
Horst Kant

**Gabriel Daniel Fahrenheit
René-Antoine Ferchault de Réaumur
Anders Celsius**

Biografien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner Band 73
1984 BSB B. G. Teubner Leipzig
Abschrift und LaTeX-Satz: 2024

<https://mathematikalpha.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
2	Aus der Frühgeschichte der Thermometrie	5
3	Gabriel Daniel Fahrenheit	16
3.1	Aus Fahrenheits Leben	16
3.2	Fahrenheits Thermometer	23
3.3	Fahrenheits weitere physikalisch-technische Arbeiten	28
4	René-Antoine Ferchault de Réaumur	32
4.1	Aus Réauments Leben	32
4.2	Réauments technikwissenschaftliche Arbeiten	37
4.3	Réauments Thermometer	44
4.4	Réaumur als Naturforscher	48
5	Anders Celsius	53
5.1	Uppsala im 17./18. Jahrhundert und die Ausbildung des jungen Celsius	53
5.2	Professor für Astronomie, Bildungs- und Forschungsreise sowie Tätigkeit in der Schwedischen Akademie	56
5.3	Das Celsius-Thermometer	65
6	Zur weiteren Entwicklung der Thermometrie	70
7	Chronologie	75
8	Literatur (Auswahl)	78

1 Vorwort

Kronprätendenten
- „Ich bin der Graf von Réaumur
und haß euch wie die Schande!
Dient nur dem Celsio für und für,
ihr Apostatenbande!“
Im Winkel König Fahrenheit
hat still sein Mus gegessen.
- „Ach Gott, sie war doch schön, die Zeit,
da man nach mir gemessen!“
Chr. Morgenstern (Galgenlieder)



1 René-Antoine Ferchault de Réaumur (28. 2. 1683-18. 10. 1757) [101]

2 Anders Celsius (27. 11. 1701-25. 4. 1744) [50]

Von Gabriel Daniel Fahrenheit (24. 5. 1686-16. 9. 1736) gibt es kein Bildnis.

Wenn man die Namen Fahrenheit, Réaumur und Celsius im Zusammenhang nennt, so wird sie wohl fast jeder mit den nach ihnen benannten Thermometerskalen verbinden. Dabei ist heute in unseren Breiten nur noch die Celsius-Skala üblich, wenn wir von der Kelvin-Skala, die nach dem SI-Einheitensystem für Wissenschaft und Technik verbindlich ist, einmal absehen.

War aber Fahrenheit einer der anerkanntesten Thermometermacher seiner Zeit, so ist bei den beiden anderen das Thermometer mehr oder weniger nur ein Instrument, das sie sich im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Forschungen in geeigneter Form herzustellen suchten, und es ist doch etwas zufällig, dass die nach ihnen benannten Skalen sich gegenüber anderen durchgesetzt haben, wenngleich die heutige Réaumur- oder Celsius-Skala auch nicht ganz genau diejenige ist, welche von ihnen eingeführt worden war.

Andererseits gehörten Celsius und insbesondere Réaumur zu den bedeutendsten Wissenschaftlern der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, was heute nur noch wenigen bekannt ist.

Es erscheint also reizvoll, Leben und Werk dieser drei Thermometerschöpfer näher zu beleuchten.

„Eine kritische Geschichte der Technologie würde überhaupt nachweisen, wie wenig irgendeine Erfindung des 18. Jahrhunderts einem einzelnen Individuum gehört“, betonte Karl Marx im „Kapital“ Bd. 1 (MEW Bd. 23, S. 392), und in der Geschichte des Messinstrumentes Thermometer wird dies ganz besonders deutlich.

Um die thermometrischen Leistungen der drei in diesem Büchlein behandelten Personen richtig einordnen und historisch werten zu können, hielt ich es deshalb für notwendig, einen knappen

Überblick über die Geschichte des Thermometers bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts zu geben.

Zwangsläufig sind diese Teile etwas ausführlicher geraten, als es sonst in einem Bändchen dieser Reihe üblich ist. Dabei habe ich mich darum bemüht, dass das thermometrische Einleitungskapitel, die einzelnen Abschnitte zum Thermometer aus den Biographien sowie das Schlusskapitel auch für sich im Zusammenhang zu lesen sind. Dennoch war es hier natürlich nicht möglich, eine geschlossene Geschichte der Thermometrie und des Temperaturkonzeptes darzustellen, und es bleiben diesbezüglich viele Lücken.

Auch die Biographien selbst müssen manches schuldig bleiben, denn das vielfältige Wirken eines Réaumur oder Celsius (in gewissem Maße natürlich ebenso von Fahrenheit) böte Material genug, um jedem von ihnen ein eigenes Büchlein dieser Reihe zu widmen; ihrer heute relativ geringeren historischen Bedeutung gegenüber anderen Wissenschaftlerpersönlichkeiten (aus der Sicht der Wissenschaftsgeschichte in unserem Lande) wird es aber - bei aller Problematik solcher Wertungen - gerecht, wenn wir uns hier auf Schwerpunkte ihres Wirkens beschränken. Da die Thermometrie der verbindende Hauptschwerpunkt ist, musste diesem alles andere untergeordnet werden, was zur Folge hatte, dass insbesondere bei Réaumur die biologischen Arbeiten nur sehr summarisch abgehandelt werden konnten.

Dem Leser wird ein Lesen auf mindestens zwei Ebenen abverlangt, denn neben der Thermometrie, die sich als roter Faden durch das ganze Buch zieht, erfordern die Biographien auch ein Eindringen in so verschiedene Wissenschafts- und Technikgebiete wie Physik, Astronomie, Biologie, Metallurgie usw.

Ich hoffe jedoch, mit diesen Bemerkungen den Leser nicht abzuschrecken, sondern eher neugierig zu machen; auch dürften für das Verständnis des hier Dargestellten keine tiefgehenden Fachkenntnisse nötig sein.

Für zahlreiche Hinweise und Anregungen bin ich verschiedenen Kollegen verbunden, insbesondere P.-L. Hoffmann, H. Laitko, J. Tripoczky und H. Wußing. Das Museum Boerhaave in Leiden stellte freundlicherweise die Bilder für Abbildung 10 zur Verfügung. Schließlich danke ich meiner Frau für ihre verständnisvolle Unterstützung und Hilfe bei der technischen Fertigstellung.

Berlin, im Juli 1983

Horst Kant

2 Aus der Frühgeschichte der Thermometrie

Die Anfänge der Thermometrie (soviel wie Wärmemessung, Temperaturmessung) liegen im 16. Jahrhundert. Erst mit der phänomenologischen Erfassung und dem quantitativen Vergleich von Wärmeerscheinungen entwickelte sich der Temperaturbegriff in Wechselwirkung mit der Konstruktion entsprechender Messinstrumente. Die hierauf aufbauenden Wärmetheorien erhielten damit eine objektivierte Grundlage, denn die Beurteilung eines Wärmezustandes nur auf Grund von Empfindungen ist eine höchst unsichere.

Das Wort „Temperatur“ geht auf das lateinische „temperatura“ zurück und bedeutet soviel wie „die richtige Mischung“ im Sinne von „angenehm empfunden“ oder „Harmonie“ (in diesem Sinne wird auch in der Musik bei Tasteninstrumenten von „wohltemperierter“ Stimmung gegenüber der „reinen“ Stimmung gesprochen).

Wenn die Wärmelehre auch erst mit dem Temperaturbegriff und damit der möglichen Unterscheidung von Wärmegrad, Wärmemenge und Wärmekapazität - ihren eigentlichen wissenschaftlichen. Anfang nahm, so darf doch nicht übersehen werden, dass Vorstellungen über Wärmeerscheinungen bereits in der antiken Wissenschaft diskutiert wurden, Schließlich waren von den vielen Energieformen, die wir heute kennen, in der Antike wenigstens zwei bekannt: mechanische Bewegung und Wärme.

Der Gegensatz warm-kalt spielte schon früh in naturphilosophischen Betrachtungen eine Rolle. Die Haupteigenschaften der vier von Aristoteles angenommenen Elemente Feuer, Luft, Wasser und Erde sind: warm und kalt (als aktive), trocken und feucht (als passive Qualitäten), die den einzelnen Elementen in unterschiedlicher Kombination zugeordnet sind.

Für Aristoteles ist Wärme teils eine Eigenschaft der Körper, die durch den Gefühlssinn beurteilt wird, teils eine aktive Qualität (einer „Kraft“ im heutigen Sinne entsprechend). Dabei verweist er ausdrücklich auf die Schwierigkeit, ein Maß für die Wärme anzugeben.

Schon in der Antike bestanden unterschiedliche Auffassungen darüber, ob Wärme etwas Substantielles sei (die Vorstellung vom „Wärmestoff“ hielt sich bis ins 18. Jahrhundert) oder eine spezifische qualitative Erscheinung. Der Disput hierüber gründete sich auf Aristoteles Anschauung, dass jedes reale Objekt aus einer passiven Materie und einem aktiven Prinzip bestehe.

Damit hing die Frage zusammen, ob Kälte etwas von der Wärme Unterschiedenes sei oder nur ein Verlust von Wärme. Da Kälte und Wärme als gegensätzliches Eigenschaftspaar für die Kennzeichnung der Elemente definiert waren, neigte man dazu, Kälte als etwas von der Wärme Verschiedenes zu betrachten und sprach ihr einen besonderen Kältestoff („primum frigidum“) zu; Plutarch hat diese Vorstellung ausführlich erörtert.

Hervorgehoben sei, dass diese Überlegungen nicht der Spekulation: entsprangen, sondern auf einer genauen Beobachtung zugänglicher Wärmeerscheinungen (Gefrieren, Schmelzen, Sieden, Verdampfen, Sonneneinstrahlung, Reibungswärme usw.) beruhten. Gewisse Vorläufer für Thermometerkonstruktionen (Prinzip des Luftthermometers) kann man deshalb auch in einigen Geräten sehen, die Philon von Byzanz und Heron von Alexandria benutzten, um die Wirkung von Sonnenwärme auf eine in ein Gefäß eingeschlossene Luftmenge zu untersuchen - die Ausdehnung der Körper bei Erwärmung war den antiken Naturforschern bekannt.

Als für die antiken Vorstellungen über Wärme bedeutsam seien schließlich noch die auf Aristoteles fußenden Überlegungen des Arztes Claudius Galen aus Pergamon über die menschliche Körperwärme erwähnt.

Nach Galen bestand der menschliche Körper aus einer spezifischen Mischung der Elemente und ihrer Qualitäten, demzufolge auch einer entsprechenden Mischung von „warm“ und „kalt“, die

die normale „Temperatur“ (im Sinne der „richtigen Mischung“) ergab. Er definierte bestimmte „Grade“ der Abweichung von diesem Mischungsverhältnis, die etwas über die Menge der im Körper vorhandenen Qualitäten „warm“ und „kalt“ aussagten und damit gewisse Auskünfte über den Zustand des menschlichen Körpers ermöglichen sollten (an diese Überlegungen schloss die Einteilung in die vier menschlichen „Temperamente“ an).

Galen verwendete also so etwas wie eine Skaleneinteilung, wenngleich hiermit noch andere Vorstellungen verbunden waren als mit den späteren Temperaturskalen.

Die hier grob skizzierten antiken Vorstellungen über Wärme waren auch noch zu Ausgang des Mittelalters bestimmend. Die islamischen Gelehrten, die sich inzwischen mit Wärmeerscheinungen befasst hatten, trugen nichts wesentlich Neues bei. Ihnen war bekannt, dass sich (in heutigen Worten) das spezifische Gewicht des Wassers bei Temperaturänderung verändert, und so ist zu vermuten, dass beispielsweise Alhazen oder Al-Biruni die Wasserwaage auch als eine Art Thermometer benutzten.

Zwei Bemerkungen seien an dieser Stelle eingefügt:

- Um ein Instrument als Thermometer anzusehen, reicht es nicht aus, dass es aus heutiger Sicht als Thermometer interpretiert werden kann; vielmehr ist zu berücksichtigen, ob damals tatsächlich Veränderungen in Bezug auf Wärme damit gemessen werden sollten. Die beispielsweise bei pneumatischen Experimenten (Pneumatik - Lehre von den Eigenschaften der Luft), die im 16. Jahrhundert wieder aufgenommen wurden, verwendeten Instrumente sind deshalb jeweils sehr aufmerksam zu prüfen.

- Es ist genaugenommen zwischen Thermoskop und Thermometer zu unterscheiden; das Thermoskop (diese Bezeichnung gab der italienische Astronom Giuseppe Biancani diesen Geräten 1617) gestattet nur qualitative Beobachtungen, während ein Thermometer (diese Bezeichnung wurde erstmals 1626 oder etwas früher von dem Jesuiten Jean Leurechon gebraucht) mit einer Skale versehen ist und quantitative Angaben ermöglicht.

Wesentliches Merkmal der Wissenschaft in der Renaissance war, von der einfachen Beschreibung der Naturvorgänge zu ihrer messenden Erfassung (folglich Instrumentenentwicklung notwendig) überzugehen und auf dieser Grundlage zur verallgemeinernden Formulierung von Gesetzmäßigkeiten zu kommen. Die vier Naturforscher, die man wohl - mehr oder weniger unabhängig von- einander - als Erfinder des Thermoskops bzw. Thermometers ansehen muss, sind Galileo Galilei und Santorio aus Italien, denen eine gewisse Priorität einzuräumen ist, Cornelius Drebbel aus Holland und Robert Fludd aus England.

Galilei war 1592 nach Padua berufen worden, und nachweislich hat er sich in jener Zeit mit Heron beschäftigt. Herons „Pneumatik“ lag seit 1575 in einer lateinischen Übersetzung vor und wurde damals auch aufmerksam studiert (vgl. [22, S. 6]), während Philons Werk nur in verstreuten Manuskripten erhalten war und erst Ende des 19. Jahrhunderts publiziert wurde. Aus Galileis Vorlesungen um 1600 wird folgender thermometrische Grundversuch berichtet:

"Er nahm ein Glasgefäß etwa von der Größe eines Hühnereies, mit einem ungefähr zwei Spannen langen Rohre von der Weite eines Strohhalmes, erwärmte die Glaskugel mit den Händen und kehrte das Glas um, so dass die Röhre in ein darunter gestelltes Gefäß tauchte; sobald sich die Luft in der Kugel abkühlte, erhob sich das Wasser um mehr als eine Spanne über das Niveau der Flüssigkeit in dem Gefäße. Galilei hat sich dieser Erscheinung bedient, um ein Instrument zur Untersuchung der Wärme- und Kältegrade zu verfertigen." [9, S. 13 f.]

Aus Briefen des ihm befreundeten, wissenschaftlich interessierten venetianischen Edelmannes

Sagredo folgt, dass zumindest in Norditalien damals bereits Galilei als der Erfinder des Thermoskops galt. So heißt es in einem Brief vom 9.5. 1613: „Das Instrument zur Messung der Wärme, welches von Ihnen erfunden worden ist, ...“ (Zit. nach [9, S. 141]).

Folgende Bemerkung Sagredos von 1615 belegt, dass jener selbst Thermometer herstellte (an anderer Stelle erwähnt er, dass er sich Glasröhren in Murano herstellen ließ) und zeigt zugleich, welche überraschenden Tatsachen erste einfache Messungen zutage brachten, wodurch die Bedeutung der Messung für die physikalische Experimentierkunst wie für die Entwicklung des physikalischen Verständnisses der uns umgebenden Realität überhaupt (durch Anerkennung des Messergebnisses eines Instrumentes) eindeutig veranschaulicht wird:

"Der Gebrauch des Instrumentes zum Messen von Wärme und Kälte ist durch mich vervielfältigt und verbessert worden und, so viel mir scheint, bis zu einem solchen Punkte, dass viel zu beobachten wäre; aber ... ohne Ihre Unterstützung hätte ich nur schlecht dem Bedürfnis und mir genügen können. Mit diesen Instrumenten habe ich klar gesehen, dass das Wasser unserer Brunnen im Winter kälter ist als im Sommer, und ich meinestheils glaube, dass dies bei den Quellen und unterirdischen Räumen auch stattfindet, obgleich unser Gefühl anders urteilt." (Zit. nach [9, S. 15])

Es ist aber festzustellen, dass - soweit bekannt - Galilei selbst auf sein Thermoskop keinen expliziten Bezug nahm; möglicherweise weil er es nur als Fortsetzung der Heronschen Versuche betrachtete.



- 3 (links) Luftthermometer des Arztes Santorio. Die Thermometerflüssigkeit ist Wasser, die Dornen am Thermometerrohr stellen eine Skale dar
4 (rechts) Einfacher Thermometerversuch von Drebbel nach Heron (Auch Fludd gibt eine solche Anordnung an)

- In einem Brief vom 30. 6. 1612 machte Sagredo Galilei (der inzwischen in Florenz wirkte) auf ein entsprechendes Instrument des Paduaner Arztes Santorio aufmerksam. Santorio bemühte sich um die Einführung physikalischer Hilfsmittel in die Heilkunde und spielt in dieser Hinsicht für die Medizingeschichte eine wichtige Rolle; in seinen Galen-Kommentaren von 1612 weist er selbst auf ein Temperaturmessinstrument zum meteorologischen und medizinischen Gebrauch hin.

Unabhängig davon, ob Santorio ein solches Instrument selbst erfunden hat oder früher in Galileis Vorlesung kennengelernt hatte (das ist historisch nicht belegbar), so hat er demselben doch wichtige Anwendungsbereiche erschlossen (er selbst spricht von einem „sehr alten Instrument“ [43, S. 1341]).

Santorio benutzte offenbar bereits eine auf zwei Fixpunkten beruhende Skale, wohl aber erst um 1620, während aus Sagredos Briefen zu schlussfolgern ist, dass jener bereits um 1615 Temperaturgrade auf einer Skale ablas (vgl. [35, S. 10]). Vieles spricht jedoch heute dafür, dass das erste geschlossene Luftthermometer mit Skale bereits 1611 in Rom existierte. Dahinge-

hende frühere Behauptungen konnten durch ein aufgefundenes unveröffentlichtes Manuskript des Römischen Ingenieurs Bartolomeo Teliooux belegt werden, worin erstmals ein Thermometer mit Skale nicht nur beschrieben, sondern auch gezeichnet ist [12].

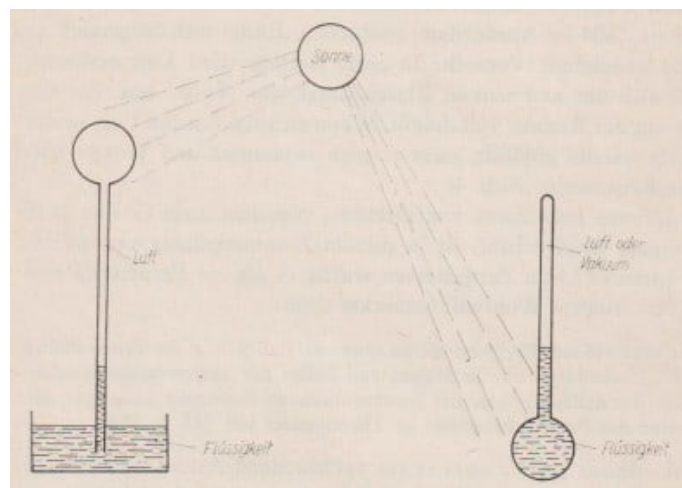
Das Thermometer von Teliooux weicht in seiner Konstruktion sowohl von dem aus Padua (ob nun von Galilei oder anderen) als auch von anderen damals bekannten (und im folgenden besprochenen) Thermometern ab [35, S. 22]. Da allerdings Verschiedenes darauf hindeutet, dass Teliooux die Funktionsweise gar nicht so recht verstanden hat, müssen solche Instrumente - zumindest ohne Skale - bereits relativ verbreitet in Benutzung gewesen sein.

Außerhalb Italiens ist zunächst der Instrumentenmacher und Erfinder Cornelius Drebbel aus Alkmaar in Holland zu nennen, der seit 1604 in England (später auch in Prag) wirkte und dem früher fast ausschließlich die Priorität in der Thermometererfindung zuerkannt wurde. In seinem „Traktat von der Natur der Elemente“, erstmals 1604 in Amsterdam erschienen, findet sich folgender an Heron angelehnte Versuch: In einer Retorte wird Luft erwärmt, dehnt sich aus und tritt in Blasen durch das Wasser aus, das die Öffnung der Retorte verschließt. Wenn sich danach die Luft in der Retorte wieder abkühlt, zieht sie sich zusammen und Wasser tritt in die Retorte ein (Abb. 4).

Ein anderes Instrument von Drebbel, von dem auch Galilei 1610 aus einem Brief erfuhr, ist in diesem Zusammenhang von größerem Interesse; von Zeitgenossen wurde es als ein Perpetuum mobile beschrieben. Wohlwill bemerkte dazu:

"Es ist aber auf das Bestimmteste zu erweisen, dass sich in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts an das Steigen und Fallen der Thermometerflüssigkeit unklare Vorstellungen von der immerwährenden Bewegung knüpften, dass man eine Art Perpetuum mobile im Thermometer sah." [45, S. 169]

Offensichtlich gab es zwei etwas verschiedene Arten dieses Drebbelschen Perpetuum mobile, von dem er eines König Jakob I. von England, das zweite (das man wohl gegenüber dem ersten als vereinfachte Ausführung ansehen darf) Kaiser Rudolf II. in Prag geschenkt hatte. In dem genannten Brief an Galilei wird letzteres wie folgt beschrieben:



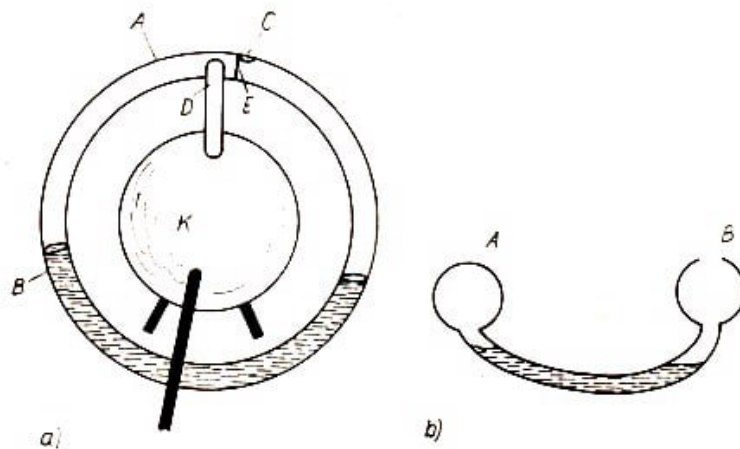
5 Grundprinzip des Luftthermometers (a) und des Flüssigkeitsthermometers (b)

"... ich will nicht unterlassen, Ihnen noch zu sagen, dass hier ein Flamländer ist, der aus England kommt, der behauptet, die immerwährende Bewegung gefunden zu haben; ... es besteht diese Bewegung aus Wasser (consiste questo moto d'acqua), das in einer wie in Mondform gebogenen feinen Röhre

... bald aufwärts, bald abwärts von einer Seite zur andern geht; der Herr Kepler glaubt ganz und gar nicht daran, wenn er nicht sieht, wie es eingerichtet ist." (Zit. nach [46, S. 57])

Über die Ursachen dieser Bewegung äußerte sich Drebbel nicht, wohl um die Wirkung dieses wundersamen Apparates zu steigern. Ganz offensichtlich handelte es sich aber um ein Instrument, das nach dem Prinzip des Luftthermoskops arbeitete - die Flüssigkeit wurde durch die Wärmeausdehnung eines abgesperrten Luftvolumens in dem Röhrrchen bewegt. Wieweit Drebbel wirklich selbst die Ursache erkannte und auch zur Wärmemessung nutzte, bleibt offen.

Tatsächlich spricht erstmals Gaspar Ens in einer Arbeit von 1628 vom „Drebbelschen Thermometer“, womit er ein mit zwei Glaskolben versehenes Instrument bezeichnete, das eine gewisse Analogie zu Drebbels „Perpetuum mobile“ zeigt (Abb. 6); diese Bezeichnung wurde von vielen Autoren übernommen.



6 Schematische Darstellung des Drebbelschen Thermoskops.

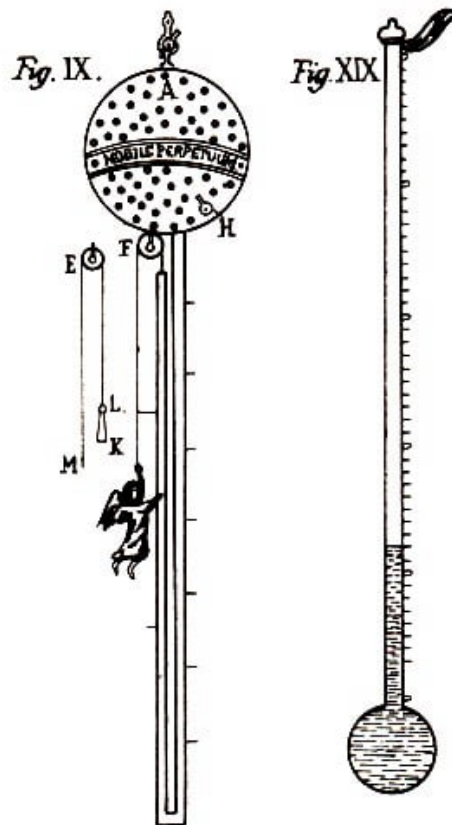
- a) „Perpetuum mobile“. Die innere hohle Metallkugel K ist über das Röhrrchen D mit der Glasröhre A verbunden. Bei E ist eine innere Trennwand, die Öffnung C verbindet das Luftvolumen im rechten Teil der Röhre mit der Atmosphäre. B - Thermometerflüssigkeit
- b) Vereinfachte Form des Drebbelschen „Perpetuum mobile“, wie im zitierten Brief an Galilei beschrieben (vgl. auch [46])

Es ist nicht ausgeschlossen, dass Drebbel irgendwann zwischen 1598 und 1622 ein solches Instrument auch selbst angegeben hat [43, S. 156].

Schließlich sei noch der englische Arzt Robert Fludd erwähnt. Fludd kannte vermutlich neben Heron auch Philon, wie man aus der von ihm gegebenen Beschreibung seines Instrumentes schließen muss (vgl. [43, S. 145 f.]). Fludd konstruierte dieses Instrument nicht in erster Linie zur Wetterbeobachtung, sondern um die Wirkung von Licht (Wärme) und Dunkelheit (Kälte) zu demonstrieren.

Aber auch hier ist letztendlich nicht klar, ob Fludd dann zwischen 1617 und 1626 daraus ein Thermometer entwickelt hat, oder ob er ein solches Instrument woanders in Funktion gesehen, den Zusammenhang zu seinem Instrument erkannte und es danach als Thermometer benutzte.

Genau lässt sich also die Erfindung des Thermometers nicht fixieren. Alle vier Wissenschaftler, die hier genannt wurden, und die sozusagen „in die engere Wahl“ kommen, haben sich in ihren veröffentlichten Schriften nie selbst als Erfinder des Thermoskops/ Thermometers bezeichnet, sondern es entweder gar nicht erwähnt (Galilei) oder als ein altbekanntes Instrument beschrieben.



7 Fig. XIX. Florentiner Thermometer; Fig. IX. Guericke's Luftthermometer (nach [9])

Wenn diese Autoren sich - explizite oder implizite - auf Heron oder Philon beziehen, so darf man deren Versuchsanordnungen dennoch noch nicht als die ersten Thermoskope bezeichnen, da die antiken Denker damit nicht den Zweck der Temperaturbestimmung verfolgten; andererseits wird deutlich, dass um 1600 das Thermoskop/Thermometer ein im Prinzip in Wissenschaftlerkreisen bekanntes physikalisches Instrument war. Nicht die Frage nach der Priorität ist letztlich entscheidend, sondern dass praktische Anforderungen (Meteorologie, Medizin, Temperaturkonstanz in Brutkästen für Kücken, chemische Prozesse im weiteren Sinne und dgl.) eine Bestimmung von Wärmeunterschieden notwendig und die vorhandenen physikalischen Kenntnisse eine solche Bestimmung prinzipiell möglich machten.

Diese ersten Thermoskope bzw. Thermometer, die im zweiten Viertel des 17. Jahrhunderts allgemeine Verbreitung fanden, waren Luftthermometer, d. h., die Wärmeausdehnung der Luft ist der eigentliche Indikator und bewirkt die Veränderung eines Flüssigkeitsspiegels (vgl. Abb. 5) - bei Erwärmung der Luft sinkt (!) also der Flüssigkeitsspiegel in der Röhre des Thermoskops. Außerdem handelte es sich um sogenannte offene Thermometer, d. h., der - zu dieser Zeit noch nicht bekannte - Luftdruck wirkt auf die Flüssigkeit.

Da Wasser leicht gefriert, benutzte man auch verschiedene andere Flüssigkeiten. Infolge der Luftdruckabhängigkeit konnten an diesen Instrumenten noch keine Skalen angebracht werden, die sich auf fixierbare Punkte stützten; man konnte nur relative Veränderungen beobachten, und wenn deshalb Wärmegrade nach irgendwelchen Skalen bezeichnet wurden, lassen sie sich heute nicht mehr reproduzieren.

Seiner Originalität wegen sei das um 1660 von Otto von Guericke in Magdeburg konstruierte Luftthermometer hier wenigstens noch erwähnt, das er auch „Mobile perpetuum“ nannte. Er deponierte auf dem Flüssigkeitsspiegel eine Art „Schwimmer“, der über einen Faden mit einer

Anzeigevorrichtung verbunden war, einer sich an einer Skale auf- und abbewegenden Figur, während das Thermometerrohr verdeckt war (Abb. 7).

Auf andere Entwicklungen von Luftthermometern im 17. Jahrhundert kann nicht eingegangen werden.

Die Existenz des Luftdruckes wurde um 1644 bekannt, vor allem durch die Forschungen Evangelista Torricellis, Galileis Schüler und Nachfolger in Florenz, und von Blaise Pascal in Paris (Barometerexperimente), sowie einige Jahre später von Guericke in Deutschland (Existenz des Vakuums). Pascal erkannte, dass die bisherigen Thermometer infolgedessen sehr ungenau seien (vgl. [35, S. 28]). Natürlich waren sich die Florentiner Physiker ebenfalls sehr schnell der Wirkung des Luftdruckes bei thermometrischen Experimenten bewusst geworden.

Neben der Abhängigkeit vom Luftdruck machte sich beim Luftthermometer auch eine gewisse Unhandlichkeit im Gebrauch störend bemerkbar. Die Flüssigkeit konnte leicht verschüttet werden, die relativ große Luftmenge erwärmte sich nur langsam und machte zudem das Instrument recht groß. Zunächst hielt aber die relativ geringe Volumenänderung der Flüssigkeiten von ihrer Benutzung als eigentliche Thermometersubstanz ab; sehr enge Thermometerrohre waren eine Voraussetzung für ihren erfolgreichen Einsatz.

Es lässt sich heute nicht mehr feststellen, wer wann zuerst die Idee hatte, statt der Ausdehnung der Luft die der Flüssigkeit zu beobachten.

Um 1630 benutzte der französische Arzt Jean Rey ein entsprechendes Instrument, allerdings noch nicht geschlossen, das aber weiteren Kreisen kaum bekannt gewesen sein dürfte.

Mit großer Wahrscheinlichkeit erfand Ferdinand II., Großherzog von Toscana, um 1641 das geschlossene und damit luftdruckunabhängige Thermometer. Wieweit hierbei gewisse Kenntnisse über den Luftdruck schon eine Rolle spielten, ist unklar, da Torricellis „offizielle“ Entdeckung erst 3 Jahre später datiert.

Dieser Ferdinand II., ein Schüler Galileis, wurde mit seinem Bruder Leopold 1657 Mitbegründer und Förderer der Accademia del Cimento („Akademie des Experiments“) in Florenz, jener kleinen Gruppe von italienischen Naturforschern, von der in dem 10 Jahren ihres Bestehens bedeutende Impulse für die Entwicklung der experimentellen Naturwissenschaften, insbesondere der Physik, ausgingen.

Das von der Accademia del Cimento benutzte geschlossene Weingeistthermometer (also Weingeist als Thermometerflüssigkeit, gefärbt oder ungefärbt), allgemein als „Florentiner Thermometer“ bekannt und bis ins 18. Jahrhundert verbreitet, lässt sich mindestens auf das Jahr 1654 datieren. In jenem Jahre wurde im Auftrage des Großherzogs eine Anzahl solcher Thermometer mit Skalen - allerdings noch nicht auf Fixpunkte bezogen und deshalb letztendlich nicht vergleichbar - an verschiedene Klöster verteilt, um tägliche meteorologische Beobachtungen vorzunehmen (bis 1670 kontinuierlich fortgeführt).

In den Schriften der Accademia del Cimento wird die Herstellung des Thermometers, das sie zu einem ihrer wichtigsten Messinstrumente machte, genau beschrieben:

"[Das Instrument dient dazu - H. K.] ... die Veränderungen der Wärme und Kälte der Luft herauszufinden und wird allgemein als Thermometer bezeichnet. Es wird vollständig aus feinstem Glas hergestellt von jenen Künstlern, die, ihre eigenen Backen als Blasebalg benutzend, durch ein Glasmundstück in die Flamme einer Lampe blasen ... Solch einen Künstler nennen wir Glasbläser.

Seine Aufgabe ist es, den Kolben des Instrumentes von einem derartigen Umfang und Fassungsvermögen zu formen und eine Röhre von solchem Kaliber anzufügen, dass bei Füllung

mit Weingeist bis zu einer bestimmten Marke an seinem Halse die gewöhnliche Kälte von Schnee oder Eis nicht ausreicht, ihn unter 20 Grade in der Röhre zu bringen ..." (Zit. nach [35, S. 33])

Diese Beschreibung bezieht sich auf eine Skale von 100 Grad und mit dem Schmelzpunkt des Eises als mehr zufälligem Bezugspunkt (auch andere, sehr variable Bezugspunkte wurden genannt).

Die größte Sonnenwärme solle das Thermometer nicht über 80 Grade steigen lassen. Skalen mit 50 und 300 Graden wurden ebenfalls angegeben. Auch das Füllen und Verschließen des Thermometers wird beschrieben.

Bei der Herstellung wurde mit großer Sorgfalt vorgegangen; vermutlich bezog man weitere Instrumente auf ein einmal hergestelltes Normalthermometer.

Die Mitglieder der Accademia del Cimento machten viele Versuche zur Verbesserung des Thermometers, probierten diverse Thermometerflüssigkeiten aus (auch Quecksilber), machten Untersuchungen über verschiedene Wärmewirkungen. Weingeist wurde letztendlich bevorzugt, u. a. weil er relativ schnell auf Temperaturveränderungen reagiert (mit heutigen Worten eine geringe Wärmekapazität hat).

Mit dem Florentiner Thermometer lag nun ein luftdruckunabhängiges (geschlossenes) Flüssigkeitsthermometer vor mit relativ vergleichbaren Skalen, mit einem Bezugspunkt, den man allerdings noch nicht als Fixpunkt bezeichnen kann (vgl. [35, S. 34 f.]). Die Vergleichbarkeit war dabei vor allem ein Erfolg der Geschicklichkeit der Glasbläser.

Bereits 1658 wurde auf der Pariser Sternwarte ein Florentiner Thermometer benutzt. 1661 kam es nach England, wo Robert Boyle sofort den Nutzen der geschlossenen Flüssigkeitsthermometer erkannte. In Deutschland begnügte man sich weiterhin mit dem Luftthermometer.

Zahlreiche Naturforscher unternahmen in der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts Versuche zur Verbesserung der Thermometer, An erster Stelle sind Wissenschaftler der 1662 gegründeten Londoner Royal Society zu nennen, neben Boyle und anderen vor allem Robert Hooke, „Kurator für Experimente“ dieser Gesellschaft.

Die Royal Society hatte sich die ständige Wetterbeobachtung als eine ihrer ersten Aufgaben gestellt, und Hooke wurde beauftragt, für die Mitglieder, die sich daran beteiligen wollten, vergleichbare Thermometer herzustellen. Am 11. Januar 1665 stellte er sein Thermometer auf einer Sitzung der Society vor; zuvor hatte er es bereits in seinem 1664 erschienenen berühmten Werk „Micrographia“ beschrieben.

Als Thermometerflüssigkeit wählte Hooke Weingeist, da dieser leicht gefärbt werden könne, sich schnell erwärmt und bei bekannten Temperaturen noch nicht gefriert. Hooke stellte sich zunächst ein „Eichinstrument“ her: er wählte als Fixpunkt die Temperatur des gefrierenden Wassers, markierte den Stand des Flüssigkeitsspiegels und teilte dann das Rohr in gleiche Teile. Eichinstrument und zu graduierendes Thermometer wurden daraufhin in das gleiche Wasserbad gestellt, dieses wurde erwärmt, und dann übertrug er die entsprechenden Grade auf das Thermometer (für eine genauere Erläuterung vgl. [36] oder [11, S. 23 ff.]). Nach [36] muss ein Grad auf Hookes Thermometer etwa $2,4^{\circ}\text{C}$ entsprechen haben.

Hookes Verfahren ist der erste ernsthafte Versuch, ein wirklich vergleichbares Thermometer herzustellen, und es wurde als solches über Jahrzehnte von der Royal Society benutzt. Als Fehlerquellen sind zu nennen: Weingeist unterschiedlicher Qualität (abhängig vom Wasseranteil) hat variierende Eigenschaften; Hookes Bestimmung des Gefrierpunktes ist unsicher (mögliche Gefrierpunktserniedrigung u. dgl. - eindeutiger ist der Schmelzpunkt, aber das war noch nicht

genauer bekannt); Hooke berücksichtigte nicht die Ausdehnungsunterschiede bei den verschiedenen verwendeten Materialien.

Als der holländische Physiker Christiaan Huygens, seit 1663 erstes auswärtiges Mitglied der Royal Society, 1664 von Hookes Thermometer erfuhr, meinte er, man könne an Stelle des Gefrierpunktes auch den Siedepunkt des Wassers als Fixpunkt wählen, kannte also bereits dessen Konstanz.

Selbst hat er wohl keine Thermometer konstruiert. Seit 1676 wurden in Paris von einem englischen Instrumentenmacher Thermometer hergestellt mit einer willkürlichen, nicht mehr reproduzierbaren Skale, die aber bis nach 1700 benutzt wurden.

Der erste bekannte Vorschlag, zwei Fixpunkte zu benutzen und dafür Schnee und kochendes Wasser zu wählen, wurde 1679 postum von Sebastiano Bartolo aus Neapel veröffentlicht (frühere Vorschläge, wie z. B. der von Sagredo oder Santorio, sahen die Bezugspunkte wohl noch nicht so unbedingt unter dem Aspekt der Konstanz); weiterhin wären um diese Zeit zu nennen Honore Fabri, Joachim Dalance, Carlo Renaldini oder Edmund Halley.

Auch andere Fixpunkte wurden vorgeschlagen, beispielsweise die Temperatur schmelzender Butter oder eine Kältemischung aus Eis und Salz. Zu denen, die bereits zwei Fixpunkte berücksichtigten, gehörte auch Philippe de La Hire, am Ende des 17. Jahrhunderts meteorologischer Observator am Pariser Observatorium, der als einen dieser beiden Punkte die als konstant geltende Temperatur des Observatoriumskellers wählte (dass sich die Temperatur tiefer Keller wenig veränderte, galt allgemein als Erfahrungstatsache).

Isaac Newton schlug 1701 ebenfalls ein Flüssigkeitsthermometer mit zwei Fixpunkten vor: dem Gefrierpunkt des Wassers (wobei er angibt, man könne stattdessen auch schmelzenden Schnee nehmen) und Blutwärme (d.h. die Temperatur, die das Thermometer bei Kontakt mit dem menschlichen Körper annimmt); den Abstand teilte er in 12 Grade. Als Thermometerflüssigkeit wählte er Leinöl, dessen Siedepunkt wesentlich höher liegt als der des Weingeistes. Anwendung hat dieses Thermometer nur wenig gefunden.

Am letzten Beispiel ist ersichtlich, dass neben Weingeist von den Forschern noch andere Thermometerflüssigkeiten erprobt wurden.

Schon in der Accademia del Cimento hatte man u.a. mit Quecksilber experimentiert, wegen des relativ geringen Ausdehnungskoeffizienten kam es aber zunächst nicht in Gebrauch. Den ersten ernsthaften Versuch, Quecksilber einzusetzen, unternahm wohl Halley, der auf Anregung von Boyle um 1693 die Wärmeeigenschaften des Quecksilbers genauer untersuchte,

Das Problem der Thermometerherstellung war nun in ein entscheidendes Stadium getreten. Spätestens seit der Mitte des 17. Jahrhunderts war man bemüht, das Thermometer zu einem universellen Messinstrument zu entwickeln, d. h. die verschiedenen Thermometer durch eine rationelle Skaleneinteilung miteinander vergleichbar zu machen.

Ursprünglich meinte man das Problem der Universalisierung dadurch zu lösen, dass man möglichst identische Instrumente herstellte - noch 1723 schlug der damalige Sekretär der Royal Society vor, alle Forscher sollten ihre Thermometer vom gleichen Instrumentenmacher beziehen. Aber die großen Schwierigkeiten bei einem solchen Vorgehen waren bald erkannt, und man konzentrierte sich auf die Methode, die Kalibrierung (Durchführen der Gradeinteilung) von einem vergleichbaren Bezugspunkt aus vorzunehmen.

Das Konzept des „Fixpunktes“ beruht letztlich auf der einfachen Anwendung des Kausalitätsprinzips, dass nämlich gleiche Effekte auch gleiche Ursachen haben sollten. Zeigt beispielsweise ein Thermometer, wenn es in verschiedene Proben schmelzenden Eises getaucht wird, immer

den gleichen Stand, so müssten demnach andere Thermometer die gleiche Temperatur anzeigen.

Wegen der Einfachheit dieses Konzeptes wurde es ja tatsächlich sehr bald genutzt, allerdings meinte man bis dato in der Regel, dass ein Fixpunkt, von dem aus man die Temperaturgrade abzählt, ausreichend sei. Vorausgesetzt wurde dabei, dass sich die Thermometersubstanzen proportional mit der Temperaturveränderung ausdehnen bzw. zusammenziehen.

Die experimentellen Erfahrungen um die Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert zeigten, dass man so nicht weiterkam. Es erfolgte deshalb eine Orientierung auf zwei Fixpunkte, d.h. zwei jederzeit identifizierbare und reproduzierbare natürliche Wärmezustände.

Es dauerte allerdings nahezu bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts, bis diese exakt bestimmt und als konstant anerkannt waren. Von den Skalen, die in diesem Zusammenhang entwickelt wurden, haben sich drei durchgesetzt, und diese stehen jeweils im Mittelpunkt der nachfolgenden Biographien.

Was den Stand der Kenntnis über Wärmeerscheinungen ausgangs des 17. Jahrhunderts betrifft, so ist festzustellen, dass es nach wie vor keine genauen Vorstellungen darüber gab, was Wärme eigentlich sei. Die wichtigsten Wärmetheorien des 17. Jahrhunderts stammen von Francis Bacon, Pierre Gassendi und Rene Descartes. Im wesentlichen liefen sie: alle auf eine mechanistische Wärmestofftheorie hinaus. Die Ausdehnung eines Stoffes bei Wärmezufuhr wurde damit erklärt, dass die Wärmeteilchen den Stoff quasi auseinandertreiben würden. Auf die eigentliche Thermometerentwicklung hatten diese Konzepte jedoch kaum Einfluss, weshalb sie hier nicht weiter behandelt zu werden brauchen (vgl. dazu z.B. [4, 19, 34]).

Das Wichtigste in der Entwicklung der Wärmelehre im 17. Jahrhundert ergibt sich aus der genannten generell neuen Tendenz in der Naturforschung seit Galilei, das Experiment in den Mittelpunkt zu rücken. Auf diesem Wege suchte man auch Gesetze für die verschiedenen Wirkungen der Wärme zu finden. Die Accademia del Cimento war hierin vorbildlich, deshalb widmete sie auch der Ausbildung der Messinstrumente so viel Aufmerksamkeit.

Bei ihren zahlreichen Experimenten beispielsweise zur Wärmeausdehnung hatten ihre Mitglieder u.a. bereits herausgefunden, dass Wasser bei einer bestimmten Temperatur ein minimales Volumen besitzt, und das war mit ein Grund, es nicht als Thermometerflüssigkeit zu benutzen.

Auch Boyle war ein ausgezeichneter Experimentator, der vor allem den Wert quantitativer Messungen erkannte und darauf hinwies, dass man zu allgemeingültigen Resultaten nur kommen kann, wenn man eine Maßeinheit festgelegt hat. Eine Voraussetzung dafür war die ebenfalls von Boyle formulierte Erkenntnis, dass die verwendete Thermometerflüssigkeit keinen Einfluss auf den ermittelten Wärmezustand eines zu messenden Körpers hat [5, S. 289 f.]. Desweiteren zeigte er die Unhaltbarkeit der noch immer existierenden Theorie vom „primum frigidum“ (bereits Galilei hatte sich dahingehend geäußert, dass Kälte nichts weiter als die Abwesenheit von Wärme sei). Boyle schrieb:

"Diejenigen, die behaupten, dass die Luft „primum frigidum“ ist, weil das Wasser an der Oberfläche friert, wo es die Luft berührt, sollten besonders auf die Tatsache achten, dass auch an dieser Stelle das Eis zuerst taut." (Zit. nach [34, S. 52])

Abschließend zu diesem Kapitel sei eine weitere Thermometerentwicklung erwähnt. Der Franzose Guillaume Amontons beschäftigte sich um 1700 noch einmal sehr ausführlich mit dem Luftthermometer und beschrieb 1703 ein verbessertes in der Weise, dass die Wärme durch die sich verändernde Elastizität eines eingeschlossenen Luftvolumens gemessen und der Luftdruck bei der Temperaturmessung berücksichtigt wird, womit die Temperaturbestimmung vom

Luftdruck unabhängig wurde. Er verwendete zwei Fixpunkte: schmelzendes Eis und siedendes Wasser.

Dieses Luftthermometer ist insofern von Interesse, als es beispielsweise bei späteren Experimenten von Gay-Lussac und anderen über Gase Anwendung fand, aber auch, weil in diesem Zusammenhang erste, Vorstellungen über eine „natürliche“ oder „absolute“ Temperaturskala geäußert wurden.

Da über Ursachen und Wesen der Wärme bisher noch immer Unklarheit herrschte, wusste man eigentlich auch nicht so recht, was das Thermometer denn tatsächlich anzeige: War die Temperatur ein absolutes oder relatives Maß für die Wärmemenge, die ein Körper besitzt bzw. die ihm zugeführt wird? Amontons äußerte sich 1702 erstmals dazu: „Ein Thermometergrad kann nicht mit einem Wärmegrad verglichen werden und somit auch nicht dessen Maß abgeben.“ (Zit. nach [16, S. 608]).

In seiner Arbeit mit dem bezeichnenden Titel „Das Thermometer, zurückgeführt auf ein festes und sicheres Maß, und das Mittel, die mit den alten Thermometern gemachten Beobachtungen daran anzuschließen“ (veröffentlicht in den Memoires der Pariser Akademie für 1703) bestimmte er dann: „Die Wärmegrade sind die Mengen von Zollen und Linien in Quecksilberhöhen, welche die Wärme der elastischen Kraft der Luft zufügt.“ (Zit. nach [16, S. 609]). Aufbauend auf diesen Überlegungen folgte seine Begriffsbestimmung des absoluten Nullpunktes:

"Daher scheint es, würde der niedrigste Kältegrad dieses Thermometers der sein, welcher die Luft ihrer Elastizität ganz beraubte; das aber wäre ein viel höherer Kältegrad, als derjenige ist, den wir für sehr kalt halten." (Ebenda)

Darin fand zugleich die Auffassung Bestätigung, dass „warm“ und „kalt“ nur relative Begriffe für dieselbe Erscheinung sind und keine unterschiedlichen Prinzipien repräsentieren - was somit ebenfalls gegen ein „primum frigidum“ sprach.

Trotz dieser beachtlichen theoretischen Schlüsse, die Amontons zog, wiesen seine Thermometer noch eine Reihe von Fehlerquellen auf, die aus Unkenntnis verschiedener weiterer Fakten resultierten (u.a. hatte er die Luft in seinem Thermometer nicht getrocknet, bemerkte nicht die Druckabhängigkeit des Siedepunktes). Der aus seinen Experimenten errechnete Wert für den absoluten Nullpunkt ergibt sich (bezogen auf die heutige Celsius-Skala) deshalb nur zu etwa -248°C . Ein knappes Jahrhundert später ergaben Lamberts Messungen bereits etwa -270°C .

Dazwischen lagen technische Verbesserungen der Thermometer, die vor allem durch Fahrenheit initiiert wurden. Nach wie vor stand die Verbesserung des Messinstrumentes, seiner Messeigenschaften und Messbedingungen, im Vordergrund. Alle Experimente mit Thermometern im 17. und frühen 18. Jahrhundert sind deshalb mehr Untersuchungen des neuen Instruments als mit ihm [7, S. 201].

3 Gabriel Daniel Fahrenheit

3.1 Aus Fahrenheits Leben

Die Kenntnisse über Leben und Wirken Fahrenheits sind relativ lückenhaft, und bei so manchen Fakten und Daten ist man weiter- hin auf Vermutungen angewiesen. Auch ein Bildnis ist nicht bekannt.

Gabriel Daniel Fahrenheit wurde am 24. Mai 1686 in Danzig (heute Gdansk) geboren und am 4. Juni in der Marienkirche getauft. Er war der Sohn des Kaufmanns Daniel Fahrenheit und dessen Ehefrau Concordia (verwitwete Runge), einer Tochter aus der bekannten Danziger Kaufmannsfamilie Schumann. Von den fünf überlebenden Kindern (2 Söhne, 3 Töchter) der Familie Fahrenheit war Daniel der Älteste. Sein Geburtshaus lag vermutlich in der Hundegasse 94.

Die Fahrenheits sind seit 1650 in Danzig ansässig, als der Großvater Reinhold Fahrenheit vom Kneiphof in Königsberg (Preußen) hierher übersiedelte und sich als Kaufmann niederließ (vgl. [56]). Wie Meyer [60] gezeigt hat, lässt sich 1502 ein Kaufmann und Ratsherr Hermen Varenheide in Hildesheim nachweisen, und in Rostock waren in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts mehrere Studenten dieses Namens immatrikuliert; schließlich findet sich der eindeutige Hinweis für einen möglichen Familienzusammenhang der Hildesheimer und Königsberger Familien in der Aktennotiz: „Hans Fahrenheit, aus Rostock kommend, aber aus Hildesheim stammend, wird 1512 Bürger zu Königsberg.“ Die Fahrenheits sind demnach ein altes Kaufmannsgeschlecht.

Die ehemalige Hansestadt Danzig war im 16. und 17. Jahrhundert eine der größten Handels- und Hafenstädte Europas. Die Stadt war führend am Kampf Polens gegen den Deutschen Ritterorden beteiligt gewesen und gehörte seit 1466 wieder zum Königreich Polen, wobei sie sich zahlreiche Privilegien gesichert hatte, die der einer freien Stadt nahe kamen (erst bei der 2. Teilung Polens 1793 fällt Danzig an Preußen); Amts- und Umgangssprache war entsprechend dem Ursprung der städtischen Oberschicht Deutsch. Nach 1523 begann sich die Reformation durchzusetzen.

Ständige Kriege mit Russland, Schweden und der Türkei hatten seit Mitte des 17. Jahrhunderts die politische, soziale und ökonomische Krise Polens vertieft, der polnische Adel war in sich zerstritten. Nach dem Tode von Jan III. Sobieski erwarb 1697 August II. von Sachsen die polnische Krone, ab 1700 verwickelte er Polen in den Nordischen Krieg.

Die Geschäfte des Kaufmanns Daniel Fahrenheit und seines Teilhabers Ulrich Isenhut müssen sich unter diesen politischen Bedingungen aber recht gut entwickelt haben, denn verschiedenen Angaben ist zu entnehmen, dass eine Geschäftsniederlassung in Holland existierte und dass auch größere Geldsummen verliehen wurden. Außerdem besaß die Familie - wie unter den vermögenden Bürgern Danzigs üblich - ein Gartenhaus in Schidlitz am alten Weinberg vor der Stadt.

Anfangs wurde Gabriel Daniel Fahrenheit von Privatlehrern unterrichtet, ab 1698 besuchte er die Marienschule, um sich auf ein Medizinstudium am Akademischen Gymnasium des Franziskaner-Klosters vorzubereiten (damals eine Lehranstalt mit gutem wissenschaftlichen Ruf), „... da man an ihm besondere Lust zum Studiren bemerkete ...“, wie es in einer alten Quelle heißt [72, S. 87].

Jedoch starben seine Eltern überraschend im August 1701 in ihrem Sommerhaus. Nahm man früher als Ursache eine Verwechslung von Arznei mit Gift an, so scheint Meyers Vermutung einer Pilzvergiftung [62, S. 140] plausibler.

Der Rat der Stadt übertrug bereits am 31. August 1701 die Vormundschaft über die fünf Kinder an drei Danziger Bürger, ebenfalls Kaufleute. Diese waren offenbar der Auffassung, dass die Existenz der Kinder am besten gesichert werden könnte, wenn der Älteste der Familientradition entsprechend den Kaufmannsberuf ergreifen würde. So bekam Fahrenheit Unterricht in Buchhaltung und wurde 1702 zur kaufmännischen Lehre nach Amsterdam geschickt.

Inwiefern dieser Ausbildungsort mit den Geschäftsverbindungen der Fahrenheits oder der Vormünder direkt zusammenhängt, ist nicht festzustellen, ebensowenig, wie die kaufmännische Zukunft des jungen Fahrenheit geplant war. Als Lehrherr wird ein Amsterdamer Kaufmann Herman van Beuningen genannt.¹

Fahrenheit steht seine vier Lehrjahre durch und wird Kaufmannsgeselle. Danach hängte er diesen Beruf jedoch an den Nagel:

"... alleine anstatt die Negotie fortzusetzen, spornete ihn sein so lange eingeschrenckt gewesener Trieb zu den Studiis aufs neue an, seinem vorgesetzten Ziele zu folgen. Zu dem Ende that er viele beschwerliche Reisen zu Wasser und zu Lande, conferirte mit denen berühmtesten Mathematicis in Dennemarck und Schweden, verschückte seine Instrumenten nach Ysland, Lapland und andere Öhrter, von wannen ihme die von curieusen Leuten gemachte Observationes nach Amsterdam überschücket würden, ..." [72, Ss. 87]

Wie er damals seine naturwissenschaftliche und feinmechanisch-handwerkliche Bildung vervollkommnete und welche Reisen er unternahm, lässt sich im einzelnen nicht angeben. Jedenfalls muss er kurz nach der Lehre Ende 1706/Anfang 1707 in Danzig gewesen sein, wo seine Vormünder (mündig wurde man damals erst mit 24 Jahren) ihm ins Gewissen redeten und ihm eine Stellung bei der Ostindien-Companie zu beschaffen suchten; doch nach seiner Rückkehr nach Amsterdam hat er, wie ein in [59, S.15f.] wiedergegebenes Schreiben der besorgten Vormünder an den Danziger Bürgermeister besagt,

"... dass vorige Leben wieder angefangen. Weil wir dan hieraus nichts anders als sein Verderben und höchstens ruin seiner zeitlichen Wollfahrt verspüren, ... verhoffend, dass uns E. Wohl Edl. Hochw. Rath mit Obrigkeitlicher Hülffe und Rath werden beystehen, unsere geringe Meinung und Bitte ... ist diese, das wir eine Vollmacht unter dieser Stadt Insiegel ... nach Amsterdam geben wollen, umb sothanen unmündigen, wo Er anzutreffen, durch dortige Obrigkeitliche Hülffe mit Arreste belegen, und mit ehester. Gelegenheit nach Ostindien an Orth und stelle befördern zu lassen ..."

Der Danziger Stadtrat hat am 21. 1. 1707 diese Vollmacht erteilt; ernsthafte Folgen hatte das glücklicherweise offenbar nicht.

Zu dieser Zeit muss Fahrenheit bereits Thermometer gefertigt haben; wann und wie er dazu kam, lässt sich nicht sagen (Einzelheiten der Fahrenheitschen Thermometer werden im nächsten Abschnitt behandelt). Jedenfalls muss er 1708 mit dem berühmten dänischen Astronomen Ole Roemer, der damals Bürgermeister in Kopenhagen war, daselbst zusammengetroffen sein und hat mit diesem nachweislich über Thermometer diskutiert.

Wie aus Berichten über seine Thermometermessungen zu entnehmen ist, dürfte Fahrenheit im Winter 1708/09 in Danzig gewesen und vermutlich auch mit den Vormündern ins Reine gekommen sein. Jedenfalls ist einer Eintragung im Danziger Schöppenbuch vom 28. Januar 1711 zu entnehmen, dass anlässlich der vorzeitigen Mündigerklärung seines jüngeren Bruders Ephraim auch der „ehrenwerte“ G. D. Fahrenheit anwesend war, und beide quittieren über den

¹Cohen [50, S. 6] konnte jedoch nur einen aus Danzig stammenden bereits verstorbenen Kaufmann Hendrik van Beuningen nachweisen - vielleicht wurde die Firma noch weiterhin unter diesem Namen betrieben.

Empfang ihres Erbteils [59, S. 19].

Da sich über Fahrenheits eigene Mündigkeitserklärung keine Eintragung fand, wird er im entsprechenden Zeitraum 1709/10, als in Danzig die Pest herrschte (an der 25000 Einwohner starben), auf Reisen gewesen sein; vermutlich im Baltikum, wo er auch 1711 anzutreffen ist.

In den folgenden Jahren hat Fahrenheit auf weiteren Reisen seine naturwissenschaftlichen Kenntnisse und feinmechanischen Fertigkeiten vertieft. 1712/13 war er noch einmal in Danzig und arbeitete gemeinsam mit dem befreundeten Mathematikprofessor am Danziger Gymnasium Paul Pater. 1713/14 war er in Berlin.²

Ziel dieser Reise, die ihn zwischen 1714 und 1716 auch nach Dresden, Halle und Leipzig führte, war es vor allem, in den dortigen Glashütten die Anfertigung von Thermometerröhren und die dazu verwendeten unterschiedlichen Glasqualitäten, die unterschiedliche Ausdehnung bewirkten, zu studieren und sich selbst in der Kunst des Glasblasens zu vervollkommen.

Zugleich war er auf der Suche nach einer festen Anstellung und nach bearbeitbaren Problemen, wie aus drei Briefen an Leibniz hervorgeht (in größeren Auszügen veröffentlicht in [51]). So heißt es im 3. Brief vom Juni 1716 aus Dresden:

"... so habe zwar gewünscht, dass durch recommendation eines grossen Patroni irgendwo ein employ erhalten möchte, indem aber oftmahlen bey Hofe ... wenig von Denen Ministris gefunden werden, welche recht von Solchen Sachen zu urtheilen wissen, ... als Bin ich dadurch abgehalten worden, mich sonderlich alhier umb etwas zu Bemühen, zumahlen da auch wegen des Langwierigen Krieges die Bezahlung ziemlich unrichtig fällt, ... [Dabei erhoffte sich Fahrenheit möglichst einen Dienst] ... beij welchen durch vieles Schreiben oder andern vielen Affairen nicht sonderlich von meiner neu Begierigen Arbeit abgehalten würde." (Zit. nach [51, S. 688 f.])

Leibniz hatte bereits Erkundigungen über Fahrenheit bei Christian Wolff, dem bekannten Professor für Philosophie und Mathematik in Halle (den Fahrenheit 1714 besucht hatte), einge-
zogen; jener teilte Leibniz am 28. 7. 1715 mit:

"... Er hat sich sehr löblich bisher für die Anfertigung von Thermometern und Barometern viel Mühe gegeben; er ist aber noch zu wenig in den mathematischen Wissenschaften bewandert und lässt beim Erfinden mehr den Zufall als die Überlegung walten." (Zit. nach [51, S. 687])

Da Leibniz im November 1716 starb, wissen wir nicht, ob er Fahrenheit hätte behilflich sein wollen oder können. Fahrenheit ließ sich daraufhin Anfang 1717 in Amsterdam als - wie wir heute sagen würden - Feinmechaniker und Thermometerhersteller nieder, wo er nun, von einigen Reisen unterbrochen, sein weiteres Leben verbrachte; er wohnte im Hause des Kupferschmiedes Roemer.

²Direkt belegt durch eine Vollmacht für seinen Bruder vom 12. 3. 1714 [69, S. 112]. (Mombert äußerte in [68, S. 148] die Vermutung, dass er bereits 1709/10 in Berlin gewesen sein könnte.) - Die Bestätigung seines Berliner Aufenthaltes findet sich auch in den Akten der Berliner Akademie. Im Sitzungsprotokoll vom 13. 9. 1713 ist vermerkt: „Herr Vicepraes. Johann Jacob Chuno, Direktor der Math. Klasse, berichtet, wie er die von einem hie angekommenen Künstler namens Fahrenheit angebotenen Barometra und Thermometra untersucht ... Die Thermometra aber habe er gut erkannt, und finde gut eines derselben, so anstatt der Kugel unten mit einem Cylinder versehen, vor die Societät zu erkaufen.“ In der Hauptrechnung der Societät für dieses Jahr ist aufgeführt: „Vor ein langes Thermometrum H. Fahrenheit 5 Thaler, und schließlich heißt es im Sitzungsprotokoll der mathematischen Klasse vom 26. 4. 1714: „H. Director trägt vor, der Mechanicus Fahrenheit habe vier kleine Thermometra hie gelassen, die genau miteinander übereintreffen und zu observationibus harmonici an verschiedenen Orten dienen können, darum Er sie zum Dienst der Societät behalten.“ (Archiv der AdW der DDR) Interessanterweise besaß das Observatorium der Akademie 1712 noch kein Thermometer [54, S. 30].

Mit seinen präzise gefertigten Thermometern, Barometern, optischen und anderen Geräten erwarb sich Fahrenheit auch hier bald die Anerkennung der Nutzer solcher Geräte, und Momber meint, dass er dabei eine ähnliche Stellung zu vielen bedeutenden Physikern gehabt haben müsse, wie etwa 30 Jahre später James Watt als Universitätsmechanikus in Glasgow [69, S. 112 f.].

Vor allem zählten die drei damals bedeutendsten holländischen Naturforscher zu seinen guten Bekannten: der Mediziner und Chemiker Hermann Boerhaave (seit 1709 Professor an der Universität Leiden), der Physiker und Astronom Willem Jacob 's Gravesande (seit 1717 Professor in Leiden) und der Physiker Petrus van Musschenbroek (1719 Professor in Duisburg, 1723 in Utrecht, 1740 in Leiden).

Amsterdam hatte sich im 14./15. Jahrhundert durch den Ostseehandel und den Anschluss an die Hanse zu einer bedeutenden Hafenstadt entwickelt. 1578 schloss sich die Stadt dem niederländischen Freiheitskampf gegen die spanische Unterdrückung an; infolgedessen ließen sich die brabantischen Kaufleute künftig hier nieder, und Amsterdam löste 1585 das von den Spaniern zurückeroberte Antwerpen als Welthafen ab.

Die Niederlande waren infolge der frühbürgerlichen Revolution bereits in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts zur bedeutendsten Handelsmacht Europas avanciert (K. Marx spricht im „Kapital“ Bd. 1 von Holland als kapitalistischer Musternation des 17. Jahrhunderts), und Amsterdam galt als führender Handels- und Bankplatz.

Im Zuge der Expansion des Handels hatten sich die sogenannten Generalstaaten ein riesiges Kolonialreich erobert; in diesem Zusammenhang wurde z. B. 1602 die Ostindische Compagnie gegründet. Aus der holländischen Kolonialmachtstellung ergaben sich in der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts vor allem mit England und Frankreich, den anderen beiden starken Mächten Europas, mehrere Konflikte. - Das fortschrittliche holländische Bürgertum war Kunst und Wissenschaft gegenüber aufgeschlossen und förderte beides; die Niederlande waren zu einem Zentrum der Weltkultur geworden. Im Zuge dieser Entwicklung wurde 1632 die Amsterdamer höhere Lehranstalt, das Athenaeum, gegründet (seit 1877 Universität).

Der in Leiden studierende junge Haller beschrieb 1726 Amsterdam so:

"Amsterdam, die größte Stadt von Holland, die dritte von Europa und Sitz der reichsten Kaufmannschaft der Welt. Sie ist eine halbe Stunde lang, halb so breit, dick bewohnt. Der Hafen ist eine Stunde lang oder mehr. ...

An sich selbst ist es sehr ungleich. Einige Grachten, die Herren-Kayser- Prinzen-Graft, das äußerste der Amstel sind wunderschön. Andre, und die meisten, Straßen sind enge, kothigt und weichen an Schönheit den leydenschen: Der Einwohnern Menge schätzt man auf 200000.³"

Seit 1718 hielt Fahrenheit in Amsterdam Vorlesungen physikalischen und chemischen Inhalts, in denen vor allem auf anschauliche Experimente großer Wert gelegt wurde; viele Experimentieranordnungen dürfte sich Fahrenheit selbst erdacht und angefertigt haben. Das sich entwickelnde aufgeklärte junge Bürgertum hatte ein großes Bedürfnis nach naturwissenschaftlicher Belehrung, und so erfreuten sich Fahrenheits Vorträge großer Beliebtheit.

Erstaunlicherweise nahm das Athenaeum naturwissenschaftliche Vorlesungen erst 1755 in den Lehrplan auf (vgl. [75, S. 491]). Der Plan seiner Vorlesungen ist sowohl aus einer erhalten ge-

³Aus: Albrecht Hallers Tagebücher seiner Reisen nach Deutschland, Holland und England 1723-1727, hrsg. von Ludwig Hirzel, Leipzig 1883, S. 99

- Dass Haller als Schüler von Boerhaave mit Fahrenheit bekannt war, ist zu vermuten; in seinem Tagebuch findet sich aber (S. 103) nur, folgende Bemerkung: „Warenheyd. Ein Werkzeuge-Macher, der ein sehr genau eingerichtet Wärmemaas erfunden etc.“

bliebenen Vorlesungsankündigung vom Dezember 1721 sowie aus einem wiederaufgefundenen Kollegheft von 1718 bekannt, das der Graphiker Jacob Ploos van Amstel Corneliez angefertigt hatte unter dem Titel „Physikalische Vorlesungen über Optik, Dioptrik und Lehre der Spiegel sowie über Hydrostatik und Chemie“.

Unterstützt wurde Fahrenheit bei seinen Experimenten von zwei akademischen Assistenten, einem Dr. van Ranouw, der ab 1719 eine naturwissenschaftliche Zeitschrift herausgab, und einem Augenarzt namens Dr. Boom.

Ein Zitat aus der Vorlesungsankündigung soll Impressionen von der Breite des behandelten Stoffes als auch von den Umständen vermitteln, unter denen diese Veranstaltungen stattfanden:

"Das Verfahren, die Naturwissenschaften, welche mit der Mathematik in engem Zusammenhang stehen, mittels Experimenten oder Versuchen zu demonstrieren, ist unwiderleglich das beste und braucht nicht viel angepriesen zu werden ... Dies will ich nur für diejenigen darüber sagen, welchen diese Methode noch nicht bekannt ist, dass sie angenehm ist, und dass man auch im Verstehen von Sachen (welche man beim Unterricht vor sich sieht) viel schneller vorwärts kommt, als wenn man genötigt ist, durch tiefsinnige und abstrakte Ideen die Sachen, welche erörtert werden, zu verstehen. ... beschlossen am Mittwoch, den 10. Dezember einen Anfang zu machen mit der Hydrostatik, und am nämlichen Tage mit der Optik.

Wozu dann alle Liebhaber eingeladen sind, welche wünschen, denselben beizuwohnen. Die Sachen, welche man dann behandeln wird, werden den besten Lateinischen und Französischen Autoren entnommen werden und was die Hydrostatik betrifft aus dem Werke Paradoxa Hydrostatica des Herrn Boyle, sowie auch und zwar hauptsächlich aus dem soeben erschienenen Lateinischen Buche des Herrn Professor 'sgravesande, welches den Namen trägt Physices Elementa Mathematica, außer was ich aus meiner eigenen Erfahrung denselben zufügen werden; ..."

Es folgt nun eine Übersicht über die insgesamt je 16 Vorlesungen, und dann nennt Fahrenheit die zu beachtenden Bedingungen:

1. Die Versuche werden stattfinden in einem Zimmer im Hause des Herrn Roemer, Kupferschmied in der Leidse Straat, Ecke Keisers Gragt.
2. Die Versuche über Hydrostatik werden Mittags genau 3 Uhr anfangen und bis etwa halb fünf Uhr oder fünf Uhr fortgesetzt werden.
3. Die Versuche über Optik werden Abends genau halb sechs Uhr anfangen und bis etwa 7 oder halb 8 Uhr fortgesetzt werden, aber während der Vorträge wird ein gutes Feuer brennen.
4. Für jeden Vortrag über Hydrostatik oder Optik wird beim Eintritt bezahlt, für jede Person 22 Stüber, mit diesem Unterschiede, dass für den 5. 6. 7. und 8. Vortrag über Hydrostatik 27 1/2 Stüber bezahlt wird, um einige höhere Kosten zu decken, welche dann gemacht werden.

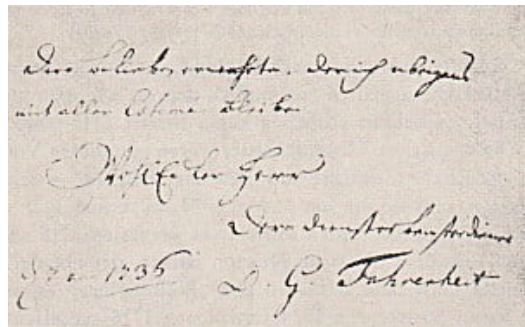
Die Themen, welche behandelt werden, wenn man mit den hier Aufgeführten zu Ende ist, werden später bekannt gegeben werden. (Zit. nach [50, S. 13-20])

Ende April 1724 fuhr Fahrenheit nach England, um vor der Royal Society zwei Vorträge zu halten (vermutlich war er, wie man aus dem ersten Brief an Leibniz schließen kann, bereits 1715 einmal in London). Die englischen Wissenschaftler waren von diesen Vorträgen (über spezifische Gewichte und über das „Beigold“) so angetan, dass sie ihn am 7. Mai 1724 sogar zum Fellow der Royal Society wählten - man sollte nicht vergessen, dass seit 1703 als deren Präsident Sir Isaac Newton wirkte, der ebenfalls ein Thermometer entwickelt hatte.

In den „Philosophical Transactions“ der Royal Society von 1724 (erschieden 1726) veröffentlichte Fahrenheit daraufhin 5 kurze Artikel über den Siedepunkt von Flüssigkeiten, das Gefrieren von Wasser, spezifische Gewichte, ein Aräometer, ein Barometer [1, S. 3-18], welche lange Zeit als seine einzigen galten (wichtige Mitteilungen über seine Thermometer sind in der 1., 2. und 5. Abhandlung enthalten). Inzwischen weiß man, dass er auch in Ranouws Zeitschrift „Kabinet der Naturlijke Historien, Wetenschappen, Konsten en Handwerken“ einiges in der damals üblichen Form von Briefen an den Herausgeber veröffentlicht hat.

Um die Abhandlungen der englischen Wissenschaftler lesen zu können, lernte Fahrenheit nun Englisch, ebenso wie schon zuvor aus ähnlichem Grunde Französisch. Deutsch und Latein hatte er bereits auf der Schule und Holländisch offenbar während seines ersten Holland-Aufenthaltes gelernt. Der Lücken in Mathematik, die schon Wolff bei ihm beklagte, und die der nicht systematischen und unabgeschlossenen naturwissenschaftlichen Ausbildung geschuldet sind, war sich Fahrenheit schmerzlich bewusst und schrieb z. B. an Boerhaave am 20. 3. 1729:

"Ach, dass ich auch einst in dieser so umfassenden Wissenschaft so weit gefördert worden wäre, dass man alle vorkommenden Erscheinungen, zum mindesten die wichtigsten und allgemeinsten, mathematisch berechnen und beweisen könnte." (Zit. nach [64, S. 162])



8 Schluss des Briefes von Fahrenheit an Linne aus dem Jahre 1736 [50, S. 33]

Von den vielen Bekannten, die Fahrenheit unter den Naturwissenschaftlern seiner Zeit hatte, sei noch der Schwede Carl von Linne genannt, da dies für die Thermometergeschichte von Bedeutung ist (vgl. S. 106).

Linne war zwischen 1735 und 1738 in Holland, und es ist ein Einladungsschreiben von Fahrenheit an Linne zu einem gemütlichen Zusammentreffen bekannt (vgl. Abb. 8). Dass Fahrenheit anregende Gesprächsrunden schätzte, ist ebenfalls einem Bericht des späteren Danziger Bürgermeisters Heinrich Zerneck zu entnehmen, der Fahrenheit am 20. Juli 1733 in Amsterdam besuchte:

"Nach allen langwierigen Gesprächen tractirte er uns, als seine Landleute, mit einem Glase Wein, und Abends begab er sich mit uns in unser Logis und entretenirte uns noch mit unterschiedenen angenehmen discoursen." (Zit. nach [57])

Verheiratet war Fahrenheit nicht; dass er einen Versuch unternommen hat, einen Ehestand zu gründen, wissen wir aus dem Brief vom 20. 3. 1729 an Boerhaave:

"Die Ursache ist nur die, dass ich zur Zeit sehr beschäftigt bin und auch dass ich, weil ich des Wohnens bei allerhand verschiedenen Leuten müde war, damit beschäftigt bin, mir eine treue Freundin zu wählen, was, wie Euerwohlgeboren verstehen wird, vorläufig noch viel Zeit erfordern wird, bevor ich damit fertig bin." (Zit. nach [50, S. 121])

Bereits am 17. 4. 1729 schreibt er ihm aber:

"... Ich hatte bei dem Fräulein (die bereits einen hübschen Groschen besitzt) viel Zutritt, aber ihre Freunde, die von ihr erben mussten, fürchtend, dass dieses Vorteilchen ihnen entgehen würde, haben es so zu drehen gewusst, dass die Sache schief gegangen ist." (Ebenda)

Im Jahre 1731 erschien in Leiden Musschenbroeks Buch „Tentamine experimentorum naturalium ...“, in dem er Fahrenheits Kunst der Thermometerherstellung sowie seine gewissenhaften Experimente würdigte.⁴

Ein Jahr darauf veröffentlichte Boerhaave seine „Elementa Chemiae“, in denen er ebenfalls Fahrenheits Experimente hervorhob; Fahrenheit hatte selbst durch mehrere im Auftrag von Boerhaave durchgeführte Beobachtungen zu diesem Werk gewissermaßen beigetragen.

In den letzten Jahren befasste sich Fahrenheit u. a. mit dem Projekt einer Wasserhebemaschine, vor allem zur Entwässerung überschwemmter Gebiete. Im August 1736 reiste er nach 's Gravenhage (heute Den Haag), um für diese Maschine ein Privilegium (Patent) zu erlangen. Es wurde ihm unter dem 24. August 1736 als Nr. 235 von den „Staten van Holland und West-Friesland“ für 15 Jahre erteilt, nachdem Fahrenheit ein Modell seiner Maschine erfolgreich vor dem Rat vorgeführt hatte.

Von dieser Patenterteilung hat Fahrenheit möglicherweise nicht mehr erfahren, denn er erkrankte schwer und bestellte am 7. September 1736 einen Notar in das Gasthaus, in dem er in 's Gravenhage wohnte, um sein Testament zu diktieren, da er, wie die Unterschrift zeigt, nicht mehr in der Lage war, deutlich zu schreiben. Darin heißt es an erster Stelle, dass er Prof. 's Gravesande bitte, seine Wasserhebemaschine zu vervollkommen, und er überschreibt ihm die Hälfte des „darauf zu erwartenden Patents“ (vgl. dazu [74] und [64, S. 169 f.]). -

Am 16. September 1736 verstarb Fahrenheit und wurde vier Tage später in der Klosterkirche von Den Haag in einem Grab 4. Klasse beigesetzt.

Der Aufstellung der Nachlassschätzung durch die vereidigte Schätzerin der Stadt Amsterdam vom 17. Oktober 1736 ist zu entnehmen, dass sich das Patent zu jener Zeit wohl noch beim Bevollmächtigten des Rates befand. Desweiteren geht daraus hervor, dass Fahrenheit in Amsterdam eine 5-Zimmer-Wohnung bewohnte, darunter ein Arbeitszimmer und ein Labor.

Während Haushaltsgegenstände sehr genau aufgeführt wurden, sind Bücher und wissenschaftliche Instrumente sehr summarisch, z. T. als „weiterer Kram“ angegeben - die Schätzerin konnte hiermit wohl nicht viel anfangen. Der Nachlass wurde am 5. Dezember verkauft, und damit ist von Fahrenheits Gerätschaften praktisch nichts mehr vorhanden.

Reichtümer hinterließ Fahrenheit nicht. Ererbtes und erarbeitetes Geld hat er wohl immer wieder in seine Forschungen gesteckt, seine „neu Begierige Arbeit“ führte ihn stets zu neuen Ideen, häufig an praktischen Bedürfnissen orientiert, wie seine bedeutendsten Arbeiten - die exakten Thermometer und die Wasserhebemaschine - belegen. Er war nicht nur ein geschickter Instrumentenmacher und Glasbläser, der an den naturwissenschaftlichen Zusammenhängen interessiert war, sondern, wie Schimank hervorhob [70], einer der ersten bedeutenden Vertreter der technischen Physik.

⁴Das ist um so bemerkenswerter, als auch Musschenbroeks Bruder Jan ein anerkannter und geschickter Instrumentenmacher in Leiden war. - Der gute Ruf von Fahrenheits Werkstatt beruhte wohl nicht zuletzt auf der gewissenhaften Prüfung aller seiner zur Lieferung bestimmten Geräte [70, S. 27].

3.2 Fahrenheits Thermometer

Die große Leistung Fahrenheits, mit der er in die Wissenschaftsgeschichte eingegangen ist - Klemm nennt ihn den Schöpfer der wissenschaftlich begründeten Thermometrie [58] -, haben schon seine Zeitgenossen erkannt. So schrieb bereits Christian Wolff in einem Artikel von 1714:

"Wenn wir Barometer und Thermometer hätten, welche an demselben Ort aufgestellt dieselben Veränderungen zeigen würden, d. h., dass die Flüssigkeit in den einzelnen bis zu demselben Grad gleichzeitig auf- und absteigen würde, so könnten wir offenbar Barometer- und Thermometerbeobachtungen, die an verschiedenen Orten oder die zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Instrumenten, an demselben Orte angestellt sind, unter sich vergleichen, ... Solche Instrumente, deren Übereinstimmung bis jetzt nur ein frommer Wunsch gewesen ist, hat mit außerordentlichem Fleiß ein Danziger namens Daniel Gabriel Fahrenheit hergestellt, der sich seit einiger Zeit bei uns aufhält und sich in der Herstellung von Thermometern und Barometern besonders auszeichnet. ... Vor einiger Zeit hatte er dem Berichterstatter 2 Thermometer zur näheren Untersuchung übergeben." [73, S. 380]

Es ist immer wieder ein Diskussionspunkt in der Literatur gewesen, wieweit Fahrenheit bei seinen Thermometern von Ole Roemer beeinflusst worden ist. Insbesondere seitdem K. Meyer 1909 Roemers Manuskript „Adversaria“ wiederaufgefunden hatte [66] - und bestärkt durch eine Stelle in einem der 1929 gefundenen Briefe Fahrenheits an Boerhaave [50, S. 9] -, wurde teilweise sogar die Meinung vertreten, das Fahrenheit-Thermometer müsse eigentlich Roemer-Thermometer heißen [52, S. 362].

Die nachfolgende Darstellung dieser Zusammenhänge ergibt sich aus einer vergleichenden Analyse der verschiedenen Auffassungen, insbesondere aus 35, 53, 55, 671. [50]



9 Ole Roemer

Es wurde bereits ausgeführt, dass die Frage nach vergleichbaren Thermometern um 1700 ein relevantes Problem war. Fahrenheit war mit der Herstellung von Thermometern schon vertraut, als er 1708 Gelegenheit hatte, Roemer zu besuchen. In dem oben erwähnten Brief an Boerhaave vom 17. 4. 1729 erinnerte er sich:

"Was nunmehr die Mittel betrifft, durch welche ich auf den Weg der Verbesserung der Thermometer gelangt bin, so sei Ihnen freundlichst mitgeteilt, dass ich Ao. 1708 durch den Verkehr mit dem trefflichen Roemer in Kopenhagen dazu die erste Anregung erhalten habe, denn als

ich eines schönen Morgens einmal zu ihm kam, fand ich, dass er einige Thermometer in Wasser und Eis stehen hatte, welche er später wieder in warmes Wasser tauchte, welches blutwarm war, und nachdem er diese beiden Grenzen auf sämtlichen Thermometern angegeben hatte, wurde die Hälfte des gefundenen Abstandes noch unterhalb des Punktes in dem Gefäß mit Eis zugefügt, und der ganze Abstand wurde in $22 \frac{1}{2}$ Teile geteilt, unten anfangend mit 0, sodann $7 \frac{1}{2}$ Grad für den Punkt im Gefäß mit Eis und $22 \frac{1}{2}$ Grad für denjenigen des blutwarmen, welche Teilung ich auch bis zum Jahre 1717 verwendet habe, nur mit dem Unterschiede, dass ich jeden Grad noch in 4 kleinere teilte." (Zit. nach [50, S. 91])

Den Notizen in Roemers „Adversaria“ ist zu entnehmen, dass dieser seit 1702 Thermometer, gefüllt mit Weingeist, auf der Grundlage von zwei Fixpunkten („Tauschnee“ und Siedepunkt des Wassers) herstellte [66, S. 325], also mit reproduzierbarer Skale (nachdem er vorher die Glasröhre mit einem durchfließenden Quecksilbertropfen genau ausgemessen hat).

Die beiden Fixpunkte bezeichnete Roemer mit $7 \frac{1}{2}$ und 60. Über die Wahl dieser Werte wurde viel spekuliert, am plausibelsten erscheint folgende Erklärung: Roemer bezeichnete zuerst den Siedepunkt mit 60, einer für einen Astronomen geläufigen Zahl, und dann teilte er seine Skale so, dass alle meteorologisch beobachtbaren Werte - und Roemer schuf sein Thermometer vor allem für meteorologische Beobachtungen - positiv wären, d. h., er legte den Nullpunkt auf die größte beobachtete Winterkälte (ein durchaus verbreiteter „Fixpunkt“).

Das ergab, dass $\frac{7}{8}$ seiner Skale oberhalb des Gefrierpunktes und $\frac{1}{8}$ darunter lag und das ergab für den Gefrierpunkt den Wert $7 \frac{1}{2}$ [35, S. 68 f.].⁵

Andererseits benötigte Roemer für meteorologische Messungen keine Thermometer, die bis zum Siedepunkt reichten, und stellte sich entsprechend kleinere her mit einer Skalenlänge von $\frac{4}{8}$ (bzw. $\frac{3}{8}$ über dem Gefrierpunkt), d. h. ein Skalenwert von $22 \frac{1}{2}$. So, mit diesen gebrochenen Werten, lernte Fahrenheit die Skale kennen.

Nun spricht letzterer allerdings von „blutwarm“, eine Bezeichnung, die bei Roemer für die Festlegung der Fixpunkte nicht vorkommt. Eine Erklärung könnte darin liegen, dass Roemer, als er meteorologische Thermometer herstellte, ein großes „Vergleichsthermometer“ in einem Gefäß mit Wasser dieser Temperatur stehen hatte.⁶

Als Roemer in dem als extrem kalt berühmten Winter von 1708/09 beobachtete (selbst Reaumur bezog sich in seiner Thermometerabhandlung von 1730 noch auf diesen extrem kalten Winter [1, S. 39]), musste er seinen Nullpunkt um ein halbes Grad nach unten verschieben⁷ und sein Gefrierpunkt lag damit bei 8° (in den „Adversaria“ liegt eine entsprechende Temperaturkurve vor [66, S. 332]).

Da aber keine Aussage darüber vorliegt, welche Bezeichnung der Siedepunkt jetzt hat, ist genauso gut die Annahme plausibel, Roemer habe einfach seine Skale so verändert, dass er von

⁵1 Dorsey [53] weist darauf hin, dass Roemers Wert 0 als niedrigste bisher beobachtete Temperatur etwa der Temperatur einer Kältemischung aus Wasser/Eis/ NH_4Cl entspricht, und es spricht nichts dagegen, dass Roemer diese Mischung bereits bekannt war.

⁶Nimmt man eine lineare Skale an, so würde Roemers $22 \frac{1}{2}$ nur etwa $28,3^\circ\text{C}$ entsprechen, also viel kälter als „blutwarm“. Weingeist dehnt sich aber nicht linear aus, wie Deluc später fand; somit ist die Skale nicht linear, und der Wert entspräche (je nach Reinheit des Weingeistes) mindestens $33,5^\circ\text{C}$, was man als „blutwarm“ empfinden könnte. - Starke Ähnlichkeiten zwischen dem Roemerschen und dem Hooke'schen Thermometer sind nicht verwunderlich, war doch Roemer Mitglied der Royal Society.

⁷Wie bereits vorn ausgeführt, war zu damaliger Zeit die Wärmestofftheorie vorherrschend, und man nahm an, mit dem Thermometer würde man die Menge der Wärme messen, die ein Körper in sich habe. Folglich schien es sinnvoll, die größte beobachtete Kälte als „Null-Wärme“ anzusehen und damit die niedrigste Temperatur mit 0 zu bezeichnen - also ein erster Ansatz zu einer absoluten Temperaturskale, offenbar unabhängig von Amontons (der wohl schon ein theoretisch klareres Konzept hatte).

den halben Werten wegkam (der Siedepunkt hätte jetzt 64°).

Davon hat Fahrenheit offensichtlich nichts mehr erfahren, denn Roemer starb 1710, und Fahrenheit bezog sich nach eigener Angabe bis 1717 auf die (ältere) Roemgersche Skale.

An dieser Stelle sei vermerkt, dass Roemer über sein Thermometer nichts veröffentlicht hat und wir deshalb erst seit der Auffindung der „Adversaria“ Genaueres darüber wissen. Wenn Roemer also für seinen Eigengebrauch recht gute Thermometer herstellte, so war darüber in der wissenschaftlichen Welt bis in unser Jahrhundert doch nichts bekannt.

Die Thermometer, die Fahrenheit 1714 an Wolff geschickt hatte, waren also noch nach dem Vorbild Roemers geteilt, und es wird berichtet, dass in dem bewussten Winter 1708/09 bereits in Danzig Messungen mit einem solchen Fahrenheitschen Thermometer durchgeführt wurden. Fahrenheit hatte Roemers Skale wohl nicht übernommen, weil sie ihm als ideal erschien, sondern weil Roemer eine erfolgreich reproduzierbare Skale hatte und Fahrenheit den Nutzen vergleichbarer Skalen erkannte. Später hat er wegen der genaueren Ablesbarkeit jeden Grad in vier Teile unterteilt, so dass sein Fixpunkt „blutwarm“ nun bei 90° lag.

Die Sache hatte aber einen Haken. Roemer hatte als oberen Fixpunkt den Siedepunkt gewählt, und „blutwarm“ - sofern dieser Begriff überhaupt von ihm benutzt wurde - war für ihn ein sehr grober Begriff (er brauchte ja keine genaue Bestimmung davon). Fahrenheit dagegen benutzte „blutwarm“ als oberen Fixpunkt, und damit wich seine Skale (wegen der nichtproportionalen Ausdehnung des Weingeistes) von vornherein von Roemers ab (was aber niemandem auffallen konnte, da Roemers Skale nicht verbreitet war). Diese Tatsache sei nur festgehalten, eine genauere Analyse ist lediglich auf Vermutungen angewiesen. Tabelle 1 zeigt, wie die Fahrenheitsche von der Roemerschen Skale abwich.

Tabelle 1

Vergleich der Roemer-Skale [°Ro] mit verschiedenen Fahrenheit-Skalen; [°F₁] - Skale Fahrenheits von 1709 in direkter Anlehnung an Roemer (durch das Missverständnis von „blutwarm“ liegt sowohl dieser Punkt als damit auch der Nullpunkt an anderer Stelle als bei Roemer); [°4F₁] - Fahrenheits Skale mit der Vierteilung der ursprünglichen Gradeinteilung; [°F] - endgültige Fahrenheitskale um 1717. Angaben nach [53, S. 370].

[°Ro]	[°F ₁]	[°4F ₁]	[°F]	
60	(49,69)	(198,8)	212	Siedepunkt
-	22,5	90	96	"blutwarm"
22,5	-	-	83,4	"blutwarm"
7,5	7,5	30	32	Eispunkt
0	-	-	6,27	Nullpunkt
-	0	0	0	Nullpunkt

Folgen wir deshalb weiter dem Brief vom April 1729:

"... Da diese Teilung wegen der gebrochenen Zahlen unbequem und nicht angenehm ist, beschloss ich die Skale zu ändern und statt 22 1/2 oder 90, 96 zu verwenden, deren ich mich nachher stets bedient habe ..., obwohl dieselbe eine zufällige ist ...

Nachdem ich so die erste Grundlage zur Verbesserung der Thermometer bei Hrn. Roemer gelegt hatte, fing ich an, einige Bücher über Barometer und Thermometer zu lesen, und da ich hörte, dass in den französischen Memoiren der Academie des Sciences hierüber viel mitgeteilt wurde, legte ich mich mittels einer guten Grammatik und eines Wörterbuches auf das Studium der französischen Sprache, welche ich - in kurzer Zeit so weit beherrschte, dass ich die

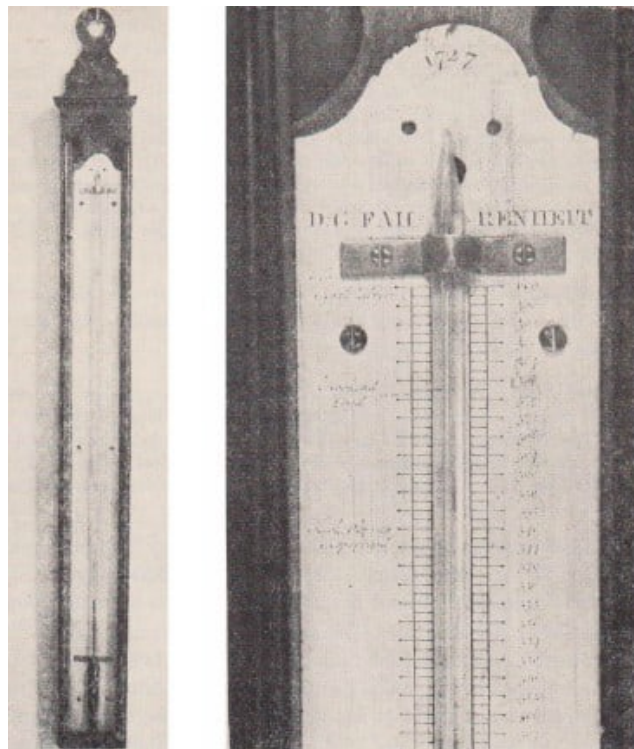
Schriften der Societät zu lesen und übersetzen vermochte, wodurch mir dazu ein großes Licht in meinen Augen aufging, unter welchen dann hauptsächlich die Abhandlungen von Maraldi, de La Hire und Amontons viel beigetragen haben ..." (Zit. nach [50, S, 9 f.]

Aus der Tabelle folgt zunächst, dass der Eispunkt nun bei 32°F liegt. In seiner 2. in den Philosophical Transactions veröffentlichten Arbeit schrieb Fahrenheit:

"... Zwei Arten von Thermometern werden von mir angefertigt, die eine ist mit Weingeist, die andere mit Quecksilber gefüllt. Die Länge wird je nach dem Zwecke verschieden gewählt. ... Die Scala derjenigen Thermometer, die nur zu meteorologischen Beobachtungen dienen, fängt bei 0 an und hört bei 96 auf. Diese Scala beruht auf der Bestimmung dreier Fixpunkte ..." [1, 5. 6]

Für diese drei Fixpunkte gab Fahrenheit an: eine Kältemischung aus Eis, Wasser und Salmiak oder Seesalz, eine Mischung nur aus Eis und Wasser sowie Mund oder Achselhöhle eines gesunden Menschen. Diese Angaben haben immer wieder zu Verwirrung in der Fahrenheit-Literatur geführt; aus heutiger Sicht benutzte Fahrenheit nur die beiden Fixpunkte Schmelzpunkt und „blutwarm“ (Körpertemperatur des gesunden Menschen) und erwähnte den 3. Punkt nur für die Festlegung des Nullpunktes seiner Skale.

Middleton ist der Auffassung, „ein Großteil der Verwirrung resultierte aus dem Glauben, dass er exakt das meinte, was er sagte, ..." [35, S. 75]. Fahrenheit fährt in seiner Thermometerbeschreibung fort:



10 Originalthermometer von Fahrenheit aus dem Museum Boerhaave in Leiden

"Die Scala solcher Thermometer, die zum Bestimmen der Siedepunkte von Flüssigkeiten dienen sollen, fangen auch bei 0 an, reichen aber bis 600 Grad, denn bei dieser Temperatur ungefähr fängt das, Quecksilber (womit das Thermometer gefüllt ist) selbst an zu kochen. " [1, S. 7]

Ziemlich sicher folgt daraus, dass Fahrenheit nicht den Siedepunkt des Wassers als Fixpunkt benutzte. Er bestimmte diesen Punkt erst, nachdem er sich Thermometer aus Quecksilber

hergestellt hatte (vgl. [1, S. 4]), und erhielt 212°F. Kurz darauf dürfte er dann auch die Druckabhängigkeit des Siedepunktes erkannt haben (in seiner als Nr. 5 genannten Abhandlung „Beschreibung eines neuen Barometers“ weist er auf die Druckabhängigkeit hin, behält sich aber weitere Versuche vor; vgl. [1, S. 17]).

Erst nach seinem Tode wurde offenbar der Fixpunkt „blutwarm“ (96°F) durch den Fixpunkt Siedetemperatur des Wassers (212°F) ersetzt.

Wenn also Fahrenheit den Siedepunkt des Wassers als Fixpunkt nicht nutzte, so war mit der Entdeckung der Druckabhängigkeit aber für künftige Forscher nun die Möglichkeit exakter Bestimmung gegeben, während die Anregungen früherer Forscher, diesen Fixpunkt zu wählen, noch von der generellen Konstanz des Siedepunktes ausgingen.

Soweit zu Fahrenheits Skalen. Aus einem Brief an Boerhaave vom 3. 3. 1729 geht hervor, dass er schon vor 1713 Quecksilber als Thermometersubstanz benutzt haben muss:

"... Zu Anfang des Jahres 1713 hatte ich kurz vor meiner Abreise aus Berlin die genaue Ausdehnung des Quecksilbers in einem aus Potsdamer Glas gefertigten Thermometer (welche ungefähr mit derjenigen des Böhmisches Glases übereinstimmt) untersucht ..." (Zit. nach [50, S. 10])⁸

Die kontinuierliche Herstellung von Quecksilberthermometern hat er offenbar ab 1717 betrieben. Dass das Quecksilber völlig gereinigt sein muss, wenn die Anzeige nicht verfälscht werden soll, war ihm klar, und in einer Abhandlung in der vorn erwähnten, von Ranouw herausgegebenen Zeitschrift ist er ausführlich auf die Reinigung des Quecksilbers eingegangen.

Von Boerhaave darauf aufmerksam gemacht, dass zwei von ihm gefertigte Thermometer - eines mit Quecksilber, das andere mit Alkohol - nicht genau übereinstimmten, vermutete Fahrenheit die Ursache in unterschiedlichen Glassorten.

Dass die Ausdehnung von Quecksilber und Alkohol nicht gleichmäßig erfolgt, fand er noch nicht heraus (vgl. [35, S. 771]), aber den Einfluss verschiedener Glaszusammensetzungen auf die Glasausdehnung und damit die Thermometeranzeige hatte er genauestens untersucht.

Wie sorgfältig Fahrenheit bei der Thermometerherstellung vorging, zeigt die Beschreibung der Evakuierung der Thermometerröhre, wie sie Fahrenheit in einer seiner Abhandlungen in den *Philosophical Transactions* gab. Dabei wies er auch auf folgende Konstruktionseigenheit hin:

"Damit aber die Thermometer von allen Temperaturänderungen rasch afficirt werden, sind statt der Kugeln Glascylinder angebracht, welche wegen ihrer grösseren Oberfläche schneller die Wärme durchströmen lassen." [1, Ss. 7]⁹

Aus der vorn erwähnten Vorlesungsmitschrift des Ploos van Amstel geht u. a. hervor, worauf Fahrenheit bei der Thermometerherstellung besonders achtete:

"Vom Thermometer: 1. Ein gutes Thermometer muss mit anderen übereinstimmen oder besser: sie müssen alle gleichgehen -

⁸Diese Briefstelle erfordert zwei Bemerkungen: Fahrenheit spricht hier von „Anfang 1713“; wenn diese Angabe stimmt, so müsste er im Winter 1712/13 nicht nur in Danzig gewesen sein (vgl. S. 29), sondern auch in Berlin. Das wäre nicht ausgeschlossen, denn da Chuno im September 1713 der Berliner Akademie über die Prüfung der Fahrenheitschen Instrumente berichtet (vgl. Fußnote S. 29), muss er sie ja vorher erhalten haben.

„Potsdamer Glas“ - gemeint ist vermutlich die Kunckelsche Glashütte auf der Pfaueninsel (heute zu Westberlin gehörig).

⁹Die Zylinderform verwendete Fahrenheit bereits 1713.

2. müssen die Veränderungen der Thermometer innerhalb fester Punkte erfolgen, die durch die Natur bestimmt und unverrückbar sind -
 3. Es ist notwendig, dass die Thermometer die Kälte und die Wärme der Luft schnell empfinden und anzeigen. -
 4. muss die Flüssigkeit, mit der die Thermometer gefüllt sind, der Luft, die es in sich hat, vereinigt bleiben.
 5. Die Farbe der Flüssigkeit muss beständig sein, sodass sie nicht mit der Zeit verschiebt und immer mit der Flüssigkeit zusammenbleibt.
- Der Nutzen, den man aus derartig gefertigten und gleichgehenden Thermometern ziehen kann, ist mannigfaltig ..." (Zit. nach [65, S. 702])

Fahrenheit hat 3 Arten von Thermometern gefertigt:

- zur meteorologischen Beobachtung (Skale von 0° bis 96°),
- zur Fiebermessung (Skale bis 128° oder 132°),
- zur Bestimmung des Siedepunktes von Flüssigkeiten (Skale bis 600°).

Daneben ist sein Hypsobarometer [1, S. 17-18] zu erwähnen, mit dem er die Lufttemperatur und den Luftdruck messen konnte, indem er die Luftdruckabhängigkeit des Siedepunktes berücksichtigte. Auf dem unteren Teil der Skale wird zuerst die Lufttemperatur bestimmt. Dann wird das Hypsobarometer in siedendes Wasser getaucht, das Quecksilber dehnt sich bis zur Höhe der oberen Skale aus, und aus der dort angezeigten Länge der Quecksilbersäule kann auf den herrschenden Luftdruck geschlossen werden (damit auch zur Höhenbestimmung günstig einsetzbar).

Nach Fahrenheits Tod übernahm offenbar der Instrumentenmacher Hendrik Prins weitestgehend dessen Herstellungsmethodik. Von Musschenbroek wurde Prins für ebenso geschickt gehalten, und Celsius bestätigte 1743 aus Uppsala den Empfang eines Thermometers von Prins [35, S. 78].

Fahrenheits Verdienste um das Thermometer seien noch einmal kurz zusammengefasst:

- Er stellte Thermometer mit großer Sorgfalt und technischem Geschick her; seine Instrumente hatten demzufolge eine gute Übereinstimmung untereinander.
- Fahrenheit erkannte Quecksilber als die geeignetste Thermometerflüssigkeit und hat seit 1717 Quecksilberthermometer kommerziell hergestellt.
- Seine Skalen basierten auf 2 Fixpunkten, dem Schmelzpunkt des Eises und der Wärme des gesunden menschlichen Körpers.
- Viele anfangs des 18. Jahrhunderts verwendete Skalen hatten ihren Nullpunkt bei „tempere“ (d. h. Normal- oder Zimmertemperatur); Fahrenheit legte in Anlehnung an Roemer den Nullpunkt tiefer, so dass beim meteorologischen Gebrauch (der verbreitetsten wissenschaftlichen Anwendung) praktisch nicht mit negativen Zahlen gearbeitet werden musste.
- Fahrenheit stellte die Druckabhängigkeit des Siedepunktes fest.

3.3 Fahrenheits weitere physikalisch-technische Arbeiten

Es ergäbe ein unvollständiges Bild des Instrumentenmachers Fahrenheit, würde man nur seine Verdienste um die Weiterentwicklung des Thermometers würdigen. Nicht nur im Zusammenhang mit seinen Arbeiten über das Thermometer hat er eine Reihe weiterer interessanter Experimente durchgeführt, die z. T. daraus resultierten, seine Thermometer, Barometer und

anderen gefertigten Messinstrumente zu verbessern (z. B. Messungen der Glasausdehnung, Bestimmung der Dichte verschiedener Substanzen, Beschreibung der Wirkung des Luftdrucks) oder ihre Anwendungsmöglichkeiten zu testen.

Auch notwendige Demonstrationsmodelle für seine Vorlesungen oder die befreundeter Forscher gaben Anstöße. Einige sollen noch kurz erwähnt werden.

So beschreibt die zweite seiner Abhandlungen in den Philosophical Transactions „Experimente und Beobachtungen über das Gefrieren des Wassers im Vacuum“. Hierin werden sehr gründlich die Unterkühlungsvorgänge untersucht (erstmalig 1677 von dem Arzt Israel Conrad beobachtet), wenn sich Wasser in einem evakuierten Glasgefäß befindet. Dabei muss man u.a. beachten, dass Fahrenheit auf natürliche Kälte angewiesen war: der Winter 1721 bot günstige Möglichkeiten, während der Winter 1722 zu warm war, so dass er seine Experimente nicht wiederholen konnte.

Bei Luftzutritt in das Gefäß, also Herstellen des normalen Luftdrucks, friert das Wasser sehr schnell in kleinen Eisnadeln aus, und die normale Gefriertemperatur stellt sich ein. Dass dies auch durch Erschütterung verursacht werden kann, bemerkte Fahrenheit zufällig, als er beim Transport eines Gefäßes stolperte [1, S. 10]!

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten fand Fahrenheit eine zweckmäßige Aräometerkonstruktion. Man unterscheidet Volumen- und Gewichtsaräometer.

Erstere sind mit einer Skale versehen, an der man je nach Tiefe des Eintauchens das spezifische Gewicht ablesen kann. Gewichts-Aräometer haben dagegen nur eine feste Marke, und die Gewichte, die aufzulegen sind, bis die Marke in die Flüssigkeit taucht, geben das spezifische Gewicht der Flüssigkeit an; die feste Marke war in der Regel die Spitze des Aräometers, d. h. das Aräometer musste völlig untertauchen.

Nach bis dahin üblichen Konstruktionen tauchten die Gewichte dann mit unter und verfälschten den Auftrieb. Nach einer Konstruktion von Hooke (1677) hing ein solches Aräometer an dem einen Arm einer Waage, während die Gewichte auf der anderen Seite auf die Waagschale gelegt wurden. Diese und ähnliche Konstruktionen waren aber unzuverlässig im Gebrauch.

Fahrenheits Gerät nun tauchte nur bis zur Marke a ein, und auf den oberen Teller konnten bequem Gewichte gelegt werden.

Die beiden Vorträge, die Fahrenheit 1724 vor der Royal Society gehalten hatte, befassten sich mit der Bestimmung spezifischer Gewichte verschiedener Stoffe. Fahrenheit beschrieb verschiedene Methoden und wies auch darauf hin, dass die Temperatur berücksichtigt werden muss [1, S. 14].

Im zweiten Vortrag wies er darauf hin, dass er mit dieser Methode im Golderz ein weiteres Mineral gefunden habe [50, S. 31]; entsprechende Versuche führte er auch im chemischen Teil seiner Vorlesungen vor. Dieses „Beigold“ hatte ein höheres spezifisches Gewicht als Gold - Fahrenheit berichtete darüber ausführlicher 1729 an Boerhaave und gab entsprechende Messwerte an [61]. Er war damit dem Platin auf die Spur gekommen, das um 1750 u. a. von William Watson als Element erkannt wurde.

Bereits um 1715 hatte er eine 1714 gestellte Preisaufgabe des englischen Parlaments aufgegriffen, eine „See-Uhr“ zur genauen Bestimmung der Longitudinalen auf dem Meere zu konstruieren.

Die Beschreibung seiner „Quecksilber-Uhr“ findet sich in einem der Briefe an Leibniz, jedoch blieb das Projekt wohl unausgeführt. Interessant ist Leibnizens Randbemerkung auf diesem Brief, zeigt sie doch, dass der große Gelehrte und Berliner Akademiegründer genau um die

Erfordernisse der Praxis wusste:

"Mein Rath ist, dass man die Sache mehr untersuche, denn die Commissarii, so das gross Britanische Parlament gesetzt, wollen nicht bloss vorschläge, sondern aussgemachte sachen haben." (Zit. nach [58, S. 332])

Manches ernsthaft durchdachte Experiment damaliger Naturforschung mutet uns aus heutiger Sicht oft etwas kurios an. So untersuchte Fahrenheit auf Anregung Boerhaaves (dieser schreibt darüber auch in seinen „Elementa Chemiae“) das Wärmeverhalten von Tieren, insbesondere, welche Temperaturen sie aushalten könnten. Zu diesem Zweck sperrte er einen Hund, eine Katze und einen Sperling in den Zuckerofen einer Zuckerraffinerie.

Fahrenheit notierte seine Beobachtungen sehr genau:

"... Die Temperatur des Ofens war nach einem Quecksilberthermometer zu jener Zeit 146 Gr. [= 63,3°C – H. K.]. Der Spatz war kaum so lang darin gewesen, dass man Zeit hatte bis 50 oder 60 zu zählen, so fing er schon zu gähnen an, mit starken Atemzügen, welche stets stärker und schneller wurden ... schließlich den Geist aufgab, nachdem er etwa 7 bis 8 Minuten in dem Ofen gewesen war ..." (Zit. nach [50, S. 251])

Auch optische Arbeiten sind überliefert. So konstruierte Fahrenheit das Modell des Menschenauges (offenbar als Anschauungsmaterial für seine Vorlesungen), um den Strahlenverlauf zu demonstrieren (64, S. 164). In seinen Optikvorlesungen behandelte Fahrenheit auch die Reflexion an verschiedenen Spiegeln sowie damit konstruierbare Geräte, und es wird die „Beschreibung eines Fernrohres mit Stahlspiegeln, schon vor einigen Jahren von D. G. Fahrenheit hergestellt“ [65, S. 701] erwähnt.

Dabei handelte es sich vermutlich um ein verbessertes Newtonsches Spiegelteleskop, das Fahrenheit schon um 1715 entwickelt hatte, und wofür er in Bergwerken der Dresdner Gegend (also wohl im Erzgebirge) sich bemühte, „... ein geeignetes Metall ausfindig zu machen ...“ [65, S. 700], offenbar für die Spiegelbelegung.

Die Konstruktion eines praktischen Heliostaten geht ebenfalls auf Fahrenheit zurück. Der Heliostat ist ein Apparat, der die Sonnenstrahlen in eine gegebene Richtung reflektiert, unabhängig von der Bewegung der Sonne am Himmel, um auf diese Weise mit ihnen bequem zu experimentieren. Die Grundidee geht auf die Academia del Cimento zurück.

Fahrenheit hat aber, wie Chwolson betont, „die erste einfache und dabei völlig genaue Konstruktion eines solchen Apparates ...“ [49, S. 664] geliefert. - Möglicherweise hat Fahrenheit die Anregung zum Bau dieses Instrumentes von 'sGravesande erhalten, denn die optischen Experimente des letzteren mit einem solchen Heliostaten sind recht gut bekannt (vgl. [17, S. 307]); 'sGravesande hat den Fahrenheitschen Heliostaten später mit Hilfe einer Uhr zu einem automatischen weiterentwickelt.

Schließlich sei noch eine kurze Betrachtung seiner Wasserhebemaschine vorgenommen, ohne auf technische Einzelheiten einzugehen, die sich aus den erhalten gebliebenen Aufzeichnungen ohnehin nur bedingt rekonstruieren lassen (vgl. [64]). Holland war ja ein Land, das infolge seiner tiefen Lage am Meer schon seit Jahrhunderten die verschiedensten technischen Konstruktionen hervorgebracht hatte, seine Polder zu entwässern.

Da die bislang verwendeten Wasserhebemühlen das Wasser nur etwa um 4 Fuß heben konnten, musste man mehrere hintereinander anlegen, um die notwendige Höhe von ca. 15 Fuß zu überwinden. Fahrenheit wollte mit seiner Maschine diese Höhe auf einmal überwinden.

Fahrenheits Wasserhebemaschine war ein Vorläufer der Zentrifugalpumpe (ein erster Vorschlag

für eine solche Pumpe wurde von Papin 1689 veröffentlicht). Fahrenheit hatte bei 'sGravesande in Leiden eine Zentrifugalmaschine (also eine Maschine zur Demonstration der Zentrifugalkraft) gesehen und sie sich von Jan van Musschenbroek erklären lassen (vgl. Zerneckes Notiz in [57]).

Diese Anregung führte ihn zu seiner Konstruktion. Für die Erlangung eines Patentbesitzes hatte er auch ein Modell seiner Maschine angefertigt, das die Gutachter offenbar überzeugte, denn im Rahmen der Patenterteilung wird festgestellt, dass eine fertige Maschine, wenn sie eine ebensolche Wirkung hätte wie das Modell, von großem Nutzen sein würde [64, S. 168]. Den praktischen Zweck, dem Fahrenheit mit seiner Maschine genügen wollte, verdeutlichen einige Bemerkungen aus seinem Patentantrag:

"... gibt Daniel Gabriel Fahrenheit, wohnhaft in Amsterdam, mit gebührender Ehrerbietung zur Kenntnis, dass er, der Bittsteller, mit großen Mühen und Kosten eine zuverlässige Wassermaschine oder Wasserrohrmühle erfunden hat (die sich sehr von den anderen bisher erfundenen unterscheidet).

... Sie kann sowohl durch Pferde, wie durch Wind, wie auch durch Menschenhand betrieben werden, um damit Polder und Seen viel bequemer als mit anderen bisher erfundenen Maschinen oder Mühlen trocken zu legen,

... Außerdem könnte sie noch mit großem Nutzen eingesetzt werden, um das stinkende Wasser aus den Grachten zu bringen ..." (Zit. nach [64, S. 167])

Der testamentarischen Bitte Fahrenheits, seine Maschine zu vervollkommen, scheint sich 'sGravesande leider nicht sehr intensiv angenommen zu haben. Jedenfalls waren dessen Bemühungen nicht erfolgreich, obwohl Zeitgenossen Fahrenheits Entwurf für recht brauchbar hielten (immerhin erinnern sich die Sachverständigen bei einem 25 Jahre späteren Patentantrag sogar an Fahrenheits Maschine).

Das Modell gilt als verschollen, Zeichnungen existieren nicht, so dass eine genaue Nachprüfung heute nicht mehr möglich ist.

4 René-Antoine Ferchault de Réaumur

4.1 Aus Réaumurs Leben

Die Ferchaults waren eine alteingesessene Familie aus der Vendee, einem französischen Landstrich an der Atlantikküste südlich der Loire-Mündung. Zur Familie, die sich bis ins 14. Jahrhundert zurück belegen lässt, gehörten Kaufleute und „ehrbare Bürger“ in verschiedenen Orten der Gegend. Ende des 16. Jahrhunderts lässt sich ein Maître Ferchault in der Gemeinde Réaumur nachweisen.

Anfang des 17. Jahrhunderts erwarb die Familie Ferchault die bis ins 13. Jahrhundert zurückreichende Herrschaft Réaumur und erlangte dabei den Aufstieg in den niederen Adel. Ein solches „Einkaufen“ in den Adel, vor allem über königliche Finanz- und Justizämter, war in Frankreich seit 1604 gesetzlich ermöglicht.

René Ferchault, „Conseiller au Presidial“ (etwa Richter an einem Appellationsgericht) in der Hafenstadt La Rochelle, heiratete 1682 Genevieve Bouchel, Tochter eines Stadtrichters aus Calais, und am 28. Februar 1683 wurde dort René-Antoine Ferchault de Réaumur, geboren und am 18. März in der St. Bartholomäus-Kirche von La Rochelle katholisch getauft.

Der Vater starb bereits 19 Monate später, noch bevor Réaumurs Bruder Jean-Honore geboren wurde. So mussten die Brüder von der Mutter und mit Unterstützung verschiedener Verwandter erzogen werden.

Über Réaumurs Kindheit ist kaum etwas bekannt. Vermutlich erhielt er seine Schulausbildung bei den Oratorianern oder Jesuiten von La Rochelle. Entsprechend den Gepflogenheiten der Bourgeoisie und des niederen Adels dieser Gegend wird er seine Bildung dann bei den Jesuiten in Poitiers vervollkommen haben. Mit Physik und Mathematik dürfte er dabei nur in geringem Maße bekannt geworden sein. 1699 schickte sein Onkel Gabriel Bouchel ihn gemeinsam mit seinem Bruder zum Jurastudium an die Universität von Bourges (etwa auf halbem Wege von La Rochelle nach Paris gelegen).



11 Jugendbildnis Réaumurs [50]

Réaumur blieb drei Jahre in Bourges. Hier hörte er nun auch Mathematik und Physik, entdeckte seine Neigung für diese Fächer und entschied sich dafür, eine juristische Karriere aufzugeben. Um seine mathematisch-physikalischen Studien fortzusetzen, ging Réaumur 1703 nach Paris. Paris war das politische und geistige Zentrum des feudalabsolutistischen französischen Staates. Noch herrschte der „Sonnenkönig“ Ludwig XIV., aber der prunkhafte Luxus von Krone

und Adel zerrüttete Wirtschaft und Finanzen. Mit der Aufhebung des Ediktes von Nantes 1685 hatte Ludwig XIV. die Verfolgung der Hugenotten, die in der Manufakturproduktion eine große Rolle spielten, eingeleitet und damit den wirtschaftlichen Verfall beschleunigt.

Protestantische Wissenschaftler wie Huygens oder Roemer verließen im Hinblick darauf die französische Akademie. Ludwig XV., bis 1723 unter der Regentschaft des Herzogs Philipp von Orleans, versuchte durch vergebliche Finanzmanipulationen - die Spekulationen des John Law führten 1720 zum Staatsbankrott - und Reformen, das feudalabsolutistische System wieder zu stärken, aber die bürgerlich-kapitalistische Klasse gewann gegenüber dem Adel mehr und mehr an Einfluss.

Seit 1150 hatte Paris eine Universität (die älteste nach Bologna), seit 1530 das College de France, an dem humanistische Bildung und Naturwissenschaften mehr im Vordergrund standen als an der Universität, ab 1666 die durch J. Colbert, den mächtigen Finanzminister Ludwigs XIV. und klassischen Vertreter des Merkantilismus, gegründete Academie Royale des Sciences, Die Mitglieder der französischen Akademie zu Paris waren Wissenschaftler im Hauptberuf und sollten vornehmlich an Problemen arbeiten, die ihnen die Minister des Königs vorgaben (dagegen war beispielsweise die vier Jahre früher gegründete englische Royal Society eine vom Staat weitgehend unabhängige Vereinigung von Privatgelehrten).

Im Jahre 1699 wurde die Pariser Akademie reorganisiert, ihre Mitgliederzahl auf 70 erhöht und dabei eine hierarchische Ordnung eingeführt (10 Ehrenmitglieder, die nicht unbedingt Wissenschaftler waren, 20 ordentliche Mitglieder, aus der Staatskasse bezahlt, 20 assoziierte Mitglieder, davon max. 8 Ausländer, 20 Studienmitglieder, jeweils von einem ordentlichen Mitglied vorgeschlagen); zugleich wurde für die nächsten 40 Jahre Bernard de Fontenelle ihr Sekretär - Schriftsteller und Naturforscher, ein Vertreter der Frühaufklärung. Aus den Ehrenmitgliedern wählte der König einen Präsidenten und einen Vize-Präsidenten, während die Geschäfte von dem Direktor und einem Stellvertreter wahrgenommen wurden, die die ordentlichen Mitglieder aus ihren Reihen jährlich neu wählten.

Réaumur schloss sich in Paris einem Cousin mütterlicherseits an, Jean-François Henault, später Präsident am Pariser Parlament, dem obersten Gerichtshof Frankreichs. Dieser ließ sich von einem gewissen M. Guisnee, Geometer und Studienmitglied der Akademie, in Mathematik unterrichten und führte Réaumur dort ein.

Bereits nach 3 Semestern hatte Réaumur seinen Cousin und seinen Lehrmeister überflügelt, und es ist wahrscheinlich, dass Guisnee Réaumur mit dem Mathematiker und ordentlichen Akademiemitglied Pierre Varignon bekanntmachte, der Professor am College de France war. Varignon beschäftigte sich u.a. mit Fragen der theoretischen Mechanik (insbesondere Statik), der Hydromechanik, Geometrie und war wohl einer der ersten in Frankreich, die sich im Anschluss an die Bernoullis mit dem Studium des unendlich Kleinen beschäftigten; er führte den Begriff der „logarithmischen Spirale“ ein.

Varignon wurde Réaumurs Lehrer und Freund und nominierte ihn im März 1708 als sein Studienmitglied der Pariser Akademie (eleve geometre de Varignon a l'Academie Royale des Sciences).

Die damaligen Vertreter der Mathematik in der Pariser Akademie haben noch heute in der Mathematikgeschichte klingende Namen und bestimmten somit ein hohes Niveau in dieser Wissenschaft: neben Varignon u. a. Philippe de La Hire, Michel Rolle, Antoine Parent, Francois Nicole. Die ersten drei Arbeiten, die Réaumur der Akademie 1708 und 1709 vorlegte - seine ersten wissenschaftlichen überhaupt -, waren geometrischen Inhalts und zeugen durchaus von

Originalität (vgl. [98]).

Jedoch setzte Réaumur seine Arbeiten auf diesem Gebiet nicht fort, sondern legte Ende 1709 eine Arbeit über Bildung und Entwicklung von Muschelgehäusen vor (vgl. dazu auch [85]). Réaumur war sicher schon länger an biologischen Fragen interessiert, und die Beschäftigung mit Seetieren resultierte wohl daraus, dass er quasi am Meer aufgewachsen war. Auch die drei der Akademie 1710 vorgelegten Arbeiten waren biologisch orientiert.

Als durch den Tod des kurz zuvor in die Akademie gewählten Mathematikers Louis Carre (ebenfalls ein Schüler Varignons) die Stelle eines ordentlichen Akademiemitgliedes erneut frei war, wurde am 16. Mai 1711 Réaumur berufen (pensionnaire mecanicien a l'Academie Royale des Sciences). Er wurde ein sehr aktives Mitglied der Akademie, auch was organisatorische Aufgaben betrifft; in den mehr als 40 Jahren seiner Mitgliedschaft war er neunmal Direktor (erstmal 1714) und zehnmal Stellvertreter (erstmal 1713) [101].

In dieser Funktion plante er die Mittwoch- und Samstag-Sitzungen der Akademie, arbeitete, wie wir heute sagen würden, Forschungsprogramme aus, schlug Kandidaten zur Wahl als Mitglied vor und dergleichen mehr. Seine erfolgreiche Tätigkeit in diesen Funktionen resultierte sicher ebenso aus seinem Geschick wie aus seinen guten freundschaftlichen Beziehungen sowohl zu Fontenelle als insbesondere auch zum Abbe Bignon, dem weitsichtigen Staatsminister und langjährigen Akademiepräsidenten (vgl. [87, S. 641]), dem sich Réaumur auch geistig sehr verbunden fühlte [100, S. 205 ff.].

Bald nach seiner Berufung wurde Réaumur mit einer Aufgabe betraut, die noch in die Zeit von Colbert und Huygens zurückreichte.

Colbert hatte eine Art technischer oder industrieller Enzyklopädie vorgeschwebt, in der alle handwerklichen und industriellen Verfahren beschrieben sein sollten, damit sie zum Wohle des Staates allseitig genutzt und von den Akademikern auf wissenschaftlicher Grundlage verbessert werden könnten.¹⁰

Deshalb hatte er die Akademie 1675 mit der Erstellung eines solchen Werkes, „Description de divers arts et metiers“ (Beschreibung der verschiedenen Künste und Handwerke) genannt, beauftragt. Dieser Aufgabe sollten die Akademiker nun auf Grund wirtschaftlicher Zwänge aktiver gerecht werden, und Réaumur war einer derjenigen, die den Sinn einer solchen Arbeit erkannten und sich mit ganzer Kraft dafür einsetzten. Obwohl durch Réaumurs Initiative nun zahlreiche entsprechende Arbeiten entstanden und der Akademie auch vorgelegt wurden, erschien die „Description des arts et metiers“ dann erst nach Réaumurs Tod unter der aktiveren Herausgeberschaft von Duhamel du Monceau.¹¹

In diesem Zusammenhang hatte Réaumur 1720 die Feststellung formuliert, dass „die Hand-

¹⁰Die meisten dieser Verfahren unterlagen ja noch immer handwerklichen Zunftgeheimnissen. Der beginnende Kapitalismus machte aber ein Gewähren entsprechender Schutzrechte durch den Staat notwendig. Seit 1617 wurden in England Patente gesammelt, 1624 gab es dort das erste Patentgesetz. Colberts Vorstellung ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, denn er übertrug der Akademie zugleich die Aufgabe der Patenterteilung; 1699 wurde dies in den neuen Grundsätzen der Akademie verankert. Der Erfinder musste eine Beschreibung sowie Zeichnung oder Modell einreichen. Nach Erteilung des „privilege“ verblieben diese bei der Akademie. Hierin steckt die Grundidee des modernen Patentwesens, für die Übergabe der Erfindung an die Öffentlichkeit einen begrenzten Schutzanspruch zu gewähren. [87, S. 67]

¹¹„Description des arts et metiers, faite et approuvée de Mess, de l'Academie royale des sciences de Paris“. Von 1761-1788 erschienen 27 Folio-Bände; allerdings sind die Abhandlungen unnummeriert und einzeln herausgegeben worden, oft mit keinen genauen bibliographischen Angaben versehen, ohne Nennung des Haupttitels „Description ...“, so dass im französischen Original kaum eine Bandzuordnung möglich ist. So sind beispielsweise die in der Hauptbibliothek der AdW der DDR (Berlin) und in der Sächsischen Landesbibliothek (Dresden) vorhandenen Bestände in unterschiedlicher Ordnung gebunden.

werkskünste von den Prinzipien der Wissenschaftler nur profitieren könnten“, wenn die Akademiker Aufgaben mit praktischen Zielsetzungen übernähmen (vgl. [87, S. 68]). Er setzte es deshalb in der Folgezeit durch, dass Akademiker nicht nur als Konsultanten der Regierung, sondern auch in verschiedenen Industriezweigen verantwortlich tätig wurden; er selbst war mit der keramischen Industrie und der Metallurgie assoziiert (die Chemiker Carles-Francois Dufay und Claude-Louis Berthollet beispielsweise in der Textilindustrie).

Für seine bisherigen Leistungen erhielt Réaumur 1721 vom Regenten eine Pension von 12000 Livres ausgesetzt, die Réaumurs Wunsch gemäß nach seinem Tode weiterhin der Akademie für die Unterstützung experimenteller Arbeiten zur Verfügung stehen sollten.

Réaumurs Interessen waren vielfältig und reichten von der reinen bis zur angewandten Wissenschaft. Das spiegelt sich allein schon in den Arbeiten wider, die er der Akademie vorlegte und die in ihren Memoirs (Histoire de l'Academie Royale des Sciences - H. A. R. S.) veröffentlicht wurden. Diese insgesamt 75 größeren Arbeiten verteilen sich auf folgende Gebiete (nach [95, S. XII]):

Physikalisch-technische Wissenschaften, insgesamt	28
Porzellan	3
Mathematik	4
Metalle	4
Geologie und Mineralogie	7
Physik (allg.)	9
Thermometrie und Meteorologie	11
Biologische Wissenschaften, insgesamt	32
Entomologie	6
Meeresbiologie	14
Biologie allg.	12
Verschiedene Themen	5

Zählt man kleinere Mitteilungen u. dgl. hinzu, ergeben sich 107 in den H. A. R. S. veröffentlichte Artikel - vgl. [101].

Dazu kommen als wichtigste Bücher seine Abhandlungen über Gusseisen und Stahl (1722), eine 6 Bände umfassende Naturgeschichte der Insekten (1734-1742) sowie 3 postume Abhandlungen in „Description des arts et metiers“.

Réaumur ließ sich bei seinen Arbeiten stets von der Einsicht leiten, dass wissenschaftliche Forschung letztendlich einem nützlichen Ziel dienen müsse. So schrieb er - recht aktuell anmutend - im Vorwort zu seinen Abhandlungen über Stahl und Eisen:

"Oft wird, ohne groß zu zögern, Wissen eingeteilt in Fakten, die interessant sind, und solche, die nützlich sind. Diese Einteilung ist weder so ohne weiteres zu machen noch so scharf umrissen, wie man denken könnte ... Das Nützliche, wenn man genau hinsieht, enthält auch immer etwas von theoretischem Interesse, und selten wird das theoretisch Interessante, wenn es weiter verfolgt wird, nicht zu etwas praktisch Nützlichem führen." [95, S. 8]

Nach Réaumur sollte die Arbeitsmethode eines Wissenschaftlers darin bestehen, eine intuitive Annahme zu machen und diese durch das Experiment zu prüfen [95, S. 210]. Keinesfalls sollte man eine Schlussfolgerung glauben, bevor man nicht alle Experimente gesehen hat, aus denen diese als notwendige Konsequenz folgt.

Dabei betonte er, dass ein negatives Resultat ebenso bedeutsam sein kann wie ein positives. Da er sich in seinen Arbeiten sehr genau an diese grundsätzlich richtige Methodik hielt, wurden

seine schriftlichen Darstellungen jedoch oft sehr weitschweifig und damit schwierig lesbar, was ihm auch Kritik seitens der Vertreter der Aufklärung - wie Voltaire - einbrachte.

Smith weist darauf hin [95, S. XXIV], dass sich hierin deutlich der Einfluss des Cartesianers Jacques Rohault zeigt, dessen „Traite de physique“ (Lehrbuch der Physik) 1671 in Paris erschien und für die Entwicklung der französischen Wissenschaft große Bedeutung erlangte. Rohault unterschied drei Arten von Experimenten: 1) die einfache, aber sorgfältige Naturbeobachtung; 2) die empirische Untersuchung, ohne alle Zusammenhänge zu kennen; 3) Experimente auf Grund von Schlussfolgerungen, um selbige zu testen.

Obwohl Réaumurs akademische Karriere mit mathematischen Arbeiten begann, hat er in spätere Werke nur selten und höchstens elementare mathematische Betrachtungen einbezogen, die dann meist noch ungenau oder unnötig kompliziert waren.

Torlais nennt Réaumur im Untertitel zu seiner Biographie „un esprit encyclopedique en dehors de l'Encyclopedie“ (etwa: ein enzyklopädischer Geist außerhalb der Enzyklopädisten) [100].

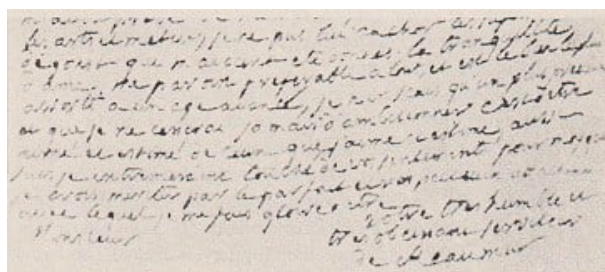
Es ist sicher berechtigt, Réaumur als eine Art Vorläufer der Enzyklopädisten zu betrachten - nicht zuletzt sind ja die „Descriptions des arts et metiers“ eine Art technische Enzyklopädie; häufig allerdings machte man Réaumur den Vorwurf, dass er sich mit zu vielen verschiedenen Problemen befassen würde und seine Lösungsvorschläge nicht immer brauchbar seien (was aber zum Teil objektiv durch den allgemeinen Stand der Wissenschaft bedingt war).

So schrieb z. B. Voltaire in seiner sarkastischen Art an den Herausgeber eines Lexikons:

"Sie können in einer zweiten Auflage zu dem Artikel „Eisen“ hinzufügen, dass all jene, die Gusseisen nach Herrn de Réaumur herstellen wollten, sich ruiniert haben. Sobald er von einer Entdeckung unterrichtet wurde, die im Ausland gemacht worden war, erfand er sie sofort. Er hat sogar das Porzellan erfunden. Man muss übrigens einräumen, dass er ein sehr guter Beobachter ist." (Zit. nach [100, S. 246])

Aber eines unterschied Réaumur grundlegend von den Enzyklopädisten: er beabsichtigte mit seinen Arbeiten keine weltanschaulich-politischen Wirkungen. Hatte er in dieser Hinsicht beispielsweise anfangs Rousseau und Diderot in ihrem akademischen Wirken unterstützt, so begegnete er ihnen bald - aus verschiedenen Gründen - mit Misstrauen; mit Montesquieu hingegen, dem aufgeklärten Staatstheoretiker der Monarchie, war er befreundet.

Manche seiner Zeitgenossen nannten Réaumur auch den „Plinius des 18. Jahrhunderts“ - der römische Schriftsteller Plinius d. Ä. hatte eine 37bändige enzyklopädische „Naturgeschichte“ hinterlassen.



12 Schluss eines Briefes von Réaumur an A. v. Haller vom 23. 2. 1756 [100, S. 256]

Durch seine zahlreichen, insgesamt doch fundierten Veröffentlichungen und umfangreichen Korrespondenzen war Réaumur zu einer anerkannten Autorität unter den europäischen Gelehrten während der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts geworden und galt als einer der bedeutendsten Vertreter der Pariser Akademie jener Zeit.

Er war Mitglied mehrerer wissenschaftlicher Akademien, darunter Bologna (1735), Petersburg (1737), London (1738), Berlin (1742) und Stockholm (1749); im Ausland weilte er jedoch nicht.

Réaumur galt als weltoffen und in Gesellschaft umgänglich, die Pariser Akademie pries in ihrem Nachruf sein vortreffliches Herz, seine Bescheidenheit und Liebenswürdigkeit [84]. Er war nicht verheiratet und auch sonst wohl nicht liiert.

Die Wissenschaft war für ihn Hobby und Hauptbeschäftigung zugleich. Der finanzielle Rückhalt, den ihm seine Herkunft und die jährliche Pension boten, erlaubte ihm ein Leben als Privatgelehrter, so dass er seinen Lebensunterhalt nicht durch Lehre an der Universität oder dgl. verdienen musste. In jüngeren Jahren war er häufiger Gast im damals berühmten Salon der Madame de Tencin.

Später hielt er sich vornehmlich in Charenton bei Paris auf (am Zusammenfluss von Seine und Marne), wohin er auch sein Laboratorium und die naturkundlichen Sammlungen verlegte. Sein Haus stand Besuchern, vor allem, wenn sie mit wissenschaftlichen Ambitionen kamen, jederzeit offen; hier beschäftigte er auch Laboratoriumsassistenten und Graveure, die die Abbildungen zu seinen Aufsätzen herstellten - eine äußerst wichtige Aufgabe. In den Wäldern und Feldern der Umgebung sammelte er einen großen Teil seiner biologischen Objekte.

Im Herbst hielt er sich regelmäßig für zwei Monate auf dem Familienbesitz in der Vendée auf. 1737 erwarb er von einem verarmten Verwandten den Titel eines „Commandeur et intendant de l'Ordre de Saint-Louis“, ein mit dem Grafen-Titel verbundenes Ehrenamt. 1755 erlangte er durch Erbschaft von einem engen Freunde, dem königlichen Sekretär Pierre Jarosson, das Schloss La Bermondiere am Fluss Mayenne in der Maine (Landschaft in Westfrankreich). Jarosson hatte das Schloss 1736 erworben und nach damaligem Geschmack umbauen lassen. Im Sommer 1757 hielt sich Réaumur auf Schloss La Bermondiere auf. Anfang September erlitt er einen leichten Schlaganfall. Als er am 17. Oktober von der Messe heimwärts ritt, erlitt er einen erneuten Anfall, stürzte vom Pferd und verstarb infolge dieser Ereignisse in der Nacht vom 17. zum 18. Oktober 1757 auf seinem Schloss.

In der Kirche der Gemeinde St.-Julien-du-Terrouse wurde er einen Tag später beigesetzt. Im Testament hatte er die Pariser Akademie zum Erben aller seiner Sammlungen und Manuskripte bestimmt.

4.2 Réaumurs technikwissenschaftliche Arbeiten

Bereits 1713, als Réaumur die Verantwortung für die „Descriptions des arts et metiers“ gerade übertragen worden war, legte er seinen ersten Beitrag hierzu vor: „Donne la description de l'art du tireur d'or“ (Beschreibung der Kunst des Ziehens von Golddraht). Diese Arbeit ist unter mehreren Gesichtspunkten interessant. Réaumurs positive Haltung zu „praktischen“ Problemen kommt dabei in folgenden Worten zum Ausdruck:

"Wir begnügen uns damit, ein Bedürfnis unseres Luxus zufriedenzustellen, aber wir bemühen uns kaum um die Erforschung der scharfsinnigen Verfahren, denen wir die Sachen schulden, von denen wir täglich Gebrauch machen." (Zit. nach [100, S. 46])

Réaumur hatte die Arbeiter genauestens bei ihrer Tätigkeit beobachtet und dadurch bisher streng gehütete Geheimnisse des handwerklichen bzw. manufakturrellen Fertigungsprozesses aufgedeckt; zugleich machte er deutlich, dass die Natur der Technik in vielem Vorbild ist oder sein kann - so verglich er z. B. den Goldfaden mit den Fäden des Spinnennetzes. Auch sei

erwähnt, dass er in diesem Zusammenhang erstmals auf die hohe Festigkeit von Glasfasern hinwies.

Die Vielfalt der Gebiete, mit denen sich Réaumur im Zusammenhang mit der Erfassung verschiedener Handwerkstechnologien befasste, kann hier nur angedeutet werden. Dabei ging es ihm nicht nur um eine Beschreibung der vorgefundenen Technologien, sondern er suchte selbst stets nach Möglichkeiten, diese zu verbessern, wobei diese Suche auf wissenschaftlicher Grundlage vorgenommen wurde.

Er versuchte, luftundurchlässiges und wasserfestes Papier herzustellen (1714), beschäftigte sich mit der Seilerei, versuchte hinter das Geheimnis der Zusammensetzung und Färbung von Türkisen zu kommen (1715), entdeckte die Herstellung der Purpurfarbe aus der Purpurschnecke neu (1711). Er wies nach, dass die Seide aus Spinnfäden nicht die Seide von Kokons ersetzen kann (1754); diese Arbeit wurde auf ausdrücklichen Befehl des Kaisers von China in die Mandschusprache übersetzt.

Seit 1717 interessierte sich Réaumur für die Porzellanherstellung. Chinesisches Porzellan, von den Holländern und Portugiesen nach Europa gebracht, erfreute sich einer wachsenden Nachfrage bei Adel und reichem Bürgertum. Alchimisten und Handwerker versuchten, das gefragte Produkt nachzuahmen.

1709 gelang es Johann Friedrich Böttger und Ehrenfried Walter Tschirnhaus in Dresden, ein vergleichbares Porzellan herzustellen; ein Jahr später entstand in Meißen die erste europäische Porzellanmanufaktur.

In Frankreich wurde seit 1693 in einer Manufaktur in Rouen, ausgehend vom Fayencen-Prozess, ein porzellanähnliches Erzeugnis hergestellt (eine Art Frittenporzellan, *Pâte tendre*), wobei als Flussmittel für die Schmelze an Stelle des Feldspat eine glasartige Masse zugesetzt wird.¹²

Réaumur war auf das Porzellanproblem gekommen, als er 1717 Kenntnis von einem Brief des Jesuitenpaters Frangois-Xavier Entrecolles erhielt, der mehrere Jahre als Missionar in China gewesen war. Dieser beschrieb ausführlich die Porzellanherstellung in den berühmten chinesischen Fabriken von Jingdezhen (Provinz Jiangxi); natürlich blieben die Ausgangsstoffe Geheimnis, aber Pater Entrecolles hatte zwei Proben mitgeschickt (das eine war Petuntse, ein Feldspat, das andere Kaolin).

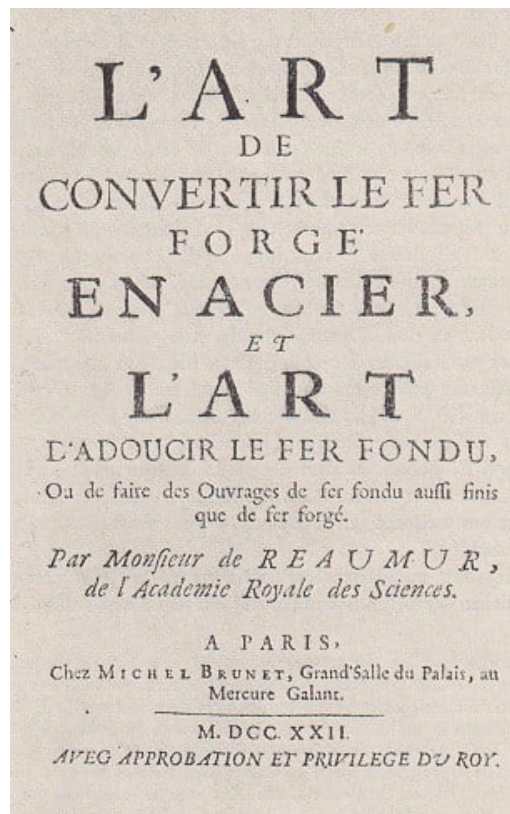
Réaumur bemühte sich jedoch zwei Jahre lang vergeblich, die Proben zu identifizieren, Ebenso gelang es ihm nicht, in Frankreich äquivalente Stoffe zu finden, obwohl ihm auf Befehl des Regenten aus ganz Frankreich Proben von Sanden, Mineralen usw. zugesandt wurden.

Wenn Réaumur somit den Prozess der Porzellanherstellung nicht endgültig aufklären konnte, da er wie andere vor ihm über die Ausgangsstoffe keine Klarheit gewann, so trugen seine Arbeiten doch wesentlich dazu bei, den Fertigungsprozess des Frittenporzellans klarzulegen (1727 und 1729 veröffentlicht).

Zugleich erkannte er, dass trotz sehr ähnlichem Aussehen chinesisches Porzellan und die französische Imitation nicht identisch waren. Reaumurs Forschungen bildeten damit wichtige Vorarbeiten, und seinem Schüler Jean-Etienne Guettard, seit 1740 Akademiemitglied, gelang es später, die notwendigen Ausgangsstoffe - speziell Kaolin - auch in Frankreich zu finden. 1765 konnte die 1740 gegründete französische Porzellanmanufaktur in Vincennes/Sevres schließlich

¹²Grundstoffe für die Porzellanherstellung sind im wesentlichen Kaolin (eine spezielle Tonerde), Sand und Feldspat sowie spezifische Beimischungen; durch einen Sinterprozess entsteht die keramische Masse, die dann nach der Formgebung einem Brennprozess unterzogen wird. Man unterscheidet vor allem Hart- und Weichporzellane (letztere mit höherem Feldspat- und Quarzanteil); das klassische chinesische Porzellan ist ein Weichporzellan, ebenso das hier genannte Frittenporzellan.

von der Herstellung des „pâte tendre“ zu echtem Porzellan übergehen.



13 Titelblatt von „L'art de convertir le fer forge en acier ...“ von 1722 [95]

Bei weiteren Experimenten zur Porzellanherstellung fand Réaumur (1739) einen neuen keramischen Stoff, ein weißes, undurchsichtiges porzellanartig wirkendes Glas, das als Réaumursches Porzellan bekannt wurde. Als Schutz von Raketenspitzen vor Überhitzung hat dieser keramische Werkstoff heute wieder Bedeutung erhalten.

Réaumurs technologische Hauptleistung liegt auf dem Gebiet der Eisen- und Stahlindustrie. Insbesondere zwischen 1716 und 1726 befasste er sich mit entsprechenden Problemen. Seine Resultate veröffentlichte er 1722 in dem Buch „L'art de convertir le fer forge en acier et l'art d'adouccir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forge“ (Die Kunst, Schmiedeeisen in Stahl zu verwandeln und die Kunst, Gusseisen zu erweichen oder wie Schmiedeeisen bearbeitete Gusseisenteile zu produzieren); der 2. Teil dieses Buches (über Gusseisen) erschien erneut, nun vermehrt um 12 Kapitel, postum 1762 unter dem Titel „Nouvel art d'adouccir le fer fondu ...“ (Neue Kunst, Gusseisen zu erweichen ...) in den „Descriptions des arts et metiers“.

Die meisten dieser zusätzlichen Kapitel dürften bis 1726 entstanden sein, und Réaumur plante ursprünglich wohl selbst ihre Veröffentlichung (vgl. [95, S. 371]). Réaumurs Abhandlung folgt in den „Descriptions ...“ auf die 3teilige Abhandlung von Marquis de Courtivron und E. J. Bouchu „Art des forges et fourneaux á fer“ (Über Hammerwerke und Hochöfen für Eisen), welche ebenfalls viele Auszüge aus weiteren (z. T. nachgelassenen) Aufzeichnungen Réaumurs enthält.¹³

¹³Die deutsche Übersetzung der „Descriptions“ erschien bereits ab 1762 unter dem Titel „Schauplätze der Künste und Handwerke“ (20 Bände im Quartformat); die ersten vier Bände wurden herausgegeben von J. H. G. von Justi (erschieden in Berlin, Stettin und Leipzig bei J. H. Rüdiger), die weiteren von D. G. Schreber (erschieden in Leipzig und Königsberg bei J. J. Kanter). Die Übersetzung bietet allerdings eine

Réaumurs Arbeiten zur Eisenmetallurgie gelten als die ersten wissenschaftlichen Veröffentlichungen auf diesem Gebiet. Natürlich hatte er Vorläufer, von denen hier vor allem „De la pyrotechnia“ (Über Feuerwerkskunst) von Vannocio Biringuccio (1540) und „De re metallica“ (Über Metallurgie) von Georgius Agricola (1556) genannt seien, in denen verschiedene metallurgische Prozesse beschrieben sind, wobei Eisen aber nur am Rande eine Rolle spielte.

Réaumur ging erstmals von einem wissenschaftlichen Standpunkt aus, indem er den Praxisprozess nicht nur beschrieb, sondern auch danach fragte, wie man ihn auf Grund wissenschaftlicher Überlegungen und danach angestellter Experimente verbessern könne.

Der Stand der Eisenmetallurgie zu Beginn des 18. Jahrhunderts wart trotz mancher Neu- und Weiterentwicklung in den wesentlichen Grundzügen noch immer so, wie er aus dem Altertum bekannt ist. In kleinen Stücköfen, Rennherden oder Luppenfeuern wurde Eisenerz mittels Holzkohle unmittelbar im „Direktverfahren“ zu schmiedbarem Eisen erschmolzen. Seit dem 13. Jahrhundert war man in der Lage, durch Verwendung größerer Blasebälge unter Einsatz der Wasserkraft die Windzufuhr zu verstärken, somit höhere Temperaturen zu erzeugen und damit eine bessere Schmelze zu erreichen.

Ein neues, wesentlich ökonomischeres zweistufiges Verfahren wurde etwa Mitte des 15. Jahrhunderts eingeführt: Erzeugung kohlenstoffreichen Roheisens im Hochofen und anschließendes „Frischen“ zu schmiedbarem Metall; bis es das alte Verfahren endgültig ablöste, vergingen aber (aus verschiedenen Gründen) mehr als 200 Jahre. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts hatte man Roheisenerzeugung und Gießtechnik soweit entwickelt, dass man Kanonenrohre, Kugeln, Ofenplatten oder Figuren gießen konnte. Die Steinkohlenverkokung und damit die Ablösung der Holzkohle, die inzwischen erhebliche Holzbestände gekostet hatte, durch Steinkohlenkoks gelang erst um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

Der erste Teil von Réaumurs Abhandlung 1722 behandelt die „Kunst der Umwandlung von Roheisen in Stahl“. Der übliche Weg der Stahlerzeugung bestand darin, das weiche Roheisen zu „zementieren“, d. h. es wurde mit Holzkohle und anderen Zusätzen gemischt und für zwei bis drei Wochen geglüht, bis es einen so geringen Kohlenstoffgehalt hatte, dass es schmiedbar wurde.

Réaumur suchte nun nach einem optimalen „Zement“. Er studierte die Erfahrungen der Schmelzer und stellte systematische Experimente an. Dazu ließ er sich Dutzende kleiner Schmelztiegel anfertigen, von denen er immer gleich 40 in einen Ofen stellen konnte, jeweils mit kleinen Variationen in der Zementmischung.

Réaumur fand heraus, dass es sowohl auf das richtige Mischungsverhältnis der Bestandteile des „Zements“ ankam als auch des „Zements“ mit dem Eisen; dass es nötig sei, die „Intensität des Feuers“ richtig zu steuern und vieles mehr [95, S. 44 ff.]. Auch ökonomische Fragen berührte er und zeigte, dass es Sparen am falschen Platz ist, wenn man aus Kostengründen für bestimmte Stoffe in der Zementmischung geringere Mengen einsetzt.

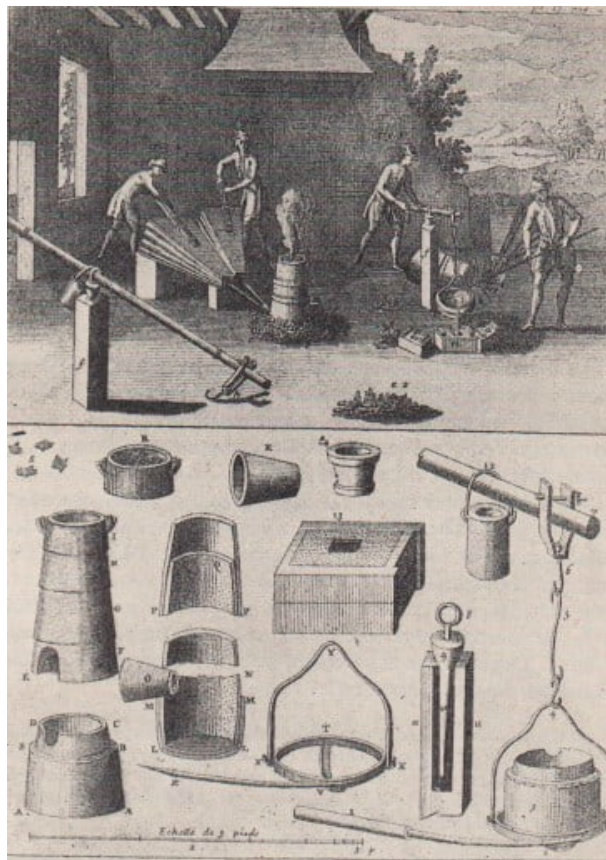
Réaumurs Werk kann hier nicht im einzelnen analysiert werden, nicht zuletzt deshalb, weil der

Artikel-Auswahl aus dem französischen Original, teilweise durch Kommentare und neue Beiträge ergänzt.

Die Bände 2 (1763) und 3 (1764) enthalten die Übersetzung der erwähnten Arbeit von Courtivron und Bouchu [81] über Eisenerz und Eisenmetallurgie. Die hier zur Debatte stehende Arbeit von Réaumur ist in der deutschen Ausgabe jedoch nicht enthalten; ebenso die als Ergänzung zu Courtivron/Bouchu im französischen Original abgedruckte ältere Arbeit von Swedenborg nicht, sondern diese wurde durch eine Abhandlung von Johann Christian über das „Eisenhüttenwerk in Baruth“ ersetzt, das der Herausgeber für den deutschen Leser wichtiger fand: „Die Beschreibung teutscher hohen Oefen und Hammerwerke intereßiret Teutschland weit näher.“ [81, Bd. 3, S. 164]

gegenüber heute wesentlich abweichende Sprachgebrauch das Verständnis erschweren würde. Vor allem aber ist zu berücksichtigen, dass die erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts erarbeiteten chemischen Kenntnisse, die ein wirkliches wissenschaftliches Durchdringen des Eisenmetallurgischen Prozesses ermöglicht hätten, noch fehlten. So waren letztendlich seine Empfehlungen zur Stahlerzeugung nur sehr bedingt praktisch brauchbar, und es trifft schon zu, was in einer Fußnote (vermutlich von Justi) zur deutschen Übersetzung des Artikels von Courtivron/Bouchu angemerkt wurde:

"Unter allen vortrefflichen Bemühungen des außerordentlich fleißigen Herrn von Réaumur, sind ihm seine Versuche und Arbeiten im Stahlmachen am schlechtesten gelungen; weil er nach einer ganz fehlerhaften Theorie arbeitete. Da ihm die Herren Franzosen noch getreulich nachfolgen; so werden wir umständlich davon zu reden Gelegenheit haben; wenn wir auf die Materie des Stahlmachens kommen." [81, Bd. 3, S. 118]



14 Tafel 13 aus Réaumurs Abhandlung über Gusseisen [95].

Im oberen Teil des Bildes ist ein kleiner Schmelzofen zu sehen sowie das Gießen in Formen. Im unteren Teil wird die Konstruktion einiger oben benutzter Gerätschaften genauer gezeigt

Es ist aber festzuhalten, dass seine Vorstellungen über die Natur des Stahles - unter Berücksichtigung des damaligen chemischen Kenntnisstandes - unserem heutigen Verständnis von Eisen mit einem bestimmten Kohlenstoffgehalt schon recht nahe kamen, im Gegensatz zu den Ansichten seiner Zeitgenossen. Auch versuchte er, allerdings ohne großen Erfolg, den Härteprozess zu erklären, und er führte zur besseren Bestimmung der relativen Härte von Stahl (als einer der wesentlichen Qualitätseigenschaften) eine Härteskala ein:

"Die Handwerker kennen nur zwei Härtegrade - den, bei dem die Feile angreift, und den, bei dem sie nicht angreift. Diese beiden Formen bringen uns nur wenig Information über die Här-

tegrade, die verschiedene Stähle haben können. ... Wir müssen deshalb Feilen haben, die eine größere Zahl verschiedener Härtegrade zu bestimmen erlauben als gewöhnliche Feilen. Verschiedene Arten von Steinen oder anderer harter Materialien dienen mir als solche Feilen. Ich benutze sieben verschiedene Arten. Die erste ist Glas, das weniger hart ist als gewöhnliche Feilen. ... Diamant ist die siebente und letzte. Ich gebe diese Steine nur als ein Beispiel an; jeder kann nach seinem Geschmack andere wählen und kann ihre Anzahl erhöhen oder senken..." [95, S. 191]

Erst rund ein Jahrhundert später führte der Mineraloge Friedrich Mohs eine entsprechende Härteskala auf der Basis von 10 Mineralien ein, die dann verbreitete Anwendung fand.

Der zweite Teil von Réaumurs Abhandlung befasst sich mit Gusseisen, wobei es vor allem darauf ankam, ein Gusseisen zu entwickeln, das weniger spröde als das bisherige war, das sich durch einen hohen Kohlenstoffgehalt auszeichnete, der allerdings einen günstigen, relativ niedrigen Schmelzpunkt ergab. Durch die Senkung des Kohlenstoffgehalts sollte das Gusseisen schmiedbar werden, um ihm weitere Anwendungsmöglichkeiten zu erschließen, z. B. für Geschützrohre, die bisher meist aus Bronze hergestellt wurden. Réaumur war der Ansicht, dass der Temperguss schon im Mittelalter bekannt gewesen sei:

"Wenn wir den Geschichten unserer Handwerker Glauben schenken, ist dies ein Geheimnis, das mehrmals verloren und wiedergefunden wurde. Sie behaupten, dass alles, was aus Eisen gemacht wurde, und das wirklich bedeutsam und erstaunlich sei, wie beispielsweise die Türbeschläge von Notre-Dame, tatsächlich Gusseisen sei." [95, S. 268]

Diese Annahme rührte daher, dass man Anfang des 18. Jahrhunderts nicht in der Lage war, solche Schmiedearbeiten mit dem Hammer herzustellen. Réaumur hob in diesem Zusammenhang hervor, dass die von ihm beschriebene Methode für den Temperguss vielleicht nicht die beste sei, aber warum solle man sich über verschiedene Methoden den Kopf zerbrechen, „solange wir eine Methode kennen, die sehr leicht und sehr billig ist“ [95, S. 270].

Réaumur erkannte, dass weißes Roheisen geeigneter war als graues, und seine theoretischen Überlegungen zu den Ursachen der Bildung von Roheisen, Stahl und Gusseisen und deren verschiedenen Eigenschaften kamen - wiederum bei Berücksichtigung der damaligen chemischen Kenntnisse - dem heutigen Verständnis sehr nahe.

Auch das Formen und Gießen erläuterte Réaumur sehr ausführlich. Seine Untersuchungen ergaben, dass sich Eisen am besten in Formen gießen lasse, da es das einzige Metall sei, dass die Formen auch vollständig ausfülle. Statt hölzerner Formkästen empfahl er eiserne und beschrieb sie sehr eingehend, gab Zubereitungshinweise für Formsand und dergleichen mehr.

"Réaumur gibt so eine Reihe praktischer Vorschriften für die Eisengießerei, die um so mehr von grossem historischen Wert sind, als wir sonst über die Eisengießerei aus der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts nur spärliche Nachrichten besitzen." [76, S. 652]

Schließlich behandelte Réaumur verschiedene Anwendungsmöglichkeiten des schmiedbaren Gusses, von Gürtelschnallen und Türklopfen bis zu Kanonen, machte auf ökonomische Vorteile, z. B. gegenüber Kunstschmiedearbeiten, aufmerksam. Leider fanden diese Arbeiten zum Temperguss nicht die notwendige Aufmerksamkeit der Praktiker, möglicherweise bestand auch noch kein ausreichendes technisches Bedürfnis danach, so dass sie gänzlich in Vergessenheit gerieten. So konnte 1804 Samuel Lucas dieses Verfahren für sich patentieren lassen.

Ebenfalls in den Umkreis der Beschäftigung mit Eisen und Stahl gehörte Réaumurs Abhandlung über „Die Fabrike der Anker - vorgelesen bey der Akademie im Julio 1723“ („Fabrique

des Ancres ...“)¹⁴. In der Einleitung umreißt er sein Anliegen.

"Anker gehörten zu den größten Schmiedearbeiten und seien vielleicht eine von denen, woran am meisten gelegen ist, sie gut zu schmieden. Wie würde es mit einem Schiffe werden, dessen Erhaltung oftmals seinen Ankern anvertrauet wird, wenn dieselben aus einem gar zu zerbrechlichen oder schlecht zusammengeschweißtem Eisen gemacht wären?" [94, S. 109]

Réaumur beschreibt zunächst die einzelnen Teile eines Ankers, geht auf verschiedene Herstellungsverfahren ein, weist auf die Vorteile eines Hammerwerkes für die Qualität der zusammengeschmiedeten Stücke hin (ein 800 Pfund schwerer Hammer, der aus großer Höhe herabfällt, an Stelle von 7-8 Schmieden mit 12-15 Pfund schweren Hämmern), betont, dass man ein günstiges Verhältnis zwischen Ausmaßen und Gewicht finden muss. Ausgehend von einem solchen Modell-Anker gibt er dann eine Formel an, nach der bei vorgegebenem Gewicht die Maße eines Ankers bestimmt werden können.



15 Büste Réaumurs von J.-B. Le Moyne, am 22. 3, 1766 in der Pariser Akademie aufgestellt [100]

Réaumur widmete sich auch der Weißblechherstellung, die in Frankreich seit Beginn des 18. Jahrhunderts dem Ruin nahe war, und veröffentlichte 1725 seine Arbeit „Principes de l’art de faire le fer blanc“ (Grundlagen der Kunst der Weißblechherstellung). In dieser Arbeit beschrieb er die Grundprozesse der Weißblechherstellung und machte sie damit allgemein bekannt.

Unter Weißblech versteht man verzinnertes Eisenblech. Ältestes Verfahren ist das Feuerverzinnen durch Tauchen in eine Zinnschmelze, Mitte des 15. Jahrhunderts in Deutschland entwickelt. Mit Réaumurs Unterstützung wurde in Cosne-sur-Loire eine neue Fabrik aufgebaut, die auch erfolgreich die Produktion aufnahm, wengleich damit die Abhängigkeit von deutschen Importen nicht beseitigt werden konnte.

Abschließend sei noch seine Beschäftigung mit dem Nadlerhandwerk erwähnt. Réaumur untersuchte die entsprechenden Drahtziehverfahren, das Schneiden und Anspitzen der Drahtstücke

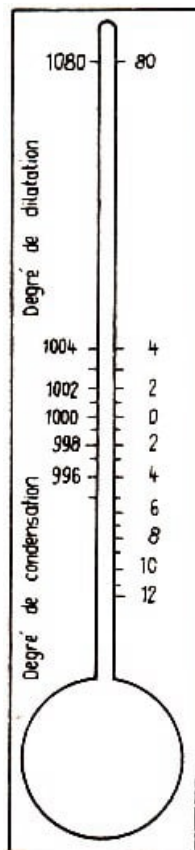
¹⁴Die Arbeit wurde von Duhamel mit ausführlichen Ergänzungen versehen und 1761 im Rahmen der „Descriptions ...“ herausgegeben. Justi nahm die deutsche Übersetzung in den ersten Band von „Schauplatz der Künste ...“ als 3. Abhandlung auf [94].

bis hin zur Erörterung der verschiedensten Nadelarten (Stricknadeln, Nägel usw., auch Haken und Ösen). Duhamel hat die von Reaumur hinterlassenen Notizen und Entwürfe hierzu mit Anmerkungen aus anderen Abhandlungen und eigenen Bemerkungen ergänzt und 1761 in den „Descriptions ...“ herausgegeben.¹⁵

4.3 Réaumurs Thermometer

Die wissenschaftliche Beschäftigung mit der Eisenmetallurgie führte Réaumur zwangsläufig auch zu Betrachtungen über die Natur der Wärme. Er hatte bereits eine ziemlich klare Vorstellung davon, dass zwischen Wärmemenge und Wärmeintensität (Temperatur) ein Unterschied besteht, dass die Wärmeleitung im Metall und im Schamottegestein des Ofens unterschiedlich ist. Diese Erkenntnisse nutzte er für die ökonomische Konstruktion seiner Schmelzöfen, denn er achtete z. B. darauf, dass der Brennstoff nur dort verbrannte, wo Flächen aufzuheizen waren.

Dabei beruhten Réaumurs Vorstellungen auf dem Konzept einer Wärmebewegung, allerdings sind mit den bewegten Teilchen Wärmeteilchen und nicht Atome gemeint; er knüpfte an die Wärmetheorie von Descartes an. So schrieb er im Zusammenhang mit der Stahlhärtung durch Abschrecken in verschiedenen Flüssigkeiten in Bezug auf Quecksilber:



16 Schematische Darstellung der Réaumurschen Skale nach seiner ersten Thermometerveröffentlichung von 1730

"Wenn ich nach dem Abschrecken meinen Finger in das Quecksilber tauchte, so schien mir, dass es stärker erwärmt worden war als Wasser, wenn darin ein Stück Stahl der gleichen Größe abgeschreckt worden wäre. Da jedoch ein gegebenes Volumen Quecksilber etwa dreizehnmal

¹⁵Unter dem Titel „Der Nadler, oder die Verfertigung der Nadeln“ ebenfalls in Band 1 von „Schauplatz der Künste ...“ aufgenommen.

schwerer ist als ein gleiches Volumen Wasser, würde man vermuten, dass Quecksilber einen viel höheren Grad von Wärme erfordern würde als Wasser, um auf denselben Grad erwärmt zu werden. Es war nicht natürlich das Gegenteil zu erwarten ... Man könnte sagen, dass die Quecksilberteilchen leichter in Bewegung versetzt werden können als jene des Wassers ..." [95, S. 234 f.]

Auch den Effekt der niedrigeren Verdampfungswärme bezog er in die Erklärung ein. Dies dürften wohl die ersten expliziten Beobachtungen bezüglich der spezifischen Wärme sein (aus heutigen Messungen folgt, dass Quecksilber sich 2,2mal stärker erwärmt als das entsprechende Wasservolumen). Joseph Black, der später das Konzept der spezifischen und latenten Wärme zuerst formulierte, war mit Réaumurs Ergebnissen vertraut, wie aus seiner autobiographischen Skizze hervorgeht: „Die Methoden des Schreibens des gefeierten Réaumur erschienen mir ebenfalls ungemein angenehm.“ [91, S. 5]

Im Zusammenhang mit den genannten Experimenten erkannte Réaumur, dass man für eine genauere Untersuchung dieser Erscheinungen ein Thermometer benötigen würde:

"... Ich weiß (und wer weiß das nicht?), dass man vermittels der Berührung nicht mit Gewissheit beurteilen kann, wie heiß oder kalt eine Substanz ist. Ich wünschte, ich hätte Thermometer zur Hand gehabt von brauchbarer Größe und Form, um mir größere Gewissheit in diesem Fakt zu geben, oder - freimütig gesagt - um es anderen unbestreitbar zu beweisen." [95, S. 235]

Am 15. November 1730 stellte Réaumur der Pariser Akademie seine „Regeln zur Konstruktion von Thermometern mit vergleichbaren Skalen, die eine Vorstellung von der Kälte und der Wärme geben, die auf bekannte Maße bezogen werden können“ vor. Er leitete sie mit folgenden Worten ein, die zugleich etwas über die damalige Verbreitung und Einschätzung der Nützlichkeit des Thermometers aussagen:

"Die Thermometer sind ohne Widerrede eine der hübschesten Erfindungen der modernen Physik, welche zugleich am meisten zu deren Fortschritten beigetragen haben. Sie haben uns eine große Zahl interessanter Kenntnisse vermittelt, die ohne ihre Hilfe nicht erreichbar erschienen. In wie vielen Fällen hätten wir ohne Thermometer erfahren können, dass mit einander zusammengemischte Flüssigkeiten sich erwärmen? ...

Wir wüssten ebensowenig, dass siedendes Wasser eine Temperatur hat, über welche hinaus das Wasser nicht erwärmt werden kann. Alle Physiker wissen, dass zahllose Experimente mit dem Thermometer in der Hand angestellt werden müssen.

Und nicht sie allein bedürfen dieses Instrumentes; es ist nicht auf ihre Laboratorien beschränkt geblieben; man liebt es sehr, das Thermometer zu beobachten, um die Temperaturen der Luft zu erfahren; namentlich wenn die Kälte oder die Wärme unbequem wird, beachtet man das Instrument. ... Weiß man einerseits, wie amüsant und nützlich dieses Instrument ist, so kennt man andererseits seine Unvollkommenheit. Der Gang fast aller Thermometer ist verschieden; ... so versteht man schließlich nur das Thermometer, das man mehrere Jahre lang selbst verfolgt hat, jedes andere bleibt unverständlich. Auch haben die Thermometer bisher noch fast gar nicht zur Kenntnis der größten Kälte und größten Wärme verschiedener Klimate gedient. Fragen von großem Nutzen und hohem Interesse. Wir möchten doch gerne wissen, welchen Kälte- oder Wärmegrad Menschen wie wir ertragen können.

Auch wäre es wichtig, zu erfahren, welche Temperaturen Pflanzen und Bäume zu ihrem Wachstum bedürfen, die, wenn sie nicht bei uns einheimisch sind, sich akklimatisieren könnten." [1, S. 19 f.]

Im Juni 1731 legte er die „Zweite Abhandlung über die Konstruktion der Thermometer mit

vergleichbaren Graden, nebst Versuchen und Bemerkungen über einige Eigenschaften der Luft“ vor.

In seiner Pariser Wohnung und auch in der Umgegend von Paris hat Réaumur zwischen 1732 und 1740 regelmäßige meteorologische Messungen vorgenommen und in den Memoirs der Akademie veröffentlicht. Danach scheint er sich nicht mehr mit dieser Problematik beschäftigt zu haben.

Réaumur ging bei seinen Thermometerarbeiten von der Kenntnis der Florentiner Thermometer und vor allem der Arbeiten von Amontons und La Hire aus; Hookes rund 70 Jahre vorher auf ähnlicher Grundlage durchgeführte Arbeiten (im Grunde wiederholte Réaumur in seiner Arbeit sogar dessen „Fehler“) sowie Fahrenheit's Instrumente kannte er nicht.

Erst im Jahresbericht für 1739 über den Temperaturverlauf in Paris vermerkte er:

"Das von M. Musschenbroek benutzte ist ein Quecksilberthermometer, konstruiert von dem verstorbenen Farenheit, der, mit außerordentlichem Erfindergeist begabt, auch Hilfsmittel für die Industrie schuf." (Zit. nach [80, S. 323])

Von Quecksilber als Thermometerflüssigkeit wollte Réaumur nichts wissen, und die bisher gebräuchlichen Luftthermometer waren ihm zu ungenau. Er benutzte deshalb „eine sehr ausdehnbare Flüssigkeit, nämlich Weingeist“ [1, S. 24], und es stand für ihn fest, dass nur auf dieser Grundlage vergleichbare Thermometer zu konstruieren seien, wobei er erkannte, dass die Sorte sehr genau bestimmt werden müsse, da verschiedene Konzentrationen natürlich Einfluss auf die Ausdehnung haben.

Réaumur's Grundidee war, nur einen Fixpunkt zu wählen und dafür statt einer linear geteilten eine volumetrisch geteilte Skale festzulegen, bezogen auf das gesamte Flüssigkeitsvolumen im Glaskolben. Um dies sehr genau tun zu können, schlug er Thermometerkolben von 4 1/2 Zoll Durchmesser und Röhrendurchmesser von 1/4 Zoll vor.

Es störte ihn nicht, dass seine Weingeistthermometer sehr viel unhandlicher wurden als Quecksilberthermometer, er ging im Gegenteil von einer Analogie zur Astronomie aus und meinte, genauere Messungen erforderten auch größere Instrumente.

Er füllte sein Thermometer mit 1000 Flüssigkeitseinheiten (für den Graduierungsprozess verwendete er Wasser oder Quecksilber) und markierte den Füllungsstand mit 0°. Nun gab er mit Pipetten genaue Flüssigkeitsmengen hinzu bzw. saugte sie ab und markierte so Grad für Grad nach oben und unten auf der Skale.

Nun wurde das Thermometer mit Weingeist gefüllt, in gefrierendes Wasser - getaucht, und Thermometerflüssigkeit so nachgefüllt, dass ihr Niveau den Nullpunkt erreichte, Wenn das Niveau sich nach mehreren Überprüfungen konstant hielt, wurde die Thermometerröhre zugeschmolzen oder mit einer Wachsmischung verschlossen.

Hat schon die Bestimmung des Gefrierpunktes nach diesem Verfahren verschiedene Ungenauigkeiten, so erst recht die Bestimmung der Siedetemperatur. Zwar benötigte Réaumur sie nicht direkt als Fixpunkt, aber als Thermometerflüssigkeit empfahl er Weingeist, dessen Volumen beim Gefrieren des Wassers 1000, und durch siedendes Wasser ausgedehnt, 1080 beträgt. In diesem Falle wird, wenn das Thermometer lang genug ist, die Marke des Wassersiedepunktes der Ausdehnung rechts mit 80 ... bezeichnet. [1, S. 49]

Hier kommt also die Zahl 80 der Réaumur-Skale her, aber tatsächlich war das infolge Réaumur's Experimentieranordnung weder die Wassersiede- noch die Weingeistsiedetemperatur, denn da der Weingeist früher siedet als Wasser, kann er nicht die Siedetemperatur des Wassers an-

nehmen. Diese Tatsache war Réaumur zwar im Prinzip bekannt, er meinte aber, sie durch sinnreiches Vorgehen umgehen zu können.

Auch berücksichtigte er den Einfluss des Luftdrucks auf die Siedetemperatur nicht, obwohl dies spätestens seit Fahrenheit bekannt war, ein Beispiel dafür, wie wichtig die Kenntnis der ausländischen Literatur ist. Diese Mängel erkannten bereits seine Zeitgenossen, beispielsweise George Martine in einem 1740 veröffentlichten Essay [32]. Hier sei Lambert zitiert:

"Dieses schien alles ganz gut ausgedacht zu seyen, und viele, die lieber dem Herrn von Réaumur eine Höflichkeit erweisen als die Sache selbst untersuchen wollten, fanden seine zwei Abhandlungen hierüber vortrefflich. Indessen waren nicht alle so leichtgläubig. ... Ueberdies trat auch bald Micheli du Crest auf, und beschuldigte das Réaumursche Thermometer, dass daran die zum Grunde gelegte Grade gar nicht getroffen worden, und besonders, dass sein Grad des siedenden Wassers nichts weniger als das, sondern nur der Grad des siedenden mittelmäßigen Weingeistes sey. Martine in seinen Abhandlungen über die Thermometer und Grade der Wärme führte ähnliche Klägden ... Endlich hat auch ganz neulich Herr de Luc' sich in seinen Modifications de l'Atmosphère über dem Réaumurschen Thermometer schr lange aufgehalten, und die Mühe genommen, ein Thermometer zu: verfertigen, welches nach Réaumurs Vorschrift eingetheilt war, um dessen Fehler noch mehr aufzudecken. Aus allem ergab sich, dass was Réaumur für 80 Grade ausgab, an seinen Thermometern in der That 90, 100 bis 110 Grade austrug, und dass sie nichts weniger als übereinstimmend waren." [29, S. 64]

Thermometer, die nach Réaumurs Angaben von verschiedenen Mechanikern bzw. Forschern angefertigt wurden, stimmten also nicht überein. Zum Teil wurden seine Angaben aber auch modifiziert; Brisson z. B. ersetzte den Gefrierpunkt durch den Schmelzpunkt (möglicherweise tat dies aber bereits Réaumur 1732 selbst auf Anregung von Nollet - vgl. [35, S. 861]). Andere ersetzten Weingeist durch Quecksilber - Réaumur war das nicht unbekannt.

1736 erwähnte er es selbst in einer Abhandlung -, behielten aber die 80°-Skale bei und nahmen nun 80° tatsächlich als Siedepunkt des Wassers. Réaumur machte selbst darauf aufmerksam (1739), dass Weingeist und Quecksilber in ihrer Ausdehnung nicht proportional seien und dass man dies berücksichtigen müsse, wenn man vergleichbare Thermometer herstellen wolle. Von den Thermometerherstellern wurde dies jedoch kaum beachtet.

Man stellte Quecksilberthermometer her mit einem Eispunkt bei 0°, dem Siedepunkt des Wassers bei 80°, teilte die Skale linear und benannte sie nach Réaumur, ohne Réaumurs Ausführungen bzw. ihre Arbeit weiter kritisch zu betrachten.

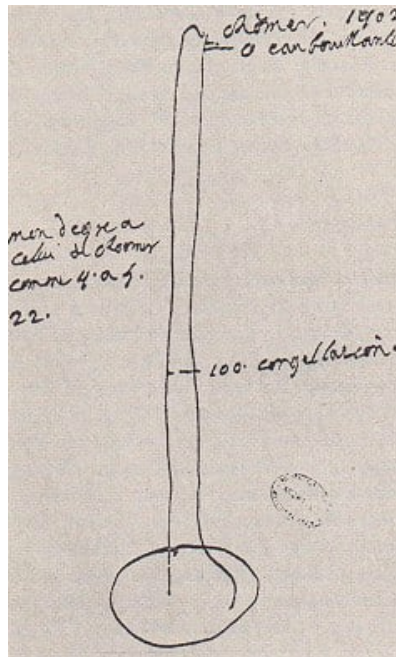
Wenn genauere Angaben fehlen, lässt sich bei Autoren des 18. Jahrhunderts, die vorgaben, die Réaumur-Skale zu benutzen, nicht genau feststellen, welche Temperaturen sie gemessen haben. Réaumur hat also sein Ziel, vergleichbare Thermometer herzustellen, tatsächlich nicht erreicht. Dass sich eine „Réaumur-Skale“ überhaupt durchsetzte, dürfte wohl mehr dem allgemein hohen Ansehen Réaumurs geschuldet sein als seiner tatsächlichen Leistung auf diesem Gebiet.

Es sei erwähnt, dass der französische. Astronom Joseph Delisle, seit 1725 im Dienste Peters I. an der Petersburger Akademie, 1732 ein dem Réaumurschen analoges Thermometer entwickelte.

Delisle, spätestens seit 1724 mit der Thermometerherstellung vertraut, benutzte Quecksilber, teilte nach Volumeneinheiten und bezeichnete den Siedepunkt des Wassers (den er als Fixpunkt nahm) mit 0°, den Gefrierpunkt mit 150°.

Es ist bezeichnend, dass ein entsprechendes Manuskript von Delisle 1734 vor der Pariser Akademie zwar vorgetragen, aber nicht veröffentlicht wurde, während im gleichen Jahre Christfried

Kirch in Berlin einen Brief Delisles darüber veröffentlichte [24]. Delisles Thermometer waren wesentlich besser konstruiert als Réaumurs und blieben in Russland über ein halbes Jahrhundert in Gebrauch.



17 Skizze Réaumurs zu einem 100gradigen Thermometer [35]

Schließlich weist Middleton [35, S. 91ff.] auf eine Skizze Reaumurs hin, auf der ein 100gradiges Thermometer abgebildet ist (vgl. Abb. 17). Diese geht vermutlich auf Mitteilungen des Dänen Peter Horrebow aus dem Jahre 1741 zurück, der in Kopenhagen Roemers Witwe besuchte. Genau ließen sich die Zusammenhänge aber bisher nicht klären; zumindest scheint Réaumur keine weiterreichenden Schlussfolgerungen gezogen zu haben.

Die Thermometerarbeiten kann man als Beitrag Réaumurs zur Physik ansehen. Deshalb sei an dieser Stelle auch noch ein indirekter Beitrag Réaumurs zur Physik erwähnt.

In einem Brief berichtete ihm P. v. Musschenbroek Anfang 1746 aus Leiden von seinen gemeinsam mit Kollegen durchgeführten Versuchen mit einer wassergefüllten Glasflasche, in der ein Draht steckte, den er mit einer Elektrisiermaschine auflud. Als er an den Draht fasste, empfand er einen heftigen Schlag. Ewald Georg Kleist in Deutschland hatte diesen Versuch kurz zuvor ebenfalls ausgeführt.

Damit war eine Möglichkeit der Elektrizitätsverstärkung gefunden, eine Vorform des Kondensators. Réaumur zeigte diesen Brief Nollet, der den Versuch sofort wiederholte, und am 20. April 1746 vor der Pariser Akademie über die „Leidener Flasche“ berichtete, eine Bezeichnung, die in die Physikgeschichte einging [100, S. 287 ff.].

4.4 Réaumur als Naturforscher

Wenn man keinen Gegensatz hineininterpretiert, könnte man sagen, dass Réaumur die technisch-wissenschaftlichen Arbeiten pflichtbewusst im Auftrage der Akademie durchführte, während seine eigentliche wissenschaftliche Neigung der Biologie, speziell der Zoologie, gehörte.

Thomas Huxley hat seine Bedeutung auf diesem Gebiet der Naturforschung sogar mit Charles Darwin verglichen (vgl. auch [86, S. 334]). Aber Réaumurs biologische Arbeiten waren ebensowenig auf sogenannte „reine Wissenschaft“ ausgerichtet, wie alle anderen; sein wissenschaftliches

Interesse war verknüpft mit der Suche nach nutzbringender Anwendung des Wissens.

Seide, Wachs, Honig und andere wichtige Produkte der Insekten sah er unter ökonomischen Gesichtspunkten, versuchte ihre „Produktionstechnologien“ künstlich nachzuahmen; seine Untersuchungen an Muscheln und zur künstlichen Perlenzüchtung zwischen 1709 und 1717 sind ebenfalls in diesem Zusammenhang zu sehen. Als wichtige Aufgabe sah er es auch an, die Insekten genauer zu studieren, die dem Menschen in irgendeiner Weise Schaden zufügen (z. B. Kleidermotte, Pflanzenschädlinge), um diesen Schaden rechtzeitig abzuwenden. Réaumur ist damit gewissermaßen ein Pionier der angewandten Entomologie. Die Insektenkunde war sein biologisches Hauptarbeitsgebiet.

Der kinetische Mechanizismus Descartes hatte im 17. Jahrhundert auch die biologischen Anschauungen beeinflusst und u. a. zu einer Lehre von den Tieren als Maschinenautomaten geführt, in deren Bau man die Erklärung für die Lebensvorgänge meinte suchen zu müssen (vgl. [89, S. 229 ff.]).

Das bedingte, dass man der Morphologie der Tiere besondere Aufmerksamkeit widmete, um so mehr, als seit 1600 das Mikroskop als Untersuchungsinstrument zur Verfügung stand. Eine der ersten Entdeckungen damit war das Fazettenauge der Biene, 1618 durch Stelluti in Rom.

Das wesentlich Neue an Réaumurs Arbeiten war, dass er morphologische Aspekte wieder etwas in den Hintergrund treten ließ gegenüber verhaltensphysiologischen und ökologischen Beobachtungen. Réaumur wird deshalb auch mit vollem Recht als ein Pionier der wissenschaftlichen Verhaltensforschung bezeichnet [99, S. 75].

Wie bei seinen Vorstellungen über Wärme knüpfte Réaumur in seinen biologischen Anschauungen ebenfalls im wesentlichen am Descartesschen Mechanizismus an, allerdings wesentlich geprägt durch die Arbeiten von Jan Swammerdam und anderen, die unter Einbeziehung theologischer Schöpfungsgedanken, zum biologischen Konzept der Präformation (Vorbildung aller Teile eines fertigen Organismus bereits im Embryo) geführt hatten, weil die Bildung komplizierterer Lebewesen allein auf mechanizistischem Wege nicht mehr erklärbar war.

Andererseits erkannte Réaumur durchaus auch eine Reihe von Schwierigkeiten der Präformationstheorie, z. B. bei der Erklärung von Vererbungserscheinungen. So stand Réaumur im Kampf der präformistischen gegen die neueren epigenetischen Theorien in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts zwar mehr auf Seiten der älteren Theorie, erkannte aber durchaus deren zunehmende Probleme.

Solange die Biologie bzw. Zoologie mehr oder weniger im Rahmen der Medizin betrieben wurde, befasste sie sich vornehmlich mit dem Menschen und großen Tieren. Ihre Verselbständigung im 17. Jahrhundert ging einher mit der Zuwendung zu kleineren Tieren, ermöglicht u. a. durch das Mikroskop, und Insekten wurden ein beliebtes Forschungsgebiet, dem sich auch Réaumur hauptsächlich widmete.

Dabei war der Terminus „Insekt“ im frühen 18. Jahrhundert durchaus nicht nur auf 6beinige Gliederfüßer beschränkt, sondern wurde praktisch für alle zu den Wirbellosen zählenden Kleintieren benutzt.

Réaumurs biologisches Hauptwerk ist seine 6bändige Naturgeschichte der Insekten („Memoires pour servir a l'histoire des insectes“), die zwischen 1734 und 1742 erschien [92]. Warum die ursprünglich geplanten 10 Bände nicht zustande kamen, ist unklar.

Möglicherweise hielt ihn eine Rivalität mit seinem populären Akademiekollegen Georges Buffon davon ab; gemeinsam mit Maupertuis gehörte dieser zu den Popularisatoren des Newtonianismus in Frankreich, was nicht nur für die Physik von Bedeutung war, sondern woraus u. a.

ein neues Herangehen an die Lebenserscheinungen resultierte, und Buffons 36bändige Naturgeschichte erschien ab 1749. Aus Réaumurs nachgelassenen Manuskripten wurde in unserem Jahrhundert noch einiges herausgegeben, so über Ameisen und Käfer.

Besonders fasziniert war Réaumur von dem sozialen Verhalten der Insekten. So schrieb er:

"Ich habe bereits ausreichend erklärt, dass der Teil der Insektengeschichte., für welchen ich besonders empfänglich bin, derjenige ist, der ihr erfinderisches Talent [das franz. „genie“ ist hier schwer übersetzbar - H. K.] betrifft, ihren Gewerfleiß; so wird ihr Gewerfleiß oft über die Ordnung entscheiden, in der ich sie behandeln werde." [92, Bd. 1, S. 51]

Mit dieser Einordnung weicht er dann aber, wie er selbst feststellt, oft von Swammerdam oder Vallisnieri (dessen Insektenstudien erschienen 1733 in Venedig) ab, und manchmal ist schwer zu erkennen, welches Insekt er eigentlich beschreibt.

Im sozialen Verhalten der Insekten, wie der Ameisen oder Bienen, gewissermaßen ein Spiegelbild des gesellschaftlichen, industriellen und künstlerischen Lebens der Menschen zu erblicken, war eine im 16. und 17. Jahrhundert verbreitete Ansicht, der auch Réaumur stark verhaftet war und die sich bis ins 20. Jahrhundert hinein hält (man lese z. B. Maeterlincks bei Erscheinen vielbeachtetes Buch [90]).

Band 5 von Réaumurs Naturgeschichte der Insekten war wohl der verbreitetste, es gibt davon auch eine deutsche Übersetzung: Geschichte der Bienen [93].¹⁶

In 9 Kapiteln beschrieb er das Leben in einem Bienenstock, die verschiedenen Arbeitsverrichtungen der Bienen, ihren Bau und ihre Fortpflanzung, die Wachserzeugung und anderes mehr. Er verwendete viel Zeit auf das Studium der Bienen und hat in seinen Gärten in Charenton eine Vielzahl von detaillierten Experimenten gemacht. Maeterlinck schrieb:



18 Titelblatt der deutschen Ausgabe von Réaumurs „Geschichte der Bienen“ [Exemplar der Sächsischen Landesbibliothek Dresden]

¹⁶Réaumur beruft sich darin insbesondere auf die Arbeiten von Swammerdam zur Bienenkunde. Interessant ist dabei eine Bemerkung zur Verbreitung jenes Werkes. Réaumur betont, dass Swammerdams Werk leider in holländisch abgefasst war und dass es das Verdienst Boerhaaves sei, selbiges in lateinischer Sprache herausgegeben (1737) und somit allgemein - d.h. auch ihm - zugänglich gemacht zu haben [93, S. 3].

"... Man kann ihn noch heute mit Erfolg und ohne Langeweile lesen. Er ist klar, ehrlich, genau ... Er hat sich vor allem angelegen sein lassen, eine Reihe von alten Irrtümern zu zerstreuen, - wofür er freilich einige neue in Umlauf gesetzt hat ..." [90, S. 5]

Zur besseren Beobachtung der Bienenstöcke erfand Réaumur einen Kasten mit Glaswänden. Swammerdams morphologisch-anatomische Untersuchungen der drei Bienenformen ergänzte er durch seine verhaltensphysiologischen und bestätigte so endgültig die Einteilung in Königin, Arbeitsbienen und Drohnen. Er erkannte, dass jeder Schwarm nur eine Königin hat und machte erste Studien zur „Bienensprache“.

Réaumur fand, dass man die Bienen kurzzeitig „betäuben“ könne, wenn man einen Bienenstock in kaltes Wasser taucht. Auf diese Weise konnte er die Tiere sortieren, zählen usw. Er maß die täglich gesammelte Blütenstaubmenge, zählte die von einer Königin gelegten Eier, die Larven in einem Bienenstock, studierte die geometrische Form der Honigzellen und dgl. mehr.

Ähnlich exakte Beobachtungen, wie hier für Bienen beschrieben, nahm Réaumur auch bei anderen Insekten vor und leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur Insektenkunde. In Band 1 und 2 seines Werkes behandelte er Raupen und Schmetterlinge, und hier fand er z. B., dass verschiedene Wärmegrade das Wachstum von Schmetterlingspuppen beeinflussen. Damit zeigte er den Einfluss von Umweltbedingungen auf die biologische Entwicklung. Zugleich deutete er diese Versuche im Sinne der Präformationstheorie, d. h., bestimmte biologische Zustände könnten so lange in einer Art „Warteposition“ bleiben, bis die Bedingungen ihrer Entwicklung förderlich seien.

Eine weitere Bestätigung der Präformationstheorie sah er in seinem Nachweis der Parthenogenese (Entwicklung der Eizelle ohne vorangegangene Befruchtung) bei der Blattlaus, über den er 1740 berichtete. Hingegen erschütterten seine 1740-42 durchgeführten Forschungen über Polypen - z. B. bestimmte er die Hydra eindeutig als Tier und nicht, wie verbreitet, als „Tierpflanze“ - und die Entdeckung ihrer Regeneration die Präformationstheorie aufs äußerste. Genannt sei noch ein zunächst etwas kurios anmutender Vorschlag im Band 6 (S. 233 f.), der zeigt, wie Réaumur stets auf der Suche nach praktischen Nutzenanwendungen seiner Forschungen war, auch wenn sie scheinbar ferner lagen. Aus einem genauen Studium des Baues der Wespennester meinte Réaumur darauf schließen zu können, dass man speziell behandeltes Holz zur Papierherstellung benutzen könnte, denn die äußeren Teile eines Wespennestes, für die Holz verwendet wird, ähneln dem Papier.

Im Beitrag „Die Kunst Papier zu machen“ von La Lande für die „Description ...“ erwähnt dieser Réaumurs Vorschlag. In der deutschen Fassung im „Schauplatz der Künste ...“ Band 1 findet sich dazu folgende Anmerkung des Herausgebers:

"Diese Gedanken des Herrn von Réaumur von Anwendung des verfaulten Holzes zum Papiermachen verdienen so wenig Beyfall, dass man sich wundern muss, wie er darauf verfallen können ..." (S. 452)

Rund ein Jahrhundert später zeigte sich jedoch, dass Réaumurs Idee gar nicht so abwegig war, denn 1843 baute Friedrich Gottlob Keller im Zusammenhang mit seiner Erfindung des Holzschliffs zur Papierherstellung auf ähnlichen Überlegungen auf.

Andere Gebiete der Zoologie hat Réaumur ebenfalls durch Arbeiten bereichert. So veröffentlichte er 1752 eine Arbeit über die Verdauung bei Vögeln („Sur la digestion des oiseaux“), die einen bedeutenden Beitrag zur physiologischen Forschung darstellt. Er ließ körnerfressende Vögel kleine Glas- und Blechröhrchen schlucken und zeigte, dass die mechanischen Kräfte ihrer Mägen diese zerstörten bzw. „zerbeulten“.

Bei fleischfressenden Vögeln hingegen (er gab einem Milan eine fleischgefüllte Röhre zu fressen) wies er nach, dass die Verdauung vor allem durch chemische Prozesse gefördert wird.

1749 hatte Réaumur den jungen Brisson als Verwalter der reichhaltigen Sammlungen seines Naturalienkabinetts angestellt. Brisson unterstützte ihn vor allem bei den Experimenten mit Vögeln, und 1760 erschien dann dessen Buch über Ornithologie. Das Naturalienkabinett wurde 1760 mit dem Königlichen Kabinett, dessen Leiter Buffon war, vereint, und beide bildeten einen wichtigen Grundstock des späteren „Museum national d'Histoire naturelle“ in Paris.

Abschließend sei noch ein interessanter Beitrag zur Entwicklungsgeschichte genannt, der mit Fossilienfunden in der Touraine (westliches Mittelfrankreich) zusammenhing. Réaumur erklärte 1720 die Funde von verschiedenen Muschelschalen in Bodenschichten dieser Gegend mit der Existenz von Verbindungen dieser vom Meer entfernt liegenden Gebiete mit dem Atlantik in der Vergangenheit.

Manches weitere aus seinen biologischen Arbeiten wäre erwähnenswert. Der deutsche Herausgeber der „Geschichte der Bienen“ beurteilte Réaumurs Arbeiten so:

"Wer nur einige Blicke in die Naturgeschichte gethan, dem kan selbiger als einer der grösesten und geschicktesten Naturforscher nicht unbekannt sein: über dieses würden die verschiedenen Schriften, welche er an das Licht gestellt, und niemals ohne allgemeinen Beifall aufgenommen worden, seinen unermüdeten Fleis, angewendete Geschicklichkeit, weitläufige Erfahrungen, welche er sich in dieser Wissenschaft gesamlet, zur Genüge an den Tag legen." [93, Vorbericht].

5 Anders Celsius

5.1 Uppsala im 17./18. Jahrhundert und die Ausbildung des jungen Celsius

Anders Celsius wurde in Uppsala am 27. November 1701 als Sohn des Astronomieprofessors Nils Celsius und dessen Frau Gunilla geb. Spole geboren.

Seine beiden Großväter Magnus Celsius und Anders Spole waren ebenfalls Astronomieprofessoren in Uppsala. Ein weiterer Astronomieprofessor der Stadt, Petrus Elvius, war sein Onkel - er war mit der Schwester seiner Mutter verheiratet.

Die Universität von Uppsala ist die älteste schwedische Universität, gegründet 1477 durch den schwedischen Erzbischof Jakob Ulfsson, gedacht als nördlichster Außenposten der Katholischen Kirche. Daran orientierte sich der Unterricht an den 4 üblichen Fakultäten für Theologie, Jurisprudenz, Medizin und Philosophie.

Infolge dieser Ausrichtung war ein Niedergang der Universität während der Zeit der Reformation unvermeidlich. Über mehrere Jahrzehnte war die damals einzige Universität Schwedens sogar völlig geschlossen, erst 1593 wurde sie offiziell wiedereröffnet, nun unter lutherischer Konfession.

Die Förderung durch König Gustav II. Adolph, der der Universität 1620 u. a. auch ein großzügiges Geschenk von wertvollen Büchern machte und damit die Universitätsbibliothek begründete, brachte im 17. Jahrhundert dann einen neuen Aufschwung, der unter der sich in der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts entwickelnden europäischen Großmachtstellung Schwedens anhielt. Olof Rudbeck, der als Begründer der schwedischen Wissenschaft gilt und ein ziemlich universeller Gelehrter war, entwarf einen Plan für die Entwicklung der Universität und setzte sich, u. a. als Rektor, für dessen Realisierung ein.

Die durch die militärischen Erfolge Gustav II. Adolph eingeleitete Expansionspolitik Schwedens wurde durch die ökonomische Entwicklung unterstützt. Es entstanden Manufakturen, der Handel wurde ausgedehnt, neue technische Verfahren verbesserten die Produktion von Kupfer- und Eisenerzeugnissen. Schweden erreichte um die Mitte des 17. Jahrhunderts eine Blüte der Renaissancekultur.

Zugleich wurde die absolutistische Monarchie weiter gestärkt, die nach außen durch verschiedene Kriege abgesichert werden sollte, was für die Bevölkerung schwere Belastungen mit sich brachte.

Die Friedensschlüsse von Stockholm, Frederiksborg und Nystad zwischen 1719 und 1721 brachten Schweden jedoch den Verlust vieler Gebiete, die nachfolgenden Staatsreformen stellten die Ständeherrschaft gegenüber dem Königtum wieder her und gaben dem Reichstag neue Machtbefugnisse. Außenpolitisch orientierte sich der Hochadel in den folgenden Jahren stärker auf Frankreich, der niedere Adel und das Bürgertum mehr auf Russland.

Parteienkämpfe und sozialökonomische Auseinandersetzungen führten Mitte des 18. Jahrhunderts zu einer erneuten Stärkung des Absolutismus, nun im Sinne einer „aufgeklärten“ Monarchie.

Diese politische Entwicklung Schwedens fand ihren Niederschlag auch in der wissenschaftlich-kulturellen Entwicklung. Königin Christine zog um die Mitte des 17. Jahrhunderts bedeutende Gelehrte nach Schweden, z. B. Descartes wirkte hier in den letzten beiden Lebensjahren, Studenten wurden im eigenen Lande und im Ausland ausgebildet.

Allerdings war die wissenschaftliche Ausbildung gegen Ende des 17. Jahrhunderts von einer

gewissen Einseitigkeit geprägt; vor allem wurden Priester und Beamte herangezogen; zwar wurde naturwissenschaftliche Bildung in breiter Form vermittelt, aber dabei war scholastisches Denken vorherrschend, quantitative bzw. experimentelle Naturwissenschaft wurde weitgehend abgelehnt.

Erst 1689 wurde nach harten Auseinandersetzungen an der Universität Uppsala durch Beschluss des Königs verfügt, dass cartesische Philosophie und lutherische Theologie parallel gelehrt werden dürfen, womit das aristotelische Konzept, das dem theologischen Dogma seine Stabilität gab, erschüttert war.

Wer moderne Naturwissenschaft lernen wollte, musste ins Ausland gehen, Holland und Frankreich waren bevorzugt.

Uppsala hatte im 18. Jahrhundert nur etwa 3000 Einwohner, dazu etwa 700-800 Studenten. Ein Großteil der Stadt war 1702 durch ein Großfeuer zerstört worden; der Wiederaufbau wirkte sich aber für die Universitätsentwicklung durchaus förderlich aus. Die experimentelle Naturwissenschaft begann sich um die Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert zu etablieren.

Erik Benzelius, Bibliothekar der Universität und Polyhistor, begründete um 1710 in Uppsala Schwedens erste wissenschaftliche Akademie, das „Collegium Curiosorum“; Emanuel Swedenborg, eines ihrer Mitglieder und Schwager von Benzelius, gab 1716 Schwedens erste wissenschaftliche Zeitschrift „Daedalus Hyperboreus“ heraus. Neu belebt wurden diese Aktivitäten in der 1728 gegründeten wissenschaftlichen Gesellschaft von Uppsala.

Die Ständeherrschaft ermöglichte der bourgeoisen Mittelklasse, eine merkantilistische Politik zu betreiben. Neue Manufakturen entstanden, die Bedeutung der experimentellen Wissenschaften für eine Verbesserung der Produktion wurde erkannt, und dementsprechend wurden sie gefördert.

Mit der Gründung der Königlichen Schwedischen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm 1739 hatte Schweden nunmehr zwei wissenschaftliche Zentren: Stockholm und Uppsala, dazu einige weitere Universitäten.

Dieses knapp skizzierte wissenschaftliche und soziale Umfeld prägte wesentlich die Entwicklung des jungen Anders Celsius; über seine Kindheit ist nichts weiter bekannt. Sein Vater Nils Celsius war Schüler von Spole und ein Verfechter des kopernikanischen Weltbildes und hatte bei der Verteidigung seiner Dissertation (1679) arge Kämpfe mit den lutherisch-orthodoxen Theologen auszufechten.

Die Dissertation wurde nicht anerkannt, und er hat erst 1685 mit einer anderen astronomischen Arbeit erfolgreich promoviert. Später befassten sich die Mitglieder des „Collegium Curiosorum“ auch mit der Newtonschen Gravitationstheorie.

Spole hatte sie als einer der ersten an Uppsalas Universität gelehrt, Elvius und Swedenborg erkannten ihre grundsätzliche Bedeutung. Ihre - wie die der meisten schwedischen Wissenschaftler - wesentlich durch Descartes geprägte Auffassung der Physik stand der Newtonschen Himmelsmechanik jedoch sehr kritisch gegenüber.

Nils Celsius wirkte als Mathematik- und Astronomielehrer an der Philosophischen Fakultät der Universität. Nachdem ihm 1699 sein Schwager Elvius für die Astronomie-Proessur vorgezogen worden war, übernahm er das Rektorat an der Kathedralschule von Uppsala (vgl. [116]). Obgleich Nils Celsius ein sehr gelehrter Mann war, wurden bei Bewerbungen um Professuren stets andere vorgezogen, so auch sein Bruder Olof¹⁷; erst 1719 folgte er seinem Schwager in

¹⁷Olof Celsius, der seinen Neffen Anders noch um 12 Jahre überlebte, spielte im wissenschaftlichen Leben Uppsalas eine wichtige Rolle. Seit 1703 als Professor für Griechisch an der Universität Uppsala, wurde er 1715 Professor für orientalische Sprachen, und nach einem theologischen Studium 1727 auch Professor

der Astronomieprofessur.

Berücksichtigen wir dazu den Großbrand von 1702, die Pest von 1710 sowie die Auswirkungen des Nordischen Krieges, so waren die äußeren Lebensumstände, unter denen Anders Celsius aufwuchs, sicherlich nicht sonderlich freundlich. Andererseits war das geistige Klima in dieser Universitätsstadt, in der viele Akademiker untereinander verwandt waren, und zu einer Zeit, wo sich ein Aufschwung der Naturwissenschaften in diesem Lande vorbereitete, sicher sehr anregend.

"Eine besondere Neigung zur Mathematik, welche durch seiner Aeltern und Angehörigen Beyspiel aufgemuntert ward, musste nothwendig bey ihm eine große Lust an diesen Wissenschaften erwecken, so dass es nicht fremd scheinen durfte, wenn man ihn in seiner zartesten Kindheit die Gestirne nennen, und den mathematischen Figuren ihren Namen geben hörte, Man fand unter seinen Spielsachen Polyedra und Himmelskugeln, man sahe ihn selbst auch die Zeichnung und Zusammensetzung solcher Dinge versuchen, welches ihm endlich diente, Sonnenzeiger zu machen, ein Nutzen von dieser Arbeit, welcher seinen Jahren gemäß war." [124, S. 143]



19 Anders Celsius [118]

Das naturwissenschaftliche Interesse war also von Anfang an gegeben, dennoch war die Familie in Anbetracht der Schwierigkeiten, die der Vater hatte, der Ansicht, den Sohn auf die Beamtenlaufbahn vorzubereiten und Jura studieren zu lassen. Anders Celsius begann sein Jurastudium 1717.

Hier lernte er den drei Jahre älteren Samuel Klingenstierna¹⁸ kennen, der den Naturwissenschaften ebenfalls mehr Interesse entgegenbrachte, und bald beschäftigten sich beide nur noch damit.

Protokolleintragungen von 1722 belegen, dass der Student Anders Celsius meteorologische Beobachtungen unter der Leitung des damaligen astronomischen Assistenten Burman durchführte [118, S. 9].

der Theologie; schließlich 1733 Domprobst. Erwähnenswert sind auch seine Beiträge zur Erforschung der Runenschrift.

¹⁸Klingenstierna wurde ein über die Grenzen seines Landes hinaus bekannter Mathematiker und Physiker (seit 1728 Mathematikprofessor in Uppsala), dessen mathematische Hauptleistung auf dem Gebiet der linearen Differentialgleichungen und der Variationsrechnung liegt; er wird auch „Vater der schwedischen Mathematik“ genannt. 1750 übernahm er den neuen Lehrstuhl für Experimentalphysik, er arbeitete insbesondere über Elektrizität (betrachtete sie als eine universelle Naturkraft) und geometrische Optik (1754 grundlegende Arbeit zur chromatischen Aberration); auch übersetzte er Musschenbroeks Physiklehrbuch ins Schwedische.

In den folgenden Jahren trieb Celsius offenbar verstärkt mathematische Studien und gab 1727 ein 112 Seiten umfassendes elementares Lehrbuch der „Arithmetik oder Rechenkunst“ heraus, das er 1741 erweiterte und noch einmal überarbeitete. Zwischen 1728 und 1730 hielt er Vorlesungen über Mathematik. Zum anderen hörte er 1728 in Stockholm Physikvorlesungen bei dem bedeutenden Mechaniker M. Triewald.¹⁹

Am 12. Dezember 1727 verteidigte Celsius unter dem Vorsitz Burmans seine Promotionsschrift „De motu vertiginis lunae“ („Über die Drehbewegung des Mondes“ - 16 Seiten), legte am 29. April 1728 sein Abschlussexamen in Mathematik und Naturwissenschaften ab und verteidigte am 21. Mai 1728 noch seine philosophische Abhandlung „De existentia mentis“ („Über die Existenz der Erinnerung“).

1729 wurde er zum Sekretär der Wissenschaftlichen Gesellschaft Uppsala gewählt und bemühte sich in dieser Funktion aktiv um die Entwicklung der Wirksamkeit dieser Gesellschaft.

Nachdem Burman, noch nicht vierzigjährig, am 3.11. 1729 starb, wurde Celsius mit der Wahrnehmung von dessen Pflichten betraut; am 31. Januar 1730 wählte ihn die Fakultät aus 5 Bewerbern für diese Astronomieprofessur aus, und am 25. April 1730 wurde er berufen. In der Begründung der Fakultät spielte u.a. eine Rolle, dass er in Astronomie und Mathematik geschult war, und dass er „... eine Auslandsreise beabsichtige, um sich in Mathematik zu vervollkommen“ [118, S. 16].

Man berief Celsius also im Bewusstsein der Tatsache, dass er längere Zeit abwesend sein würde, aber war sich eben des Nutzens einer solchen Bildungsreise für die spätere Ausbildung bewusst.

Zunächst aber begann Celsius seine Lehrtätigkeit mit einem Vorlesungszyklus über astronomische Beobachtungskunst, gefolgt 1731/32 von einer Vorlesung über sphärische Trigonometrie. Daneben veröffentlichte er mehrere Aufsätze vorwiegend astronomischen Inhalts, darunter 1730 „Eine neue Methode der Abstandsbestimmung Sonne-Erde“ („Nova methodus distantiam solis a terra determinandi“).

5.2 Professor für Astronomie, Bildungs- und Forschungsreise sowie Tätigkeit in der Schwedischen Akademie

Das astronomische Instrumentarium, das Celsius bei Amtsantritt übernahm und das von der Universitätsbibliothek verwaltet wurde, war nicht gerade umfangreich. Wenn es zu dieser Zeit auch allgemein üblich war, dass jeder Forscher die wissenschaftlichen Instrumente, die er für seine Arbeit benötigte, selbst anschaffte, was sich natürlich insofern auf die Lehre negativ auswirkte, als experimentelle Demonstrationen u. dgl. auf das seinen Forschungsinteressen angepasste Instrumentarium beschränkt blieben, so wurden für astronomische Geräte, die damals schon vergleichsweise groß und teuer waren, des öfteren seitens der Universitäten oder „zuständigen“ Fürsten Mittel zur Verfügung gestellt.

Spole hatte seinerzeit ein kleines Observatorium in seinem Hause eingerichtet, Elvius stellte seine Instrumente auf einem Hügel im Freien auf.

Seit 1716 hatte Benzelius Vorschläge für die Errichtung eines Observatoriums unterbreitet,

¹⁹Triewalds Physikvorlesungen in Stockholm sind in ihrer Bedeutung etwa denen von Fahrenheit in Amsterdam vergleichbar; später wurden diese Vorlesungen von dem schwedischen Physiker J. C. Wilcke übernommen. Triewald hatte mehrere Jahre in England gelebt, eine umfangreiche Instrumentensammlung nach Schweden mitgebracht und lehrte die Newtonsche Physik; er war Mitglied der Royal Society, später auch der Schwedischen Akademie.

Burman hatte sich sogar von Cassini, dem Direktor der Pariser Sternwarte, einen Entwurf schicken lassen. Zwar konnten unter Burman einige Geräte angeschafft werden, aber nach wie vor blieb die Instrumentensammlung sehr bescheiden.

Vor allem jedoch fehlte es an einem geeigneten Beobachtungsraum zur Aufstellung der Instrumente [116, S. 60].

Dieses Erbe übernahm nun Celsius, aber er konnte sich der Unterstützung der Universitätsleitung versichern, dass ein mit zeitgemäßen Instrumenten ausgerüstetes Observatorium für künftige Lehre und Forschung dringend erforderlich sei.

"Der Trieb, den er hatte, das Aufnehmen der Sternkunst zu befördern, und dabey nicht nur als ein Lehrer, sondern auch als ein Erforscher neuer Wahrheiten zu arbeiten, veranlassete ihn, sich eine Reise zu den vornehmsten astronomischen Warten vorzunehmen, so wohl die Einrichtungen zu besehen, als mit den Beobachtern selbst bekannt zu werden." [124, S. 145]

Am 17. März 1731 erhielt Celsius vom König die beantragte Erlaubnis für eine solche Auslandsreise, wobei ihm sein Gehalt weitergezahlt werden sollte, was zu einer Zeit, wo feste Gehälter noch längst nicht üblich waren, schon ein großes Entgegenkommen war; zusätzlich bewilligte ihm der Universitätskanzler ein Stipendium. Nachdem Klingenstierna von seinem Auslandsaufenthalt zurückgekehrt war - Celsius hatte für ihn die Mathematikvorlesungen gehalten - konnte sich Celsius reisefertig machen.

Celsius verließ Uppsala im August 1732 mit seinem ständigen Begleiter auf seinen Auslandsreisen und Schüler, dem Soldaten Jonas Meldercreutz, später Mathematikprofessor in Uppsala, bekannt durch Arbeiten zur Schallgeschwindigkeit. Über Göteborg, Ystad und Greifswald erreichte er am 28. Oktober Berlin.

Hier blieb Celsius den Winter über und arbeitete bei Christfried Kirch, seit 1716 Direktor der um 1710 in einem Turm des Akademiegebäudes eingerichteten Berliner Sternwarte. Unter anderem beobachtete er am 13. Mai 1733 eine partielle Sonnenfinsternis (in Schweden war es eine totale) und berichtete darüber im Bd. 4 der *Miscellanea Berolinensia*, der von der Berliner Akademie herausgegebenen Zeitschrift. Während seines Berliner Aufenthaltes wurde Celsius mit der Mehrzahl der Berliner Akademiemitglieder bekannt, und am 10. 2. 1734 wählte ihn die Akademie zum sog. abwesenden Mitglied.

Ende Mai verließ Celsius Berlin und reiste über Wittenberg und Leipzig weiter nach Nürnberg, wo er sich drei Monate aufhielt. Hier und an der nahegelegenen Universität Altdorf suchte er wiederum die Bekanntschaft der führenden Professoren.

Mit seinem in Berlin erworbenen Quadranten bestimmte er die geographische Breite Nürnbergs. Er veröffentlichte einen ins Lateinische übersetzten Bericht von Linne über dessen Lappländische Reise²⁰, und er regte den Altdorfer Buchdrucker und späteren Physikprofessor Adelbulner an, eine astronomische Zeitschrift herauszugeben, für die er das Vorwort und mehrere Beiträge schrieb.

Um zum weiteren Studium dieser Naturerscheinung anzuregen, gab er auch eine Abhandlung über „316 Beobachtungen des Nordlichtes“ heraus, die eigene und fremde Arbeiten zusammenfasste.

²⁰Carl von Linne hatte im Sommer 1732 seine berühmte Forschungsreise durch Lappland gemacht, mit deren Durchführung die Wissenschaftliche Gesellschaft zu Uppsala vom König beauftragt worden war; Olof und Anders Celsius hatten diese Reise sehr gefördert. Anfang 1733 hatte Linne den genannten Bericht an A. Celsius geschickt. 1744 trat Linne die Nachfolge von Celsius als Sekretär der Wissenschaftlichen Gesellschaft zu Uppsala an. Sein „*Systema naturae*“, das die binäre Nomenklatur für Pflanzen und Tiere einführte, erschien erstmals 1735.

Von Nürnberg führte ihn sein Weg nach Italien, zunächst nach Venedig und Padua, dann für sieben Monate nach Bologna zu dem bekannten Astronomen Eustachio Manfredi. Hervorzuheben sind aus dieser Zeit Beobachtungen zur Bestimmung der Neigung der Ekliptik der Erde sowie photometrische Messungen, die Celsius dann in Rom fortsetzte, wo er im April 1734 eintraf.

Der an Astronomie interessierte Kardinal Giannantonio Da Via führte Celsius bei Papst Clemens XII. ein, welcher ihm die Möglichkeit gab, weitere Beobachtungen in seiner Sommerresidenz, dem Quirinalspalast auf dem Monte Cavallo durchzuführen. Celsius bemühte sich vor allem um eine Bestimmung der Intensität des Mondlichtes, 1735 berichtete er darüber vor der Pariser Akademie.

Im Herbst 1734 verließ Celsius Rom und wandte sich nun in Richtung Paris, diesmal in Begleitung des zehn Jahre jüngeren Grafen Francesco Algarotti, Newtonianer und Freund Voltaires, später Kammerherr von Friedrich II. Celsius wollte sich in Paris mit den für jene Zeit modernsten astronomischen Arbeiten vertraut machen.²¹

Er kam jedoch mitten hinein in die Diskussion um die Newtonsche Naturanschauung. In Frankreich war noch immer die Philosophie von Descartes vorherrschend, Newton hatte man praktisch nicht zur Kenntnis genommen. Nicht zuletzt hatte dies seine Ursache in der andauernden politischen Feindschaft zwischen beiden Ländern. Der komplizierte Ideenstreit kann hier nicht erörtert werden, Voltaire bemerkte zu dieser Situation 1728 in seinen „Englischen Briefen“:

"Ein Franzose, der nach London kommt, trifft die Dinge in der Philosophie wie in allem übrigen sehr verändert an. Er hat die Welt als vollen Raum verlassen, er findet sie leer; in Paris sieht man das Universum als aus Wirbeln feiner Materie bestehend an; in London sieht man nichts von alledem; ... [122, S.69] ... bei Euren Cartesianern geschieht alles mittels eines Anstoßes, den man nicht versteht, bei Herrn Newton mittels einer Anziehung, deren Ursache man. auch nicht besser kennt; zu Paris stellt man sich die Erde wie eine Melone vor, in London ist sie an beiden Seiten abgeplattet. [S. 70] ...

Sehr wenige Menschen in London lesen Descartes, dessen Werke in der Tat nutzlos geworden sind, sehr wenige auch lesen Newton, weil man überaus gelehrt sein muss, um ihn zu verstehen; ..." [S. 73]

"... Ich glaube zwar nicht, dass man es wagt, seine [Descartes - H. K.] und Newtons Philosophie in irgend etwas miteinander zu vergleichen; die erste ist ein Versuch, die zweite ein Meisterwerk; indes ist vielleicht derjenige, welcher uns auf den Weg der Wahrheit führte, demjenigen gleichzusetzen, der später am Ende dieses Weges stand." [S. 74]

Der Streit um Newtons Physik und Philosophie war in Paris erneut ausgelöst worden durch die Gedächtnisrede des Sekretärs der Pariser Akademie Fontenelle auf den verstorbenen Newton; Voltaires Schriften, die Newton und die Philosophie John Lockes in Frankreich popularisierten, zwangen diesen bekanntlich 1734 zur Flucht nach Lothringen.

Einer der Wortführer in dieser Diskussion war der Mathematiker und Physiker Pierre L. M. de Maupertuis, seit 1723 Mitglied der Pariser Akademie (1742 war er Direktor der Pariser Akademie und 1746-1759 Präsident der Berliner Akademie). 1728 war er in London gewesen und mit Newtons Arbeiten bekannt geworden.

²¹Celsius mietete sich in Paris in dem Haus ein, das Mutter und Schwester des in Petersburg wirkenden Delisle bewohnten (mit ihm war Celsius vermutlich über Kirch in Berlin bekannt geworden). - Es ist nicht uninteressant zu vermerken, dass diese beiden Frauen, ebenso wie Kirchs Schwester Christine oder Manfredis Schwestern Teresa und Maddalena stark an astronomischen Fragen interessiert waren und selbst astronomische Beobachtungen vornahmen.

Maupertuis vertrat nun Newtons auf der Gravitationstheorie beruhende Hypothese von den abgeflachten Polen der Erde (deren Grundgedanken schon Huygens ausgesprochen hatte), während im Zusammenhang mit Descartes' Wirbeltheorie - scheinbar bestätigt durch Gradmessungen Cassinis - folgte, dass der Durchmesser von Pol zu Pol größer sein sollte als der am Äquator.

1732 verteidigte Maupertuis Newtons Auffassung in seinem Vortrag „Discours sur les differentes figures des astres“ („Rede über die verschiedenen Figuren der Sterne“), wofür er u.a. bei den holländischen Physikern 'sGravesande und P. v. Musschenbroek sowie bei dem zu jener Zeit in Marburg wirkenden Christian Wolff Unterstützung fand.

Schließlich entschloss sich die Akademie, den Streit durch eine neue Gradmessung zu beenden, indem ein Stück eines Meridianbogens in der Nähe des Äquators und in der Nähe des Pols ausgemessen werden sollte. Nachdem König Ludwig XV. die Genehmigung erteilt hatte, machte sich im April 1735 eine Expedition unter Pierre Bouguer und Charles M. de la Condamine auf den Weg nach Peru. Die Unternehmung dauerte bis 1742.

Interessanterweise war 1734/35 Réaumur wieder Direktor der Pariser Akademie; wenn er sich offenbar an den Debatten auch nicht direkt beteiligte, so berichtete er in seinen Korrespondenzen doch über diese Unternehmungen (z. B. an Chr. Wolff).

Celsius, der bald guten Kontakt zu den französischen Wissenschaftlern gefunden hatte und an den Sitzungen der Akademie teilnehmen durfte, hatte vorgeschlagen, die Vergleichsmessung in Polnähe im nördlichen Schweden vorzunehmen. Bereits im Februar 1735 hatte er darüber an Benzelius in Uppsala eine Mitteilung geschickt; im Mai teilte er ihm mit, dass er in diesem Zusammenhang bei dem Pariser Mechaniker Langlois astronomische Instrumente bestellt habe.

Celsius sollte an dieser Expedition teilnehmen. Um sich darauf vorzubereiten und sich insbesondere mit der Newtonschen Physik richtig vertraut zu machen, begab er sich im Juli 1735 nach London; außerdem wollte er dort noch benötigte Instrumente bei dem bekannten Instrumentenmacher George Graham, Mitglied der Royal Society seit 1728, beschaffen.

Von ihm erwarb er u.a. eine Pendeluhr, und in Edinburgh besorgte er z. B. ein Spiegelteleskop. Auch in London schloss Celsius wieder viele nützliche Bekanntschaften, u. a. mit Hans Sloane, Arzt und Naturforscher, Präsident der Royal Society seit Newtons Tod, und mit dem berühmten Astronomen Edmund Halley vom Greenwich-Observatorium.

Mehrere Artikel von Celsius über in England angestellte Beobachtungen erschienen in den Philosophical Transactions der Royal Society, aber beispielsweise auch eine Abhandlung über die Runenschrift. Noch im Oktober 1735 war er zum Mitglied der Royal Society gewählt worden.

Im April 1736 verließ Celsius England wieder, um sich in Dünkirchen mit den französischen Expeditionsteilnehmern zu treffen und nach Schweden einzuschiffen. Der Expedition unter Leitung von Maupertuis gehörten neben einer Anzahl Gehilfen noch folgende Forscher an: der 23jährige Mathematiker Alexis-Claude Clairaut, der 37jährige Mathematiker Charles E. L. Camus, der 21jährige Astronom Pierre Ch. Le Monnier, später Professor am College de France und Lehrer Coulombs, und der 42jährige geschickte Beobachter Abbe Regnaud Outhier.

Am 3. Mai 1736 stach das Segelschiff „Prudent“ von Dünkirchen aus in See und erreichte am 11. Mai Helsingör auf Seeland am Öresund. Celsius nahm von hier aus den Landweg über Hälsingborg nach Stockholm, um dort seine Kollegen, die weitersegelten, auf heimatlichem Boden begrüßen zu können. Hatte er knapp 4 Jahre zuvor Schweden verlassen, um sich in den anderen europäischen Ländern mit der fortgeschrittensten Naturwissenschaft vertraut zu

machen, kehrte er nun als Teilnehmer einer französischen Expedition im Auftrage der französischen Akademie der Wissenschaften zurück, um an der Klärung einer der wichtigsten Fragen der damaligen Naturforschung mitzuwirken.

Am 23. Mai 1736 wurden die Expeditionsteilnehmer von König Frederik I. in Stockholm empfangen. Der König sicherte ihnen seine Unterstützung zu, wobei überliefert wird, dass er selbst die Reise in die nördlichen Teile seines Königreiches für äußerst gefährlich und abenteuerlich hielt [118, S. 60]. Er stellte der Expedition eine Gruppe Soldaten zum Schutz und als Hilfskräfte zur Verfügung.

Wenige Tage später wurden Mannschaft und Ausrüstung nach Torneä (heute finnisch: Tornio), der lappländischen Hafenstadt am Bottnischen Meerbusen und Ausgangspunkt der Expedition, verschifft. Die Forscher selbst wählten die Landroute, Celsius und Meldercreutz verließen am 8. Juni Uppsala, benutzten dann aber ab Umeä auch das Schiff und trafen am 19. Juni in Torneä ein.

Am 6. Juli waren alle Vorbereitungen abgeschlossen und die Vermessungsarbeiten begannen (vgl. Abb. 22).

Als Vermessungsverfahren wurde die heute übliche Methode der Triangulation benutzt, die erstmals im Jahre 1615 von dem holländischen Physiker Willebrord Snell angewandt wurde bei einer Gradmessung in der Nähe von Leiden. Man bestimmte dabei die gegenseitige Lage geographischer Punkte als Eckpunkte in Dreiecksnetzen; eine Seite wird als Basislinie in ihrer Länge besonders genau vermessen, für einige Punkte werden die geographischen Koordinaten durch astronomische Messungen bestimmt.

Nach genauer Erkundung der Umgebung entschloss man sich, die Messung eines Meridianbogenstückes entlang dem Tornio-Fluss vorzunehmen, der nahezu in Nord-Süd-Richtung zum Bottnischen Meerbusen fließt. Man drang etwas über 100 km ins Landesinnere vor und wählte schließlich den Berg Kittis in der Nähe des Dorfes Pello als nördlichen Bezugspunkt der Basislinie. Der südliche war Torneä.

Die Triangulation des Gebietes war eine äußerst strapazenreiche Arbeit und dauerte bis etwa Mitte September. Auf dem Berg Kittis wurde eine kleine Beobachtungshütte eingerichtet, wo u. a. die Pendeluhr von Graham aufgestellt wurde. Als geographische Angaben wurden ermittelt für den Berg Kittis $66^{\circ}48'30''$ und für die Stadt Torneä $65^{\circ}51'1,5''$; das auszumessende Bogenstück betrug also nicht ganz ein Grad, sondern nur $57'28,5''$, die Länge der Standlinie wurde zu 55023 Toisen gemessen²² (vermessen im Dezember auf dem Eis des Tornio-Flusses). Daraus ergab sich für ein Meridiangrad, bezogen auf $66^{\circ}20'N$ eine Länge von 57437 Toisen.

Celsius hielt seine Kollegen in Schweden und England über den Fortgang der Arbeiten weitgehend auf dem Laufenden. So schrieb er z. B. an den Arzt und Sekretär der Royal Society Cromwell Mortimer am 19. 2. 1737 von Torneä:

"Wir sind jetzt das zweite Mal von Pello zurückgekommen. Auf dem Berg Kittis, dem anderen Ende unseres Meridians, haben wir den Stern α Dracouis mit Mr. Graham's Instrument beobachtet, und wir sind mit unseren Beobachtungen recht zufrieden. ... In Pello haben wir auch verschiedene Pendel-Experimente durchgeführt, und hauptsächlich mit dem von Mr. Graham gefertigten.

Mr. Maupertuis bemühte sich sehr in seiner Kammer während fünf aufeinanderfolgender Tage den gleichen Wärmegrad zu erhalten, was für die Pendel ja wichtig ist; aber das ist in diesem

²²Eine Toise ist ein altes französisches Längenmaß und entspricht etwa 1,949 m.

Land eine sehr schwierige Sache, wo die Thermometer gegenwärtig sich an einem Tag über 20 Grad verändern." [118, S. 74]

Celsius beschrieb desweiteren in. diesem Brief eine Wanderung zu einem 9 Meilen nördlich von-Pello gelegenen Monument mit einer unbekanntes Inschrift und versprach Mortimer, eine Abschrift zu schicken.

Im Frühjahr 1737 wurden eine Reihe Überprüfungs-messungen vorgenommen. Desweiteren wurden Pendelbeobachtungen, astronomische und meteorologische Messungen und Beobachtungen durchgeführt. Die Arbeit musste unter ungewohnten Witterungsbedingungen vorgenommen werden, während der Polarnacht war auch tagsüber nur wenig Licht. Dennoch wurde sehr zielstrebig gearbeitet, und am 9. Juni 1737 verließ die Expedition Torneä wieder; am 11. Juli traf man in Stockholm ein.

Maupertuis veröffentlichte die Ergebnisse der Lapplandexpedition 1738 in einer kleinen Schrift in Paris. Auch Celsius veröffentlichte in den folgenden Jahren einige wichtige und klärende Arbeiten zur Erdgestalt (z. B. [108]). Wichtigstes Resultat war, dass danach die Länge eines Grades für Lappland 340 Toisen größer war als ein in Frankreich ausgemessenes, was bedeutet, dass die Erde an den Polen abgeplattet ist, also Newtons Theorie bestätigt wurde.

Dass der auf dieser Lappland-Expedition ermittelte Wert etwa doppelt so groß war, wie genauere Messungen später ergaben, ändert an der prinzipiellen Bedeutung nichts. Den unter Maupertuis durchgeführten Messungen kam um so größere Bedeutung zu, als die von der Peru-Expedition ermittelten Werte erst nach 1744 in Europa bekannt wurden. Sie stützten dann aber die Ergebnisse von Maupertuis, so dass sich die Gegner der Newtonschen Theorie unter Cassini, die zunächst noch versucht hatten, Maupertuis anzuzweifeln, endgültig geschlagen geben mussten.

Ein wichtiges Kapitel in der Geschichte der Erdmessung war damit abgeschlossen, zugleich fand die Newtonsche Gravitationstheorie eine experimentelle Bestätigung.

Celsius hatte vom französischen König für seine Verdienste bei dieser Expedition eine jährliche Pension von 1000 Livres ausgesetzt bekommen (Maupertuis erhielt 1200 Livres). Im Sommer 1737 kehrte er nach fünfjähriger Abwesenheit auf seinen Lehrstuhl in Uppsala zurück.

Als eine seiner Hauptaufgaben sah er es nun an, in Uppsala ein Observatorium aufzubauen.

Trotz politischer Parteienkämpfe war das sozialpolitische Klima Schwedens in jenen Jahren - in der Schwedischen Geschichte spricht man auch vom „Zeitalter der Freiheit“ - für wissenschaftliche Entwicklung durchaus günstig. Die Bedeutung der Naturwissenschaften und des Utilitarismus wurden, allgemein akzeptiert, einige bedeutende Gelehrte wie Klingenstierna, Celsius, Linne, Rosen von Rosenstein, Swedenborg, Wallerius hatten sich etabliert.

Dies gab dem Wissenschaftsbetrieb Aufschwung, dringend notwendig war eine Reform der Universitätsausbildung; dazu gehörten auch neue Forschungs- und Ausbildungsstätten, die an der Universität Uppsala im Laufe der nächsten Jahre entstanden, u. a. Linnés Botanischer Garten, Rosens Universitätskrankenhaus, Wallerius' Chemisches Laboratorium.

Das Observatorium von Celsius war der erste Neubau, der im Rahmen dieser Aktivitäten entstand.

Wie erwähnt, hatte Celsius auf seiner Reise einige astronomische Geräte, z. T. im Auftrage der Universität, erworben, einiges war ihm auch aus dem Instrumentarium der Lapplandexpedition überlassen worden. Zunächst nahm er in seinem Hause seine Vorlesungstätigkeit über theoretische und praktische Astronomie auf und richtete in seinem Garten eine kleine Beobachtungsstation ein. Später las er auch Geographie, Chronologie, Navigationskunst und sphärische

Trigonometrie.

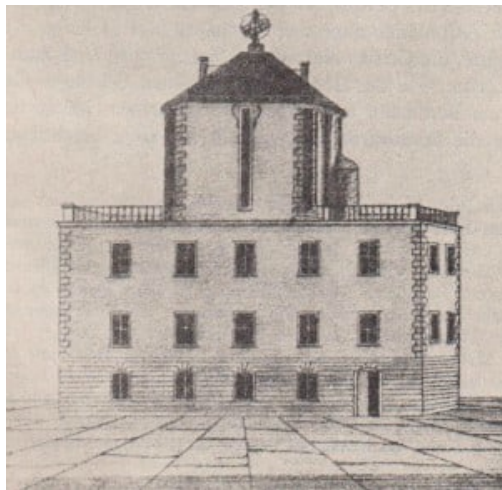
Im Juni 1738 machte Celsius eine Eingabe an den Universitätskanzler, in der er auf die Notwendigkeit eines astronomischen Observatoriums hinwies. Er erinnerte daran, dass bereits 1723 ein entsprechender Beschluss gefasst worden war und dass seine Auslandsreise mit dem ausdrücklichen Auftrag verbunden war, zu diesem Zwecke die besten Observatorien Europas zu besuchen. Er skizzierte dann die Aufgaben eines Observatoriums in Uppsala und bat schließlich um die Bereitstellung entsprechender finanzieller Mittel (vgl. [118, S. 114]).

Noch im gleichen Monat wurde die Angelegenheit im Konsistorium der Universität behandelt, und Celsius bekam 9000 Taler bewilligt. Bereits im August hatte er ein passendes Haus gefunden, das die Universität für 8000 Taler erwarb, so dass das andere Geld nun für den notwendigen Umbau zur Verfügung stand.

Das Grundstück lag nur wenige hundert Meter vom Universitätsgebäude entfernt in der Svartbäcksgatan. Nach den Plänen des Architekten Carl Hårleman, der in der Bautätigkeit Uppsalas für die nächsten Jahre eine wichtige Rolle spielte, wurden die notwendigen Bauarbeiten im Sommer 1739 begonnen.

Celsius verfasste im gleichen Jahre eine Werbeschrift unter dem Titel „Nyttan af et astronomiskt observatorium uti Sverige“ (Nutzen eines astronomischen Observatoriums in Schweden), um weitere Geldmittel für die Einrichtung des Observatoriums zu beschaffen. Offensichtlich war Celsius darin erfolgreich, denn bis zu seinem Tode 1744 wurden für das Observatorium rund 33500 Taler ausgegeben.

Was diese Schrift noch heute interessant macht ist, dass Celsius darin das Arbeitsprogramm des Observatoriums entwickelte. Die vorgesehenen Aufgaben umfassten neben rein astronomischen Beobachtungen u. a. Arbeiten zur Geographie Schwedens, zur Verbesserung der Zeitmessung (einschließlich Kalenderfragen), zur Meteorologie.



20 Das unter Celsius errichtete Observatorium in Uppsala [118]

Im Dezember 1742 waren die Arbeiten abgeschlossen, und das Observatorium wurde offiziell übergeben, obwohl Celsius bereits seit 1741 dort arbeitete. Das Gebäude hatte 3 Stockwerke und einen Turm. Das oberste Stockwerk war als Professorenwohnung vorgesehen und bestand aus einem großen Raum, einem Bibliothekszimmer und einem Schlafgemach. Im Turm mit einer Grundfläche von 16×12 Aln²³ und einer Höhe von 7 Aln war der Beobachtungssaal eingerichtet. Die wichtigsten Instrumente waren:

²³Ein Aln ist ein altes schwedisches Längenmaß (Elle) und entspricht etwa 0,594 m.

- ein astronomischer Quadrant von 3 Fuß Radius, gebaut 1736 von Langlois in Paris),
- eine Pendeluhr von Graham in London,
- ein Sektor von 12 Fuß Radius und 11 Bogengrad, ebenfalls von Graham,
- ein Passageinstrument mit einem Fernrohr von 5 Fuß Länge vom Instrumentenbauer Ekström in Stockholm,
- einige Fernrohre verschiedener Länge.

Mit diesem ersten, nach dem Vorbild der führenden europäischen Sternwarten eingerichteten Observatorium war in Schweden eine wesentliche Grundlage für moderne astronomische Arbeiten gelegt. Mit Recht wird Celsius als der eigentliche Begründer der schwedischen Astronomie angesehen.

Dennoch war es keine ideale Arbeitsstätte, die Celsius hier unter den gegebenen Umständen verwirklicht hatte, wie der Bericht des bekannten Göttinger Gelehrten Johann Beckmann von seiner Schwedenreise 1765/66 belegt, in dem die Sternwarte von Uppsala wie folgt beschrieben wird:

"Der Observator Frid. Mallet wohnt auf dem Observatorio, welches ehemals ein Privat Haus gewesen und sich auch noch gar nicht zum Observatorio schicket, soviel man auch daran geändert hat. Der Meridianus wird durch einen Faden, der, wann es nöthig ist, über dem Boden des Zimmers von einem ein mal für allemal bemerkten Punkte zu einem andern an der neben über stehenden Wand gezogen wird, bestimmt, und diese Linie gehet mit keiner Mauer parallel, sondern durchschneidet das Zimmer sehr ungleich. Ein Mauerquadrant ist nicht da, auch überhaupt nicht viele Instrumente.

Die Maschine, die Observationes stellarum fixarum zu bemerken, welche von Graham gemacht war, stand hier sehr unbequem und ist desfalls gar nicht zu gebrauchen. Überdem macht die gar zu grosse Abwechslung der Witterung und das beständige Fahren auf der Straße, an der das Observatorium liegt, bald alle Instrumente irrig. Die Dohm Kirche liegt auch zu nahe und nimt nicht etwa nur einige Grade vom Horizont weg, sondern hindert beynahe die ganze Aussicht an der nöthigsten Seite des Gebäudes." (Zit. nach [118, S. 132])

Aber rund einhundert Jahre musste diese Sternwarte ihren Zweck erfüllen, bevor ein geeigneteres Observatorium in Uppsala errichtet wurde. Celsius selbst konnte in den wenigen ihm verbleibenden Lebensjahren seine astronomischen Forschungen nicht in dem Maße aufnehmen, wie er sich das vorgestellt hatte, da ihn eine Vielzahl wissenschaftsorganisatorischer Aufgaben von einer regelmäßigen Beobachtungstätigkeit abhielt.

Zu diesen Aufgaben gehörten neben Lehre und anderen Verpflichtungen an der Universität Uppsala - u. a. war er 1739 und 1743 Rektor - die Tätigkeit als Sekretär in der Wissenschaftlichen Gesellschaft von Uppsala sowie die Mitgliedschaft in der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften.

Vor Beginn seiner Auslandsreise hatte Celsius die Geschäfte als Sekretär der Wissenschaftlichen Gesellschaft Uppsalas an Klingenstierna übergeben, der jedoch für diesen Posten nicht sehr geeignet war, so dass die Tätigkeit der Gesellschaft nach 1733 nahezu zum Erliegen kam. Nach seiner Rückkehr von Torneä musste sich Celsius also zunächst der Wiederbelebung der Gesellschaftsaktivitäten widmen; noch im September 1737 fand die erste Zusammenkunft statt.

Triewald, ebenfalls Mitglied der Gesellschaft zu Uppsala, hatte im Winter 1737/38 den Vorschlag gemacht, eine Abteilung der Gesellschaft in Stockholm zu etablieren, da auch dort inzwischen eine Anzahl von Wissenschaftlern ansässig war; der gerade aus Holland zurückgekehrte Linne hatte sich ebenfalls zunächst dort niedergelassen. Celsius seinerseits machte

nun den Vorschlag, die Gesellschaft in Uppsala als eine Art „Academie des inscriptions et des belles lettres“ weiterzuführen, als jedem an Wissenschaft Interessierten zugänglich, aber in Stockholm eine Akademie der Wissenschaften nach französischem Vorbild zu gründen.

Diese Idee wurde aufgegriffen, und als sich im Juni 1739 Triewald, Linne und einige andere Stockholmer Wissenschaftler zur Gründungsversammlung der Kungl. Svenska Vetenskapsakademien zusammenfanden, wurde Celsius als eines der ersten Mitglieder gewählt. Über die am Nützlichkeitsdenken orientierten Aufgaben der Akademie schrieb der erste Akademiesekretär A. J. von Höpken:

"Diese Personen [gemeint sind die Akademiemitglieder - H. K.] gefeigter Leser, haben solcher-gestalt, ihre vereinigte Arbeit, in der reinen Absicht angefangen, dir und dem Vaterlande zu dienen, selbst aber sich als nützliche Glieder und würdige Schweden zu bezeigen.

Den Stoff dazu haben sie lediglich in dergleichen Wissenschaften und Künsten gesucht, die zum allgemeinen Nutzen gereichen; wannenhero sie auch alles dasjenige, als hieher nicht gehörig, ausgemerzet, was theils eine allzulebhaftige Einbildung hervorgebracht, theils sich auf ein fabelhaftes Alterthum gegründet; oder aus einer eiteln Belustigung an dem Anblicke einer unsicheren Sammlung unzählich gemahlter Stämme von Ahnen und Wapen, hergeflossen ist. An dessen Statt haben sich selbige die geheimsten Behältnisse der Natur zu untersuchen und auszuforschen ... erwählet und vorgenommen, Solche Wissenschaften, geneigter Leser! welche zu Erhaltung und Nahrung des Lebens, so wohl als zu dessen Verlängerung und Verwahrung vor zustoßenden Gefahren und frühzeitigem Untergange abzielen.

Wissenschaften, geneigter Leser! welche den Fleiß und die Wirksamkeit in einem Lande befördern, und dasselbe so inn- als auswärts in Macht, Ansehen, Ruhe und Sicherheit zu setzen vermögend sind." [112]

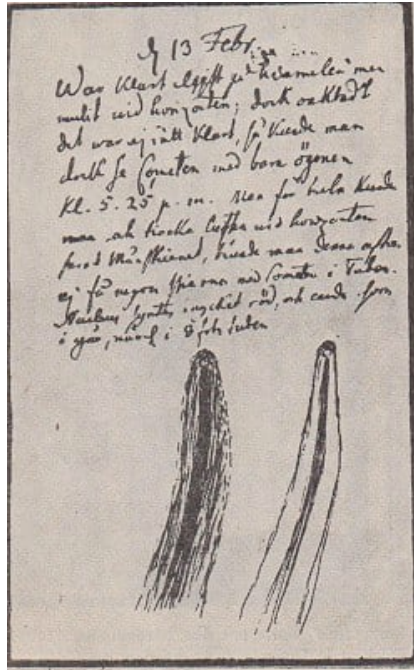
Von den astronomischen Arbeiten, die Celsius nach Rückkehr von der Lappland-Expedition ausführte, sind u. a. hervorzuheben Beobachtungen der Mittagshöhe der Sonne und Verbesserung der Sonnentafeln, Beobachtung der Jupitermonde, Kometenbeobachtungen und die photometrische Bestimmung der Strahlungsintensität von Sternen.

Des weiteren befasste er sich mit dem Ansteigen verschiedener Landteile entlang der Ostseeküste, untersuchte die Ursachen für Abweichungen der Magnetnadel - so wies er 1740 gemeinsam mit Hiorter auf einen Zusammenhang zwischen Nordlicht und Stand der Magnetnadel hin - und etablierte eine genaue regelmäßige meteorologische Beobachtungstätigkeit. Schließlich war er maßgeblich an der Vorbereitung der Kalenderreform für Schweden beteiligt, d. h. Übernahme des Gregorianischen Kalenders; die endgültige Einführung erfolgte allerdings erst 1753.

"Aus allen seinen ausgegebenen Schriften sieht man, dass er sich besonders bemühet, seine Erfindungen aus Beobachtungen und Versuchen herzuleiten, zu deren Anstellung er große Geschicklichkeit besaß, so wohl was dabey auf Sehen, als auf Handarbeiten ankam. Sein gutes Nachdenken, und seine zulängliche Kenntniß der Mathematik, setzten ihn auch zulänglich in den Stand, nachgehends die Schlüsse daraus zu ziehen, welche die Sache erforderte.

Man kann nicht leugnen, dass er auch geneigt war, Hypothesen voraus zu setzen und anzunehmen, aber er brauchte solche nicht weiter, als darauf bey seinen Arbeiten aufmerksam zu seyn, und vermengte sie: nicht mit seinen Erfahrungen selbst, in deren Ausgabe er ganz aufrichtig war, Eigenes Vergnügen an den Wissenschaften war wohl dasjenige, was ihn veranlassete, so viel Mühe und Arbeit, und oft mit Schaden seiner Gesundheit anzuwenden, aber er hatte auch dabey seine Absicht auf einen wirklichen Nutzen, die ihm nicht zuließ, seine Untersuchungen da liegen zu lassen, wo das bloße Vergnügen aufhörete, er wollte gern, dass die Sternkunst den Nutzen brächte, den sie dem gemeinen Wesen bringen kann und soll, und unterließ daher

nichts, selbst der Regierung Anleitung zu geben, wie ihr Licht zu nützen sey, solchergestalt ward auf sein Bedenken unser Calender in richtigerer Ansetzung der Ostern u.s.w. verbessert. Eine besondere Gabe, seine Gedanken so begreiflich auszuführen, dass jedermann sie verstehen konnte, machte seinen Namen mit Ruhme nicht nur bey den Gelehrten, sondern durchgängig bekannt. Im Umgange war er liebreich und aufgeweckt, welches ihn angenehm und beliebt machte, ob ihm wohl die Astronomie und seine ungleiche Gesundheit keine Zeit dazu ließen." [124]



21 Notiz und Skizze von Celsius zu einer Kometenbeobachtung am 13. 2. 1744 [118]

Dieser Charakteristik aus dem Nachruf bleibt nur wenig hinzuzufügen. Celsius galt als eine Persönlichkeit, die ihre Pläne weitsichtig und energisch betrieb, stets eine offene und kritische Diskussion der Meinungen anstrebte, dabei immer kollegial war; politisch stand er allerdings den konservativen Kräften etwas näher.

Am 25. April 1744 verstarb Anders Celsius unverheiratet in Uppsala an Schwindsucht.

5.3 Das Celsius-Thermometer

Celsius wurde mit dem Thermometerproblem durch seine meteorologischen Beobachtungen konfrontiert. Strömer wies darauf hin, dass in Uppsala seit 1726 ein Thermometer von Hawksbee in Gebrauch war, „... mit welchem die besten und zuverlässigsten Beobachtungen ...“ gemacht wurden [121, S. 168], und Celsius vermerkte z. B. bei der Veröffentlichung meteorologischer Daten für Uppsala 1732, dass er Barometer und Thermometer von Hawksbee benutzte [106, S. 132].²⁴

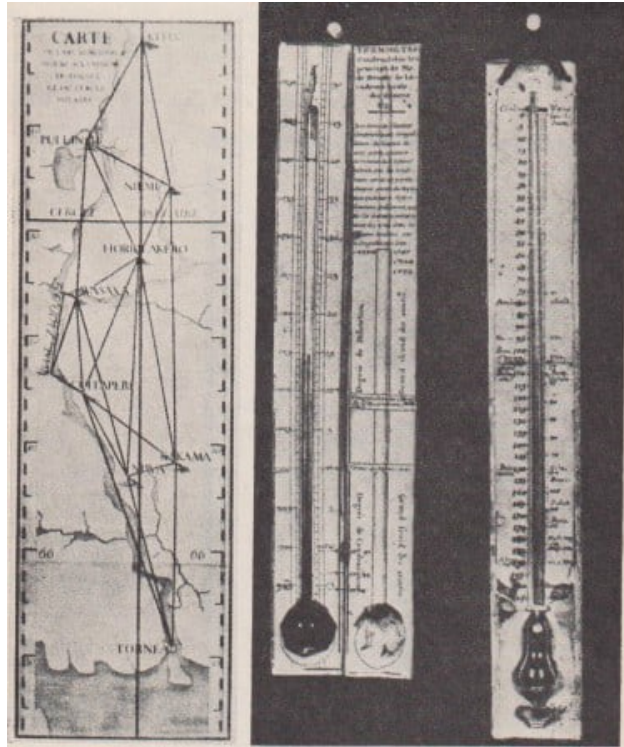
Nach der Rückkehr von seiner Forschungsreise hatte er noch weitere Thermometer zur Verfügung, so eines von dem Abbe Nollet nach dem Réaumurischen Prinzip und zwei Quecksilberthermometer von Delisle aus Petersburg, später wurden weitere angeschafft.

²⁴Wargentini allerdings bemerkte dazu später: „Hawksbees Thermometer taugen ganz und gar nichts. Sie sind von Weingeiste, haben keinen beständigen Punct, die Gradirung davon anzufangen, und stimmen nicht miteinander überein, welches ich selbst genugsam an zweien dergleichen gesehen, die sich in Upsal befinden, ...“ [44, S. 178]. - Middleton bestätigt diese Einschätzung [35, S. 59].

Delisle schickte seine Thermometer im Dezember 1737 mit einem Begleitbrief, in dem es hieß:

"... ein kleiner Kasten, in dem sich zwei Quecksilberthermometer meiner Konstruktion befinden, d. h. geeicht in der Weise, die ich für die einfachste und exakteste für die Herstellung von Universalthermometern halte. Diese Methode ist in den „Miscellanea Berolinensia“ in einem meiner Briefe an Herrn Kirch beschrieben [es dürfte [24] gemeint sein - H. K.].

„... Ich habe jene, denen ich sie geschickt habe, gebeten, so freundlich zu sein und sie mit anderen Thermometern zu vergleichen, egal welche Art sie in ihren meteorologischen Beobachtungen benutzt haben.“ (Zit. nach [35, S. 96])



22 Lappland-Expedition Maupertuis Karte mit der Triangulation [118]

23 Thermometer, mit dem Celsius in Uppsala experimentiert hat [118]

Bereits in Torneä war Celsius mit den Unzulänglichkeiten der bisherigen Thermometer eindringlich konfrontiert worden: Réaumurs Weingeistthermometer, die die französische Expedition natürlich benutzte, erwiesen sich in diesen Temperaturbereichen als nicht geeignet. Mit seinem Expeditionskollegen Le Monnier stand er in den nächsten Jahren über Thermometer weiterhin in Briefwechsel; dieser informierte ihn 1738 auch über Quecksilberthermometer (vgl. [117, S. 126]).

Celsius muss aber selbst bereits Anfang der 30er Jahre mit Quecksilber vertraut gewesen sein, denn in [35, S. 95] wird ein Brief an ihn von 1734 zitiert, in dem es heißt: „... schreiben Sie ... über den Weg Quecksilberthermometer herzustellen, wie Sie es mir empfohlen, als Sie hier waren.“

Celsius muss sich um 1740 sehr eingehend mit dem Thermometerproblem befasst haben, kannte die wichtigste einschlägige Literatur einschließlich George Martines „Essay on the construction and graduation of thermometers“ (Abhandlung über Konstruktion und Graduierung von Thermometern) von 1740 [32], der vor allem Réaumurs Methoden der Fixpunktbestimmung eingehender Kritik unterzog, die zwei Fixpunkte Siedepunkt des Wassers (unter Berücksichtigung des Luftdrucks) und Schmelzpunkt des Eises empfahl und. Quecksilber verwendete.

In seiner in den Abhandlungen der Schwedischen Akademie 1742 veröffentlichten Arbeit „Beobachtung von zween beständigen Graden auf einem Thermometer“ [1] bezieht sich Celsius ausdrücklich auf Martine und führt dann aus:

"Ich für mein Theil finde keine bequemere und sicherere Art, die Grade auf einem Thermometer abzutheilen, als einige Punkte von der Höhe des Quecksilbers zu bestimmen. Wenn das Wasser kocht und zu frieren anfängt, und darnach die übrigen Grade zu verzeichnen, besonders, wenn man den Fehler vermeidet, der von der ungleichen Erweiterung des Thermometerglases durch die Wärme, und den daraus entstehenden Schwierigkeiten eines Grades Grösse ... zu bestimmen herrühret, ..." [1, S. 118]



24 1982 herausgegebene schwedische Briefmarke mit Celsius-Porträt sowie Thermometer und astronomischer Winkelbestimmung.

Briefmarken mit thermometrischen Darstellungen sind bisher äußerst selten

Was die Bestimmung der Fixpunkte betrifft, die Celsius' nach sorgfältigen Experimenten vornahm, so bemerkte er dazu:

"Der Punct des gefrierenden Wassers lasse sich am genauesten und bequemsten bestimmen, wenn man das Thermometer im klebrichten Schnee wenigstens eine halbe Stunde stehen lässt. Welches auch Herr Newton schon lange beobachtet hat, ..." [1, S. 118]

Bei der Bestimmung des Siedepunktes weist er unter Bezugnahme auf Fahrenheit auf die Abhängigkeit vom Luftdruck hin. Schließlich beschreibt er seine Skale, gibt den oberen Fixpunkt mit 0° - wohl in Anlehnung an das benutzte Delislesche Thermometer, das den Siedepunkt ebenfalls mit 0 bezeichnete -, den unteren mit 100° an. Er schließt mit der Bemerkung:

"Uebrigens habe ich in dieser Abtheilung die Glasröhre inwendig durchgehends gleich weit angenommen, das, wie ich wol weiss, nicht allezeit richtig seyn kann; doch in:so engen Röhren, als zu Quecksilber-Thermometern gebraucht werden, pflegt die innerliche Höhlung meist ziemlich gleich weit durchaus zu seyn. Wenigstens habe ich in dreyen auf diese Art abgetheilten Thermometern gefunden, dass sie allezeit genau einerley Grad bei allen Veränderungen der Wärme und Kälte wiesen." [1, S. 124]

Ende Dezember 1741 hatte Celsius sein neues Thermometer fertig, denn auf einer mit dem 25. Dezember beginnenden Beobachtungstafel ist neben einer Spalte für ein Réaumur-Thermometer auch eine Spalte „Cels. Th.“ (vgl. [35, S. 97]) eingetragen.

Regelmäßige Beobachtungen mit einem Thermometer nach Celsius wurden auf dem Uppsalaer Observatorium ab Juni 1743 durch Hiorter vorgenommen; daneben wurden auch die anderen Thermometer zum Vergleich weiter benutzt (vgl. [117, S. 128]).

Für 1747 gibt Hiorters Beobachtungsjournal drei benutzte Thermometer an: Hauksbee, Celsius und Ekström (vgl. [117, S. 129]).

Den aufgezeichneten Messwerten ist zu entnehmen, dass Ekströms Thermometer beim Gefrierpunkt 0° und beim Siedepunkt 100° hatte, also umgekehrt zu der von Celsius angegebenen Skale. Ab September 1747 werden als benutzte Thermometer Strömer, Celsius und Ekström angegeben, wobei Strömer und Ekström nahezu übereinstimmen, Strömer hat wohl bereits 1746 mit solchen Thermometern experimentiert. Im Jahre 1749 schreibt Wargentin:

"Die Thermometer, welche hier in Schweden von dem Herrn Celsius, Strömer und Eckström, sind verfertigt worden, findet man schon in diesen Abhandlungen beschrieben (im 1742 J.). Der Gefrierpunct ist gemeinlich 0, und der Kochenspunct 100." [44, S. 177]

Da sich Wargentin nur auf Celsius' Abhandlung von 1742 bezieht, ist also das Konstruktionsprinzip aller dieser Thermometer offenbar gleich, und in der bei Strömer und Ekström erfolgten Umkehrung der Skale sieht er keine erwähnenswerte Bedeutung.

Das ist auch durchaus vernünftig, denn das Wesentliche am Celsius-Thermometer ist die Bestimmung der beiden Fixpunkte, nicht welcher davon mit 0 und welcher mit 100 bezeichnet wird. Man spricht deshalb im 18. Jahrhundert auch kaum vom Celsius-Thermometer, sondern vom „Schwedischen Thermometer“ (vgl. z.B. [29, S. 63] oder [123, S. 51]; es liegt der Gedanke nahe, dass ein „C“ auf verschiedenen Skalen ursprünglich nichts weiter als „Centigrad“ bedeuten sollte, also auf eine 100-Grad-Skale hinwies.

Da nun aber heute die 100teilige, nach Celsius benannte Skale die verbreitetste ist, wird immer wieder die Frage aufgeworfen, wer denn eigentlich wann die Idee zu der heute gebräuchlichen Anordnung hatte. In [103, S. 346] wird darauf hingewiesen, dass sich mindestens seit 1741 in Uppsala auch Celsius' Kollegen Strömer und Klingenstierna mit dem Thermometerproblem befassten.

Linne lebte seit 1741 ebenfalls in Uppsala und war mit Celsius befreundet. Es ist wahrscheinlich, dass einer dieser Gelehrten schon damals den Vorschlag einer Skale mit dem Gefrierpunkt als Nullpunkt machte.

Einiges spricht dafür, dass dies Linne war, denn aus seinen Erfahrungen - er musste ja u. a. die Temperatur in Gewächshäusern recht gut bestimmen - war es für den normalen Gebrauch sicher günstiger; eine Angabe von beispielsweise 10 Grad über oder unter Null (Gefrierpunkt) ist wohl anschaulicher als die Angabe 90 bzw. 110 Grad. Jedenfalls bestellte Linne 1745 bei Ekström ein 100gradiges Thermometer mit 0 am Eispunkt, führte es dem Senat der Universität Uppsala vor und setzte es im Botanischen Garten der Universität, den er neu anlegte, ein.

Da also die Umkehrung der von Celsius vorgeschlagenen Skale praktisch unmittelbar nach seinem Tode durch seine Kollegen erfolgte, könnte man vermuten, dass Celsius, der aus irgendwelchen Gründen bei seiner Idee blieb, nur Kraft seines Amtes als Leiter der Uppsalaer Sternwarte die Benutzung dieser Skale „verhinderte“ - man sollte dies aber wohl nicht überbewerten.

Andererseits zeigte Middleton [35, S. 99 f.], dass die seit Nordenmark [117] recht verbreitete Ansicht, Linne habe bereits vor Celsius die 100gradige Skale eingeführt, nicht zutreffen könne. Für diese Hypothese wurde eine Abbildung auf dem Frontispiz von Linnés „Hortus Cliffortianus“ (Amsterdam 1737) herangezogen, auf der 2 Putten ein Thermometer halten, auf dem die Skale von der Spitze aus mit 100, 90 usw. bis 1 (nicht 0!) in der Mitte und dann symmetrisch nach unten wieder mit 10 ... bis 100 markiert ist.

Es ist wahrscheinlich, dass dies ein spezielles Gewächshausthermometer sein soll, wobei die 1 ein spezifischer günstiger Messpunkt ist (aber keinesfalls der Gefrierpunkt).

Schließlich war Celsius nicht der einzige, der zu dieser Zeit ein 100gradiges Quecksilberthermometer offerierte. Unabhängig von ihm war in Lyon Jean Pierre Christin damit beschäftigt. Bereits in einem Vortrag vor der Akademie in Lyon von 1740 wies er auf Quecksilber als geeignete Flüssigkeit hin, und 1743 nannte er eine 100-Grad-Skale; allerdings ist das ganze sehr an Réaumur angelehnt (u. a. nur ein Fixpunkt) und erreichte nicht die Qualität des Celsius'schen Thermometers.

Immerhin wurde es als „Lyoner Thermometer“ längere Zeit in Südfrankreich benutzt, war auch in London bekannt, konnte sich aber gegenüber der Reputation des Réaumurschen nicht durchsetzen.

Als ein weiterer Thermometermacher, der bereits im August 1742 (also unabhängig von Celsius oder Christin) ein Thermometer benutzte, das zwischen Gefrier- und Siedepunkt des Wassers in 100 Teile geteilt war, ist der Schweizer Instrumentenmacher Pierre Martel zu nennen [104]. Insgesamt gesehen war im 18. Jahrhundert das Thermometer nach Celsius nur eines unter vielen. Lambert beispielsweise bespricht es nur unter der Hauptüberschrift „Das de l'Isische und einige andere Quecksilber-Thermometer“ und verweist im übrigen auf Fahrenheit:

"Es [das Delislesche - H. K.] ist von Quecksilber wie das Fahrenheitsche, und unterscheidet sich von demselben nur in Ansehung der Eintheilung und der Art zu zählen. Da auch die von Celsius eingeführten schwedischen Thermometer von Quecksilber sind, so ist es hier ebenfalls genug, wenn ich anmerke, dass Celsius vom Punct des frierenden zum Punct des siedenden Wassers 100 Grade aufwärts zählte." [29, S. 63]

Interessanterweise erwähnen die beiden Nachrufe der Schwedischen Akademie auf Celsius [113, 124] dessen Thermometerarbeiten gar nicht.

6 Zur weiteren Entwicklung der Thermometrie

Um die Mitte des 18. Jahrhunderts lagen - wie wir gesehen haben - universal einsetzbare Thermometer vor, auf deren Grundlage die Wärmeerscheinungen jetzt genauer studiert werden konnten.

Damit hatte die Thermometrie eine gesicherte und anerkannte Grundlage erhalten; das Grundprinzip des Thermometers und der mit ihm durchzuführenden Messung war eindeutig bestimmt.

Zwar waren noch verschiedene Verbesserungen bezüglich der exakten Fixpunktbestimmungen (Eispunkt und Siedepunkt des Wassers waren aber prinzipiell als am günstigsten erkannt) oder auch des genauen Studiums des Ausdehnungsverhaltens der Thermometerflüssigkeiten (wobei Quecksilber nun die verbreitetste für den normalen Temperaturbereich war) usw. notwendig und wurden in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts auch vorgenommen, aber all dies änderte nichts mehr am Grundaufbau.

Allerdings hatte man sich noch nicht generell auf eine allgemein zu verwendende Temperaturskala geeinigt. Die Verbreitung der verschiedenen Skalen war recht unterschiedlich: in Frankreich war neben der Réaumur'schen die 100teilige Skale in Gebrauch, in Deutschland fand vor allem die Réaumur'sche Skale Verbreitung und wurde bis zum Anfang unseres Jahrhunderts benutzt, in Holland und England setzte sich die Fahrenheit-Skale langsam durch, in Skandinavien das „Schwedische Thermometer“ nach Celsius; auch andere Skalen wurden benutzt oder weiterhin eingeführt.

So schrieb der aus Nordhausen stammende Thermometerhersteller Rosenthal 1782: „Man ist schon mit so vielen Thermometerskalen überhäuft, dass man diese Neigung, neue zu erfinden, billig unterdrücken müsste; ...“ [40, S. 56].

Natürlich hielt er dennoch die von ihm vorgeschlagene für besser als alle vorangehenden. Tabelle 2 zeigt einige der wichtigsten Skalen des 18. Jahrhunderts.

Tabelle 2: Vergleich einiger ausgewählter Thermometerskalen des 18. Jahrhunderts (nach [6])

Jahr	1701	1702	1717	1730	1733	1742	1750	1772
Name*	N	A	F	R	D	C	ST	De
	Leinöl	Luft	Hg	Alkohol		Hg	Hg	Hg
Siedepunkt	34	73	202	80	0	0	100	-
„blutwarm“	12,5	59,2	96	30,8	96,5	64,3	35,5	28,5
Eispunkt	0	51,5	32	0	150	100	0	0
0°F	5,5	46	0	14,2	176,2	117	17,7	14

Name: N ... Newton, A ... Amontons, F ... Fahrenheit, R ... Réaumur, D ... Delisle, C ... Celsius, ST ... Schwedisches Thermometer, De ... Deluc

Im 19. Jahrhundert kam vor allem in Wissenschaft und Technik die Zentigrad-Skale mehr und mehr in Gebrauch. Internationale Festlegungen erfolgten jedoch erst nach 1875 durch die Kongresse der Internationalen Meterkonvention „Conference Generale des Poids et Measures“. Für die Temperatur ist seit 1927 das Beratende Komitee für Thermometrie - „Comite Consultatif de Thermometrie“ - zuständig.

Die Gesamtsituation in der Wärmelehre wird von den großen französischen Naturforschern der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts, Antoine Laurent Lavoisier und Pierre-Simon de Laplace, im Jahre 1780 folgendermaßen eingeschätzt:

"... Die Physiker unseres Jahrhunderts haben diese Instrumente [die Thermometer - H. K.] ver-

vollkommenet, teils indem sie mit Genauigkeit die festen Punkte der Wärme bestimmt haben, als da sind: der Eispunkt und der des siedenden Wassers bei einem gegebenen Atmosphärendruck, teils indem sie diejenige Flüssigkeit suchten, deren Volumenänderungen am meisten proportional den Veränderungen der Wärme sind, so dass jetzt nichts mehr zu wünschen übrig bleibt in bezug auf die Messung, als ein sicheres Mittel, ihre äußersten Grade zu bestimmen. Aber die Kenntnis der Gesetze, denen die Wärme folgt, wenn sie sich in den Körpern ausbreitet, ist weit entfernt von dem Zustande der Vollkommenheit, welcher nötig ist, um die Probleme, die sich auf die Mitteilung und auf die Wirkung der Wärme in einem System von ungleich erwärmten Körpern beziehen, der Rechnung zu unterwerfen ...

Die Physiker sind nicht einer Meinung über die Natur der Wärme. Mehrere unter ihnen betrachten sie als eine Flüssigkeit, welche in der ganzen Natur verbreitet ist, und welche die Körper mehr oder weniger durchdringt, je nach dem Grade der Temperatur und der ihnen eigenen Fähigkeit, sie zurückzuhalten ...

Andere Physiker glauben, dass die Wärme nichts ist, als das Ergebnis unmerklicher Bewegungen der Moleküle der Materie ..." [30, S. 4f.]

Das brauchbare Messinstrument lag also auch aus damaliger Sicht vor, nun ging es darum, das eigentliche Wesen der Wärme und die Gesetzmäßigkeiten ihrer Ausbreitung zu erfassen. Eine wesentliche Rolle spielte dabei die Trennung von chemischen (Verbrennungs-) und wärmephysikalischen Vorgängen, wozu Lavoisier mit seinen Arbeiten entscheidend beitrug. Bezüglich des Wesens der Wärme entschieden sich Lavoisier und Laplace aber noch nicht für eine der beiden angeführten Hypothesen, sondern betonten „ ... Vielleicht haben beide gleichzeitig recht; ...“ [30, S. 6] und hoben hervor, dass sich manche Erscheinungen besser nach der einen, manche besser nach der anderen Theorie erklären ließen.

Erst der in Amerika geborene Benjamin Thompson, im Dienste des Bayerischen Kurfürsten zum Graf von Rumford ernannt, bestätigte 1798 beim Ausbohren von Kanonenrohren in der Münchener Geschützgießerei, dass sich beliebig viel Wärme durch Reibung erzeugen lasse und lieferte damit einen entscheidenden Beweis gegen die Wärmestofftheorie.

Das Gebiet der Wärmelehre, das sich im Anschluss an das Vorliegen übereinstimmender Thermometer zwischen 1750 und 1780 entwickelte, war die experimentelle Kalorimetrie (Messung von Wärmemengen, insbesondere Umwandlungswärmen). Damit einher ging die begriffliche Fixierung einiger beobachteter Wärmeerscheinungen.

Von der Erkenntnis, dass die Temperatur kein absolutes Maß für die Wärmemenge, bis zu der Feststellung, dass Temperatur und Wärmemenge bzw. Wärmekapazität unterschiedliche Dinge sind, vergingen einige Jahrzehnte.

Der russische Physiker Georg Wilhelm Richman machte um 1745 mit seiner Mischungsformel den ersten wichtigen quantitativen Schritt in der Kalorimetrie, differenzierte jedoch noch nicht exakt zwischen diesen Begriffen (obwohl er später intuitiv erkannte, dass man diese Unterscheidung treffen müsse).²⁵ Klingenstierna sprach in seiner schwedischen Übersetzung von Musschenbroeks „Elementa physica“ 1747 die Vermutung aus, dass ein solcher Unterschied besteht (Überlegungen von Amontons gingen ja bereits früher in diese Richtung).

²⁵G. W. Krafft, Professor in Tübingen und später an der Petersburger Akademie der Wissenschaften (und Richmans Lehrer), hatte 1744 begonnen, sich mit dem von Medizinern bereits diskutierten Problem der Mischung von Stoffen verschiedener Temperatur zu befassen, indem er dazu das Thermometer einsetzte. Boerhaave und Fahrenheit hatten bereits um 1730 Mischungsversuche durchgeführt. - Krafft und Richman verwendeten Thermometer von Fahrenheit's Nachfolger Prins und von Delisle.

Erst die unabhängig voneinander durchgeführten Arbeiten von Black (um 1760, aber erst 1803 veröffentlicht) in England und Wilcke (um 1770, und 1772 veröffentlicht) in Schweden brachten zunächst die Erkenntnis von der „latenten Wärme“ und darauf aufbauend von der „spezifischen Wärme“.

Damit war nun die eindeutige Fixierung der Begriffe Temperatur und Wärmemenge möglich, und die Kalorimetrie hatte eine wissenschaftliche Grundlage erhalten. Mit der eindeutigen Bestimmung des Begriffs „Temperatur“ war nunmehr aber auch eindeutig festgelegt, was ein Thermometer misst, d.h. womit die Anzeige korreliert, denn gemessen werden beim Flüssigkeitsthermometer nichts weiter als Längen bzw. Volumina, nämlich die jeweiligen Ausdehnungen der Thermometerflüssigkeit. - Anknüpfend an Wilcke bestimmte Johan Gadolin ab 1784 die spezifische Wärme einer großen Anzahl von Stoffen.

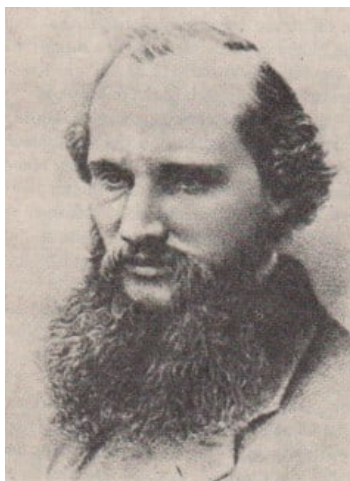
Andererseits erforderten die neuen wärmephysikalischen Erkenntnisse und ihre praktische Nutzung - so war z. B. der Begriff der „latenten Wärme“ eine wesentliche Voraussetzung für die Konzipierung des Kondensators der Dampfmaschine durch James Watt - auch die Weiterentwicklung der Thermometrie, sowohl in Hinsicht der weiteren Verbesserung der Genauigkeit und der Ausdehnung des Messbereiches als auch der messtechnischen Anpassung.

Neben den Flüssigkeitsthermometern entstanden weitere Thermometerarten. Zum Teil wurde dabei die Ausdehnung der Festkörper genutzt, zum Teil andere Wirkungen der Wärme, wie z. B. der Zusammenhang Wärme - Elektrizität (u.a. im Widerstandsthermometer) oder deren Kombination (z. B. im Bimetallthermometer die unterschiedliche Ausdehnung infolge Wärmeeinwirkung und als Sekundäreffekt zur Messwertanzeige der elektrische Strom).

Diese Diversifikation der Thermometerarten, Anwendungsbereiche usw. kann aber in vorliegender Abhandlung nicht mehr behandelt werden. Sie ist im Zusammenhang zu sehen mit der Generalisierung des Messinstruments Thermometer, d. h. der Befreiung von technischen Grenzen, der Validierung, d. h. ob das Instrument auch misst, was es soll, was auf die absolute Temperaturskala führte, und der Idealisierung, d. h. Ablösung vom charakteristischen Anzeigephänomen.

Zur Lösung all dieser Probleme wurde in den folgenden Jahrzehnten und Jahrhunderten viel getan. Hier soll zum Schluss aber nur noch ein ganz kurzer Blick auf eine Skale geworfen werden, die laut Festlegung des Internationalen Einheitensystems (SI-Einheiten) heute für Wissenschaft und Technik verbindlich ist - die Kelvin-Skale.

Es wäre wegen ihrer gesetzlichen Verbindlichkeit wohl unangebracht, sie zu „vergessen“, eine ausführliche Behandlung an dieser Stelle verbietet sich jedoch von selbst. Gemäß dem Anliegen dieses Büchleins seien einige biographische Notizen mit angemerkt.



25 William Thomson (Lord Kelvin)

Sir William Thomson, seit 1892 Lord Kelvin of Largs, ist wohl eine der außergewöhnlichsten Physikerpersönlichkeiten des 19. Jahrhunderts gewesen. Am 26. Juni 1824 als Sohn eines Mathematiklehrers in Belfast geboren, wurde er bereits als Zehnjähriger an der Universität Glasgow immatrikuliert. Mit 22 Jahren wurde er dann an dieser Universität auf den Lehrstuhl für Theoretische Physik berufen, den er bis zu seiner Emeritierung 1895 innehatte.

Er starb am 17. Dezember 1907 in Netherhall/Largs (Schottland). Thomson war in der theoretischen Physik genauso zu Hause wie in der Experimentalphysik und ihren praktischen Anwendungen.

Seine Hauptleistungen liegen auf den in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts im Zentrum der Forschung stehenden Gebieten Elektro- und Thermodynamik; erinnert sei nur an den Joule-Thomson-Effekt als Grundlage der Gasverflüssigungsverfahren, an die Thomsonsche Schwingungsformel zur Berechnung elektrischer Schwingungen, oder an das Thomsonsche Atommodell als einen der ersten modernen Ansätze in dieser Richtung. Wesentliche Impulse gab er der elektrischen Meßtechnik und der Unterwassertelegrafie(!); „Messen bedeutet Wissen“ ist ein sein Forschungsvorgehen kennzeichnender wichtiger Ausspruch.

Ausgehend vom Carnotschen thermodynamischen Kreisprozess entwickelte Thomson 1848 seine Überlegungen zu einer absoluten, von der Wahl der thermometrischen Substanz unabhängigen Temperaturskale. Der Grundgedanke ist, dass immer die gleiche Arbeit aufgewendet werden muss, wenn eine Wärmeeinheit von einer Temperatur T auf eine Temperatur $(T + 1)^\circ$ gebracht wird.

Gute Gasthermometer, bei denen die Abweichung vom idealen Gas im Prinzip ohne Bedeutung ist, zeigen die so definierte Temperatur praktisch an. Setzt man diese thermodynamische oder absolute Temperaturskale, die man Thomson zu Ehren mit Kelvin bezeichnet, somit in Beziehung zu der in Wissenschaft und Praxis inzwischen üblich gewordenen, nach Celsius benannten Zentigradscale, so ergibt sich, dass die Temperatur des schmelzenden Eises

$$273,15\text{K} = 0^\circ\text{C}$$

beträgt. Bei dieser thermodynamischen Definition kommt man wieder mit einem Fixpunkt aus, als den man heute den Tripelpunkt des Wassers wählt: 273,16 K. Bei 0 K liegt der absolute Nullpunkt, der gemäß dem 3. Hauptsatz der Thermodynamik, von Walther Nernst 1906 in Berlin erkannt und formuliert, nicht erreichbar ist, sondern dem man sich nur asymptotisch nähern kann; die Kelvin-Skale hat damit nur positive Werte.

Als Umrechnungsbeziehung zur Celsius-, Fahrenheit- oder Réaumurskale gilt dann:

$$(T_K)\text{K} = (T_K - 273,15)^\circ\text{C} = [1,80(T_K - 273,15) + 32]^\circ\text{F} = (1,80T_K)^\circ\text{R}$$

Vereinfacht für die Beziehung K zu $^\circ\text{C}$ folgt daraus

$$T = 273,15 + t$$

wobei T der Zahlenwert für K und t derjenige für $^\circ\text{C}$ ist.

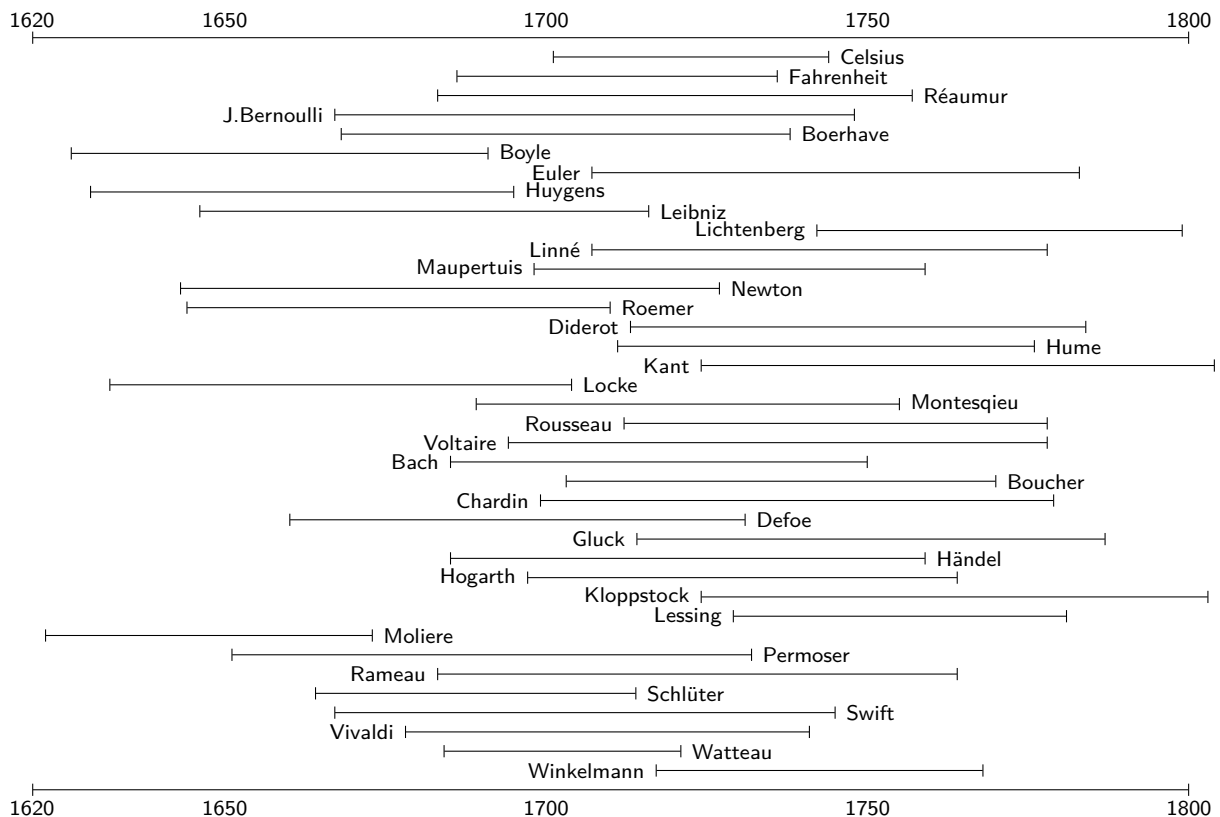
Gemäß der Festlegung für SI-Einheiten bleibt heute das früher auch bei der Kelvin-Skale benutzte Grad-Zeichen ($^\circ\text{K}$) wegen der unzulässigen doppelten Einheitenbezeichnung weg, und die moderne Temperatureinheit lautet Kelvin mit dem Einheitenzeichen K; Temperaturdifferenzen werden nach dieser Festlegung mit $t = T_1 - T_2$ angegeben, ebenfalls mit der Einheitenbezeichnung K (die Abkürzung grd ist veraltet).

Im täglichen Leben wird aber wohl noch längere Zeit die Celsius-Skale in Gebrauch bleiben, da

sie sich als praktisch erwiesen hat (in USA und Großbritannien spricht man von „centigrade“). Trotz Umstellung auf das Dezimalsystem ist in vielen englischsprachigen Ländern (vor allem USA, Kanada) nach wie vor die Fahrenheit-Skale in Gebrauch, während die Réaumur-Skale heute nicht mehr benutzt wird.

7 Chronologie

a) Einige Zeitgenossen aus Wissenschaft und Kunst in Darstellung ihrer Lebenslinien



b) Daten und Ereignisse Thermometrie sowie Daten zu Fahrenheit (F.), Réaumur (R.) und Celsius (C.)

- um 1600 Galileis Luftthermoskop
- um 1610 Drebbels „Perpetuum mobile“
- 1615 Sagredo benutzt eine Thermometerskala
- 1618 Beginn des 30jährigen Krieges
- um 1620 Thermoskop von Fludd, Bacons „Neues Organon“,
- 1624 Richelieu wird Erster Minister in Frankreich,
- 1627 Bacons „Neu-Atlantis“, Keplers „Rudolphinische Tafeln“
- 1630 Flüssigkeitsthermometer von J. Rey; Landung schwedischer Truppen auf Usedom
- 1641 geschlossenes Thermometer von Ferdinand II. in Florenz
- 1642 Beginn der engl. bürgerl. Revolution
- 1643 Torricelli entdeckt den Luftdruck; Ludwig XIV. wird König von Frankreich
- 1648 Westfälischer Friede (Ende des 30jährigen Krieges)
- 1657 Thermometerarbeiten der Accademia del Cimento, Gründung der Accademia del Cimento in Florenz (bis 1667)
- 1660 Luftthermometer von Guericke
- 1662 Gründung der Royal Society in London Colbert wird Finanzminister in Frankreich; Baubeginn von Schloss und Park Versailles (bis 1684)
- 1664 Thermometer von Hooke Huygens schlägt Siedepunkt des Wassers als Fixpunkt vor
- 1666 Gründung der Pariser Akademie der Wissenschaften
- 1669 Letzter Hansetag
- 1672 Holländischer Krieg (Spanien, Frankreich, Niederlande - bis 1678)

- 1673 Chr. Wren erbaut die St. Pauls Kathedrale in London
- 1675 Schlacht bei Fehrbellin (Schweden/Brandenburg); Gründung des Royal Observatory Greenwich
- 1676 Roemer bestimmt die Lichtgeschwindigkeit
- 1681 Frankreich annektiert Straßburg (sog. Reunion); Papinscher Druckkochtopf
- 1683 28. Febr. R. in La Rochelle geb.
- 1686 24. Mai F. in Danzig geb.; Leibniz erfindet die Integralrechnung
- 1687 Newtons „Prinzipia“
- 1688 Pfälzischer Erbfolgekrieg (Frankreich, Spanien, Schweden, Niederlande, deutsche Reichstruppen - bis 1697)
- 1689 Peter I. Zar von Russland (bis 1725)
- 1693 Halley empfiehlt Quecksilber als Thermometerflüssigkeit
- 1699 R. beginnt Jurastudium
- 1700 Nordischer Krieg (Schweden, Dänemark, Russland, Polen, Sachsen bis 1721); Gründung der Berliner Akademie der Wissenschaften
- 1701 Leinölthermometer von Newton; 27. Nov. C. in Uppsala geb.; Spanischer Erbfolgekrieg (Frankreich, England, Niederlande, Österreich, Preußen Portugal - bis 1714); Kurfürst Friedrich III. von Brandenburg wird als Friedrich I. König von Preußen
- 1702 Weingeistthermometer von Roemer mit 2 Fixpunkten; F. kommt zur Kaufmannslehre nach Amsterdam; Phlogistonhypothese von G. E. Stahl
- 1703 verbessertes Luftthermometer von Amontons; R. geht nach Paris; mathematische Studien; Newton wird Präsident der Royal Society
- 1704 Newtons „Optik“
- 1708 F. trifft in Kopenhagen mit Roemer zusammen, übernimmt dessen Temperaturskala; R. wird Studienmitglied der Pariser Akademie
- 1708/09 große Winterkälte in Danzig
- 1709 R. legt Arbeit über Muschelgehäuse vor; Schlacht bei Poltawa (Niederlage Schwedens gegen Russland); Boerhaave Direktor des Bot. Gartens Leiden; Meißner Porzellan (J. Böttger)
- 1711 R. wird ord. Mitglied der Pariser Akademie; Atmosphärische Feuermaschine von Th. Newcomen
- 1713 R.'s Arbeit über das Ziehen von Golddraht; Frieden zu Utrecht
- 1713/14 F. bietet der Berliner Akademie seine Thermometer an
- 1714 R. erstmals Direktor der Pariser Akademie; „Monadologie“ von Leibniz; Personalunion Englands mit Hannover (bis 1837)
- 1717 F. lässt sich in Amsterdam als Feinmechaniker und Thermometerhersteller nieder; stellt Quecksilberthermometer her; R. führt Arbeiten zur Porzellanherstellung durch; C. beginnt Jurastudium
- 1718 F. hält physikalische Vorlesungen
- 1719 Defoes „Robinson Crusoe“
- 1720 Händel gründet in London die Royal Academy of Music
- 1721 F. untersucht Unterkühlung von Wasser; Friede zu Nystadt (Ende des Nordischen Krieges)
- 1722 R. veröffentlicht Arbeiten über Gusseisen und Stahl; C. macht meteorologische Beobachtungen
- 1723 R.'s Abhandlung über Anker
- 1724 F. trägt vor der Royal Society vor (wird Mitglied); „Theatrum machinarum“ von J. Leupold
- 1725 Gründung der Petersburger Akademie der Wissenschaften
- 1726 J. Swift „Gullivers Reisen“
- 1727 C. prom. an Univ. Uppsala in Astronomie
- 1729 F. findet „Beigold“ (Platin) C. wird Sekretär der Wiss. Gesellschaft Uppsala; St. Gray unterscheidet Leiter und Nichtleiter
- 1730 R.'s Weingeistthermometer; 1. Abh. über Thermometer vor der Pariser Akademie; C. Prof.

- für Astronomie in Uppsala; Klingenstierna u. a. führen die Aufklärungsphilosophie Chr. Wolffs an Univ. Uppsala ein
- 1732 Thermometer von Delisle; C. begibt sich auf Studienreise (zunächst nach Berlin)
- 1733 C. gibt in Nürnberg u. a. eine Abhandlung über das Nordlicht heraus; Große Kamtschatka-Expedition der Peterburger Akademie (bis 1743); König August II. („der Starke“) gest.; Beginn des Polnischen Erbfolgekrieges (Frankreich, Österreich, Spanien, Sachsen, Russland - bis 1735)
- 1734 1. Band der Naturgeschichte der Insekten von R. (6. Band 1742); C. in Italien; Voltaires Flucht aus Frankreich
- 1735 C. in London, Mitglied der Royal Society; Gradmessungsexpedition der Pariser Akademie nach Peru; Linnes „Systema naturae“; Russisch-Türkischer Krieg (bis 1739)
- 1736 C. nimmt an der Gradmessungsexpedition nach Lappland teil; F. erhält Patent auf Wasserhebemaschine; 16. Sept. F. stirbt in Den Haag; „Mechanik“ von L. Euler
- 1737 C. nimmt Professur in Uppsala wieder auf
- 1738 D. Bernoullis „Hydrodynamica“
- 1739 Reamursches Porzellan; R. erhält Kenntnis von F.'s Thermometer; Gründung der Schwedischen Akademie der Wissenschaften in Stockholm
- 1740 Friedrich II. König von Preußen; Maria Theresia Kaiserin von Österreich; 1. Schlesischer Krieg (Preußen, Österreich - bis 1742); Österreichischer Erbfolgekrieg (Frankreich, Österreich - bis 1748)
- 1741 C. beginnt am 25. 12. Messungen mit seinem 100gradigen Thermometer; Russisch-Schwedischer Krieg (bis 1743)
- 1742 Observatorium zu Uppsala übergeben
- 1744 25. April C. in Uppsala gest.; 2. Schlesischer Krieg (bis 1745)
- 1745 „Schwedisches Thermometer“ mit 0° als Eispunkt und 100° als Siedepunkt; Richmansche Mischungsformel; Leidener Flasche (G. E. v. Kleist, P. v. Musschenbroek)
- 1747 Marggraf entdeckt den Zuckergehalt der Rübe
- 1748 Lomonossow formuliert das Gesetz von der Erhaltung der Masse; Montesquieus Staatstheorie
- 1749 Bd. 1 der Naturgeschichte von Buffon
- 1751 Blitzableiter von B. Franklin; 1. Bd. von Diderots Enzyklopädie (17 Bände bis 1765)
- 1752 R. veröffentlicht eine Arbeit über Verdauung bei Vögeln
- 1755 R. erwirbt Schloss Bermondiere; „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ von I. Kant; „Differentialrechnung“ von Euler
- 1756 Siebenjähriger Krieg (Frankreich, Österreich, Spanien, England, Preußen, Schweden, Russland, Sachsen bis 1763); Achromatisches Fernrohr von J. Dollond
- 1757 18. Okt. R. auf Schloss Bermondiere gest.; Indien wird engl. Kolonie
- 1760 Blacks Begriff der „latenten Wärme“; 1. Bd. der „Description ...“ wird von der Pariser Akademie herausgegeben

8 Literatur (Auswahl)

In [1] sind alle wichtigen die Thermometrie betreffenden Arbeiten von Fahrenheit, Réaumur und Celsius enthalten; diese Veröffentlichung ist für den deutschen Leser am ehesten zugänglich. Deshalb wurde darauf verzichtet, die Originalarbeiten noch einmal gesondert aufzuführen.

Die biographischen Hauptwerke sind bezüglich Fahrenheit [50], Réaumur [100] und Celsius [118]. Für einen Gesamtüberblick über die Geschichte der Thermometrie ist vor allem auf [35] zu verweisen.

Sind im Text fremdsprachige Quellen zitiert, so wurden sie vom Autor übersetzt.

Thermometrie und Wissenschaftsgeschichte allgemein

[1] Abhandlungen über Thermometrie von Fahrenheit, Réaumur, Celsius, Hrsg. von A. J. von Oettingen, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 57. Leipzig 1894.

[2] Ariotti, P. E.: An overlooked Autograph letter of Galileo on the Thermometer. *Annals of Science* 31 (1974) 5, S. 457-467.

[3] Backe, H.: Thermometer sahen früher anders aus. *Urania* 48 (1972) 3,5. 68-71.

[4] Barnett, M. K.: The Development of the Concept of Heat. *Scientific Monthly* 62 (1946) 2, S. 165-172; 3, S. 247-257.

[5] Barnett, M. K.: The Development of Thermoömetry and the Temperature Concept. *Osiris* 12 (1956) S. 269-341.

[6] Bernal, J. D.: *Die Wissenschaft in der Geschichte*. Berlin 1967.

[7] Böhme, G.; van den Daele, W.: Erfahrung als Programm - Über Strukturen vorparadigmatischer Wissenschaft. In: *Experimentelle Philosophie*, hrsg. von G. Böhme/W. van den Daele/W. Krohn, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 205, Frankfurt am Main 1977, S. 183-236.

[8] Bolton, H. C.: *Evolution of the Thermometer 1592-1743*. Easton/ USA 1900.

[9] Burckhardt, Fr.: *Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im XVII Jahrhundert*, Basel 1867.

[10] Burckhardt, Fr.: *Die wichtigsten Thermometer des achtzehnten Jahrhunderts*. Beilage zum Bericht der Gewerbeschule zu Basel 1870-71. Basel 1871.

[11] Burckhardt, Fr.: *Zur Geschichte des Thermometers - Berichtigungen und Ergänzungen*. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel 16 (1903) S. 1-69.

[12] Chaldecott, J. A.: Bartolomeo Telioux and the early history of the thermometer. *Annals of Science* 8 (1952) 3, S. 195-201.

[13] Frankfurt, U. I.: UCenie ob Elektriostvo i teplote v XVIII veke. In: *Mechanika i fizika XVII v.*, hrsg. von U. I. Frankfurt, Moskva 1976, S. 118-139.

[14] Gerland, E.: *Das Thermometer*, Sammlung gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge (Berlin) N. F. 20 (1885) Heft 470.

[15] Gerland, E.: *Zur Geschichte des Thermometers*. Zeitschrift für Instrumentenkunde 13 (1893) 9, S. 340-343,

[16] Gerland, E.: *Geschichte der Physik*. *Geschichte der Wissenschaften in Deutschland* Bd. 24, München und Berlin 1913.

[17] Gerland, E.; Traumüller, F.: *Geschichte der physikalischen Experimentierkunst*. Leipzig 1899.

[18] Gieswald, H.: *Lehre von der Thermometrie, der Pyrometrie, Hygrometrie, Psychometrie und Barometrie*. *Neuer Schauplatz der Künste und Handwerke* Bd. 71, Weimar 1861.

[19] Grabow, R.: *Zur historischen Entwicklung der Auffassungen vom Wesen der Wärme*. *Physik in der Schule* 7 (1969) 5, S. 204-210, 221.

[20] Grischow, Aug.: *Thermometria*. *Miscellanea Berolinensia* 6 (1740) 5,5. 267-312.

- [21] Heermann, Ch.: Zur Geschichte der Thermometrie, Physik in der Schule 6 (1968) 12, S. 528-537; 7 (1969) 2, S. 63-67.
- [22] Hellmann, G.: Beiträge zur Erfindungsgeschichte der meteorologischen Instrumente. Abhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Berlin 1920, Nr. 1.
- [23] Henning, F.: Temperaturmessung. 3., neu bearbeitete Aufl., hrsg. von H. Moser, Leipzig 1977.
- [24] [Kirch, Ch.]: Excerptum ex Litteris Cel. Dn. de L'Isle - Ex Callico versum continens novam Ejusdem rationem consttuendi Thermometra mensurz constantis & universalis. Miscellanea Berolinensia 4 (1734) 7, S. 343-349.
- [25] Köhler, H.: Nagot om termometerns äldre historia. In: Tryckt i Vetenskapssocietetens i Uppsala arsbok 1944, S. 85-117.
- [26] Körner, F.: Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer und Barometer, für Künstler und Liebhaber dieser Instrumente. Jena 1824.
- [27] Kramer, O.: Beiträge zur Geschichte der Flüssigkeits-Thermometrie. Sonderdruck der „Ilmenauer Blätter“. Ilmenau 1961.
- [28] Krause, E.: Die ältere Geschichte des Thermometers. Prometheus 12 (1901) 599, S. 417-420.
- [29] Lambert, J. H.: Pyrometrie oder vom Maaße des Feuers und der Wärme. Berlin 1779.
- [30] Lavoisier, A. L.; de Laplace, P.S.: Zwei Abhandlungen über die Wärme (von 1780 und 1784). Hrsg. von J. Rosenthal, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 40, Leipzig 1892.
- [31] Mach, E.: Die Principien der Wärmelehre. 4. Aufl. Leipzig 1923.
- [32] Martine, G.: Essay Medical and Philosophical. A Collection of. Six Essays, London 1740. Darin: Essay on the construction and graduation of thermometers.
- [33] Mason, St. F.: Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen. Stuttgart 1961.
- [34] Meyer, K.: Die Entwicklung des Temperaturbegriffs im Laufe der Zeiten. Reihe: Die Wissenschaft Bd. 48, Braunschweig 1913.
- [35] Middleton, W. E. K.: A History of the Thermometer and Its Use in Meteorology. Baltimore 1966.
- [36] Patterson, L. D.: Thermometers of the Royal Society, 1663-1768. American Journal of Physics 19 (1951) 9, S. 523-535.
- [37] Patterson, L. D.: The Royal Society's Standard Thermometer, 1663 bis 1709. Isis 44 (1953) 2, S. 51-64.
- [38] Roller, D.: The Early Development of the Concepts of Temperature and Heat - The Rise and Decline of the Caloric Theory. Harvard Case Histories in Experimental Science, Case 3, Cambridge/USA 1950.
- [39] Rosenberger, F.: Die Geschichte der Physik. Braunschweig 1882.
- [40] Rosenthal, G. E.: Beyträge zu der Verfertigung, der wissenschaftlichen Kenntniß, und dem Gebrauche meteorologischer Werkzeuge. Gotha 1782,
- [41] Schimank, H.: Temperatur, Konstitution der Materie und Aggregatzustände. Physikalische Blätter 16 (1960) S. 417-425.
- [42] Smorodinskij, Ja. A.: Temperatura. Biblioteeka ‚Kvant‘ vypusk 12, Moskva 1981.
- [43] Taylor, F. S.: The Origin of the Thermometer. Annals of Science 5 (1942) 2, S. 129-156.
- [44] Wargentín, P.: Geschichte der Wissenschaften - Von den Thermometern. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften auf das Jahr 1749, Bd. 11. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Hamburg und Leipzig 1754, S. 167-181.

- [45] Wohlwill, E.: Zur Geschichte der Erfindung und Verbreitung des Thermometers, Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie 124 (1865) S. 163-178.
- [46] Wohlwill, E.: Neue Beiträge zur Vorgeschichte des Thermometers. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1 (1902) S. 5-8, 57-62, 143-158, 282-290.
- [47] Allgemeine Geschichte der Technik von den Anfängen bis 1870. Hrsg. von einem Autorenkollektiv, Leipzig 1981.
- Zu Fahrenheit
- [48] Cajori, F.: Note on the Fahrenheit Scale. Isis 4 (1921-22) S. 17-22.
- [49] Chwolson, O. D.: Lehrbuch der Physik. Bd. 2, Braunschweig 1904.
- [50] Cohen, E.; Cohen-de Meester, W. A. T.: Daniel Gabriel Fahrenheit. Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam, Afdeling Natuurkunde, eerste Sectie 16 (1936) 2, S. 1-37,
- [51] Cohen, E.; Cohen-de Meester, W. A. T.: Daniel Gabriel Fahrenheit. Zweite Mitteilung. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam Proceedings 40 (1937) 8, S. 682-689.
- [52] Cohen, I. B.: Roemer and the first determination of the velocity of light (1676). Isis 31 (1940) 2, S. 327-379,
- [53] Dorsey, N. E.: Fahrenheit and Roemer, Journal of the Washington Academy of Sciences 36 (1946) 11, S. 361-372.
- [54] Eickenjäger, K.-G.: Künstler, Mechanicus - aber kein Gelehrter. Spectrum 12 (1981) 1, S. 30-32.
- [55] Friend, J. N.: The Origin of Fahrenheit's Thermometric Scale. Nature 139 (1937) 3514, S. 395-398,
- [56] Gallandi, J.: Königsberger Stadtgeschlechter. Altpreussische Monatsschrift n. F. 19 (1882) S. 26-65, 177-236 (über die Fahrenheits S. 180-183).
- [57] Hassbargen, H.: Ein Besuch bei Fahrenheit, Danziger Neueste Nachrichten 43 (1936) 216 vom 15. September, Beilage S. 8.
- [58] Klemm, F.: Daniel Gabriel Fahrenheit - Der Schöpfer der wissenschaftlich begründeten Thermometrie. Forschungen und Fortschritte 12 (1936) 26, S. 330-332.
- [59] Meyer, F. A.: Daniel Gabriel Fahrenheit - Aus dem Lebensroman eines großen Danziger Deutschen. Danzig 1936.
- [60] Meyer, F. A.: Die Fahrenheits in Hildesheim. Alt-Hildesheim (1949) 21,8. 19-21.
- [61] Meyer, F. A.: Daniel Gabriel Fahrenheits Anteil an der Entdeckung des Platins. Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen 4 (1951) 6, S. 221-222.
- [62] Meyer, F. A.: Daniel Gabriel Fahrenheit aus Danzig. Westpreußen-Jahrbuch, Leer/Ostfriesl. 1951/52, S. 138-141.
- [63] Meyer, F. A.: Petrus van Musschenbroek, Werden und Werk und seine Beziehungen zu Daniel Gabriel Fahrenheit. Duisburger Forschungen 5 (1961) S. 24-46,
- [64] Meyer, F. A.: Daniel Gabriel Fahrenheit - Sein letztes Werk, Testament und Nachlaß. Technikgeschichte 33 (1966) 2, S. 160-181.
- [65] Meyer, F. A.: Daniel Gabriel Fahrenheit. Zeitschrift für Ostforschung 16 (1967) 4, S. 694-706.
- [66] Meyer, K.: Ole Römer und das Thermometer, Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik 2 (1909) S. 323-349.

- [67] Meyer, K.: Ole Romers and Fahrenheits Thermometers. *Nature* 139 (1937) 3518, S. 585-586.
- [68] Momber, A.: Daniel Gabriel Fahrenheit. *Altpreussische Monatsschrift n. F.* 24 (1887) 1-2, S. 138-156.
- [69] Momber, A.: Daniel Gabriel Fahrenheit - Sein Leben und Wirken. *Schriften der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig N. F.* 7 (1890) 3, S. 108-139.
- [70] Schimank, H.: Daniel Gabriel Fahrenheit, ein deutscher Vertreter technischer Physik. In: *Proteus* Bd. 2, hrsg. von P. Diergart, Bonn 1937, S. 21-31.
- [71] Smith, C. St.: A Speculation on the Origin of Fahrenheit's Temperature Scale. *Isis* 56 (1965) 1, Nr. 183, S. 66-69.
- [72] Strehlke, E.: Kurzer Lebensabriß von Daniel Gabriel Fahrenheit. *Altpreussische Monatsschrift n.F.* 11 (1874) S. 86-87. Wiedergabe einer handschriftlichen Zusatzbemerkung von 1740 zu einem von Wustrack geplanten Sammelband über Danzig.
- [73] [Wolff, Chr.]: *Relatio de novo barometrorum & thermometrorum concor dantium genere.* *Acta Eruditorum.* Berlin 1714, S. 380-381.
- [74] Zuiden, D. S. van: *Het Testament en de Inboedel van Daniel Gabriel Fahrenheit.* *Oud Holland* 31 (1913) 2, S. 123-131.
- [75] *Gedenkoboek van het Athenaeum en de Universiteit van Amsterdam 1632-1932.* Amsterdam 1932,
- Zu Réaumur
- [76] Abrecht, H.: Réaumur und die Erfindung des Tempergusses, *Schweizerische Bauzeitung* 75 (1957) 41, S. 651-653.
- [77] Beckert, M.: *Eisen - Tatsachen und Legenden.* Leipzig 1981.
- [78] Birembaut, A.: Réaumur et l'élaboration des produits ferreux. *Revue d'histoire des Sciences et de leurs application* 11 (1958) 2, S. 138-166.
- [79] Birembaut, A.: Les liens de famille entre Réaumur et Brisson, son dernier Eleve. *Revue d'histoire des Sciences et de leurs application* 11 (1958) 2, S. 167-169.
- [80] Birembaut, A.: La contribution de Réaumur A la thermometrie. *Revue d'histoire des Sciences et de leurs application* 11 (1958) 4, S. 302-329.
- [81] Courtivron, Marquis von; Bouchu, J. H.: *Abhandlung von den Eisenhammern und hohen Oefen.* In: *Schauplatz der Künste und Handwerke*, hrsg. von J. H. G. v. Justi, Berlin, Stettin und Leipzig, Bd. 2 1763, Bd. 3. 1764,
- [82] Davy de Virville, A.: Réaumur botaniste, *Revue d'histoire des Sciences et de leurs application* 11 (1958) 2, S. 134-137.
- [83] Durtain, L.: *Les Grandes Figures de la Science Francaise.* Paris 1952. Kapitel VIII über Réaumur S. 71-78,
- [84] Fouchy; J.-P. G. de: *Eloges des Academiciens de l'Academie Royale des Sciences Morts depuis l'An 1744,* Paris 1761. Darin: *Eloge de Réaumur.*
- [85] Geus, A.: Die Kontroverse von R. A. F. de Réaumur und J. Th. Klein über Bau und Wachstum der Schneckenschalen, *Janus* 65 (1978) 1-3, S. 167-181.
- [86] Gough, J. B.: Rene-Antoine Ferchault de Réaumur, In: *Dictionary of Scientific Biography*, hrsg. von Ch. C. Gillispie, Vol. 11, New York 1981, S. 327-335,
- [87] Hahn, R.: *The Anatomy of a Scientific Institution; The Paris Academy of Sciences, 1666-1803.* Berkeley/Los Angeles/London 1971.

- [88] Hauboldus, G. G.: De Thermometro Réaumuriano. Lipsiae 1771.
- [89] Jahn, I.; Löther, R.; Senglaub, K.: Geschichte der Biologie. Jena 1982.
- [90] Maeterlinck, M.: Das Leben der Bienen. Jena 1925.
- [91] Ramsay, W.: The Life and Letters of Joseph Black. London 1918.
- [92] Réaumur, R. A. F. de: Memoires pour servir a l'histoire des insectes, T. 1-6. Amsterdam 1737-1748.
- Histoire des Fourmis (Bd. 7). Hrsg. von E.-L. Bouvier und Ch. Perez. Paris 1928. Engl. Ausgabe: The Natural History of Ants. Ed. by W. M. Wheeler. New York 1926.
- Histoire des Scarabes (sozusagen Bd. 8). Hrsg. von P. Lesne und F. Picard. Paris 1955.
- [93] Réaumur, R. A. F. de: Physicalisch-oeconomische Geschichte der Bienen. Frankfurt/Leipzig 1759.
- [94] Réaumur, R. A. F. de: Das Ankerschmieden, mit Anmerkungen und Zusätzen von Herrn du Hamel. In: Schauplatz der Künste und Handwerke, hrsg. von J. H. G. v. Justi, Bd. 1. Berlin, Stettin und Leipzig 1762, S. 107-190.
- [95] Réaumur's Memoirs on steel and iron. A translation from the original printed in 1722; by A. Grünhaldt Sisco, with an introduction by C. St. Smith. Chicago 1956.
- [96] Rostand, J.: Réaumur embryologiste et geneticien. Revue d'histoire des Sciences et de leurs application 11 (1958) 1, S. 34-50,
- [97] Smeaton, W. A.: Réaumur – natural historian and-pioneer of applied science. Endeavour N. 5. 7 (1983), S. 38-40.
- [98] Taton, R.: Réaumur mathematicien. Revue d'histoire des Sciences et de leurs application 11 (1958) 2, S. 130-133.
- [99] Theodorides, J.: Réaumur (1683-1757) et les Insectes Sociaux, Janus 48 (1959) 1, S. 62-76.
- [100] Torlais, J.: Réaumur - Un Esprit encyclopedique en dehors de „l'encyclopedie“. Paris 1936. 2., überarb. Aufl. 1961.
- [101] Torlais, J.: Chronologie de la vie et des oeuvres de Rene-Antoine Ferchault de Réaumur, Revue d'histoire des Sciences et de leurs application 11 (1958) 1, S. 1-12.
- [102] Torlais, J.: Réaumur philosophe. Revue d'histoire des. Sciences et de leurs application 11 (1958) 1, S. 13-33.
- Zu Celsius
- [103] Beckmann, A.: Anders Celsius och den hundragradiga termometerskalan. Lychnos (1969/70) S. 340-347,
- [104] Bryden, D. J. : An Additional Factor in the History of the Centigrade Thermometer. British Journal for the History of Science 5 (1971) 20, S. 393-396.
- [105] Caulwell, W.: Anders Celsius. Urania 58 (1982) 4, Ss. 2-5.
- [106] Celsius, A.: Observationes Meteorologicae Anno 1731 Upsalae habite. Miscellanea Berolinensia 5 (1737) S. 132-156.
- [107] Celsius, A.: Anmerkungen über die stündlichen Veränderungen der Magnetnadel in ihrer Abweichung. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften auf das Jahr 1740, Bd. 2. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Leipzig 1775, 2. Aufl.
- [108] Celsius, A.: Anmerkungen von dem Nutzen, der Erde rechte Gestalt und Größe zu wissen. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften auf das Jahr 1741, Bd. 3. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Leipzig 1778, 2. Aufl.

- [109] Celsius, A.: Anmerkung von Verminderung des Wassers in der Ostsee und dem westlichen Meere. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften auf das Jahr 1743, Bd. 5. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Leipzig 1785, 2. Aufl.
- [110] Cverava, G. K.: Iz istorii rusko-Svedskich naucnych svjazej v XVII v. Priroda (1978) 6, S. 76-83.
- [111] Hildebrandsson, H. H.: Anders Celsius. Nordisk Tidskrift för Vetenskap, konst och Industri 1901, S. 601-617.
- [112] Höpken, A. J. v.: Vorrede zur schwedischen Ausgabe. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften auf die Jahre 1739 und 1740, Bd. 1. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Leipzig 1768, 2. Aufl.
- [113] Höpken, A. J.v.: Anders Celsius (Nachruf). Aminnelse-Tal hallne i kongl. Vetenskaps Academiens vol. 1 Nr. 5. Stockholm 1745.
- [114] Lindroth, S.: Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Historia 1739- 1818. Stockholm 1967.
- [115] Lindroth, S.: A History of Uppsala University 1477-1977. Uppsala 1976.
- [116] Nordenmark, N. V. E.: Svensk astronomi och svenska astronomer 1700-1730. Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik 24 A (1934) 2, S. 114.
- [117] Nordenmark, N. V. E.: Anders Celsius, Linne och den hundragradiga termometern. Svenska Linne-Sällskapets Arsskrift 18(1935) S. 124-133.
- [118] Nordenmark, N. V. E.: Anders Celsius, Professor i Uppsala. Uppsala 1936.
- [119] Nordenmark, N. V. E.: Anders Celsius. In: Swedish Men of Science 1650-1950, cd. by S. Lindroth, Stockholm 1952, S. 66-73. (Darin auch Biographien der hier genannten Swedenborg, Klingenstierna, Rosen von Rosenstein, Linne, Wargentin, Wilcke.)
- [120] Poggendorff, J. Ch.: Über die Celsius'sche Thermometerscale. Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie 157 (1876) 2, S. 352.
- [121] Strömer, M.: Von der Veränderung, welche Wärme und Kälte, im Steigen und Fallen des Barometers, nach dem Drucke der Luft verursachen. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften für das Jahr 1745, Bd. 7. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Hamburg/Leipzig 1752, S. 163-170.
- [122] Voltaire: Streitschriften. Bd. 3 der dreibändigen Ausgabe, hrsg. von M. Fontius, Berlin 1981.
- [123] Wargentin, P.: Fernere Bemerkungen über das Clima von Schweden, in Absicht auf Wärme und Kälte. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften für das Jahr 1778, Bd. 40. Deutsche Ausgabe hrsg. von A. G. Kästner, Leipzig 1783, S. 3-17.
- [124] Denkmaal Herrn Prof. Andreas Celsius. Abhandlungen der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften für das Jahr 1746, Bd. 8. Deutsche Ausgabe hrsg. -von A. G. Kästner, Hamburg/Leipzig 1752, S. 143-150.