38. Zur Relevanz der Kunstammer und des Kunsthandwerks für Keplers Theoriebildung siehe Ewa Chojacka: Johann Kepler und die Kunst. Zum Verhältnis von Kunst und Naturwissenschaften in der Spätrenaissance. In: Zeitschrift für Kunstgeschichte, 1967, Nr. 30 (1), S. 55–72.

17 Zur „verkörperten Geometrie“ der Frühneuzeit siehe Felfe (s. Anm. 8), insbes. S. 13–15, sowie K. Lee Chichester: Von Tupfen, Rissen und Fäden. Geometrie als verkörperte Praxis in der Frühen Neuzeit. In: Matthias Bruhn, Sara Hillnhütter (Hg.): Bilder der Präzision. Praktiken der Verfeinerung von Technik, Kunst und Wissenschaft, Berlin/Boston 2018, S. 137–152.

18 Kepler: Vom sechseckigen Schnee (s. Anm. 7), S. 42–45 und S. 50. Im sechseckigen Oktaeder hatte Kepler eine Analogie zu den drei Achsen des Tierkörpers erkannt; ebd., S. 46.

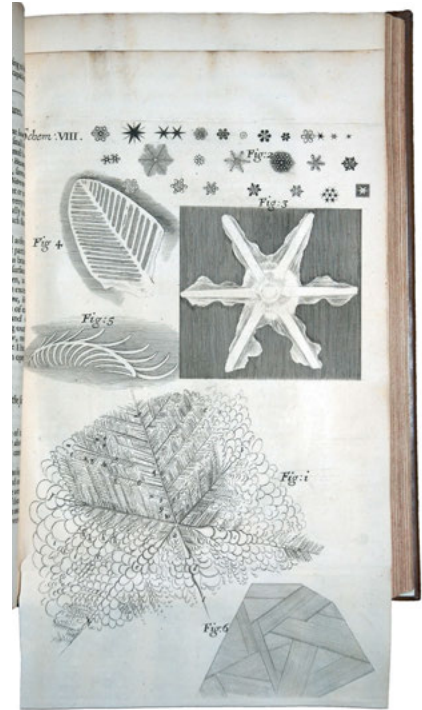
19 Kepler mutmaßt, dass die Sechsstrahligkeit sich der Tatsache verdanken könnte, dass das Sechseck das erste Polygon darstellt, das im Gegensatz zu Dreieck, Viereck und Fünfeck keinen regelmäßigen Körper bildet. Als weitere Möglichkeit führt er die Fähigkeit des Sechsecks an, eine Fläche möglichst effizient auszufüllen; ebd., S. 50f.

20 Ebd., S. 47 und S. 52. Keplers Loyalität zur mittelalterlichen Weltanschauung konkurrierte mit seiner mathematisch-physikalischen Weltansicht. Dabei stand sein a-rationaler Glaube an ein singuläres Weltprinzip keineswegs im Widerspruch zur Physik, sondern trieb deren Grundlegung mit an. Lancelot Law Whyte: Foreword. In: Kepler: The Six-Cornered Snowflake (s. Anm. 6), S. V–VII, hier S. V; und ders.: Kepler's Unsolved Problem and the *Facultas formatrix*. In: ebd., S. 57–63, hier S. 57.

stück zwischen dem ‚Nichts‘ des mathematischen Punktes und der höchsten Komplexität der belebten Natur.²¹

Angesichts der Gewichtigkeit von Keplers Thesen macht gerade die Leichtigkeit des Gegenstandes die anhaltende Faszination seiner Schrift aus. Mit der Popularisierung des Atomismus im 17. Jahrhundert lebte auch sein Erklärungsansatz wieder auf – so bei René Descartes, der Keplers Neujahrsgabe 1629/30 gelesen und in *Des Météores* von 1637 als Erster schematische Bilder sechsstrahliger Schneeflocken publiziert hat.²² 1665 leitete Robert Hooke aus der mikroskopischen Beobachtung von Kristallen ein ganzes Forschungsprogramm ab, das Aufschluss geben sollte über die „efficient and concurrent causes of all these Geometrical Figures“, mit Keplers Kugelraster als Schlüsselprinzip.²³ Bei den Kristallen angefangen, sollte so stufenweise Einsicht gewonnen werden in die formgebenden Gesetze der gesamten Natur, im Sinne eines *Novum organum* – „some new kind of Algebra, or Analytick Art“.²⁴ Gerade der Analyseleistung der Kunst sollte dabei eine besondere Rolle bei Hookes Erforschung der so flüchtigen wie kunstvollen Schneeflocke zukommen.

Die Erfindung des Mikroskops scheint das aufkommende Interesse an der gestaltgebenden Maßgabe der Mikrostruktur befördert zu haben; die neue Bildtechnik brachte jedoch auch deren Unregelmäßigkeiten zum Vorschein. In seiner *Micrographia* von 1665 hat Hooke Schneeflocken am oberen Rand des Blattes zunächst schematisch in ihrer Vielgestaltigkeit bei prinzipieller Sechszähligkeit abgebildet – gleich darunter zeigt er einen Schneekristall in der Vergrößerung, samt eklatanter Asymmetrien. **Abb. 3** Laut eigener Aussage hatte er die Flocken auf einem Stück schwarzen Stoffes



3: Robert Hooke: Schneeflocken unter dem Mikroskop, 1665, in: *Micrographia*, London, Schem. VIII (Fig. 1: gefrorener Urin; Fig. 2, 3: Schneeflocken unterschiedlich stark vergrößert; Fig. 4, 5, 6: gefrorene Wasseroberflächen unterschiedlich stark vergrößert).

21 Kepler stellt selbst die Verbindung zwischen Schneeflocke und Mensch her, indem er die Fabel einer Ehebrecherin erwähnt, die ihrer Strafe entgangen wäre, wenn sie ihrem Ehemann gesagt hätte, von einer Schneeflocke empfangen zu haben. Kepler: Vom sechseckigen Schnee (s. Anm. 7), S. 48.

22 Mason (s. Anm. 10), S. 48; und Whyte: Kepler's Unsolved Problem (s. Anm. 20), S. 60.

23 Robert Hooke: *Micrographia*, London 1665, S. 82–88 (Observation XIII: Of the small Diamants, or Sparks in Flints), hier S. 85–87. Hooke experimentierte laut eigener Aussage mit Geschosskugeln. Zu Schneekristallen siehe ebd., S. 88–93 (Observation XIV: Of several kindes of frozen Figures), hier S. 92.

24 Ebd., S. 87f. und Zitat S. 93.

aufgefangen und „mit großer Freude“ unter unterschiedlichen Linsen mikroskopiert, wobei er aufgrund der Kälte nur grobe Skizzen habe anfertigen können – ein wiederkehrender Topos der Schneeflockenforschung.²⁵ Dennoch gelang es ihm, ein neues Formgesetz auf tieferer Hierarchiestufe zu entdecken: die 60°-Winkelstellung der Seitenzweige. Doch nicht nur neue Ebenen der Ordnung sprangen ins instrumentierte Auge: „Observing some of the figured flakes with a Microscope, I found them not to appear so curious and exactly figured as one would have imagin'd, but like Artificial Figures, the bigger they were magnified, the more irregularities appear'd in them.“ Diese Nähe zu Artefakten schrieb er jedoch (ähnlich Kepler) dem einsetzenden Schmelzen oder Brechen beim Herabfallen aus der Himmelshöhe zu und keinesfalls einem „defect of the plastick virtue of Nature“: Ließen sich Schneeflocken, so der Autor, bei ihrer Entstehung in den Wolken mikroskopieren, würden sie sich als vollkommen symmetrisch erweisen.²⁶ Die durch das optische Gerät offenkundig gewordene Irregularität brach also noch nicht den Glauben an die göttliche Geometrie.²⁷

Schneekristalle fanden erst wieder im 19. Jahrhundert größere Beachtung im Bild, lange nachdem es dem deutsch-schwedischen Physiker Johan Carl Wilcke um 1761 offenbar gelungen war, sie künstlich zu erzeugen.²⁸ Der japanische Fürst Doi Toshitsura lancierte die erste systematische Untersuchung, vermutlich mit Hilfe eines dänischen Mikroskops, im Jahr 1832 veröffentlichte er 86 diagrammatische Holzschnitte unter dem Titel *Sekka Zusetsu* („Illustrationen von Schneebäumen“).²⁹ Der britische Meteorologe Basil John Mason bezeichnete sie als „probably the most accurate observations made before the development of microphotography“.³⁰ Dabei sticht im Vergleich zu Hooke ihre übersteigerte Geometrisierung und florale Überformung ins Auge, die der titelgebenden Deutung als „Schneebäume“ verpflichtet zu sein scheint.³¹

25 Ebd., S. 88 und S. 91.

26 Ebd., S. 91f. Im Vergleich mit Kristallen verschiedener Salze und Mineralien schreibt Hooke: „[...] and since (as far as I have yet examin'd it) there seems to be but one and the same cause that produces both these effects, I think it not irrational to suppose that these pretty figur'd Stars of Snow, when at first generated might be also very regular and exact.“ Ebd., S. 92.

27 Zur Vorstellung eines göttlichen Geometers siehe Friedrich Ohly: *Deus Geometer*. Skizzen zu einer Geschichte der Vorstellung von Gott. In: Norbert Kamp, Joachim Wollasch (Hg.): *Tradition als historische Kraft*, Berlin u. a. 1982, S. 1–42.

28 Johan Carl Wilcke: *Rön ock tankar om snö-figures skiljakaktighet*. K. svenska Vetenskapsakad., *Handl.* 22, 1761, S. 1–7, und ders.: *Nya rön om vattnets frysning til snölike is-figurer*. K. svenska Vetenskapsakad., *Handl.* 30, 1769, S. 90–101. Siehe Peter V. Hobbs: *Ice Physics*, Oxford 1974, S. 525.

29 Needham, Gwen-Djen (s. Anm. 2), S. 324.

30 Mason (s. Anm. 10), S. 50.

31 Ebd., S. 50. Siehe auch Needham, Gwei-Djen (s. Anm. 2), S. 324. 1839 erschien ein Ergänzungsband zu *Sekka Zusetsu*.

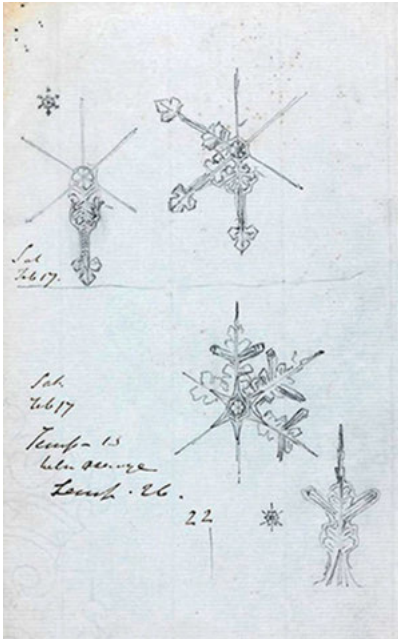
Zugleich hatte gerade ihre ornamentale Qualität zur Folge, dass Dois Abbildungen als Vorlagen im Kunsthandwerk populär wurden. Sie stellen vermutlich die ersten Aneignungen mikrografischer „Kunstformen der Natur“ im Design dar, wurden sie doch z. B. als Kimono-Muster adaptiert, wie auf einem Holzschnitt von Keisai Eisen (1791–1848) aus der späten Edo-Zeit zu sehen ist.³² **Abb. 4**

Ein ähnliches Projekt verfolgten der Leiter des Meteorological and Magnetic Department des Royal Observatory in Greenwich, James Glaisher, und seine Frau Cecilia Louisa.³³ Ihre im Februar 1855 angestellten Beobachtungen präsentierte James Glaisher bei der fünften Jahresversammlung der British Meteorological Society am 22. Mai 1855, wobei er resümierte, dass die Form von Schneekristallen ständig im Wandel begriffen und von atmosphärischen Bedingungen abhängig sei.³⁴ Die Ergebnisse wurden im selben Jahr zusammen mit 151 Abbildungen veröffentlicht, „executed by Mrs. Glaisher from rough sketches of my own“.³⁵ Nach



4: Keisai Eisen: Ukiyoe Holzschnitt einer Frau im Kimono mit Schneeflockenmuster, *Edo no matsu meiboku zukushi oshiage myoken no matsu* („Kiefern bei Oshiage-myoken: Alte Bäume von historischem Interesse in Edo“), Koga History Museum.

- 32 Cyril S. Smith hat ein japanisches Stichblatt von Harukiro Hirata von 1828 als früheste Schneeflocken-Dekoration ausgemacht. Cyril S. Smith: *Art, Technology, and Science: Notes on Their Historical Interaction*. In: *Technology and Culture*, Oktober 1970, Nr. 11 (4), S. 493–549, hier S. 540.
- 33 Der japanische Schneekristall-Forscher Ukichiro Nakaya bezeichnete die Darstellungen der Glaishers neben jenen von Doi Toshitsura als „most accurate observations published before the development of microphotography“. Ukichiro Nakaya: *Snow Crystals, Natural and Artificial*, Cambridge/MA 1954, S. 2f.
- 34 James Glaisher: *On Snow Crystals in 1855*. In: *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 1855, Nr. 3, S. 179–185; ders.: *On the Severe Weather at the Beginning of the Year 1855 and on Snow-crystals*. In: *Report of the Council of the British Meteorological Society: Read at the Fifth Annual General Meeting, May 22, 1855*, S. 16–66. Eine Schneeflockendarstellung der Glaishers wurde zum Emblem der Microscopical Society of London. Siehe John L. Hunt: *James Glaisher FRS (1809–1903), Astronomer, Meteorologist and Pioneer of Weather Forecasting: A Venturesome Victorian*. In: *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 1996, Nr. 37 (3), S. 315–348, hier S. 325.
- 35 Glaisher: *Report of the Council of the British Meteorological Society* (s. Anm. 34), S. 17. Glaisher erwähnt auch eine gewisse „Mrs. King, of Greenwich“, die ihm Zeichnungen und Beobachtungen zur Verfügung gestellt habe und „whose accuracy of observation is to be relied on“, sowie eine weitere Zuarbeiterin aus Richmond. James Glaisher: *Snow Crystals*. in: *The Illustrated London News*, 24. Februar 1855, S. 191. Siehe hier und im Folgenden die Online-Ausstellung zum Nachlass von Cecilia Glaisher am Fitzwilliam



5: James und Cecilia Glaisher: Zeichnungen von Schneeflocken unter dem Mikroskop, 1854/5, Tinte auf Papier, Nachlass von Cecilia Glaisher, Fitzwilliam Museum, Cambridge.

eigener Aussage hatten die Glaishers eine Glasplatte zum Auffangen der Schneeflocken auf ihre Fensterbank gelegt, so dass sie am offenen Fenster Zeichnungen unter dem Mikroskop anfertigen konnten. Die Zeichnungen im Nachlass zeigen jedoch, dass die Zeit offenbar nur für grobe Strukturskizzen reichte, neben Detailzeichnungen ausgewählter Strahlen – mit Folgen für die im Endprodukt vorgeführte Perfektion. → Abb. 5

Die Skizzen arbeitete Cecilia Glaisher nämlich aus, indem sie die Einzelstrahl-Studien punktsymmetrisch versechsfachte und mit Hilfe von Zeicheninstrumenten geometrisierte. Mit William Henry Fox Talbots *photogenic drawing process* übertrug sie ihre filigranen Tintenzzeichnungen auf lichtempfindliches Papier und wandelte sie damit in weiße Lineaturen auf schwarzem Grund um. → Abb. 6 Dabei suggerierte das Verfahren des Selbstdrucks eine Naturwahrheit, die sie zwar für ihre zeitgleich begonnene Enzyklopädie britischer Farne beanspruchen konnte, nicht jedoch für ihre konstruierten, wenn auch formal verwandten Schneebäumen.³⁶

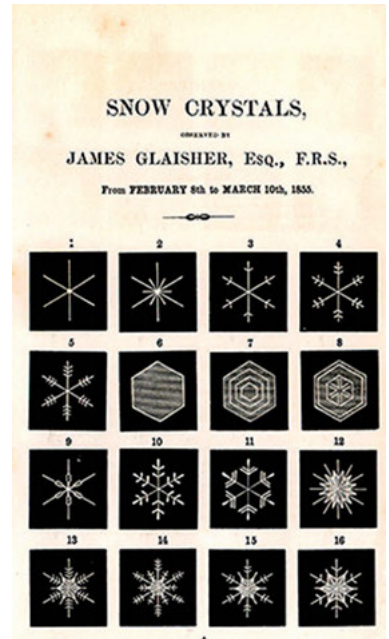
Angesichts der ornamentalen Qualität ihrer Linienzeichnungen wurde schon 1854, noch vor der wissenschaftlichen Erstveröffentlichung, die Möglichkeit eines Einsatzes im Kunstunterricht diskutiert. Am 8. Februar übersandte der Chemiker Lyon Playfair, einer der Hauptberater der Great Exhibition von 1851 und maßgebliche Triebkraft hinter der Einrichtung des South Kensington Museums, den Glaishers seinen Dank für die erhaltenen Fotografien mit der Bemerkung: „Mr. Redgrave thinks they would be most useful [...] the idea is to give them

Museum, Cambridge, unter: <https://www.fitzmuseum.cam.ac.uk/gallery/ceciliaglaisher/snow/index.html> (Stand 6/2020).

36 Das Vorhaben unter dem Titel *The British Ferns: Represented in a Series of Photographs from Nature by Mrs. Glaisher*, an dem sie im Kontext des „Victorian fern craze“ zwischen 1853 und 1856 arbeitete, wurde nie vollendet. Ihre Fotogramme wurden aber zusammen mit Werken einiger der berühmtesten Fotograf*innen ihrer Zeit bei der Glasgow Photographic Exhibition von 1855 gezeigt. Bereits Hooke hatte Strukturvergleiche zwischen Farnen und Eisblumen angestellt, die bei den Glaishers wiederkehren. Siehe die Online-Ausstellung des Fitzwilliam Museums, Cambridge, über Cecilia Glaishers Arbeit zu Farnen, <https://www.fitzmuseum.cam.ac.uk/gallery/ceciliaglaisher/ferns/index.html>, (Stand 3/2020); sowie Katharina Steidl, *Am Rande der Fotografie. Eine Medialitätsgeschichte des Fotogramms im 19. Jahrhundert*, Berlin 2018, S. 271–282.

as an illustration to the art student of the importance of minute observation.“³⁷ Ob die Schneekristalle, wie von dem Leiter der Government School of Design Richard Redgrave vorgeschlagen, zu diesem Zeitpunkt bereits im Unterricht Verwendung fanden, bleibt ungeklärt. Im Frühjahr 1857 veröffentlichten die Glaishers jedoch einen Artikel im *Art Journal* unter dem Titel „On the Crystals of Snow as Applied to the Purposes of Design“, der zahlreiche kunstgewerbliche Anwendungen anführt.³⁸ Sie betonen darin die erstaunliche Übereinstimmung der Grundstruktur von Schneekristallen mit den Prinzipien der Ornamentik, wie sie etwa Owen Jones 1856 in seinem wegweisenden Werk *The Grammar of Ornament* formuliert hatte.³⁹ Ihr Verständnis der Natur- als Kunstform dürfte die Selbstverständlichkeit begründen, mit der sie schon im Arbeitsprozess auf eine Geometrisierung hingearbeitet hatten.

Die Engführung von Natur und Kunst lag umso näher, als die Glaishers eine unmittelbare Anschlussfähigkeit des Schneekristallmotivs an die Mosaikkunst feststellten, die als Idealform der Flächenornamentik im Byzantine und im Alhambra Court des Londoner Crystal Palace präsentiert worden war.⁴⁰ Im Einklang mit der von der Arts-and-Crafts-Bewegung geforderten *Fitness* von Form und Funktion wurde die Mosaikornamentik als Flächendekoration seit den 1840er-Jahren insbesondere von Owen Jones propagiert, unter anderem durch Motivvorlagen, die er auf Vordrucken mit sechseckigen Waben, zusammengesetzt aus



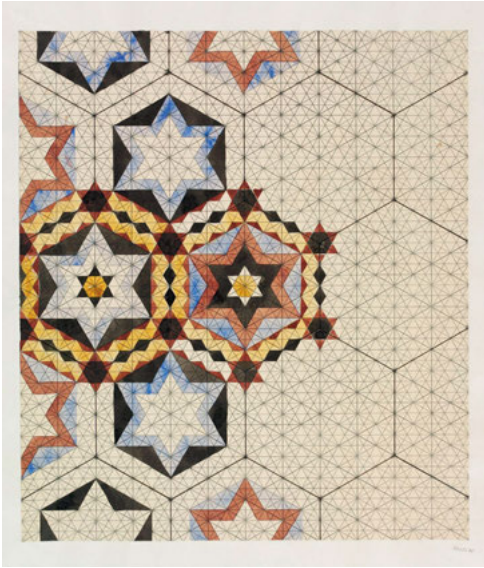
6: James Glaisher: „On the Severe Weather at the Beginning of the Year 1855 and on Snow-crystals“, in: Report of the Council of the British Meteorological Society: Read at the Fifth Annual General Meeting, May 22, 1855, S. XX.

37 Der Maler Richard Redgrave war zu diesem Zeitpunkt Leiter und Art Superintendent der Government School of Design, die Mitte der 1850-er Jahre nach South Kensington zog. Zit. nach Caroline Marten: Snow Crystals, 2015, The Fitzwilliam Museum, <https://www.fitzmuseum.cam.ac.uk/gallery/ceciliaglaisher/snow/40.html> (Stand 3/2020). Zum Zusammenspiel von naturwissenschaftlichen Bildern und Bilddidaktik siehe Karsten Heck (Hg.): Bildendes Sehen, Berlin 2009.

38 Cecelia Glaisher ist nicht als Autorin benannt, doch lässt sich aufgrund der Dokumente im Nachlass sowie der Inhalte des Textes auf ihre Mitarbeit schließen. Siehe Marten (s. Anm. 37).

39 James [und Cecelia] Glaisher: On the Crystals of Snow as Applied to the Purposes of Design I & II. In: The Art Journal, März u. April 1857, S. 73–76 und S. 125–128, hier S. 75; wiederabgedruckt in Frederick Edward Hulme et al.: Art-Studies from Nature, As Applied to Design: For the Use of Architects, Designers, and Manufacturers, London 1872, S. 137–175, hier S. 157.

40 Als Jury-Mitglied der Great Exhibition und Beitragender zum offiziellen Bericht war John Glaisher mit der Ausstellung bestens vertraut. Vgl. Hunt (s. Anm. 34), S. 321f.



7: Owen Jones: Mosaikvorlagen im islamischen Stil, 1840–1850, Bleistift und Aquarell auf vorgedrucktem Musterpapier, Victoria and Albert Museum, London.

kleineren Dreiecken, angefertigt hatte.⁴¹ → **Abb. 7** Im Vermögen der Mosaikkunst, aus einfachsten, oft hexagonalen Bausteinen eine unendliche Vielzahl an Variationen hervorgehen zu lassen, sahen die Glaishers einen Ursprung geometrischen Denkens.⁴² Dass Mosaik noch von aktueller Relevanz für die Forschung waren, machten sie an antiken Mustern der Enkaustik fest, „[which] are exactly similar to the nuclei of some of the snow crystals“.⁴³ Während also die Naturforschung mit Hilfe des Mikroskops ein neues Formenrepertoire für die Gestaltung erschloss – nicht zuletzt zur Steigerung britischer Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt –, wurde die gestalterische Empirie zur Quelle von Einsichten in Naturgesetzmäßigkeiten.

Unter den im *Art Journal* abgedruckten Schneekristallen springen zwei ins Auge, die je aus einer einzigen Spirallinie konstruiert sind. → **Abb. 8** Auch wenn diese Spirale durch die Grenzen der Strahlen unterbrochen ist und sich an zwei Stellen verzweigt, ist eine Referenz auf Claude Mellans *Vera icon* von 1649 erkennbar, die das Gesicht Christi als Spirale auf dem Papier erscheinen lässt und dieses selbst zum Schweiß Tuch umprägt. Wie Irving Lavin argumentiert hat, bezeichnet die Linie bei Mellan die Spur des *Deus artifex*, der das Weltganze aus einer einzigen Linie geformt hat: „Formatur unicus una“, wie es in der Bildunterschrift am unteren Tuchrand heißt.⁴⁴ Im Hinblick auf den Schneekristall kehrt in der Spirale Keplers Gedanke wieder, dass dessen geordnete Vielfalt auf dem Prinzip der dichtesten Packung identischer

41 Vgl. Carol A. Hrvol Flores: Owen Jones. Design, Ornament, Architecture, and Theory in an Age in Transition, New York 2006, S. 23.

42 „One of the oldest of the mechanical arts, originating in experimental combinations with cubes solid and transparent, subsequently improving as the science of geometry became more generally understood [...]“ Glaisher (s. Anm. 39), S. 76.

43 Ebd., S. 125; siehe auch Glaisher in Hume et al. (s. Anm. 39), S. 166.

44 Irving Lavin: Claude Mellan's Holy Face. Mellon Lecture, National Gallery of Art, Washington, D.C., Mai 2004, S. 1–26, hier S. 8, online unter: https://publications.ias.edu/sites/default/files/Lavin_VoltoSanto_2012.pdf (Stand 3/2020); zuerst veröffentlicht als: Il Volto Santo di Claude Mellan: ostendatque etiam quae occultet. In: Christoph L. Frommel, Gerhard Wolf (Hg.): *L'immagine di Cristo. Dall'acheropita alla mano d'artista. Dal tardo medioevo all'età barocca*, Studi e testi 432, Vatikanstadt 2006, S. 449–491.

Sphären gründe: dem zwischen ‚Nichts‘ und ‚Etwas‘ oszillierenden „Keim“ oder Punkt, der nach Albrecht Dürer „anfang unnd ende / aller leyblichen ding“ darstellt.⁴⁵ Die Schneeflocke wird damit im 19. Jahrhundert erneut zum Symbol für den unermüdlichen Formenreichtum bei gleichzeitigem Regelmäß der Materie, ausgedrückt in der geometrisch gebundenen und doch unendlich fortsetzbaren, dynamisierten Linie der Spirale.⁴⁶ Konsequenterweise wurde der Artikel der Glaishers 1872 in den Band *Art-Studies from Nature, As Applied to Design: For the Use of Architects, Designers, and Manufacturers* aufgenommen, der zu einem Standardwerk für die britische Kunstgewerbe-Ausbildung avancieren sollte.⁴⁷

Erst das fotografische Medium hat den Glauben an die geometrische Perfektion der Natur ins Wanken gebracht. Der Berliner Meteorologe Gustav Hellmann veröffentlichte in Zusammenarbeit mit dem Anthropologen und Fotomikrografen Richard Neuhaus im Winter 1892/3 erstmals Mikrofotografien von Schneekristallen.⁴⁸ Mit



8: James [und Cecilia] Glaisher: Schneekristall aus Spirallinie, „On the Crystals of Snow as Applied to the Purposes of Design I“, in: *The Art Journal*, 1857, März, S. 73–76, hier S. 76.

45 Kepler: *Strena seu* (s. Anm. 5), S. 43. Albrecht Dürer: *Underweysung in der Messung mit dem Zirkel und Richtscheit* ..., Nürnberg 1525, o. S. Kepler kannte Dürers Schriften und verwendet teilweise sogar dessen kunsthandwerkliches Vokabular. Siehe Jeanne Pfeiffer: *La creation d'une langue mathématique allemande par Albrecht Dürer. Les raisons de sa non reception*. In: *Sciences et langues en Europe. Une conférence organisée par le Centre Alexandre Koyré, Luxembourg 2000*. Zur Reflexion des Punktes als Nichts und zugleich Ursprung von allem, siehe Felte (s. Anm. 8), S. 165–181; Wolfgang Schäffner: *Punkt. Minimalisierter Schauplatz des Wissens im 17. Jahrhundert (1585–1665)*. In: Helmar Schramm, Ludger Schwarte, Jan Lazardzig (Hg.): *Kunstammer, Laboratorium, Bühne. Schauplätze des Wissens im 17. Jahrhundert*, Berlin/New York 2003, S. 56–74; Frank Fehrenbach: *Leonardo's Point*. In: Alina Payne (Hg.): *Vision and its Instruments, ca. 1350–1750*, New Haven/London 2010; sowie Chichester (s. Anm. 17).

46 Zur Symbolform der Spirale siehe Horst Bredekamp: *Symbiose von Bild und Natur. Überlegungen zum Neomanierismus*. In: Yasuhiro Sakamoto, Felix Jäger, Jun Tanaka (Hg.): *Bilder als Denkformen. Bildwissenschaftliche Dialoge zwischen Japan und Deutschland*, Berlin/Boston 2020, S. 145–166.

47 Hulme et al. (s. Anm. 39).

48 Die ersten Mikrofotografien wurden noch im Schlussheft des Jahrgangs 1892 der *Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und für mikroskopische Technik* veröffentlicht. Siehe Gustav Hellmann: *Schneekristalle. Beobachtungen und Studien*, Berlin 1893, S. 10. Richard Neuhaus, Herausgeber der *Photographischen Rundschau*, setzte die Fotografie u. a. für anthropologische Studien in Deutsch-Neuguinea ein.



9: Gustav Hellmann: Schneekristalle unter dem Mikroskop, in: Schneekristalle. Beobachtungen und Studien, Berlin 1893, Tafel III.

der fotografischen Technik, so Hellmann, hätten sich die bisherigen Zeichnungen als „allzu schematisch und zu steif“ erwiesen.⁴⁹ So auch die Darstellungen der Glaishers: „[...] sie repräsentieren die Schneekristalle in einer ideellen Reinheit, Feinheit und Vollendung, wie sie die Natur dem menschlichen Auge wohl nie darbietet.“⁵⁰ Neuhaus' und Hellmanns Mikrofotografien, die meist mehrere Schneeflocken im kreisrunden Ausschnitt des Okulars abbilden, decken ihre eklatante Ungleichmäßigkeit auf. **Abb. 9** „Im ersten Augenblick“, so Hellmann, „wird man vielleicht gar nicht geneigt sein, den Photographien einen Vorzug vor den Zeichnungen einzuräumen.“ Zu sehr ließen sie die vertraute „absolute Regelmäßigkeit und die vollkommene Symmetrie“ vermissen.⁵¹ Doch sei dies der Vorzug des objektiven, mechanischen Bildgebungsverfahrens: „Wir haben nun nicht mehr ideale Gestalten und schematische Figuren vor uns, sondern reelle Bilder, wie sie die Natur uns darbietet. Ja, man könnte sagen, trotz der

eisigen Erstarrung des Gegenstandes sind es lebenswarme Naturbilder, die wir hier schauen.“⁵² Gerade die Asymmetrie wurde nun zum Ausweis der Lebendigkeit und damit des Erklärungspotenzials der frostigen Schneeflocke für die formgebende Wirkung der Materie auch im Organismus. Hatte die fehlende Idealität des Organischen bislang die Unüberbrückbarkeit von Biologie und Physik verbürgt, schien sich nun eine ‚Organizität‘ des Anorganischen abzuzeichnen, die eine neue Einheit in Aussicht stellte.

Wie Lorraine Daston und Peter Galison gezeigt haben, war der Einsatz der Kamera noch kein Garant dafür, Abweichung und Kontingenz als naturimmanente Phänomene anzuerkennen.⁵³ Wilson Bentley, der seine Schneestudien seit 1885 in Jericho, Vermont, betrieb und 1931 in einem umfangreichen Kompendium veröffentlicht hatte, ist vielmehr für seine weitreichenden Bildmanipulationen bekannt geworden. Sie reichten vom Ausschneiden der fotografierten Flocken und ihrer Montage auf schwarzen Grund bis hin zu ‚Ausbesserungen‘ der Ränder und Binnenstrukturen der foto-

49 Ebd., S. 9.

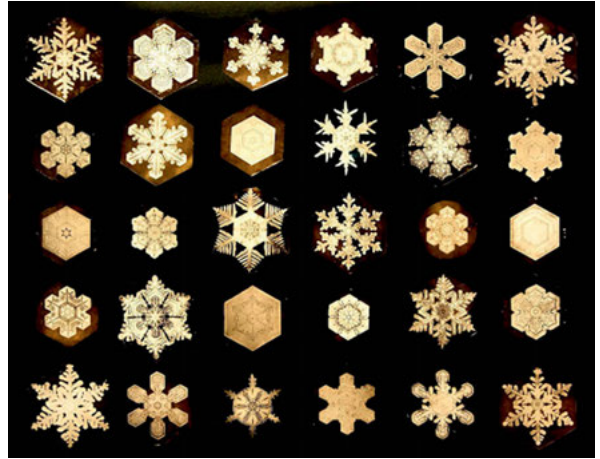
50 Ebd., S. 21.

51 Ebd., S. 23.

52 Ebd., S. 24.

53 Lorraine Daston, Peter Galison: *Objectivity*, New York 2010, S. 151.

grafierten Kristalle.⁵⁴ ➤ **Abb. 10** All diese Eingriffe wurden von Neuhaus aufs Schärfste kritisiert, da sie der deutungsfreien Aufzeichnungsfähigkeit des optischen Apparats zuwiderliefen und dies auch noch verdecktermaßen.⁵⁵ In der vom Meteorologen William J. Humphreys verfassten Einleitung wird die vorgeführte Kunstförmigkeit der Natur mit der Behauptung objektiviert, dass „the photographic microscope [...] leaves nothing visible unrecorded, and adds nothing, whether for ‚art‘ or symmetry, that is not really present in some form or other“.⁵⁶



10: Wilson Bentley: Mikrofotografien von Schneekristallen, montiert auf Lehrtafel für Schule in Jericho, Vermont.

Bentleys Fotografien spielten dem schottischen Biologen D'Arcy Wentworth Thompson in die Hände, der seit Ende des 19. Jahrhunderts an einer mechanischen Theorie der Formgebung in der Natur arbeitete – erklärtermaßen in der Tradition Keplers. In seinem Opus magnum *On Growth and Form* versuchte er 1917 an einer Fülle von Beispielen aus Natur und Kunst darzulegen, dass sich geometrische Formen im Organismus vielfach auf einfache mechanisch-physikalische Wirkungsweisen zurückführen ließen. Wieder einmal hielt die Schneeflocke als ‚Modellorganismus‘ her: Unter Berufung auf Glaisher verglich Thompson die unendliche Vielfalt bei gleichzeitiger geometrischer Rigorosität von Schneekristallen mit Radiolarien. Während die Biologie spätestens seit Darwin davon ausgeht, dass eine Spezies, die im Fossil genauso aussehe wie heute, durch Weitervererbung „überlebt“ habe, begnüge sich die Physik damit, die Merkmale ihrer ‚Spezies‘ von Umweltbedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit abzuleiten: „The forces that bring about the sphere, the cylinder or the ellipsoid are the same yesterday and to-morrow. A snow-crystal is the same to-day as

54 Bentley, Humphreys (s. Anm. 4). Siehe zur Bildmanipulation bei Bentley auch Bernd Stiegler, Felix Thürlemann: *Konstruierte Wirklichkeiten: Die fotografische Montage 1839–1900*, S. 39–41. Bentley wählte seine Schneeflocken sorgfältig aus und bearbeitete sie durch Montage, angeblich ohne wissenschaftliche Abstriche: „When successfully done this greatly increases the beauty and artistic value of the pictures and at the same time leaves their scientific worth wholly unimpaired.“ Siehe Einführung in Bentley, Humphreys (s. Anm. 4), S. 3 u. S. 5.

55 Richard Neuhaus: *Lehrbuch der Mikrophotographie*, 3. überarb. Ausg., Leipzig 1907, S. 200f.

56 Bentley, Humphreys (s. Anm. 4), S. 2.

when the first snow fell.“⁵⁷ Dasselbe, so Thompson, müsse auch für einfache Organismen gelten, denn ihre Form sei ebenso rückführbar auf „the direct and immediate action of a particular physical force“.⁵⁸ Der Schneekristall lehre, dass nicht nur Genexpressionen, sondern auch physikalische Kräfte für regelmäßige Formbildungen in der Natur verantwortlich seien.

In der zweiten, überarbeiteten Ausgabe seines Buches von 1942 hat Thompson an dieser Stelle einen Vergleich zur Flächenornamentik ergänzt: „We may draw what we please on a sheet of ‚hexagonal paper‘, keeping to its lines; and when we repeat our drawing, kaleidoscope-fashion, about a centre, the stellate figure so obtained is sure to resemble one or another of the many recorded species of snow-crystals.“⁵⁹ Die Beschreibung scheint sich eins zu eins auf Jones' Mosaikvorlagen zu beziehen. ➤ **Abb. 7** Die unendliche Vielfalt der Schneekristalle wie auch sogenannter „niederer“ Lebewesen wird bei Thompson analog zur Ornamentik zu einer Frage der Variation und Rekombination eines rationalisierbaren Grundprinzips. Da Thompson während seiner Jahre am University College Dundee zwischen 1884 und 1918 zusammen mit seinem Kollegen Patrick Geddes im Zentrum der schottischen Arts-and-Crafts-Bewegung gewirkt und durch kunsthandwerkliche Vergleiche in seinem Buch mehrfach auf diese rekurriert hat, darf davon ausgegangen werden, dass er sowohl Jones' Werke als auch das Lehrbuch *Art-Studies from Nature, As Applied to Design* kannte. Nicht zufällig wird der *craftsman* bei Thompson zum Vorbild des mit physikalischen Kräften und Geometrien experimentierenden Biologen.⁶⁰

Entsprechend legte Thompson auch selbst Hand an, um Bildungsgesetze der Materie zu ergründen.⁶¹ In Anlehnung an Kepler leitete er die Gestalt der Zellen als Grundbausteine des Organismus von der dichtesten Kugelpackung ab und experimentierte hierfür mit Teigkügelchen.⁶² Wie in Keplers Bienenwaben und Granatapfelkernen, so Thompson, entstünden auch in Zellverbänden rhombische Dodekaeder. Doch wie einst sein Vorbild stieß auch Thompson an Grenzen bei seinem Versuch, die Achsensymmetrie bestimmter Radiolarien aus dem Prinzip der Kugelpackung herzuleiten. Er wich schließlich, wie zeitgleich Ernst Haeckel in seinen *Kristallseelen*,

57 D'Arcy W. Thompson: *On Growth and Form*, Cambridge/UK 1917, S. 250f., Zitat S. 611.

58 Ebd., S. 252.

59 D'Arcy W. Thompson, *On Growth and Form*, 2. überarb. Neuaufl., Cambridge/UK 1942, S. 411.

60 Zu Thompsons Kontakten zu den *Arts and Crafts* siehe Matthew Jarron: „Independent and Individualist.“ Art in Dundee 1867–1924, Dundee 2015.

61 Wie seine Tochter Ruth berichtet, hatte Thompson geschickte Hände, die seinen experimentellen Ansatz unterstützten, siehe Ruth D'Arcy Thompson: *D'Arcy Wentworth Thompson. The Scholar-Naturalist 1860–1948*, London 1958, S. 167.

62 Thompson (s. Anm. 57), S. 328.

auf die von Otto Lehmann 1904 entdeckten, sogenannten „flüssigen“ oder „lebenden Kristalle“ aus.⁶³ Diese scheinbar sich gezielt bewegenden, verschmelzenden und sich teilenden Kristalle, die im flüssigen Zustand gleichwohl ihre Gestalt als Ganzheit bewahren, hatte Lehmann mit einer unbekanntenen „Gestaltungskraft“ zu erklären versucht. Diese identifizierte Thompson mit Keplers *facultas formatrix*, wobei er ihr jedoch den Status einer noch nicht aufgeklärten *physikalischen* Wirkungsweise verlieh.⁶⁴ Sie blieb das unbekannte Bindeglied zwischen der Welt der (Schnee-)Kristalle und jener komplexerer Organismen.

Zur Visualisierung der geometrischen Gestaltungskraft der Schneeflocke griff Thompson auf zwei Vorlagen aus Bentleys Werk zurück, zusätzlich idealisiert durch zeichnerische Wiedergabe. Schneekristalle, so Thompson, verdankten ihre Schönheit der regelmäßigen Repetition einer kristallinen Grundform, wobei sie dem idealen Raumbgitter, auf dem sie ruhten, stofflich sichtbaren Ausdruck verliehen.⁶⁵ Dass physikalische Gesetze nie vollkommen realisiert seien, gehörte zwar zu Thompsons zentralen Argumenten für die Vereinbarkeit von Physik und Biologie, doch sollte die Existenz und Wirkungsweise dieser Gesetze erst in der Abstraktion erkennbar sein. Thompson verfocht das „principle of negligibility“, indem er etwa behauptete, dass Kepler die Ellipsenbahnen der Planeten nie entdeckt hätte – und mit ihnen die Grundlagen der Newton'schen Physik –, wenn Tycho Brahes Teleskop zehnmal schärfer gewesen wäre. Dann nämlich wären vielfältige Abweichungen in den Vordergrund getreten, welche die geometrische Idealform und ihre Gesetzmäßigkeit unkenntlich gemacht hätten.⁶⁶ Die Selektivität und künstliche Vervollkommnung von Bentleys Schneekristallen war in Thompsons Augen folglich ein legitimes, ja notwendiges Mittel der Erkenntnis.

Für eine jüngere Generation von Wissenschaftler*innen, die sich auf Thompsons Ansatz der mechanisch-physikalischen Erklärung von Form beriefen, galt dies nicht

63 Ebd., S. 485–487; Thompson (s. Anm. 58), S. 730–732; Otto Lehmann: *Flüssige Kristalle*, Leipzig 1904; Ernst Haeckel: *Kristallseelen. Studien über das anorganische Leben*, Leipzig 1917, siehe u. a. die Kapitel „Arbeiten der Schneeseele“, S. 13–16, und „Flüssige Kristalle“, S. 23–38.

64 „It by no means follows that the forces in question are not essentially physical forces, more obscure and less familiar to us than the rest; and this would seem to be the crucial lesson for us to draw from Lehmann's surprising and most beautiful discovery.“ Thompson (s. Anm. 57), hier S. 486; siehe auch Thompson (s. Anm. 59), S. 730–732.

65 Thompson (s. Anm. 59), S. 695–697. Thompson wusste womöglich von der frühen Beschäftigung japanischer Naturforscher und Künstler mit Schneekristallen, denn er bezeichnete die Variation eines Prinzips, wie es die Schneeflocke charakterisiert, als Hauptmerkmal japanischer Naturdarstellungen, für die er im Einklang mit der Japanmode seiner Zeit besondere Bewunderung hegte. Thompson (s. Anm. 61), S. 116.

66 Deborah Coen: *Living Precisely in Fin-de-Siècle Vienna*. In: *Journal of the History of Biology*, 2006, Nr. 39 (3), S. 493–523, hier S. 499.

mehr in gleicher Weise. Der britisch-amerikanische Metallologe und Wissenschaftshistoriker Cyril S. Smith stellte 1969 in einem Vortrag über das Verhältnis von Technik, Kunst und Wissenschaft fest:

„Virtually every drawing of a snowflake that has been published, whether in a work of art or science, depicts almost exact symmetry, reflecting the unwarranted but firm belief in the basic order of nature and the inability of the eye to see the unexpected. A glance at any photograph, or, better, the flakes themselves, will show many small differences between the six dendritic branches of even the best flake. And, of course, most snow falls as irregular aggregates displaying no symmetry whatever.“⁶⁷

Besonders der letzte Satz scheint Olaus Magnus' Darstellung als wahrstes Abbild des Schnees retrospektiv zu bestätigen.

Es war Smith, der, als ihm eine deutsche Übersetzung von Keplers *Strena Seu De Nive Sexangula* in die Hände fiel, den Wissenschaftshistoriker Lancelot Law Whyte auf die Schrift aufmerksam machte.⁶⁸ Whyte initiierte daraufhin die erste englischsprachige Übersetzung, inklusive eines Beitrags des Kristallografen Basil John Mason über die Geschichte der Schneeflockenforschung sowie eines eigenen Textes über den Begriff der *facultas formatrix*. Beratend zur Seite stand die Kristallografin und Nobelpreisträgerin Dorothy Hodgkin, die 1951 zur Festival Pattern Group beigetragen hatte, zur Entwicklung von Flächenornamenten aus Röntgendiffraktogrammen.⁶⁹ Hodgkin war ehemalige Mitarbeiterin von John Desmond Bernal, der 1933 mittels der Röntgendiffraktometrie bewiesen hatte, dass sich die hexagonale Symmetrie der Eiskristalle aus der Molekülstruktur des Wassers ableitet.⁷⁰ ➤ **Abb. 11** Wie Whyte resümierte, stehe

67 Cyril Stanley Smith: Art, Technology, and Science: Notes on Their Historical Interaction. In: Technology and Culture, 1970, Nr. 11 (4), S. 493–549, hier S. 541f. Auch Smith führte geometrische Experimente auf das antike Kunsthandwerk zurück, etwa auf die Mosaikwände von Uruk, und erkannte die Einsicht in Prinzipien der Kugelpackung bereits in der Kunst etruskischer Goldschmiede sowie in Ohrringen aus Persien aus dem 9. oder 10. Jahrhundert v. u. Z. Ebd., S. 538f. und S. 543.

68 Whyte war Herausgeber des Bandes *Aspects of Form* (London 1951), der begleitend zur Ausstellung *Growth and Form* am Londoner Institute for Contemporary Arts erschienen war, und trug bei zu György Kepes (Hg.): *Structure in Art and Science*, New York 1965.

69 Lesley Jackson: *From Atoms to Patterns. Crystal Structure Designs from the 1951 Festival of Britain*, Somerset 2008.

70 John Desmond Bernal, Ralph H. Fowler: A Theory of Water and Ionic Solution, with Particular Reference to Hydrogen and Hydroxyl Ions. In: *The Journal of Chemical Physics*, 1933, Nr. 1 (8), S. 515–548. Siehe zu dieser Entdeckung Andrew Brown: *J. D. Bernal. The Sage of Science*, Oxford 2005, S. 97–99. Bernal und Whyte waren Mitglieder des Theoretical Biology Clubs, der sich erneut in den 1930er-Jahren mit Thompsons Thesen befasst hat. Siehe Erik L. Peterson: *The Life Organic: The Theoretical Biology Club and the Roots of Epigenetics*, Pittsburgh 2017.

524

J. D. BERNAL AND R. H. FOWLER

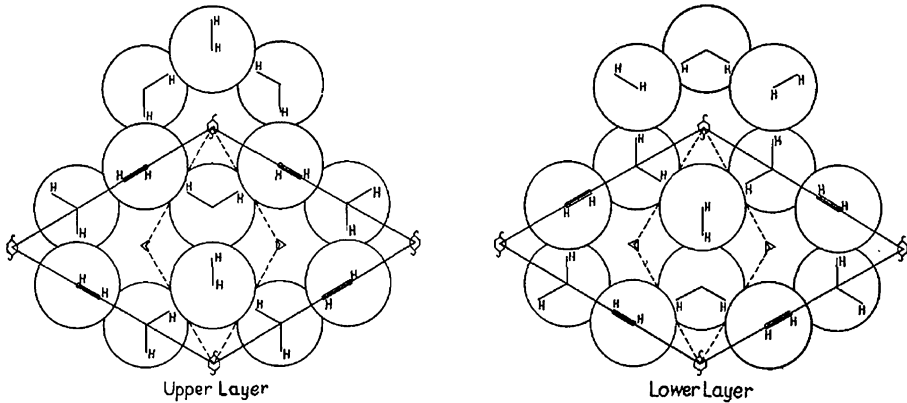


FIG. 6. Ice structure viewed along hexagonal axis.

11: John Desmond Bernal und Ralph H. Fowler: Modell der Kristallstruktur des Eises, „A Theory of Water and Ionic Solution, with Particular Reference to Hydrogen and Hydroxyl Ions“, in: The Journal of Chemical Physics, 1933, 1 (8), S. 515–548, hier S. 524.

inzwischen fest, dass Eiskristalle eine essenzielle Irregularität in der Anordnung der Wasserstoffatome aufwiesen, die sich stabilisierend auf die äußere Ordnung auswirke: „Apparent perfection always conceals an element of disorder which is not a mere deviation but plays an essential role in generating visual form.“⁷¹ Obwohl Kepler nicht falsch gelegen habe in seiner Rückführung makroskopischer Form auf submikroskopische Struktur, hätten sich Schneeflocken als deutlich komplexer erwiesen; die Wissenschaft sei noch immer weit von einer Erklärung entfernt, während die Kunst ein Analysewerkzeug biete, das zur Komplexität hinführe: „Visually simple facts are often too complex to be treated theoretically.“⁷² Keplers Kernfrage, so Whyte, bestehe dagegen nach wie vor: Obwohl geometrische Symmetrien eine zentrale Rolle in der visuellen Welt spielten, bleibe ihr Ursprung in einem Universum, das von zufälligen Interaktionen und Störungen dominiert werde, verborgen.⁷³ Die „Generation der Schneeflocke“ bietet hierfür ein lehrreiches Beispiel – wenn sie sich denn im Bild festhalten lässt.

Nihil sequitur.

71 Kepler: The Six-Cornered Snowflake (s. Anm. 6), S. 62f.

72 Ebd., S. 62.

73 Ebd. S. 63.



1: Cuno Amiet: Der Grosse Winter, 1904, Tempera auf Leinwand, 178×235 cm, Musée d’Orsay, Paris.

Bildbesprechung

Johanna Schiffler

„Aus der Wirklichkeit ins Stilisierte“. Cuno Amiets Schneelandschaft mit Skifahrer

Das Morgenblatt der *Neuen Zürcher Zeitung* berichtet am 25. Februar 1905 von einer Ausstellung mit Gemälden des Schweizer Künstlers Cuno Amiet im Künstlerhaus Zürich. Der promovierte Kunsthistoriker und Feuilletonredakteur Hans Trog stellt seiner mehrteiligen Rezension einen Satz aus den in der populären Zeitschrift *Kunst und Künstler* abgedruckten Briefen Vincent van Goghs als ein Motto voran, das auch für Amiets Malerei Geltung trage: „Statt genau das wiederzugeben, was ich vor mir sehe, gehe ich eigenmächtig mit der Farbe um.“¹ Trog verdeutlicht seiner Leserschaft: „Nicht auf

ihre absolute Naturwahrheit hin wollen seine Bilder geprüft sein, sondern auf ihre farbig dekorative Funktion hin.“ Amiet bemühe sich darum, „die Fläche farbig wirksam zu organisieren, die Raum- und Luftillusion zu eliminieren zugunsten des ungeschwächten Sichauslebens der Farbenwerte als solcher, des Nebeneinanders statt des Hintereinanders, des rein dekorativen, ornamentalen Wesens der Farbe“.²

Ausführlich geht Trog später auf eine „sehr große“ Schneelandschaft Amiets ein, deren flächenhafte Gestaltung er hervorhebt. Diese erziele Amiet „selbst um den Preis der Klarheit des Naturbildes“.³ Die Beschreibung bezieht sich auf ein 1904 vollendetes Gemälde des Schweizer Malers, das sich heute im Musée d’Orsay in Paris befindet. ➤ **Abb. 1** Der „grosse Haufen Schnee“,

² Ebd.

¹ Hans Trog: Zur Amiet-Ausstellung im Künstlerhaus, *Neue Zürcher Zeitung*, Morgenblatt 56/126, 25.02.1905.

³ Hans Trog: Zur Amiet-Ausstellung im Künstlerhaus, *Neue Zürcher Zeitung*, Morgenblatt, 61/126, 02.03.1905 (dritter Teil der Besprechung).

mit pastosen Pinselstrichen in Tempera gemalt, überzieht fast die gesamte Bildfläche der großformatigen Leinwand. Diese misst 1,78 × 2,35 Meter.⁴ Am oberen Rand zeichnen sich entfernt gelegene, schneebedeckte Hügel, Bäume und Häuser ab. Die Bildkante darüber wird von einem schmalen Streifen farbig verhangenen Horizonts gerahmt. Mitten auf dem Schneefeld ist die kleine Figur eines Skifahrers zu erkennen.

Trog setzt diese Landschaft in den Kontext einer dekorativen Malerei, deren „Farbwerte als solche“ in Erscheinung treten und nicht auf eine „absolute Naturwahrheit“ verpflichtet sind. Diese Malerei habe gemäß dem bei van Gogh entlehnten Motto nicht eine getreue Wiedergabe des Geschehenen zum Zweck. Vielmehr begründet Trog ihre „dekorative Funktion“ in einer Malweise, die ihre mediale Verfasstheit – ihren Flächenbezug und ihre „Farbwerte als solche“ – zum Thema des Bildes macht. Trog versteht das ‚Dekorative‘ als eigenständige Beschreibungskategorie und als modernen Gegenpol zur überkommenen Malerei, die einem illusionistischen Wirklichkeitsbezug anhängt.

Dass Trog sich in dieser dualistischen Argumentation auf das Beispiel einer Schneelandschaft bezieht, könnte zunächst verwundern, ist doch gerade die Schneelandschaft im 19. Jahrhundert zu einem Motiv avanciert, das durchaus auch einer Rhetorik der Intensivierung eines außerbildlichen Wirklichkeitsbezugs zuzuschreiben ist. Ein Beispiel wären Claude Monets vielfache Auseinandersetzungen mit diesem Wetterphänomen und seinen besonderen Lichtverhältnissen im Zuge der impressionistischen Freilichtmalerei.⁵ Auch der Amiet nahestehende

Giovanni Segantini malt Schneelandschaften, mit denen sich insbesondere im Kontext der Panoramamalerei um die Jahrhundertwende der Anspruch auf Authentizität und Wirklichkeitstreue im Sinne eines Illusionismus verbindet.⁶ Im Zeichen einer Strategie der Authentifizierung lassen sich auch Segantinis öffentliche Bekundungen winterlicher Härte bei der Arbeit deuten, auf die Amiet in einem Brief aus dem Jahr 1899 an den gemeinsamen Kollegen und Freund Giovanni Giacometti etwas verwundert Bezug nimmt:

„Er [Segantini] soll ja ein SchneeBild machen für Paris, 14,5 mtr, & daran soll er bis in die Geisterstunde arbeiten & am 6 Uhr des Morgens soll er schon wieder damit draussen sein, bei bis unter 30°. Vor etwa einem Monat war das mit entsprechenden Ausschmückungen in allen Zeitungen zu lesen.“⁷

Die prekären Bedingungen winterlicher Kälte in den verschneiten Bergregionen scheinen den Maler von seiner Arbeit unter freiem Himmel nicht abzuschrecken – vielmehr erzeugt diese Prekarität ein Narrativ, welches auch die Ergebnisse dieser aufwendigen und mühevollen Praxis unter Extrembedingungen zu nobilitieren versprach. Ein Wirklichkeitsbezug im Motiv der Schneelandschaften zeichnet sich offenbar gerade durch diese Prekarität aus: Als könnten die extremen Körperempfindungen im Schnee, der Verlust von Sichtbarkeit und Orientierung durch Blendung sowie durch den Mangel visueller Differenzierungen und die den gesamten Körper umfassende Kälte als Grenzphänomene

4 Cuno Amiet schreibt im Frühjahr 1904 in einem Brief an Carl Moll: „Wir fahren wie besessen auf den Schneeschuhen im Land herum, auch male ich einen grossen Haufen Schnee.“ Brief vom 04.03.1904, Nachlass Cuno Amiet, zit. nach Franz Müller, Viola Radlach (Hg.): Cuno Amiet. Die Gemälde 1883–1919, catalogue raisonnée, Zürich 2014 (Œuvrekataloge Schweizer Künstler und Künstlerinnen 28), S. 240.

5 Zeitgenössische Kommentatoren suchten eine Wirklichkeitstreue in den SchneeBildern Monets mit seiner Arbeitsweise vor dem Motiv zu belegen, die

er sogar im Winter verfolge. Vgl. Tilman Treusch: Schneebilder. Malerei in der kalten Jahreszeit, Petersberg 2007, S. 124–130, bes. S. 129.

6 Siehe: Regula Bücheler, Dora Lardelli (Hg.): Giovanni Segantinis Panorama und andere Engadiner Panoramen, Ausst.kat., St. Moritz 1991.

7 Brief von Cuno Amiet vom 29.06.1899 an Giovanni Giacometti, abgedruckt in: Cuno Amiet – Giovanni Giacometti: Briefwechsel, hg. v. Viola Radlach, Zürich 2000, S. 265.

der Wahrnehmung eine Intensität der Empfindungen besonders wirksam bezeugen.⁸

Auf welche Weise wird ein mimetischer Wirklichkeitsbezug der Malerei Amiets im Motiv der Schneelandschaft zum Problem, ihre mediale Verfasstheit zum Thema für den Rezensenten? Welche Deutungsideale lässt der zeitgenössische Kommentar erkennen? Ob Amiet sein großes Schneebild in der Kälte malte, ist nicht bezeugt.⁹ Wie Giacometti distanziert er sich von Segantinis Selbstdarstellung als Freilichtmaler unter Extrembedingungen,¹⁰ die als Motiv seiner Künstlerlegende bis heute wirksam ist.¹¹ Die biografischen Quellen weisen jedoch darauf hin, dass Amiets Schneebilder im Winter entstanden sind und durchaus im Zusammenhang einer Beobachtung der Licht- und Formenverhältnisse *en plein air* stehen.¹² Im Frühjahr 1904 fertigt Amiet sein monumentales Schneebild an, nachdem er aus Wien von einer gemeinsamen Ausstellung mit Ferdinand Hodler in der Wiener Sezession an seinen Wohn- und Arbeitsort, den kleinen Weiler Oshwand zurückgekehrt ist: Der Schnee bedeckt eine hügelige Landschaft, wie sie für diese Gegend typisch ist. Keine spezifischen Berggrate oder topografischen Markierungen verweisen auf einen konkreten Blickpunkt, der mit dem Gemälde wie-

dergegeben oder gar zu identifizieren sei.¹³ Der hochgezogene Horizont impliziert eine Aufsicht, wodurch die Landschaft in die Bildfläche kippt. Anstelle einer Ebene, die sich in die Bildtiefe erstreckt, erscheint ein räumlich diffuser Grund.

Amiet fügt diese weiße Schneefläche aus unzähligen Pinselstrichen zusammen. Ebenso wie van Gogh entwickelt er den impressionistischen Fleck oder Farbpunkt zum dynamischen Farbstrich. Mit dieser pastosen Spur prägt sich die Bewegung von Hand und Körper in die Faktur des Bildes ein.¹⁴ Das Motiv der großen schneebedeckten Fläche erlaubt Amiet eine von der Darstellung einzelner Gegenstände freie und allein durch die Varianz in Tonalität, Länge und Richtung des Pinselstrichs angegebene Modulierung der Landschaft. Das Weiß setzt Amiet in gelblicher, grauer oder in kälterer blauvioletter Tönung ein. Die so kontrastierenden Farbstriche werden nebeneinander und überlagernd auf die Bildfläche gesetzt. Dabei bleibt jeder Pinselstrich als solcher erkennbar. Farblich und räumlich voneinander differenziert, sind diese zu größeren Bewegungsrichtungen parallel in breiten, geschwungenen Bändern wellenförmig angeordnet. Das Weiß des Schneefeldes ist hier nicht als Medium einer Lichtreflexion, als Darstellung eines natürlichen Phänomens inszeniert.¹⁵ Zugleich bringt das Weiß – als das

8 So auch in den literarischen Schneelandschaften des ausgehenden 19. Jahrhunderts wie bei Leo Tolstois *Herr und Knecht*, dessen Schilderungen eines Irrlaufs im tiefen Schnee Ernst Mach in seiner Analyse heranzieht. Vgl. Ernst Mach: *Analyse der Empfindungen*, Jena 1902, S. 88; vgl. auch Juliane Vogel: *Mehlströme/Mahlströme. Weißeinbrüche in der Literatur des 19. Jahrhunderts*. In: dies., Wolfgang Ullrich (Hg.): *Weiß*, Frankfurt a. M. 2003, S. 167–191.

9 Zu Amiets Malpraxis unter freiem Himmel vgl. Karoline Beltinger: *Kunsttechnologische Forschungen zur Malerei von Cuno Amiet 1883–1914*, Zürich 2015, S. 95: „Schriftliche Quellen und zeitgenössische Fotografien belegen, dass Amiet sich zum Malen bisweilen *en plein air* installierte.“

10 Brief von Giovanni Giacometti 09.07.1899 an Cuno Amiet, in: *Briefwechsel* (s. Anm. 7), S. 268.

11 Ausgehend von der Monografie Franz Servaes: *Giovanni Segantini. Sein Leben und sein Werk*, Leipzig 1920, S. 223–226.

12 Vgl. *Briefwechsel* (s. Anm. 7), S. 311–313.; Müller, Radlach: (s. Anm. 4), S. 240, 242.

13 Diese Lesart verfolgt auch Gabriela Christen: *Kunst in Weiß und Schnee. Der Hang der Schweizer Kunst zum Berg*. In: Wolfgang Ullrich, Juliane Vogel (Hg.): *Weiß*, Frankfurt a. M. 2003, S. 68: „Zu seinen [Cuno Amiets] besten Werken gehören jedoch Schneelandschaften, in denen sich die weißen Farbtupfer auf der Leinwand kaum mehr topographisch lesen lassen. Die riesigen Berg- und Schneemassen werden in diesen Gemälden zu winzig kleinen Punkten dekonstruiert, die sich als reine Elemente der Malerei verstehen.“

14 Vgl. Gottfried Boehm: *Auge und Emotion – Van Goghs Landschaften*. In: Vincent van Gogh – *Zwischen Erde und Himmel. Die Landschaften*, Ausst. kat., Basel/Ostfildern 2009, S. 30–47, bes. S. 41.

15 Die verschiedenen kontrastierenden Weißtöne verschmelzen nicht zu einem Leuchten im Sinne einer „optischen Mischung“. Diese wahrnehmungstheoretische Vorstellung hatte noch die Malpraxis der impressionistischen Malerei geprägt. Vgl. Éric Alliez:

Helle – den medialen Charakter einer Repräsentation von Licht unabhängig vom dargestellten Gegenstand immer schon mit sich.¹⁶ Amiet betont mit seiner in Weißtönen und im Farbauftrag kontrastierenden Malweise den Charakter der Farbe als stoffliche und zugleich leuchtende Farbmaterie, die er der Darstellung des natürlichen Lichtes nicht unterordnet.¹⁷

Nicht allein Trog, auch der Schweizer Sammler, Kunstschriftsteller und Papierfabrikant Oscar Miller nimmt in einem öffentlichen Kommentar wiederholt Bezug auf Amiets Schneelandschaften und seinen Umgang mit der Farbe:

„Alles, die Landschaft, die Gehöfte und ihre Gärten und Bäume, die ganze Malerei, alles ist winterliches Weiss. Ein herrlicher Reichtum in Farbwert und Linie, Weiss, eingebettet in Weiss. Alles ist zur Pracht von Weiss in Weiss geworden.“¹⁸

Miller, der Förderer Amiets, in dessen Besitz sich einige Schneelandschaften des Künstlers befanden, hebt hier ebenso wie Trog die Behandlung

Das ‚Farbwerk‘ im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit. Georges Seurat. In: ders, Elisabeth von Samsonow (Hg.): Chroma Drama. Widerstand der Farbe, Wien 2001, S. 59–122, hier S. 69f.

- 16 Vgl. Wolfgang Schöne: Über das Licht in der Malerei, Berlin 1979, S. 197–214. Hier auch zum funktionellen Verhältnis zwischen Farbe und Licht mit besonderer Berücksichtigung der Farbe Weiß. Anders argumentiert Max Imdahl in Bezug auf die Schneelandschaften Gustave Courbets, vgl. ders.: Farbe. Kunsttheoretische Reflexionen in Frankreich, München 1988, S. 107f.
- 17 Solche Beobachtungen eines „Changierens der Farbe zwischen Medium und Material“ sind, wie Franziska Uhlig zeigt, abhängig von „Veränderungen eines Materialbegriffs“ sowie von „sich wandelnden Vorstellungen über die Wahrnehmung“. Vgl. dies.: Farbe – Medium oder Material? Fragen des Sehens am Beispiel Camille Pissaros [sic] und Ernst Ludwig Kirchners. In: Andreas Haus, Frank Hofmann, Anne Söll (Hg.): Material im Prozess. Strategien ästhetischer Produktivität, Berlin 2000, S. 227–240, hier S. 238.
- 18 Oskar Miller in seinem Vortrag „Mein Verhältnis zur heutigen Malerei“, erschienen in: Oscar Miller: Mein Verhältnis zur Kunst. Versuche, Frauenfeld 1910, S. 83–84.

der Farbwerte als solche hervor und schreibt die Schneelandschaften so in den zeitgenössischen Diskurs um eine vom Gegenstandbezug befreite Malerei ein, der das Narrativ der Modernität von Amiets Malerei bis heute prägt.¹⁹

Dass sich eine solche Argumentation im Telos einer Autonomie der Kunst insbesondere mit dem Motiv der Schneelandschaft und dem Einsatz der Farbe Weiß verbindet, deren funktionelles Verhältnis zwischen Repräsentation des Lichts und Immanenz der Farbe changiert, zeigen weitere motivkundliche Studien zu literarischen und bildlichen Quellen des 19. Jahrhunderts. Diese beobachten vielfach eine mit der Schneelandschaft einhergehende Reduktion von Referenz und beschreiben sie im Kontext einer Krise der Repräsentation. So hat Tilman Treusch in seiner Untersuchung impressionistischer Schneelandschaften eine Loslösung vom Gegenstandsbezug und eine Betonung der malerischen Mittel hervorgehoben.²⁰ Torsten Voß erkennt in seiner Arbeit zur „Kälte der Form“ in arktischen Schneelandschaften eine Metapher für Referenzlosigkeit,²¹ und Juliane Vogel zeigt, wie in den Weißeinbrüchen literarischer Schneelandschaften „[...] nicht nur die Farben, sondern auch die Erscheinungsbedingungen von Gegenständigkeit selber zur Disposition stehen“.²²

Im Gegensatz zu Millers Charakterisierung Amiet'scher Schneelandschaften im Topos der *l'art pour l'art*, im Zuge derer das Weiß die

- 19 Vgl. Georg Mauner: Snow Motion. A 1904 mountain landscape by Swiss artist Cuno Amiet comes close to being the first all-white painting. In: Art News, 2001, Nr. 100 (6), S. 94f.
- 20 Vgl. Tilman Treusch: ... pourquoi peindre la neige, cette maladie de la nature? Zu den Schnee Bildern der französischen Impressionisten und ihrer Zeitgenossen. In: Oliver Kornhoff (Hg.): Lichtgestöber. Der Winter im Impressionismus, Ausst.kat., Bielefeld/Berlin 2013, S. 18–27, hier S. 25f.; ders. (s. Anm. 5); ders.: Schnee und Sonne in den Alpen. Der verschneite Berg in der Malerei vom Impressionismus zur Neuen Sachlichkeit. In: Tobias G. Natter (Hg.): Schnee. Rohstoff der Kunst, Ausst.kat., Brezgenz 2009, S. 138–165, hier S. 141.
- 21 Torsten Voß: Die Distanz der Kunst und die Kälte der Formen, München 2007, S. 14.
- 22 Vogel (s. Anm. 8), S. 170.

Gegenständlichkeit der Landschaft verdeckt, hebt der Kommentar des aktuellen Catalogue raisonné zu Amiets großer Schneelandschaft mit Skifahrer biografische Anekdoten und persönliche Schilderungen gesteigerter Empfindungsreize *en plein air* beim Skifahren hervor. Mit dem Verweis auf Amiets Leidenschaft zum Skifahren wird hier wiederum der Bezug zur außerbildlichen Wirklichkeit, zu einer erfahrbaren Landschaft gesucht.²³ Doch ist Amiets Bild vom winzigen Skifahrer nicht nur als Zeichen einer subjektiv und dynamisch empfundenen oder biografisch deutbaren Landschaft lesbar. Es steht auch im Zeichen eines zeitgenössischen Alpinismus, in dem die Berge als Gegenraum zur modernen Zivilisation erfunden werden und ihre sportliche Eroberung einen unmittelbar körperlichen Zugang zur Natur und eine extreme Steigerung der Lebensintensität verspricht.²⁴ Im Zuge der massenmedial gestützten Kommerzialisierung der Alpen um 1900 kommt der Verbreitung des Wintersports in Illustrierten und auf Plakaten besonders in der Schweiz die Rolle zu, die Wintersaison als touristische Attraktion zu etablieren. Das Skifahren wird in dieser durch Alpenvereine organisierten und popularisierten Programmatik zum Bild eines Lebensstils im Rahmen einer „allgemeinen Ästhetisierung der Existenz“.²⁵

Das Bewegungsmotiv zeigt sich auch in Amiets Malweise. Mit dem bewegten Farbauftrag ist die Wahrnehmung auf eine motorische Aktivität verwiesen, die keine endgültige

Fokussierung zulässt.²⁶ So entspricht die Bewegungsspur des Pinsels der motivisch gefassten Spur des Skifahrers auf dem Bild, als Zeichen einer intensiven Erfahrung von Bewegung. Im Schnee ist nicht nur diese Spur des Skifahrers zu erkennen; das gesamte Schneefeld wird zugleich von Bewegungsspuren der Hand gebildet. Von der Bewegung des Skifahrers scheint zugleich seine Umgebung erfasst. Das große Schneefeld ist nicht auf einen Blickpunkt am entfernten Horizont bezogen, sondern wird zu einem Ganzfeld, der räumliche Eindruck entsteht in einer Bewegung, die schließlich auch das Publikum vor dem Bild erfasst. Taktile Qualitäten des Bildes treten in den Vordergrund.²⁷ Pastose Pinselstriche in Weiß treiben das Erkennen von Differenzen an seine Grenzen und erschweren die Wahrnehmung räumlicher Beziehungen.²⁸

Auch die Bildbesprechung Hans Trogs verweist auf die Nahsicht und den Orientierungsverlust vor dem Bild:

„Auf der grossen [Winterlandschaft] hat man das Gefühl des Endlosen, Formlosen; man erschrickt förmlich vor dieser Schneemasse, und der Skiläufer nimmt sich wie ein Liliputaner darin aus. Der Künstler hat diesen Eindruck sicherlich bezweckt, fragt sich nur, ob das Auge auf die Dauer dieses Ungegliederte, inscheinbar Unbegrenzte Verlaufende erträgt.“²⁹

23 Vgl. Müller, Radlach (s. Anm. 4), S. 240, 242.

24 Siehe Dagmar Günther: Alpine Quergänge. Kulturgeschichte des bürgerlichen Alpinismus, Frankfurt a. M./New York 1998, S. 155–206, hier S. 176; Michael Ott: Im ‚Allerheiligsten der Natur‘. Zur Veränderung von Alpenbildern in der Kultur um 1900. In: Adam Paulsen, Anna Sandberg (Hg.): Natur und Moderne um 1900. Räume Repräsentationen Medien, Bielefeld 2013, S. 31–49; Greg M. Thomas: The Topographical Aesthetic in French Tourism and Landscape. In: Nineteenth-Century Art Worldwide, 2002, Nr. 1 (1), S. 113–135.

25 Gianni Vattimo: Tod oder Untergang der Kunst. In: ders.: Das Ende der Moderne, hg. u. übers. v. Rafael Capurro, Stuttgart 1990, S. 55–70, hier S. 57.

26 Vgl. Alliez (s. Anm. 15), S. 69f.

27 Zum Aspekt der Nähe vor dem Bild vgl. Karl Schawelka: Zu nah am Bild. In: Musis et Litteris. Festschrift für Bernhard Rupprecht, München 1993, S. 491–522, hier S. 495; zu den Konzepten des Taktiles der Malerei vgl. Richard Schiff: Cézannes Physicality and the Politics of Touch. In: Salim Kemal, Ivan Gaskell (Hg.): The Language of Art History, Cambridge/UK 1991, S. 129–180.

28 Vgl. Hartmut Böhme: Raum – Bewegung – Grenzzustände der Sinne. In: Christina Lechtermann, Kirsten Wagner, Horst Wenzel (Hg.): Möglichkeitsräume. Zur Performativität von sensorischer Wahrnehmung, S. 53–72, hier S. 69f.; vgl. ferner: Barbara Oetl: Weiss in der Kunst des 20. Jahrhunderts. Studien zu einer Kulturgeschichte der Farbe, Regensburg 2008.

29 Trog (s. Anm. 3).

Mit dem „Gefühl des Endlosen, Formlosen“ und dem Schrecken „vor dieser Schneemasse“ nimmt Trog Bezug auf das Erhabene,³⁰ jener ästhetischen Kategorie, mittels derer die Grenzen des Darstellbaren im Motiv der Gebirgslandschaft bereits in der Malerei des 18. und 19. Jahrhunderts verhandelt wurden. Das „scheinbar Unbegrenzte“, vor dem der Betrachter „förmlich erschrocken“, ist hier jedoch nicht der Effekt einer schroffen Topografie, die den Ausblick in eine weit erstreckte Tiefe oder alpine Höhe eröffnet. Es erscheint ihm als Eindruck eines großformatigen und flächenhaften, in verschiedenen Abtönungen und mit bewegtem Pinselduktus dargestellten Schneefeldes, in dem das Auge keinen Halt findet.³¹

Dabei handelt es sich um eine gleichsam gezähmte Landschaft mit sanften Hügeln und Bauernhöfen.³² Der traditionsreiche Topos des Erhabenen wird in Trogs Bildbeschreibung zu einer Reflexionsfigur, die im Modus des Uneigentlichen anklingt.³³ So geht es Trog bloß noch um ein ins „scheinbar“ unbegrenzt Verlaufende, und auch der Schrecken hat mit seiner Förmlichkeit an Unmittelbarkeit eingeübt. Trogs

lapidare Bemerkung „der Skifahrer nimmt sich wie ein Liliputaner darin aus“ zeigt nicht nur seine Irritation über die räumlichen Verhältnisse zwischen Figur und formloser Schneemasse, sie ist auch Zeichen einer zivilisatorischen Störung der Imagination einer erhabenen Natur, die doch gerade durch die Abwesenheit des Menschen bzw. ihre Unverfügbarkeit charakterisiert war. Die Idee des Erhabenen dient Trog als Folie, Amiets Malerei geradezu als Gegenprogramm zur erhabenen Landschaft im tradierten Sinn darzustellen, um sie zugleich rhetorisch mit dieser Tradition zu verbinden.³⁴ Jedoch zeigt Trogs ambivalente Beschreibung noch das Ringen um ein verlässliches Subjekt als Ort, von dem aus die Landschaft betrachtet wird: „[F]ragt sich nur, ob das Auge auf die Dauer dieses Ungegliederte, ins scheinbar Unbegrenzte Verlaufende erträgt.“ Ein Gefühl des Erhabenen stellt sich nicht ein; vielmehr scheint die damit verbundene Selbsterkenntnis – als Vermögen eines transzendentalen Subjekts – im Aufschub einer Frage suspendiert.³⁵

Die weiße Bildfläche sperrt sich geradezu vor einer Ausdehnung der Landschaft in die Ferne, wo sie als Evokation des Unendlichen im Zeichen räumlicher Transgression gedeutet werden könnte. Die Vegetation, die Gehölfe und mit ihnen die Horizontlinie sind gleich einer die Schneefläche begrenzenden Bordüre an den oberen Bildrand verschoben. Amiets bewegte Schneelandschaft ist nicht auf einen Blickpunkt

30 Zur Entstehung einer Theorie des Naturerhabenen, siehe Ruth Groh, Dieter Groh: *Weltbild und Naturaneignung. Zur Kulturgeschichte der Natur*, Frankfurt a. M. 2016, S. 128–134. Zum Begriff des Erhabenen in Theorie und künstlerischer Darstellung vgl. Johannes Grave: *Das Erhabene*. In: Ulrich Pfisterer (Hg.): *Metzler Lexikon der Kunstwissenschaft*, S. 113–116.

31 Zur Bedeutung der Bewegung in der Malerei für eine Kritik transzendentaler Subjektivität siehe Kerstin Andermann: *Malerei im Spannungsfeld von Phänomenologie und Immanenzphilosophie*. Merleau-Ponty und Deleuze. In: Birgit Mersmann, Martin Schulz (Hg.): *Kulturen des Bildes*, München 2006, S. 249–263, hier S. 252f.

32 Zur Idee der Kulturlandschaft im Kontext einer Landschaftsidee des Konservatismus vgl. Ludwig Trepl: *Die Idee der Landschaft*, Bielefeld 2012, S. 158.

33 Zur Bezugnahme auf traditionsreiche Topoi der Landschaft in der Literatur um 1900 vgl. Agnes Hoffmann: *Landschaft im Nachbild*. *Imaginationen von Natur in der Literatur um 1900* bei Henry James und Hugo von Hofmannsthal, Baden-Baden 2020, S. 14.

34 Zum Verhältnis von Moderne und Konservatismus in der Kunstkritik vgl. Stephanie Marchal: *Resonanzphänomen Kunstschriftstellerei*. In: dies., Andreas Zeisig, Andreas Degner (Hg.): *Kunstschriftstellerei. Konturen einer kunstkritischen Praxis*, München 2020, S. 121–191, hier S. 183–186.

35 So ist das Erhabene bei Kant noch in seiner Erkenntnisfunktion als Vermögen eines transzendentalen Subjekts angelegt „Erhaben ist, was auch nur denken zu können ein Vermögen des Gemüts beweist, das jeden Maßstab der Sinne übertrifft.“ Immanuel Kant: *Kritik der Urteilskraft* (1790). In: *Kant's gesammelte Schriften*, hg. von der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften, Bd. V, Berlin 1908, Nachdr. 1974, S. 250; Zum Erhabenen der Postmoderne vgl. Grave (s. Anm. 30), S. 116.

am Horizont als Schwelle zum Unsichtbaren bezogen.³⁶ Im schmalen Horizontstreifen setzt Amiet vielmehr alternierend violette und grüne senkrechte Farbstriche, die im völligen Kontrast zur Farbbehandlung der Schneefläche stehen. Trog hielt es für

„merkwürdig, wie das Gemälde oben abgeschlossen wird: fast wie Teppichfransen wirken die roten und grünen senkrechten Striche, die das oberste Siebentel des Bildes bilden. Man wird gleichsam aus der Wirklichkeit ins Stilisierte geführt, man merkt, daß Amiet fast gewaltsam dem Raumeindruck entgegenarbeitet. Das Flächenhafte soll um jeden Preis gewahrt werden, selbst um den Preis der Klarheit des Naturbildes.“³⁷

Der Kunstkritiker bedient sich hier einer im 19. Jahrhundert geläufigen metaphorischen Verbindung von Malerei und Teppichkunst.³⁸ Im Bild der Landschaft als Teppich wird der radikale Flächenbezug der Malerei hervorgehoben. Auch Trogs Beschreibungskategorie einer „dekorativen“ Malerei gewinnt mit der Vorstellung der Malerei als Teppich – im Gegensatz

zur Malerei als illusionistischem Medium – den Aspekt hinzu, dass die Materialität im dargestellten Motiv zugleich präsent bleibt.³⁹

Zudem erscheint die Schneelandschaft im Kontext der dekorativen Künste nochmals radikal auf den Raum diesseits des Bildes, das Interieur bzw. den Ausstellungsraum bezogen.⁴⁰ Amiet hatte sich intensiv mit den Techniken der Wandmalerei insbesondere des Farbmaterials der Tempera auseinandergesetzt⁴¹ und war wiederholt mit Aufträgen zur Dekorationsmalerei beschäftigt.⁴² Die monumentale Winterlandschaft in Tempera zeigt den Bezug zum architektonischen Innenraum besonders im nahezu ovalen Bogen der Horizontalen und im rhythmischen Alternieren der kontrastierenden senkrechten Farbstriche, die als gemalte Elemente das Gemälde an der oberen Kante rahmend einfassen. Die Schneelandschaft zeigt sich so als Dekoration eines Innenraums. Sie eröffnet als Bild der Landschaft im Bild der Landschaft eine eigene Imagination von Außenraum und Innenraum, während sie die Opposition von außer- und innerbildlichem Wirklichkeitsbezug zum Verschwinden bringt.

36 Vgl. zur „Schließung des Horizonts“ Albrecht Koschorke: Die Geschichte des Horizonts. Grenze und Grenzüberschreitung in literarischen Landschaftsbildern, Frankfurt a. M. 1990, S. 218–326. Der Horizont galt Albrecht Koschorke zufolge einer Ästhetik des Naturerhabenen noch „als Repräsentant angeschauter Unendlichkeit“, ebd., S. 138.

37 Trog (s. Anm. 3).

38 Wie sie als Denkmodell der Malerei des 19. und 20. Jahrhunderts bereits von Hubert Damisch und Joseph Mashek vorgestellt wurde. Vgl. Hubert Damisch: La peinture est un vrai trois. In: ders.: Fenêtre jaune cadmium ou les dessous de la peinture, Paris 1984, S. 275–305; Joseph Mashek: The Carpet Paradigm. Critical Prolegomena to a Theory of Flatness. In: Arts Magazine, 1976, Nr. 51 (1), S. 82–109. Vgl. außerdem Jeroen Stumpel: The ‚Grande Jatte‘ That Patient Tapestry. In: Simiolus. Netherlands Quarterly for the History of Art, 1984, Nr. 14, S. 209–224; Regine Prange: Vom textilen Ursprung der Kunst oder Mythologien der Fläche bei Gottfried Semper, Alois Riegl und Henri Matisse, in: Sabeth Buchmann, Rike Frank (Hg.): Textile Theorien der Moderne, Berlin 2015, S. 107–143.

39 Vgl. Tristan Weddigen: Textile Medien. In: Jens Schröter (Hg.): Handbuch Medienwissenschaft, Stuttgart 2014, S. 234–238, hier S. 237.

40 Mit Blick auf das Entstehungsdatum, demzufolge Amiets Winterlandschaft unter dem Eindruck einer Ausstellung seiner und insbesondere Ferdinand Hodlers Bilder in der Wiener Sezession gemalt ist, und im Zusammenhang der Einsendung des Bildes zur Ausstellung in der Berliner Sezession wird auch der Bezug zur Wiener Raumkunst und zu den neuen Konzepten der Ausstellungsausstattungen der Sezessionen als moderne, öffentliche Interieurs bedeutsam.

41 Beltinger (s. Anm. 9), S. 36–65.

42 Wie u. a. die Entwürfe für eine Wanddekoration in einem Solothurner Café zeigen, verwendet Amiet die in der dekorativen Wandgestaltung um 1900 geläufige Form der ovalen Rahmung als oberen Bildabschluss, die zwischen Bild und architektonischer Funktion der Wand visuell vermittelt und so einen Bezug herstellt, zwischen dem Bild und seiner architektonischen Umgebung. Vgl. Christoph Vögele (Hg.): Freundschaft und Verwurzelung, Cuno Amiet zwischen Solothurn und der Ostschweiz, Solothurn 2018, S. 24f.

Alice in the Land of Cold¹

From Hellfire to the Coldest Spot: An Introductory Note

Cold in western culture has had a rather idiosyncratic presence: from the toilsome transportation of Alpine ice in ancient times to the villas and palaces all the way to Rome (so that the chosen few would enjoy their wine chilled) to the systematic research by the doyen of experimentalists, Robert Boyle, on the nature of cold in the seventeenth century, to the liquefaction of gases in the eighteenth century, to the creation of the “coldest spot on earth” in Leiden in 1908, to the counterintuitive properties of helium at these very low temperatures, to the large scale production of liquid gases for medical and other needs, to the generalized practice of freezing foodstuffs, to the indispensable home refrigerator – in brief: the production and consumption of artificial cold has left deep imprints on an amazing number of scientific and technological developments and has raised fundamental issues in economics, sociology and anthropology.²

Perhaps the most intriguing presence of cold is found in one of the defining texts of western culture, namely Dante Alighieri’s *La Divina Commedia*. In *Inferno* it is not so much the deathly heat of flames that do the eternal punishing. Against all “expectations”, Satan is portrayed in many illustrations as a giant beast, half of his body immersed in ice at the center of Hell, as in Gustave Doré’s famous xylograph version made around 1860. ↗ **fig. 1** Satan beats his wings, and the cold wind is a continuous reminder that there is not an instant of reprieve for the sinners.

For a public less familiar with Dante there would be another person to incite their imagination, Walt Disney. The myth about the presumed freezing of his body kindled expectations that the creator of immortal genre figures would himself be reborn at a “later date”! Ample supply of liquid nitrogen and some technical issues in the freezing process itself were sufficient to do the trick for anyone.

Cold and Culture: A History of Artificial Cooling

The history of artificial cold is a history in cultural re-articulations, theoretical re-conceptualizations and social re-alignments. It is, thus, a topic for history of science and technology, for science policy studies, for business history, for sociology, for cultural anthropology, for cultural studies, for consumption studies, for home economics and for

1 It is purported that Lawrence Bragg referred to the strange properties of liquid helium and the disorderly world they portrayed as “Alice in Wonderland”.

2 For a historical overview see Russell J. Donnelly, Arthur W. Francis (ed.): *Cryogenic Science and Technology*. Contributions by Leo I. Dana, New York 1985; Anne C. van Helden: *The coldest spot on earth. Kamerlingh Onnes and low temperature research, 1882–1923*, Leiden 1989; Kostas Gavroglu (ed.): *History of Artificial Cold: Scientific, technological and cultural issues*, Dordrecht 2014. The author had the benefit of receiving helpful comments by Matthias Bruhn and sincerely wishes to thank him.

gender studies. From the phenomena of the ultra-cold to the activities utilizing what could be done with the moderately cool, artificial cold, especially during the twentieth century, defined the new discipline of low temperature physics, played a dominant role in the discourse of home economics, and formed new ways of life.

The physical phenomena in temperatures approaching absolute zero were incomprehensible to those immersed in classical physics. The region of the very cold provided a rather novel frame of reference that facilitated the understanding of a reality which could be probed only through quantum mechanics. During the unravelling of the new phenomena and the attempts to understand them, the explanatory possibilities of quantum mechanics were expanded. But a vast range of possibilities were, also, provided by the large-scale production of cold as well. Its use in the preparation and treatment of foodstuffs has, perhaps, been a development whose significance may have been assessed in terms of the quantities involved, but has not been widely studied in the ways of the deep changes it brought to the everyday.

The management of cold re-configured the management of time, and changes in the management of time brought deep changes to culture. It immensely shortened the time people spent for buying food and, eventually, in preparing food by defrosting meals in the micro-ovens. Its overall effects could perhaps be compared with the way spices reconfigured many of the everyday habits and long cherished tastes. The large-scale production and consumption of cold forced the re-appropriation of such notions and practices that were thought to be invariant over the years: freshness, nutritive values and the procurement of commodities were some of them.

In consequence, also a number of hygienic rules had to be re-defined. New tastes – not necessarily “good” or “bad”, but new nevertheless – were acquired. Ever larger segments of the population had to “harmonize” their habits with a new kind of commodity: the frozen version of what they had been buying so far. People started to shop differently, planned meals differently and, perhaps most significantly, cooked differently. The character of a frozen product and its relation to the non-frozen state is not a merely theoretical problem but a very practical one, since it refers to a general perception and the ways that frozen food has been incorporated in the practices of society at large.³

Popularization and quasi-educational processes in the legitimation of the many uses of cooling and refrigerating, and especially those for the preservation and consumption of foodstuff, became an indispensable aspect of the technological framework

3 Gabriella M. Petrick: *The arbiters of taste: producers, consumers, and the industrialization of taste in America, 1900–1960*, Doctoral dissertation, University of Delaware 2006.



1: Gustave Doré: Illustration for Dante's "Inferno" (Chapter 34, v. 20f.), ca. 1860, Wood engraving.

for the utilization of artificial cold. Of course, much of this "education" went hand in hand with the propagation of commercial interests or the creation of better conditions for the blooming of new industrial enterprises. Educating people in order to adopt these new practices, meant persuading people to buy and use the new technologies of cold and, hence, find ways to accommodate the presence of cold in their everyday dealings. During the twentieth century the domestic kitchen became a rather dynamic site full of social and political correlations mediated and managed by women and the "kitchen became the stage where social actors performed a domesticity that was articulated in explicitly technical terms."⁴ The domestication of cold redefined a sizable portion of the domestic activities and promoted the image of a modern housewife with lots

⁴ Ruth Oldenziel, Karin Zachmann: Cold war kitchen, Americanization, technology and European users, Cambridge/MA 2009, p. 8. See also Sigfried Giedion: Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History, Minnesota 2014 (first published 1948).

of free time in her hands. The domestication of cold, especially through the electric refrigerator, became a central tenet of the ideology of the emancipated woman through the new house-hold appliances.

Another aspect of the history of cold is related to the observation of counter-intuitive phenomena. In the history of science, a theory or a model has always been a useful prerequisite in preparing the experimenters – in helping them to form their mind-set – to observe new and unexpected phenomena. The observation of counter-intuitive phenomena dictates re-conceptualizations – about which there are always conflicting views among the scientists. There are very few instances, if any, in the history of the physical sciences when a newly observed phenomenon defies even a description in terms of the existing theoretical framework. The discovery of superconductivity in 1911 – of the sudden drop to almost zero of the electrical resistance of some metals at liquid helium temperatures of 4 K – was contradicting the very nature of material bodies.⁵ The materiality of conductors implies some kind of resistance to the electric current. Furthermore, the observations of the amazingly peculiar properties of liquid helium in the late 1920s and the 1930s were contradicting the very nature of liquidity. Liquidity is almost synonymous with viscosity, yet the measurement of viscosity of liquid helium by two different yet legitimate uses for the measurement of viscosity, gave vastly differing results. Superconductivity and superfluidity turned out to be pure and rather unique quantum phenomena and brought on a thoroughly new realization about quantum mechanics – the realization that quantum theory could, indeed, accommodate macroscopic phenomena.

Observing the Phenomena of the Ultra-Cold

The history of cold is full of observational oddities. It would be rather challenging to try to trace the history of cold through these “unexpected and surprising” observations, so the following paragraphs are to list the most apparent ones, in order to outline the epistemic relevance of research concerning artificial cold.

1. The priority disputes in the liquefaction of oxygen: is it “droplets” or “foam”? Starting after the second half of the nineteenth century, there was a rather pronounced activity for liquefying gases. The physics behind the techniques were rather straightforward: releasing gases under pressure lowered their temperature. The required pressures were high, instrumentation had to be

5 Cf. Per Fridtjof Dahl: *Superconductivity: Its historical roots and development from mercury to the ceramic oxides*, New York 1992.

designed so that it would endure the pressures, thermometry should be quite accurate. When oxygen's turn came to be liquefied, a priority dispute arose: was the foam formed at the outlet sufficient evidence for the liquefaction of oxygen, or should there actually be some liquid? Louis Paul Cailletet in Paris and Raoul Pictet in Geneva had both observed oxygen mist in 1877, and it was during 1893–1894 that Karol Olszewski and Zymunt Wróblewski had been able to “actually” observe liquid oxygen in Cracow.

2. After he liquefied hydrogen in 1899, James Dewar at the Royal Institution in London set out to liquefy helium.⁶ Notwithstanding some views that helium cannot be liquefied since at such low temperatures it turns into a metal, Dewar was very confident of his brute force approach: he had mastered the production and further lowering of temperatures, he had invented the flask which bears his name, and nothing – except the shattering of the apparatus that he survived – could stop him from liquefying the last remaining gas: helium. And in fact, he thought he did it. Sending a triumphant telegram on April 6, 1908 to Heike Kamerlingh Onnes he was announcing the liquefaction of helium.⁷ But alas, what he observed were impurities of hydrogen, something that had confused Kamerlingh Onnes himself, when he had also observed the solid pieces which he mistook for solid helium, rather than impurities.
3. On July 10, 1908, Kamerlingh Onnes noted that he could not “see” the liquid helium, until someone shone light from below. For some hours the existence of liquid helium was not noticed, the extreme transparency of the liquid squeezed in a configuration which resembled to babushka dolls, dodged its presence until someone had the idea to shine light from an angle below the surface, so that its presence would be betrayed through the reflection.⁸
4. In 1911, Kamerlingh Onnes observed a most surprising phenomenon: at liquid helium temperatures, the electrical resistance of mercury had a sudden drop to

6 John S. Rowlinson: James Dewar 1842–1923: A ruthless chemist, London 2012.

7 The correspondence between James Dewar and Heike Kamerlingh Onnes is in the *Dewar Papers* at the Royal Institution, London. Also see Dirk van Delft: Freezing physics. Heike Kamerlingh Onnes and the quest for cold, Chicago 2008; Kostas Gavroglu, Yorgos Goudaroulis: Methodological aspects in the development of low temperature physics 1881–1956: Concepts out of context(s), Dordrecht 1989; idem (ed.): Through measurement to knowledge, the selected papers of Heike Kamerlingh Onnes 1853–1926, Dordrecht 1991; Faidra Papanelopoulou: The International Association of Refrigeration through the correspondence of Heike Kamerlingh Onnes and Charles-Edouard Guillaume, 1908–1914. In: *Annals of Science*, 2009, No. 66, pp. 345–370.

8 Cf. article by Lodewijk Johannes Reinders in this issue.

zero. Earlier measurements by James Dewar and John Ambrose Fleming had shown that electrical resistance tended to zero as temperatures were lowered, but they measured an increase at liquid hydrogen temperatures and did not pursue the matter further. It was, furthermore, observed that superconductivity disappeared when the superconductor was surrounded by a magnetic field and one increased its intensity.

5. However, the most decisive and important property of superconductivity was established in 1933. Walther Meissner and Robert Ochsenfeld observed that contrary to the expectations of the physicists and their belief of the previous 20 years, a superconductor expelled the magnetic field after the transition to the superconducting state and the magnetic flux became zero. Superconductors were found to be diamagnetic and, hence, superconductivity a reversible phenomenon. Thermodynamics which were earlier used to explain the phenomenon, but with rather arbitrary assumptions, could now be used justifiably. All this could be visualized by the levitation of a magnet above a superconductor (this is the standard picture of superconductivity in most of the popular and not so popular articles).⁹ In fact, it is precisely this phenomenon which became the “signature” of superconductivity in the subsequent discovery of high temperature superconductors, a property that was both counterintuitive and unexpected. In consequence, the problem to be solved was transformed from a problem in electricity (zero resistance to electrical currents) to a problem in magnetism (dielectric behaviors of metals at very low temperatures).
6. Superfluidity is a phenomenon of liquid helium where deeply seated beliefs about the behavior of liquids took a serious jolt, as superfluidity is comprised by more than one observable property. Below a certain temperature helium has zero viscosity (a liquid with no viscosity is almost a contradiction in terms), it climbs over the edge of its container, if stirred vortices continue to rotate indefinitely. All liquids solidify under their own pressure at low enough temperatures. Helium does not. It can only be solidified under a pressure of 26 atmospheres. The densities and specific heats of all liquids follow a continuous change and increase as the temperature is lowered. Not in the case of helium. These parameters display a maximum at 2.19 K and then decrease. The two methods for measuring the viscosity of any liquid – rotating a disk or forcing a liquid through very small capillaries – give identical results. Not so for liquid

⁹ See the picture tableau, No. 6 on page 116 for an example.

helium below 2 K. When the viscosity of liquid helium is measured with these two methods, the first gives a value that is a million times larger than the second. Finally, all liquids are rather obedient: they can be deposited in open containers, they can be kept in containers with extremely small holes through which they cannot flow and shining light on them does not make them jump. Liquid helium does not tolerate any such constraints. It goes over open containers, leaks through the smallest capillaries, and behaves like a fountain when lit. Liquid helium, below 2.19 K, has the characteristics of a superfluid.

7. For almost 20 years after he had liquefied helium for the first time, and until the end of his life, Kamerlingh Onnes continued to perform all kinds of experiments with “this most exceptional liquid” as he wrote to Dewar a few days after his first success.¹⁰ Might Kamerlingh Onnes have sensed that he was not dealing with a ‘proper’ liquid? This might never be clarified. But even if he felt that there was something peculiar going on, his character, his extreme caution and his commitment to a principle that one can know things only after measurements, most probably held him back from jumping to conclusions in view of certain observations. In his efforts to reach very low temperatures with liquid helium, Kamerlingh Onnes experimented with an arrangement that consisted of a small Dewar vessel in a large one filled with liquid helium. Quite accidentally he observed a transfer, at a striking speed, of liquid helium from one vessel to the other, until the levels in the two containers had reached the same height. He proposed that his observation might be explained by assuming a distillation from one vessel to the other. However, the transfer was actually much too fast to be explained by an ordinary distillation. He briefly described this observation in a report to the Faraday Society in 1922, but no further notice was taken of this remarkable behavior of helium. In 1924, Kamerlingh Onnes and Johan Diederik Anne Boks made more elaborate measurements of the liquid helium density and found that the density-temperature function had a “sharp maximum with a discontinuity of its slope” at that temperature. But despite the fact that Kamerlingh Onnes thought these observations were important, their significance was not appreciated at the time. The analogy with the density maximum in water was tempting enough to exclude other explanations. Nevertheless, the realization that there was a lot more to be learned from helium did originate from these observations.

¹⁰ Kamerlingh Onnes to James Dewar July 20, 1908.

In the following two years, Leo Dana, Arend van Urk and Willem Hendrik Keesom investigated the surface tension, the heat of vaporization and the specific heat of liquid helium. The results of these measurements clearly pointed to a “jump in the value of the surface tension and in the heat of vaporization,” and possibly should indicate “that near the maximum density something happens to helium, which within a small temperature range takes place perhaps even discontinuously [...] The change of density of the liquid also indicates something of the same kind.”

It was in the last year of his life that Kamerlingh Onnes reported the suspected existence of two states of liquid helium, since “they had found values of the specific heat which were so high that they did not dare publish them. They felt sure that something had gone wrong with their measuring equipment.” These experimental measurements led Keesom and Wolfke to propose in 1927 that there might indeed be two kinds of liquid helium: one above 2.3 K, helium I, and one below, helium II. This is a most remarkable paper. Its authors mentioned that they could not observe anything visually, yet they were convinced that there was such a transition. What is also interesting is that the authors, in passing, noted that “from the fact that at lower temperatures the liquid is evidently being moved as easily by the stirrer as at higher temperatures, it also appears that helium II is a very mobile helium.”¹¹

All these observational oddities have led to two reconceptualizations. Superconductivity questioned the very ontology of what a conductor is. By its very definition a conductor, any material “thing” displays resistance. Physicists accommodated the notion of no-resistance in their ways of viewing material entities. Even more dramatic is our reconceptualization of what a fluid is: in analogy with conductors, a fluid cannot be portrayed as something that does not have viscosity. In a way, in classical terms a fluid of zero viscosity is contradiction in terms. Yet, physicists were able to accommodate this new notion of fluid.

11 Donnelly, Francis (see note 2).

Lodewijk Johannes Reinders

The Quest for Absolute Zero. Early Historical Developments in Cryogenics

Pioneers

Low-temperature physics or cryogenics is concerned with the properties of matter at low temperatures.¹ From this it follows that before experiments can possibly throw light on such properties it is first necessary to *produce* such low temperatures. Hence low-temperature physics has naturally grown out of the quest for reaching the absolute zero of temperature: -273°C or 0 K .

The unit *K* stands for Kelvin in honour of the British physicist William Thomson (1824–1907), born in Belfast, who became Lord Kelvin in 1892 not only for his achievements in thermodynamics, but also because he opposed Irish Home Rule. He is generally credited with the theoretical basis for an absolute temperature scale, although the idea of absolute zero originated with Jacques Alexandre Césaire Charles (1746–1823) and Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850). Charles had carried out measurements in 1787 which were referred to by Gay-Lussac in 1802 in a publication on the precise relationship between the volume and temperature of a gas. He showed by extrapolation that the volume of any gas, if pressure were held constant, would shrink to zero at -273°C .²

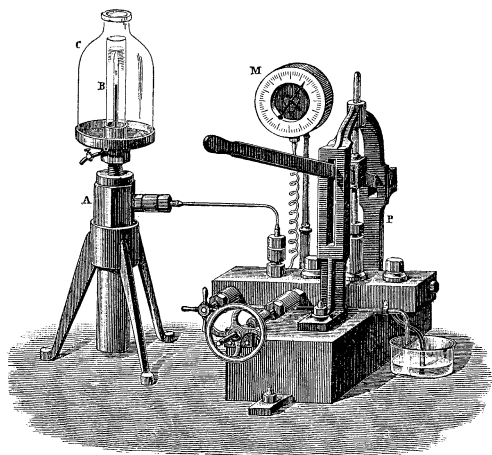
Paris 1877

The race towards this zero of temperature is closely connected with the liquefaction of gases, an enterprise that occupied many physicists and chemists in the nineteenth century. In 1877 the culmination of half a century of efforts was marked by the first liquefactions of oxygen. In December of that year the Frenchman Louis Paul Cailletet (1832–1913) reported the production of droplets of liquid oxygen, and the Swiss Raoul Pictet (1846–1929) sent a telegram from Geneva to the Academy of Sciences in Paris with the text: “Oxygen liquefied today under 320 atmospheres and 140 degrees of cold by combined use of sulphurous and carbonic acid.” New in their approaches was the use of cold to liquefy gases, which so far had been achieved for some gases solely by increasing the pressure at room temperature.

Cailletet’s result, which preceded Pictet’s by a few weeks, was achieved accidentally when a valve of his apparatus, in which acetylene was compressed in a glass tube, was left open, suddenly relaxing the pressure and causing the expanding gas to cool so far as

1 The origins of the word “cryogenics”, from Greek κρυος (frost) and γινωμαι (to produce), are unclear, but its use in English dates from the late 1940s. For some it is synonymous with cryogenic engineering (the art of producing liquid gases), for others it stands for low-temperature physics, cf.: Ralph G. Scurlock (ed.): *History and Origin of Cryogenics*, Oxford 1992, p. 1 and 3.

2 Jean Matricon, Georges Waysand: *The Cold Wars. A History of Superconductivity*, New Brunswick/NJ 1994, p. 1.



1: Cailletet's setup for gas liquefaction. The gas in the top part of a thick-walled capillary glass tube, enclosed by the glass container B, is liquefied by the pressure of a column of mercury that serves as a piston. The pressure is produced by screwing up the mercury in the tube. On releasing the pressure, a momentary fog of oxygen droplets was seen in the tube. A glass bell (C) surrounds this part of the apparatus for safety purposes, in case the tube might break. The contraption on the right-hand side in the picture is the hydraulic pump for compressing the pre-cooling liquid in the glass container B.


to show a mist of condensing liquid.³ ↗ **fig. 1** He repeated this experiment with oxygen that had been cooled with evaporating sulphur dioxide, and obtained a similar mist on which he reported in a letter to the chemist Saint Claire-Deville.

Pictet used a (two-stage) cascade process which proved a most powerful instrument for liquefying air in the laboratory. In the first stage a gas that can be liquefied at room temperature is condensed under pressure and expanded into a separate low-pressure chamber which drives down the temperature. Repeating this process by pumping the resulting vapour back to the compressor the temperature can be reduced below the critical temperature of a second gas which can then be condensed by compression and subsequently cooled in a low-pressure chamber by evaporation.⁴ This cycle can be repeated until the critical temperature of oxygen is reached, and in this way air, nitrogen and carbon monoxide can be liquefied.

Cracow 1883

The experiments by Pictet and Cailletet were almost immediately followed by experiments carried out at the Jagellonian University at Cracow in Poland, where a world-class cryogenic laboratory was created by the chemists Zygmunt Florenty Wróblewski (1845–1888), who had been an attentive spectator at Cailletet's experiments at the École Normale Supérieure in Paris, and Karol Stanisław Olszewski (1846–1915). They made

- 3 This is the Joule-Thomson or Joule-Kelvin effect, after James Prescott Joule (1818–1889) and the already mentioned William Thomson or Lord Kelvin who discovered this effect in 1852: the change (decrease or increase) of the temperature of a real (i.e. not ideal) gas when forced through a thermally insulated valve or plug without exchanging heat with the environment, i.e. without doing external work and without gaining kinetic energy (adiabatic expansion).
- 4 The *critical temperature* of a substance is the temperature above which vapour of the substance cannot be liquefied, no matter how much pressure is applied, or differently stated a substance cannot exist as a liquid above the critical temperature. The *critical pressure* of a substance is the pressure required to liquefy a gas at its critical temperature.

two important changes in the installation used by Cailletet.⁵ The first one was that the thin glass capillary (the tube in the glass container B in  fig. 1) was bent in such a way that the liquid could not escape through the valve, but was collected at the bottom of the capillary. The second change is of greater importance. Like Cailletet, Wróblewski and Olszewski used liquid ethylene (in the glass container B) to cool the capillary, but instead of letting it boil at normal air pressure, they pumped away the vapour above the liquid until the pressure amounted to only 2.5 cm mercury, i. e. 1/30 of an atmosphere. This decreased the temperature to about -130°C , and when oxygen under high pressure was brought into the capillary, they saw that small droplets formed against the glass wall, similar to the condensation observed by Cailletet. They had succeeded in liquefying oxygen without using Cailletet's original method of expanding the gas.⁶ Ten years after the liquefaction of oxygen in 1883 Olszewski had liquefied all gases known at the time, except hydrogen, solidified them all, except oxygen, and determined their properties.

London 1898

The next important steps were made by the Scottish chemist James Dewar (1842–1923), educated at Edinburgh University and working most of his life at the Royal Institution in London until the very moment of his death. One of his major contributions was the improvement of thermal insulation by using a double-walled glass container with a vacuum in the space between the walls, thus eliminating the primary source of heat transfer. To also eliminate heat transfer via radiation, Dewar put a silver coating on the walls inside the vacuum. Such double-walled glass containers with a vacuum in the space between the walls are generally called *dewars* or *cryostats*, and have become a standard piece of equipment in laboratories, but also in daily life as thermos flasks.

Like Wróblewski, Dewar purchased a Cailletet device in Paris and within a few months, in the summer of 1878, he managed to demonstrate that he could liquefy oxygen. In the years thereafter he perfected his apparatus and in 1898 was the first to liquefy hydrogen, a momentous achievement: 20 cm^3 of liquid which boiled quietly in a vacuum flask. In the quest for absolute zero he had managed to get to 20 K (-253°C). In the following year he also managed to solidify hydrogen having lowered the temperature by another 4 or 5 degrees. How close to absolute zero he had actually come, is not completely clear; it may be as low as 12 K.

5 Devices as used by Cailletet were soon after his experiment made in large numbers by the firm of Eugène Ducretet and Co. Wróblewski had bought one of these devices and taken it to Cracow.

6 Kurt Mendelssohn: *The Quest for Absolute Zero*, London 1966, p. 25.

Leiden 1908

The next and final substance on the route to zero through the liquefaction of gases was helium, whose presence on Earth had only been discovered a few years earlier in 1895 by William Ramsay (1852–1916). The attempts by Dewar, Olszewski and others to use the Cailletet device in their attempts to liquefy helium were unsuccessful, and in the end it was the Dutch physicist Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926), who won the race when in 1908 he managed to obtain liquid helium, reaching a temperature of 4.2 K (-269°C), making the Leiden laboratory the coldest place on Earth.⁷ Until 1923 it would remain the only place on Earth where helium could be liquefied in sufficient quantities and stored long enough to make measurements of physical parameters possible.

Leiden and Kamerlingh Onnes

In 1882, at age 29 and only five years after the first successful liquefactions of oxygen by Cailletet and Pictet, Kamerlingh Onnes had become a professor at Leiden University and embarked on building up a low-temperature physics laboratory in the Physics Department. Before he went to Leiden he was an assistant at Delft where from 1879 he struck up a friendship with Johannes Diderik Van der Waals (1837–1923).⁸ Van der Waals had gained his PhD in Leiden in 1873 with a dissertation on *The Continuity of the Gaseous and Liquid State*, in which he introduced an equation of state which made it possible to demonstrate the continuity of the transition between these two states of matter.⁹ The equation has been extraordinarily successful in describing qualitatively and to a certain extent also quantitatively the properties of real and condensed gases. Among other things, it theoretically accounts for the experimental fact that a gas can only be made fluid by compression below its so-called critical temperature, while such liquefaction cannot be realized above this temperature no matter how large a pressure is applied. In 1879, continuing from his dissertation work, Van der Waals derived his *Law of Corresponding States*, which for Kamerlingh Onnes became a beacon guiding his research. The law states that all substances can be described by the same equation provided that pressure, temperature and volume are expressed as functions of the substance's critical pressure, temperature and volume. Once the latter has been done, the equation of state is transformed into a universal form, meaning that it is valid for all gases and liquids independent of the nature of the substance. It implies that from the

7 Ibid., p. 66–72.

8 In 1910 Van der Waals was awarded the Nobel Prize in physics for his work on the equation of state of gases and liquids.

9 Kostas Gavroglu, Yorgos Goudaroulis: *Through Measurement to Knowledge: The Selected Papers of Heike Kamerlingh Onnes 1853–1926*, Dordrecht 1991, p. XXI–XXXIII.

parameters of a reference substance reliable estimates can be made of the parameters of other substances. Kamerlingh Onnes used the principle to estimate the critical temperature of helium from measurements of hydrogen, from which he deduced that an assault on the liquefaction of helium could be successful.¹⁰

In his inaugural address on the occasion of accepting the chair of experimental physics at Leiden University, Kamerlingh Onnes formulated the maxim that would guide his research throughout his life:

*“It is my view that in the practice of experimental physics, an emphasis on quantitative research, that is, the quest for quantitative relationships between phenomena, must stand in the foreground. ‘Knowledge through measurement’ (Door meten tot weten) is the maxim I would wish to write on the wall of every physics laboratory.”*¹¹

Kamerlingh Onnes was also well-versed in theory and the main result of his theoretical research based on Van der Waal’s theory is that the molecules of all substances, when in corresponding states, move in a dynamically similar way. This was at the time that hydrogen had not yet been made fluid and Kamerlingh Onnes used his theory to explore the possibilities for cooling hydrogen further by expansion. From the known experience with existing equipment, especially with oxygen, he could calculate that hydrogen can be liquefied when starting the operation at -210°C and that the whole process would “correspond” to the process with oxygen at -20°C . Dewar’s experiments that were already in progress at the time and, as recalled above, led to the liquefaction of hydrogen in 1898, turned out to conform with Onnes’s specifications.¹²

The laboratory which Kamerlingh Onnes devised in order to carry out his experimental program was rather different from the other places where in those days low temperatures were obtained. This is one of the reasons why Kamerlingh Onnes’s appointment in Leiden can be seen as the proper beginning of low-temperature physics. To engage in the low-temperature research Onnes had in mind three fundamental problems had to be faced. First the low temperature must be *produced*, then it must be *measured* and thirdly it must be *utilised* in an apparatus devised in such a way that the object to be studied can be brought at the temperature required.

10 Dirk van Delft: *Freezing Physics: Heike Kamerlingh Onnes and the quest for cold*, Amsterdam 2007, p. 136.

11 Heike Kamerlingh Onnes: *De betekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde*, Leiden 1882. For an English translation cf.: Arno Laesecke: *Through Measurement to Knowledge: The Inaugural Lecture of Heike Kamerlingh Onnes (1882)*. In: *Journal of Research of the National Bureau of Standards and Technology*, 2002, No. 107, p. 261–277.

12 Gavroglu, Goudaroulis (see note 9), p. XXXIX–XL.

To successfully tackle these three fundamental problems required a rather large establishment, with a considerable staff of trained and specialised mechanics to solve the problems of the purification of gases and liquids and to operate and maintain the various liquefiers, compressors and pumps.¹³ Especially the importance of glass blowing in the construction of cryogenic equipment was very well appreciated by Kamerlingh Onnes. Because of its scale and approach to physical problems Emilio Segré calls Kamerlingh Onnes's Leiden laboratory the first example of large-scale physics, physics at an industrial scale, developing interaction between research, training and industry.¹⁴

In 1892, Kamerlingh Onnes constructed an air liquefier based on a perfected four-stage cascade process, i. e. based on Pictet's method, which gave 9 litres of liquid air per hour. The machine was constructed extremely well and remained in use until 1924. The first stage used liquid methyl chloride also called chloromethane (CH_3Cl), which liquefies at -24°C , then ethylene (C_2H_4), which brings the temperature at -104°C , subsequently oxygen going down to -183°C , to finally reach liquid air at -193°C . It is the only case where the cascade method has been used for producing large quantities of liquid air. For hydrogen this method was not suitable as the lowest temperature that can be reached with oxygen, boiling under a pressure of a few millimetres, is about -217°C , which is not enough to tackle the liquefaction of hydrogen. From an estimate by Wróblewski it was known that hydrogen's critical temperature must be considerably lower than -217°C , namely around -235°C . Hence a different method should be used, based on the Joule-Kelvin effect.

In 1895, patents for a process for liquefying air had independently been taken out by the German scientist, engineer and businessman Carl von Linde (1842–1934) in Wiesbaden and the English engineer William Hampson (1854–1926) in London. Linde was the first to make an operational device for such liquefaction. Hampson, in spite of the limited facilities at his disposal, managed to invent and develop a compact air liquefier based on the Joule-Kelvin effect. As soon as Kamerlingh Onnes heard about Linde's (and Hampson's) approach he started to build a hydrogen liquefier based on their principle, a machine which was only ready in 1906, eight years after Dewar first liquefied hydrogen, but producing much larger quantities (four litres per hour), enough for doing experiments and for being used in the production of liquid helium.¹⁵

Everything was now ready for launching an attempt on liquefying helium, but first it had to be investigated which procedure had any chance of success. It was quickly

13 Martin and Barbara Ruhemann: *Low Temperature Physics*, Cambridge/UK 1937, p. 37.

14 Emilio Segré: *From X-Rays to Quarks*, New York 1980, p. 223f.

15 Rudolf de Bruyn Ouboter: *The cryogenic achievements of H. Kamerlingh Onnes*. In: Gavroglu, Goudaroulis (see note 9), p. CIV.

established that helium liquefaction in a bath of liquid oxygen was impossible, even under pressure. By applying the lessons learned in liquefying oxygen, attempts were made to establish the critical point of helium. In 1904, Dewar had estimated it to be below 9 K (-264° C) from studies of the adsorption (surface absorption) of helium by activated charcoal cooled by liquid hydrogen, making use of the fact that a gas is more easily adsorbed as it gets close to its critical point. Soon thereafter Olszewski, using a greater quantity of helium, came up with a rather impossibly low value of close to 2 K. Using liquid hydrogen as a refrigerant he had managed to cool his helium sample to 14 K under a pressure of 180 atmospheres. The subsequent sudden expansion to atmospheric pressure did not give him any evidence of liquefaction, although he claimed to have reached a temperature of 1.7 K.¹⁶

From his measurements of the isotherms (curves of constant temperature in the Pressure-Temperature (P-T) diagram) of helium in the temperature range between 373 K and 57 K Kamerlingh Onnes estimated that the Boyle temperature (the temperature at which a gas behaves mostly like an ideal gas) must lie close to 23 K. From applying Van der Waals' law of corresponding states he then deduced that the critical temperature of helium must be around 6 K. From this it follows that it must be possible to pass below the critical temperature by rapid expansion of helium compressed to 100 atmospheres at the melting point of hydrogen (14 K) so actually contrary to Olszewski's results.¹⁷

The second problem was to obtain helium gas in sufficient quantities. As recalled above its existence on Earth had just been discovered in 1895 by William Ramsay, who had found that it was emitted from heated pitchblende. Pitchblende contains uranium, which is naturally radioactive and emits alpha particles, the nuclei of helium atoms. It can also be found in many other materials. Dewar for instance extracted it from the mineral waters of the Roman springs in Bath in Somerset (England), while Kamerlingh Onnes used monazite, a natural phosphate of thorium, cerium and other rare earth minerals. The thorium makes the monazite radioactive, emitting alpha particles. To extract the helium, the monazite rock was processed and purified in Leiden by a rather complicated and time-consuming procedure.¹⁸ The purification of the gas was especially important as admixtures or impurities tended to freeze and clog up tubes and valves, something which Dewar was battling with all the time. It is paramount to make abso-

16 Karol Stanisław Olszewski: Nouvelles recherches sur la Liquéfaction de l'Hélium. In: *Annales de Chimie et de Physique*, 1906, No. 8, p. 139.

17 Frans Adrianus Staas: Cryogenics and Low Temperature Physics in the Netherlands. In: Scurlock (see note 1), p. 52–53; Matricon, Waysand (see note 2), p. 22.

18 Heike Kamerlingh Onnes: The liquefaction of helium. In: *Verhandelingen der Koninklijke Akademie*, 1908/09, No. 9, p. 168; reprinted in translation in: Gavroglu, Goudaroulis (see note 9), p. 177.

lutely sure that e. g. not a trace of air is left in the system. Otherwise, the air will solidify during the precooling process. Such impurities had also fooled Kamerlingh Onnes earlier in 1908 when he had allowed helium to expand from 100 atmospheres to 1 atmosphere at a temperature of -259°C and had prematurely announced the solidification of helium in the form of a flaky, snow-like mass floating in the helium gas which later turned out to be impurities of hydrogen. In the end a stock of 360 litres of helium gas was available for the crucial experiment of which 200 litres was used and 160 held in reserve.

The supply of helium remained a problem until after World War I. From 1909, Onnes received some helium gas free of charge from Carl von Welsbach, founder of the Welsbach firm which processed large quantities of thorianite for the thorium it contained. The laboratory had also repeatedly received gifts of helium gas from France and the US, but at the end of the war the supply had dwindled to hardly 300 litres and sizeable experiments were no longer possible. In 1919, the US government donated 30 m^3 of helium to Kamerlingh Onnes as a token of its appreciation for his work, and in 1921 McLennan from Toronto (see below) brought a cylinder of the gas as a present to Onnes. From then onwards the supply of helium ceased to be a problem. As will be recalled below, Meißner in Berlin still had serious problems obtaining a supply of helium in the early nineteen twenties.

The helium liquefaction experiment has been described in great detail by Kamerlingh Onnes,¹⁹ of which a summary follows:²⁰

On July 9th 75 litres of liquid air had been prepared for the final attack on the liquefaction of helium, which started on the 10th of July with the preparation of 20 litres of liquid hydrogen. In the meantime, the helium apparatus had been exhausted, and was now being pre-cooled with liquid hydrogen. The whole experiment would be endangered if the smallest quantity of atmospheric air would still be contained in the system, as that air would freeze solid by the liquid hydrogen, frost up the glass and make observation impossible. At 1.30 p. m. the cooling and filling of the glasses began with such precautions that everything remained clear when they were put in their places. At 3 o'clock the temperature of the refrigerator had fallen to -180°C . The circulation of the helium started at 4.20 p. m. The pressure under which the hydrogen evaporated was gradually decreased to 6 cm Hg, while the pressure of the helium in the coil was slowly increased, and gradually raised from 80 to 100 atms.

19 Ibid., p. 168–185; Gavroglu, Goudaroulis (see note 9), p. 177–181.

20 Adapted from Mendelssohn (see note 6), p. 78 ff.

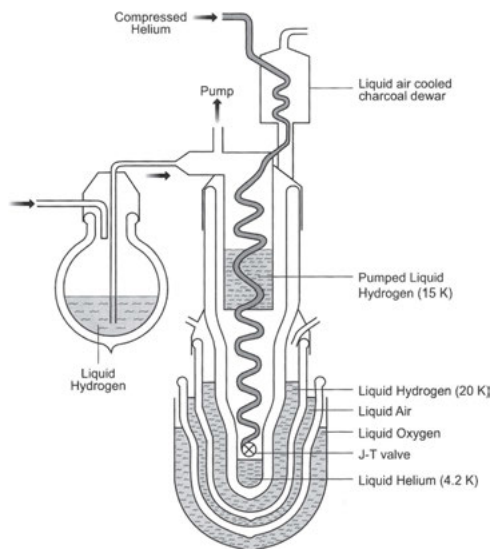
At first the fall of the helium thermometer was so insignificant that a defect was feared. After a long time, however, the fall began to be appreciable, and then to accelerate, until after an accelerated expansion was applied and the pressure in the coil decreased from 95 to 40 atms., the temperature fell below that of the hydrogen. From that moment on the cryostat of the liquefier set out into new regions of uncharted low temperatures.

In successive accelerated expansions, especially when the pressure was not too high, a distinct fluctuation of the temperature towards lower values was clearly *observed*. Thus, the thermometer indicated e. g. once roughly 6 K.

In the meantime, the last bottle of the store of liquid hydrogen was connected with the apparatus (schematically shown in **fig. 2**): and still nothing had as yet been observed but some slight waving distortions of images near the expansion cock. Nothing was observed in the helium space either, but the thermometer became remarkably constant from this moment indicating less than 5 K.

In the course of the day the news of the experiment had spread around the university and at the critical moment, when some thought that the experiment had been a failure, one of the visitors suggested that the refusal of the temperature to drop further was due to the fact that liquid and gas were in equilibrium in the vessel, i. e. that the thermometer was actually immersed in a boiling liquid. What if the vessel were illuminated from below, so that the helium liquid in the inner vessel shows up by reflection of the light through the liquid air that surround it? This was tried and suddenly the surface of the liquid could be seen – the central vessel was almost completely filled with liquid helium. **fig. 2**

This was at 7.30 p. m. When the surface had once been seen, it was no more lost sight of. It stood out sharply defined like the edge of a knife against the glass



2: Schematic image of the helium liquefier. The hydrogen served as pre-coolant. Helium gas enters the installation and passes through the regeneration spirals, exiting at the J-T valve and undergoing Joule-Kelvin cooling. The construction leads to a drop in the temperature of the helium in each successive cycle until it eventually liquefies.

wall. The liquid looked as if it were almost at its critical temperature. The three liquid levels in the vacuum glasses being visible at the same time, they could easily be compared; the difference of the hydrogen and the helium was very striking.

More than 60 cm³ of liquid helium had been made at this first attempt and in the final part of the experiment Kamerlingh Onnes tried to obtain solid helium by letting the liquid boil under reduced pressure. In this he failed and helium was only solidified after Onnes's death in 1926 by Willem Keesom (1876–1956), one of Onnes's successors as director of the Leiden laboratory.

The liquefaction of helium was the high point in Kamerlingh Onnes's career as a scientist so far. Using only 200 litres of helium (with 160 litres in reserve) its liquefaction was a tremendous technical achievement in view of the method he was using. The temperature had been brought down to less than 5 K. It would take until 1923 before John Cunningham McLennan (1867–1935) in Toronto (Canada) also managed to liquefy helium, followed two years later by Walther Meißner (1882–1974) at the Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin.

Developments Elsewhere

How far Kamerlingh Onnes was ahead of the pack is nicely illustrated by the situation in Germany where in the first decade of the twentieth century Walther Nernst (1864–1941),²¹ at the time at the Institute of Physical Chemistry in Berlin, had recognized, like Kamerlingh Onnes, that the measurement of properties of solids at low temperature was an important field of research. For this purpose, he constructed in 1910 a hydrogen liquefier, which made it possible to reach temperatures not much lower than 21 K, quite far off from the 4 K which Kamerlingh Onnes had already reached by that time. Although an excellent physicist, both experimentally and theoretically, which he had in common with Kamerlingh Onnes, Nernst had a completely different approach from Kamerlingh Onnes. He was always interested in quick results, not in building complex machines like Kamerlingh Onnes did. He invested no more effort in the development of apparatus than was absolutely necessary.²² In 1914, Keesom visited Nernst's laboratory in Berlin and reported back that not only Nernst, but also other scientists in Germany at the Kaiser Wilhelm Institute and the Institute of Meteorology

21 Walther Nernst formulated in 1905 the third law of thermodynamics which in simple terms states that the entropy of a perfect crystal at absolute zero is zero. In 1920 he received the Nobel Prize in chemistry for this.

22 Rudolf P. Huebner, Heinz Luebbig: *A Focus of Discovery*, Singapore 2008, p. 59.

logy were far from achieving liquid helium and that Leiden had nothing to fear from them.²³ The only institution which as far as its capacity in obtaining liquid hydrogen was concerned might be compared with Leiden was the Royal Institution in London, where Dewar was working.

Low-temperature physics in Germany only got on its way when in 1913 Walther Meißner was charged with building a liquefaction facility for hydrogen with which he reached temperatures down to 14 K. In that time, he concentrated on electric resistance measurements at low temperatures. After the First World War, which interrupted developments at the Reichsanstalt, Meißner soon realised that he too needed lower temperatures and planned the construction of a helium liquefier, which was ready and producing liquid helium from 1925.²⁴ However, severe difficulties in obtaining sufficient amounts of helium had to be overcome.²⁵ More than fifteen years later leading research institutes in Germany still had difficulty creating the conditions for liquefying this gas.

The Discovery of Superconductivity

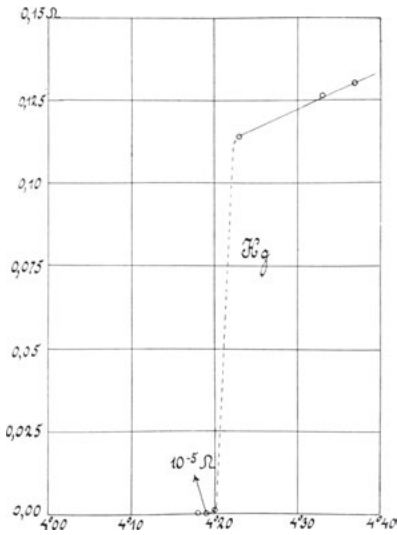
After his success in liquefying helium Kamerlingh Onnes wanted to approach absolute zero in one fell swoop, but liquid helium turned out to be more complicated than any other ordinary liquid, and its study kept Kamerlingh Onnes busy until the end of his life.

But the quest to reach absolute zero was deflected by a surprise discovery made in 1911. Soon the preparation of liquid helium became a routine procedure at the Leiden laboratory and the properties of metals could be investigated at just a few degrees above absolute zero. One of the properties that is relatively easy to measure is the electrical resistance of a wire. Work of Walther Nernst in Berlin had suggested that the resistance of a pure metal should become gradually smaller with lowering temperature and should eventually disappear completely at absolute zero. But there were also other suggestions, e. g. from Dewar who, following a suggestion by Lord Kelvin, thought that close to absolute zero the electrons would become fixed to the atoms and the resistance would become infinitely large. At first, Kamerlingh Onnes could not confirm or contradict either theory. The resistance remained constant as the temperature became lower, but the result varied from sample to sample of the same metal, from which Kamerlingh Onnes concluded that impurities in the metal prevented the resistance from becoming smaller as absolute zero was approached. And indeed, the purer the metal the more

23 Van Delft (see note 10), p. 471.

24 Huebner, Luebbig (see note 22), p. 61–68.

25 Walther Meißner: Verflüssigung des Heliums in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. In: *Die Naturwissenschaften*, 1935, No. 13, p. 695–696, as quoted in Huebner, Luebbig (see note 22), p. 66f.



3: Plot of the resistance of mercury versus the temperature from the paper by Kamerlingh Onnes, as measured on 26 October 1911. Within 0.01 K the resistance jumps from immeasurably small to more than 0.1 Ω .

the resistance fell.²⁶ At first the experiments were carried out with platinum and gold which quickly showed the inadequacy of Kelvin's proposal as the resistance continued to drop when the temperature was decreased below 4 K. Early in 1911, continuing until the end of October, new experiments were carried out with mercury in a new cryostat. It was found that below 4.2 K the resistance of mercury suddenly dropped to zero within the accuracy of the measurements, while when increasing the temperature by just 0.1 K the resistance increased by a factor of 400. His communication of the October measurement contains the historical plot showing how abruptly the resistance of mercury vanishes.²⁷ **fig. 3** This sudden jump in the resistance, while between the melting point of hydrogen and the boiling point of helium the curve exhibited the ordinary gradual lessening of the resistance, was proof that a completely new phenomenon had been discovered. Kamerlingh Onnes first called it supraconductability, but

later in his Nobel lecture he introduced the term superconductivity.

According to classical thermodynamics the approach to absolute zero was towards a state of total immobility. Now there was something completely unknown and unforeseen, a metal with no detectable resistance in which a current could presumably flow forever. An experiment which Kamerlingh Onnes immediately tried to carry out. Currents produce magnetic fields and by looking at a compass he saw that the compass needle and hence the magnetic field did not change, from which it could be deduced that the current wasn't changing either.²⁸ In 1932, six years after Kamerlingh Onnes's death and more than twenty years after the discovery of superconductivity, his laboratory manager Gerard Flim travelled to London with a lead ring immersed in liquid helium in a portable dewar and carrying a permanent current of 200 A to demonstrate this effect at a meeting at the Royal Institution.²⁹ It is worth noting that at this time

²⁶ Mendelssohn (see note 6), p. 83.

²⁷ Heike Kamerlingh Onnes: Further experiments with Liquid Helium. G. On the Electrical Resistance of Pure Metals, etc. VI. On the Sudden Change in the Rate at which the Resistance of Mercury Disappears. Repr. in English translation in: Gavroglu, Goudaroulis (see note 9), p. 267–271.

²⁸ Matricon, Waysand (see note 2), p. 27.

²⁹ Dirk van Delft, Peter Kees: The Discovery of Superconductivity. In: *Physics Today*, 2008, No. 28, pp. 38–43, here p. 42f.

helium had still not been liquefied anywhere in the United Kingdom, although this was soon remedied when in 1934 Pyotr Kapitsa at Cambridge developed a method for producing liquid helium in large quantities.

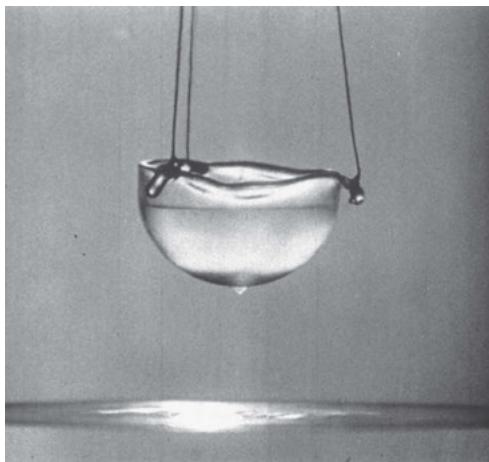
Kamerlingh Onnes published a large number of papers in the following years related with the new phenomenon, for instance on the critical density and the associated potential difference, and the superconducting nature of tin and lead. In 1924, at seventy, the mandatory age for retirement, he resigned the directorship of the laboratory and was succeeded by Willem Keesom and Wander Johannes de Haas (1878–1960).

Further Developments in Leiden and Elsewhere

De Haas assumed responsibility for the investigation of electrical, magnetic and optical properties of matter, while Keesom directed the research on helium and other gases, and the thermal properties of solids. He was also responsible for the cryogenic installation. Studies were made of the equation of state of gases, thermometry, specific heat measurements and a number of other thermal properties of matter. Keesom tried to obtain further lower temperatures by reducing the vapour pressure of helium, using increasingly powerful pumps. Where Kamerlingh Onnes had succeeded in obtaining 0.82 K via this method, in the 1920s Keesom obtained 0.71 K. In May 1933, using a new electromagnet, de Haas and Eliza Cornelis Wiersma managed to reach a temperature of 0.27 K, using adiabatic demagnetization, a process by which the temperature of certain materials can be lowered by the removal of a magnetic field, and went still further down to 0.08 K somewhat later. It has gone down ever since and the current world record was set in 1999 at 100 picokelvins (pK), or 0.0000000001 of a kelvin, by cooling the nuclear spins in a piece of the metal rhodium.

The history of low-temperature physics did of course not stop here, rapid advances were made in the first half of the 1930s and the dominance of the Leiden laboratory soon declined. In the first place, there were the Russians. In 1930, Lev Shubnikov (1901–1937), who had worked in Leiden from 1926 to 1930 with Wander de Haas, returned to Russia where from 1931 he built up a world-class low-temperature laboratory at the just founded Kharkov Physico-Technical Institute. Here, in addition to a large number of other original research, he and his co-workers discovered Type-II superconductivity (also called the Shubnikov phase) — which makes possible high-field magnets such as those used in magnetic resonance imaging (MRI).³⁰

30 Lew Vasilevich Schubnikow, Wladimir I. Chotkewitsch, Georgi D. Schepelew, Jurij N. Rjabinin: Magnetische Eigenschaften supraleitender Metalle und Legierungen. In: Sondernummer Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion. Arbeiten auf dem Gebiete tiefer Temperaturen, 1936, pp. 39–66, later republished as L. V. Shubnikov, V. I. Khotkevich, G. D. Shepelev, Ju. N. Rjabinin: Magnetic properties



4: The liquid helium in the bowl is in the superfluid phase. A thin invisible film of the liquid creeps up the inside wall of the bowl and down on the outside. A drop forms. It will fall off into the liquid helium below. This will repeat until the cup is empty – provided the liquid remains superfluid. Still from Alfred Leitner: *Liquid Helium II. The Superfluid*, 1963.

The laboratory with Shubnikov at its head existed only for a short period, a mere seven years. In 1937, most department heads and many other workers fell victim in Stalin's purges. The independent stature and international outlook of the laboratory were not appreciated. Some people were executed later in 1937, among whom Shubnikov, while others were sent to the Gulag. The laboratory continued but never managed to achieve the excellence it had before. The other Russian giant of low-temperature physics, Pyotr Kapitsa (1894–1984), had been working with Ernest Rutherford at the Cavendish laboratory since 1921. When making his regular annual visit to Russia in the autumn of 1934, he was prevented from returning to Cambridge and forced to stay in Russia. His British

laboratory, the Mond laboratory in Cambridge, was bought lock, stock and barrel by the Russians and moved to Moscow where it became the Institute for Physical Problems headed by Kapitsa. Here helium research in Russia started and already in 1937 Kapitsa discovered, simultaneously with John Allen and Don Misener in Cambridge, the superfluidity of liquefied helium (the property that a fluid with zero viscosity³¹ flows without loss of kinetic energy). ↗ **fig. 4** When stirred, a superfluid forms vortices that continue to rotate indefinitely.

In other countries, too, the 1930s saw increasing activity in low temperature physics. In England, the first helium liquefier was installed in Oxford in 1933, just before Kapitsa's device in Cambridge came on stream. It was one of the small-scale devices developed by Franz Simon (later Sir Franzis Simon)³² in Berlin and later in Breslau. One of the main reasons for making these miniature liquefiers was the scarcity of helium gas, which had to be extracted laboriously from monazite sand, as

of superconducting metals and alloys. In: *Zhurnal Éksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*, 1937, No. 7, pp. 221–237.

31 Resistance to deformation, stickiness or thickness, e.g. syrup has a higher viscosity than water.

32 Franz Eugen Simon (1893–1956) was a German and later British physical chemist and physicist who worked in the research group of Walther Nernst on low-temperature physics related to the third law of thermodynamics. After Hitler's rise to power, he emigrated to Britain. Using the equipment, he had brought with him from Germany, he performed pioneering work in low temperature physics at Oxford.

Kamerlingh Onnes also had to do. As recalled above, in the mid-1920s Meißner at the Physikalisch Technische Reichsanstalt in Berlin installed a conventional type of helium plant. Following this, the field of research was divided up with Meißner concentrating on superconductivity, while the group around Nernst continued its research related to the third law of thermodynamics. In 1933 Meißner, in collaboration with Robert Ochsenfeld (1901–1993), observed the complete diamagnetism of superconductors (the Meißner effect). This is the phenomenon that magnetic field lines are forced out of a superconductor during its transition to the superconducting state.

The advance of low-temperature physics and the science of superconductivity slowed down around 1936 and in some respects quite a new start had to be made in the 1960s. In the 1930s, the number of researchers working in low-temperature physics was still fairly small and for various reasons a number of them left the field around this time. One reason, related above, was the destruction of Shubnikov's laboratory in Kharkov. Another was the worsening political situation in Europe, particularly in Germany where after Hitler came to power many talented Jewish physicists were forced to emigrate – including Franz Simon.

Verlangsamten. Kälteumgebungen biologischen Experimentierens

Biologische Materialien sind von delikater Natur. Den Organen und Zellen von Laborieren wie Mäusen, Ratten, Kaninchen, der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* oder dem Bakterium *Escherichia coli* entnommen, sind sie besonders empfindlich gegen höhere Temperaturen. Zwar arbeiten Enzyme und andere Wirkstoffe in der Regel optimal in einem schmalen Korridor um die Körpertemperatur herum, aber auch bei diesen Temperaturen degradieren sie rasch im Reagenzglas – innerhalb von Stunden oder sogar von Minuten – und gehen ihrer Aktivität irreversibel verlustig. Der einzige Weg, sie für längere Zeiträume in einem funktionsfähigen Zustand zu erhalten, besteht darin, sie in geeigneter Form kühl zu stellen. Noch bis in die 1950er-Jahre hinein war es üblich, biochemische Versuche im Reagenzglas ausschließlich mit jeweils *ad hoc* frisch präparierten Materialien durchzuführen. Die Wissenschaft der Biochemie brauchte die ganze erste Hälfte des 20. Jahrhunderts, um einerseits stabilisierende Medien zu entwickeln, in denen biologische Makromoleküle längere Präparationszeiten überstanden, und um andererseits Formen der Kühlung zu finden, die es erlaubten, solche Präparate über längere Zeiträume in einem funktionsfähigen Zustand aufzubewahren. Um die dazu gehörige und das ermöglichende, eher unspektakuläre Infrastruktur soll es im Folgenden gehen. Joanna Radin bemerkt dazu in *Life on Ice*: „Eine Infrastruktur aus Kühlschränken, Gefriertruhen und ihren biologischen Inhalten scheint dazu bestimmt zu sein, übersehen zu werden. Jedoch ist es die Fähigkeit, biologische Substanzen bei verschiedenen Graden tiefer Temperatur zu halten, die es ermöglicht hat, diese Substanzen unglaublich vielseitig und beweglich werden zu lassen, sie zu manipulieren, zu verlagern und zu rekombinieren, um damit Fragen zu beantworten, die bei ihrer anfänglichen Extraktion aus dem Körper noch gar nicht gestellt werden konnten.“¹

Ein kurzer Blick in die Geschichte

Natürlich hat die Temperatur immer schon eine erhebliche Rolle in biologischen sowie medizinischen und dort vor allem in pathologischen Experimenten gespielt, sodass bestimmte Arbeiten oft nur saisonabhängig durchgeführt werden konnten. Auch temperaturabhängige biologische Rhythmen spielten dabei eine nicht zu unterschätzende Rolle. Ein Temperaturregime und die Notwendigkeit einer Temperaturkontrolle wurden aber immer dringender und geradezu unabweisbar, als sich die Mikrobiologie und das biochemische Experimentieren *in vitro* im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts etablierten.² Letzteres beruhte, dem Biochemiker Herbert Friedmann zufolge, auf der

1 Joanna Radin: *Life on Ice. A History of New Uses for Cold Blood*, Chicago/London 2017, S. 3. Übersetzung des Autors, wie auch bei den weiteren Zitaten aus englischsprachigen Texten.

2 Vgl. Hans-Jörg Rheinberger: *Cultures of experimentation*. In: Karine Chemla, Evelyn Fox Keller (Hg.): *Cultures without Culturalism. The Making of Scientific Knowledge*, Durham/London 2017, S. 278–295.

Überzeugung, dass „Gewebeextrakte nicht nur Naturprodukte darzustellen in der Lage waren, das heißt im Gewebe synthetisierte Verbindungen, sondern *Naturprozesse*“.³ Um das zu erreichen, bedurfte es eines umfassenden Apparates an Kühlverfahren und Kühlsystemen mit den dazugehörigen Laborausrüstungen. Es muss verwundern, dass dieser Aspekt biochemischen Experimentierens bislang so wenig historische und epistemologische Aufmerksamkeit erfahren hat, obwohl in den letzten zehn Jahren *Cryopolitics* ins Zentrum des Interesses von Wissenschafts- und Technikforschung im Zusammenhang mit dem biomedizinischen Komplex gerückt ist.⁴

Nicht darum soll es hier aber gehen, sondern um das Rhizom der Kühlungsketten im Labor. In Deutschland gehen die ersten effizienten Kühlaggregate im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts auf die Konstruktionstätigkeit des Ingenieurs Carl von Linde (1842–1934) zurück.⁵ Linde hatte am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich studiert und arbeitete dann im Kontext der Bayerischen Brauerei-Industrie. Die von ihm gegründete Firma wurde führend bei der Verflüssigung und Verfestigung von Gasen bei niedrigen Temperaturen und weitete ihre Aktivitäten zu Beginn des 20. Jahrhunderts auch auf Amerika aus. Flüssiger Stickstoff und Trockeneis – festes CO₂ – sollten im weiteren Verlauf des Jahrhunderts eine immer wichtigere Rolle bei der Kühlungsversorgung biologischer Laboratorien spielen. Mit ihnen konnte die Serie der Standardtemperaturen im Kältebereich wesentlich erweitert werden. Sie erstreckten sich nun von Eis am Schmelzpunkt von 0° C zu Trockeneis mit einem Sublimationspunkt von -78,48° C bis zu flüssigem Stickstoff mit einem Kochpunkt bei -196° C, die entsprechenden Behälter vorausgesetzt.

Ein Experiment

Im Folgenden geht es jedoch weder um eine detaillierte Geschichte der historischen Entwicklung von Kühltechnologien noch um eine Geschichte der Einführung von Kühlverfahren in biologische Laboratorien, angefangen von der Errichtung der ersten Physiologie-Paläste im ausgehenden 19. Jahrhundert⁶ bis zu gegenwärtigen Super-Tech-

3 Herbert C. Friedmann: From Friedrich Wöhler's urine to Eduard Buchner's alcohol. In: Athel Cornish-Bowden (Hg.): *New Beer in an Old Bottle: Eduard Buchner and the Growth of Biochemical Knowledge*, Valencia 1997, S. 67–122, hier S. 108.

4 Joanna Radin, Emma Kowal (Hg.): *Cryopolitics. Frozen Life in a Melting World*, Cambridge/Mass./London 2017 sowie Lucy van de Wiel: *Freezing Fertility. Oocyte Cryopreservation and the Gender Politics of Aging*, New York 2020.

5 Vgl. dazu Hans-Liudger Dienel: *Linde: History of a Technology Corporation, 1879–2004*, New York 2004 und für den weiteren Kontext Mikael Hård: *Machines Are Frozen Spirit: The Scientification of Refrigeration and Brewing in the 19th Century. A Weberian Interpretation*, Boulder/Colorado 1994.

6 Vgl. dazu Sven Dierig et al.: *The Virtual Laboratory. Essays and Resources on the Experimentalization of Life, 1830–1930*, online unter: <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/research/projects/Dierig02> (Stand 5/2021).

nologien wie der Kryo-Elektronenmikroskopie mit ihren atomaren Strukturbildern von bisher ungekannter Auflösung.⁷ Vielmehr soll ein Blick in die molekularbiologische Laboratoriumsumgebung geworfen werden, wie sie sich in den späten siebziger und den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts darbot. Um diese Zeit war das neu errichtete Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik in Berlin-Dahlem das wohl am besten ausgerüstete molekularbiologische Labor, das man in Berlin finden konnte. Es ist daher gut geeignet, eine Vorstellung von den Kühlerfordernissen und -regimes – wie auch ihren Gegenstücken, den Wärmeverrichtungen – für die experimentelle Manipulation biologischen Materials zu vermitteln, die den ganzen Laborraum einschließlich seiner Architektur und der Distribution von Laborgerät durchzog und durchwirkte.

Die Betrachtung wird sich dabei von innen nach außen vorarbeiten, beginnend mit einem typischen In-vitro-Experiment auf dem Labortisch, gefolgt von der Ausrüstung und ihren Komponenten, die für die Präparierung und die Lagerung der einschlägigen, für das Experiment erforderlichen Materialien benötigt werden. Eingetragen in einem Log-Blatt für ein typisches Labortisch-Experiment sind die Mikroliter-Angaben für das Pipettieren der Ingredienzien des Experiments: Pufferlösungen, Energie-Mixe, Biomoleküle wie Poly-Uridylsäure, Transfer-RNAs, Ribosomen und der für die untersuchten molekularen Bewegungen erforderliche Elongationsfaktor EF-G (G steht für eine Kopplung mit dem Energiespender Guanosintriphosphat). **Abb. 1** In diesen ist auch der Elongationsfaktor EF-Tu involviert, dessen Temperatur-Sensitivität schon in seinen Namen eingeschrieben ist (Tu steht für „temperature-unstable“). Darüber hinaus spielt die Temperaturdifferenz zwischen 0°C und 37°C eine entscheidende Rolle für den Rhythmus des Versuchs.

Das ganze Experiment – die Bindung von Transfer-RNA an Ribosomen-Partikel, mit einer darauffolgenden Translokation der Moleküle auf dem Ribosom – beruht auf einer strikten Alternierung zwischen zwei Schritten, die bei 0°C auf Eis und bei 37°C in einem thermostatierten Wasserbad durchgeführt werden. Die Ingredienzien für die einzelnen Schritte werden jeweils bei 0°C zusammengeführt. Das erfordert eine mit Eis gefüllte Wanne auf dem Labortisch, an dem der Experimentator die Materialien mit einer Pipette aus ebenfalls eisgekühlten kleinen Eppendorf-Küvetten aufnimmt und dem Reaktionsmix zufügt. Alles hat strikt bei 0°C zu erfolgen, wobei die Chargen des biologischen Materials aus einer Gefriertruhe kommen, wo sie bei -20°C gelagert und am Tag des Experiments langsam und vorsichtig bei 0°C flüssig gemacht werden,

7 Für die Entwicklung dieser Technik erhielten Jacques Dubochet, Joachim Frank und Richard Henderson 2017 den Nobelpreis für Chemie. Vgl. dazu Peter Brzezinski: Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2017. The Development of Cryo-Electron Microscopy, 4.10.2017, The Nobelprize, <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-chemistryprize2017-1.pdf> (Stand 5/2021).

I und Mix II bestimmen die jeweilige Mg⁺⁺ f.c. 101AS 444 Datum: 22.10.87

Vorinkubation: 1. step					Hauptinkubation: 2. step				Translokation				PM-Reaktion	Bemerkungen
Mix I	p(U)	tRNA type:	H ₂ O	ELICOS	Mix II	H ₂ O	tRNA type:	GTP/PEP	All-quot	PMK	EF-G	PM in Bdg-Puffer		
	3.75 mg/ml	Ala ⁺ T		100 μl				1 Teil PK	auf-			(5)		
per quot	5		5	E10	20		E5	10	60 μl	(5)		(5)		
per mal-atz	45		45	E90	180		E45	70	60	5	-	-	-	
									60	5	-	-	-	
									60	5	-	-	-	
									60	5	-	-	-	
									60	-	5	5	5	
									60	-	5	5	5	
1 (6h)	20	52	80	42	180	40	140	20		10			2x 20% 3x 20% 3x 20% 3x 20% 3x 20%	
2														
3 (2h)	5	65	15	10	30		30							
4	5	65	15	10	30		30							
5	5	65	15	10	30		30							
6	5	65	15	10	30		30							
7	5	65	15	10	30		30							
8	5	65	15	10	30		30							

etRNA: 1 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

1: 2 x 50 ul
+ 2 ml Bdg-Puffer: mM Mg⁺⁺
+ Nitrocellulosefilter 11306
+ 2 x 2 ml Bdg-Puffer
+ Infrarot

30° / 37°C
10° / 37°C
30° / 0°C

65 μl 0.3 M NaAc
pH 5.5 / MgSO₄ sat
+ 1 ml K2C2O₄
+ 1' vortex
+ 15' / 0°C

1: Experimentalblatt, Experiment 444 vom 22. Oktober 1987.

so dass sie pipettiert werden können. Die Puffer hingegen kommen aus dem Kühlschrank, wo sie bei 4° C verwahrt und vor Beginn des Experiments auf den Gefrierpunkt heruntergekühlt werden.

Schon damit ein solches Experiment in die Wege geleitet werden kann, müssen bereits drei Kälte-Laborgeräte im Einsatz sein: Zunächst ein Kühlschrank mit einer kontrollierten Standardtemperatur von 4° C als Grundausrüstung eines jeden biologischen Labors. Sodann eine große Gefriertruhe mit einer ebenfalls kontrollierten Temperatur von -20° C, in der Regel in einem separaten Raum zusammen mit weiteren größeren Apparaturen der Laborausstattung wie zum Beispiel – ebenfalls gekühlten – Ultrazentrifugen. Drittens schließlich eine Eismaschine, die sich meist in einem Flur möglichst äquidistant zu einer ganzen Anzahl von Laborräumen befindet: Hier werden am Morgen die Eiswanne für die Ständer mit den Reagenzgläsern sowie die Styropor-Behälter für die Ingredienzien des Experiments mit zerstoßenem Eis gefüllt. Soraya de Chadarevian hat in ihrer kleinen *Ode an den Eisbehälter* darauf hingewiesen, dass ein so unauffälliges Gerät wie die Eismaschine keineswegs so simpel ist, wie es auf den ersten Blick den Anschein hat.⁸

8 Soraya de Chadarevian: Ode to the ice bucket. In: Joanna Radin, Emma Kowal (Hg.): Cryopolitics. Frozen Life in a Melting World, Cambridge/Mass./London 2017, S. 83–88.



2: Laborraum im Max-Planck-Institut für molekulare Genetik, Berlin, Abteilung Wittmann, um 1971.

Ohne diese Kälteausrüstung wäre kein kontrolliertes In-vitro-Experiment möglich. Zusätzlich aber ist natürlich ein thermoreguliertes Wasserbad nötig, das für die verschieden langen Inkubationsschritte auf 37°C gehalten wird. Obwohl der Transfer der Reagenzgläser von kalt nach warm und von warm nach kalt keinen instantanen Temperaturwechsel garantiert, wird diese kurze Übergangszeit in der Regel vernachlässigt, denn die Flüssigkeits-Volumina in den Reagenzgläsern sind minimal und übersteigen meist nicht eine Größenordnung von 50 bis 100 µl. Am Ende des Tages werden die nicht mehr benötigten, übriggebliebenen biologischen Materialien, die meist in kleinen Eppendorf-Plastikröhrchen verwahrt werden, in ein Dewar-Gefäß mit flüssigem Stickstoff getaucht. Dieser Vorgang des Schockfrierens verläuft so rasch, dass das Material vitrifiziert und eine Eiskristallbildung und damit eine dadurch bedingte Inaktivierung der Proben vermieden wird. Dann werden sie in die Tiefkühltruhe zurückgelegt. Die prozessierten radioaktiven Proben, die das Experiment geliefert hat, werden in kleinen Glas- oder Plastikgefäßen in die Endlosschleife eines Szintillationszählers gestellt, dessen Probenraum ebenfalls gekühlt ist, und über Nacht gemessen. ▶ **Abb. 2** vermittelt einen Eindruck von einem typischen Laborraum, in dem solche Experimente durchgeführt werden. Zu sehen sind eine Reihe kleiner Evaporationsgeräte, ein Tisch für die Durchführung von Experimenten sowie ein Abzug, in den giftige Arbeitsmaterialien gestellt und unter dem sie umgefüllt werden können.

Hinter den Experimenten: Vernetzte Kälte

Woher kommen diese biologischen Komponenten eines typischen In-vitro-Experiments? Um diese Frage zu beantworten, sind wiederum Kreisläufe von Kühlung und

Erwärmung mit den entsprechenden technischen und architektonischen Einrichtungen zu durchmessen, denen sich diese Proben verdanken. Es beginnt mit einem Raum, in dem die Bakterien, mit denen das ganze Labor arbeitet, gepflegt und aufbewahrt werden. Im vorliegenden Fall sind das ausschließlich verschiedene Stämme und Mutanten von *Escherichia-coli*-Bakterien. Die Bakterien werden auf Agarplatten in Petrischalen von etwa 10 cm Durchmesser gehalten und, auf dem Deckel beschriftet, übereinander geschichtet in einem Kühlschrank bei 4° C gehalten. Bei dieser Temperatur überleben die Bakterien problemlos, doch ihr Metabolismus ist minimal und sie vermehren sich nicht. Aber unbegrenzt können sie auf diese Weise nicht aufbewahrt werden. Von Zeit zu Zeit, in mehr oder weniger zweiwöchigen Intervallen, müssen sie eine neue Runde der Vermehrung und damit Auffrischung durchlaufen. Ein Abstrich wird von der entsprechenden Platte genommen und in ein Fläschchen mit einem vollen Komplement einer Nährlösung gegeben und in einen Inkubator bei 37° C gestellt, wo sich die Bakterien im Halbstundenrhythmus vermehren können. Dann wird eine Probe auf eine neue Petrischale gestrichen. Nachdem sich die Bakterien dort festgesetzt haben, werden sie für eine weitere Runde in den Kühlschrank gestellt.

Ebenfalls von Zeit zu Zeit wird ein anderer, separater Raum betreten, in dem ein 100-Liter-Fermenter installiert ist. Hier kann man die Bakterien im Großmaßstab in einem geeigneten Medium und unter entsprechendem Rühren und guter Durchlüftung bei 37° C wachsen lassen. Dabei muss die optische Dichte verfolgt werden, die ein Maß für die angesammelte Bakterienmasse darstellt, denn die Bakterien müssen geerntet werden, wenn sie sich noch in ihrer logarithmischen Wachstumsphase befinden, einer Phase, in der ihr Proteinsynthese-Apparat in voller Aktion ist. Dann werden die Bakterien aus dem Medium herauszentrifugiert, und die Paste wird in Portionen verpackt, schockgefroren und bei -20° C in einer großen Tiefkühltruhe aufbewahrt.

Um die Protein synthetisierenden Organellen zu isolieren und für Experimente bereitzustellen, müssen die Bakterienzellen aufgebrochen werden. Dazu wird die Bakterienpaste in einem großen Mörser zusammen mit Aluminiumoxid zerrieben. Auch das ist ein Prozess, bei dem Erwärmung unter allen Umständen vermieden werden muss. Er wird deshalb in einem abgetrennten Raum, Kältelabor genannt, ausgeführt. Kältelabore sind Laborräume von normaler Größe, die mit Tischen und Wandgestellen ausgerüstet sind, auf denen wärmeunbeständige Materialien aller Art gelagert werden können und deren Temperatur durch die Zirkulation kalter Luft etwa auf dem Gefrierpunkt gehalten wird. Wenn die Bakterien zerrieben sind, wird die resultierende zähflüssige Paste niedertourig und gekühlt zentrifugiert, um das Aluminiumoxid zusammen mit den Zellwandfragmenten zu sedimentieren. Der Überstand,

der das gesamte Zellplasma enthält, wird dann über Nacht durch eine Lösung mit kontinuierlich steigendem Zuckergehalt zentrifugiert, was in einem anderen gekühlten Raum vonstattengeht, der mit den entsprechenden Hochgeschwindigkeitszentrifugen ausgestattet ist. Der Zucker fungiert hier nicht nur als Gradientenmaterial, sondern hat auch Stabilisierungsfunktion. **Abb. 3** vermittelt einen Eindruck von einem solchen Zentrifugen-Arsenal samt den dazugehörigen massiven Kühlvorrichtungen.

Der resultierende Gradient im Rotor wird dann am Tag darauf – wiederum im Kältelabor – fraktioniert und auf eine Serie von Reagenzgläsern verteilt. Diese werden in den ersten Kälteraum zusammen mit den Protokollen der Gradientenprofile zurückgebracht, wo die Ribosomen enthaltenden Peak-Fractionen vereinigt und noch einmal in großen Zentrifugenröhrchen 20 Stunden lang bei hohen Umdrehungszahlen aus der Sucrose sedimentiert werden. Die resultierenden Niederschläge werden dann am nächsten Tag wiederum im Kältelabor bei 0° C resuspendiert. Nach der Bestimmung der Konzentration der Ribosomen-Partikel werden diese in kleine Eppendorf-Gefäße abgefüllt und in flüssigem Stickstoff für die spätere experimentelle Verwendung schockgefroren.

Die Proteinfaktoren für die Bindung von Transfer-RNA an die Ribosomen und für deren Translokation auf denselben, wie auch für die Beladung von Transfer-RNAs mit den für sie spezifischen Aminosäuren, werden alle nach jeweils speziellen Protokollen präpariert. Dabei geht man vom gleichen Rohmaterial aus und hat die gleichen Kühlungsanweisungen zu beachten. Alle diese Komponenten würden bei Raumtemperatur rasch degradieren und den Nukleasen und Proteasen des Zellsaftes zum Opfer fallen, solange sie nicht vollständig von diesen unerwünschten Zutaten befreit sind. Und nach der Trennung und Reinigung lauern andere Gefahren: Bei Raumtemperatur koagulieren und denaturieren sie rasch in den Konzentrationen, in denen sie aufbewahrt werden müssen, um Experimente der genannten Art in Mikrolitervolumina durchführen zu können. Jeder dieser experimentellen und präparativen Parameter steht nicht für sich allein, sondern ist mit einer Reihe von anderen verknüpft. Sie müssen alle in Balance zueinander gehalten und so gut es geht aufeinander abgestimmt werden. Für die Erhaltung der Aktivität während der langen Präparierungszeiten ist neben stabilisierenden Pufferlösungen die strikte Einhaltung der Temperaturvorschriften entscheidend.

So wie Kälteumgebungen beim Experimentieren mit biologischen Materialien eine entscheidende Rolle spielen, müssen die Kältereimes selbst noch einmal je nach Material und Verfahren differenziert und nuanciert werden. Die Kältestufen reichen von extrem kalt (flüssiger Stickstoff), sehr kalt (Trockeneis), kalt (Kühltruhe) bis zum Schmelzpunkt von Eis und normaler Kühlschrankschranktemperatur. Die verschiedenen Kältestufen sind vorwiegend durch Naturkonstanten – Kochpunkt von flüssigem Stickstoff, Sublimationspunkt von Trockeneis, Schmelzpunkt von Eis –

und von Materialien bestimmt, die im Labor vorrätig gehalten werden können. Dadurch wird auch Vergleichbarkeit über Labor- und Ländergrenzen hinweg gewährleistet. Die Kältestufen selbst werden durch die Erfordernisse der experimentellen Verfahren sowie der Präparation und Lagerung biologischer Makromoleküle definiert und sind das Ergebnis jahrzehntelanger Erfahrung im Umgang mit ihnen. Sie sind

untereinander durch ein engmaschiges Netz von Verrichtungen und Materialtransfers verbunden, das zu einem komplexen Regime der Temperaturmodulation zusammengefügt ist. Dabei spielen die Übergänge jeweils eine entscheidende Rolle.

Darüber hinaus haben die analytischen und präparativen Instrumente, die bei der Isolierung und Reinigung biologischer Materialien zum Einsatz kommen, heute alle eingebaute Kühlvorrichtungen und können deshalb in der Regel auch bei Raumtemperatur aufgestellt und bedient werden. Labore sind aber verzweigte Netze von Räumen, die den jeweiligen Erfordernissen ihrer Nutzung angepasst und von einem ständigen Verkehr durchzogen sind, den die biologischen Komponenten von Experimenten zwischen ihnen zurücklegen müssen. Dieser Verkehr wird in der Regel durch dickwandige Isolierbehälter aus Styropor bewerkstelligt, die mit zerstoßenem Eis gefüllt sind und so etwas wie eine ununterbrochene „Kühlungskette“ bilden.⁹ So entsteht – bei Raumtemperatur – ein materielles, distribuiertes, flexibles und leicht modifizierbares Gewirr von Kühlpfaden, das alle Punkte eines voll ausgerüsteten biologischen Labors miteinander verbindet.

Jenseits des Labors

Nicht selten muss dieses lokale System von Kältekanälen über die Mauern des Labors hinweg ausgeweitet werden. Das Labor, in dem der Verfasser tätig war, unterhielt beispielsweise eine Kollaboration mit der Neutronen-Spallationsquelle am Institut Laue-Langevin in Grenoble. Das Ziel der Zusammenarbeit bestand darin, die mittleren Abstände zwischen den Proteinkomponenten des Bakterienribosoms zu ermitteln und ihre Position relativ zueinander im Partikel zu bestimmen. Um das zu erreichen, muss-



3: Zonal-Zentrifugenparade im Max-Planck-Institut für molekulare Genetik, Berlin, Abteilung Wittmann, um 1980.

⁹ De Chadarevian (s. Anm. 8), S. 83.

ten die ribosomalen Proteinkomponenten voneinander getrennt und mit jeweils zwei mit schwerem Wasserstoff markierten Komponenten in einer ansonsten protonierten Matrix rekonstituiert werden. Die mikrobiologische und biochemische Vorarbeit hierzu, einschließlich der nötigen Aktivitätstests der rekonstituierten Partikel, wurde im Berliner Labor mit dem dort vorhandenen Know-how bewerkstelligt. Dann wurden die Partikel mit den je zwei deuterierten Komponenten in flüssigem Stickstoff schockgefroren, in dicke, mit Trockeneis gefüllte Container verpackt und mit dem Auto ins 1.200 Kilometer entfernte Grenoble transportiert. Dort angelangt, taute das Transportteam die Partikel vorsichtig und langsam auf und resuspendierte sie gemäß einem standardisierten Protokoll, bevor sie in einer dafür präparierten Kammer in den Neutronenstrahl eingebracht und die Streudaten der deuterierten Komponenten ermittelt wurden. Aus diesen Daten wurden schließlich, wieder in Berlin, die Abstände mittels eines eigens dafür konstruierten Algorithmus bestimmt. Auch hier musste dafür gesorgt werden, dass die Kältespur bis zu dem Endpunkt nicht verlassen wurde, an dem der Messprozess stattfand.

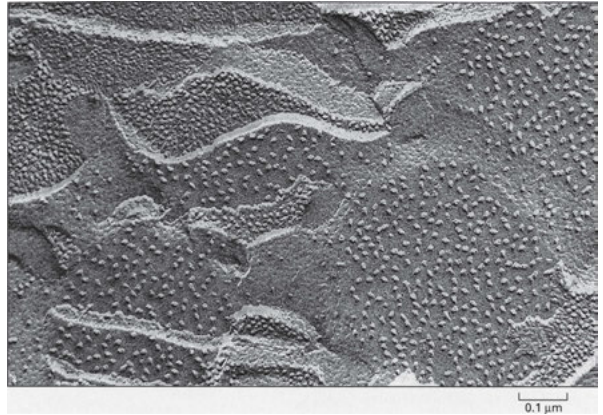
Angesichts dieses unentwirrbaren Ineinandergreifens von Bakterienkultur und -pflege, Präparation biologischer Makromoleküle aus ihrem Zellsaft, analytischen Qualitätstests der isolierten und gereinigten Chargen und ihrem Einsatz in Reagenzglas-Experimenten bedarf es keiner großen Fantasie, um sich vorzustellen, dass an jedem Punkt dieser Verkettung mit ihren Verzweigungen etwas schief laufen kann. Wenn ein Experiment unerwartete Ergebnisse liefert, heißt das aber auch, dass eine Plethora von Faktoren dafür in Frage kommt und zurückverfolgt werden muss, um Lücken in der Kette auszuschließen und sicherzustellen, dass das erhaltene Signal weiter untersucht werden sollte. Fehlersuche ist somit tägliche Routine. Das ist nicht zuletzt deshalb relevant, weil es in größeren Labors gewöhnlich eine gewisse Arbeitsteilung gibt, was die materiellen Produktionslinien angeht, die für eine Arbeitsgruppe relevant sind. Im hier beschriebenen Fall beispielsweise waren die Pflege der Bakterienstämme, die Fermentation von Bakterien *en masse* und die Zuckergradienten-Zentrifugation der Ribosomen an technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter delegiert, auf deren Präzisionsarbeit sich die Experimentierenden verlassen mussten.

Ein Labor wie das beschriebene bildet also ein eher fragiles Ganzes, das aufrechtzuerhalten nicht nur technische Kontrollen erfordert, sondern auch verlässliche Beziehungen innerhalb der ganzen Laborgruppe. Man arbeitet im Vertrauen auf die Dienste, die nicht nur permanent delegiert sind, sondern auch von einzelnen Mitgliedern der Gemeinschaft abwechselnd übernommen werden, wie etwa das Herstellen von Pufferlösungen im großen Maßstab oder die Spezialkenntnisse erfordernde Reinigung einer bestimmten experimentellen Komponente.

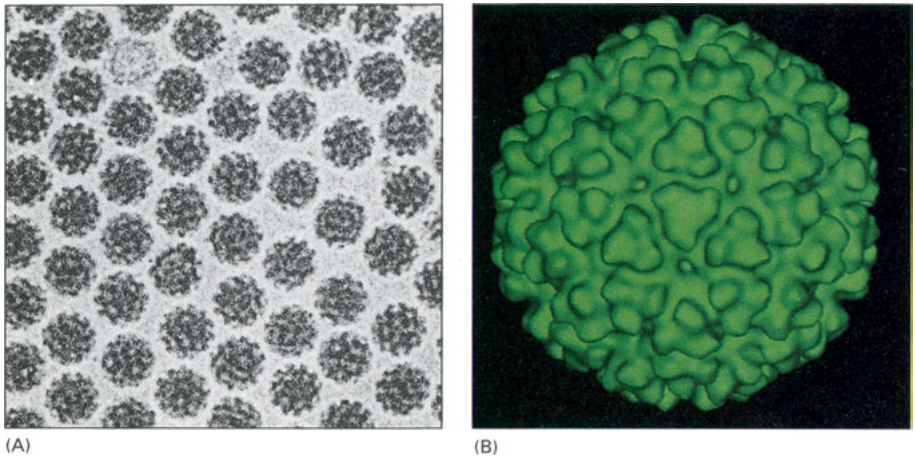
Die Arbeit mit biologischen Materialien wie den hier beschriebenen ist unweigerlich verbunden mit materialbedingten Variationen der jeweiligen biologischen Aktivität – seien es Bindungsvorgänge oder enzymatische Prozesse. Das führt zu variierenden quantitativen Bestimmungen. Dennoch ist Quantifizierung der einzige Weg, um zu robusten Differenzen zu gelangen, die am Ende das Entscheidende sind. Denn einen externen, absoluten Standard, mit dem die quantitativen Messungen eines Experimentalvorgangs verglichen werden könnten, gibt es nicht. Jedes einzelne Experiment muss so angelegt werden, dass die entsprechenden Kontrollen in das betreffende Experiment selbst integriert sind, so dass jede Messung differenziell gegen eine Hintergrundmessung, jede Hinzufügung gegen deren Weglassung bestimmt werden kann. Solche Kontrollen müssen das ganze Experiment durchziehen; sie sind entscheidend für die Aussagekraft einer Messung, wie auch das oben behandelte Experimentalblatt belegt, wo der mit „Translokation“ bezeichnete Schritt in der dritten Kolonne den dritten Inkubationsschritt darstellt. Es ist unschwer zu erkennen, dass das Probenvolumen groß genug ist, um jeweils eine Doppel- oder eine Dreifachbestimmung vornehmen zu können.

Das Beispiel zeigt eindrücklich, wie die Spuren eines bestimmten prozeduralen Erfordernisses – hier die schonende Kühllhaltung biologischer Materialien – einen ganzen Laborraum durchdringen können, einschließlich seiner architektonischen Gestaltung. Zugleich konstituiert es aber auch eine intrinsische Achse des Experimentierens. In Experimentalterminen bedeutet „Kühlen“ Verlangsamem. Verlangsamem kann einerseits ein Mittel darstellen, um unerwünschten Reaktionen zuvorzukommen, andererseits kann es dazu dienen, laufende Reaktionen zu einem bestimmten Zeitpunkt ganz zu stoppen.

Kühlung kann außerdem weitere Funktionen im Forschungsprozess erfüllen, insbesondere bei der Probenvor- und -zubereitung im Rahmen von Technologien der Sichtbarmachung. Ein gutes Beispiel dafür ist die Technik des Gefrierbruchs bei der Probenvorbereitung zur Transmissions-Elektronenmikroskopie von Zellstrukturen. Dabei wird schockgefrorenes Gewebe aufgebrochen, an den Bruchflächen lässt man im Vakuum eine Sublimierung des Wassers eintreten, so dass sich dreidimensionale Zellstrukturen an den Bruchflächen bilden. Diese werden mit Schwermetall (Platin,



4: Gefriergeätzte Chloroplastenmembran, elektronenoptische Aufnahme.



5: Semliki-Forest-Virus, Kryo-Elektronenmikroskopie (A); Rekonstruktion (B).

Wolfram) beschattet; die so entstandenen metallenen Replikas können dann im Elektronenmikroskop vergrößert dargestellt werden. Die in den 1950er-Jahren entwickelte Gefrierbruch-Technik hat wesentlich zur Aufklärung von im Lichtmikroskop nicht darstellbaren Zellstrukturen wie etwa Membranen beigetragen.¹⁰ → **Abb. 4** zeigt gefrier-geätzte Membranen eines Chloroplasten, in denen die Photosynthese abläuft. Unter den neuesten Entwicklungen sei die eingangs erwähnte Kryo-Elektronenmikroskopie genannt, bei der die Proben vitrifiziert und unter Tiefsttemperaturen in ihren atomaren Bewegungen so weit eingeschränkt werden, dass sich unter optimalen Bedingungen eine atomare Auflösung von einzelnen biologischen Makromolekülen erreichen lässt.¹¹ → **Abb. 5** zeigt das kryo-elektronenoptische Bild einer Ansammlung von Semliki-Forest-Viren mit der dazugehörigen gemittelten Bildrekonstruktion. Um jedoch diese kältebedingten Darstellungsverfahren wirklich verstehen zu können, ist es grundlegend, auch den mundanen Laboralltag biologischen In-vitro-Experimentierens mit seinen Kühlungsketten im Auge zu behalten.

10 Vgl. z. B. John E. Heuser: The origins and evolution of freeze-etch electron microscopy. In: *Journal of Electron Microscopy*, 2011, Nr. 60 (1), S. 3–29.

11 Vgl. Joachim Frank: Generalized single-particle cryo-EM – a historical perspective. In: *Microscopy*, Februar 2016, Nr. 65, S. 3–8, online unter: <https://doi.org/10.1093/jmicro/dfv358> (Stand 5/2021); zu neuesten Entwicklungen vgl. Bing-Rui Zhou et al.: Atomic resolution cryo-EM structure of a native-like CENP-A nucleosome aided by an antibody fragment. In: *Nature Communications*, 2019, Nr. 10 (2301), online unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10247-4> (Stand 5/2021).

Bilder einfrieren, oder: Wie das Bewegtbild in den Eisschrank kommt

Aktuell ist das Einfrieren von Bildern eine sehr alltäglich gewordene Erfahrung, die in Videochats bzw. -konferenzen regelmäßig als Störung auftritt und zu irritierenden Momenten in der Kommunikation führen kann. Im Kachelraster der pandemiesicheren Videokonferenz zeigen sich Teilnehmer*innen immer wieder in unterschiedlichen Zeitverhältnissen:¹ Manche Gesichter auf diesen Kacheln frieren temporär ein, um dann unvermittelt in einem *Time Lapse*² die Zeit wieder einzuholen oder auch ganz aus der Konferenz herauszufallen.

In der Regel liegt diese spontan auftretende Dysfunktionalität an einer nicht ausreichenden Bandbreite des Netzes oder an einer Überlastung der Streaming-Server. Das Bild wird nicht mehr übertragen und das letzte vorhandene aus dem Arbeitsspeicher als eingefrorenes Bild wiederholt. Ein derartiger *Glitch* ist mit seiner Nicht-Intentionalität anders einzuordnen als die intentionalen Freeze Frames des Films, die ihn aus narrativen, dramaturgischen, ästhetischen oder analytischen Gründen auf einem Bild anhalten lassen.³

Im Kontext des Filmbildes wird der Begriff „Freeze Frame“ nachweislich seit 1948 für ein virtuell stehendes Bild verwendet.⁴ Es ist zu vermuten, dass aber schon der Film *It's a Wonderful Life* (Frank Capra, 1946) mit dem paradigmatischen Einfrieren James Stewards zu Beginn des Films für die Etablierung des Begriffs „Freeze“ gesorgt hat. Im Drehbuch zu diesem Film ist jedenfalls vom Einfrieren des Bildes die Rede: „Suddenly, in action, as George stands with his arms outstretched in illustration, the picture freezes and becomes a still.“⁵ Umgangssprachlich leuchtet heute sofort ein, warum bewegte Bilder eingefroren werden können. Das direkte Anhalten (frz.: *arrêt sur image*) auf dem Bild scheint einer Erstarrung ähnlich, die durch Einfrieren (engl.: *freeze*) ausgelöst wird: Etwas Bewegtes wird hier unmittelbar stillgestellt. Es soll hier darüber hinaus argumentiert werden, dass erst mit dem Film die Rede vom Einfrieren der Bilder sinnvoll erscheint. Nur in der Differenz zur Bewegung – also zur vergehenden Zeit – kann ein abruptes Anhalten als ein Einfrieren wahrgenommen und auch so bezeichnet werden.

1 „During the months of lockdown, our networked screenactivity took place – and for many still does – mainly in the domestic sphere, unfolding ambivalences of proximity and distance, protection and distant (re-)socializing.“ Olga Moskatova: Networked Screens: Topologies of Distance and Media Regime of Immunization. In: *img journal*, 2020, Nr. 2, S. 282–305.

2 Der Ausdruck leitet sich von lat. *lapsus* (Ausrutscher) her und deutet an, dass die Zeit in dem beschleunigten Bild ausrutscht, was zugleich eine Metapher für das rasche Vergehen von Zeit ist.

3 Vgl. Torben Sangild: Glitch—The beauty of malfunction. In: Christopher J. Washburne, Maiken Derno (Hg.): *Bad music: The Music We Love to Hate*, London 2004, S. 257–274.

4 Der Freeze Frame wird nach Merriam Webster zum ersten Mal 1948 im Kontext des Filmes verwendet, zu Beginn des Kalten Krieges, wobei dieser Zusammenhang eher zufällig sein dürfte, vgl. www.merriam-webster.com/dictionary/freeze-frame (Stand 3/2021).

5 Drehbuch von Frances Goodrich, Albert Hackett, Frank Capra und Jo Swerling, 1946, S. 19.



1: Clarence Birdseye in Labrador, Kanada.

I. Schockfrostung

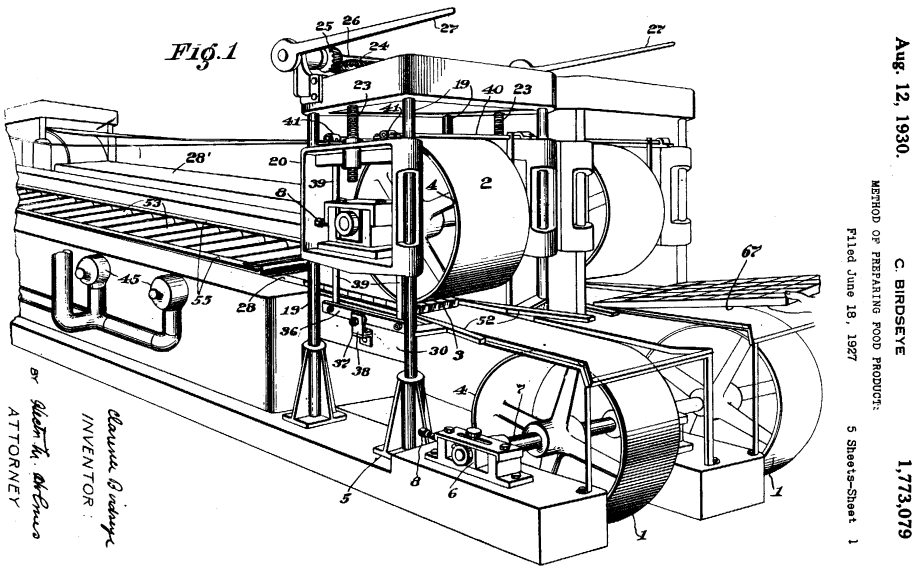
Es scheint außerdem, dass eine Kulturtechnik die metaphorische Übertragung des Begriffs vorbereitet. Das Kühlen oder Einfrieren von Lebensmitteln zu deren Erhalt ist seit Jahrtausenden bekannt; in China wurden schon vor ca. 3.000 Jahren die ersten Eiskeller gebaut. Massentauglich mechanisiert wurde das Kühlen von Lebensmitteln im 19. Jahrhundert durch Carl von Linde.

Besonders relevant aber ist Clarence Birdseyes Erfindung des Verfahrens der maschinellen Schockfrostung. Als junger Biologe in Labrador, einer östlichen Provinz des heutigen Kanadas, lernte er von den Inuit das Einfrieren von Fisch. **Abb. 1** Sie schockfrosten ihre Beute, die sie aus Löchern im Eis gezogen hatten, indem sie den Fisch dem Wind und einer Temperatur von ca. -40°C aussetzten. Birdseye bemerkte, dass der Fisch beim späteren Auftauen nicht breiig wurde wie andere Tiefkühl-

kost, die er zuvor probiert hatte. Dies lag an der Geschwindigkeit des Einfrierens, weil langsames Einfrieren die Eiskristalle in den Zellen wachsen lässt, welche deren Struktur zerstören. 1927 meldete Birdseye daraufhin das Patent⁶ für eine Mehrplatten-Gefriermaschine an. **Abb. 2** Er platzierte Lebensmittel bei -25°C zwischen zwei Metallplatten gegen einen niedrigen Konvektionstunnel, um sie schockzufrieren.⁷

6 US Patent #1,773,079.

7 Alfonso Totosaus: Frozen Meat – Packaging and Quality Control. In: Y.H. Hui et al. (Hg.): Handbook of Frozen Foods, New York/Basel 2004, S. 227–231, hier S. 227. 1928 gelang Birdseye die Entwicklung des Doppelbandgefrierers, dem Vorläufer der modernen Gefriertechnik. 1930 wurde die erste Tiefkühlproduktlinie durch die Birds Eye Frosted Food Company vermarktet.



2: Clarence Birdseye: Patent für eine Mehrplatten-Gefriermaschine, 1930 [1927].

Diese Entwicklung findet ungefähr zeitgleich mit den ersten Einsätzen von sogenannten Freeze Frames im Film statt. Es ist noch nicht untersucht, aber denkbar, dass hier ein Zusammenhang besteht. Frühe, populär gewordene Einsätze des Freeze Frame finden sich beim russischen Avantgardisten Dziga Vertov in *Der Mann mit der Kamera* (*Chelovek s kino-apparatom*, 1929) **Abb. 3** und in René Clairs *Paris qui dort* (1924). Vertov hält ein Pferd, das eine Kutsche zieht, im Freeze – eine Standkopie⁸ des Filmbildes – fest und verweist so auf die Basis des Films, die Fotografie.⁹ Clair wendet den Freeze dagegen narrativ: Der Film handelt von einem verrückten Arzt, der einen magischen Strahl auf Menschen anwendet und sie in seltsamen und oft peinlichen Positionen erstarren lässt.¹⁰

8 Stehkader: „Standkopierung (Freeze Frame). Ein eingefrorenes Filmbild, das durch Mehrfachkopierung eines Einzelbildes auf der optischen Bank erzeugt wird.“ James Monaco: *Film verstehen*, Reinbek 2017, S. 231. Die kürzest mögliche Einstellung des Freeze ist im analogen Film ein Einzelbild lang, die maximal mögliche Länge einer Einstellung ist durch die Größe des verwendeten Filmmagazins begrenzt. Das sind ca. 11 Minuten bei einem herkömmlichen 35-Millimeter-Filmmagazin.

9 Vielleicht auch ein versteckter Hinweis auf die von Muybridge foto-experimentell geklärte Frage, ob ein Pferd im Galopp gleichzeitig alle vier Läufe in der Luft hat.

10 Das tut er allerdings, indem sich die Schauspieler*innen in den Szenen nicht bewegen.



3: Dziga Vertov: Man with the Movie Camera, 1929, Film-Still, 67 min., TC: 23:08.

Für die frühe experimentelle Phase des Films beschreibt Raymond Bellour den Einsatz des Freeze Frame als eine der Möglichkeiten, Filmzeit zu erschließen:

„Yet, it seems that the freeze-frame was at the time only one way among many to manage a film-time that was obsessed with conquering its movements. One can see it as a form, admittedly extreme, yet similar to other processes such as slow and fast motion, reverse motion, and so on.“¹¹

II. Ausgestellter Stillstand

Es könnte vermutet werden, dass die Geschichte des Festhaltens von Bewegung so lang ist wie die Geschichte des Bildes, aber bei genauerem Hinschauen haben die meisten bildlichen Darstellungen bis in das 19. Jahrhundert schon vor der Bildwerdung tendenziell stillgestanden; sie sind nicht erst im oder durch das Bild eingefroren worden, sondern schon zuvor in der Pose erstarrt. Die ästhetische Theorie hat daraus einige wesentliche Beobachtungen zum glücklichen Moment der Darstellung oder der Darstellbarkeit von Handlung abgeleitet. Sogar die frühe Fotografie stellt aufgrund der langen Belichtungszeiten ihre aufzunehmenden Subjekte still, indem sie diese in Halterungen zwingt oder ihnen Möglichkeiten zum Verweilen und Aufstützen bietet. Bewegte Objekte können unterdessen komplett verschwinden, wie in den Langzeitbelichtungen der frühen Daguerro- oder Kalotypien, oder in einem nebulösen Licht aufgehen.

Die wenigen Ausnahmen eines eingefroren wirkenden Stillstandes in der Kunst beginnen erst im Barock: Es sind Gian Lorenzo Bernini und Hendrick Goltzius, die auf unterschiedliche Weise das abrupte Stillstellen von Bewegung thematisieren. Bernini vollzieht dies in der multiperspektivischen Skulptur, deren Protagonist*innen sich im Moment größter Anspannung in den Raum ausdehnen (*David*, 1623–1624) oder sich im Moment einer spontan festgehaltenen Bewegung verwandeln (*Daphne*, von

¹¹ Raymond Bellour: The Film Stilled. In: Camera Obscura, Sept. 1990, Nr. 24, S. 99–123, hier S. 101.

Apollo verfolgt, 1622–1625).¹² Goltzius dagegen hält seine vier bekannten *Himmelsstürmer* (1588) im freien Fall fest und schafft hiermit die ersten Bilder eines ausgestellten Stillstands, der an ein Einfrieren der Figur (im Unterschied zum Einfrieren eines Bildes) denken lässt.¹³ → **Abb. 4** Diese Bilder zeigen den Moment einer nicht-vollendeten Zukunft.¹⁴ Im Gegensatz dazu verarbeitet die klassizistische Skulptur den Stillstand im kalten Marmor als „dauerhaftes körperhaftes Dasein und ihre härtere Materialkonsistenz hat sich vor der Ewigkeit zu bewähren“.¹⁵ Sie treibt das momenthaft Stillgestellte der Skulptur Berninis mit der *Venus Victrix* Canovas (1805–1808) aus.



4: Hendrick Goltzius: Phaeton, aus der Folge „Vier Stürzende“, 1588, Kupferstich, 36,2×33,6 cm, Städel Museum, Frankfurt a. M.

Mit Jean Siméon Chardins *Seifenblasen* (ca. 1733/34) gerät dieser besondere Moment wieder in den Blick, als eine Blase, die von kürzester Lebensdauer ist und deren Zukunft absehbar, aber unsichtbar ist. Mit der Serie bzw. Sequenz erfährt dann ein weiteres Motiv des Stillstellens besondere Aufmerksamkeit: Claude Monets *Heuhaufen* (1888–91) und seine mehrfachen Ansichten der Kathedrale von Rouen (1892/93)

12 Sie könnten so als eine Vorwegnahme der sogenannten Bullet Time angesehen werden, die multiperspektivische Figur ist in der Bewegung erstarrt und kann im Raum und in der Zeit erschlossen werden. Viel treffender als Bullet Time sind die Bezeichnungen der frühen Entwickler dieses Effekts – Dayton Taylor und Tim Macmillan –, sie nennen ihn Time Slice oder Frozen-Time-Effekt. Vgl. Winfried Gerling: Die eingefrorene Zeit. In: Stefanie Diekmann, ders. (Hg.): Freeze Frames – Zum Verhältnis von Fotografie und Film, Bielefeld 2009, S. 146–170, hier S. 156–162.

13 Vgl. Winfried Gerling und Fabian Goppelsröder: Was der Fall ist... Prekäre Choreographien, Berlin 2017, S. 12f. Interessant ist, dass diese Bilder anscheinend erst mit der (Wieder-)Entdeckung der Unendlichkeit und des Falls der Erde auf die Sonne bzw. des gravitativen Zusammenwirkens der Sonne mit den Planeten möglich werden.

14 Im Unterschied zu Barthes, der in jeder Fotografie das Bild einer vollendeten Zukunft sieht: „[...] das wird sein und das ist gewesen“ und „Ich lese gleichzeitig: das wird sein und das ist gewesen; mit Schrecken gewahre ich eine vollendete Zukunft, deren Einsatz der Tod ist“, Roland Barthes: Die helle Kammer. Bemerkung zur Photographie. Frankfurt a. M. 2016, S. 86 bzw. S. 106.

15 Vgl. Christa Lichtenstern: „Der Marmor lacht nicht“. Beobachtungen zu Diderots Verständnis der Skulptur. In: Wallraf-Richartz-Jahrbuch, 1987/88, 48/49, S. 269–297, hier S. 282.

zeugen von der zeitlichen Veränderung der Wahrnehmung, die hier mit einer Konzentration auf Licht und Farbwirkung einhergeht und dadurch über Paul Cézanne in die Abstraktion führt. Marcel Duchamps *Akt, eine Treppe herabsteigend* (1912) und Pablo Picassos kubistische Violinen erzeugen in der Folge eine sukzessive Multiperspektivität, in der die Zeit verräumlicht ist.

III. Sekundenbruchteile

Die meisten fotografischen Verfahren beruhen auf dem Prinzip der Camera obscura, wobei schon im 19. Jahrhundert, als Fotokameras noch nicht besonders mobil waren, darauf hingewiesen wurde, dass sie ein Medium der Bewegung bzw. der Darstellung der bewegten Natur sei. Diderot und d'Alembert notieren unter dem Stichwort „Kammer“, dass die Camera obscura Farben und Bewegung wie kein anderes Medium darstelle.¹⁶ Die Ausschnitthaftigkeit der Projektion wurde allerdings als eine Konzentration der Wahrnehmung beschrieben, welche die Natur als Ereignis inszeniert.¹⁷ Mit dieser Vorgeschichte etablierten sich im Diskurs der frühen Fotografie Begriffe wie „Zeichnen“,¹⁸ „Fixieren“¹⁹ und „Spontaneität“²⁰ und nicht etwa „Einfrieren“. So existiert auch kein fotografischer Fachbegriff, der dem Freeze Frame oder dem *Frozen-Time-*

16 Chambre. In: Denis Diderot, Jean le Rond d'Alembert (Hg.): *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, Bd. 3, Paris 1751–1765, S. 45–65, hier S. 62.

17 Siehe hierzu Anita Hosseini: *Die Experimentalkultur in einer Seifenblase. Das epistemische Potenzial in Chardins Malerei*, Paderborn 2017, S. 188–203.

18 „It was during these thoughts that the idea occurred to me ... how charming it would be if it were possible to cause these natural images to imprint themselves durably, and remain fixed upon the paper!“ Henry Fox Talbot: *The Pencil of Nature*, London 1844, S. 4. Bei Talbot geht es um zwei Formen der Fixierung: Einerseits das Festhalten des Bildes, das in der Camera obscura erscheint, und andererseits das langfristige Fixieren (Erhalten) des fotografischen Bildes: „[...] it followed that a picture made with the chloride could be *fixed* by dipping it into a bath of the alkaline iodide“, ebd. S. 9, Hervorhebung des Autors.

19 Siehe z. B.: „En vérité, il n'y aurait pas d'exagération à dire que l'inventeur a découvert les moyens de *fixer* les images.“ François Arago: Protokoll der Sitzung vom 07. Januar 1839. In: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 8, 1839.

20 Diverse Äußerungen beschreiben die frühe Fotografie als eine spontane Selbsteinschreibung des Bildes, das auf der Mattscheibe der Camera obscura erscheint: „Cette découverte consiste dans la reproduction *spontanée* des images reçues dans la chambre noire.“ Joseph Nicéphore Niépce, Louis J. M. Daguerre: *Bases du traité provisoire d'association Niépce – Daguerre*, 14.12.1829, Russische Akademie der Wissenschaften, Sankt Petersburg, Ms 106 / K101, zit. nach <http://www.archivesniepce.com/1-heliographie/1-heliographie-par-les-lettres> (Stand 5/2012); „[...] and therefore, as the process presents us *spontaneously* with a variety of shades of colour, it was thought best to admit whichever appeared pleasing to the eye, without aiming at an uniformity which is hardly attainable.“ Henry Fox Talbot: *The Pencil of Nature*, London 1844, S. 13 (Hervorhebungen des Autors).

Effekt im Filmischen entspricht. In der Umgangssprache finden sich heute allerdings viele Beispiele, in denen das Einfrieren auch auf Fotografie angewendet wird.²¹

Mit einer Verkürzung der Belichtungszeiten und im Kontext der Chronofotografie bekommt der Begriff der Instantaneität zunehmende Bedeutung.²² Die Aufnahmen Eadweard Muybridges, Étienne-Jules Mareys, Ottomar Anschütz' und Albert Londes sorgen dafür, dass deutlich wird, wie Fotografien (und in der Folge auch der Film) Raum und Zeit in distinkte sequenzielle Einzelbilder zerlegen, deren Schnitt eine gewisse Willkürlichkeit ausstrahlt und damit auf ein Einfrieren des Bildes hinweist. Die Bewegung wird willkürlich angehalten, was den Freeze-Effekt deutlicher macht als die idealisierte Bewegungsdarstellung eines besonderen Moments.²³

Diese Art der Momentaufnahme markiert in der Fotografie einen eigenen Medieneffekt, auf den schon Walter Benjamin hingewiesen hat:

„Es ist ja eine andere Natur, welche zur Kamera als welche zum Auge spricht; anders vor allem so, dass an die Stelle eines vom Menschen mit Bewusstsein durchwirkten Raums ein unbewusst durchwirkter tritt. Ist es schon üblich, dass einer, beispielsweise, vom Gang der Leute, sei es auch nur im groben, sich Rechenschaft gibt, so weiß er bestimmt nichts mehr von ihrer Haltung im Sekundenbruchteil des ‚Ausschreitens‘. Die Photographie mit ihren Hilfsmitteln: Zeitlupen, Vergrößerungen erschließt sie ihm. Von diesem Optisch-Unbewussten erfährt er erst durch sie, wie von dem Triebhaft-Unbewussten durch die Psychoanalyse.“

Der Freeze ist demnach ein medienreflexiver Moment, in dem sich das optisch Unbewusste zeigen kann.

Laura Mulvey betont die in der Stillstellung des Filmbildes liegende Verbindung zu den psychoanalytischen Theorien des Unbewussten:

„As stillness intrudes into movement, the image freezes into the ‚stop of death‘, taking the aesthetics of cinema that leads back to pre-cinema, and to photographic and psychoanalytic theories. The blurred boundaries between the living and the not-living

21 Außerhalb des Metaphorischen werden analoge Filme tatsächlich gekühlt oder eingefroren, um sie länger haltbar zu machen.

22 Vgl. Phillip Prodger: *Time Stands Still: Muybridge and the Instantaneous Photography Movement*, New York 2003; André Gunthert: *La conquete de l'instantané: Archéologie de l'imaginaire photographique en France (1841–1895)*. Ph.D. diss., École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris 1999. Zur Geschichte der apparativ verkürzten Belichtungszeit siehe auch Marta Braun: *Picturing Time: The Work of Etienne-Jules Marey*, Chicago 1992 und Jimena Canales: *A Tenth of a second*, Chicago 2009.

23 Wie es z. B. Henry Cartier Bresson mit seinen Bildern als „decisive moment“ beschreibt.

*touch on unconscious anxieties that then circulate as fascination as well as fear in the cultures of the uncanny. This shudder, however consciously experienced, is a symptom of the unconscious difficulty that the human mind has in grasping death and its compensatory capacity to imagine an afterlife.*²⁴

Hier wird auch ein zentraler Unterschied von Film und Fotografie adressiert, wie bei André Bazin, der den Film mit einem Mumifizierungsprozess verglichen hat: „Zum ersten Mal ist das Bild der Dinge auch das ihrer Dauer, eine sich bewegende Mumie.“²⁵ Christian Metz hat diesen Gedanken eines untoten Zustands noch einmal erweitert:

*„Der Film gibt den Toten einen Anschein von Leben zurück, der zwar schwankend, schattenhaft und fragil ist, aber sogleich durch das Begehren des liebenden Publikums und sein drängendes Verlangen nach Stillung desselben verstärkt wird, während die Fotografie kraft der objektiven Suggestion ihres Signifikanten – Unbewegtheit und Stille – die Toten als Tote würdigt.“*²⁶

IV. Die Zeit der Gewehrkegel

Der Freeze Frame öffnet einen Zwischenraum. Er hat im Gegensatz zum stillgestellten Bild der Fotografie eine bestimmte Dauer und ist damit endlich. Stillstellung ist allein in der Zeit erfahrbar. Bilder können also erst eingefroren werden, wenn sie vorher – als Bilder – bewegt waren. Die erstarrte Daphne in der Plastik Berninis wird nicht durch das Einfrieren eines Bildes erzeugt, sondern durch die Assoziation einer zu Stein gewordenen Figur.²⁷

Im narrativen Kino wird der Freeze-Effekt oftmals am Ende eines Films eingesetzt, um die Handlung unaufgelöst in die simulierte Fotografie zu überführen, die im filmischen Kontext nichts von ihrer Zukunft weiß.²⁸ Im Sinne dieses Einfrierens

24 Laura Mulvey: *Death 24x a Second – Stillness and the Moving Image*, London 2006, S. 23

25 André Bazin: *Ontologie des fotografischen Bildes*. In: Hartmut Bitomsky, Harun Farocki, Ekkehard Kämmerling (Hg.): *Was ist Kino? Bausteine zur Theorie des Films*, Köln 1975, S. 25.

26 Christian Metz: *Foto, Fetisch*. In: Hubertus von Amelunxen (Hg.): *Theorie der Fotografie IV 1980–1995*, München 2000, S. 345–355, hier S. 349f.

27 Wie sie schon von Ovid beschrieben wurde: „Ringsum hab’ er gesehn viel Bilder von Menschen und Tieren, die aus belebten in Stein gewandelt der Blick der Medusa“ (*perque vias vidisse hominum simulacra ferarumque in silicem ex ipsis visa conversa Medusa*), *Metamorphosen*, Vers 780.

28 Die unterschiedlichen Einsatzweisen des Freeze Frame können hier nicht detailliert besprochen werden. Siehe weiter dazu Sean Cubitt: *The Cinema Effekt*, Boston 2004, S. 212–215 und Diekmann, Gerling (s. Anm. 12). Bekannte Filme, die auf einem Freeze enden, sind: *Les Quatre Cents Coups* (François Truffaut, 1959), *Butch Cassidy and the Sundance Kid* (George Roy Hill, 1969), *Thelma and Louise* (Ridley Scott, 1991).

von Bildern existieren zwei Arten der Stillstellung im Film: Einerseits die Standbildkopie, der schon erwähnte Freeze Frame, und seit einiger Zeit auch der *Bullet Time* genannte Effekt.

Im Freeze Frame wird das Bild angehalten bzw. durch Multiplikation des Einzelbildes in den zeitlichen Verlauf des Films übertragen. Im *Time Slice*²⁹ – ein älterer Begriff für die *Bullet Time* – wird der Moment der Aufnahme durch die Multiplikation der Kameras und damit der Perspektiven auf den Gegenstand sowie deren Übertragung auf den Film zu einer Bewegung im Raum im zeitlichen Fortschreiten des Films.³⁰ In beiden Fällen handelt es sich um ein spatio-temporales Paradox, für das Mark J. P. Wolf in seinem Aufsatz zur *Bullet Time* eine grafische Notation findet.³¹ → **Abb. 5+6**

Anhalten der Aktion unter gleichzeitigem Bewegen des Materials ist ein wesentliches Prinzip des Einfrierens von Filmbildern, denn nur in dieser Differenz wird der gewünschte Effekt sichtbar. Die *Bullet Time* ist als paradoxe Struktur innerhalb des fortlaufenden Films in stände, die Zeit auszusetzen, den Raum aber weiter zu erschließen: Eine Figur wird im Raum arretiert und immobilisiert, zugleich aber innerhalb des Raums und der filmischen Zeit bewegt. → **Abb. 7-9** So können in der *Bullet Time* narrativ auch unterschiedliche Zeitökonomien parallel dargestellt werden: Eine Figur wird eingefroren, eine andere bewegt sich parallel in der Szene fort.

In vielen Computerspielen kann seit jüngerer Vergangenheit im sogenannten Fotomodus der Verlauf des Spiels in einer der *Bullet Time* ähnlichen Weise suspendiert werden, um sich vollkommen frei in der scheinbar eingefrorenen Szene zu

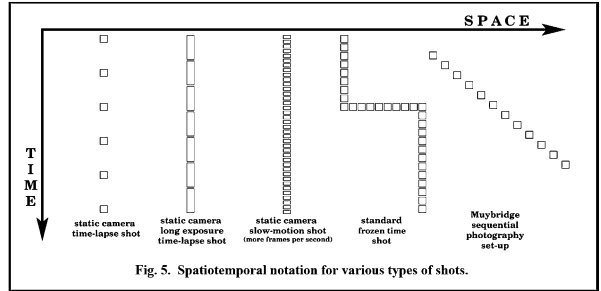


Fig. 5. Spatiotemporal notation for various types of shots.

5: Mark J. P. Wolf: Raumzeitliche Kamera-Notation, 2006.

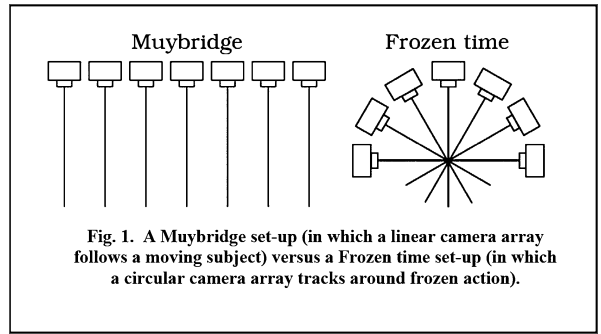


Fig. 1. A Muybridge set-up (in which a linear camera array follows a moving subject) versus a Frozen time set-up (in which a circular camera array tracks around frozen action).

6: Mark J. P. Wolf: Notation der Kameraausrichtung, 2006.

29 Siehe Anm. 12.

30 Vgl. Gerling (s. Anm. 12), S. 162.

31 Vgl.: Mark J. P. Wolf: Space, Time, Frame, Cinema – Exploring the possibilities of spatiotemporal effects. In: *New Review of Film and Television Studies*, 2006, 4 (3), S. 167–181, doi: 10.1080/17400300600981876.



7: Montage des Autors aus Filmmaterial von Tim Macmillan.

bewegen.³² → **Abb. 10** Auf diese Weise können In-Game-Fotos angefertigt werden, die unter Aussetzung des Spielverlaufs nicht den Bedingungen des Spiels ausgeliefert sind, sondern nur dem fotografischen Anliegen.³³ Das Anhalten der Zeit ist auch hier Bedingung eines Studios, einer intensivierten Wahrnehmung von Räumen und Gegenständen.

V. Doppeltes Gefrieren

Das sogenannte Einfrieren des Bildes hat grundsätzlich zwei Dauern: einerseits jene, die es innerhalb des Kontinuums Film einnimmt, andererseits diejenige, mit der das einzelne Bild belichtet wurde. Die unterschiedlichen Formen des Bewegtbildes haben aber jeweils eigene technische Grundlagen. Analoges Film, Video, digitaler Film/Video und Computerspiel unterscheiden sich prinzipiell darin, Bewegung anzuhalten bzw. einzufrieren.

Im analogen Film wird ein Frame mehrfach kopiert und kann an das jeweils folgende oder vorausgegangene Bild räumlich und zeitlich anschließen. In der Wiederholung des analogen Frames wird aber trotzdem eine Bewegung des Films sichtbar bleiben, da sie materiell auf multiplen und unterschiedlichen Filmbildern basiert. Das typische Bildrauschen durch unterschiedliche Körnung, Staub und Verschleiß führt zwangsläufig zu einer Bewegung im Bild. Eine Bewegung, die digital in diversen Schnittprogrammen simuliert werden kann, um dem Film ein weniger hyper-reales Aussehen zu verleihen.

Ein Standbild im analogen Video lässt sich dagegen nur erzeugen, indem die Bewegung des Bandes gestoppt wird, der Abtastkopf des Recorders aber weiter rotiert. Anders als beim Film würde das Bild hier auch nicht durchbrennen, wenn es im heißen Projektor angehalten wird. Es entsteht aber auch im Video eine typische Bewegung im Bild, die aus dem Abtasten des rotierenden Abspielkopfes resultiert. Wie Raymond Bellour beschreibt, führte diese Möglichkeit des Videos zu neuen Praktiken bei der Lektüre eines Films: „Das Anhalten auf dem Bild bringt den Film in die Nähe des Buches, ist ein

32 Eine Technologie, die vom Grafikkartenhersteller Nvidia „Ansel“ (nach dem berühmten amerikanischen Landschaftsfotografen Ansel Adams) genannt wird: <https://www.nvidia.com/de-de/geforce/geforce-experience/ansel/> (Stand 3/2021).

33 Vgl.: Sebastian Möring, Marco de Mutiis: *Camera Ludica: Reflections on Photography in Video Games*. In: Michael Fuchs, Jeff Thoss (Hg.): *Intermedia Games – Games Inter Media: Video Games and Intermediality*, New York 2019, S. 69–94.

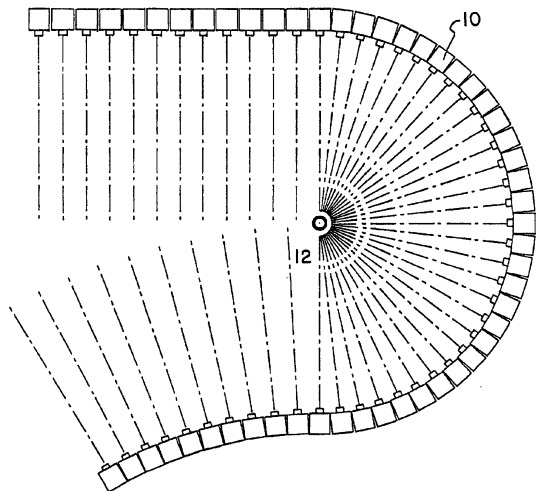
Durchblättern. Indem jedoch diese Geste gegen das ‚natürliche‘ Vorbeiziehen der Bilder ankämpft, bedeutet sie mehr als nur das: Ein Spiel, eine Umwandlung, ein Abschweifen..., eine abgeleitete Neuschaffung.“³⁴

Im digitalen Video/Film wird für die Erzeugung eines Standbildes ein Frame in einer digitalen Schnittsoftware identisch kopiert. Aber schon in der Aufnahme von digitalem Video sind Belichtungszeiten möglich, die im analogen Film nicht denkbar waren. Das Filmbild hat aufgrund seiner Wiederholrate von 24 Bildern pro Sekunde (Video: 25 BpS) in der Regel eine Belichtungszeit von 1/48 Sekunde. Da das Filmmaterial physisch bewegt werden muss, ist eine längere Belichtung nicht möglich und eine kürzere nicht üblich. So entsteht der typische Look eines Filmbilds: Das einzelne Bild ist in der Bewegung immer ein wenig unscharf.

Mit heutigen digitalen Kameras können bei einer Videoaufnahme, die im Prinzip nichts anderes als eine fotografische Serienaufnahme ist, sowohl sehr viel kürzere Belichtungszeiten als auch längere gewählt werden, theoretisch sogar längere, als das einzelne Filmbild im Abspielmodus dauert. Das erzeugt Effekte, die auch die Ästhetik des Freeze Frame verändern. Ist die Belichtungszeit z. B. sehr viel kürzer als 1/50, z. B. 1/500, dann ist das Bild einer Bewegung im einzelnen Frame sehr



8: Tim Macmillan: Time-Slice Camera C 1982.



9: Schematische Skizze des Kameraaufbaus.



10: Nvidia: Ansel, Pro Evolution Soccer 2018, Videoeinstellungs-Interface.

34 Raymond Bellour: Die Analyse in Flammen (Ist die Filmanalyse am Ende?). In: Montage AV, 1999, 8 (1), S. 19.



11: Chris Cunningham: Video-Still aus Werbevideo für die französische Telekommunikationsfirma Orange, 2007, 0:40 min., TC: 0:12.

viel schärfer als im ‚traditionellen‘ Film und erzeugt so eine ungewohnte Schärfe bei bewegten Gegenständen oder auch bei Kamerabewegungen.³⁵ Bei längeren Belichtungszeiten als $1/50$ entsteht der gegenteilige Effekt. Die Bilder werden unscharf, beim Abspielen des Videos ist das Bewegtbild ungewohnt unscharf. Ein besonderer Einsatz dieser Unschärfe wird vom Videokünstler Chris Cunningham in einem Werbevideo für die französische Telekommunikationsfirma Orange vorgenommen. Er verbindet hier Aufnahmen im Modus der Bullet Time mit Langzeitbelichtungen. ➤ **Abb. 11**

Die Erscheinungsform des digitalen Videos verweist damit auf eine Grundbedingung des Films, nämlich, dass er – noch immer – aus unterschiedlichen aufeinander folgenden fotografischen Einzelbildern besteht und Stillstand nur als ausbleibende Bewegung simuliert werden kann. Bewegtheit ist Bedingung des Mediums. Das gilt für den digitalen Film bzw. das digitale Video in besonderer Weise: Nicht das (Film-) Material wird als *moving image* bewegt, sondern das Bild wird virtuell als *re-moved image* wiederholt.

35 Im Kontext des Kinos wurde diese Hyperrealität der digitalen Aufnahmetechnik, die Räume als Sets erkennen lässt und Figuren als deren Darsteller*innen, oftmals kritisiert. Vgl. Simon Rothöhler: High Definition – Digitale Filmästhetik, Berlin 2013, S. 41–58.

Im Prozessieren ist kaum relevant, ob es sich um ein virtuell stehendes oder ein bewegtes Bild handelt. Das Bild kann heute mit sehr hoher Wiederholrate gezeigt werden,³⁶ es bleibt aber immer noch ein geteiltes Bild, ein Schnitt in der Zeit, und steht damit im Digitalen ‚materiell‘ der Fotografie näher als dem Film.³⁷ Das stehende Bild auf dem Display irgendeines digitalen Gerätes ist ein hochfrequent wiederholtes identisches Bild. Damit ist zumindest theoretisch ein Freeze möglich, der – anders als im analogen Film bzw. Video – vollkommen bewegungslos und störungsfrei stillsteht.

So wird auch der Screenshot eines Displays zu einem besonderen Freeze-Moment. In ihm wird die dauernde Bewegung auf dem Schirm und sogar die Operativität der bildlichen Zeichen aufgehoben, um das Zeugnis eines Screen-Moments als Datei abzuliegen.³⁸ Ein Einfrieren, das insbesondere auf Smartphones zu seltsamen Verwechslungen führen kann. Wer einen Screenshot bedient, der identisch ist mit dem operativen Interface, kann verwundert feststellen, dass als eingefrorenes Bild dieses Interface nicht zu bedienen ist.

Auch bei *abstürzenden*³⁹ Computern wird gelegentlich davon gesprochen, dass der Bildschirm einfriert, obwohl der Grund dafür wahrscheinlich eher ein heißgelaufener Prozessor ist. Hier ist das Einfrieren eine willkürliche Unterbrechung des *always on*,⁴⁰ das auf eine besondere Form der Abhängigkeit des Menschen von Computern und den mit ihm verbundenen Infrastrukturen hindeutet. Mit diesem Phänomen schließt sich der Kreis wieder zum Beginn des Textes, denn das Einfrieren einer Kachel im Panel der Videokonferenz zeigt das temporäre Aussteigen aus einer privilegierten, abgeschirmten Sicherheit, die Unterbrechung einer medial vermittelten Co-Präsenz. Friert im Raster der Videokonferenz das eigene Bildnis ein, ist die beteiligte Person auch in sozialer Hinsicht für den entsprechenden Moment kaltgestellt.

36 Bis zu 1.000 Hz, wobei die materielle Basis – die Bildaufnahmezeit – eines Videos oder Films im Kunst- und Unterhaltungsbereich immer noch zwischen 24 und 72 Bilder pro Sekunde liegt; dementsprechend oft wird dann dasselbe Bild wiederholt. In wissenschaftlichen oder auch militärischen Einsatzgebieten sind sehr viel höhere Bildaufnahmezeiten möglich (bis zu 90.000 Hz), wie z. B. bei Hochgeschwindigkeits-Infrarotkameras.

37 Mit Henri Bergson argumentiert, nähern wir uns zwar einer ungeteilten Bewegung an – der Wirklichkeit –, werden sie aber auf diesem Wege nie erreichen: „In Wirklichkeit gibt es niemals eine wirkliche Unbeweglichkeit, wenn wir darunter eine Abwesenheit von Bewegung verstehen. Die Bewegung ist vielmehr die Wirklichkeit selbst.“ Henri Bergson: Denken und schöpferisches Werden. In Friedrich Kottje (Hg.): Aufsätze und Vorträge, Hamburg 1993, S. 162ff.

38 Vgl.: Winfried Gerling: Photography in the digital – Screenshot and in-game photography. In: photographs, 2018, 11 (2–3), S. 149–167, hier S. 160.

39 Engl.: *crash*.

40 Vgl. Jan Distelmeyer: Kritik der Digitalität, Wiesbaden 2021, S. 114–122.

Monobloc. Kältetechnik bei Via Lewandowsky

Alles fängt an mit einem roten Monobloc, dessen Beine – kopfüber in eine mit Holzbrettern beschlagene Mülltonne gestopft – auf einem Parkplatz in die Höhe ragen. **➤ Abb. 1** Es ist ein Seitenblick in der Pause auf dem Weg zur Ostsee, der das monotone Designobjekt unter den Stühlen dieser Welt in ein gequältes Insekt verwandelt. „Jemand musste, in einem Anfall von Insektophobie, einen Plastikstuhl mit einer Kakerlake verwechselt haben“, notiert Durs Grünbein in Schreibschrift unter das fotografische Fundstück als Teil der fortlaufenden Foto-Prosa-Serie *Gott macht keine R-Gespräche*.¹ „Kinder haben für so etwas einen scharfen Blick“ – sie verwandeln Küchentöpfe in Schlagzeuge, erkennen im Schatten von Gummiente und Braunbär ein Unterwassermonster oder präsentieren mit ernster Miene einen Weihnachtsschmuck, der aus Plastikhuhn, Tannenzapfen und langen Federn zu einem in äußerster Komik gesteigerten Gebilde zusammengeschnürt wurde.² In der Zweidimensionalität der Farbfotografie gefriert der seit je her zweifelhafte Designklassiker Monobloc zu einer Figuration, die Polyvalenz zwischen Anthropomorphisierung und Insektophobie freisetzt: „Das zerquetschte Insekt wiederum hätte ebensogut ein verwandelter Mensch sein können – ein Fernfahrer in seiner Verzweiflung.“³ Bild und Text kommen nicht zur Deckung. Im Zwischenraum von Geschriebenem und Gezeigtem werden Richtungsvektoren der Bedeutung versteckt, die abgebrochen und schief hängen bleiben auf dem Weg zur Ein-Eindeutigkeit. Die Bewegung bleibt dem Foto-Fundstück äußerlich; in seinem fototechnischen Schnitt gefriert die Zeit.

Die Geste der Frostung eines Momentes durch die fotografische Aufnahme – die in den Metaphern des *gefrorenen Augenblicks* und des Freeze Frame tradierte Transformationsfähigkeit der technischen Reproduktionsmedien – wiederholt Via Lewandowsky auf der Materialebene des Monoblocs.⁴ Im Café de Flore scheint ein Unglück passiert. Die weißen Monobloc-Stühle, auch *World Chairs* genannt, bilden bei der Bearbeitung keine wohlgeformten Gesprächsinseln, wie es der Titel zum berühmten Café im 6. Arrondissement in Paris als Intellektuellentreff einer vergangenen Ära verspricht. **➤ Abb. 2** Zerschmetterte Stuhllehnen, abgebrochene Füße, nach vorne gekippte Rückenteile übersähen das Pflaster – das standardisiert Wohlgeformte des Monoblocs, welches das dinghafte Hintergrundrauschen der Gespräche dieser Welt und deren plastikhafte

1 Via Lewandowsky, Durs Grünbein: *Gott macht keine R-Gespräche* (Halbinsel Wolin, Raststätte), 2010-2016, Fotoserie mit Texten von Durs Grünbein, mehrteilig, fortlaufend, 42 × 59,4 cm, Piezo-Pigment-Print.

2 Ebd.

3 Ebd.

4 Zum Freeze Frame als Technik zwischen Fotografie und Film vgl. Stefanie Diekmann, Winfried Gerling (Hg.): *Freeze Frame. Zum Verhältnis von Fotografie und Film*, Bielefeld 2010.

Wertlosigkeit verkörpert, ist hier jäh ins Ungeformte, Formlose zerborsten. Der Moment des kultivierten Gesprächs zersplittert in Fragmente einer globalen Plastikwüste. In der Stapelung der fertigen Arbeit Lewandowskys werden die ausgestreuten Stuhlfragmente wieder in Form gebracht: 43 weiße Kunststoffstühle passen formschön ineinander und trotzen in ihrer Stabilität dem Zerstörungsakt, der wie durch einen Durchschuss das versprödete Plastik im Raum verteilt. **Abb. 3**

Möglich wurde diese Versprödung durch technische Kälte, durch ein extremes Gefrieren des Plastiks mit Flüssigstickstoff, gefolgt von Hammerschlägen, welche das erstarrte, eigentlich biegsame Material wie Porzellan zerspringen ließen. Die Kältetechnik mit Stickstoff vermag Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser aufrechtzuerhalten, der Siedepunkt des Gases liegt bei $-195,79^{\circ}\text{C}$ und zwingt fast alles Organische zur Ausdauer. Als Kältemittel ist Flüssigstickstoff das industrielle Medium schlechthin, da es Handhabbarkeit, Beobachtbarkeit und Haltbarkeit anderer Materialien gewährleistet: im medizinischen Bereich die Langzeitlagerung biologischer Proben, in der Lebensmitteltechnik die Frostung, im Automobilbau das Schrumpfen von Ventilsitzringen. Vorschub erhielten die Kältetechnologien seit Ende des 19. Jahrhunderts durch die Gründung der Gesellschaft für Markt- und Kühllhallen 1890 in Berlin und durch die Entwicklung von Kältemaschinen für das Brauen untergäriger Biere in milden Wintern. In der künstlerischen



Jemand umfiel, in einem Anfall von Insektophobie,
einen Plastikstuhl mit einer Kakerlake verdeckelt
haben. Das argmettete Insekt wiederum hätte
ebenso gut zu verwandeltem Mensch sein können - ein
Fenfahrer in seiner Verzweiflung. Kinder hatten für
soetwas einen schwarzen Blick.

D. S.

1: Via Lewandowsky: Gott macht keine R-Gespräche (Halbinsel Wolin, Rastätte), 2010-2016.



2: Via Lewandowsky: „Café de Flore“ im Arbeitsprozess.



3: Via Lewandosky: Café de Flore (Kanon der Zerstreuung), 2012, 43 Monobloc-Stühle, gefroren und zerschlagen, 250×60×60 cm.

Arbeit führt der flüssige Stickstoff zur Ermöglichung von Versprödung und Materialtransformation; ein Vorgang, dem durch Materialkonservierung normalerweise entgegengewirkt werden soll. ➤ **Abb. 4**

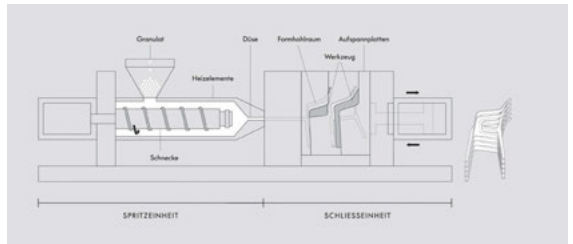
Die Versprödung des Monoblocs, die in einer langen und mühsamen Bearbeitung des schockhaft gefrorenen Kunststoffes hergestellt wird, übersteigt bei weitem die Produktionszeit des Stuhls in seiner Herstellung. Eine der Ursprungslegenden besagt, dass der französische Ingenieur Henry Massonnet es 1972 geschafft habe, mit seinem Fauteuil 300 die Produktionszeit des erschwinglichen Kunststoffstuhls auf weniger als zwei Minuten zu verringern. Designhistorisch gewendet ist der Monobloc der erste Stuhl, der ein Kontinuum zwischen Sitz und Stuhl Rücken durch Spritzgießen eines Thermoplasts in einem Bruchteil der Produktionszeit vorheriger Stühle erreicht. Schnelligkeit im Herstellungsprozess haben Kulturtechniken – wie man von der Fotografie oder dem Fertighausbau weiß – immer weit nach vorn gebracht. Beim Monobloc ist es der Prozess der Plastifizierung, der Polypropylen (PP) in einem Erhitzungsvorgang über seine Schmelztemperatur von 220° C erhitzt, der die Erniedrigung der Viskosität des Materials zur Folge hat. In einer an alte Abformverfahren erinnernde Spritzgussmaschine wird mittels der Hohlform einspritzung das flüssige Plastik in Form

gebracht. ➤ **Abb. 5** Das Schockfrosten des Monoblocs, das auf molekularer Ebene zum Brechen der Molekülketten führt, unterzieht in Lewandowskys Arbeit den in Form erstarrten, aber flexiblen Plastikstuhl einem neuerlichen Transformationsprozess. Die Herstellung des Monoblocs geht vom Aggregatzustand des Polypropylen über die Erhitzung und Verflüssigung in die Erkaltung in der Hohlform über, um temporär ein Sitzmöbel zu sein, das mithilfe von Kältetechnik und mechanischen Schlägen in Hunderte zufällige Splitter zerfällt. ➤ **Abb. 6** In dieser Hinsicht ist das Designobjekt Monobloc in seiner Formgebung ein festes Aggregat, das sich im Nicht-zu-Kalten und Nicht-zu-Heißen temporär stabilisiert. So wird ein Prozess vorangetrieben, in dem Formgebung die Verwandlung von Rohstoff im Endprodukt vorsah. Hier kehrt sich ein jahrhundertalter Vorgang künstlerischer Produktion um, der die Formgebung aus der Bearbeitung eines Stoffes gewann: „Der Ausgangsstoff wird in der Gestaltung zugunsten einer anderen Materialität ‚vernichtet‘.“⁵ Das Ziel des künstlerischen Produktionsprozesses war, folgt man Monika Wagners Thesen zu Materialvernichtung und -transformation, über Jahrhunderte hinweg

5 Monika Wagner: Materialvernichtung als künstlerische Schöpfung. In: Andreas Haus (Hg.): Material im Prozeß. Strategien künstlerischer Produktivität, Berlin 2000, S. 109–121, hier S. 109.



4: Via Lewandowsky: „Café de Flore“ im Arbeitsprozess.



5: Vitra Design Museum: Produktionsprozess des Monoblocs durch das Spritzgussverfahren.



6: Via Lewandowsky: Café de Flore, 2012, 12 Monobloc-Stühle, gefroren und zerschlagen.



7: Klagemauer in der Altstadt von Jerusalem, 2009.

die Überwindung der Materialität in der gestalteten Form. Während darin eine Vernichtung des Materials durch die Form vollzogen ist, zeigt sich bei Lewandowsky die Vernichtung der Form als Freisetzung des Ausgangsmaterials. Dieses Ausgangsmaterial ist jedoch nicht einfach Kunststoff. Es ist das Designobjekt, das sowohl im Vitra Design Museum in Weil

am Rhein als stilprägend in der Designgeschichte als auch revolutionierend für die industrielle Stuhlproduktion in globalem Maßstab steht: ein leicht stapelbarer, witterungsbeständiger und kostengünstiger Stuhl aus Vollkunststoff.⁶

Man stelle sich nun Via Lewandowsky inmitten dieser schneeweißen Splitterwüste vor, die in der Bearbeitung durch Flüssigstickstoff die Wärmebehandlung bei der Stuhlproduktion umkehrt und in der sich die Arbeitsweise der Plastikindustrie im sogenannten globalen Süden in ein händisches Suchen, Finden, Sortieren und Neuordnen transformiert; in einem Prozess, der auf Expansion angelegten Formfindung im Raum (der zugleich unüberschbar ausgedehnt ist: *made in china*). Dem Sozialtheoretiker Ethan Zuckerman zufolge verkörpert der Monobloc das „kontextlose Objekt“ schlechthin.⁷ „Ein weißer Plastikstuhl auf einer Fotografie fügt dieser so gut wie keine Information hinzu. Wo man ist und in welcher Zeit, lässt sich am Monobloc nicht ablesen. Es könnte in Afrika, Grönland oder Italien sein.“⁸ So trägt auch die Flickr Community *Those White Plastic Chairs* Tausende von Fotografien des Monobloc-Stuhls zusammen, die in der ganzen Welt zerstreut in deutschen Schrebergärten, an venezianische Gondeln gelehnt oder an der Klagemauer in Jerusalem gestapelt stehen, um den Gläubigern, Touristen und Vorgartenpredigern eine Sitzgelegenheit zu bieten.⁹ **Abb. 7** Kontextlos und zugleich konstituierend für den Welthandel ist ein weiteres Allerwelts-

6 Jens Thiel: Java, Fauteuil 300/Monobloc/Henry Massonnet. In: Mateo Kries, Jochen Eisenbrand (Hg.): Atlas des Möbeldesigns, Vitra Design Museum, Weil am Rhein 2019, S. 520.

7 Ethan Zuckerman: Those White Plastic Chairs – The Monobloc and the Context-Free Object, 06.04.2011, ethanzuckerman.com, <https://ethanzuckerman.com/2011/04/06/those-white-plastic-chairs-the-monobloc-and-the-context-free-object/> (Stand 5/2021).

8 Jonas Egli: Wieder erlaubt: Der legendäre Monobloc, für Jahre auf Basler Straßen streng verboten, 17.03.2017, <http://barfi.ch/News-Basel/Wieder-erlaubt-Der-legendäre-Monobloc-für-Jahre-auf-Basler-Strassen-streng-verboten> (Stand 5/2021).

9 Flickr Group: Those White Plastic Chairs, <https://www.flickr.com/groups/those-white-plastic-chairs/pool/page3> (Stand 5/2021).



8: Via Lewandowsky: Der dich geschunden hat, wird dich heilen, 2013, Kunststoff-Palette, gefroren und zerschlagen, 12 × 120 × 100 cm.

objekt, das Lewandowsky einzeln und als Turm gestapelt gefroren und zerschlagen hat, die ebenfalls aus Polypropylen hergestellte Europalette. ➤ **Abb. 8** Sie liefert die plastische Grundlage des Warentransports und wird von Lewandowsky als Grundeinheit eines neuen industriellen Systems bezeichnet: „Die Palette als Symbol für effizienten Welthandel“,¹⁰ die das Ökosystem aus dem Gleichgewicht bringt, was unter den Augen der Weltöffentlichkeit zerbricht, wie die gefrostenen Partikel im Stapelturm *Thuja (Ritzersatz)*. Und so führt uns die Geschichte vom Weltmaßstab wieder ins Lokale, indem das *glocal* – ein Begriff, den Anfang der 1990er-Jahre Manfred Lange, ehemals Leiter des Nationalen Global-Change-Sekretariats des Bundesministeriums für Forschung und Technologie zur Bezeichnung von Veränderungen auf der Maßstabsebene von „lokal-regional-global“ geprägt hatte – zu seinem eigentlichen Recht kommt: Der Kunststoffingenieur Henry Massonnet, dessen Unternehmen STAMP (Société de Transformation des Matières Plastiques) Anfang der 1970er-Jahre im kleinen fran-

¹⁰ Via Lewandowsky: Hokuspokus. Ausst.kat., Leipzig 2014, S. 37.

zösischen Ort Oyonnax die ersten in einem Arbeitsgang spritzgegossenen Monoblocs herstellte, produzierte eben auch die ersten Getränkekästen und Europaletten aus Kunststoff.¹¹ Anhand des Monobloc und der Europalette lässt sich eine Geschichte des Aufstiegs und Verfalls industrieller Produktion erzählen, die als Hintergrundrauschen der von Lewandowsky bearbeiteten, gefrosteten, zersplitterten Objekte nachhallt: Hatten Kunststoffmöbel in ihrer ersten Ausprägung Zukunft versprochen, führte die erste Ölkrise zu gestiegenen Preisen von Rohstoffen, deren Nutzung durch das erstarkende ökologische Bewusstsein in den 1980er-Jahren auch zu einem negativen Image der Plastikstühle führte. Damit war die Massenproduktion des Monobloc-Stuhls in den Industrieländern, die ab den 1990er-Jahren millionenfach zu einem Stückpreis von 2,50 Euro verkauft wurden, vorgezeichnet und gilt heute als kommerzieller Abstieg des Möbelstücks.¹² Um das Stadtbild nicht zu stören, wurden Monoblocs in Basel oder Heidelberg temporär verboten, was als Kehrseite des erfolgreichsten Stuhldesigns aller Zeiten gelten werden kann.¹³ Die Europalette hilft weiterhin ungestört in der globalen Warenzirkulation.

Die durch Versprödung hergestellten Bruchstücke der globalen Plastikwüste, die als weiße Stühle kontextlos zugleich jeden Kontext an sich binden können, finden nicht zuletzt Eingang in ein Album, das Lewandowsky in der Deutschen Akademie Rom Villa Massimo als Text-Bild-Anordnung 2011/12 gestaltete. Die weißen Stuhlruinen und Plastikstücke sind wie archäologische Funde einzeln ausgestellt und setzen sich scharfkantig und in gleißendem Hell-Dunkel-Kontrast vor schwarzem Hintergrund ab; ganz so, als seien es bedeutungsvolle Objekte, die etwas über die Vergangenheit der Industrialisierung erzählen könnten. ➤ **Abb. 9** Die radikal subjektivierten Tagebucheinträge von nachtschwülen Rom-Träumen werden den dekontextualisierten Plastikbruchstücken angetragen wie Sprechblasen im Comic des Alltagsflaneurs, der Geschichten abschöpft, wo Stühle zerbrechen und nicht mehr zum Sitzen dienen. „In jedem Moment steckt ein Stück Wartezeit“¹⁴ steht im Schriftteil neben dem Zeitschnitt der Fotografie, der das Objekt wieder einem neuen Medium, dem Album, zuführt und eine Neuordnung des Materials und dessen Transformation vornimmt.

Die Anordnung von Text und Bild bedeutet in der Neuordnung nicht eines, sondern vieles: dass Stühle nicht Stühle sind, sondern zu archäologischen Funden in der Plastikwüste der Industrialisierung werden können, dass technische Kälte unter Hochdruck

11 Thiel (s. Anm. 6), S. 520.

12 Ebd.

13 Egli (s. Anm. 8).

14 Via Lewandowsky: Ohne Titel, Eintrag am 23. März 2011, Deutsche Akademie Rom, Villa Massimo, o.S.

eben dieser erst zur Operationalisierung und Dauerhaftigkeit verhilft, dass sich Stühle manchmal in Insekten, Türme, Hochsitze, Müll oder Tagebuchschätze verwandeln können, gerade in dem Moment, in dem sich ihre Funktionalität als Berührungsfläche zwischen Gesäß und Sitzfläche verliert. In der Fotografie geht dieser Moment zwischen Sinn und Sinnlosigkeit „augenblickskritisch“, wie Lorenz Engell über das Phänomen des Freeze Frame schreibt, in die Stillstellung des Bildes über, das auf die Zeit seiner erneuten Lesbarkeit wartet.¹⁵ An einem anderen Parkplatz, einer fernen Auto- raststätte – vielleicht dieses Mal im globalen Süden im Rücken der industriellen Warenproduktion.



9: Via Lewandowsky: Divergenz des Selben (World Chair 6), 2012, Piezo-Pigmentdruck, 80 cm × 61 cm.

15 Lorenz Engell: Are you in pictures? Ruhende Bilder am Ende bewegter Bilder, besonders in Ethan und Joel Coens BARTON FINK. In: Stefanie Diekmann, Winfried Gerling (Hg.): Freeze Frame. Zum Verhältnis von Fotografie und Film, Bielefeld 2010, hier 172–191, S. 173. Vgl. den Beitrag von W. Gerling im vorliegenden Band.

Andreas Homann

Eis für alle.

Bilder der Kälte als kollektive Symbole

Die Entstehung neuer Bilder

Die systematische Erforschung der polaren Grenzregionen der Erde führte von Anfang an zu völlig neuen visuellen Phänomenen, zur Wahrnehmung einer Vielfalt von Eiserscheinungen und Eisformationen, die den wissenschaftlichen Blick herausforderten, zugleich aber auch eine meist ins Metaphysische weisende Lesbarkeit suggerierten. Mit der kontinuierlichen Erschließung der Kältezonen und ihrer medialen Vermittlung durch Expeditionsberichte (Fridtjof Nansen, Julius Payer u. a.) popularisierte und konsolidierte sich aus der Vielzahl der visuellen Phänomene ein Arsenal an Bildern zu einer kollektiv präsenten Denk- und Bildwelt, und zwar besonders dann, wenn sich Phänomene als symbolisch interpretierbar und als in bestimmtem Umfang an Alltagserfahrungen anschließbar erwiesen.

Im Folgenden soll es um solche Eis- und Kältebilder im kulturellen Gemeinbesitz gehen, die als Kollektivsymbole eine empirische Stabilität der in ihnen nachweisbaren Strukturen beanspruchen. Denn das Kollektivsymbol „Eis“ kann Bilder unterschiedlichen Umfangs generieren. Diese sind strukturell beschreibbar, historisch verfolgbar, kulturell lokalisierbar und können verschiedene Wertungen anziehen. Als semiotische Analyse ist somit die Untersuchung von Kollektivsymbolen wie Eis immer Teil einer umfassenderen Diskursanalyse, da Kollektivsymbole in ihrer komplexen Zeichenfunktion gesamtkulturelle Bedeutung entfalten, indem sie etwa zur Subjektbildung, zu politischer Positionierung und ihrer Durchsetzung beitragen. Als theoretischer Ansatz bildet die damit verbundene Theorie des Interdiskurses ein Modell für die Beschreibung der kulturellen Integration von Wissensbeständen in ihren jeweiligen historischen Kontexten.

Kollektivsymbole lassen sich – einer strukturalen Rekonzeption des Symbolbegriffs folgend – als die Gesamtheit aller bildlichen Arrangements definieren, die durch eine Grundstruktur semantischer Abbildung gekennzeichnet sind. Folgende Kriterien sind für diese Grundstruktur kennzeichnend: semantische Sekundarität, Ikonizität, Motiviertheit, Ambiguität, syntagmatische Expansion des Symbolisanten zum Umfang einer rudimentären Isotopie und Isomorphie-Relationen zwischen Symbolisant und Symbolisat. Unter Symbolen sind sekundäre Zeichenkomplexe zu verstehen, die einen materiellen Träger (einen Symbolisanten) mit einer zugewiesenen Bedeutung (dem Symbolisat) vereinigen.¹

1 Stellvertretend (und zusammenfassend für zahlreiche Veröffentlichungen von Jürgen Link und Rolf Parr zur Theorie der Kollektivsymbolik) siehe Rolf Parr: Interdiskurstheorie/Interdiskursanalyse. In: Clemens Kammler, Rolf Parr, Ulrich Johannes Schneider (Hg.): Foucault Handbuch. Leben – Werk – Wirkung. Unter Mitarbeit von Elke Reinhardt-Becker, Stuttgart/Weimar 2008, S. 202–206.

Kollektivsymbole sind Symbole in kollektiver Trägerschaft und haben einen jeweils in historischen Segmenten konventionalisierten Charakter. Sie können elementar-literarisch genannt werden, weil sie durch alltägliche Zitation (hier zum Beispiel als „Spitze des Eisbergs“ oder „dünes Eis“) und durch vielfältige mediale Applikation die Grundlage bilden für eine graduell komplexer werdende, polysemisch gesteigerte Verarbeitung in Literatur, Film oder bildender



1: Giuseppe Reichmuth: Zürich Eiszeit, 1975, Gouache auf Pavatex, 90×120 cm.

Kunst. Eine weitere Bedingung ist ihre „Ikonizität“. Dieses auf Charles W. Morris zurückgehende Kriterium beschreibt die bildliche Darstellungsform als rein ikonisches Zeichen oder als sprachlich ausformulierte, aber ins Ikonische transformierbare Zeichenfolge. Es macht unterschiedliche mediale Erscheinungsformen erfassbar und vergleichbar und weitet dadurch den Blick für die gesamtkulturelle Wirksamkeit einzelner Symbole. Voraussetzung ist die Annahme, dass auch die sukzessive Deskription zentraler, manchmal nur weniger Elemente eine quasi-räumliche Simultaneität der Elemente in einem mentalen Bild vereinigt. Dieser Bilderzeugung geht jedoch immer das visuelle Erlebnis des betreffenden realen Gegenstandes voraus – kein Kollektivsymbol kann sich kulturell verankern, das nicht einen gewissen Grad von Alltagsbezug und Erfahrungsmöglichkeit mit sich bringt.

Es handelt sich also bei Kollektivsymbolen um bildliche Stereotype von minimaler, aber expandierbarer Komplexität: schmelzendes Eis, brechendes Eis, treibendes Eis, der Weg durch oder über das Eis bilden solch eine minimale Bildstruktur. Historisch nachweisbare und nachvollziehbare Kollektivsymbole wie eben das Eis (oder die bedrohliche Flut, das unüberwindliche Gebirge, der luftige Ballon) unterliegen einer eigenen Syntax, ihre Darstellung auf Bildern und die Anordnung ihrer Elemente unterliegen gewissen Anordnungsschemata, auch Topiken genannt. In vielen Fällen bestimmen Oppositionen die syntagmatischen Relationen innerhalb eines Bildes; ein Schiff im Eismeer muss sich beispielsweise gegen das feindliche Äußere behaupten.² ➔ **Abb. 1**

2 So zeigt das populäre Bild des Schweizer Künstlers Giuseppe Reichmuth von 1975 mit dem Titel *Zürich Eiszeit* einen Eisbrecher, der durch die in antarktischer Vereisung befindliche Innenstadt Zürichs fährt, zwischen Rathaus und Kirche durchbrechend. Das Bild avancierte in den Zürcher Jugendprotesten zu Beginn der 1980er-Jahre zum Schlüsselbild, indem es auf die Protestgeneration identitätsbildend wirkte.

Darüber hinaus können die besagten Bildelemente zur Dynamisierung beitragen und den Kern weiterer Auserzählungen bereitstellen.³ Der so reformulierte Symbolbegriff umfasst alle traditionellen Formen der Bildlichkeit, vor allem Metaphern, geht aber auch darüber hinaus, indem er Modellbildungen, Vergleiche, Allegorien, Synekdochen und Embleme einschließt und versucht,⁴ divergente Verständnisse solch traditioneller Kategorien systematisch in struktural-funktionaler Sichtweise zu vereinheitlichen.⁵ Häufig sind Kollektivsymbole jedoch zwei Typen zuzuordnen, dem metaphorischen und dem repräsentativen (synekdochischen) Typ.

Symbolische Erkenntnis

Wie ist nun der erkenntnisbildende Beitrag von Kollektivsymbolen zu verstehen? In ihrer gesellschaftlichen Funktion verständlich werden Kollektivsymbole nur im Kontext des Interdiskurs-Konzeptes von Medien und Literatur in Anlehnung an Michel Foucault.⁶ Moderne, wissensbasierte Gesellschaften funktionieren demnach auf der Grundlage ausdifferenzierter und spezialisierter Wissens- und Praxisbereiche, die sich jeweils durch Spezialdiskurse konstituieren. Diese sind als relativ geschlossene Aussagesysteme oder diskursive Formationen mit innerer Konsistenz zu verstehen, d. h., der Zugang zu ihnen wird zum Beispiel durch einen institutionellen Rahmen reguliert. Hier treten nun Interdiskurse hinzu, die Verknüpfungen aus und Kopplungen mit den einzelnen und verschiedenen Teildiskursen herstellen. Den sozialen Flichkräften der Spezialdiskurse arbeiten Interdiskurse kompensatorisch entgegen, indem sie sowohl extensiv (durch Wissensparzellen aus verschiedenen Spezialdiskursen) wie auch intensiv (durch diskursübergreifende, elementar-literarische Anschauungsformen wie Symbole, narrative Schemata u. a.) zur Reintegration beitragen. Der Interdiskurs garantiert in einem gewissen

Es wird in dem den Protesten gewidmeten symbolischen Dokumentarfilm *Das Packeis-Syndrom* von Peter Krieg (1982) vom Künstler kommentiert.

- 3 Lessing nennt dies in seinem Laokoon-Essay die Prägnanz des Augenblicks.
- 4 Empirisch lässt sich zeigen, dass die rhetorisch geprägte Textbildung grob gesprochen vor 1750 nur ein eng begrenztes Repertoire von Metaphern hervorbringt; oft bestehen diese aus Einwortmetaphern. Expandierte metaphorische Symbole, die auch auf wissenschaftliche und technische Innovationen reagieren und diese aufnehmen, also interdiskursiv sind, lassen sich erst umfänglicher um die Jahrhundertwende 1800 nachweisen; vgl. Andreas Homann: *Eis. Kulturwissenschaftliche Erkundungen von der frühen Neuzeit bis heute*, Paderborn 2017.
- 5 Vgl. dazu Axel Drews, Ute Gerhard, Jürgen Link: *Moderne Kollektivsymbolik. Eine diskurstheoretisch orientierte Einführung mit Auswahlbibliographie*. In: *Internationales Archiv für Sozialgeschichte der deutschen Literatur*, 1. Sonderheft Forschungsreferate, 1985, S. 256–375 und Frank Becker, Ute Gerhard, Jürgen Link: *Moderne Kollektivsymbolik. Ein diskurstheoretisch orientierter Forschungsbericht mit Auswahlbibliographie (II)*. In: *Internationales Archiv für Sozialgeschichte der deutschen Literatur*, 1997, Nr. 22 (1), S. 70–154.
- 6 Vgl. Parr (s. Anm. 1).

Maße sozialen Austausch und soziales Miteinander, da er intermittierende und partielle Totalitäten herstellt und die fortschreitende Spezialisierung und ihre sozial isolierenden Effekte mildert, auch wenn die Fragmentierung damit nicht dauerhaft aufgehoben wird.

Zum Interdiskurs moderner Gesellschaften zählen insbesondere die Massenmedien mit der ihnen eigenen Bilderkultur, aber auch im engeren Sinne der spezialisierte und institutionell verankerte Interdiskurs der Literatur, der in unterschiedlichen Komplexitätsgraden durch die Kombination, Variation, Elaboration und Verflechtung der interdiskursiven Elemente getragen wird. Der Interdiskurs stellt ein Reservoir für die kollektive und individuelle Subjektbildung bereit, indem er qua bildlicher Darstellung oder symbolischer Rede wertende diskursive Positionen formiert und akzentuiert, sie verstärkt oder abschwächt. Kollektivsymbole knüpfen hier durch die Verschränkung verschiedener Isotopien an, die aus unterschiedlichen Diskursen stammen, und stützen im Interdiskurs den (breiteren oder basalen) Transfer von Wissenspartialen, ihre Konsolidierung und Akkumulation.

Neben dieser reintegrierenden Funktion richtet sich bei Foucault das zentrale Interesse sowohl auf die interdiskursive Herstellung sozialer Gegenstände (wie zum Beispiel Normalität) als auch auf Subjekt- und Machteffekte. Über die empirische Erhebung und Analyse von Kollektivsymbolen kommen daher immer gesamt-kulturelle Prozesse in den Blick. Daraus werden auch der historisch spezifische Systemcharakter aller kulturell wirksamen Kollektivsymbole, die Äquivalenz verschiedener Symbole, ihre Kombinierbarkeit usw. verständlich. Moderne Kollektivsymbole entstehen grob gesprochen erst mit der ‚Sattelzeit‘ um 1800, und sie wären ohne die Entwicklung der modernen Medienlandschaft nicht zu denken.

Die Theorie der Kollektivsymbolik kann aber auch theoretisch integrierend wirken, indem sie Brücken schlägt zwischen verschiedenen theoretischen Ansätzen, so auch zwischen dem *linguistic turn* und dem *iconic turn*. Auf diese Weise kann die besondere epistemologische Rolle von Bildern und die von Gottfried Boehm beschriebene „ikonische Differenz“ möglicherweise noch aus einer anderen Perspektive betrachtet werden. Welcher Platz der Theorie der Kollektivsymbolik genau innerhalb der Bildwissenschaften zukommen könnte, ist sicherlich noch zu diskutieren. Ihre analytische Praktikabilität konnte sie jedoch in zahlreichen Detailstudien erweisen.⁷

7 Beispielsweise unter vielen anderen in Studien zum Ballonsymbol: Jürgen Link: ‚Einfluss des Fliegens! – auf den Stil selbst!‘ Diskursanalyse des Ballonsymbols. In: ders., Wulf Wülfing (Hg.): Bewegung und Stillstand in Metaphern und Mythen. Fallstudien zum Verhältnis von elementarem Wissen und Literatur im 19. Jahrhundert, Stuttgart 1984, S. 149–163 oder zur Fußballsymbolik: Ralf Adelman, Rolf Parr, Thomas Schwarz (Hg.): Querpässe. Beiträge zur Literatur-, Kultur- und Mediengeschichte des Fußballs, Heidelberg 2003. Zur Eissymbolik vgl. Homann (s. Anm. 4).



2: Aufmacher-Illustration der Titelseite, *Die Zeit*, Nr. 23 vom 2. Juni 2015.

Bildschmelze

An zwei aktuellen Beispielen lässt sich zeigen, wie das Kollektivsymbol Eis in ikonischer Form funktioniert. Die Bilder entstammen der Wochenzeitung *Die Zeit* und sind mit Bildunterschriften oder Titeln kombiniert, die die Lesart der Bilder zusätzlich lenken (können). Beide aktivieren kollektiv verfügbare, überschaubare Grundstrukturen, die Eis als tragendes Element ausweisen, gehen aber innovativ bzw. verfremdend damit um und erweitern und akzentuieren aktuell einnehmbare diskursive Positionen. Eis bildet in den Bildbeispielen dabei ein kollektives Schlüsselsymbol, das hier in Opposition sowohl zur klimatisch realen als auch zur symbolischen gesellschaftlichen „Überhitzung“ in mehrfachem Sinne positioniert ist und unterschiedliche Wertungen erfährt. In der Terminologie der Kollektivsymbolik wird für den analytischen Zugriff die Menge der signifikanten ikonischen beziehungsweise ikonisch darstellbaren Elemente in terminologischer Anlehnung an die Emblemik als *Pictura* bezeichnet, das Ensemble der sekundären Signifikate als *Subscriptio*.

Die erste Abbildung knüpft an Bilder an, die im Zusammenhang mit dem Klimadiskurs in großer Zahl produziert und verbreitet worden sind. Zu erkennen ist eine Figur in bürgerlicher (Arbeits-)Kleidung und mit einem etwas abseits stehenden Aktenkoffer, die in der Bildmitte auf einer weißen Fläche sitzt und in kontemplativer Haltung verharret. ➤ **Abb. 2** Die (irreale) *Pictura* besteht aus einer dreigliedrigen Opposition von sozial markierter Figur vs. Eisscholle vs. Eismeer.

Auch ohne Bildunterschrift oder Kontextualisierung erschließt sich die Subscriptio des symbolischen Bildes, denn es kombiniert synekdochisch mehrere rudimentäre Isotopien: Kleinere Eisschollen im Schmelzprozess oder im Treibeis (oftmals mit Eisbären darauf) sind zum repräsentativen Symbol des Klimawandels avanciert.⁸ Das Schmelzen des polaren Eises ist ein zentraler Forschungsgegenstand der klimahistorischen und meteorologischen Forschung; Ergebnisse werden in reduktiver Form in einfache Bilder übersetzt, um die Dringlichkeit des Handlungsbedarfs zu unterstreichen. Diese wird durch aktantielle Erweiterung der *Picturae* durch Elemente wie Eisbär oder Pinguin forciert, zudem lassen sich die entsprechenden Bilder für unterschiedliche Subjekte dadurch einfacher applizieren. Zur Dynamisierung des Bildes tragen kleinere Eisstücke bei, die den Ausgang der Entwicklung bereits vorwegnehmen: Die Eisscholle wird kleiner werden, Tragfähigkeit einbüßen und schließlich verschwinden, zusammen mit den Lebewesen, die auf ihr ruhen.⁹

Die Subscriptio hat damit ebenso Prozesscharakter: Der Klimawandel schreitet zerstörerisch fort, Eis verschwindet nach und nach aus den Topografien der Erde. Durch den Ersatz des Eisbären in dem vertrauten Bild durch eine menschliche Figur bleibt es zunächst synekdochisch, erhält jedoch eine metaphorische Nuance und eine weitergehende Subscriptio, denn das Eis verschwindet und der Mensch droht mitsamt seiner kulturellen ‚Ausstattung‘ (in der Kälte des Eismees) erst recht unterzugehen.¹⁰ Die menschliche Figur repräsentiert, durch einen Aktenkoffer forciert, die Routinen des Arbeitsalltags wie auch den gesamten ökonomischen Diskurs- und Praxisbereich. Kleidung und Aussehen zeigen Bildung, soziale Sicherheit und bürgerliche Kultur an. Dadurch erweitert sich das Repräsentative auf die gesamte bürgerliche Lebensweise. Durch die kontemplative, die Routinen suspendierende Haltung des (untätigen) Zuschauers in einem ‚Schauspiel‘, in dem der Zuschauer realiter zugleich Akteur ist, erhält das Bild jedoch eine weitere metaphorische Ebene. Damit wird es metaphorisch und synekdochisch zugleich und entfaltet subjektsteuernde Operativität. Die diskursive Position richtet sich auf den Zeitaspekt der Eisschmelze und den schmalen Korridor (noch) möglichen Handelns.

8 Von der vielfachen internationalen Reproduktion vermittelt ein Dossier der Wochenzeitung *Die Zeit* einen Eindruck, das etliche Titelseiten (*Time Magazine* u. a.) zwischen 1999 und 2014 mit ebensolchen Darstellungen zeigt; Malte Henk, Wolfgang Uchatius: Morgen vielleicht. In: *Die Zeit*, 2.6.2015, Nr. 23, S. 15–17.

9 Äquivalent zu dieser Klasse Bilder fungieren als repräsentative Symbole Darstellungen / kurze filmische Sequenzen kalbender Eisberge und zeigen Minderung und noch intensivere Zerstörung an.

10 Die helle Farbgebung eliminiert das Bedrohliche, das sonst solchen Bildern innewohnt, und suggeriert zugleich höhere Temperaturen.

Semantisch sind die Oppositionen Kultur vs. Natur (zusammengefasst als Leben und in Opposition zum Tod) zentral. Dabei konnotieren die einzelnen Symbole sowohl auf der Seite der *Pictura* als auch auf der Seite der *Subscriptio* einzelne Diskurssegmente in jeweils unterschiedlichem Umfang. Hier sind es auf der *Picturaseite* rudimentär der ökonomische und der geografische Diskurs, auf der *Subscriptioseite* ist der Klimadiskurs konnotiert mit Facetten des Wissens um steigende Temperaturen, um den Verlust des polaren Eises und vielleicht um das Schwinden des Albedo-Effekts. Eine zusätzliche Isotopie auf der Seite der *Subscriptio* entsteht durch die Bildunterschrift: „Die Grenzen der menschlichen Natur“. Sie verstärkt die anthropologische Bedeutung des Bildes und öffnet damit ein weiteres Diskurssegment.

Feuer und Eis

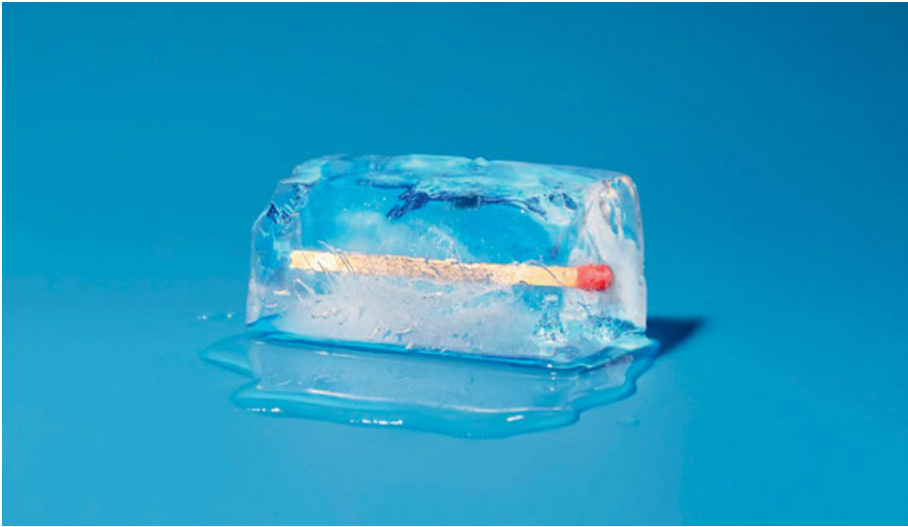
Anders verhält es sich mit dem Bild des eingefrorenen Streichholzes.¹¹ **Abb. 3** Es wird in seiner einfachen Struktur von der Opposition aus Feuer und Eis getragen, beide stehen symbolisch für die Thermodynamik, insbesondere durch das Schmelzwasser, das auch in dieser Darstellung zur Dynamisierung beiträgt und eine negative Aussicht bietet: Das Eis beginnt sich bereits zu verflüssigen, das Streichholz wird in kurzer Zeit freigelegt sein; es wird zur latenten Gefahr, indem es womöglich ein Feuer entzündet, das den zerstörerischen Prozess weiter anfacht. Anders als das symbolische Bild zum Klimawandel enthält diese *Pictura* aus Eisblock, Streichholz und Schmelzwasser von sich aus keinerlei Hinweise auf eine *Subscriptio*.¹² Dennoch ist sowohl in dem artifiziellen, alltagsfernen bildlichen Arrangement als auch in der Kollektivität der Einzelsymbole „Eis“ und „Feuer“ ein größeres Bündel möglicher Bedeutungen geschnürt, ein Inventar gleichsam lexikalisierter Sinngebungen: Feuer für Liebe, Streit und Leidenschaft, Eis für emotionale Kälte und Abweisung, für kalte Berechnung.

Die historische Entwicklung zeigt, dass um 1800 komplexere Symboliken des Eises aufgekommen sind, die im kritischen Gefolge der Aufklärung neue Eis- und Kälte-darstellungen hervorgebracht haben. Insbesondere die ‚Vereisung der Herzen‘ antwortet auf die Diagnose der Effektuierung in Wissenschaft, Technik und Ökonomie mit Bildern, in denen die Zerrüttung der menschlichen Ganzheit und Psyche und eine kalkulierende, industrielle Ratio beklagt wird, welche die gesellschaftliche Entsolidarisierung weiter vorantreibt.¹³ Nicht selten wird schon zu jener Zeit und damit

11 Bernhard Pörksen: Gut kühlen. Eine Empörung folgt der nächsten. Wie kommt man da wieder raus? Fünf Vorschläge, um die gesellschaftliche Debatte zu entgiften. In: *Die Zeit*, 6.2.2020, Nr. 7, S. 6.

12 Man würde solche Symbolik in der Terminologie der Kollektivsymbolik als Chiffren bezeichnen. In diesem Falle wäre damit das textlose Bild gemeint.

13 Paradigmatisch dafür kann das Kunstmärchen *Das kalte Herz* (1827) von Wilhelm Hauff stehen.



3: Bernhard Pörksen: Gut kühlen. Eine Empörung folgt der nächsten, Illustration zum Artikel, Die Zeit, 6. Februar 2020.

noch vor der wissenschaftlichen Erkenntnis, dass die Erde eine lange Eis- oder Kaltzeit erfahren hat, die Vereisung auf die ganze Welt ausgedehnt. Es werden symbolische Reisen in vereiste arktische Gebiete oder auch zu den Gletschern der Hochgebirge absolviert. Teilweise lässt die Romantik ihre Vereisungsdystopien auftauen, um in wärmere Gefilde zu entkommen, teilweise führt sie in die Resignation, in den Stillstand zyklischer Zeitkonzepte. Das Schlussbild der *Winterreise* von Wilhelm Müller, mit dem Leierkastenmann barfuß auf dem Eis stehend, gehört in diese Kategorie. Das Periodische kann hier keine Lösung oder Zuversicht mehr versprechen.

Dass bei dieser Gelegenheit auch Maschinen ins Spiel kommen, gehört zu einer Symbolkombinatorik, die sich bis in die jüngste Gegenwart erhalten hat. So basiert etwa der Film *Snowpiercer* des Regisseurs Bong Joon-ho auf Jacques Lobs gleichnamiger Graphic Novel. Im Comic „rollt“ in der Auftaktszene „ein Zug über den vereisten Planeten, ein Zug, der niemals anhält [...]“, und es lässt sich leicht erahnen, dass diese Geschichte, die mit einem durch das Eis zirkulierenden Zug beginnt, kein gutes Ende finden wird.¹⁴

¹⁴ *Snowpiercer* (Südkorea, USA, Frankreich, Tschechien 2013), 126 min, Regie: Bong Joon-ho; Jacques Lob, Jean-Marc Rochette, Benjamin Legrand: *Schneekreuzer*. Aus dem Französischen von Edmund Jacoby, Berlin 2013. S. 5.

Bedingt durch die medizinische Vorgeschichte, sind auch „eiskalte Typen“ oder „hitze Debatten“ aus der symbolischen Tradition vertraut. Die Darstellung des Streichholzes wurde daher von der Redaktion gewählt, um einen Artikel des Medizinwissenschaftlers Bernhard Pörksen zu illustrieren, in dem der Autor unter der Überschrift „Gut kühlen“ auf die Verpöbelung der Diskurse, auf eskalierende Empörung und eine Protestkultur voll überschneller Reaktionen reagiert, die durch soziale Medien befördert werden und die Demokratie beschädigen könnten: „Wie sollen Politik und Weltveränderung gelingen, wenn wir schon im Falle von Nichtigkeiten so miteinander reden und streiten? [...] Wie ließen sich Techniken der Abkühlung trainieren?“, fragt Pörksen.¹⁵ Indem er Symbole bemüht, geht es um verbale Auf- und Abrüstung. Das metaphorische Bild des eingeeisten Streichholzes erhält hierdurch eine explizit politische Subscriptio, und auch hier ist in dem Bild der Eisschmelze ein Imperativ enthalten, der im Titel des zugehörigen Artikels wörtlich ausgesprochen wird: Zögern, Empathie, Verständnis und Rationalität bilden dabei die zentralen Schlagworte, um in eine weitergehende, differenzierende Betrachtung überzuleiten.

Bild und Text, Roman und Film

Kollektivsymbole erscheinen in Texten und Bildern oft punktuell und/oder in minimalen Strukturen, wie ja auch in der zuletzt gezeigten Text-Bild-Kombination. Ebenso ist es jedoch möglich, über lange Textpassagen oder in komplexen Bildern Symbole zu distribuieren, sie mit Details zu versehen oder abzuwandeln oder aber Bedeutungen in verwandte Symbole zu überführen. Auch hierbei wird auf kollektiv verankerte Bildstrukturen zurückgegriffen, die jedoch mit ‚neuen‘ Diskurs- und Praxisbereichen und ihren jeweiligen Wissensbeständen gekoppelt werden. Wie dies für Eis-/Kältebilder höchst kunstvoll gelingen kann, soll abschließend an dem international erfolgreichen und verfilmten Roman *Fräulein Smillas Gespür für Schnee* von Peter Høeg gezeigt werden.¹⁶

Der Roman verdankt seinen Erfolg einer actionreichen Thriller-Handlung. Smilla Jaspersen, Tochter eines dänischen Arztes und einer Grönländerin, kommt nach dem mysteriösen Tod eines grönländischen Jungen kriminellen Machenschaften auf die Spur, die darauf zielen, in einer Expedition einen Meteoriten mit ungeklärten Eigenschaften aus dem grönländischen Eis nach Dänemark zu bringen. Der Roman lässt bis kurz vor dem Ende offen, welche Art von Objekt in Grönland geborgen werden soll.

¹⁵ „Krankheit“ und „Eis“ sind Symbolkomplexe, die historisch in engem Zusammenhang stehen.

¹⁶ Peter Høeg: *Fräulein Smillas Gespür für Schnee*, Reinbek 1996.

Trotz seiner Rasananz, dem spürbaren *Thrill* der Rahmenhandlung, nimmt der Roman in durchaus differenzierter Weise am jüngeren Identitätsdiskurs teil. In einem vielfältigen symbolischen In-Beziehung-Setzen treten vor allem im letzten Teil des Romans, der den sprechenden Titel „Das Eis“ trägt, auch Bilder der Kälte und Vereisung auf. Gerade in ihrer Kombination mit weiteren Bildern wird die Dialektik der Begriffe Identität und Alterität offengelegt: „Meine kulturelle Identität habe ich für immer verloren“, bekundet die Protagonistin Smilla; in Grönland, das sie als ein vereistes Dänemark wahrnimmt,¹⁷ ringt sie als Außenseiterin um einen Platz im sozialen Tableau, leidet aber auch an einer Ortlosigkeit, durch die sich nach eigener Aussage „zwischen mich und den Rest der Welt eine Schicht aus Fühllosigkeit, eine Kruste“ geschoben hat. In diesem Ringen wache sie jedoch hin und wieder mit „einer sicheren Identität auf“.¹⁸ Smillas Hinwendung zum Eis, ihre Entscheidung, „mit dem Eis zu leben“,¹⁹ wird damit symbolisch aufgeladen zu jenem koexistierenden Nebeneinander, das sie an den Inuit schätzt.

In einer besonderen Bilderfolge des Romans, in der die Semantik des Fremdkörpers und die Konnotation der Kälte eine Hauptrolle spielen, wird die Wechselwirkung der Begriffe Alterität und Identität aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet, ohne die Problematik, die durch die „Infragestellung des Identitätsbegriffes“ aufgeworfen wird, zu lösen.²⁰ Zwar wird der hegemoniale Charakter der europäischen Kulturtradition offenbar, die konkreten politischen Fehler Dänemarks im Umgang mit seiner grönländischen Kolonie werden einer eindeutigen Kritik unterzogen – doch bleibt eine diskursive Positionierung, die auf ein neues Selbstverständnis jenseits des „autonomen europäischen Individuums“ zielen könnte, in diesen Momenten aus.²¹

Auch das Geheimnis des Expeditionszieles wird erst am Ende des Romans gelüftet: ein Meteor, der sich „unter dem Eis verkeilt“ habe und „in einem Schmelzwassersee“ liege, aus dem er nur mit Mühe geborgen werden könne.²² Anscheinend gibt dieser Meteor aus ungeklärten Gründen Wärme ab und gibt damit Raum für Spekulationen, dass es sich um eine Art Lebewesen handeln könnte. Wie der Meteor spielt ein – frei erfundener – Polarwurm im grönländischen Eis zunächst auf der Handlungsebene eine große Rolle, indem er für Todesfälle bei Untersuchungen im Vorfeld der

17 Ebd., S. 260: „Ich sehe Dänemark wie eine Eiszunge vor mir.“

18 Ebd., S. 153.

19 Ebd., S. 460.

20 Doris Bachmann-Medick: *Cultural Turns. Neuorientierungen in den Kulturwissenschaften*, Reinbek 2006, vor allem das 4. Kapitel „Postcolonial Turn“ (S. 184–237), hier S. 207.

21 Ebd., S. 206.

22 Høeg (s. Anm. 16), S. 465 u. 469.

Expedition verantwortlich gemacht wird (der besagte Polarwurm soll sich über eine Art Hautimitat „dem menschlichen Immunsystem angepasst“ haben und in getarnter Form vom Wirt geduldet werden; allerdings bleibt der Parasit lebensbedrohlich, weil er sich permanent verändert).²³

Neben dem Motiv des Parasiten wird mit dem Schiff im Eis, das zu Beginn des letzten Romankapitels in Erscheinung tritt, noch einmal ein traditionsreiches Symbol aufgerufen. Es wird zum Anlass genommen, umfangreiches Wissen über die Bildung von Meereis zu referieren; mehrfach wird in Episoden und Reflexionen die Fallibilität der menschlichen Technik gegenüber der Naturgewalt des Eises in Erinnerung gerufen, so dass das Schiff, das den Meteor bergen soll, umso mehr als bildlicher Fremdkörper in einer übermächtigen umgebenden Natur erscheint, die durch das Eis repräsentiert wird. Die Protagonistin Smilla stößt schließlich auch auf Forschungen zur Eisbildung, in denen von massiv unterkühlten Wassertropfen die Rede ist, die in einem atmosphärischen, metastabilen Zustand eines Hohlraumes verharren und nicht erstarren wollen.

In tabellarischer Form ließe sich eine (erweiterbare) Übersicht über die skizzierten Kälte-Picturae erstellen, deren tragende Bildelemente Meteor/Eis, Polarwurm/Körper, Wassertropfen/Wolke, Smilla/Gesellschaft und Schiff/Eis sind:

<i>Bildelemente</i>	<i>Subscriptio</i>	<i>Pictura 1</i>	<i>Pictura 2</i>	<i>Pictura 3</i>	<i>Pictura 4</i>	<i>Pictura 5</i>
P1	Bereich der Identität/Alterität	Eis bzw. Gletscher	Körper	Wolken	Rest der Welt (Gesellschaft)	Eis
P2	Grenzbereich, Schwellenraum	Schmelzsee	eine Art Haut (Maskierung)	Hohlraum	Kruste (Schicht aus Fühllosigkeit)	Schiff
P3	Bereich der Alterität/Identität	Meteor	Polarwurm	Wassertropfen	Smilla	Mensch
<i>Semantische Effekte</i>	<i>Differenzielle Komponente</i>	<i>(unerklärbare Wärme)</i>	<i>Aggressives Potenzial, dynamische Komponente</i>	<i>Isolation</i>	<i>Isolation, Schutzfunktion</i>	<i>Dynamische Komponente, „Zerrbild“</i>

Diese Picturae haben unterschiedliche Umfänge und Qualitäten, und die Positionen P1 und P3 sind wechselseitig austauschbar, weil die Wertungen nicht in eindeutiger Weise erfolgen, was auch die Besonderheit ausmacht. Sie alle sind jedoch für die abstrakten Subscriptions Identität, Schwellenbereich und Alterität aufzufassen, die durch die Parallelisierung die semantischen Besonderheiten der einzelnen Bildkomplexe noch

²³ Ebd., S. 500. Der Polarwurm wird im Romanverlauf auch auf Röntgenbildern betrachtet.

stärker zur Geltung kommen lassen.²⁴ Der Roman stellt auf der Seite der *Subscriptio* eine differenzierende Position für den Identitätsdiskurs bereit, auch mit politischen Implikationen.²⁵

Die Symbolkombinatorik des Romans beruht zwar auf bildlichen Grundstrukturen (etwa der Einschluss im Eis, die Schifffahrt durch das Eismeer), koppelt aber verschiedene Diskurse (in diesem Falle den medizinischen, thermodynamischen und psychologischen) mit ihren jeweiligen Wissensbeständen. Die Eissymbolik entzieht sich somit einer eindeutigen diskursiven Positionierung. Der Autor Høeg nutzt ihre Ambivalenz, um alles Restriktive in den Aussagen und Handlungen des Romans zu vermeiden. Die symbolischen Schwellenräume, die dabei entstehen und die den Begriff der Alterität oszillieren lassen, bieten allenfalls schmale, mehrdeutige Orte der Übersetzung und der Mixtur. Mit anderen Worten: Der eissymbolische Kosmos des Romans entzieht sich insgesamt einer eindeutig negativen oder positiven Zuordnung; er liefert zudem in seinen zentralen *Subscriptions* ein mehrschichtiges und provozierendes Bild des Andersseins.

24 Alle *Picturae* lassen sich auch auf die Protagonistin beziehen.

25 Zahlreiche weitere Analysen dazu finden sich in Homann (s. Anm. 4).

Kann Kunst die Welt verändern? Arktisches Eis in Werken Olafur Eliassons, Willem de Rooijs und Susan Schupplis

„Was uns berührt, bewegt uns.“¹ Olafur Eliasson findet einfache Worte, um eine der wichtigsten Fragen der Avantgarde zu beantworten – jene nach der politischen Wirkmacht der Kunst. Im Jahr 2018 platzierte der Künstler, der einst eine artifizielle Sonne in der Turbinenhalle der Tate Modern aufgehen ließ, Bruchstücke des schmelzenden grönländischen Eisschildes vor deren Toren: 24 blaugrün schimmernde Findlinge, insgesamt 122 Tonnen weit gereistes Eis, die im milden Londoner Dezemberwetter langsam dahinschmolzen. Anlässlich der UN-Klimakonferenz im polnischen Katowice sollte Eliassons temporäre Intervention die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf das Problem des Klimawandels lenken. Zwei Jahre zuvor hatte das World Economic Forum, das in jährlichen Tagungen Handlungsempfehlungen an Industrie und Politik entwickelt, einen Blog-Beitrag des Künstlers publiziert. Unter dem Titel „Why Art Has the Power to Change the World“ formulierte Eliasson eine Art Glaubensbekenntnis an die transformative Macht unmittelbarer Erfahrung. Was uns sinnlich affiziere – so der Künstler –, rege zum Umdenken an und könne letztlich politisches Handeln in Gang setzen.²

Ob Kunst zur Impulsgeberin gesellschaftlicher Transformation werden kann, ist eine Frage, die sich gegenwärtig mit neuer Dringlichkeit und unter neuen Vorzeichen stellt. Unter dem Begriff „Anthropozän“ wird aktuell darüber diskutiert, ob die Menschheit den globalen Klimawandel noch aufhalten kann, bevor dieser irreversibel wird. Nachdem der Atmosphärenforscher Paul Crutzen den inzwischen allgegenwärtigen Begriff im Jahr 2000 auf einer Wissenschaftskonferenz vorgebracht hatte,³ ist er mit einer Verzögerung von etwa zehn Jahren auch von den verschiedenen Institutionen der Kunst und Kultur adoptiert und appropriiert worden, um dort seither produktive Unruhe zu stiften.⁴

- 1 „When we are touched, we are moved.“ Olafur Eliasson: Why Art Has the Power to Change the World, 18.01.2016, World Economic Forum, www.weforum.org/agenda/2016/01/why-art-has-the-power-to-change-the-world/ (Stand 5/2021).
- 2 „This is where art can make a difference. Art does not show people what to do, yet engaging with a good work of art can connect you to your senses, body, and mind. It can make the world felt. And this felt feeling may spur thinking, engagement, and even action.“ Ebd.
- 3 Paul Crutzen, Eugene Stoermer: The „Anthropocene“. In: IGBP Global Change Newsletter, Mai 2000, Nr. 41, S. 17–18. Der 2021 verstorbene Crutzen erhielt 1995 für seine Arbeiten zur Erforschung des Ozonlochs den Chemie-Nobelpreis. Von 1980 bis 2000 war er Direktor des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz.
- 4 Das Berliner Haus der Kulturen der Welt verwendet den Begriff seit 2013 als Teil seiner Programmgestaltung, zeitgleich mit dem Erscheinen zahlreicher Publikationen in Philosophie und Kunsttheorie. Darunter: Jill Bennett: Leben im Anthropozän. In: 100 Notizen – 100 Gedanken, 2013, Nr. 53, S. 18–35; Jürgen Renn, Bernd Scherer (Hg.): Das Anthropozän. Zum Stand der Dinge, Berlin 2015; Heather Davis, Etienne Turpin (Hg.): Art in the Anthropocene. Encounters Among Aesthetics, Politics, Environments and Epistemologies, London 2015.

Die kunst- und kulturtheoretischen Diskurse der vergangenen Jahre zeugen von einem Bemühen, globale Zusammenhänge in neuen Metaphern abzubilden. So hat der Philosoph Timothy Morton das, was in Komplexität und Größendimension menschliche Verständnishorizonte übersteigt, auf den Begriff „Hyperobject“ gebracht.⁵ Dieses zeige sich (im Sinne der *Object Oriented Ontology*) immer nur in ausschnitthaften Eindrücken, denn „jede ‚lokale Manifestation‘ eines Hyperobjekts ist nicht direkt das Hyperobjekt. [...] Hyperobjekte gehören zu einem vieldimensionalen Phasenraum, weshalb sie für Menschen über gewisse Zeiträume hinweg unsichtbar bleiben.“⁶ Mortons suggestive Wortprägung hat den Vorteil, dass sie die materielle Wirklichkeit neu denkbar macht, und zwar im Kleinen wie auch im Großen. Phänomene wie die Verseuchung der Weltmeere durch Mikroplastik werden in Relation gesetzt mit der Summe aller nuklearen Stoffe auf der Erde oder der Veränderung der gesamten Biosphäre. Als ein globales Problem erfordert die Klimakrise der Gegenwart kollektive Handlungsimpulse. Satellitenbilder schrumpfender Eiskappen oder Permafrostgebiete, Rekordzahlen zum Temperaturanstieg oder Artensterben und weitere alarmierende Zukunftsprognosen, die als tägliche Datenflut in die Öffentlichkeit gelangen, scheinen diese jedoch nicht zu zeitigen.

Die britische Schriftstellerin Daisy Hildyard sieht das Problem der Krisenbeschreibung auch darin, ökologisches Bewusstsein und Alltagsrealität in Einklang zu bringen. Das Erzählerinnen-Ich ihres Romans *The Second Body* (2017) erklärt: „Die Dinge, von denen ich weiß, dass sie wahr sind [...] fühlen sich nicht immer real an. [...] Ich will nichts vom Klimawandel oder der Biosphäre hören, mich interessieren *echte* Menschen, *echte* Lebewesen. Aber ich ahne, dass der Himmel sich verdüstert – der Horizont näher rückt – und ich achtgeben sollte. Denn eines Tages wird das jetzt noch ferne Schelfeis mitten durch die Fasern meines Körpers schneiden.“⁷ In *The Second Body* versucht die promovierte Wissenschaftshistorikerin das Konzept des mensch-

5 Morton hat den Begriff geprägt in: *The end of the Beginning: The future of Hyperobjects*. In: ders. (Hg.): *The ecological Thought*, Harvard/Maas. 2010, S. 130–135 und in: *Hyperobjects. Philosophy and Ecology after the End of the World*, Minneapolis/London 2013 weiter ausgearbeitet.

6 „[...] any ‚local manifestation‘ of a hyperobject is not directly the hyperobject. They involve profoundly different temporalities than the human-scale ones we are used to. [...] Hyperobjects occupy a high-dimensional phase space that results in their being invisible to humans for stretches of time.“ Morton: *Hyperobjects* (s. Anm. 5), S. 1.

7 „The things I know to be true, in an abstract sense: satellite images, shots of chromosomes, hydrocarbon spreadsheets – they don’t always feel real. [...] I find it hard to make myself much interested in this truth – it feels far off. I don’t want to hear about climate change or the biosphere, I want to hear about *real* people and *real* creatures. But there is a sense that the sky is getting dark and – the horizon is moving nearer – that I should be paying attention, because one day the distant ice shelf will come ripping through the tissue of my body [...].“ Daisy Hildyard: *The Second Body*, London 2017, S. 11–12.

lichen Körpers um einen global-empfundenen und artenübergreifend-entgrenzten „zweiten Körper“ zu erweitern.⁸ Indessen fragmentieren und polarisieren die von der digitalen Nachrichtenkultur erzeugten Filterblasen die gesamtgesellschaftlichen politischen Debatten. Der gesellschaftliche ‚Common Ground‘ schwindet – ein Phänomen, das die in den letzten Jahren erneut viel zitierte politische Philosophin Hanna Arendt einst als „Weltlosigkeit“ bezeichnet hat.⁹ Und so ist der diagnostizierte Klimawandel zugleich Spiegel einer krisenhaften Medienkultur, die kein gemeinsames Reales zu erzeugen vermag, über das vielstimmige politische Debatten geführt werden könnten.

Welche Potenziale birgt vor diesem Hintergrund die Kunst für die Rückgewinnung von ‚Welt‘? Einige ihrer Avantgarde-Bewegungen wollten Kunst in Lebenspraxis überführen, indem sie die Institution Kunst angriffen und den Werkbegriff destabilisierten – ein Projekt, das Peter Bürger für gescheitert erklärte. Doch gibt es auch Stimmen wie jene Hal Fosters, der in der radikalen Öffnung und selbstkritischen Wendung der Kunst seit den 1960er-Jahren eine Chance gesehen hat, die Ambitionen der historischen Avantgarde unter neuen Bedingungen zu realisieren.¹⁰ Denn grundsätzlich bieten die Künste weiterhin einen Raum für kritische Reflexion und Spekulation, in dem alternative Lebens- und Zukunftsentwürfe verhandelt werden können. Wie Paul Chan in *What art is and where it belongs* (2009) erklärt:

„Die Freiheit, die die Kunst in ihrer Entwicklung beanspruchte, nährte der Idee [...] dass wir die nötigen Ressourcen schaffen könnten, um uns gegen den Lauf der Dinge in der Welt zu organisieren – um die Welt umzulenken. Das war natürlich

- 8 „A human body is rarely understood to exist outside its own skin. [...] Climate change creates a new language, in which you have to be all over the place.“ Ebd., S. 13.
- 9 „Hannah Arendt coined a beautiful concept that describes the current situation we dwell in: worldlessness. If the word ‚world‘ is used to name the space of sociopolitical life, then to lose the world would mean to lose all the gains that have been made in the sociopolitical sphere, setting off all the dangers that this loss entails. Therefore, it seems mandatory, in this lack-of-world, to attempt to maintain the bonds between people, to preserve the decades of efforts dedicated to extending the social bond to nature. It is in this lack-of-world that we must try to reinvent the most important element necessary for this bond: a public realm.“ Julieta Aranda, Chus Martínez, Markus Reymann: Editorial. In: e-flux Journal, Oktober 2020, Nr. 112, online unter: www.e-flux.com/journal/112/355601/editorial/ (Stand 5/2021).
- 10 Foster erkennt dieses Potenzial insbesondere in der Strömung der Institutionskritik, welche er als eine ‚zweite Neo-Avantgarde‘ bezeichnet: „Rather than cancel the project of the historical avant-garde, might the neo-avant-garde comprehend it for the first time? I say ‚comprehend‘, not ‚complete‘: the project of the avant-garde is no more concluded in its neo moment than it is enacted in its historical moment. In art, too, creative analysis is interminable.“ Hal Foster: What’s Neo about the Neo-Avant-Garde? In: October, 1994, Nr. 70, S. 5–32, hier S. 16.

eine lächerliche Idee. Aber in der Kunst sind die einzigen Ideen, die es wert sind verwirklicht zu werden, die abwegigsten.“¹¹

Die Zeichen stehen günstig: Einer Kunst, die mediale und materielle Grenzen weitgehend abgeworfen hat, steht ein unvergleichliches Arsenal von Methoden und Techniken zur Verfügung, auf ein krisenhaftes Reales zu verweisen. Das schmelzende Eis – genauer: das Eis der Polarzonen – könnte ein Sinnbild dafür abgeben; in jüngeren Arbeiten Olafur Eliassons, Willem de Rooijs und Susan Schupplis wird es zum Gegenstand eines solchen Unterfangens gemacht. Auf der anderen Seite geben die Medien und Rezeptionsstrategien, die dabei zum Einsatz kommen, sehr unterschiedliche Antworten auf die Frage, welche Art von Kunst die Menschheit heute zu retten vermag.

Olafur Eliasson: Ice Watch

Eliassons mehr als mannshohe Eisbrocken waren von seinem Team und dem Geologen Minik Rosing aus dem Nuup Kangerlua Fjord gefischt und in Kühlcontainern per Schiff von Grönland nach London transportiert worden. **Abb. 1** Nach zehn Tagen waren von diesem organisatorischen Großeinsatz nur noch ein paar Pfützen übrig. Das in seinen Aggregatzuständen instabile Material machte einen Wechsel von Präsenz zu Absenz erfahrbar. Das Wissen um Herkunft und Alter des sogenannten ‚ewigen Eises‘ verlieh der Schmelze dabei eine gewollte Tragik. Der Kälte-Hauch der dislozierten Objekte (als *Readymades*) sollte eine Kontaktaufnahme zu einer räumlich entfernten Realität herstellen. *Ice Watch* schuf eine ungewöhnliche, überraschende Situation, die das Publikum mit den Objekten in spielerische Interaktionen treten ließ – wie die vielen Pressefotografien der Aktion lebhaft dokumentieren. Menschen aller Generationen betrachteten, betasteten, und schmiegteten sich an die kristallinen Findlinge.¹² Berührungsgängste mit der Kunst sind bei Eliasson im wahrsten Sinne des Wortes aufgehoben.

11 „The freedom art potentiated in the development of its own realization gave substance to the idea [...] that we too could create the inner resources necessary to organize ourselves against the general drift of the world, in order to redirect it. It was in reality a ridiculous idea. But in art, the only ideas worth realizing are the truly untenable ones.“ Paul Chan: What Art Is and Where it Belongs. In: *e-flux Journal*, November 2009, Nr. 10, online unter: www.e-flux.com/journal/10/61356/what-art-is-and-where-it-belongs/ (Stand 5/2021).

12 Olafur Eliasson: *Ice Watch*, 2014. Auf seiner Internetseite schreibt Eliasson über die CO₂-Bilanz der Aktion, dass sie auf 35 Tonnen berechnet worden sei; dies sei zwar eine Menge, andererseits aber könne man damit nur 33 Personen von London nach Nuuk und zurück fliegen, um ihnen die Situation vor Ort zu zeigen. Vgl. Andrea Seliger: *Ice Watch bringt den Klimawandel nach London*, 11.12.2018, polarkreisportal.de, <https://polarkreisportal.de/ice-watch-bringt-den-klimawandel-nach-london> (Stand 5/2021). Die Londoner Installation des Jahres 2018 war nach Kopenhagen (2014) und Paris (2015) die dritte Iteration des Werks.



1: Harvesting Ice floating in Nuup Kangerlua, Greenland, for Ice Watch in Copenhagen, 2014.

Selten erreicht Gegenwartskunst ein solches Massenpublikum. Mit 600.000 Followern auf Instagram (mehr als Jeff Koons!) kommt das Studio Eliasson einem solchen nahe. Sollte ein Kunst-Spektakel der Marke Eliasson – wenn es um die gesellschaftliche Wirkmacht der Kunst geht – Vorbildfunktion haben?

In seiner skulpturalen Form und gesellschaftskritischen Intention steht das Werk *Ice Watch* in der Tradition der *Scatter Pieces* der Minimal und Land Art, der dynamischen Materialität der Arte Povera und der Aktionen der Fluxus-Bewegung. Naheliegender scheint insbesondere der Bezug zu *Fluids*, einem der bekanntesten Happenings Allan Kaprows, das vielfach nachinszeniert wurde. Wie *Ice Watch* bediente sich auch das 1967 erstmals realisierte Happening der ephemeren Materialität Eis für eine Intervention im öffentlichen Raum. In einer gemeinsamen Kraftanstrengung wurden von einer Gruppe von Freiwilligen an mehreren Orten der Stadt Los Angeles rechteckige Umfriedungen (die Grundform eines Hauses) aus Eisblöcken gebaut. Von den für kurze Zeit in der Abenddämmerung schimmernden Strukturen blieben nur einige Fotografien erhalten. Es ist inzwischen auch etwas in Vergessenheit geraten, dass die gewählten Orte der Aktion Schlaglichter auf neuralgische Punkte in der soziopolitischen Topografie der Stadt werfen sollten, deren Entwicklung bis heute maßgeblich in den Händen privater Investoren liegt.

Wie *Ice Watch* operierte auch *Fluids* an der Schnittstelle von Kunst, Politik und Alltagsleben; jedoch blieben Eliassons ästhetische Entscheidungen deutlich moder-

nistischer, und zwar nicht nur hinsichtlich der körperlichen Erfahrung ‚spezifischer‘ dinglicher Gegenüber, wie sie die Minimal Art zelebriert hat, sondern auch in seinen wiederholten Rekursen auf die Kategorie des ‚Sublimen‘. Eliasson mag nur einige Brocken des ‚ewigen Eises‘ nach London geschafft haben. Dennoch vermochten sie als Splitter undenkbarer Zeitdimensionen zu figurieren.

Auch Mortons Hyperobjekte evozieren die Schauer des Sublimen – und so ist es sicher kein Zufall, dass sein Buchcover ein Eisberg zielt. Morton zufolge sprengte die Violdimensionalität der Hyperobjekte in Zeit und Raum sogar den Rahmen jener Natur-Erfahrungen, mit denen der Begriff im 18. Jahrhundert assoziiert war.¹³ In *A Philosophical Enquiry into the Origin of our Ideas of the Sublime and Beautiful* (1757) identifizierte Edmund Burke das Sublime einst als den Effekt eines „riesigen, unendlichen, formlosen, machtvollen, rauen oder finsternen Objekts“.¹⁴ Immanuel Kant identifizierte den Wahrnehmungseffekt des Erhabenen danach als eine Erfahrung physischer Ohnmacht und des Scheiterns der Vorstellungskraft. Wenn es um eine Reflexion über die Gefahren des Anthropozän geht, erscheint ein Rekurs auf die Kategorie des Sublimen naheliegend. Doch haben sich die (Macht-)Verhältnisse seit Caspar David Friedrichs *Eismeer* (1824), das den Menschen noch angesichts einer übermächtigen Natur zur Demut mahnte, deutlich geändert. Im Zeichen des Anthropozän werden heute, da der Mensch selbst zum Agens geologischer Transformation geworden ist, alte Vorstellungen von ‚Natur‘ oder ‚Schöpfung‘ revidiert. So stellt sich die Frage: Können die rezeptionsästhetischen Effekte des Sublimen heute noch für eine konstruktiv-kritische, politische Kunst dienstbar gemacht werden?

Kunst, so wurde vielfach (und nicht zuletzt auch von Eliasson) behauptet, operiere in einem Register jenseits der Vernunft – näher an Sinnlichkeit und nichtsprachlichem Verstehen. *Ice Watch* suchte die Komplexität des Klimawandels in den Körper eines einfachen, konkreten Objekts zu bannen. Das Werk arbeitete dabei mit den für Readymade-Strategien typischen Effekten der Überraschung und Unmittelbarkeit. Im Folgenden soll besonders Eliassons Emphase der ‚Berührung‘ vergleichend in Frage gestellt werden. Zwischen Willem De Rooijs *I'm Coming Home in Forty Days* (1997) und Susan Schupplis *Learning from Ice* (2019) liegen rund zwanzig Jahre; sie stehen damit zugleich für den Übergang von den archivarischen Projekten der 1990er-Jahre zur neuen ‚Kunst des Anthropozän‘.

13 „Hyperobjects invoke a terror beyond the sublime.” Morton: *The End of the Beginning* (s. Anm. 5), S. 131.

14 Vgl. Johannes Grave: *Das Erhabene*. In: Ulrich Pfisterer (Hg.): *Metzler Lexikon Kunstwissenschaft. Ideen, Methoden, Begriffe*, Stuttgart 2011, S. 113–117, hier S. 114.



2: Willem de Rooij: *I'm Coming Home in Forty Days*, 1997. 16mm film, color, optical sound, 15'.

Willem de Rooij: *I'm Coming Home in Forty Days*

Im Jahr 1997 begab sich Willem de Rooij zusammen mit seinem Kooperationspartner Jeroen de Rijke auf ein Boot, um einen riesigen Eisberg in einer einzigen Kameraeinstellung abzufilmen. **Abb. 2** Die Kamera selbst blieb statisch, während das Boot in langsamer Fahrt am weißen Massiv des Eisbergs vorbeiglitt. In der Betrachtung des Films dehnen sich die fünfzehn Minuten, die es dauert, den Koloss zu umschiffen, zu einer kleinen Ewigkeit. Nichts passiert; die Kamera schaukelt gelegentlich auf sanften Wogen. Die Bewegung im scheinbaren Stillstand ist ereignislos und zugleich entrückend schön. In den blassen, changierenden Farben der Dämmerung scheint das stille Objekt zwischen Himmel und Meer aus nicht viel mehr zu bestehen als Licht und Wasser, eine flüchtige Impression, die an die Heuhaufen auf den Feldern von Giverny erinnert, die Claude Monet in wechselnder Witterung gemalt hatte. Die Betrachtung des Films ist in erster Linie eine Erfahrung von Dauer, Entschleunigung und Innehalten.

Die intrinsischen Eigenschaften des Mediums hervorkehrend, inszeniert *I'm Coming Home in Forty Days* sein Sujet als Phänomen in Raum und Zeit.¹⁵ Im Unterschied zu Eliasson, der sein arktisches Eis in einem Großeinsatz von Grönland nach London transportiert, liegt der Eisberg in de Rooij's Arbeit nur vermittelt vor. Erzeugt

¹⁵ Jeroen de Rijke, Willem de Rooij: *I'm Coming Home in Forty Days* (Grönland 1997), 16mm, Farbe, Ton, 15 min.

er daher verminderte Realitätseffekte? Seit Roland Barthes seine Gedanken zur fotografischen Indexikalität in *Die helle Kammer* (1980) ausformuliert hatte, beansprucht der Analogfilm die Glaubwürdigkeit einer Spur. Ende der 1990er-Jahre waren Analogfilme zwar längst von Videokameras abgelöst worden, doch stellen Kunsthistorikerinnen wie Claire Bishop fest, dass obsolet werdende Medien um die Jahrtausendwende vielfach künstlerisch appropriiert worden sind.¹⁶ Vergleichbar mit de Rooij wird Analogfilm auch in den Arbeiten Tacita Deans zum Medium einer Spurensicherung, die Hal Foster unter dem Stichwort „archival impulse“ zusammengefasst hat.¹⁷ Wenn de Rooij seinen Eisberg also im Jahr 1997 auf analoge Filmstreifen bannt, dann handelt es sich um eine konzeptionelle Entscheidung. In unscharfen Konturen und verwaschenen Farben inszeniert der Einsatz des 16-Millimeter-Films eine Präsenz, die über ihren Verlust nicht hinwegtäuschen kann.

Als Willem de Rooij in der Bucht von Ilulissat (der Name der grönländischen Stadt bedeutet wörtlich übersetzt „Eisberge“) besagte Aufnahme machte, konnte der Künstler nicht wissen, dass der weiße Koloss bald verschwunden sein und Kooperationspartner Jeroen de Rijke 2006 in jungen Jahren versterben würde. Diese Erfahrung wurde zur Rahmenerzählung einer Einzelausstellung von 2017 in den Berliner Kunstwerken.¹⁸ *I'm Coming Home in Forty Days* trat dabei in Dialog mit einer neueren Werkgruppe, welche 2014 bei de Rooijs Rückkehr nach Ilulissat entstanden war. Die Installation schob auf diese Weise zwei Zeitschichten ineinander in einem gemeinsamen, bewegten Erinnerungsbild. In den langen Pausen zwischen den Filmscreenings wirkten die weißen Räume des Museums weitgehend leer – gelegentlich durchhallt nur vom Heulen der Schlittenhunde, die der Künstler bei seinem zweiten Besuch in Ilulissat aufgezeichnet hat.¹⁹

Im Vergleich zu dem in drei Metropolen gereisten Kunst-Event *Ice Watch* scheinen die Werke de Rooijs zur Meditation einzuladen. Doch verankern Eliasson wie auch de Rooij die Schmelze des Polareises im Erfahrungsraum menschlicher Biografien und machen sie dadurch in einem menschlichen Maßstab fassbar. Beide Arbeiten sind Kontemplationen auf Zeit und Vergänglichkeit, geben eine Ahnung von den Dimensionen geologischer Tiefenzeit und verlassen die Zeitzonen und Wahrnehmungshorizonte des Alltagslebens. Offen bleibt allerdings, ob oder wie die in den Werken angelegte Rezep-

16 Vgl. Claire Bishop: The Digital Divide. In: Artforum International, 2012, S. 434–442, hier S. 436.

17 Vgl. Hal Foster: An archival impulse. In: October, Herbst 2004, Nr. 110, S. 3–22.

18 Willem de Rooij: Whiteout, KW Institute for Contemporary Art Berlin, 14. September – 17. Dezember 2017.

19 Willem de Rooij: Ilulissat, 2014, 12-Kanal-Digital-Audioaufnahme, Installation mit zwölf Lautsprechern.

tionshaltung ihr Publikum zu aktivieren vermag: Bleiben hier nicht die alten Narrative intakt, die sich einst um den Topos Arktis rankten? In die Wehmut (oder gar Nostalgie) über den Verlust eisiger Unschuld mischt sich ein seltsamer Exotismus. Eliassons Eisbrocken wie auch de Rooijs Film lesen sich als Souvenirs eines vergangenen Weltbildes ohne Gegenentwurf, in ihnen wird das Verschwinden besichtigt. Bruce Robbins problematisiert diese Haltung in seinem Artikel „The Sweatshop Sublime“ (2002) als resignativen Effekt der Erkenntnis des ‚großen Ganzen‘: „Unsere plötzliche, berauschende Einsicht in globale Zusammenhänge korreliert nicht mit einem Zugang zu Handlungsmacht im globalen Maßstab.“²⁰ Das Gefühl der Erhebung, das die sublime Kunsterfahrung beschert, führt zur Weltabkehr und lässt sich nicht in Handlungsmacht übersetzen. Paralyse und Akzeptanz, so Robbins, sind die Kehrseite des Erhabenen.

Susan Schuppli: *Learning from Ice*

Das dritte vorgestellte Werk schlägt die Brücke von den Spurensicherungs-Projekten der 1990er-Jahre zur künstlerischen Forschung der Gegenwartskunst. Susan Schupplis Projekt *Learning from Ice* rückt ab von melancholischen Kontemplationen und erschließt Eis als ein epistemisches Objekt.²¹ ▶ **Abb. 3** Die Videoarbeit eröffnet mit einem Blick in die sterilen Räume eines Labors, in dessen Regalen silberne Metallzylinder lagern. Vorsichtig entnehmen Hände in dicken Handaschuhen (es ist kalt!) einem der Zylinder ein in Plastik versiegeltes Material. In Nahaufnahmen folgt Schupplis Kamera dem Spiel routinierter Handgriffe, die aus dem unscheinbaren Material transparente Eisprismen schneiden. Ein Teil der Probe wandert in eine Ampulle, ein anderer unter ein Infrarot-Mikroskop. Etwas wird sichtbar. Eine Stimme aus dem Off verkündet, dass sich die Handlung im Archiv der Canadian Ice Core Collection abspielt. Die Rede ist von Budgetkürzungen, die noch 2011 die Existenz der Forschungseinrichtung bedroht hätten. *Learning from Ice* handelt nicht von persönlichen oder kulturell überlieferten Erinnerungen, sondern von Erinnerungsspuren, die das Eis selbst in sich trägt, als kleine Blasen atmosphärischer Luft, die zu unvorstellbaren Zeiten eingeschlossen wurden.

Am Grund der Eisschilde Grönlands und der Antarktis befinden sich Eisschichten, die vor mehr als hunderttausend Jahren entstanden. Das älteste Eis der Canadian Ice Core Collection ist 80.000 Jahre alt. Als Zeitindex zur Eichung aller Proben hat sich eine radioaktive Signatur etabliert, die auf das Jahr des internationalen Atomteststoppabkom-

20 „Yet at the same time this insight is also strangely powerless. Your sudden, heady access to the global scale is not access to a commensurate power of action on the global scale.“ Bruce Robbins: *The Sweatshop Sublime*. In: PMLA, Januar 2002, Nr. 117, S. 84–97, hier S. 85.

21 Susan Schuppli: *Learning from Ice. Part I: Ice Cores*, 2019 Kanadische Arktis, Spitzbergen-Archipel und Hindukusch-Himalaya, Video, 66 min.



3: Ice berg in the Olgastretet (Olga Strait), Svalbard. „Learning from Ice: Svalbard Arctic Archipelago“, dir. Susan Schuppli, HD video, colour with sound, 2021, 26:15 mins.

mens zurückgeht.²² Quer durch die Eisschichten, welche durch Bohrungen in Gletschern und arktischem Eis gewonnen werden, lassen sich steigende Konzentrationen der Treibhausgase Kohlenstoffdioxid und Methan nachweisen. Wie Schuppli weiter erhellt, enthalten die kleinen atmosphärischen Ablagerungen, die das Eis für die Nachwelt eingefangen hat, außerdem Schwebstoffteilchen wie Asche, extraterrestrischen Staub, Pollen und mitunter auch urzeitliche Mikroben. Ein Forscher berichtet von überraschenden Funden wie Staub der Wüste Gobi in Eisproben des kanadischen Mount Logan. Weniger überraschend mögen die Mikroplastikfunde sein, welche die jüngsten Proben kennzeichnen.

Susan Schupplis einstündiger Filmessay ist ein Plädoyer für die Schutzwürdigkeit eines Archivs, welches unmittelbare Aufschlüsse über die klimatischen Veränderungen unseres Planeten zu geben vermag. Angesichts schmelzender Gletscher drohen diese Information heute für immer verloren zu gehen.²³ *Learning from Ice* ist Teil eines mehrjährigen Projekts, das die Art und Weise untersucht, in der unterschiedliche Wissenspraktiken die Veränderungen der Arktis aufzeichnen und auf die beschleunigte globale Erwärmung reagieren. Als eine der neuesten Arbeiten Schupplis führt das Projekt ein operatives Konzept fort, das sie als *Material Witness* bezeichnet; 2020 erschien ihr gleich-

22 Allein die USA ließen bis zum internationalen Abkommen zum Verbot oberirdischer Atomtests im Jahr 1963 über zweihundert Atom- und Wasserstoffbomben in der Atmosphäre detonieren.

23 Schuppli nennt hier das Unesco Ice Memory Project, welches seit 2017 gezielt Proben besonders gefährdeter Gletscher extrahiert.

namiges Buch. Schupplis These zufolge wohnt jeglicher Materie – als einer stummen, nichtmenschlichen Akteurin – latente Zeugenschaft inne. So werden die Bestände der Canadian Ice Core Collection in der Arbeit Schupplis zum Teil einer Beweisführung hinsichtlich der ‚Wirklichkeit des Klimawandels‘. In einer wissenschaftskritischen Wendung reflektiert die Künstlerin aber zugleich das, was sie den „event of evidence“ nennt: Welchen Formen der Zeugenschaft weisen unsere epistemischen und juristischen Verfahren Gültigkeit zu?²⁴ „Es gibt eine lange Geschichte von Beobachtungen“, so Schuppli in einem Interview, „die Teil der Lebenswelt indigener Völker waren. Doch die Methoden zur Aufzeichnung dieser Geschichten – z. B. mündliche Überlieferungen – wurden von Klimaforschern bis vor Kurzem noch nicht als relevantes Wissensreservoir anerkannt.“²⁵

Schupplis Arbeit ist ein Beispiel dafür, wie künstlerische Forschung heute zu einer konstruktiven Kritik der Wissenschaften beitragen kann. Als Leiterin des Centre for Research Architecture an der Londoner Goldsmith University und als Mitglied der Agentur Forensic Architecture trägt die Künstlerin zur Weiterentwicklung entsprechender Methoden bei, die vor etwa zehn Jahren begonnen haben, sich als *Artistic Research* mit vermehrten Gründungen von Doktorats-Studiengängen und Graduiertenkollegs institutionell zu verankern.²⁶ In seinem Artikel „Künstlerische Forschung: Anatomie einer Konjunktur“ (2011) führte Tom Holert den Trend auf Prozesse der späten 1990er-Jahre zurück, in denen ein fortzuschreibender konzeptkünstlerischer Kanon das Kunststudium dominierte. Tatsächlich wurde die Idee der „künstlerischen Forschung“ bereits in den 1960er-Jahren von Allan Kaprow formuliert, wie Holert (Nam June Paik zitierend) erinnert:

„Seit 1964 predigt Allan Kaprow, dass reine Forschung [pure research] in Kunst und Kunstausbildung wie in jedem anderen akademischen Feld vorangetrieben werden sollte; es müsse ein Avantgarde-Think-Tank [!] in Bewegung gesetzt werden, um die oft allzu vorsichtige akademische Gemeinschaft zu beleben.“²⁷

24 Vgl. Susan Schuppli: *Material Witness. Media, Forensics, Evidence*, Cambridge/Mass./London 2020, S. 3.

25 „There is a long history of observations that have been part of the life-worlds of indigenous people, but the methods for recording these histories and the accounts given in customary practices – such as oral traditions – haven’t been regarded as a significant repository of knowledge by climate change scientists until quite recently.” Susan Schuppli, zit. nach Emma McCormick-Goodhart: *Artist-Researcher Susan Schuppli on her new book Material Witness*. In: *Pinup Magazine*, 2020, online unter: <https://pinupmagazine.org/articles/interview-susan-schuppli-material-witness-media-forensics-evidence> (Stand 5/2021).

26 2010 Gründung des „Ph.D in Practice“, Akademie der Bildenden Künste Wien. 2012 Gründung des DfG-Graduiertenkollegs „Das Wissen der Künste“, Universität der Künste Berlin.

27 Nam June Paik, zit. nach Tom Holert: *Künstlerische Forschung: Anatomie einer Konjunktur*. In: *Texte zur Kunst*, Juni 2011, Nr. 82, S. 38–63, hier S. 39. Vgl. Tom Holert: *Art*. In: Rosi Braidotti, Maria Hlavajova (Hg.): *Posthuman Glossary*, London/New York 2018, S. 59–62.

Hito Steyerl und Maria Lind sprechen vom Aufkommen neuer dokumentarischer Modi insbesondere seit 1989, welche ein Ausdruck der neuen gesellschaftlichen Notwendigkeit seien, „das Reale zu berühren“ und innerhalb einer zunehmend privatisierten und fragmentierten globalen Umgebung einen Diskursraum zu schaffen“. ²⁸ Wegweisend hierfür waren die Sozialstudien Allan Sekulas (1951–2013) und die Filmessays Harun Farockis (1944–2014). Der didaktische Stil etwa des Agitprop-Films *Nicht löschesbares Feuer* ²⁹ (Farockis Kritik des Vietnamkriegs, welche seine passiv mitschuldig werdenden Zuschauer zum Handeln aufforderte) lebt gewissermaßen in Schupplis *Learning from Ice* fort.

Fazit: Realitätseffekte

„Ice Watch macht die Herausforderungen des Klimawandels greifbar“ ³⁰ – mit diesen Worten warb Eliasson für die politische Wirksamkeit seiner Aktion. Um die gesellschaftliche Entfremdung von wissenschaftlich gewonnenen ‚abstrakten Daten‘ zu überwinden, wählt Schuppli eine Methode der Aufklärung. Daten werden – mit didaktischen Methoden – rückgebunden an nachvollziehbare Arbeitsschritte. Die Künstlerin führt dazu in die zunächst obskuren Orte der Wissensgewinnung: Räume voller PVC-Streifenvorhänge, bulliger Apparaturen und Trockeneis verströmender Rohrsysteme – am Ende des Films sind uns ihre Funktionen vertraut. Die Rolle der Menschen in diesen Architekturen ist es dabei nicht nur, die Handgriffe und Verfahren zu erklären, durch die das Material Eis zum Sprechen gebracht wird. Edward Brook, Professor für Paläoklimatologie, hat vielmehr beschrieben, wie sich seine Wahrnehmung im Verlauf seiner Beschäftigung mit dem Material verändert hat: Von einer Faszination für das geborgene Eis – das glitzernde Konfetti kleiner Blasen lässt sich mitunter mit bloßem Auge erkennen – hin zu den vieldimensionalen Informationen, die das Material im Prozess seiner Zerstörung freisetzt. Es ist ebendieser Perspektivwechsel, der sich in der Rezeptionserfahrung der Arbeit *Learning from Ice* nachvollziehen lässt: Nicht mehr mit naiven Augen zu schauen, selbst wenn sich der Blick gegen Ende des Films auf dem Weißgrau und Weißtürkis einer alpinen Schneewüste ausruhen darf.

28 Maria Lind, Hito Steyerl: Introduction. Reconsidering the Documentary and Contemporary Art. In: dies. (Hg.): *The Greenroom. Reconsidering the Documentary and Contemporary Art*, Berlin 2008, S. 8–27, hier S. 14.

29 Harun Farocki: *Nicht löschesbares Feuer* (BRD 1969), 16mm, s/w, 25 min.

30 Eliasson, zit. nach Nina Azzarello: *Olafur eliasson moves 100 tonnes of ice to copenhagen to visualize climate change*. In: *Designboom*, 2014, online unter www.designboom.com/art/olafur-eliasson-ice-watch-project-climate-change-greenland-copenhagen-10-24-2014/ (Stand 5/2021).

Bildnachweis

Titelbild und Umschlag: © 2011 F. Dehghani, S. Serke.

Editorial: Gemeinfrei.

Chichester: 1–3+5–9+11: Gemeinfrei. 4: Aus: Botschaft von Japan. Ein modisches Motiv – inspiriert vom Mikroskop Schneekristalle als Modetrend der Edo-Zeit. In: Neues aus Japan. Kultur, 2017, Nr. 147(2), S. 2. 10: Archiv der Autorin.

Schiffler: 1: SIK-ISEA Zürich, © D. Thalmann, Aarau, Switzerland.

Gavroglu: 1: Gemeinfrei.

Reinders: 1: Aus: Goran Perinić et. al: Introduction to Cryogenic Engineering, 5.–9.12.2005, CERN, <https://www.slac.stanford.edu/econf/C0605091/present/CERN.PDF> (Stand 10/2021). 2: © Kamerlingh Onnes Laboratorium, Leiden University. 3+4: Gemeinfrei.

Rheinberger: 1: Archiv des Autors. 2: Aus: Gene und Menschen. 50 Jahre Forschung am Max-Planck-Institut für molekulare Genetik, Berlin 2014, S. 51. 3: Ebd.: S. 59. 4: Aus: Bruce Alberts, Dennis Bray, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, James D. Watson: Molecular Biology of the Cell. 3. Ausg. New York/London 1994, dort Abb. 4-26. 5: Aus: Ebd. Abb. 4-30.

Gerling: 1–4: Gemeinfrei. 5: Aus: Mark J. P. Wolf: Space, Time, Frame, Cinema – Exploring the possibilities of spatiotemporal effects. In: New Review of Film and Television Studies, 2006, 4 (3), S. 172. 6: Ebd.: S. 167. 7: Montage des Autors. 8: Tim Macmillan via Pinterest, <https://nl.pinterest.com/pin/314407617706310239/> (Stand 10/2021). 10: Aus: NVIDIA GeForce: Pro Evolution Soccer 2018 with NVIDIA Ansel - Capture the beautiful game from any angle, 21.8.2017, 0:58min., TC: 0:28, <https://www.youtube.com/watch?v=KezUgodwKmA> (Stand 10/2021). 11: Aus: marceyb: Orange advert Chris Cunningham, 3.1.2007, 0:40 min., TC: 0:12.

Müller-Helle: 1: © Via Lewandowsky, Fotoserie mit Texten von Durs Grünbein, mehrteilig, fortlaufend, 42 cm × 59,4 cm. 2+4+6+8+9: © Via Lewandowsky. 3: © Via Lewandowsky, Foto: Thomas Bruns. 5: Infografik „Der Monobloc. Evolution und Typen“ (Ausschnitt), aus der Publikation Atlas des Möbeldesigns, 2019, hg. vom Vitra Design Museum, © Vitra Design Museum. 7: picture-alliance/ dpa / Andreas Gebert.

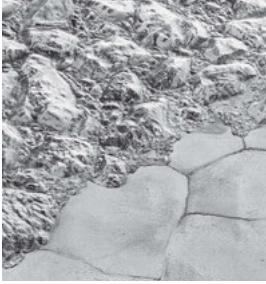
Homann: 1: Aus: Giuseppe Reichmuth, <https://www.giuseppereichmuth.ch/bilder/bilder-1970.html?index=1&cHash=56a902a839bb4b09abc2201fecb943f6> (Stand 10/2021). 2: Illustration: Miriam Migliazzi & Mart Klein. 3: Illustration: Javier Jaén.

Weinstock: 1–3: Mit freundlicher Genehmigung der Künstler sowie der Künstlerin.

Bildtableau I: 1: Klassik Stiftung Weimar, Bestand Gärten. 2: Foto: Shirin Weigelt. 3: picture alliance / REUTERS / JEFF TOPPING. 4: Foto: Pastaitaken, CC BY-SA 3.0, o.Änd. 5: Gemeinfrei. 6: Aus: Tobias Beck: Lasersystem zur Kühlung relativistischer C3+-Ionenstrahlen in Speicherringen. Darmstadt 2015, S. 56, CC-BY-NC-ND 3.0 International, o.Änd. 7: © My Favorite, 2019. 8: Foto: Alexander Klepnev, CC BY 4.0, o.Änd. 9: Ed Hawkins, CC BY 4.0, o.Änd. 10: Gemeinfrei. 11: © Hengame Hosseini. 12: Gemeinfrei. 13: rupp.de, CC BY-SA 3.0, o.Änd. 14: Foto: Zirbus technology GmbH – www.zirbus.de. 15: Gemeinfrei. 16: © 2021 Carrier. 17: Gemeinfrei. 18: Gemeinfrei. 19: Cussons International, CC BY-NC-SA 4.0, o.Änd. 20: Wellcome Collection, CC BY 2.0, o.Änd. 21: Gemeinfrei. 22: © 2021 Carrier. 23: MECOTEC GmbH, CC BY-NC-ND, o.Änd. 24: Gemeinfrei. 25: © 2020 Reproductive Care of Indiana.

Bildtableau II: 1: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute. 2: Miss Sarah Marshall, CC BY-NC-SA 4.0, o.Änd. 3: Gemeinfrei. 4: Gemeinfrei. 5: © ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO, o.Änd. 6: Peter Nussbaumer, CC BY-SA 3.0, o.Änd. 7: © LMU und MPQ München. 8: © Rita Mantarro, National Geographic My Shot. 9: Gemeinfrei. 10: © 2000 University of Kansas Medical Center. 11: © 2021 Carrier. 12: © Philippe Braquenier. 13: © Verein für Geschichte der Stadt Wien, 2021. 14: © Wohlhöfner. 15: © Technisches Museum Wien. 16: © National Science and

Media Museum. **17:** ©Gudrun Schlemmer. **18:** © TKOR. **19:** ©WonderHowTo. **20:** © Encycolorpedia. **21:** Pioneer Family Brands, CC BY-SA 3.0, o.Änd. **22:** Gemeinfrei. **23:** Mit freundlicher Genehmigung von Julien Bobroff. **24:** Gemeinfrei. **25:** © Boehringer Ingelheim.



1



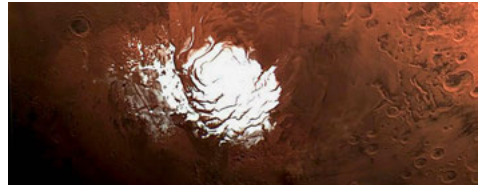
2



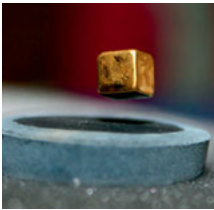
3



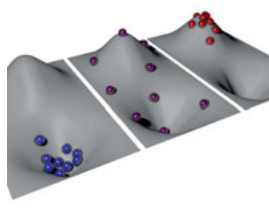
4



5



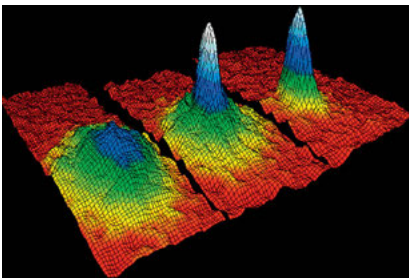
6



7



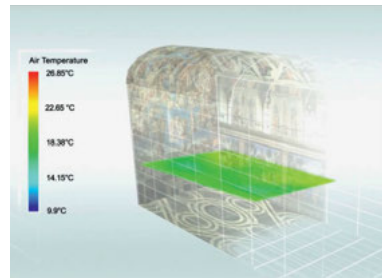
8



9



10



11

1: Long Range Reconnaissance Imager: Fester Stickstoff und Eiswasserberge im Becken Sputnik Planitia auf dem Pluto, 2015. 2: Unbekannt: Eishöhle im Rosenlauer-Gletscher, Fotografie, zweite Hälfte 19. Jh. 3: Luftaufnahme der Gauß, Fotografie, 29.03.1902. 4: Unbekannt nach Charles Francis Hall: Inuitdorf Oopungnewing, in der Nähe von Frobisher Bay auf Baffin Island, Buchillustration, ca. 1865. 5: ESA: Blick auf die Eiskappe am Südpol des Mars, 2020. 6: Magnet über Supraleiter. 7: Temperatur als Murnelspiel, Illustration der Boltzmann-Verteilung, CGI, 2013. 8: Rita Mantarro: Blue Lagoon, Fotografie. 9: JILA: Bose-Einstein-Kondensation von Rubidium, CGI, 1995. 10: Santorio Santorio: Thermometer, Holzschnitt, 1625. 11: Carrier: Keeping History Cool, Video-Still, 2:09 min., TC: 1:30, 2019.



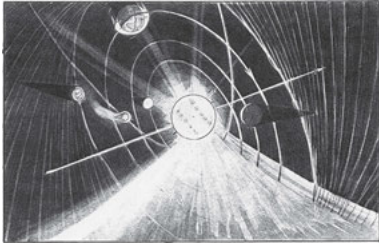
12



13



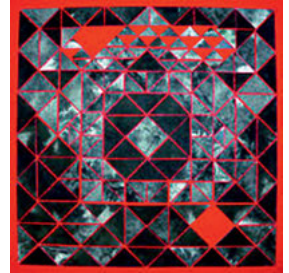
14



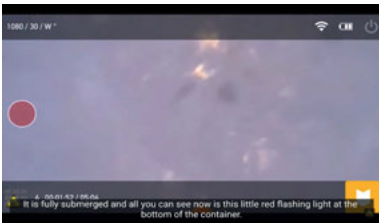
15



16



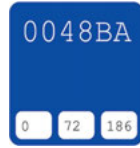
17



18



19



20



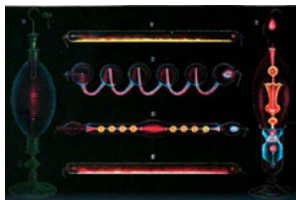
21



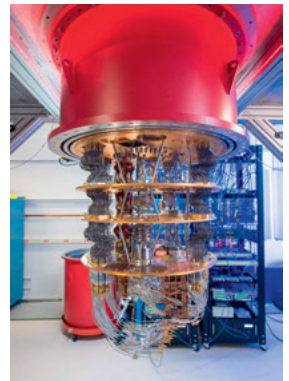
23



22



24



25

12: Philippe Braquenier: Palimpsest 004.383.2, Wikileaks (Pionen Data Centre), Stockholm, Sweden. 13: Hans Glück: Kühl- und Gefrierhaus St. Marx, Film-Still, 16:59 min., TC: 2:45, 1942. 14: Wohlhöfner: Kühlschrankswerbung, 1954. 15: Welteislehre: Sonnensystem mit Eisschleiertrichter nach Hanns Hörbiger, 1913. 16: William Notman: Ice Cutting on the St. Lawrence River, Fotografie, 1860. 17: Gudrun Schlemmer: Komposition auf Rot, 2013. 18: TKOR: Will A Recording GoPro Survive Liquid Nitrogen?, Video-Still, 12:19 min., TC: 2:14, 2016. 19: Mike Walker: Leidenfrost effect, 2010. 20: „Absolute Zero“ mit hexadezimalen Farbcodes #0048ba. 21: Tropical Sno: Shaved Ice, 2014. 22: Magdeburger Halbkugeln, Stich aus Otto von Guericke's „Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio“, 1672. 23: Vulgarization: liquid nitrogen: shrink fit, Video-Still, 1:03 min., TC: 0:31, 2017. 24: Geißleröhre, Farbzeichnung aus Augustin Privat-Deschanel: Traité Élémentaire de Physique, 1869. 25: Google: Quantencomputer, 2019.

Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Matthias Bruhn

Staatliche Hochschule für Gestaltung Karlsruhe

Katharina Lee Chichester, M.A.

Doktorandin an der Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Kostas Gavroglu

Professor für Wissenschaftsgeschichte, Nationale und Kapodistrias-Universität Athen

Prof. Winfried Gerling

Professor für Konzeption und Ästhetik der Neuen Medien, Fachhochschule Potsdam

Dr. Andreas Homann

Pestalozzi-Gymnasium Unna und Lehrerfortbildungszentrum der Technischen Universität Dortmund

Dr. Katja Müller-Helle

Leiterin der Forschungsstelle Das Technische Bild am Institut für Kunst- und Bildgeschichte/
Hermann von Helmholtz-Zentrum für Kulturtechnik, Humboldt-Universität zu Berlin

Dr. Lodewijk Johannes Reinders

Universität Leiden

Prof. Dr. Hans-Jörg Rheinberger

Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin

Johanna Schiffler, M.A.

Doktorandin an der Freien Universität Berlin

Katharina Weinstock, M.A.

Staatliche Hochschule für Gestaltung Karlsruhe



Die Publikation wird ermöglicht durch das Institut für Kunst- und Bildgeschichte und das Hermann von Helmholtz-Zentrum für Kulturtechnik.



Redaktion

Katja Müller-Helle, Paul Brakmann, Lea Hilsemer, Raphael Hoffmann, Hengame Hosseini
Humboldt-Universität zu Berlin Institut für Kunst- und Bildgeschichte
Forschungsstelle am HZK: Das Technische Bild
Sitz: Georgenstr. 47, 10099 Berlin
bildwelten@hu-berlin.de

Tableaus

Raphael Hoffmann, Hengame Hosseini

Lektorat

Rainer Hörmann

Layout und Umschlag

Andreas Eberlein

Satz

aroma, Berlin

Druck und Bindung:

DZA Druckerei zu Altenburg GmbH, Altenburg

ISBN 978-3-11-074695-2

e-ISBN (PDF) 978-3-11-074761-4



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution 4.0 International Lizenz.
Weitere Informationen finden Sie unter <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
<https://doi.org/10.1515/9783110747614>

Library of Congress Control Number: 2021949509

© 2021 Matthias Bruhn, publiziert von Walter de Gruyter GmbH Berlin/Boston
Dieses Buch ist als Open-Access-Publikation verfügbar über www.degruyter.com.

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.