

[submitted version of paper published in: Ute Frietsch and Bettina Bock von Wulfingen (eds.), *Epistemologie und Differenz: Zur Reproduktion in den Wissenschaften* (Bielefeld: Transcript, 2010) 59–82]

Arianna Borrelli

Die Reproduktion des Temperaturbegriffs

1. Temperatur zwischen Tastsinn und Thermometer

Im Mittelpunkt dieses Aufsatzes steht die Geschichte des Temperaturbegriffs als Beispiel der Dialektik von Produktion und Reproduktion von Wissen. Begriffe werden bei jeder Übertragung mit alten und neuen Mitteln konstruiert und, wie der Fall der Temperatur zeigt, ist es manchmal schwierig zu sagen, ob und wann dieser Prozess als stabile Reproduktion oder als innovative Produktion zu charakterisieren ist. Der Temperaturbegriff hat sich als Fixpunkt einer jahrhundertlangen Geschichte erwiesen, deren Wirbel und Ströme ihn immer wieder reproduziert und vor dem Verschwinden bewahrt haben. Als Mittel seiner Produktion und Reproduktion galten zu verschiedenen Zeiten Worte, Zahlen, Diagramme, Instrumente, sinnliche Empfindungen sowie der menschliche Körper in seiner Ganzheit als Wahrnehmungsapparat. Am Anfang und Ende des historischen Geschehens stehen zwei Temperaturbegriffe, die grundsätzlich verschieden sind, von denen aber der eine in einiger Hinsicht die Reproduktion des anderen ist.

Von der heutigen Temperaturlehre ausgehend, werde ich im folgenden einige Hauptpunkte dieser historischen Konstellation umreißen. Dabei werde ich auch schildern, wie die zentrale epistemologische Rolle des Thermometers die historiographische Rekonstruktion der Geschichte der Temperatur teilweise beeinflusst hat. In diesem und im nächsten Abschnitt stelle ich den epistemologischen Rahmen des modernen Temperaturbegriffs dar und beschreibe die Ähnlichkeiten zwischen Epistemologie und Historiographie dieses Konzepts. Danach folgt ein Überblick der Geschichte des Temperaturbegriffs von der Antike bis ins achtzehnte Jahrhundert und schließlich eine Diskussion der kulturhistorischen Zusammenhänge, welche die historischen und epistemologischen Entwicklungen bedingt haben könnten.

Als Ausgangspunkt für die Diskussion des modernen Temperaturbegriffs dient das Lehrbuch »Theory of heat« (2. Aufl. 1888) von James Clerk Maxwell (1831-1879). Dies ist ein allgemein verständlicher und wissenschaftlich präziser Text, der den Sichtweisen entspricht, die noch in der heutigen Physik gelten.¹ Das Buch fängt so an:

›The distinction between hot bodies and cold ones is familiar to all, and is associated in our minds with the difference of the sensations which we experience in touching various substances, according as they are hot or cold. The intensity of these sensations is susceptible of degrees, so that we may estimate one body to be hotter or colder than another by touch. [...] The temperature of a body, therefore, is a quantity which indicates how hot or cold the body

¹ Maxwell, James Clerk: *Theory of heat*, Mineola: Dover 2001 [orig. 1888].

is. [...] We might suppose that a person who has carefully cultivated his senses would be able by simply touching an object to assign its place in a scale of temperatures, but it is found by experiment that the estimate formed of temperature by the touch depends upon a great variety of circumstances, some of these relating to the texture or consistency of the object, and some to the temperature of the hand or the state of health of the person who makes the estimate.²

Der Begriff des ›Grades‹ (›degree‹) der Temperatur wird von Maxwell als Verfeinerung und Präzisierung der taktilen Wärme- und Kälteempfindungen eingeführt, wobei diese zugleich als undeutlich charakterisiert werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine vertrauenswürdige Methode der Temperaturbestimmung zu finden: das Thermometer. Nachdem er das Thermometer besprochen hat, führt Maxwell den Begriff der Wärme ein und betont den Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.

›Heat [...] may pass out of one body into another just as water may be poured from one vessel into another, and it may be retained in a body for any time, just as water may be kept in a vessel. We have therefore a right to speak of heat as of a measurable quantity. [...] We have now obtained two of the fundamental ideas of the science of heat – the idea of temperature, or the property of a body considered with reference to its power of heating other bodies; and the idea of heat as a measurable quantity, which may be transferred from hotter bodies to colder ones.‹³

Im Laufe des Lehrbuchs wird sich Wärme als eine Form der Energie erweisen. Die Temperatur ist hingegen durch Hinweis auf eine ›Fähigkeit zur Erwärmung anderer Körper‹ (›power of communicating heat to other bodies‹) definiert, die aber als wissenschaftlicher Begriff nicht weiter bestimmt wird.⁴ Daher fußt Maxwells Definition der Temperatur nur auf Wärmeempfindung und Thermometrie. Wie er selbst bemerkt, lässt dies dem Phänomen des thermischen Gleichgewichts eine besondere Bedeutung zukommen:

›Law of equal temperatures – *Bodies whose temperatures are equal to that of the same body have themselves equal temperatures.* This law is not a truism, but expresses the fact that if a piece of iron when plunged into a vessel of water is in thermal equilibrium with the water, and if the same piece of iron, without altering its temperature, is transferred to a vessel of oil, and is found to be also in thermal equilibrium with the oil, then if the oil and water were put into the same vessel they would themselves be in thermal equilibrium, and the same would be true of any other three substances.

This law, therefore, expresses much more than Euclid's axiom that 'Things which are equal to the same thing are equal to one another' and is the foundation of the whole science of thermometry.⁵

² Vgl. ebd., S. 1-2.

³ Vgl. ebd., S. 7-9.

⁴ Vgl. ebd., S. 32.

⁵ Vgl. ebd., S. 32-33.

Es mag kaum vorstellbar erscheinen, dass eine empirische Tatsache (›fact‹) für eine tautologische Wahrheit (›truism‹) gehalten werden konnte, doch Maxwell hielt es für nötig zu betonen, dass das ›Gesetz der gleichen Temperaturen‹ eine Tatsache und keine Tautologie sei und die Grundlage der Thermometrie bilde. So basiert die Definition der Temperatur auf der Thermometrie, die ihrerseits das thermische Gleichgewicht voraussetzt. Wie kann man aber ohne Temperatur und Thermometer erkennen, ob und wann dieses Phänomen stattfindet? Wie kann man wissen, dass das Thermometer nicht immer nur seine eigene Temperatur anzeigt, sondern auch jene der Körper, die mit ihm in Kontakt gebracht wurden? In der Praxis können solche Fragen durch verschiedene Methoden mit ausreichender Präzision beantwortet werden. In der Theorie hingegen konnte der Kreis nur dank des Verweises auf die alltäglichen Wärme- und Kälteempfindungen gebrochen werden.

Maxwells Ansatz zur Definition der Temperatur wurde von Ernst Mach (1838-1916) in einer methodologisch-philosophischen Analyse des Temperaturbegriffs formalisiert.⁶ Erst führte Mach den Begriff des ›Wärmezustands‹ eines Körpers mit Verweis auf Wärmeempfindungen ein, dann beschrieb er das Phänomen der Ausdehnung der Körper unter der Wirkung der Wärme, das die Herstellung von ›Thermoskopen‹ erlaubt.⁷ So konnte er per Übereinkunft festlegen: ›höhere Wärmezustände sollen jene heißen, in welchen die Körper am Thermoskop eine grössere Volumanzeige bedingen‹.⁸ Schließlich definierte Mach die Temperatur als eine den Wärmezustand kennzeichnende Zahl.

Seit der Zeit Maxwells und Machs sind alle Versuche gescheitert, Temperatur und thermisches Gleichgewicht auf mechanische Konzepte wie Energie, Volumen oder Druck zurückzuführen.⁹ Daher verwenden heutige Lehrbücher der Thermodynamik immer noch Verweise auf taktile Empfindung und auf die alltägliche Erfahrung des thermischen Gleichgewichts, um die Begriffe "Thermometer" und "Temperatur" einzuführen.¹⁰ Die Unterscheidung zwischen Temperatur und Wärme, und im allgemeinen zwischen intensiven und extensiven Größen (z.B. Druck versus Volumen), ist für die heutige Thermodynamik grundlegend und wird als eine ausschließlich moderne Errungenschaft präsentiert.¹¹

2. Epistemologie und Geschichte des Thermometers

⁶ Mach, Ernst: Die Principien der Wärmelehre, Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1919.

⁷ Vgl. ebd., S. 3-57.

⁸ Vgl. ebd., S. 42.

⁹ Für einen Überblick zu dieser Problematik siehe zum Beispiel: Pitteri, Mario: »On the axiomatic foundations of temperature«, in: Clifford Truesdell (Hg.): Rational thermodynamics. Second edition, New York: Springer 1984, S. 522-544.

¹⁰ Zum Beispiel in: Kluge, Gerhard/Neugebauer, Gernot: Grundlagen der Thermodynamik, Heidelberg: Spektrum 1994, hier S. 25-26; Quinn, Terry J.: Temperature, London: Academic Press 1983, S. 3-10; Winstock, R.: »Temperature«, in: Rita G. Lerner/George L. Trigg (Hg.): Encyclopedia of Physics. Third Edition, Bd. 2, Weinheim: Wiley-VCH 2005, S. 2668-2671.

¹¹ Über extensive und intensive Größe in der Thermodynamik: G. Kluge/G. Neugebauer: Thermodynamik, S. 29-32.

Die im vorigen Abschnitt beschriebene Problematik mag als eine reine Frage der Epistemologie und Wissenschaftstheorie erscheinen, doch werden sich Epistemologie und Geschichte in diesem Fall als eng verbunden erweisen. Machs Einführung von Wärmestand, Thermometer und Temperatur war nicht rein philosophisch, sondern Teil eines Überblicks über die Geschichte der Thermometrie. Nach der Definition des Wärmestandes eines Körpers durch den Verweis auf die sinnlichen Empfindungen, schrieb Mach:

›Die Sinnesorgane sind [...] nicht der Förderung der physikalischen Erkenntnis, sondern der Erhaltung günstiger Lebensbedingungen angepasst. [...] Wo es sich aber um das *physikalische* Verhalten eines Körpers [...] handelt, müssen wir uns nach einem *Merkmal* dieses Verhaltens umsehen, welches von der veränderlichen, schwer und umständlich controlirbaren Beschaffenheit unseres Sinnesorganes *unabhängig* ist. Ein solches Merkmal ist gefunden worden.

Es ist seit langer Zeit bekannt, dass derselbe Körper, je nachdem er unter sonst gleichen Umständen kälter oder wärmer erscheint, auch ein kleineres oder grösseres Volum annimmt. [...] Doch scheint erst Galilei, der grosse Begründer der Dynamik, den glücklichen Gedanken gefasst zu haben, das *Volum* der Luft als *Merkmal* ihres *Wärmestandes* zu benutzen, und auf diese Weise ein *Thermoskop*, beziehungsweise ein *Thermometer* zu construieren. Als selbstverständlich wurde es angenommen, dass ein solcher Apparat auch den Wärmestand der berührten Körper anzeigt auf Grund der naheliegenden Beobachtung, nach welcher ungleich warme sich berührende Körper alsbald sich gleich warm anfühlen.¹²

So hätte sich nach Meinung Machs die Erfindung des Thermometers aus dem Bedürfnis ergeben, den Wärmestand der Körper in einer genaueren Art zu bestimmen als es mit den Sinnesorganen möglich war. Das thermische Gleichgewicht sei bereits in der vormodernen Zeit ein selbstverständliches Phänomen gewesen, dessen Existenz sich problemlos aus der taktilen Erfahrung ergab und nicht weiter hinterfragt wurde. Wie wir sehen werden, ist diese Darstellung historisch inkorrekt, doch hatte sie Mach von einem Historiker übernommen. Machs Quelle war Fritz Burkhardts Werk »Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im XVII. Jahrhundert« (1867) und die von Burkhardt und Mach vertretene Ansicht wurde später oft wiederholt.¹³ So sprach 1956 Martin K. Barnett von einer ›objectivation of sensation‹ durch das Thermometer.¹⁴ 1961 schrieb Thomas S. Kuhn:

›Many of the early experiments involving thermometers read like investigations *of* the new instrument rather than like investigations *with* it. [...] ›Degree of heat‹ had for a long time been defined by the senses, and the senses responded quite differently to bodies which produced the same thermometric readings. Before the thermometer could become unequivocal laboratory instrument rather than an experimental subject, thermometric

¹² E. Mach, Wärmelehre, S. 4.

¹³ Burkhardt, Fritz: Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im XVII. Jahrhundert, Basel: Carl Schultzes's Universitätsbücherei 1867, hier S. 1.

¹⁴ Barnett, Martin K.: »The development of thermometry and the temperature concept«, in: Osiris 12 (1956), S. 269-341, hier S. 273.

readings had to be seen as the direct measure of ›degree of heat‹, and sensations had simultaneously to be viewed as a complex and equivocal phenomenon dependent upon a number of different parameters.

That conceptual reorientation seems to have been completed in at least few scientific circles before the end of the seventeenth century, but no rapid discovery of quantitative regularities followed. First scientists had to be forced to a bifurcation of ›degree of heat‹ into ›quantity of heat‹, on the one hand, and ›temperature‹, on the other.¹⁵

Kuhn folgend hat Gernot Böhme die Entstehung des Unterschieds zwischen Wärmemenge und Temperatur als eine Entfernung von den körperlichen Empfindungen thematisiert.¹⁶ In seiner philosophisch-historischen Monographie ›Inventing temperature. Measurement and scientific progress‹ (2004) stellte auch Hasok Chang die Entstehung des Temperaturbegriffs als einen Fortschritt vom Tastsinn zu modernen Temperaturskalen dar – einen Fortschritt, der das Thermometer ermöglicht habe.¹⁷

Wenn man diese Texte liest, könnte man meinen, es habe vor dem Erscheinen des Thermometers gar keinen Begriff der Temperatur gegeben und man habe nur von Wärme- und Kälteempfindungen in einem undeutlichen, rein qualitativen Sinn gesprochen und geschrieben. Doch dies war nicht der Fall – ganz im Gegenteil: Richtet man den Blick auf die Zeit vor dem Thermometer, so entdeckt man eine hochkomplexe, quantifizierte Temperaturlehre, in welcher der Tastsinn nur eine Nebenrolle spielte. Dabei stellt sich heraus, dass der Unterschied zwischen Temperatur und Wärmemenge bereits im Mittelalter formuliert wurde und eine zentrale Stellung in der damaligen Wärme- und Kältelehre innehatte.

Diese frühe Phase der Geschichte des Temperaturbegriffs ist den Historikern zwar nicht entgangen und zumindest Gernot Böhme dürfte sie gut bekannt sein.¹⁸ Ihre Bedeutung für die Entstehung des Thermometers und ihre unverkennbaren Gemeinsamkeiten mit der heutigen Temperatur- und Wärmelehre wurden aber nur selten, wenn überhaupt, thematisiert. Zum Beispiel ließ Kirstine Meyer 1913 in ihrer Untersuchung zur Geschichte des Temperaturbegriffs die quantitativen Aspekte der antiken und mittelalterlichen Theorien von Wärme und Temperatur außer Acht.¹⁹ Gustav Hellmann (1920), Sherwood Taylor (1942) und Knowles Middleton (1966) erwähnten sie, aber ohne ihre Rolle bei der Entwicklung des Thermometers zu betonen.²⁰ Historiker des Mittelalters sind zwar oft auf die Details der quantitativen

¹⁵ Kuhn, Tomas S.: ›The function of measurement in modern physical science‹, in: *Isis* 52 (1961), S. 161-193, hier S.188-189.

¹⁶ Böhme, Gernot: ›Temperatur und Wärmemenge. Ein Fall alternativer Quantifizierung eines lebensweltlich-technischen Begriffs‹, in: Peter Eisenhardt (Hg.): *Der Weg der Wahrheit. Aufsätze zur Einheit der Wissenschaftsgeschichte*, Hildesheim: Olms 1999, S. 217-225.

¹⁷ Chang, Hasok: *Inventing temperature. Measurement and scientific progress*, Oxford: Oxford University Press 2004, hier S. 47-48.

¹⁸ Böhme, Gernot/Böhme, Hartmut: *Feuer, Wasser, Erde, Luft. Eine Kulturgeschichte der Elemente*, München: Beck 1996, hier S. 164-174, S. 242-250.

¹⁹ Meyer, Kirstine: *Die Entwicklung des Temperaturbegriffs im Laufe der Zeiten*, Braunschweig: Vieweg 1913 [Orig. Dänisch].

²⁰ Hellmann, Gustav: ›Beiträge zur Erfindungsgeschichte meteorologischer Instrumente‹, in: *Abhandlungen der preussischen Akademie der Wissenschaften. Physikalisch-mathematische Klasse* (1920), S. 1-59; Middleton,

Temperaturlehre jener Epoche eingegangen, doch ohne ihre mögliche Relevanz für die spätere Geschichte der Wärmelehre zu untersuchen.²¹

Auf den folgenden Seiten werde ich anhand von Forschungsergebnissen und ausgewählten Primärquellen versuchen, eine Brücke zwischen dem vormodernen und dem modernen Temperaturbegriff zu schlagen. Besondere Aufmerksamkeit widme ich der Rolle, die Thermometer und Tastsinn in diesem Kontext spielten. Hat das Thermometer tatsächlich den Tastsinn als Mittel der Wahrnehmung und Quantifizierung der Wärmeerscheinungen ersetzt? Sollte sich diese These als historisch nicht nachvollziehbar erweisen, warum wird sie so oft vertreten?

Diesen Fragen nachgehend werde ich in Abschnitt 3 und 4 die antike und mittelalterliche Temperaturlehre besprechen. In Abschnitt 5 stelle ich dar, wie bedeutungsvoll dieser ältere Temperaturbegriff bei der Entstehung des Thermometers war. In Abschnitt 6 und 7 biete ich einen Überblick der Entwicklungen des achtzehnten Jahrhunderts, in dem das Thermometer zu einem exakten Messgerät wurde, aber gelegentlich auch als Symbol für Irrationalität und Gefühle gelten konnte. In Abschnitt 7 komme ich dann auf Maxwell und Mach zurück und werde tentativ den Fragen nachgehen, warum sie den Rückgriff auf taktile Empfindungen als notwendig empfanden und wieso diese epistemologische Stellungnahme in eine fiktive historische Darstellung verwandelt wurde.

3. Wärme und Kälte als entgegengesetzte Prinzipien

Historiker der antiken und mittelalterlichen Philosophie und Medizin haben längst gezeigt, dass die Quantifizierung von Qualitäten wie Wärme und Kälte auf die Antike zurückgeht.²² Im arabischen und lateinischen Mittelalter wurden auf der antiken Grundlage eine Anzahl von komplexen, konkurrierenden Methoden entwickelt, um die Quantifizierung der Qualitäten zu rechtfertigen und durchzuführen. Diese Theorien wurden oft unabhängig voneinander formuliert, zum Beispiel im Rahmen der Pharmakologie, der Theologie, der Philosophie der Natur und der Metaphysik.

Die Erfahrungen von Wärme und Kälte, die in diesem Kontext zur Diskussion standen, waren keineswegs auf taktile Empfindungen beschränkt: Im Gegenteil stellten sie eine so breite Palette dar, wie es später nicht mehr der Fall war.²³ Bereits Aristoteles (384-322 v. u. Z.) hatte ausführlich besprochen, dass der Tastsinn nur einer von mehreren

W.E. Knowles: A history of the thermometer and its use in meteorology, Baltimore: John Hopkins 1966; Taylor, F. Sherwood: »The origin of the thermometer«, in: Annals of Science 5 (1942), S. 129-156.

²¹ Clagett, Marshall: Giovanni Maliani and late medieval physics, NewYork: Columbia University Press 1941; McVaugh, Michael R.: »The development of medieval pharmaceutical theory«, in: Arnaldus de Villanova: Opera medica omnia II. Aphorismi de gradibus, Herausgegeben von Michael R. Mc Vaugh, Granada: Universidad de Barcelona 1975, S. 3-136.

²² Sylla, Edith: »Medieval quantification of qualities: the ›Merton School‹«, in: Archive for history of exact sciences 8 (1971), S. 9-39.

²³ Zur Verschiedenheit der Phänomene von Wärme und Kälte in der Vormoderne siehe: M. Clagett: Giovanni Maliani, S. 34-61, S. 79-80; Lloyd, Geoffrey Ernest Richard: »The hot and the cold, the dry and the wet in Greek philosophy«, in: The Journal of Hellenic studies 84 (1964), S. 92-106, hier S. 100-106; K. Meyer: Entwicklung, S. 4-19.

Wegen zur Bestimmung der Wärme oder Kälte eines Körpers sei.²⁴ Wie wir sehen werden, waren Medizin und Pharmakologie von zentraler Bedeutung für die vormoderne Wärmelehre und besonders wichtig war die Idee, dass Medikamente je nach ihrer Wirkung als mehr oder weniger ›warm‹ oder ›kalt‹ betrachtet werden sollten. ›Warm‹ und ›kalt‹ war zudem ein Mensch nicht nur, wenn er bei Berührung warm oder kalt vorkam, sondern auch je nachdem, wie schnell er im Stande war, Wärme zu übermitteln und je nach seiner gemüthhaften Einstellung, seinem ›Temperament‹.

Die vormodernen Diskussionen über die Quantifizierung von Wärme und Kälte fanden im Rahmen der aristotelischen Philosophie und der hippokratisch-galenischen Medizin statt. Sie wurden durch zwei Faktoren entscheidend geprägt: die aristotelische Theorie von Materie und Form und das Viererschema der elementaren Qualitäten warm/kalt und feucht/trocken. Letzteres spielte sowohl in der aristotelischen als auch in der hippokratisch-galenischen Lehre eine zentrale Rolle.²⁵

Nach Meinung des Aristoteles bestand jeder Körper aus einer unzertrennlichen Verbindung von Materie und Form. Qualitäten hingen mit der Form zusammen, während die Materie durch Quantität bestimmt war. Allerdings hatte der griechische Philosoph auch die Möglichkeit eingeräumt, dass eine Qualität in unterschiedlichen quantitativen Stufen von ›mehr‹ oder ›weniger‹ vorkommen könne.²⁶ In diesem Kontext hatten Wärme und Kälte eine besondere Stellung, weil sie zusammen mit Feuchtigkeit und Trockenheit die vier elementaren Qualitäten ausmachten, deren Kombinationen alle anderen Qualitäten bestimmten. Die elementaren Qualitäten waren in zwei Paare geordnet (warm/kalt, trocken/feucht) und aus einigen aristotelischen Schriften ging hervor, dass zwei entgegengesetzte Qualitäten gleichzeitig in der Form eines Körpers anwesend sein konnten. Die Eigenschaften des Körpers waren dann das Ergebnis der Wechselwirkung der beiden Prinzipien.

Für unser Thema ist lediglich wichtig zu bemerken, dass Wärme und Kälte zwei entgegengesetzte, voneinander unabhängige Prinzipien waren und dass die Kälte in der Regel nicht als bloße Abwesenheit von Wärme betrachtet wurde. Der für einen Körper charakteristische Zustand der Wechselwirkung zwischen entgegengesetzten Prinzipien wurde im lateinischen Spätmittelalter oft als ›Temperatur‹ (›tempera‹, ›temperies‹) bezeichnet, sowohl im Fall von Wärme und Kälte als auch von anderen Paaren von Qualitäten.

Aristoteles und seine Nachfolger verwendeten die Polarität von Wärme und Kälte sowie von Feuchtigkeit und Trockenheit als Muster für die Beschreibung und Erklärung der Naturphänomene in sehr unterschiedlichen Bereichen, die wir heute als Physik, Chemie, Biologie, Meteorologie und Physiologie bezeichnen würden. Dadurch konnten sehr unterschiedliche Erfahrungen miteinander verbunden werden. Zum Beispiel stellten hippokratisch-galenische Philosophen eine Verbindung zwischen Gesundheit und lokaler Umwelt her. In seinen biologischen und zoologischen

²⁴ Aristoteles, De partibus animalium II, 2, 648-649, zum Beispiel in Aristoteles: Opera omnia, Bd. 3, Paris: Ambrosio Firmin Didot 1854, S. 232-233.

²⁵ G. E. R. Lloyd: The hot and the cold.

²⁶ Aristoteles: Categoriae 8, 10b-11a, zum Beispiel in: Aristoteles: Organon, Bd. 2, Hamburg: Meiner 1998, S. 62-63.

Schriften vertrat Aristoteles die Meinung, dass es eine geschlechterspezifische Verteilung von Wärme und Kälte gebe und dass männliche Tiere immer wärmer als die entsprechenden Weibchen seien.²⁷ Dies gelte auch für die Menschen, bei denen der Temperaturunterschied zwischen Mann und Frau besonders hoch ausfalle. An dieser Stelle ist zu beachten, dass es sich bei diesem Unterschied nicht um eine absolute Zuschreibung von Wärme bzw. Kälte zu dem einen oder dem anderen Geschlecht handelte. Wie alle anderen Körper sollten auch männliche und weibliche Lebewesen immer nur aufgrund einer Wechselwirkung von beiden Prinzipien bestehen können, aus denen sich in diesem Fall ein geschlechterspezifisches Gleichgewicht – eine Temperatur – ergab, die bei den Männchen wärmer, bei den Weibchen kälter ausfiel. Die ungleiche Verteilung von Wärme und Kälte zwischen den Geschlechtern war bei der Reproduktion von größter Wichtigkeit. Das grundlegende Element zur Entstehung neuen Lebens: die Lebenswärme, wurde bei der Paarung vom Männchen geliefert. Diese allein reichte aber nicht aus, um eine erfolgreiche Zeugung zu gewährleisten: Zu diesem Zweck war auch die kältere Temperatur des Weibchens notwendig, in dessen Körper die Wärme des Samens konzentriert und kondensiert wurde.²⁸ Die Wechselwirkung von Wärme und Kälte bei der Reproduktion zeigt, wie zentral die Idee der Polarität im aristotelischen System war: Die Wärme war zwar für Aristoteles eine wertvollere Qualität als die Kälte, doch konnte sich das Leben nicht allein mittels der Wärme reproduzieren.²⁹

4. Die Grade der Wärme und Kälte in Pharmakologie und Alchemie

Bereits Aristoteles hatte die Möglichkeit eingeräumt, die Stufen der Wärme und Kälte mit Zahlen in Verbindung zu setzen. Der erste, der dies systematisch tat, war aber der Arzt Galen von Pergamon (ca. 129-216), dessen Werk für die Medizin des arabischen und lateinischen Mittelalters prägend wurde.³⁰ Galen erweiterte und verfeinerte die hippokratische Lehre der Humoralpathologie, deren zentraler Begriff das Gleichgewicht war. Die Eigenschaften jedes Körpers hingen von der Wechselwirkung entgegengesetzter Prinzipien – den vier ›Humores‹ (Säften) als den vier elementaren Qualitäten – ab. Ein gesunder Körper galt als ›wohltemperiert‹ (›εὐκρατος‹), weil in ihm Gleichgewicht zwischen den Prinzipien herrschte. Bei Krankheit galt das Gleichgewicht hingegen als gestört und musste mit Hilfe von Medikamenten, die eine passende Wirkung hatten, wiederhergestellt werden. Eine erregende Substanz wie Wein wirkte ›warm‹, während eine betäubende wie Opium ›kalt‹ war. Galen erklärte,

²⁷ Die folgende Diskussion basiert auf: Althoff, Jochen: Warm, kalt, flüssig und feucht. Die Elementarqualitäten in den zoologischen Schriften, Stuttgart: Steiner, 1992, bes. S. 150-151 und 181-212, Green, Judith M.: »Aristotle on necessary verticality, body heat, and gendered proper places in the Polis: A feminist critique«, in: Hypathia 7 (1992), S. 70-96.

²⁸ J. Althoff: Warm, kalt, S. 203-206; J. M. Green: Aristotle, S. 84.

²⁹ Vgl. ebd., S. 194-199, J. M. Green: Aristotle, hier bes. S. 82-84.

³⁰ Nutton, Vivian: »Humoralism«, in: Bynum, William F./Porter, Roy (Hg.): Companion encyclopedia of the history of medicine, Bd. 1, London: Routledge 1993, S. 281-291. Der folgende Überblick über die Pharmakologie der Antike und des arabischen und lateinischen Mittelalters basiert auf: Clulee, Nicholas H.: »John Dee's mathematics and the grading of compound qualities«, in: Ambix 18 (1971), S. 178-211; M. R. McVaugh, Development; E. Sylla: Quantification.

dass eine Ordnung (᾽τάξις), der Wärme und Kälte verschiedener Medikamente festgelegt werden könne, indem man ihre Wirkung betrachte.³¹ Ein Medikament, das auf einen wohltemperierten Körper keine Wirkung zeigte, war selbst temperiert. Pharmaka, die auf einen wohltemperierten Körper mit verschiedenen Intensitäten der Wärme oder Kälte wirkten, nahmen in der Wärme- bzw. Kälteordnung die Plätze eins bis vier ein. So gab es für Galen den temperierten Zustand und jeweils vier Stufen der zunehmenden Wärme oder Kälte.

In den folgenden Jahrhunderten erweiterten erst arabische und dann lateinische Gelehrte Galens Lehre und stellten sich die Frage, ob und wie die Qualitäten des Verbunds zweier Medikamente ermittelt werden könnten: Musste man die Wirkung der zusammengesetzten Substanz ausprobieren oder durfte man sich auf theoretische Überlegungen verlassen?

Der neuplatonische Philosoph Abū Yūsuf Ya‘qūb ibn Ish.āq al-S.abbāh. al-Kindi (gest. ca. 873) formulierte eine theoretische Methode für die Bestimmung der Stufen von Wärme und Kälte, die in den lateinischen Übersetzungen seines Werkes als ›Grade‹ (›gradus‹) bezeichnet wurden. Al-Kindi bediente sich der aristotelischen Idee einer polaren Wechselwirkung der Wärme und Kälte, und verstand den Grad der Temperatur eines Medikaments als Ergebnis der Spannung zwischen der Wärme und der Kälte, die in der Form des Medikaments gleichzeitig anwesend waren. In einem temperierten Pharmakon war das Verhältnis zwischen den beiden Prinzipien 1:1. Der erste Grad der Wärme ergab sich, wenn doppelt so viel Wärme wie Kälte anwesend war, also 2:1. Der zweite, dritte und vierte Grad der Wärme entsprachen Verhältnissen von jeweils 4:1, 8:1 und 16:1. Nach Meinung von al-Kindi konnte die Temperatur eines Verbunds nicht nur durch Experimente am Körper, sondern auch durch mathematische Manipulationen der Qualitäten seiner Zutaten bestimmt werden.

Al-Kindis Graduierung wurde durch Abū'l-Walīd Mu.ammad ibn Ahmad ibn Muh.ammad ibn Rushd (Averroës) (1126-1198) kritisiert. Wie Al-Kindi vertrat auch Ibn-Rushd die Meinung, dass eine theoretische Bestimmung von Temperatur als mathematische Relation möglich sei. Doch war er mit al-Kindis Methode für die Bestimmung der Grade der Wärme und Kälte nicht einverstanden und hielt es zum Beispiel für wahrscheinlich, dass der zweite Grad der Wärme durch eine Proportion von 3:1 zwischen Wärme und Kälte bestimmt sei.

Im späten dreizehnten Jahrhundert wurden die pharmakologischen Lehren von al-Kindi und ibn-Rushd im lateinischen Europa bekannt und dienten als Ausgangspunkt für neue Reflexionen über die Graduierung der Qualitäten von pharmakologischen und alchemistischen Substanzen. Autoren, die sich mit diesem Thema beschäftigten, waren Roger Bacon (1214-1294), Arnald von Villanova (ca. 1238-1311) und Ramon Llull (1232-1316). In allen diesen Theorien prägte die Idee der Polarität der Wärme und Kälte weiterhin die Methode der Graduierung. Die Grade der Temperatur wurden als mathematische Verhältnisse zwischen zwei Zahlen, die jeweils mit Wärme und Kälte zusammenhingen, aufgefasst. So lag es auch nahe, zwischen dem Grad der Temperatur und der Menge an Wärme oder Kälte zu unterscheiden: Die Menge hing mit der

³¹ Galen: »De simplicium medicamentorum temperamentis ac facultatibus«, in: Claudii Galeni opera omnia, Bd. 9, Hildesheim: Georg Olms Verlag 1997, hier S. 570-572.

Quantität von warmer oder kalter Materie zusammen, die Temperatur mit dem mathematischen Verhältnis zwischen den beiden Mengen.

Parallel zu den pharmakologischen und alchemistischen Diskussionen entfalteten sich in Europa auch theologisch-philosophische Debatten über die quantitative Veränderung von Qualitäten.³² Obwohl die beiden Traditionen voneinander unabhängig blieben, gab es viele Kontaktpunkte und im Laufe des vierzehnten Jahrhunderts wurde der Unterschied zwischen ›intensiver‹ und ›extensiver‹ Größe in beiden Bereichen eindeutig formuliert. Im Fall von Wärme und Kälte entsprach diese Differenz der zwischen (extensiver) Menge von warmer oder kalter Materie und (intensivem) Grad ihrer Temperatur.

Um die intensive Quantität der Wärme und Kälte sowie anderer entgegengesetzter Prinzipien zu repräsentieren, führte Roger Bacon die ›linea intensionis‹ (›Linie der Intensität‹) ein: Es handelte sich um eine Gerade, deren Mittelpunkt den temperierten Zustand darstellte, während zwei Reihen von Punkten, die von der Mitte in entgegengesetzten Richtungen gleich entfernt waren, die Grade der Wärme bzw. Kälte repräsentierten.³³ In anderen Worten sah diese Linie genau so aus, wie die Temperaturskala, die später auf dem Thermometer erscheinen würde. In der Renaissance war Bacons ›linea intensionis‹ in zahlreichen geometrischen Diagrammen zu finden, welche die nun sehr komplexen Lehren von Temperatur und Temperamenten darstellten.³⁴ Die Spätrenaissance sah jedoch bereits den Anfang des Untergangs der aristotelisch-galenischen Philosophie der Natur. Auf dieser Bühne trat kurz nach 1600 das Gerät "Thermometer" auf.

5. Das Thermometer und die Aushöhlung der aristotelisch-galenischen Temperaturlehre

In den letzten Jahrzehnten des sechzehnten Jahrhunderts war unter den Gelehrten und Naturforschern Europas ein Experiment bekannt geworden, das sichtbar machen sollte, wie sich die Luft mit der Wärme ausdehnte und mit der Kälte zusammenzog.³⁵ Der Apparat bestand aus einer Glasflasche, deren Öffnung in eine Schale voll Wasser eingetaucht war. Wenn der Bauch der Flasche mit Feuer oder mit den Händen erhitzt wurde, konnte man die Ausdehnung der Luft in Form des Absenkens des Wassers beobachten. Entfernte man die Wärmequelle, zog sich die Luft wieder zusammen und das Wasser stieg nach oben.

In einer auf 1611 datierten Sammlung der ›Wundervollen Mathematik‹ (›Matematica maravigliosa‹) findet man dieses Experiment als ein Instrument beschrieben, ›mit dem

³² M. R. McVaughn: Development, S. 98-99; E. Sylla: Quantification.

³³ N. H. Clulee: John Dee; M. R. McVaughn: Development, S. 39-45.

³⁴ Ian Maclean: »Diagrams in defence of Galen: medical uses of tables, squares, dichotomies, wheels, and latitudes, 1480-1574«, in: Sachiko Kusukawa/Ian Maclean (Hg.): Transmitting knowledge. Words, images and instruments in early modern Europe, Oxford: Oxford University Press 2006, S. 135-164.

³⁵ Der folgende Überblick der frühen Geschichte des Thermometers basiert auf: Borrelli, Arianna: »The weatherglass and its observers in the early seventeenth century«, in: Claus Zittel/Gisela Engel/Romano Nanni/Nicole C. Karafyllis (Hg.): Philosophies of technology. Francis Bacon and his contemporaries, Bd. 1, Leiden: Brill 2008, S. 67-130; W.E.K. Middleton: Thermometer, S. 3-39; F. S. Taylor: Thermometer.

man die Veränderung des Wetters nach Wärme oder Kälte in Graden und Minuten erkennt« (›col quale si conosce il cambiamento del tempo in caldo o in freddo secondo gradi o minuti‹).³⁶ Ein Bild zeigt, dass den Hals der Flasche entlang eine Graduierung angebracht war. 1612 beschrieb der Paduaner Medizinprofessor Santorio Santorio (1561-1636) einen Apparat, welcher der von ihm angestrebten Quantifizierung der Medizin dienen sollte: Auch diesmal handelte es sich um ein Glasgefäß, in dem die Ausdehnung der Luft die Intensität der Wärme anzeigte. In einem späteren Werk beschrieb es Santorio so:

›Ein Gefäß aus Glas, mit dem wir in sehr einfacher Art und Weise zu jeder Stunde die kalte oder warme Temperatur bestimmen können und auch wissen, wie sehr die Temperatur vom vorher gemessenen, natürlichen Ort entfernt sei. Dieses Gefäß wurde durch Heron für einen anderen Zweck entworfen. Wir haben es daran angepasst, sowohl die kalte und warme Temperatur der Luft und aller Teile des Körpers als auch den Grad der Wärme bei Fieber zu erkennen.‹³⁷

Santorio war ein Vertreter der aristotelisch-galenischen Tradition und verstand das Gerät in dieser Passage als Instrument der Bestimmung der ›Temperatur‹ innerhalb jener Tradition.³⁸ In seinem kosmologischen Traktat ›Sphaera mundi‹ (1620) führte der Jesuit Giuseppe Biancani (1566-1624) für das Instrument einen neuen Namen ein: ›Thermoscopium‹. Auch er sah das Gerät als ein mit der aristotelischen Lehre im Einklang stehendes Instrument. Das Wort ›thermomètre‹ erschien erstmals im Jahre 1624 in einem mit dem Jesuitenkolleg von Pont-à-Mousson verbundenen Text und Mitte des Jahrhunderts war das Thermometer in ganz Europa bekannt.

So zog das Gerät, das als ›Thermometer‹ bekannt wurde, erst deswegen die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf sich, weil es den aristotelisch-galenischen Begriff der Temperatur zu verkörpern schien. Nicht das Thermometer produzierte die Begriffe des Grades, der Wärme und der Temperatur, sondern umgekehrt. Allerdings hatte die Übertragung der alten Wissensstrukturen in ein neues Medium neue Horizonte der Wissensproduktion und –reproduktion eröffnet und auch viele Naturforscher, die keineswegs Vertreter der aristotelischen Physik waren, fühlten sich vom Thermometer angezogen.

Das neue Gerät war auch deswegen interessant, weil es anscheinend die Veränderungen des Wetters voraussagen konnte. Dies lag daran, dass es nicht

³⁶ Chaldecott J. A.: »Bartolomeo Telioux and the early history of the thermometer«, in: *Annals of science* 8 (1952) S. 195-201 und Figs. X-XI.

³⁷ ›vas vitreum quo facillime possumus singulis horis dimetiri temperaturam frigidam, vel calidam et perfecte scire singulis horis quantum temperatura recedat a naturali statu prius mensurato. Quod vas ab Herone in alium usum proponitur. Nos vero illud accomodavimus, et pro dignoscenda temperatura calida et frigida aeris, et omnium partium corporis, et pro dignoscendo gradu caloris febricitantium.‹ (Santorio, Santorio: *Commentaria in primam fen primi libri Canonis Avicennae*, Venedig: Brogolo 1646, hier c. 30-31). Der Text wurde von mir ins Deutsche übersetzt. Der altgriechische Gelehrte Hero von Alexandria (284-221 v. u. Z.) hatte in der Tat in seinen Schriften ein dem Luftthermometer ähnliches Gerät beschrieben, doch hatte er damit keine Quantifizierung der Wärme und Kälte unternommen.

³⁸ Temkin, Owsei: *Galenism. Rise and decline of a medical philosophy*, Ithaca: Cornell University Press 1973, hier S. 159-161.

versiegelt war und daher auch auf Veränderungen des äußeren Luftdrucks reagierte. Das Phänomen des Luftdrucks wurde um 1650 konzeptualisiert und untersucht und erst ab dann sprachen Naturphilosophen von zwei unterschiedlichen Geräten: das Thermometer und das Barometer. Beide konnten aber weiterhin als ›Wetterglas‹ bezeichnet werden. Der Grund, warum ein Barometer das Wetter vorhersagen konnte, wurde erst im Kontext der Meteorologie des neunzehnten Jahrhunderts verständlich und bis dahin wurde viel über barometrische Vorhersagen gerätselt.³⁹ Wir werden im nächsten Abschnitt sehen, dass Barometer und Thermometer unter einigen Aspekten bis in die Moderne eng verknüpft blieben.

Ab 1650 verbreiteten sich das Alkohol-Thermometer, später auch andere Formen des Geräts und es vollzog sich eine entscheidende Wende in der Geschichte des Temperaturbegriffs. Sie bestand darin, dass sich das Konzept der Temperatur oder des Grades der Wärme von dem aristotelisch-galenischen Kontext, in dem es entstanden war, löste: Es wurde weiterhin von Temperatur gesprochen, doch immer häufiger als von einer theoretisch eher unbestimmten Zahl, die vom Thermometer angezeigt wurde. Dieser Wandel steht nicht nur im Zusammenhang mit dem Erscheinen des Thermometers, sondern auch mit dem langsamen Untergang der aristotelisch-galenischen Philosophie der Natur ab der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts. In Alchemie, Medizin und Pharmakologie waren aristotelische Theorien durch die paracelsische Lehre bereits im sechzehnten Jahrhundert angegriffen worden und in der Physik fanden nach 1600 atomistische Ansichten zunehmende Verbreitung.⁴⁰ In diesem Zusammenhang änderten sich auch die Ansichten über die Natur von Wärme und Kälte.

Für lange Zeit konnte sich keine der vielen Theorien der Wärme über die anderen durchsetzen, doch war den meisten Überlegungen ein Zug gemeinsam: Die Idee, dass die Kälte ein von der Wärme unabhängiges Prinzip sei, wurde immer häufiger in Zweifel gezogen, und zwar zugunsten der Meinung, dass Kälte die Abwesenheit von Wärme sei.⁴¹ So verschwand die Idee der Polarität von Wärme und Kälte von der Bildfläche und mit ihr trat auch der theoretische Begriff des Gleichgewichts in den Hintergrund.

6. Exkurs: Thermometer und Barometer als Wahrnehmungsapparate für das Irrationale in der frühen Neuzeit und in der Moderne

Der Verlust seines ursprünglichen philosophisch-medizinischen Kontexts ließ das Thermometer oft als rätselhaften Apparat erscheinen, wie Kuhn zurecht bemerkte.⁴² Da die ›Temperatur‹ nicht mehr als Resultat einer Wechselwirkung zwischen Wärme und Kälte verstanden wurde, blieb es unklar, wie die vom Thermometer angezeigten

³⁹ Golinski, Jan: *British weather and the climate of the Enlightenment*, Chicago: University of Chicago Press 2007, S. 114-120; Middleton, W.E. Knowles: *A history of the theories of rain and other forms of precipitation*, New York: Franklin Watts 1966, hier S. 63-91.

⁴⁰ Garber, Daniel: »Physics and Foundations«, in: Katharine Park/Lorraine Daston (Hg.): *The Cambridge history of science. Vol. 3: Early modern science*, Cambridge: Cambridge University Press 2006, S. 21-69, hier insbesondere S. 29-47.

⁴¹ H. Chang: *Temperature*, S. 162-168.

⁴² T. S. Kuhn: *Measurement*, S.188-189, wie im Sektion 2 oben diskutiert.

Zahlen naturphilosophisch zu deuten seien. Trotzdem waren die Geräte nicht überflüssig: Sowohl in der Meteorologie als auch in physikalischen und chemischen Experimenten wurden Thermometer zunehmend eingesetzt, um den Grad der Wärme oder Kälte verschiedener Tage, Gegenden, Menschen oder chemischer Prozesse zu vergleichen.

Während die Frage nach der Natur von Wärme und Kälte umstritten blieb, vermehrten sich zwischen dem späten siebzehnten und dem frühen achtzehnten Jahrhundert die Versuche, standardisierte Thermometer zu produzieren, deren Messergebnisse miteinander problemlos verglichen werden konnten. Doch bevor ich den Einsatz des Thermometers als exaktes Messinstrument im Labor diskutiere, möchte ich kurz auf die symbolische Bedeutung des Thermometers und des Barometers in der öffentlichen Diskussion sowie der Literatur der frühen Neuzeit und Moderne eingehen. Dieses Thema verdeutlicht sehr gut, wie breit die Palette der möglichen Bedeutungen war, die einem Instrument in der frühen Neuzeit zugeschrieben werden konnten. Wie im vorigen Abschnitt gesehen, wurde bereits im siebzehnten Jahrhundert zwischen Thermometer und Barometer unterschieden, wobei die Fähigkeit des Barometers, Wetter vorzusagen, bis ins neunzehnte Jahrhundert unerklärt blieb. Versiegelte Thermometer, die aufgrund der Ausdehnung von Alkohol oder Quecksilber funktionierten, wiesen keine prophetischen Züge auf, jedoch konnten auch sie im achtzehnten Jahrhundert als rätselhafte Wettergläser gelten. Zwei Historiker haben sich mit diesem Aspekt der Geschichte von Barometer und Thermometer beschäftigt: Terry Castle und Jan Golinski.⁴³

Golinski hat gezeigt, dass in der Aufklärungszeit in privaten englischen Haushalten Barometer, Thermometer sowie andere meteorologische Instrumente anzutreffen waren, die als Prestigeobjekte und als Mittel für die alltägliche Untersuchung von Wettererscheinungen seitens der interessierten Laien dienten.⁴⁴ Die Geräte wurden oft als Analogon zum menschlichen Körper gesehen, weil sie wie er in einer nicht-mechanischen Art und Weise auf die Veränderungen der Atmosphäre reagierten: Golinski spricht sogar von einem Wiederaufleben der antiken Theorien über die Beziehung zwischen Gesundheit und lokalen atmosphärischen Bedingungen.⁴⁵ In diesem Zusammenhang übte das Barometer als Wetter-Orakel die größte Faszination aus und wurde nach Golinskis Meinung gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts zum Symbol der Spannung zwischen Vernunft und Gefühlen, die für die Aufklärung charakteristisch war.⁴⁶

Diese besondere Stellung des Barometers ist für unseres Thema von Bedeutung, weil sie anscheinend auf das Thermometer übertragen wurde. Mit dieser Thematik hat sich Terry Castle beschäftigt und gezeigt, wie in der Literatur des achtzehnten und des neunzehnten Jahrhunderts sowohl das Thermometer als auch das Barometer als Metapher für Geräte verwendet wurden, die das Übersinnliche und das rational nicht Vorhersehbare wahrnehmen konnten: nicht nur die Veränderungen des Wetters,

⁴³ Castle, Terry: *The female thermometer. 18th century culture and the invention of the uncanny*, New York: Oxford University Press 1995; J. Golinski: *British weather*.

⁴⁴ Vgl. ebd., S. 108-110 und S. 120-127.

⁴⁵ Vgl. ebd., S. 137-169.

⁴⁶ Vgl. ebd., S. 120-136.

sondern auch jene der Politik und insbesondere der menschlichen Gefühle.⁴⁷ In ihrer Monographie »The female thermometer« (1995) hat Castle gezeigt, wie in der populären und satirischen Literatur jener Zeit metaphorisch von Thermometern und Barometern der Gefühle die Rede war, und wie in erzählenden Texten oft Parallelen zwischen Veränderungen des »Wetterglases« und der Gefühlslage gezogen wurden. Der Grund, warum Thermometer und Barometer in der öffentlichen Kultur einander assimiliert wurden, mag darin liegen, dass die interessierten Laien ihre Funktionsweise nicht völlig verstanden: Castle spricht von einer Faszination durch das Quecksilber, das in beiden Geräten vorkommen konnte und traditionellerweise mit merkurialen Charaktereigenschaften verbunden war.⁴⁸ Ich finde es wichtig, an dieser Stelle auch den oben besprochenen Umstand zu berücksichtigen, dass das Thermometer zu jenem Zeitpunkt genauso rätselhaft wie das Barometer erscheinen konnte, weil der Temperaturbegriff keine befriedigende theoretische Grundlage mehr besaß.

Wie Golinski unterstreicht auch Castle, dass Thermometer und Barometer zu Symbolen der Irrationalität der menschlichen Gefühle wurden. Ihrer Meinung nach trug die Symbolik der beiden Instrumente in der ersten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts oft misogynen Züge und stellte die Irrationalität der weiblichen Gefühle und insbesondere der sexuellen Triebe der Frauen dar. Ein Beispiel dafür war das »female thermometer« von Bornell Thornton (1754), das die Stufen der weiblichen Erregung von »inviolable modesty« bis »abandoned impudence« anzeigen konnte.⁴⁹ Bei Männern war das weibliche Thermometer insofern nutzlos, weil bei ihnen keine Zwischenstufen zwischen den beiden Extremen vorkamen. Diese Sichtweise sei, so Castle, teilweise noch als eine Auswirkung der aristotelisch-galenischen Idee der Polarität in der Temperamentenlehre zu verstehen, wo Frauen dem Irrationalen und Männer dem Rationalen näher standen. Gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts seien aber Thermometer und Barometer eher als Wahrnehmungsapparate für das psychische Leben der Menschen beider Geschlechter aufgefasst worden: eine »feminization of the male subject«, die bis ins zwanzigste Jahrhundert hinein wirkte.⁵⁰ Die von Castle gezeichnete Entwicklung möchte ich tentativ als eine Ablehnung des alten Musters eines polaren Gegensatzes der beiden Geschlechter verstehen, die sich in der Literatur und in der populären Kultur vollzog und als Analogon zum Verschwinden der Polarität zwischen Wärme und Kälte in der Philosophie der Natur betrachtet werden könnte.

Obwohl dieser Aspekt der Geschichte des Thermometers keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Entstehung des modernen Temperaturbegriffs gehabt zu haben scheint, ist es vom kulturhistorischen Standpunkt wichtig zu bemerken, wie das gleiche Gerät in unterschiedlichen Kontexten sehr unterschiedliche, sogar entgegengesetzte Deutungen erhalten konnte: Im wissenschaftlichen Labor wies die Praxis der Thermometrie keine Beziehungen zu den Gefühlen und zum Irrationalen auf, in der Literatur und im öffentlichen Diskurs hingegen schon. Diese Konstellation

⁴⁷ T. Castle: *Female thermometer*, S. 21-55.

⁴⁸ Vgl. ebd., S. 24-25.

⁴⁹ Vgl. ebd., S. 21-22.

⁵⁰ Vgl. ebd., S. 33.

scheint besonders interessant, wenn man an das Ideal der gefühllosen »Objektivität« denkt, das in der modernen Naturwissenschaft eine zentrale Rolle zu spielen begann.⁵¹ Zur Verwirklichung dieser idealen Vorstellung der Objektivität wurden Instrumente eingesetzt, welche die menschlichen Sinne bei wissenschaftlichen Beobachtungen nicht nur ergänzen, sondern auch disziplinieren sollten. Wie im nächsten Abschnitt dargestellt, übernahm das Thermometer diese Rolle hinsichtlich der Wärme- und Kälteempfindungen und wurde dadurch zur definierenden Instanz für den modernen Temperaturbegriff, dem wir bei Maxwell und Mach begegnet sind. Die symbolische Bedeutung des Thermometers in der Literatur jener Zeit scheint aber das genaue Gegenteil zu seiner idealen Funktion im Labor gewesen zu sein: Im Labor sollte es Gefühle und Empfindungen ausschließen und sie durch Zahlergebnisse ersetzen, in der Literatur nahm es stattdessen metaphorisch Gefühlen auf, um sie sichtbar zu machen. Es wäre hier interessant zu fragen, ob unter Umständen das wissenschaftliche und das literarische Bild des Thermometers miteinander kollidieren konnten, doch ist es an dieser Stelle nicht möglich, dieser Frage nachzugehen. Wir werden uns stattdessen der Anwendung des Thermometers im Labor zuwenden und die Entstehung des modernen Temperaturbegriffs diskutieren.

7. Das Rätsel der Temperatur und die moderne Reproduktion der antiken Differenz zwischen extensiver und intensiver Größe

Neben seinen Untersuchungen zu Barometer und Meteorologie hat Ian Golinski auch die Rolle von Thermometer und Grad der Wärme in der Laborpraxis dreier Naturwissenschaftler analysiert, die die Geschichte der frühneuzeitlichen Chemie stark prägten: Hermann Boerhaave (1668-1738), Joseph Black (1728-1799) und Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Golinski deutete das historische Geschehen als einen Prozess des »Black-boxing« des Thermometers.⁵² Erst habe Boerhaave das Thermometer als Mittel zur quantitativen Bestimmung der Wärme gegenüber dem Tastsinn aufgewertet. Später hätten hingegen Black und, danach, Lavoisier die vom Thermometer gemessene Temperatur als eine Größe betrachtet, die mit der Wärme nicht identisch war. Für die Temperatur hätten sie aber keine theoretische Deutung angeboten, sondern sie bloß als einen nützlichen Parameter in der chemischen Laborpraxis behandelt. Diese zweite Phase interpretierte Golinski nicht nur als ein »Black-boxing«, sondern auch als eine Abwertung des Instruments gegenüber anderen Geräten des chemischen Labors, insbesondere dem von Lavoisier erfundenen Calorimeter.⁵³

⁵¹ Für eine kurze Darstellung der Geschichte der wissenschaftlichen Objektivität, siehe: Daston, Lorraine: »Scientific objectivity and the ineffable«, in: Lorenz Krüger/Brigitte Falkenburg (Hg.): Physik, Philosophie und die Einheit der Wissenschaften, Heidelberg, Spektrum 1995, S. 306-331.

⁵² Golinski, Jan: »Fit instruments: thermometers in eighteenth-century chemistry«, in: Frederic L. Holmes/Trevor H. Lever (Hg.): Instruments and experimentation in the history of chemistry, Cambridge MA: MIT Press 2000, S. 185-210.

⁵³ Vgl. ebd., S. 205.

Die Entwicklung, die Golinski als eine Abwertung sieht, kann meines Erachtens auch als eine epistemologische Aufwertung des Thermometers gedeutet werden, weil bei Black und Lavoisier die thermometrische Messung zur definierenden Instanz für den Temperaturbegriff wurde. Besonders interessant ist dieser Prozess für unser Thema, weil dabei der Unterschied zwischen der extensiven Menge an Wärme einerseits und dem intensiven Grad der Temperatur andererseits wieder entdeckt wurde. Es lohnt sich, die Meinungen einiger historischer Akteure näher zu betrachten, obwohl sie nur exemplarischen Charakter haben und nicht als eine Zusammenfassung der vielfältigen Temperaturlehren der Epoche gelten dürfen.

Im Rahmen seiner Theorie der Materie hatte Anfang des achtzehnten Jahrhunderts Boerhaave das Thermometer zur wahren Methode der Messung der Quantität des ›Elementarfeuers‹, des wichtigsten aktiven Prinzips seiner Chemie, erklärt. Für ihn war die Quantität des Elementarfeuers eine Größe, die der thermischen Ausdehnung der Körper proportional war, und es war auf der Grundlage dieser theoretischen Bestimmung, dass die vom Thermometer gemessenen Zahlen als der einzige zuverlässige Hinweis auf die anwesende Menge von Wärme galten.⁵⁴ Daher war Boerhaaves Temperaturbegriff in erster Linie durch theoretische Überlegungen und nicht durch das Thermometer definiert. Die Aufwertung des Thermometers im Vergleich zu den Sinnen in Boerhaaves Chemie muss außerdem im Kontext eines Wandels verstanden werden, der sich innerhalb der Chemie des achtzehnten Jahrhunderts abspielte. Wie von Lissa Roberts gezeigt, nahm in jener Periode die Bedeutung der Sinnesempfindungen als Mittel zur Bestimmung chemischer Grundbegriffe zugunsten der instrumentellen Praxis ab.⁵⁵ Es war in diesem spezifischen Zusammenhang, dass Tastsinn und Thermometer als zwei Instrumente zur Wahrnehmung der Temperatur betrachtet werden konnten, deren Leistungen miteinander vergleichbar waren. Aus dieser frühneuzeitlichen Entwicklung darf man aber nicht ohne weiteres auf die Existenz einer früheren Periode schließen, in der Wärme und Kälte ausschließlich auf der Grundlage taktiler Empfindungen gedacht worden seien. Wie wir in den vorigen Abschnitten gesehen haben, war dies nicht der Fall.

Wenden wir uns nun Joseph Black zu: Er war in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts aktiv, als Instrumente in der Laborpraxis einen festen Platz hatten und die aristotelische Physik schon lange keine Rolle mehr spielte. Daher ist es nicht verwunderlich, dass er nichts über die aristotelischen Ursprünge von Thermometer und Temperatur zu wissen schien. Seiner Meinung nach hatte Santorio das Gerät gebaut, um es als Mass der Wärme zu verwenden.⁵⁶ Black erklärte, wie das Thermometer unsere Kenntnisse über die Wärme verbessert habe, und stellte dessen Leistung als eine Erweiterung und Verfeinerung der taktilen Wärmeempfindungen dar. Über Gleichgewicht, Temperatur und Thermometer sagte er:

⁵⁴ Vgl. ebd., S. 190-193.

⁵⁵ Roberts, Lissa: »The death of the sensuous chemist: the ›new‹ chemistry and the transformation of sensuous technology«, in: *Studies in the history and philosophy of science* 26 (1995), S. 503-529.

⁵⁶ Black, Joseph: *Lectures on the elements of chemistry delivered in the University of Edinburgh now published from his manuscripts by John Robinson*, Bd. 1, Edinburgh: Mundell 1803, hier S. 50-51.

›Even without the help of a thermometer, we can perceive a tendency of heat to diffuse itself from any hotter body to the cooler around, until it be distributed among them, in such a manner that none of them are disposed to take any more heat from the rest. The heat is thus brought into a state of equilibrium. This equilibrium is somewhat curious. We find that when all mutual action is ended, a thermometer, applied to any one of the bodies, acquires the same degree of expansion: Therefore the temperature of them is all the same, and the equilibrium is universal. No previous acquaintance with the peculiar relation of each to heat could have assured us of this, and we owe the discovery entirely to the thermometer. We must therefore adopt, as one of the most general laws of heat, that »all bodies communicating freely with each other, and exposed to no inequality of external action, acquire the same temperature, as indicated by a thermometer«.⁵⁷

So formulierte Black als einer der ersten das ›Gesetz der gleichen Temperaturen‹ und bestimmte dabei die Temperatur als die Zahl, die beim Bestehen des Gleichgewichts vom Thermometer angezeigt (›indicated‹) wird. Wie Maxwell und Mach verwies er auf die Wärmeempfindungen, um die Existenz einer Tendenz zur gleichmäßigen Wärmeverteilung zu erkennen. Er beschrieb aber das thermische Gleichgewicht im engeren Sinne als ein eigenartiges, erst dank dem Thermometer entdecktes Phänomen, das weiter erforscht werden sollte. Black kritisierte Boerhaave, weil dieser die vom Thermometer angezeigte Temperatur als eine Menge an Wärme gedeutet hatte, die wie der Raum, d.h. extensiv, zunehmen würde. Stattdessen sei es nötig, zwischen der ›Größe‹ (›quantity‹) und der ›Stärke‹ oder ›Intensität‹ (›strength‹, ›intensity‹) der Wärme zu unterscheiden:

›The nature of this equilibrium [d.h. des thermischen Gleichgewichts] was not well understood, until I pointed out a method of investigating it. Dr. Boerhaave imagined, that when it obtains, there is an equal quantity of heat in every equal measure of space, however filled up with different bodies [...] But this is taking a very hasty view of the subject. It is confounding the quantity of heat in different bodies with its general strength or intensity, though it is plain that these are two different things, and should always be distinguished, when we are thinking of the distribution of heat.«⁵⁸

So formulierte Black einen Unterschied, der sehr große Ähnlichkeit mit der herkömmlichen aristotelisch-galenischen Lehre von Wärme und Temperatur aufwies. Ungefähr zum gleichen Zeitpunkt äußerte sich auch Johann Heinrich Lambert (1728-1777) über die Notwendigkeit, zwischen Wärmemenge und Temperatur zu unterscheiden. In seiner »Pyrometrie« (1779) erklärte Lambert die Wärme als Wirkung von Feuerteilchen und diskutierte den Unterschied zwischen ihrer Menge und ihrer Kraft: Der Grad der Wärme war als die ›Kraft der Feuerteilchen‹ zu verstehen, deren wahres Maß von einer bestimmten Art von Luftthermometer gegeben war.⁵⁹

⁵⁷ Vgl. ebd., S. 76-77.

⁵⁸ Vgl. ebd., S. 77-78.

⁵⁹ Lambert, J. H.: Pyrometrie oder vom Maaße des Feuers und der Wärme, Berlin: Hande und Spener 1779, hier S. 54-55.

Anders als Black bot Lambert auch eine Erklärung für das thermische Gleichgewicht: Es sei das Ergebniss der Wechselwirkung zwischen der Kraft der Feuerteilchen und der Festigkeit der Körper.⁶⁰ So hatte auch für Lambert das Thermometer eine privilegierte epistemologische Stellung inne. Auch in seinem erkenntnistheoretischen Traktat »Anlage zur Architectonic« (1771) hatte er zwar den sinnlichen Empfindungen eine grundlegende erkenntnistheoretische Funktion eingeräumt, aber zugleich erklärt, dass sie durch andere Methoden der Quantifizierung zu ergänzen seien.⁶¹ Zusammenfassend können wir feststellen, dass sich gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts das Thermometer als definierende Instanz für die Temperatur durchsetzte. Gleichzeitig wurde der Verweis auf den Tastsinn aber immer häufiger verwendet, um die auf dem Thermometer basierende Definition einzuführen oder gar zu rechtfertigen: Das Thermometer konnte die Temperatur besser als der Tastsinn bestimmen, doch konnte es sie nur deswegen bestimmen, weil es eine Verfeinerung des Tastsinns war. Dabei wurde die grundlegende Rolle des thermischen Gleichgewichts thematisiert und diese Erscheinung galt keineswegs als selbstverständlich, sondern eher als neu und erklärungsbedürftig. Schließlich wurde in diesem Kontext die Differenz zwischen Temperatur und Wärme betont. Es wäre nicht korrekt zu behaupten, dass sie mit dem alten aristotelisch-galenischen Unterschied gleichbedeutend war. Gleichfalls inkorrekt wäre es aber zu sagen, es bestehe zwischen den alten und den neuen Begriffen keine Beziehung, denn die moderne Temperatur war in vielerlei Hinsicht das Ergebnis einer Reproduktion des älteren Wissens.

8. Gleichgewicht und Temperatur in Epistemologie und Geschichte

In Lavoisiers chemischen Labors hatten Präzisionsinstrumente eine hervorragende Stellung. Am Anfang des »Memoire über die Wärme« (>Mémoire sur la chaleur<) (1780), das er zusammen mit Pierre Simon Laplace (1749-1827) verfasste, stellten die Autoren kurz und ohne Problematisierung fest, dass die Quantifizierung der Wärmeerscheinungen eine rein moderne Errungenschaft sei:

> Il ne paraît pas que les anciens aient eu l'idée de mesurer ses rapports, et ce n'est que dans le dernier siècle que l'on a imaginé des moyens pour y parvenir.<⁶²

Lavoisier und Laplace boten eine fiktive Darstellung der Erfindung des Geräts, die später von Burkhardt, Mach und anderen Historikern übernommen wurde.

Im Laufe des neunzehnten Jahrhunderts wurde die moderne Thermodynamik entwickelt, die auf der Idee gründet, dass Wärme eine besondere Form der Energie sei. Wie im ersten Abschnitt gesehen, spielten in der neuen Theorie Temperatur und thermisches Gleichgewicht eine sehr wichtige Rolle, doch versuchten die

⁶⁰ Vgl. ebd., S. 7-8. Über Lamberts Wärmelehre: Fox, Robert: »The science of fire: J.H. Lambert and study of heat«, in: Actes du colloque international Jean-Henri Lambert, Paris: Ophrys 1979, S. 325-342.

⁶¹ Lambert, Johann Heinrich: Anlage zur Architectonic, 2 Bde, Riga: Johann Friedrich Hartknoch 1771 (Nachdr. 1965), hier Bd. 2, S. 398-399.

⁶² Lavoisier, Antoine Laurent/Laplace, Pierre Simon: »Mémoire sur la chaleur«, in : Mémoires de l'Académie des sciences (1780), S. 355-405, hier S. 356.

Wissenschaftler des frühen neunzehnten Jahrhunderts nicht, eine physikalische Deutung für das thermische Gleichgewicht zu finden. Eher strebte William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907) danach, die Temperatur ohne Rückgriff auf Thermometer und Gleichgewicht zu definieren.⁶³ Gleichzeitig verbreitete sich die Sichtweise, dass die vorthermometrische Wärmelehre eine rein qualitative, auf Tastsinn basierende Theorie gewesen sei, in der zwischen Temperatur und Wärmemenge nicht unterschieden wurde.

Warum fragte man in jener Periode nicht nach den möglichen physikalischen Ursachen des thermischen Gleichgewichts? Warum wurde die vormoderne Wärmelehre so oft vergessen? Inwieweit kann man eine Beziehung zwischen Epistemologie und Historiographie herstellen? Einen plausiblen kulturhistorischen Rahmen für die epistemologische Entwicklung mag man in den Forschungsergebnissen von Norton Wise und Crosbie Smith finden.⁶⁴ In einer Reihe von Aufsätzen haben die Autoren überzeugend dargestellt, dass Erklärungsmuster, die auf dem Gleichgewicht entgegengesetzter Kräfte basierten, in der Naturphilosophie, Ökonomie und Politik der Aufklärungszeit sehr oft vorkamen: Das Gleichgewicht galt damals als Symbol für analytische Rationalität.⁶⁵ In England wurden diese Theorien aber in den Jahren um 1830 durch Modelle ersetzt, die nicht mehr auf der Tendenz zum stabilen Gleichgewicht, sondern auf dem Streben nach dynamischem Fortschritt basierten. Die neuen Muster standen nach Meinung von Wise und Smith mit der zunehmenden Relevanz der Dampfmaschine und der industriellen Produktion in Zusammenhang.⁶⁶ Die Veränderungen in Wirtschaft, Politik und Alltag hätten demnach einen Wandel der Denkweisen mit sich geführt. Im Fall des Temperaturbegriffs könnte man in diesem Sinn annehmen, dass die neue Denkweise die Überlegungen über das Gleichgewicht entgegengesetzter Kräfte nicht gefördert und womöglich gar unterdrückt hätte. Hinzu kam, dass die Idee der Polarität der Naturkräfte charakteristisch war für die deutschsprachige ›Naturphilosophie‹ des neunzehnten Jahrhunderts, weswegen sie bei vielen Naturforschern verpönt war, obwohl sie sich für die Wissenschaften in einigen Fällen als heuristisch fruchtbar erwiesen hatte.⁶⁷ Daher standen die modernen Wissenschaftler möglicherweise unter dem Eindruck, dass eine Diskussion über die grundlegenden Wirkungsprinzipien des Thermometers genauso unwissenschaftlich gewesen wäre wie die populären Vorstellungen, dass es ›Thermometer der Gefühle‹ geben könne.

Obwohl Temperatur und thermisches Gleichgewicht nicht hinterfragt wurden, spielten sie bei der Entwicklung der Thermodynamik im neunzehnten Jahrhundert eine grundlegende Rolle. Da ihnen aber in der neuen Theorie eine epistemologische

⁶³ H. Chang: *Temperature*, S. 173-197.

⁶⁴ Norton Wise, M./Smith, Crosbie: »Work and waste: political economy and natural philosophy in nineteenth century Britain (I)«, in: *History of science* 27 (1989), S. 263-301; Norton Wise, M./Smith, Crosbie: »Work and waste: political economy and natural philosophy in nineteenth century Britain (II)«, in: *History of science* 27 (1989), S. 391-449; Norton Wise, M./Smith, Crosbie: »Work and waste: political economy and natural philosophy in nineteenth century Britain (III)«, in: *History of science* 28 (1990), S. 221-261.

⁶⁵ N. Wise/C. Smith: *Work and waste I*.

⁶⁶ N. Wise/C. Smith: *Work and waste II*.

⁶⁷ Caneva, Kenneth L. : »Physics and Naturphilosophie: a reconnaissance«, in: *History of science* 35 (1997), S. 35-106.

Grundlage fehlte, wurde diese Lücke mit dem Hinweis auf den Tastsinn und auf die Alltagserfahrung der Wärmeverteilung geschlossen. Wie im ersten Abschnitt besprochen, ist dieser epistemologische Übergang vom Tastsinn zum Thermometer noch in den heutigen Lehrbüchern der Thermodynamik zu finden, weil die Frage der Zurückführung der Temperatur auf andere naturwissenschaftliche Begriffe offen bleibt.⁶⁸

Was die historiographische Entwicklung betrifft, so ist sie sicherlich zum Teil dadurch zu erklären, dass der Vergleich zwischen Tastsinn und Thermometer seit dem achtzehnten Jahrhundert in den Quellen immer wieder vorkam: Er stand bereits in den Schriften von Boerhaave und Black, und bei Lavoisier und Laplace bekam er sogar die Form einer fortschreitenden historischen Entwicklung. Bemerkenswert ist trotzdem, dass sich detaillierte Untersuchungen wie jene von Burkhardt und Mach mit der antiken Lehre der Grade der Wärme nicht beschäftigten, und dass spätere Autoren wie Kuhn, Barnett oder Chang vorliegende Forschungsergebnisse über dieses Thema nicht berücksichtigten. Ich möchte daher vorschlagen, dass ein zusätzlicher Grund für das Vergessen der Geschichte des Temperaturbegriffs der Umstand gewesen sein könnte, dass taktile Wärmeempfindungen im Rahmen der heutigen Thermodynamik ebenfalls eine wichtige epistemologische Stellung innehaben. So hätten Wissenschaftshistoriker und –philosophen in einem bestimmten Sinn die Muster der wissenschaftlichen Epistemologie reproduziert, indem sie über Tastsinn und Thermometer hinaus keinen weiteren Weg zur Bestimmung des Temperaturbegriffs zu sehen glaubten.

⁶⁸ Der Einsatz statistischer Überlegungen hat sich für die Thermodynamik als heuristisch sehr fruchtbar erwiesen, doch konnte dadurch das Problem der Unvereinbarkeit der Irreversibilität der Thermodynamik mit der Reversibilität der klassischen Physik und der Quantenmechanik, aus denen sie prinzipiell hergeleitet werden sollte, nicht gelöst werden (Swing, Raymond: »Thermodynamik«, in: Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften, Bd. 4, Hamburg: Meiner 1990, S. 592-594, Carrier, Martin: »Thermodynamik«, in: Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Bd. 4, Stuttgart: Metzler 1996, S.292-296).