

DIE WELT AUF DEM REISSBRETT: Klingende Physik, Metrologie des Geistes und die Erfindung der exakten Naturwissenschaften¹

von
Dr. Ulrich Taschow

Erschienen in: Was zählt. Ordnungsangebote, Gebrauchsformen und Erfahrungsmodalitäten des »numerus« im Mittelalter, April 2012, S. 295-331, Böhlau, Köln, ISBN-13: 978-3412207892

1. Die Welt in den [Be]Griff bekommen

In seiner erkenntnistheoretischen Schrift „Zählen und Messen erkenntnistheoretisch betrachtet“ formuliert Hermann von Helmholtz zum wissenschaftlichen Ursprung der Quantität und der Zahl nüchtern:

„Die große Vereinfachung und Übersichtlichkeit der Auffassung, die wir durch Rückführung der bunten Mannigfaltigkeit der uns vorliegenden Dinge und Veränderungen auf quantitative Verhältnisse erreichen, *ist tief im Wesen unserer Begriffsbildung begründet*. Wenn wir den Begriff einer Klasse bilden, fassen wir in ihm alles zusammen, was bei den Objekten, die in die Klasse gehören, gleich ist. Wenn wir ein physisches Verhältnis als benannte Zahl auffassen, haben wir aus dem Begriff ihrer Einheiten auch alles entfernt, was ihnen als verschieden in der Wirklichkeit anhaftet. Sie sind Objekte, die wir nur noch als Exemplare ihrer Klasse betrachten, und deren Wirksamkeit nach der untersuchten Richtung hin auch nur davon abhängt, daß sie solche Exemplare sind. In den aus ihnen gebildeten Größen bleibt dann nur *der zufälligste der Unterschiede, der der Anzahl stehen*.“²

Helmholtz verweist also auf die Tatsache, dass die Quantitätskategorie dem Wesen unserer Sprache und ihrem Prinzip der fortschreitenden Selektion entspringt, in der die Kategorie der Quantität die letzte Stufe eines nicht weiter unterschreitbaren qualitativen Abstraktionsprozesses darstellt. Dabei ist die Quantität als letzte bzw. unterste sprachliche Selektionsstufe anzusehen, in der keine Bedeutungsdifferenzierung mehr möglich ist. Gemäß dieser Auffassung bildet unsere heutige Vorstellung der „Vermessung der Welt“ die letzte nicht weiter unterschreitbare Konsequenz aus unserer Sprachentwicklung im Sinne

¹ Aus ökonomischen Gründen verweise ich bezüglich weiterführender Inhalte und Quellen zu diesem Artikel generell auf TASCHOW, ULRICH, Nicole Oresme und der Frühling der Moderne. Die Ursprünge unserer modernen quantitativ-metrischen Weltaneignungsstrategien und neuzeitlichen Bewusstseins- und Wissenschaftskultur, Halle 2003. An einem akribischen Fußnotenapparat wurde hier gespart.

² HELMHOLTZ, HERMANN VON, Zählen und Messen erkenntnistheoretisch betrachtet, in: Schriften zur Erkenntnistheorie, Berlin 1921, S. 97. Hervorhebung vom Autor.

der *Begrifflich*-Machung der Natur.³ Begrifflich-Machung heißt vereinfacht *qualitative* Selektion und Verallgemeinerung: das Ergebnis ist ein Begriff bzw. ein Maß, mit dem ich wiederum die Dinge benennen bzw. messen kann. Die Quantität als „zufälligster und unwesentlichster der Unterschiede“ steht entwicklungsgeschichtlich im Sinne einer fortschreitenden Rationalisierung und Differenzierung zwangsläufig am Ende der Entwicklung, weil keine weitere qualitative Selektion mehr möglich ist. In diesem psychologisierenden Verständnis kann Sprechen synonym mit Messen gebraucht werden. Und genau dieses Verständnis des Messens im Sinne eines noch nicht verlorengegangenen Gefühls für die Herkunft des Zählens und Messens findet sich in der Scholastik, die gerade innerhalb der Sprachlogik und Grammatik bereits einen sehr hohen Formalisierungsgrad erreicht hatte. Und ebenso auffällig, entspringt der erste grundlegende philosophische Versuch einer geradezu substantiellen Aufwertung der Quantität als nach von Helmholtz eigentlich „unwesentlichstem und zufälligstem der Unterschiede“ im Mittelalter bei Thomas von Aquin aus einer sprachlich gegründeten Annäherung, Hypostasierung und Prädestinierung der Quantität und eben nicht aus einer lebenspraktischer Notwendigkeit.⁴

Dieser sprachpsychologische Ansatz findet sich aber bereits in den Anfängen der überlieferten Wissenschaften, so bei Platon, der auf einem ersten Höhe- oder Tiefpunkt rationalen Ordnungs- und Zergliederungswahns die Welt zählbar zu machen und damit zur höchsten Wahrheit aufzusteigen glaubte. Denn, so die sonderbare Idee, wenn man nur lang genug die durch Sprache duplizierte Welt in Kategorien, Unterkategorien, Arten und Unterarten unterteilt, kommt man auf eine letzte nicht weiter teilbare Einheit, den Eidos. Dieses naive Korrespondenzpostulat von Gattungs- und Artbegriffen mit Wirklichkeit (Begriffsrealismus) verweist nicht auf die Welt, wie sie vielleicht ist oder sein könnte, sondern einzig und allein auf den Schöpfer dieses begrifflichen Inventars, den Menschen, und damit auf Ursprung und Prinzipien des „zur Sprache Kommens“. Oder wie Aristoteles es lapidar zum Ausdruck bringt: „Ohne den Menschen gibt es nichts zu zählen und demzufolge auch keine Zahlen.“⁵

Dabei müssen wir uns an dieser Stelle bereits vor Augen halten, dass Zählen und Messen im Laufe der Kulturgeschichte zu keiner Zeit harmlose Spiele einiger gelangweilter Intellektueller gewesen sind. Im Gegenteil waren und sind sie ein machtvolles Werkzeug und eine gefährliche Weltanschauung, je nachdem wie deren Realitätsgehalt und Nutzen eingeschätzt wurde. Schon das 13. Jahrhundert verstieg sich, mit mathematischen Formeln selbst die ungreifbarsten Dinge wie z.B. die „Gnade Gottes“ quantifizieren zu wollen. Nur wenige Jahrhunderte später zählte man mit der scheinbar so unschuldigen, eigenschaftslosen Zahl kalt, emotionslos und unbestechlich bereits das Gewicht der Atome, die

³ Sprachlogisch geführte Untersuchungen der Welt müssen systemimmanent in letzter Konsequenz sämtlich zur Quantität führen, wie es in der Scholastik gut zu beobachten ist. Ein schönes Beispiel dafür bildet Thomas' von Aquin letzter Grund der Vielheit im Seienden und Nichtseienden: +1, -1. Siehe THOMAS VON AQUIN, *Expositio super librum Boethii de trinitate, Quaestio IV, articulus 2*, S. 137, 20 – S. 145, 14. ed. BRUNO DECKER, Leiden 1959, in: Studien und Texte zur Geistesgeschichte des Mittelalters 4.

⁴ Siehe unten Kap. 3.1. „Der metaphysische Zugang“.

⁵ Vergl. dazu insbesondere ARISTOTELES, *Metaphysik XIII*, 1076 a 8 – 1087 a 25.

Zahl jüdischer Menschen in den Verbrennungsöfen der Konzentrationslager, die intellektuelle, emotionale Leistungsfähigkeit und kommerzielle Verwertbarkeit menschlicher Wesen im ökonomischen Gefüge, die angeblich objektiven Parameter wirtschaftlicher Prozesse. Zahlen sind die geduldigen Träger scheinbar unerschöpflicher virtueller Bewusstseinswelten. Wir zählen mit ihnen unser Erbgut und berechnen dessen mögliche Kombinationen, wir illustrieren mit ihnen unseren wirtschaftsreligiösen Glaubenssatz des ewigen Wachstums, mit Zahlen zensieren wir die Welt. Seit Platons Zeiten träumen wir von der Zahl als gewissermaßen besserem Ich, als Substrat einer höheren ewigen Wirklichkeit. Beten wir die Zahl an, weil sie so einfach eineindeutig, so unbestechlich und beständig ist – alles das, was wir nicht sind, aber vielleicht sein wollen oder glauben sein zu müssen? Doch warum eigentlich? Nur allzu verständlich, wenn Novalis sein diesbezügliches Unbehagen zum Ausdruck bringend, ahnungsvoll tönt: „Wenn nicht mehr Zahlen und Figuren, sind Schlüssel aller Kreaturen...“⁶ Doch diese Zeit ist noch fern.

Halten wir zunächst konventionell an der naiven Dichotomie von Materie und Geist als impliziter Grundlage unserer modernen Wissenschaften fest, sind unsere Mathematisierungsmethoden und -strategien bezüglich ihres Realitätsgehalts zunächst also nichts weiter als reine Bewusstseinskonstruktionen, die auf die Arbeitsprinzipien unseres Bewusstseins verweisen und nicht auf „die Welt, wie sie ist“. Dass diese Mathematisierungsmethoden dennoch teilweise funktionieren, zeigt, dass sie einen Teilaspekt von Wirklichkeit beschreiben, aber auch nicht mehr. Bekanntlich führen viele Wege nach Rom, die hochkomplexe Welt lässt viele Erklärungsmodelle zu. Dennoch bleibt sie uns weitestgehend verschlossen und als naturwissenschaftlich unüberschreitbare Grenze nur die Viabilität: Zwar sehen wir in einer quasi Blackbox, dass ein Weg gangbar ist, können daraus aber nicht schließen, wie die Welt wirklich ist. Umgekehrt erfahren wir am Scheitern unserer Theorien nur, wie die Welt nicht ist, aber nicht wie sie ist. Mehr Welterkenntnis ist im naturwissenschaftlichen Paradigma nicht möglich.

Folgerichtig beginnen entsprechend diesem erkenntnispsychologischen Ansatz im 13. und 14. Jahrhundert die ersten Quantifizierungsversuche der Gelehrten zunächst ohne reale physikalische Größen und ohne reale Messdaten. Es handelte sich eben um rein virtuelle Bewusstseinsspiele im eigenen Bewusstseinsraum, die keine äußere Realität benötigten und – um es vorwegzunehmen – letztendlich nur Surrogate für dem Bewusstsein wesenseigene Defizite darstellten.

⁶ HARDENBERG, FRIEDRICH VON, aus: LUDWIG TIECKs Bericht über die geplante Fortsetzung des „Heinrich von Ofterdingen“: „Wenn nicht mehr Zahlen und Figuren / Sind Schlüssel aller Kreaturen / Wenn die so singen, oder küssen, Mehr als die Tiefgelehrten wissen, Wenn sich die Welt ins freye Leben / Und in die freye Welt wird zurück begeben, Wenn dann sich wieder Licht und Schatten / Zu ächter Klarheit wieder gatten, Und man in Mährchen und Gedichten / Erkennt die alten wahren Weltgeschichten, Dann fliegt vor Einem geheimen Wort / Das ganze verkehrte Wesen fort.“ Novalis Schriften: Die Werke Friedrich von Hardenbergs. Erster Band: Das dichterische Werk. Hrsg. v. Paul Kluckhohn und Richard Samuel. Revidiert von Richard Samuel. Darmstadt 1977, S. 360.

Dieser im späten Mittelalter forcierte Prozess des schrittweisen Auf- und Ausbaus des virtuellen Bewusstseinsraums wird besonders anschaulich an der Phylogenese der Entwicklung und Einführung der mathematischen Null, die sehr spät und nur mit größten Schwierigkeiten erfolgte. Seit ihrem Bekanntwerden im 12. Jahrhundert rechnete man noch bis ins 16. Jahrhundert hinein mit römischen Ziffern ohne Null. Der Algorithmus, das Rechnen mit indischen Ziffern, galt über fünf Jahrhunderte als eine äußerst komplizierte und schwer verständliche Methode, die allein Spezialisten vorbehalten sei. Der Grund für diese großen Anlaufschwierigkeiten liegt in der Evolution unseres Bewusstseins: Denn zur Null kommen wir ontogenetisch durch unsere Fähigkeit des Erwerbs der Negation derzeit mit ca. 1 bis 1 ½ Jahren in der sogenannten entwicklungspsychologischen Phase der Objektpermanenz,⁷ in der wir die Welt erstmals begrifflich virtualisiert und mit der Kategorie der Negation angereichert haben. Wir alle kennen diese frühkindlichen und von den Eltern zumeist ursächlich nicht verstandenen Spiele von „Teddy da und Teddy weg ...“ Es ist der entscheidende Schritt des Kleinkinds in die rigide Bewusstseinswelt, der Vollzug der Trennung von Bewusstsein und Körper und der erste Schritt der Loslösung aus dem Tierreich, da der Mensch nunmehr in einer verdoppelten gleich gedachten Welt des Bewusstseins zu leben erfährt und von dem Augenblick an kulturell konditioniert in der Tendenz immer seltener den Schritt in die Außenwelt des Hier und Jetzt wagen wird. In unserer Ontogenese vollziehen wir nur das nach, was unsere Vorfahren in der Phylogenese bereits vollzogen haben. Die Menschen des Mittelalters waren gemäß dieser ontogenetisch-phylogenetischen Korrespondenz und unter der Prämisse, dass sich die Zeiträume des Erwerbs dieser Bewusstseinsfertigkeiten ontogenetisch verschieben, gewissermaßen alle „Kleinkinder“.⁸

Im Tierreich hingegen herrscht das sehr effiziente, da energiesparende reflektorische Verhaltensprinzip „aus dem Auge, aus dem Sinn“. Eine Negation eines Elements der Wahrnehmungswelt in der Vorstellung macht dort keinen Sinn, denn diese Negation verlangt die Rückbezüglichkeit auf eine gedachte und memorierte Bewusstseinswelt, in der das real nicht vorhandene Objekt als geistiges Symbol dennoch vorgestellt werden kann. Tiere leben in einer positiven Welt des Hier und Jetzt, Menschen in ihrem Denken jedoch immer in der Vergangenheit, die sie dann prognostisch auf die Zukunft projizieren – nie jedoch im Jetzt.

⁷ Der Zeitpunkt des individuellen Erwerbs der Fertigkeit der Objektpermanenz ist kulturell veränderlich, da es sich hierbei um eine soziokulturelle Leistung handelt, was im Übrigen generell für sämtliche Bewusstseinsleistungen gilt. Am Anfang der frühkindlichen Kommunikationsentwicklung stehen sensorische Schemata unter Beteiligung des gesamten Körpers, in einem zweiten Schritt werden diese mit Lautsymbolen assoziiert, in einem dritten Schritt von diesen abstrahiert und separat verwendet. In einem vierten Schritt werden die Lautsymbole mit geistigen Vorstellungsbildern verknüpft, so dass in einem fünften Schritt mit dem gleichzeitigen Ausbau des Memoriervermögens die Dinge unabhängig von der Außenwelt ohne körperliche und akustische Aktivität nur noch gedacht werden können. Damit ist die Phase der Objektpermanenz erreicht.

⁸ Wir können davon ausgehen, dass die Menschen im späten Mittelalter diese Phase der Objektpermanenz ontogenetisch weitaus später und rudimentärer vollzogen haben als westliche Menschen der Gegenwart. Eine historische Untersuchung zu diesem Thema steht noch aus.

Damit haben wir die erkenntnistheoretischen und psychohistorischen Voraussetzungen gesetzt, um in der Folge die Geschichte der mathematisierenden Konstruktionen und Konstruktionsanleitungen im Mittelalter kurz zu umreißen. Reflektieren wir über die Geschichte der Mathematisierung im Mittelalter, so reflektieren wir im eigentlichen Sinne über die Geschichte der Konstruktionen unseres Bewusstseins und über nichts anderes.

2. Die emsigen Buchhalter und Archivare des 13./14. Jahrhunderts

Begreifen wir unser Bewusstsein als ein auf dem Wachstums-Prinzip der Metapher agierendes, sich derart ständig erweiterndes Archivierungssystem,⁹ war es also die Aufgabe der Menschen des Mittelalters, dieses mathematische Katalogsystem der Welt schrittweise aufzubauen und fleißig mit Inventar zu füllen. Wir wollen im Folgenden nun grob beleuchten,

1. in welchen Bereichen und aus welchen Voraussetzungen quantitativ-metrische Strategien der Weltaneignung gegenüber anderen Zugängen überhaupt favorisiert wurden und werden konnten.
2. In einem zweiten Teil widmen wir uns dem vormathematischen Boden, aus dem heraus sich eine angewandte Mathematik entwickelte.
3. Und im dritten Teil werden am Beispiel der *Musica* konkrete Innovationen angewandter Mathematik im Sinne einer „Ausstellung von Bewusstseinsinventar“ vorgestellt.

In all diesen Punkten ist es unser Ziel, die im Mittelalter erschaffenen Bewusstseinsbausteine für das wissenschaftliche Selbstverständnis der Neuzeit und Moderne aufzuzeigen und derart einen Überblick als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zu liefern. Die diffizile wie komplexe Frage nach den Beweggründen der spätmittelalterlichen Quantifizierungsintentionen und damit nach den bewusstseinsrevolutionären Ursachen bleibt in diesem Artikel ausgespart¹⁰

2.1. Der karge Acker

Soweit wir unsere abendländische Geschichte zurückverfolgen können, hat es keine Zeit gegeben, in der das Bedürfnis nach Mathematisierung in solch hohem Maße propagiert und ausgelebt wurde wie im 13./14. Jahrhundert. Wie glasklar die Quellen diese Intentionen auch widerspiegeln, so unerklärlich, verwirrend und vielfältig scheinen auf den ersten Blick deren Voraussetzungen,

⁹ Siehe dazu TASCHOW, Nicole Oresme, S. 394ff., S. 414ff. u.a.

¹⁰ Ich verweise diesbezüglich auf meine umfangreichen Darlegungen in TASCHOW, Nicole Oresme, 2. Buch: Die Konstruktion der bewussten Wirklichkeit und 1. Buch: Die Mathematisierung der Welt, S. 251-294.

Methoden und Auslöser. Als erste Merkwürdigkeit springt bereits ins Auge, dass dieser regelrechte „Quantifizierungswahn“, mit dem Wissen der Neuzeit betrachtet, aus einem eher kargen, unfruchtbaren Boden spross. Diesen steinigen Acker möchten wir in Gestalt von neun „Quantifizierungs-Dilemmata“ kurz skizzieren:

Erstes Dilemma: Aristotelismus versus Platonismus

Im 12./13. Jahrhundert kommt es durch die fortschreitende Erschließung der Schriften des Aristoteles allmählich zu einem radikalen Paradigmenwechsel vom Neoplatonismus zum Aristotelismus, der radikale Konsequenzen für die Mathematisierungsfrage nach sich zog: Solange die Natur im neoplatonischen Sinne nur als eine schlechte Nachahmung der absoluten mathematischen Entitäten verstanden worden war, bedeutete Mathematisieren und Messen, zum eigentlichen Wesen der Natur vorzudringen. Diese Verfahren benötigten also keinerlei zusätzliche weltanschauliche Legitimation. Mit der radikalen Ablehnung der mathematischen Metaphysik Platons durch den spätmittelalterlichen Aristotelismus wurde jedoch der Mathematisierung der Welt der mess- und erkenntnistheoretische Boden entzogen – ein Begründungsvakuum, das die Scholastiker erst einmal legitimatorisch aufzufüllen hatten. Überdies kam erschwerend noch hinzu, dass die aristotelische Wissenschaftsauffassung geradezu antimathematische Züge aufwies. Aristoteles strebte nach einer rein sprachlich determinierten Strukturerofassung der sinnlichen Welt.

Zweites Dilemma: Das forma-accidens-Problem

Das zweite Dilemma resultierte aus der aristotelischen *forma-accidens*-Auffassung. Zwar stimmten die scholastischen Naturphilosophen mit Aristoteles darin überein, dass die Erkenntnis von den individuellen physischen Dingen ausgehen müsse, jedoch zielte der aristotelische Erkenntnisprozess auf die unveränderliche *forma* als Wesensbegriff.¹¹ Dies aber hatte eine erkenntnistheoretische und methodologische Abwertung des Veränderlichen, Individuellen und somit der Quantität zur Folge. Bestenfalls war sie als Akzidens (oder wie Helmholtz sagte als „zufälligster der Unterschiede“) nur Durchgangsstation im Erkenntnisprozess ohne eigene Erkenntnisrelevanz. Eingedenk unserer Ausgangsfrage konnte die Mathematisierung also nur dann zu einer anerkannten wissenschaftlichen Methode aufsteigen, wenn die Scholastiker die erkenntnis- und seinstheoretische Bedeutung der Akzidenzien, zuvorderst der Quantität, zu erhöhen vermochten. Dies leitet zu dem nächsten Stolperstein, dem naturphilosophischen Problem der Individuation oder Vielheit über.

¹¹ Siehe e.g. THOMAS VON AQUIN, *Expositio*, S.176, 1-12.

Drittes Dilemma: Das Problem der Individuation oder Vielheit

Durch den aristotelischen Paradigmenwechsel stellte sich für die Scholastiker auch die Frage nach den Ursachen der natürlichen Vielheit unter neuen Prämissen: Der Neoplatonismus hatte die individuelle Vielheit der physischen Welt in Kontrast zu den ewigen Ideen als bloßen Schein deklariert – eine Auffassung, die aber im 13. Jahrhundert bereits radikal abgelehnt wurde. Andererseits erwies sich das aristotelische *materia-forma* Modell für die Scholastiker gleichermaßen als nicht sehr hilfreich – erklärte es doch nur die Vielheit der Arten,¹² nicht aber die individuelle Vielheit. Eine individuelle im heutigen Sinne physikalische, chemische, biologische Änderung konnte, begründet durch jene Starrheit, damit nicht beschrieben werden.¹³ So lange die Frage nach der Vielheit der Welt jedoch offen war, befanden sich sämtliche im heutigen Sinne quantifizierbaren physikalischen, chemischen etc. Phänomene in einem begründungsfreien und damit vorwissenschaftlichen Raum. Also mussten auch hier die naturphilosophischen und weltanschaulichen Voraussetzungen für eine Mathematisierung erst einmal geschaffen werden, indem die Akzidenzien, an denen sich ja die Veränderungen vollziehen, in konstitutiver Bedeutung mit einbezogen wurden.¹⁴ Unter diesem Gesichtspunkt wird auch das vierte Dilemma des nahezu völligen Fehlens physikalischer Messgrößen nicht mehr verwundern:

Viertes Dilemma: Das nahezu völlige Fehlen physikalischer Messgrößen

Ein Großteil der heutzutage messbaren physikalischen, chemischen etc. Phänomene wie Wärme, Licht, Farbe, Geschwindigkeit fielen im Mittelalter unter die Kategorie der Qualität, die Aristoteles aber kategorisch von der Quantität getrennt hatte. Entsprechend diesem Manko mussten im 13./14. Jahrhundert erst einmal Wege zur Überführung der Qualitäten in Quantitäten gefunden werden. War man sich im 14. Jh. auch allgemein einig, dass alle Dinge, die ein mehr oder weniger zuließen, irgendwie quantifizierbar sein müssten, war andererseits völlig offen, worin der quantitative Aspekt dieser Phänomene eigentlich bestand? Was sollte man an ihnen wie messen? Dies verweist auf das Kardinalproblem des Fehlens indirekter Maße:

Fünftes Dilemma: Das Fehlen indirekter Maße

Messbar waren im Mittelalter nur extensive Größen wie Raum und Zeit bzw. auf diese rückführbare wie der *sonus*, der indirekt über die Saitenlänge oder

¹² Ein- und dasselbe numerisch gleiche Stück erster Materie (*materia prima*) konnte jede beliebige substantielle *forma* aufnehmen, aber dies erklärte eben nur den Wechsel in der Art (*species*).

¹³ Dieses Problem wurde in der Scholastik insbesondere unter dem Schlagwort *forma fluens* oder *fluxus formae* diskutiert. Siehe dazu MAIER, ANNELIESE, Zwischen Philosophie und Mechanik, in: *Storia e letteratura*, 69, Roma 1958, S. 59-143.

¹⁴ Siehe e.g. THOMAS VON AQUIN, *Expositio*, S.137, 20f.: *Utrum varietas accidentium faciat diversitatem secundum numerum*.

eine Luftsäule gemessen werden konnte. Da sämtliche bekannten Qualitäten und Kräfte intensive Größen darstellten, mussten für diese, analog dem *sonus*, also indirekte Maße gefunden werden. Doch selbst wenn man diese indirekten Maße gefunden hätte, stand gegen deren Verwendung noch immer Aristoteles' Messverbot inhomogener Größen (siehe unten).

Sechstes Dilemma: Rein theoretische Lösungsstrategien

Das nahezu vollständige Fehlen von Maßen und Messgrößen führte jedoch nicht etwa zur Resignation. Im Gegenteil versuchte man erst gar nicht zu messen und beschränkte sich stattdessen auf rein theoretische Lösungswege. Gemäß diesem scholastischen Ansatz wurde der Wert von Begriffen und Theorien über den Grad der Kompatibilität und widerspruchsfreien Einpassung in ein komplexeres theoretisches Netzwerk gemessen. Die Gelehrten machten sich die Welt vom Schreibtisch aus – quasi auf dem Reißbrett – mathematisch passend,¹⁵ womit das Dilemma der rein theoretischen Lösungsstrategien benannt ist. Ein solches theoretisches Arbeitsfeld bildete die Entschärfung des aristotelischen Messverbots inhomogener Größen, also Dilemma Sieben:

Siebentes Dilemma: Aristoteles' Messverbot inhomogener Größen

In seiner Metaphysik hatte Aristoteles nämlich bestimmt, dass nur homogene Objekte kommensurabel seien.¹⁶ Das Maß für eine Quantität war eine Quantität – und im Einzelnen für eine Länge eine Länge, für Breiten eine Breite usw. Wie aber sollte dann eine Qualität durch eine Quantität gemessen werden? Die Suche nach indirekten Maßen hätte also erst dann zu einer sinnvollen Aufgabe werden können, wenn die Scholastiker zuvor eine messtheoretische Legitimation für die Verwendung inhomogener Größen gefunden hätten.

Achstes Dilemma: Die Nahtstelle zwischen discretum und continuum

Das aus heutiger Sicht wohl schwerwiegendste Dilemma bestand jedoch in der messtheoretischen Aporie *discretum-continuum*, die in mehrere Teilprobleme zerfiel. Kommen wir zunächst zu dem Problem der Erfassung kontinuierlicher Bewegungen:

¹⁵ In diesem Vorgehen kann man durchaus eine Verwandtschaft zu heutigen Methoden der Natur- und Geisteswissenschaften feststellen, deren Empirie-Verständnis sich teilweise ebenfalls jenseits der deskriptiven Korrespondenz von Realität und Wissen bewegt.

¹⁶ ARISTOTELES, Metaphysik 1053a25ff, Physik 248a 10-25, 249a 8-20, EUKLID, *Elementa*, Buch 5. Def. 3.

1. Das Problem kontinuierlicher Bewegungen

In Übereinstimmung mit Aristoteles war man zwar entgegen den atomistischen Vorstellungen der Platoniker davon überzeugt, dass die Struktur der Welt und somit auch sämtliche Bewegungen kontinuierlich, d.h. unendlich teilbar seien. Das traditionelle Quantifizierungswerkzeug der Proportion ganzer Zahlen taugte jedoch nicht dazu, kontinuierlich veränderliche Größen, d.h. vor allem momentane Bewegungszustände, zu beschreiben. Die Scholastiker begriffen die Geschwindigkeit in einer endlichen Zeit als den Quotienten aus Weg und Zeit. Für die funktionale Erfassung der Momentangeschwindigkeit hätte im heutigen Sinne dieser Quotient zum Differentialquotienten einer unendlich kleinen Strecke durch eine unendlich kleine Zeit werden müssen. So standen die Scholastiker zu allen Stolpersteinen hinzukommend nun auch noch vor der schwierigen Aufgabe, die Funktionalität der Arithmetik in Richtung Infinitesimalmathematik erweitern zu müssen. Das zweite Teilproblem begründete sich aus der scholastischen Ablehnung willkürlicher, d.h. also künstlicher Maßstäbe:

2. Die Willkür künstlicher Maßstäbe

Die mittelalterlichen Gelehrten träumten wie auch noch unsere heutigen Physiker von natürlichen Einheiten und Konstanten, getrieben zum einen von der impliziten Sehnsucht nach einem tieferen erkenntnistheoretischen Halt in der Natur,¹⁷ zum anderen weil eine absolute Exaktheit laut Aristoteles nur im diskreten Numerus existieren sollte. Unter diesem Aspekt erschien vielen Naturphilosophen eine willkürliche Festlegung von Maßsystemen, d.h. also eine diskrete Quantelung des potentiell unendlich teilbaren Kontinuums, geradezu als eine „menschliche Vergewaltigung der Natur“. Zu einer operativen Zahl im heutigen Sinne konnten die Scholastiker also nur durch die Aufgabe ihres hohen Exaktheitsanspruchs gelangen, wenn sie also bereit waren, mit ungefähren Maßen und Fehlergrenzen zu arbeiten.

3. Die Wesensverschiedenheit mathematischer und natürlicher Entitäten

Einige Scholastiker gingen zu Recht soweit, die Mathematik selbst als Erkenntnisinstrument für natürliche Phänomene in Frage zu stellen, da ja zwischen quantitativen Ähnlichkeits- und Identitätsbeziehungen und wesenhaft-qualitativen Ähnlichkeits- und Identitätsbeziehungen ein grundsätzlicher Unterschied bestehe. So vernachlässigte man in der geometrischen Methode z.B. die wesenhafte Differenz der verschiedenen Naturdinge, weshalb aus dem resultierenden Graphen eines Intensität/Zeit-Diagramms im Nachhinein auch nicht zu

¹⁷ Dahinter steht letztlich die für die Scholastik so prägende Aristotelesche Philosophie der *scala naturae*, gemäß der die Arten ganz im Widerspruch zu seiner Kontinuumsauffassung als fix bzw. diskret und ewig betrachtet wurden. Diese fixen „Einheiten“ suchten die Scholastiker auch in der akzidentiellen Ebene. Kein Zufall ist es also, wenn wie bei Nicole Oresme mit dem Postulat kontinuierlich-fließender Übergängen zwischen den natürlichen Arten auch die willkürliche Festlegung von Maßsystemen kein Problem mehr darstellte.

schließen sei, ob es sich dabei um den Intensitätsverlauf einer Wärme, Tonhöhe, Geschwindigkeit etc. gehandelt habe.¹⁸ Und dies war nur einer von vielen Einwänden gegen die Angemessenheit der mathematischen Methode. Noch schwerer wog der heute gleichermaßen gültige Reduktionismus-Vorwurf (siehe unten), gemäß dem die simplifizierende Mathematik niemals die hochkomplexe Multidimensionalität und Einzigartigkeit eines jeden Naturdinges darzustellen in der Lage wäre.¹⁹ Das vierte Teilproblem *continuum-discretum* resultierte aus der neuen Irrationalitätsauffassung des 14. Jahrhunderts:

4. Die Entdeckung der Irrationalität der Welt

Die Menschen dieser Zeit waren plötzlich davon überzeugt, dass die Natur mathematisch überwiegend aus irrationalen Verhältnissen zusammengesetzt sei. Die einfachen rationalen Proportionen des vorangegangenen pythagoreisch-platonischen Zeitalters wurden nur noch als seltener Ausnahmefall und Anhänger dieser Theorie der einfachen Verhältnisse als naiv betrachtet. Diese Auffassung führte einerseits zur Favorisierung der Geometrie, andererseits zur Einsicht in die elementare Unzulänglichkeit der damaligen Arithmetik. Um zu einer operativen Zahl gelangen zu können, musste die Arithmetik also in Richtung irrationale Zahlen erweitert werden.²⁰ Das letzte Teilproblem schließlich ist ein wahrnehmungspsychologisches:

5. Das begrenzte Auflösungsvermögen der Sinne

Das 13./14. Jahrhundert war nicht nur das Zeitalter der Mathematisierung, sondern auch der akribischen Erforschung des Wahrnehmungsprozesses. Mit einer erst im 19. Jahrhundert wieder erreichten Gründlichkeit und Tiefe erkannten die Scholastiker die Grenzen des sinnlichen Auflösungsvermögens und damit die prinzipielle Unmöglichkeit, messtechnisch kleine Differenzen zu registrieren. Dies führte dazu, dass das Irrationalitätsproblem nicht mehr wie in der Antike primär als ein rationales Problem des Wissens oder Nichtwissens verstanden wurde, sondern vor allem als ein wahrnehmungspsychologisches.²¹ Und damit kommen wir zum neunten und letzten Dilemma:

¹⁸ Vergl. e.g. JOHANNES DE RIPA, *I Sent., Dist. 2, quest. 4, art. 1 ad rationes, ad 3am*, MS BN lat. 15369, fol. 145b. Siehe auch TASCHOW, Nicole Oresme, S. 222ff.

¹⁹ Siehe ebd. S. 225ff.

²⁰ Vergl. e.g. NICOLE ORESME, *Ad pauca respicientes*, ed. GRANT, EDWARD, Madison 1966, in: *De Proportionibus proportionum*, S. 384, 33 – S. 386, 38, Supposition I und II. GRANT, EDWARD, *De proportionibus proportionum* and *Ad pauca respicientes*, S. 75, S. 82f, S. 85ff., S. 88ff., S. 122. NICOLE ORESME, *De proportionibus proportionum*, S. 246, 33-35. NICOLE ORESME, *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motum celi*, in: GRANT, EDWARD, Nicole Oresme and the kinematics of circular motion, ed. with an introduction, English translation and commentary, Madison/Milwaukee, London, 1971, S. 320, 457-466 u.a. Siehe generell dazu TASCHOW, Nicole Oresme, S. 179f., S. 200ff. u.a.

²¹ Vergl. e.g. NICOLE ORESME, *De commensurabilitate*, S. 284, 10-17 u.a. TASCHOW, Nicole Oresme, S. 869ff.

Neuntes Dilemma: Die Aporie „Komplexität-Informationsverlust“

Mit der bereits erwähnten Entdeckung der Irrationalität wurde den Menschen des 14. Jahrhunderts urplötzlich auch die Komplexität und Unendlichkeit der Welt bewusst. Dieses Phänomen resultierte hintergründig aus der Bewusstseins-evolution, vordergründig jedoch aus den Mathematisierungsversuchen jener Zeit selbst. Im Vergleich zu späteren Jahrhunderten besaßen die Scholastiker noch einen viel feineren Sinn für den hochgradigen Informationsreduktionismus der quantitativ-metrischen Sprachen. Eine Anwendung dieser immateriellen Mathematik auf natürliche Sachverhalte führte dementsprechend geradezu zwangsläufig zu einer Wahrnehmung der extremen Komplexität und Andersartigkeit der Natur und damit zur Einsicht in die Unzulänglichkeit der mathematischen Methode.²² Diese in der Tat unzureichende Korrespondenz mathematischer und natürlicher Entitäten empfanden viele Scholastiker als problematischen Informationsverlust.²³ Eine analoge Komplexität entdeckte man aber auch in der Konstruktivität, Störanfälligkeit und weitestgehenden Vorbewusstheit wahrnehmungspsychologischer und kognitiver Prozesse.²⁴ Wenn aber schon die Wahrnehmung die Welt nicht eins zu eins abbildete, wie erst sollte dann die Mathematik diese quasi natur- und somit gottgegebene Erkenntnisgrenze überschreiten können?

Wir sind am Ende unserer Reise über den für eine Mathematisierung unfruchtbaren Boden des Spätmittelalters angekommen. Die vielen Stolpersteine haben gezeigt, dass vor der Etablierung der Mathematik als Methode der Weltaneignung im heutigen Sinne erst einmal viel grundsätzlichere Wege hin zu einer Quantifizierbarkeit der Welt gebahnt werden mussten. Umso mehr muss es verwundern, dass all diese schwerwiegenden Behinderungen den unbändigen Willen der Scholastiker nach Mathematisierung der Welt nicht bremsen konnten. Im Gegenteil strebten sie übermütig nach einer vollständigen Quantifizierung des Seins – ein Anspruch, der selbst heutzutage im Zeitalter des Anspruchs der „Vermessung der Intelligenz“ geradezu vermessen erscheinen mag. So galten am Ende des 14. Jahrhunderts schließlich selbst die abstraktesten Dinge wie Nächstenliebe, Weisheit, göttliche Gnade etc. als quantifizierbar. Kommen wir damit zu den angekündigten vormathematischen Zugängen zur Quantität, aus deren großer Fülle wir quasi als Antwort auf die Dilemmata drei scholastische Ansätze exemplarisch herausgreifen:

²² Mit welchem Recht sollte auch eine höchsten Genauigkeitsansprüchen genügende immaterielle Euklidische Linie einen unregelmäßig strukturierten natürlichen Körper repräsentieren können.

²³ Das 20. Jh. kam vermittels seiner Computersimulationen natürlicher Prozesse erneut zu ganz ähnlichen Einsichten.

²⁴ Mit seiner Schrift *De causis mirabilium* hat Oresme einen ganzen Traktat allein diesem Thema gewidmet. Siehe dazu TASCHOW, Nicole Oresme, 4. Buch: Das Wunder einer fehlerfreien Wahrnehmung, S. 793ff.

3. Vormathematische Zugänge zur Quantität

3.1. Der metaphysische Zugang

Vorauszuschicken ist zunächst, dass im 13. Jahrhundert ein viel weiterer Messbegriff existierte als in der Gegenwart. So wurde bereits der rationale Erkenntnisprozess als ein Messvorgang begriffen. Erkennendes Subjekt und erkennbares Objekt verhielten sich dabei wechselweise erkenntnisrelational wie das Maß zum Messbaren – von den Scholastikern terminologisch gern untermauert durch die etymologisch falsche Relation von *mens* und *mensura*. Derart bestand der Erkenntnisprozess in dem rationalen Erschließen der *forma* als allgemeiner Wesenheit des Objekts und endete, wenn Maß und Gemessenes sich entsprachen.²⁵

Für das Erschließen der natürlichen Quantität setzte diese Auffassung vom Erkenntnisprozess zunächst eine Klärung des metaphysischen Grundes von Einheit und Vielheit der Welt voraus. Es liegt auf der Hand, dass die Art und Weise der Begründung dieser Seinsstruktur unmittelbare Folgen für die Favorisierung oder Ablehnung bestimmter Erkenntnis-, Mess- und Mathematisierungsverfahren hatte. In diesem metaphysischen Kontext fand Thomas von Aquin eine für die Scholastik revolutionäre und für die Neuzeit richtungsweisende Lösung für die individuelle Vielheit des Seins vermittelt einer radikalen Modifikation des aristotelischen *materia-forma*-Prinzips.²⁶

Der *materia* als traditionell rein passiver *potentia* erkannte er bereits eine unbestimmte Quantität zu – die sogenannte *dimensio interminata*. Die derartig quantifizierte *materia* individualisierte als *materia signata* die *forma*, die wiederum die *materia* aktualisierte. Auf diese Weise entstand für Thomas das konkrete physische Individuum mit einer konkreten Quantität, der sogenannten *dimensio terminata*. Doch damit existierten plötzlich zwei Quantitätsarten im 13. Jahrhundert – zum einen die akzidentielle des physischen Individuums, zum anderen die substantiell-artbildende Quantität der *materia signata*, wobei letztere im traditionellen Sinne eigentlich gar keine Quantität mehr war. Denn die scholastische Quantität galt als nur Akzidens in der metaphysischen Entstehungsfolge immer als etwas nach der *materia* und *forma* (*compositum*) Hinzugekommenes ohne jegliche substantielle Bedeutung.

Thomas von Aquins Erhebung der vordem nur sekundären akzidentiellen Quantität zu einem substantiellen dynamischen Prinzip hatte nicht nur eine Aufweichung des starren *materia-forma*-Modells zur Folge, sondern auch eine immense seins- und erkenntnistheoretische Aufwertung der Quantität. Genau dieser Ansatz gab in der Zeit darauf tatsächlich die gesamte Welt zur Quantifi-

²⁵ Vergleiche e.g. THOMAS VON AQUIN, Expositio, S.179, 10: „[...] *veritas consistat in adaequatione rei ad intellectum*“. Dieser Messprozess darf jedoch keinesfalls objektivistisch verstanden werden, da zwischen das Objekt und den erkennenden Intellekt die sinnlich gebundenen Vorstellungsbilder (*phantasmata*) gestellt wurden, aus denen die *forma* durch zahlreiche Schlüsse erst noch abstrahiert werden muss.

²⁶ Siehe zu dieser revolutionären Individuationstheorie wiederum THOMAS VON AQUIN, Expositio, *Quaestio* IV, *articulus* 2: *Utrum varietas accidentium faciat diversitatem secundum numerum*, S. 137, 20 – S. 145, 14.

zierung frei, weshalb Thomas' Individuationstheorie zu seiner Zeit aufs Heftigste angegriffen und nach seinem Tode sogar auf den Index gesetzt wurde. Doch schon im 14. Jahrhundert war diese „Quantifizierung des Seins“ kein anrühiges Thema mehr – exemplarisch genannt sei hier nur die erfolgreiche Theorie der *perfectio specierum*, die sämtliche Seinsstufen der göttlichen Schöpfung in einem geometrischen Modell der Intensitätsgrade zu erfassen trachtete.²⁷ In diesem Sinne war es nur noch ein kleiner Schritt, bis Wilhelm von Ockham die Substanz schlichtweg mit der Quantität gleichsetzte. Es ist erstaunlich, dass der Mainstream der Wissenschaftsgeschichte bis dato keine Kenntnis von diesen vorbereitenden scholastischen Unternehmungen genommen hat und die neuzeitlichen Wissenschaften noch immer erst mit dem 17. Jahrhundert beginnen lässt.

Welch elementare physikalisch-mathematische Konsequenzen derartige nur scheinbar weltfremde metaphysische Theorien besaßen, sei kurz an einer Innovation des Thomas-Schülers und -verteidigers Aegidius Romanus²⁸ angedeutet: Dieser entwickelte erstmalig in der Geschichte eine bis heute gültige Erklärung für das Problem, wie bei gleichbleibender Masse eine Volumenänderung zustande kommen kann. Der Aristotelischen Physik als Grundlage der scholastischen Physik waren bis dato sowohl der Begriff der Masse wie auch die Relation von Masse und Volumen völlig unbekannt. So wurde bei Aegidius die Thomasische *dimensio interminata* zum Begriff der Masse (*quantitas materiae*), weil dieselbe Menge *materia* unterschiedliche Raumgrößen (*densitas et raritas*) einnehmen kann. Die *dimensio terminata* hingegen avanciert zum konkreten Volumen im Hier und Jetzt – ein erster, gleichwohl gewaltiger Schritt in die Physik der Neuzeit.²⁹

3.2. Der sprachpsychologische Zugang

Einen weiteren vormathematischen Zugang der Scholastiker zur Quantität bildete der sprachpsychologische, gemäß dem der Begriff selbst als ein Maß und die Benennung als ein Messvorgang verstanden wurden. Diese Sichtweise leitete sich aus Aristoteles' Auffassung vom Einen als erstem Maß aller Dinge her, weil man laut seiner Metaphysik „das Wesen der Dinge durch deren Zerlegung gemäß der Größe und Art erkenne.“³⁰ Die Scholastiker interpretierten dieses aristotelische „Eine“ immer wieder als eine quasi wahrnehmungs- und sprachpsychologische Apriori-Kategorie, die in konkreten Begriffen ihre Entsprechung fände.³¹ Derart fungierte das scholastische Eine als universales Maß,

²⁷ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 205ff.

²⁸ Aegidius spielte eine besondere Rolle innerhalb der Verteidigung der nach dem Tode Thomas' aufs heftigste angegriffenen Thomasischen Lehren, wobei die Individuationstheorie einen besonderen Angriffspunkt bildete. So ließ er sich im Gegensatz zu seinen Kollegen mutig zu keinem Widerruf zwingen, was Diskriminierungen wie e.g. die Vorenthaltung seiner Promotion zur Folge hatte.

²⁹ Siehe AEGIDIUS ROMANUS, *In libros de physico auditu Aristotelis commentaria*, Venecia 1502, liber quartus, lectio XVII, c.l. 84, p. 84-85.

³⁰ Vergl. ARISTOTELES, *Metaphysik*, 1052b15ff., 1053a18ff., 1053a31ff.

³¹ Vergl. e.g. THOMAS VON AQUIN, *Summa Theologica*, Salzburg 1933ff., Bd.1, *quaest.* 12, 4.

mit dem man vermittelt der fortschreitenden Merkmalsabstraktion deduktiv die Begriffe der Gattungen, Arten, Individuen und schließlich auch der Quantität bestimmte. Interessanterweise ist dieser sprachpsychologisch gewonnene Quantitätsbegriff der fortschreitenden qualitativen Abstraktion völlig identisch mit dem eingangs vorgestellten Quantitätsbegriff der Helmholtzschen Messtheorie: Die Quantität steht dabei als qualitativ nicht mehr weiter abstrahierbarer quasi allerletzter Begriff und damit zugleich als „unwesentlichster und zufälligster Aspekt des Seienden“ zwangsläufig am Ende der deduktiven Stufenleiter. Derart wird das Eine, das selbst noch keine Zahl ist, als Erstes und Letztes im Erkenntnisprozess auch zur Quelle der Zahl.

3.3. Der kognitiv-wahrnehmungspsychologische Zugang³²

Der aus heutiger Sicht wohl interessanteste vormathematische Zugang zur Quantität ist der kognitiv-wahrnehmungspsychologische. Grundsätzlich beruht er auf der spätmittelalterlichen Vorstellung, dass die Wahrnehmungsorgane selbst bereits Messinstrumente seien und der Wahrnehmungsprozess somit als ein Messvorgang begriffen werden kann.³³ Im Konkreten haben sich die Scholastiker immense Verdienste in der Entwicklung erster physiologisch-psychologischer Kognitionstheorien erworben. Diese stehen wiederum in engem Zusammenhang mit ihren ebenso bedeutsamen physikalischen Übertragungstheorien, die wesentliche Einsichten in den Informationsverarbeitungsprozess und damit auch einen differenzierten psychologischen Zugang zur Quantität lieferten.

Thomas von Aquin hatte bereits im 13. Jahrhundert die Quantität im Wahrnehmungsprozess als *prima ratio diversificandi* definiert und aufgrund ihrer von der Materie unabhängigen Denk- und Vorstellbarkeit als *quantitas* und *figura* bereits zur kognitionspsychologischen Klammer zwischen physischer und mentaler Welt gemacht, was eine erkenntnistheoretische Aufwertung der Quantität zur Folge hatte.³⁴ Die kognitive Wahrnehmungspsychologie des 14. Jahrhunderts ging noch einen Schritt weiter. Ihre grundlegende und völlig richtige Erkenntnis konträr zur Auffassung des Aristoteles war, dass die Quantität selbst nicht wahrgenommen werden kann, dass sie letztlich nur ein Konstrukt unserer Sinne und unseres Kognitionsapparates darstellt.³⁵ Als einzig – und auch nur indirekt – Wahrnehmbares³⁶ galten den Scholastikern die sogenannten *species*.³⁷

³² Siehe zu diesem Kapitel die ausführliche Darlegung der Wahrnehmungs- und *species*-Theorie in TASCHOW, Nicole Oresme, S. 231ff., 297-382, S. 555-791, S. 793-871.

³³ Vergl. e.g. NICOLE ORESME, *De causis mirabilium*, ed. HANSEN, BERT, in: Nicole Oresme and the Marvels of

Nature, Pontifical Institute of Mediaeval Studies, Toronto, Canada, 1985, S. 328, 709-715.

³⁴ Siehe e.g. THOMAS VON AQUIN, *Expositio*, S.187, 14-25.

³⁵ Siehe e.g. NICOLE ORESME, *Quaestiones de anima*, ed. PATAR, BENOÎT, Nicolai Oresme *Expositio et Quaestiones in Aristotelis De anima*, Louvain 1995, S. 202, 27ff. TASCHOW, Nicole Oresme, S. 336ff.

³⁶ Indirekt wahrnehmbar in doppeltem Sinne: a) physikalisch durch Reflexion am Objekt, b) neuronal durch ihre Wirkung auf das Sinnesorgan (Entelechie).

Darunter hat man sich quasi physikalische und physiologische Informationsträger zwischen den äußeren Objekten und unseren Sinnesorganen vorzustellen, vergleichbar mit unseren heutigen elektromagnetischen Wellen (Licht), Schallwellen, neuronalen, elektrochemischen etc. Aktivitäten. In dieser Eigenschaft als reine Informationsmuster mussten aus den *species* analog unseren heutigen kybernetischen Träger-Muster-Bedeutungs-Theorien in vorbewussten Kognitionsprozessen erst noch Bedeutungen erschlossen werden. Für die Wahrnehmung einer Quantität z.B. über den Sehsinn bedeutete dies für Scholastiker wie Nicole Oresme (1323-1382) verkürzt Folgendes: Die *species* oder Lichtreize werden auf der Netzhaut des Auges registriert und über Erfahrungswissen vom Sehsinn als Farb-, Hell- und Dunkelwerte interpretiert. Vermittels einer topologischen Korrespondenz zwischen Auge und Gehirn (*sensus interior*) erschließt der innere Sinn durch vorbewusste Urteile deren extensive Ordnung oder Quantität.³⁸ Aufgrund der nur zweidimensionalen Abbildung auf der Netzhaut sind zur Ermittlung der dreidimensionalen Quantität noch weitere vorbewusste Verarbeitungsschritte notwendig. So werden Hell-Dunkelwerte und relative Größenunterschiede über komplexes Erfahrungswissen als Raumbreite im Sinne unserer monokularen Tiefenreize interpretiert.³⁹

Bei der Wahrnehmung bewegter Objekte oder auch bei der Eigenbewegung des Beobachters erhöht sich die Zahl der Verarbeitungsschritte noch weiter, da sukzessiv wahrgenommene Objektteile nachträglich unter Zuhilfenahme des Gedächtnisses im Sinne eines mentalen Scannings zu einer Einheit zusammengesetzt werden müssen.⁴⁰ Nicole Oresme geht noch einen entscheidenden Schritt weiter, denn wahrnehmungspsychologisch betrachtet konstruieren wir Quantitäten, die es in der Natur derart gar nicht gibt: So werden die Teile einer Sukzession erst aus der Erinnerung zu einer Erlebnis-Ganzheit und damit zu einer Bewegung zusammengesetzt. Ein Lebewesen ohne Erinnerungsvermögen würde nach Oresme nur im Augenblick, d.h. in einer Welt ohne Bewegung leben.⁴¹ Das quantifizierende, messende Erfassen einer Bewegung ist also ein konstruktiver und kein abbildender Prozess.

Da die Wahrnehmung der Quantität in diesem scholastischen Verständnis einen auf vorbewussten Urteilen beruhenden komplexen Konstruktionsprozess

³⁷ Siehe e.g. NICOLE ORESME, *Quaestiones de sensu*, ed. AGRIMI, JOLE, Le „Quaestiones de sensu“ attribuite a Oresme e Alberto di Sassonia, Florence, La Nuova Italia (Pubblicazioni della Facolta di Lettere e Filosofia dell' Universita di Pavia. Istituto di storia della filosofia, 29), 1983, S. 214: [...] *sensus non assentit evidenter nisi species pervenit ad ipsum*, [...].

³⁸ TASCHOW, Nicole Oresme, S. 633ff.

³⁹ NICOLE ORESME, *De causis mirabilium*, S. 152, 97-106, NICOLE ORESME, *Quaestiones de anima*, S. 225, 84-88.

⁴⁰ Gemäß Oresme geschehen diese Verarbeitungsschritte zum größten Teil unbewusst – eine Auffassung, mit der er sich markant von denen der Renaissance-Denker abhebt, die elementare Funktionen wie Wahrnehmen, Wille, Denken etc. als Bewusstseinsprodukte betrachteten. Oresme hat eine ausgefeilte Theorie der unbewussten Schlüsse entwickelt und damit Helmholtz' Theorie der unbewussten Schlüsse bereits vorweggenommen. Wir finden bei ihm in den Grundzügen sogar schon die Aufmerksamkeitstheorie des 20. Jahrhunderts antizipiert in Gestalt des Wissens um eine vorbewusste und eine bewusste Aufmerksamkeit. Siehe e.g. TASCHOW, Nicole Oresme S. 309ff., S. 647ff. u.a.

⁴¹ NICOLE ORESME, *Quaestiones de anima*, S. 288, 52-56.

darstellt, konnte das Wahrnehmungsprodukt natürlich auch fehlerhaft sein. Doch damit – so der Schluss der Scholastiker – war eine letzte Evidenz der wahrgenommenen Quantität systemimmanent ausgeschlossen.⁴²

Diese auch heute noch richtigen Auffassungen der Scholastiker kontrastieren stärkstens zu jenen der Renaissance-Denker wie Locke, Descartes, Berkeley etc. Denn letztere betrachteten die Kategorien Größe, Gestalt, Lage, Bewegung als reale primäre Quantitäten, die angeblich unabhängig von der Wahrnehmung objektiv in den Dingen selbst enthalten sein sollten – eine irrige Ansicht, welche aus deren weitestgehender Leugnung von Aktivitäten vor- oder unterbewusster Wahrnehmungs- und Erkenntnistätigkeiten resultierte.⁴³ Damit handelte es sich hierbei um ein rein ontologisches Postulat, das aber andeutet, woher die wissenschaftlich-technischen Revolutionäre des 17. Jahrhunderts mit heutigen Augen betrachtet ihren eigentlich „unredlichen“ Quantifizierungsoptimismus nahmen. Zugleich aber wird deutlich, was man von dem wissenschaftshistorischen Klischee zu halten hat, dass die Scholastiker angeblich noch nicht zwischen physikalischem und psychischem Phänomen unterschieden hätten. Das ganze Gegenteil ist der Fall: Die historische Formel „qualitative scholastische Naturphilosophie contra quantitative klassische Physik gleich wissenschaftlich-technische Revolution“ entlarvt sich als ein ideologisches Geschichtskonstrukt.⁴⁴

4. Mathematische Zugänge zur Quantität am Beispiel der *Musica*

Mit diesen Voraussetzungen können wir uns nun am Beispiel der *Musica* – stichpunktartig und exemplarisch – den mathematischen Zugängen zur Quantität im heutigen Sinne zuwenden. Diese musikalischen Zugänge bilden theoretische und praktische Lösungsansätze im Sinne der Überwindung der in Kap. 2 aufgeführten Dilemmata. In der Unmöglichkeit, in diesem Rahmen einen kompletten Abriss jener Geschichte liefern zu können, beschränken wir uns dabei auf die wissenschaftlichen Innovationen des französischen Denkers Nicole

⁴² In *De causis mirabilium* formuliert Oresme ein Wahrnehmungsgesetz, gemäß dem mit größer werdender Zahl vorbewusster und bewusster Interpretationsschritte und somit mit zunehmender Detailunterscheidung und Bedeutungstiefe auch die Wahrscheinlichkeit einzelner Fehlurteile und damit einer Fehl-[Wahr]nehmung wächst. In dieser Oresmeschen Unschärferelation wird also die Wahrnehmung gerade da immer unschärfer, wo wir zu immer größerer Detailliertheit schreiten wollen. Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 859ff.

⁴³ JOHN LOCKE, *An Essay Concerning Human Understanding*, 2. Buch, Kap. 8, § 25 und § 23. Zur Wahrnehmungstheorie Descartes und Berkeleys siehe z.B. HATFIELD, G. C. and EPSTEIN, W., *The sensory core and the medieval foundations of early modern perceptual theory*, in: *Isis*, LXX, Nr. 253, 1979, S. 374ff., SELLARS, WILFRIED, *Berkeley and Descartes: Reflection on the Theory of Ideas*, in: MACHAMER, P. K. and TURNBULL, R. G., *Studies in Perception*, Columbus (Ohio) 1978, S. 259-311. DONAGAN, ALAN, *Berkeley's Theory of the immediate Objects of Vision*, in ebd. S. 312-335.

⁴⁴ Wie sehr Voreingenommenheiten der am 17./18. Jh. orientierten Wissenschaftsgeschichte die Bewertung mittelalterlicher Leistungen beeinflussen, zeigt sich z.B. an der historischen Bewertung der bereits erwähnten *species*-Theorie, die seit Generationen pauschal als die mit Abstand wertloseste Theorie der Scholastik eingeschätzt wird. Im Gegensatz dazu habe ich aufgezeigt, dass sie eine ihrer größten Leistungen darstellt. Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, 3. Buch: *Der Brückenschlag zwischen dem Ich und der Welt*.

Oresme, einen der genialsten Köpfe des 14. Jahrhunderts, der als quasi „Einstein der Scholastik“ dankbarer Weise das gesamte Spektrum der Messtheorie und -praxis in seinem Werk vereinigte. Durch das alle Wissensgebiete umgreifende Oresmesche *opus magnum* ist er zugleich Brennpunkt der scholastischen Wissenschaften. Dementsprechend sind sämtliche der hier vorgestellten Oresmeschen Mathematisierungsansätze historisch verallgemeinerbar und bilden zugleich eigenständige Leistungen der scholastischen Wissenschaften.⁴⁵

4.1. Die Modellbedeutung der mittelalterlichen *Musica* für die Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Theorie und Praxis des Messens

Entgegen ihrer heutzutage nur noch marginalen wissenschaftlichen Bedeutung besaß die mittelalterliche *Musica*⁴⁶ in all ihren Erscheinungsformen über das eigentlich Musikalische hinausgehend eine herausragende Bedeutung für die Entwicklung der neuzeitlichen Wissenschaften wie grundsätzlicher weltanschaulicher Positionsbestimmungen. Nahezu das gesamte Spektrum mittelalterlicher Wissenschaften lief in der *Musica* wie in einem Brennpunkt zusammen, weshalb sie auch als eine Art Universalwissenschaft zu bezeichnen ist. Ähnlich universal waren dementsprechend auch ihre Aussagen und Ergebnisse. Sie fungierte als ein globales Modell, das in langer Tradition relativ unproblematisch auf andere Wissensgebiete übertragen und angewendet werden konnte. In dieser Eigenschaft war die *Musica* polyvalenter Ideenlieferant für das allgemeine Problem der Mathematisierung der Natur, für grundsätzliche Fragen der Mechanik, für heiß diskutierte Problemstellungen der Wahrnehmungspsychologie, Sinnesphysiologie, Erkenntnistheorie, Ästhetik, Philosophie bis hin zur Astronomie. Und für unser Thema besonders interessant, lieferte die *Musica* bereits eine hochentwickelte Theorie und Praxis des Messens als Vorwegnahme der späteren naturwissenschaftlichen Methode.

Dieser polyvalente Modellcharakter der *Musica* erwuchs zum einen aus der Tatsache, dass sie als einzige Disziplin viele Jahrhunderte vor der sogenannten wissenschaftlich-technischen Revolution des 17. Jahrhunderts bereits das Ideal der späteren neuzeitlichen Wissenschaften antizipierte in Gestalt des engen untrennbaren Wechselspiels von Theorie und Praxis im Sinne der mathematischen Analyse und Darstellung physischer Erscheinungen, wobei die Erfordernisse der Praxis fruchtbar auf die Theorie zurückwirkten. Zum anderen besaß

⁴⁵ Siehe zu den Ausführungen in diesem Kapitel TASCHOW, Nicole Oresme, insbesondere 1. Buch: Die Mathematisierung der Welt.

⁴⁶ Der mittelalterliche Begriff der *Musica* vereinte das gesamte Spektrum des Phänomens Musik: die erklingende, komponierte, improvisierte etc. Musik, ihre akustischen Grundlagen, ihre Theoriesysteme, ihre kognitiven Strukturen, Vorstellungs- und Erlebnisqualitäten, ihre Notationssysteme, ihre philosophischen, ästhetischen ethischen, astronomischen Implikationen, ihre physiologischen und medizinischen Aspekte etc. Der heutige umgangssprachlich gebrauchte Musikbegriff greift viel zu kurz. Analoges gilt für den heutigen Begriff der Musik als wissenschaftlicher Disziplin: Die aus der Dichotomie Geisteswissenschaften/Naturwissenschaften hervorgegangene systematische und historische Musikwissenschaft sind zu der mittelalterlichen *Musica* als quadrivialer oder auch naturphilosophischer Disziplin (*De anima*-Kommentierungen) völlig inkommensurabel.

die Musik in Theorie und Praxis einen immensen, Jahrhunderte langen Vorlauf gegenüber der Naturphilosophie bezüglich der Realisierung eines konsistenten Systems der Mathematisierung physikalischer Sachverhalte. In dieser Eigenschaft fungierte sie quasi als der „Computer des Mittelalters“. Von diesen musikalischen Vorleistungen sind in unserem Zusammenhang besonders zu nennen:

1. die exakte Messbarkeit sukzessiver, intensiver Größen wie Tonhöhe und Zeitdauer - der *sonus* war im 14. Jh. die einzige intensive Größe oder Qualität, die tatsächlich bereits messbar war (Monochordmessung);
2. die Etablierung erster physikalisch-mathematischer Funktionsbegriffe (z.B. Tonhöhe und Zeit);
3. die Schaffung einer hoch entwickelten quantitativ-metrischen Theoriesprache in Form der komplexen Tonsysteme, der Konsonanztheorien, der hoch innovativen Mensuraltheorie des 13./14. Jahrhunderts etc.;
4. die hoch entwickelte Messtheorie und Messpraxis;
5. die aus praktischen Notwendigkeiten bereits realisierte Überwindung des aristotelischen Messverbots inhomogener Größen, denn in der Musik wurde die Tonhöhe als intensive Größe oder Qualität durch eine extensive Größe oder Quantität in Gestalt einer Saitenlänge oder schwingenden Luftsäule gemessen;
6. die Entwicklung von Experimentalszenarien gemäß dem späteren Wiederholbarkeitspostulat der neuzeitlichen Naturwissenschaften;
7. die hochentwickelte Handwerkstechnik zur Herstellung von Instrumenten und Präzisionsmessvorrichtungen als unabdingbare Voraussetzung für Experimentalszenarien;
8. der hohe Empiriegehalt und die Praktikabilität in Gestalt der real erklingenden Musik;
9. die modellhafte Visualisierung prozessualer Größen vermittels abstrakter Symbolsprachen, die wiederum rückwirkend die universale Kontrollier- und Kommunizierbarkeit der musikalischen Parameter ermöglichte (Notenschriften, Symbole, vielfältigste Diagramme etc.);
10. die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten in Form der strukturellen Vorstellungsleistung von Musik auf Grund ihrer exakten Tonhöhen- und Zeitdauererfassung, die in außermusikalische Sachverhalte transformiert werden konnten;
11. die erstmalige Formulierung vieler Modelle, Begriffe, Theorien und Theoriesprachen, die dann teilweise als Transformationen und Neuschöpfungen in anderen Wissensgebieten ihre Heimstatt fanden wie z.B. die kognitiven Bausteine der „Null“ oder auch der „negativen Zahlen“, die in der musikalischen Notation als „musikalische Pausen“ bereits eine lange Geschichte besaßen;
12. Formalisierungen wie z.B. die mathematische Buchstabenschrift als Surrogat für konkrete Zahlen und Größen (Literalkalkül), die viele Jahrhunderte vor ihrer universalen Einführung durch Jordanus de Nemore bereits in der Musiktheorie, so bei Boethius völlig selbstverständlich angewandt wurden, und aufgrund des damit verbundenen Zu-

- rücktretens physikalischer Inhalte zugunsten rein formaler Relationen eine größere Universalität in den Aussagen erlaubte (Antizipation des Formalismus der neuzeitlichen Wissenschaften);
13. die Antizipation wegweisender neuzeitlicher Wissenschaftsmethoden - so z.B. das selbstverständliche Arbeiten mit Näherungswerten und Fehlergrenzen durch Musiker und Instrumentenbauer in Aristoxenischer Tradition;
 14. die ideologische Vorbereitung der Überwindung des mathematischen Irrationalitätsverbots durch den pragmatischen Umgang der Musikpraktiker mit Konsonanzen *secundum auditum*, also jenseits der pythagoreischen Mathematik und Metaphysik;
 15. Auch das spätere klassische Verfahren wissenschaftlicher Regelwerke - d.h. konkrete Handlungs- und Experimentalanweisungen für jederzeit reproduzierbare Ergebnisse - antizipierten bereits die praxisorientierten musikalischen Schriften, allen voran die Notations- und Kontrapunkttraktate des 13./14. Jahrhunderts: Derart ergänzte und wandelte sich erstmals der aristotelische Wissenschaftsbegriff der theoretisch reflektierenden *scientia* zur *Musica* als *ars et scientia*. Die angewandten mathematischen Regelwerke der Notationstraktate gehorchten nur noch den Prinzipien der Ökonomie, Rationalität und Zweckmäßigkeit und keinem philosophisch begründeten, höheren Wahrheitsbegriff.

4.2. Musikalische Exempla - Nicole Oresme als Wegbereiter einer neuzeitlichen Messtheorie

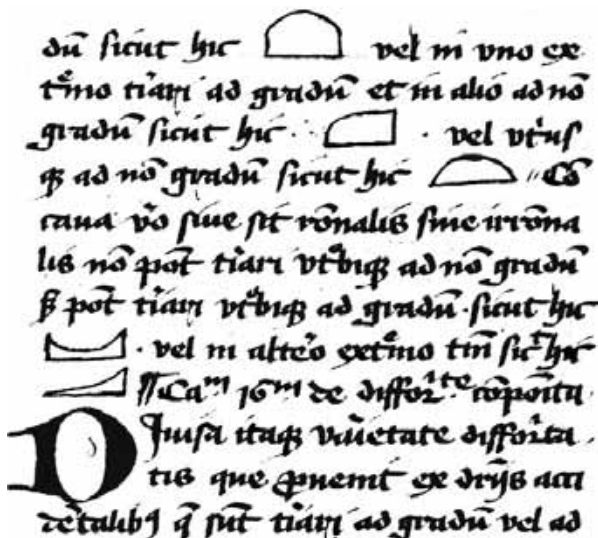
Ein Hauptcharakteristikum neuzeitlicher Wissenschaften liegt in der „Einsicht“, einen Großteil natürlicher Phänomene pragmatisch auf quantitative Sachverhalte reduzieren und rückführen zu können. Die sogenannte naturwissenschaftliche Methode wäre dabei simplifizierend als ein Verfahren zu beschreiben, mit dessen Hilfe analytisch quantitative Voraussagen über die Entwicklung eines gegebenen physikalischen Systems, ausgehend von seinen Anfangsbedingungen, realisiert werden können.

Ähnliche Überzeugungen und Intentionen trieben aber bereits die Naturphilosophen des 13./14. Jahrhunderts um. Damit diese Intentionen praktisch eingelöst werden konnten, mussten jedoch die eingangs erwähnten Dilemmata überwunden werden. Insbesondere standen innerhalb der Quantifizierungsintentionen des 14. Jahrhunderts die in der Aristotelischen Kategorie der Qualität befindlichen Sachverhalte wie Wärme, Licht, Ton, Farbe, Beschleunigung, Kraft etc. zur besonderen Diskussion, da sich hinter diesen scholastischen Qualitäten ein Großteil der natürlichen Phänomene versteckte. Ihre messtheoretische Bewältigung konnte derart das Tor zu einer umfassenden Quantifizierung der Natur weit öffnen.

4.2.1. Erste graphische Funktionsdarstellungen

Unter diesem Gesichtspunkt verfasste Oresme seinen ehrgeizigen *Tractatus de Configurationibus qualitatum et motuum*,⁴⁷ der aus heutiger Sicht in vielerlei Hinsicht als eines der Schlüsselwerke in der Geschichte der Mathematisierung der Natur zu werten ist – nicht zuletzt, weil für ihn die traditionellen Fragen der ontologischen Theorie der *intensio et remissio formarum*⁴⁸ keine Rolle mehr spielten. Oresme brachte einen neuen Betrachtungs- und Problemansatz ins Spiel: Vorrangig interessierte ihn die deskriptive Zuordnung von mathematischen Gesetzen und Naturphänomenen und die sich daraus ergebenden Analyse-möglichkeit dieser Phänomene.

So entwickelte er in dieser Schrift auf der Basis musikalischer Modelle die erste mehrdimensionale graphische Funktionsdarstellung physikalischer Größen - ein Mathematisierungsverfahren, das auf seine Weise dreihundert Jahre vor Descartes, Galilei u.a. deren geometrische Methode vorwegnahm. Oresme verwendete diesbezüglich ein Koordinatensystem (*longitudo, latitudo*), in dem Intensitäts- und Geschwindigkeitsverteilungen in der Zeit, in einem Objekt oder Raum abgetragen werden konnten. Als Ergebnis erhielt man mit der resultierenden *linea summitatis* den Kurvenverlauf des jeweiligen physikalischen, psychischen etc. Phänomens, auf dessen Basis umfangreiche funktionale Zusammenhänge veränderlicher physikalischer Größen in Zeit und Raum analysiert werden konnten. Oresmes Anspruch und Überzeugung war, mittels dieser



configuratio qualitatum et motuum eine Methode entwickelt zu haben, die ihm zum einen die quantitativ-metrische Erfassung und damit auch die Kommensurabilität der jeweiligen permanenten und sukzessiven Qualitäten untereinander ermöglichte.

Abb. 1: Nicole Oresme, *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*, Part. cap. 15, British Library, Sloane, MSS 2156, fol.164r.⁴⁹

⁴⁷ NICOLE ORESME, *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*, ed. CLAGETT, MARSHALL, in: Nicole

Oresme and the Medieval Geometry of Qualities and Motions. A Treatise on the Uniformity and Difformity of Intensities Known as *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*, Madison/London 1968 (The University of Wisconsin Publications in Medieval Science, 12).

⁴⁸ Siehe e.g. MAIER, ANNELIESE, *Das Problem der intensiven Größe in der Scholastik*, Leipzig 1939, S. 70ff.

⁴⁹ Dies sind Beispiele für difformiter difforme *configurationes*. Die Einfachheit dieser Zeichnungen darf nicht täuschen, denn wenn es um konkrete Beispiele und Berechnungen geht,

Zum anderen glaubte er ein universales auf alle natürlichen Phänomene anwendbares Analysewerkzeug in den Händen zu halten, mit dessen Hilfe verallgemeinernd fundamentale Einsichten und Voraussagen in die Wirkungsweise physikalischer, psychischer etc. Phänomene realisiert werden konnten.⁵⁰ Mit diesem ehrgeizigen Vorhaben hatte Oresme unzweifelhaft den eingangs vorgestellten Anspruch der heutigen naturwissenschaftlichen Methode vorweggenommen.

Die Grundidee dieser graphischen Konfigurations-Methode finden wir interessanterweise jedoch bereits in den ersten musikalischen Notationen, so z.B. der *musica enchiriadis* aus dem 9. Jahrhundert verwirklicht, die wie später in Oresmes *configuratio*, abstrakt physikalische Sachverhalte, d.h. Tonhöhen, in ihrem zeitlichen Verlauf repräsentierten.

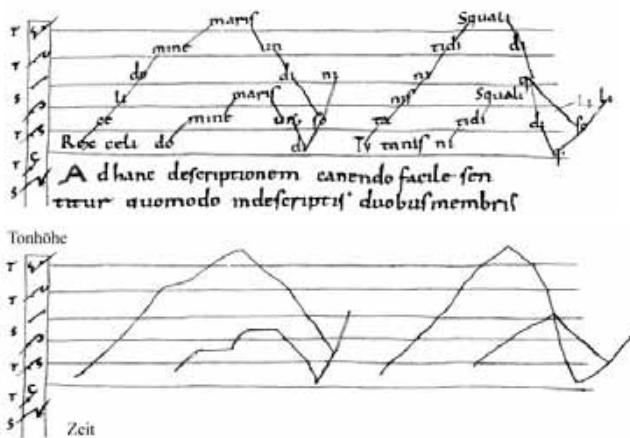


Abb. 2: ANONYMUS, *Musica enchiriadis*, Bamberg, Staatsbibliothek, Msc. Var.1, fol. 57r (oben); mit schematischer Übertragung des Graphen durch den Autor (unten).⁵¹

Oresme konnte diesbezüglich auch auf die zu seiner Zeit hoch entwickelte Mensuralnotation zurückgreifen. Derart widerspiegelten bereits die ersten Notenschriften Ansätze einer abstrakten Raum-Zeit, wie sie uns in der klassischen Physik Newtons voll entwickelt entgegen traten. Diese musikalischen Vorleistungen machte Oresme sich zunutze, indem er verallgemeinernd die Intensitätsänderung einer Qualität oder die Geschwindigkeitsänderung eines Objekts in der Zeit - wie beim Spezialfall des musikalischen *sonus* in der Mensuralnotation seiner Zeit - mittels zweier Koordinaten darstellte. Auf diese Weise hatte er

benutzte Oresme geometrisch exakte Figuren, die von ihm beziffert bzw. mit Buchstabensymbolen versehen worden.

⁵⁰ Siehe e.g. NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 166, 33 - S. 168, 38. Oresmes Methode soll die universale Erkenntnis einer jeglichen intensiven Größe ermöglichen, seien es die Intensionen aktiver und inaktiver Qualitäten, die Intensionen wahrnehmbarer und nichtwahrnehmbarer Subjekte, Objekte oder Medien wie der *lux* der Sonne und das *lumen* des Mediums, oder die *species* im Medium, eine *virtus diffusa* etc.

⁵¹ Die rechte Abbildung wurde vom Autor erstellt, um den abstrakten graphischen Charakter der Darstellungsform zu verdeutlichen.

nicht nur virtuell-mathematische Zeit-Räume geschaffen, sondern überdies das Objekt, an dem sich die Änderung vollzieht, abstrahierend eliminiert, was für die noch sehr gegenständlich denkende scholastische Naturphilosophie damals einen unerhörten, für die Musik jedoch bereits völlig normalen Schritt darstellte.

4.2.2. Messtheoretische Legitimation

War damit zwar ein funktionaler Darstellungsmodus für veränderliche intensive Größen gefunden, so fehlte doch entsprechend dem im siebenten Dilemma erwähnten Aristotelischen Inhomogenitätsverbot und dem damit gleichsam verbundenen fünften Dilemma des Fehlens indirekter Maße eine messtheoretische Legitimation dieser Methode. Nur diese konnte die Universalität der Oresmeschen Methode über den musikalischen Pragmatismus der Zeit als Spezialfall hinaus sichern. Oresme wählte den einfachen wie genialen Weg der Erhebung des Spezialfalls der musikalischen Saitenmessung zu einem generellen Modell für die Messung von Qualitäten als intensive Größen - wurde doch beim Monochord eine intensive Größe in Gestalt der Tonhöhe oder Frequenz des *sonus* indirekt durch eine extensive Größe gemessen. Über den einfachen Analogieschluss, dass es wie in der *Musica* auch für andere intensive Größen indirekte Maße geben müsse, die nur zu finden seien, gab er sämtliche Qualitäten zur Quantifizierung frei. Zugleich hatte er mittels des indirekten Maßes der *extensio* das messtheoretische Inhomogenitätsverbot des Aristoteles entschärft.⁵²

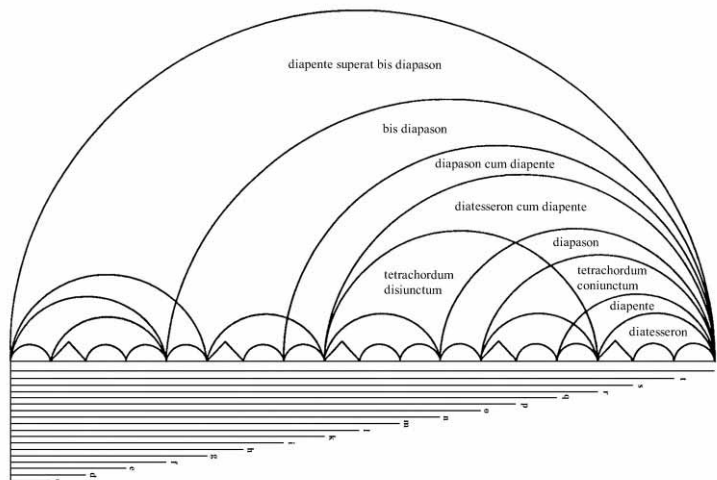


Abb. 3: Darstellung der Tonstufen und Intervallteilungsverhältnisse eines 19-seitigen Instruments nach der *Musica Speculativa* des Johannes de Muris⁵³

⁵² Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 75ff.

⁵³ Eines der vielen musikalischen Modelle, die Oresme für die geometrische Messung und Darstellung intensiver Größen als „klingende Geometrie“ zur Verfügung standen, entnommen

4.2.3. Praktikabilität auf der Basis realer physikalischer Messgrößen

Die Praktikabilität seiner Methode stellte Oresme unter Beweis, indem er in einer umfangreichen angewandt musikalischen Untersuchung mittels seiner Konfigurations-Methode anhand der komplexen Parametrierung des *sonus* erstmalig innerhalb der Naturwissenschaftsgeschichte exemplarisch die umfassende Extensivierbarkeit und Quantifizierbarkeit intensiver Größen (Qualitäten) bewies und derart ein neues messtheoretisches und messpraktisches Paradigma schuf.⁵⁴ Bei seinen Tonuntersuchungen handelte es sich um einen der ganz seltenen Fälle im Mittelalter, wo mathematische Methode und physikalisches Phänomen eine reale Korrespondenz besaßen.

Oresmes Konfigurationsmethode blieb hinter seinem selbst formulierten Anspruch nicht zurück, da erst sie analytisch die Erkenntnis vieler akustischer Phänomene ermöglichte. Oresmes tief sinnige Parametrierung des *sonus* muss ca. 300 Jahre vor Galileis *Discorsi* als der erste Versuch einer mathematisch-geometrischen Beschreibung nahezu sämtlicher akustischer Phänomene gewertet werden. Mit Oresme beginnt bereits im 14. Jh. die Geschichte einer wissenschaftlichen Akustik:

So hatte Oresme z.B. drei Jahrhunderte vor Mersennes Entdeckung der Partialtöne auf der Basis seiner Konfigurations-Methode diese bereits hinlänglich erforscht, den Zusammenhang zwischen Partialtönen und Klangfarbe erkannt und in Form einer ausgefeilten physikalisch-mathematischen Theorie erstmals eine komplexe Erklärung dafür geliefert.⁵⁵ Damit nimmt er bereits Vermutungen Joseph Sauveurs (1702) und gar Erkenntnisse des 19. Jahrhunderts in Gestalt der Helmholtzschen Partialtontheorie vorweg. Weitere Vorgriffe auf das 17. Jh. und darüber hinaus liegen z.B. in der Erklärung des Resonanzphänomens und der Konsonanz versus Dissonanz auf der Basis der Partialtöne.⁵⁶ Mit dieser Erklärung ist Oresme weit über die grundsätzlich falsche und dennoch sehr erfolgreiche „physikalische“ Koinzidenztheorie⁵⁷ des 17. Jahrhunderts hinausgelangt. Mit seiner umfassenden Quantifizierung hörpsychologisch-musikästhetischer Kategorien realisierte Oresme 500 Jahre vor Helmholtz' Lehre von den Tonempfindungen schließlich bereits die mathematisch-akustische Grundlegung für eine musikästhetische Prinzipienlehre.⁵⁸

aus einer Schrift des Johannes de Muris aus dem Jahre 1323: Für die Berechnung eines 19-saitigen Instruments sind auf einer als horizontale Strecke abstrahierten Saite die Tonstufen- bzw. Intervallteilungsverhältnisse dargestellt, darunter eine Zeichnung der als Linien abstrahierten Saiten des Instruments in diesen Tonstufen. Man erhält also ein Diagramm der Intensitäten der einzelnen Tonqualitäten, dessen diskreter Graph eine trapezförmige Figur ergibt. JOHANNES DE MURIS, *Musica Speculativa*, ed. FALKENROTH, CHRISTOPH, *Die Musica speculativa des Johannes de Muris*, in: Beihefte zum Archiv für Musikwissenschaft, XXXIV, Stuttgart 1992, S. 289.

⁵⁴ Siehe NICOLE ORESME, *De Configurationibus*, cap. 15 – cap. 25, S. 304, 1ff. – S. 336, 38.

⁵⁵ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 142ff.

⁵⁶ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 159ff. u.a.

⁵⁷ Siehe e.g. H. FLORIS COHEN, *Quantifying Music. The science of music at the first stage of the Scientific Revolution, 1580-1650*, in: The University of Western Ontario Series in Philosophy of Science, Dordrecht, Boston, Lancaster 1984, S. 90ff., S. 206ff. u.a.

⁵⁸ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 194ff.

4.2.4. Der Übergang vom Kontinuum zum Diskreten

In der dem berühmten Musiktheoretiker Philippe de Vitry gewidmeten Schrift *Algorismus proportionum*⁵⁹ ging Oresme folgerichtig das im achten Dilemma dargelegte messtheoretische Problem der Nahtstelle zwischen *discretum* und *continuum* an. Er entwickelte eine Methode der Addition und Subtraktion (d.h. geometrisch der Multiplikation und Division) von Verhältnissen bereits mit gebrochenen Exponenten (Potenzrechnung) und exemplifizierte diese an geometrischen Figuren und deren Verhältnissen. Diese geometrischen Elemente bzw. deren Proportionen repräsentieren nun aber wiederum musikalische Intervalle (siehe Abbildung 4 unten), so dass die Quintessenz in der geometrischen Darstellung, Berechnung und Vergleichung musikalischer Intervallverhältnisse liegt. Unter Bezugnahme auf die musikalische Monochord-Theorie und die Abstrahierung einer Saite als Linie legitimierte Oresme also die methodische Gleichsetzung von Verhältnissen diskreter Zahlen und kontinuierlicher Größen und schloss damit nicht nur die Nahtstelle *discretum-continuum*, sondern machte mit seiner „klingenden Geometrie“⁶⁰ den Weg frei für die Darstellung und das Rechnen mit irrationalen Zahlenverhältnissen:

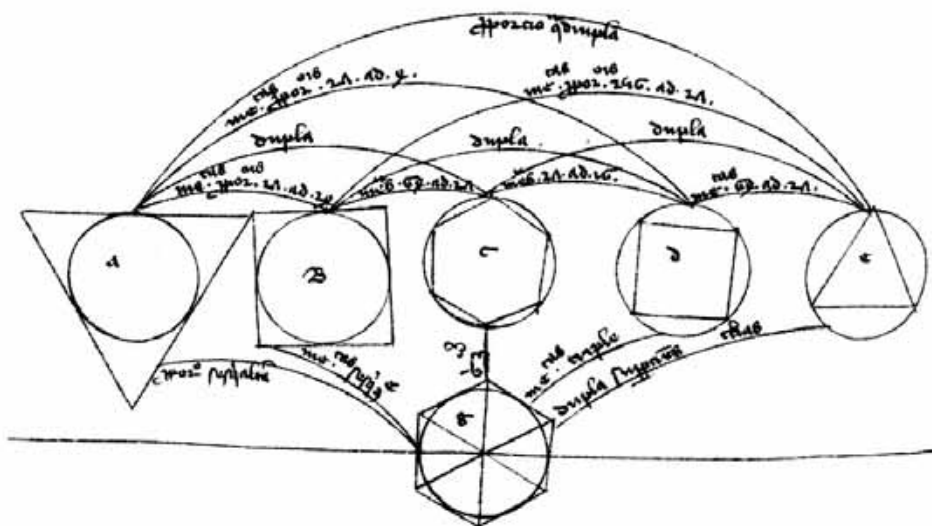


Abb. 4: Nicole Oresme, *Algorismus proportionum*,
Burgerbibliothek, Bern, Schweiz, MS A.50, fol. 198v.

⁵⁹ NICOLE ORESME, *Algorismus proportionum*, ed. CURTZE, M., *Der Algorismus proportionum* des Nicolaus Oresme. Zum ersten Mal nach der Lesart der Handschrift R. 4°. 2. der Königlichen Gymnasialbibliothek zu Thorn herausgegeben, Berlin 1868.

⁶⁰ Zu seiner klingenden Geometrie siehe e.g. NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 240, 4 – S. 242, 14. NICOLE ORESME, *Algorismus proportionum*, S. 21, S. 28ff. und die Abbildungen. Insbesondere Fig. 12, Fig. 17 u.a. Oresme verwendete zur Illustration seiner rationalen und irrationalen Zahlenverhältnisse die klassischen Bogendiagramme der *Musica*, die auf Monochord-Streckenverhältnissen basieren.

4.2.5. Das Rechnen mit Potenzen und irrationalen Zahlen

So findet man im *Algorismus proportionum* die folgende Aufgabe *de quadratis musicis*: Es seien zwei Quadrate, die Diagonale des einen erklinge (*resonet*) zur Seite des anderen Quadrates im *sonus* der kleinen Sekunde (*dyesis vel semitonus*), d.h. im Verhältnis 256 zu 243, gesucht ist das Maßverhältnis dieser beiden Quadrate (Abbildung 5).⁶¹ Oresme betrachtet hier also musikalische Zahlen- bzw. Tonverhältnisse als geometrische Streckenverhältnisse und bindet sie illustrierend in unterschiedliche geometrische Sachverhalte ein, wie später dann in seinen *Quaestiones super geometriam Euclidis* und im *Tractatus de configurationibus*. Oresme Methode der Potenzrechnung besitzt aber noch eine zweite musikalische Wurzel in Gestalt der der musikalischen Mensuraltheorie des 14. Jahrhunderts, die ebenfalls kontinuierliche Größen, in diesem Falle Zeitstrecken, mit Zahlen assoziierte und derart das entsprechende Maß-System auf Potenzierungsprinzipien der Zahlen 2 und 3 aufbaute.⁶²

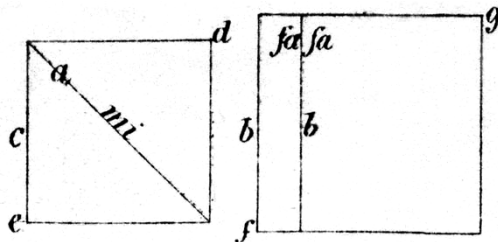


Abb. 5: Nicole Oresme, *Algorismus proportionum*,
Burgerbibliothek, Bern, Schweiz, MS A.50, fol. 195r.

Substantiell ist hierbei aber auch, dass für die mittelalterliche Mathematik das Verhältnis von Quadratseite und Diagonale als irrational galt, da der Euklidische Algorithmus der Wechselwegnahme ins Unendliche ging und somit kein gemeinsames Maß für diese beiden Strecken gefunden werden konnte.⁶³ Mit Oresmes *Algorismus* konnten derartige irrationale Verhältnisse durch Zahlen ausgedrückt werden: $(\frac{2}{1})^{\frac{1}{2}}$. Als irrational galten gemäß der konservativen pythagoreischen Zahlentheorie aber auch schon Proportionen von Proportionen (*proportio proportionum*) bzw. Potenzen mit gebrochenen Exponenten, weshalb die durch Oresmes Methode der Potenzrechnung möglich gewordene gleichmäßige Teilung eines Ganztons contra dem pythagoreischen Verdikt einem Para-

⁶¹ NICOLE ORESME, *Algorismus proportionum*, ed. CURTZE, M., S. 21f., S. 28 und Fig. 6.

⁶² Oresme entwickelt die so genannten „harmonischen Reihen“ durch Potenzierung der Zahlen 2 und 3, die ihm als Tonmaterial für seine Partialtontheorie dienen. Auch die Mensuraltheorie beruht auf Potenzierung der Zahlen 2 und 3, bzw. der fortschreitenden ternären oder binären Teilung von einer größten Einheit (*maxima*) ausgehend innerhalb vierer Grade oder Modi (1. *maximodus* = *maxima/longa*, 2. *modus* = *longa/brevis*, 3. *tempus* = *brevis/semibrevis*, 4. *prolatio* = *semibrevis/minima*). Bei einer durchweg ternären Teilung z.B. entspräche die *maxima* der 4. Potenz von 3, enthielte also 81 *minimae*, bei einer binären Teilung 16 *minimae* etc.

⁶³ Euklid hatte diesen Algorithmus in seinen *Elementa*, VII. Buch, Proposition 1 und 2 fixiert – eine Schrift, die dem Mittelalter zugänglich war.

digmenwechsel gleich kam: $(\frac{9}{8})^{\frac{1}{2}} \cdot (\frac{9}{8})^{\frac{1}{2}} = \frac{9}{8}^{\frac{2}{2}}$. Oresmes Innovation der Potenzrechnung mit gebrochenen Exponenten war die erste diesbezügliche Rechenmethode im Abendland und erlaubte zweihundertfünfzig Jahre vor Simon Stevin z.B. erstmalig in der Geschichte die mathematisch-technische Erzeugung eines unbegrenzten Tonmaterials. Derart wurde erstmals in der Musikgeschichte theoretisch auch die voll temperierte Stimmung möglich: $(\frac{2}{1})^{\frac{1}{12}} \cdot (\frac{2}{1})^{\frac{1}{12}} \dots \cdot (\frac{2}{1})^{\frac{n}{12}} = (\frac{2}{1})^{\frac{12}{12}}$. Oresme verwendete dieses Kalkül im Kontext seiner ausgeklügelten Partialtontheorie auch zur Erzeugung irrationaler Tonverhältnisse mit der Tendenz zum Partialtonkontinuum (weißes Rauschen), woraus sich zugleich seine originäre Theorie der Steigerbarkeit des Irrationalitätsgrads ableitete.⁶⁴

Auch die Methode des Rechnens mit irrationalen Zahlen schloss derart die problematische Nahtstelle *continuum-discretum* und das Inkommensurabilitätsproblem entschärfte sich. Diese Schritte besitzen eine besondere Bedeutung angesichts der Tatsache, dass dem Aspekt der Irrationalität im 14. Jahrhundert über das Mathematische hinausgehend u.a. eine weltanschauliche, ästhetische, wissenschaftsethische und astronomische Tragweite zugestanden wurde.⁶⁵

4.2.6. Entwicklung erster Funktionsbegriffe

Die oben bereits erwähnte Idee des Funktionsbegriffs, die Oresme in seinem *Tractatus de configurationibus* so brilliant durchgespielt hatte, wurde von der Musiktheorie seiner Zeit aber nicht nur in der Tonhöhe-Zeit-Funktion der Mensuralnotation, sondern auch in mehreren anderen Funktionszusammenhängen antizipiert. So waren im Mittelalter bekannte musikalische Funktionen Saitenlänge/Tonhöhe, Saitenspannung/Tonhöhe, Geschwindigkeit/Tonhöhe, Frequenz/Tonhöhe, Schlagstärke/Lautstärke (*Impetus/Lautstärke*), Materialstruktur/Klangfarbe, etc. In seinem *Tractatus de configurationibus* machte er von diesen Funktionen ausgiebigen Gebrauch.

Thomas Bradwardine (1290-1349), der allgemein anerkannte Vater des physikalisch-mathematischen Funktionsbegriffs, der mit seiner Funktionsgleichung für Kraft, Widerstand und Geschwindigkeit wenige Jahrzehnte vor Oresme ein wesentliches Formalprinzip der neuzeitlichen Naturwissenschaften formuliert hatte,⁶⁶ stand ähnlich wie dieser vor demselben Problem einer messtheoreti-

⁶⁴ Siehe NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 314, 50-56 u.a.

⁶⁵ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 175ff.

⁶⁶ Thomas Bradwardine formulierte in seinem *Tractatus de proportionibus* (1328) unter Bezug auf Aristoteles' dynamische Gesetze im 7. Buch der Physik eine adäquate mathematische Funktionsgleichung für dynamische Prinzipien, die von den Scholastikern im 14. Jh. universal auf sämtliche Bewegungsphänomene übertragen wurde. Die doppelte Geschwindigkeit = Quadrierung des Quotienten aus Kraft (p) und Widerstand (r): $(\frac{2p}{1r})^2 \equiv 2v$ Bradwardines Funktionsgleichung ist eine logarithmische Abhängigkeit: $n \cdot v = (p \div r)^n$ (n = Variable) oder in moderner Schreibweise: $v = \log \frac{p}{r}$ oder mit Variable $n \cdot v = \log \left(\frac{p}{r}\right)^n$ Im heutigen Sinne ist diese Formel falsch, da aus

schen und naturphilosophischen Legitimation für die Kompatibilität von Bewegungsgrößen (*continua*) entsprechend der Homogenitätsforderung wie auch für deren Identifizierung mit Zahlen (*discreta*). Denn ohne diese hätten seine Rechenmethode mit Bewegungsgrößen und damit sein Funktionsbegriff keine Anerkennung gefunden. Und wie Oresme, so fand auch er diese Legitimation durch das musikalische Paradigma der Identifizierung von Tonverhältnissen als Bewegungsgrößen mit Quantitäten.⁶⁷ Gemäß dieser elementaren Modellfunktion der Musik ist es auch kein Zufall, dass die ersten graphischen Darstellungen von Kräften, Widerständen und Geschwindigkeit in den mittelalterlichen Handschriften wie auch bei Oresme wie selbstverständlich auf die traditionellen Bogendiagramme zur Darstellung musikalischer Proportionen zurückgriffen.

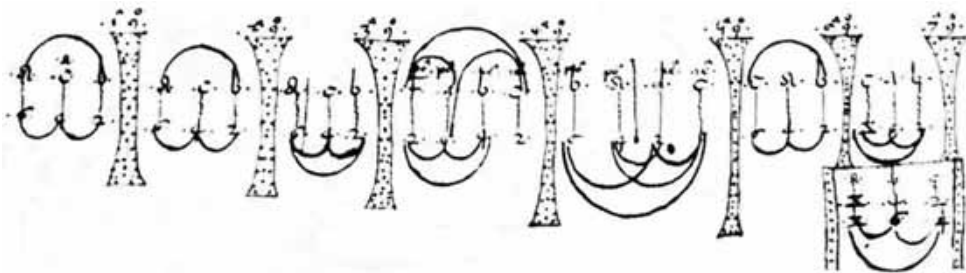


Abb. 6: Richard Swineshead, *Liber calculationum*, MSS Biblioteca Universitaria, Pavia, Italien, Aldini 314, p. 151.

4.2.7. Vorwegnahmen der analytischen Geometrie

Die ersten Ansätze einer analytischen Geometrie gehen ebenfalls auf die Musik zurück, denn Oresme transformierte, wie oben gezeigt, aus der *Musica* seine graphische Konfigurationsmethode in Gestalt eines mathematischen Koordinatensystems. Dieses System erlaubte die Abbildung und Analyse von sukzessiven Qualitäten und Bewegungen durch die geometrische Ermittlung des Integrals einer Bewegung,⁶⁸ die Exemplifizierung infinitesimaler Bewegungsprobleme, die Formulierung elementarer physikalischer Funktionen, Maßbegriffe und Regeln wie z.B. die sogenannte „Äquivalenzregel des mittleren Grades“, die Geschwindigkeit-Zeit-Weg-Funktion, den Begriff der Wärmemenge, der Entropie etc.⁶⁹ Doch auch wesentliche das Selbstverständnis der Neuzeit und

dem Verhältnis von Kraft und Widerstand nicht die Geschwindigkeit, sondern die Beschleunigung berechnet wird. Dennoch hat die Scholastik damit das Bewusstsein der Neuzeit vorweggenommen, nämlich mit dem Versuch eine einheitliche für alle dynamischen Prozesse gleichermaßen gültige mathematische Funktion zu finden.

⁶⁷ Siehe e.g. THOMAS BRADWARDINE, *Tractatus de proportionibus*, ed. CROSBY, H. L., Madison 1955, S. 106, 445ff.

⁶⁸ Oresme kannte das Differential noch nicht, vollzog aber in seinem *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum* und in seinen *Questiones super geometriam Euclidis* tatsächlich bereits eine graphische oder geometrische Integration.

⁶⁹ Siehe NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 408, Part III, cap. 7 - S. 433 cap. 13. Siehe auch TASCHOW, Nicole Oresme, S. 240ff. u.a.

Gegenwart antizipierende Auffassungen sind aufs Engste mit dem Modell Musik verknüpft:

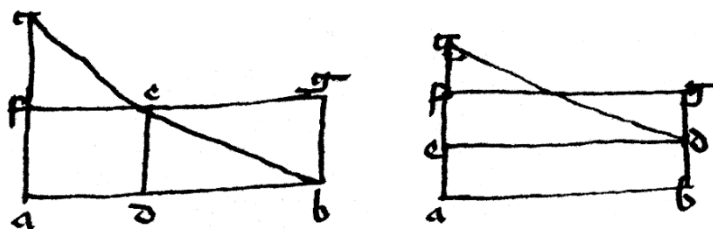
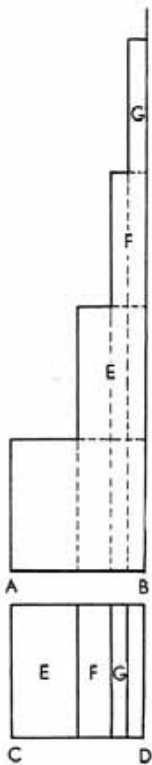


Abb. 7: Äquivalenzregel des mittleren Grades. Nicole Oresme, *Tractatus de configurationibus*, British Library, London, England, Sloane MSS 2156, fol. 191r.⁷⁰

Das Diagramm (Abb. 7) verdeutlicht in Vorwegnahme des Cartesischen Koordinatensystems die im 14. Jh. heiß diskutierte Äquivalenzregel, die besagt dass eine uniformite difforme Intensitätsänderung oder örtliche Bewegung einer gleichförmigen Intensität oder Bewegung des mittleren Grades entspricht. Für die Richtigkeit dieses Postulats bringt Oresme hier erstmals in der Geschichte einen geometrischen Beweis. Voraussetzung dafür sind a) sein Theorem der *quantitas qualitatis*, die sich bei ihm aus dem Produkt der *longitudo* (Zeit oder Wegstrecke) und der *latitudo* (Intensität oder Geschwindigkeit) ergibt und somit geometrisch dem Flächeninhalt der resultierenden Figur entspricht; b) sein Theorem der *linea summitatis*, die dem resultierenden Graphen des Cartesischen Koordinatensystems entspricht. Die Abszisse ist bei Oresme allgemein mit der *longitudo* gleich Wegstrecke oder Zeit und die Ordinate mit der *latitudo* = Geschwindigkeit zu identifizieren. Trägt man auf der Abszisse als Zeitachse nun die verschiedenen sukzessiven Geschwindigkeiten ab, erhält man über die Resultierende bei einer uniformen Bewegung ein Rechteck und bei der uniformiter-difformen Bewegung ein Dreieck oder Trapez. Diese entstandenen Figuren und Flächeninhalte kann man vergleichen und derart auch die verschiedenen Bewegungen.

Oresme beweist hier also graphisch, dass ein Objekt in einer uniformiter-difformen Bewegung (gleichmäßig beschleunigte Bewegung) in gleicher Zeit die gleiche Wegstrecke zurücklegt wie ein Objekt in einer uniformen Bewegung (gleichförmige Bewegung) des mittleren Grades der uniformiter-difformen Bewegung, denn die Zeitstrecke auf der Abszisse ist die gleiche, und die resultierende Fläche (Oresmes *quantitas qualitatis*) gleich der Weg ist ebenfalls der gleiche. Letzteres bildet quasi eine Vorwegnahme der analytischen Geometrie Descartes, speziell der geometrischen Ermittlung des Integrals, denn die resultierende Fläche (*quantitas qualitatis*) ist das Integral des Gesamtweges, also die Summe der vielen unendlich kleinen Wege, die in der Gesamtzeit zurückgelegt wurden.

⁷⁰ Ediert in Nicole Oresme, *De configurationibus*, Part III, cap. 7, S. 408-412.



Auch hierbei handelt es sich um eine Vorwegnahme der analytischen Geometrie Descartes. Oresme illustriert in diesem Diagramm graphisch unendliche Reihen, die er geometrisch erzeugt durch die fortlaufende Halbierung einer Rechteckfläche 2×1 und die darauf erfolgende treppenförmige Aufeinanderstellung dieser Teilflächen. Diese Treppe betrachtet Oresme ganz im Sinne seiner aus der Musik entlehnten graphischen Konfigurationsmethode als Darstellung einer ungleichförmigen Bewegung, die arithmetisch einer konvergenten unendlichen Reihe entspricht:

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^n} = 2$$

Derart beweist er, dass eine Summe von unendlich vielen proportional abnehmenden Teilen dennoch endlich ist oder physikalisch, dass eine Geschwindigkeit unendlich groß werden kann, während ihre resultierende *quantitas velocitatis* (der Weg) endlich bleibt.

Abb. 8: Geometrische Darstellung infinitesimaler Sachverhalte. Nicole Oresme, *Questiones super geometriam Euclidis, quaestio 4, Fig. 6.*⁷¹

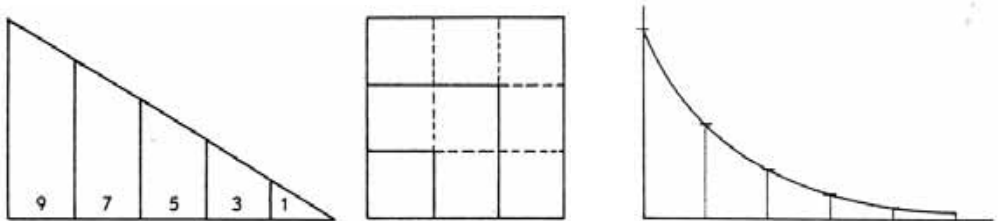


Abb. 9-11: Geometrische Integration (9, 10),⁷² Darstellung infinitesimaler Sachverhalte (11)⁷³ nach Nicole Oresme: *Questiones super Geometriam Euclidis, questiones 14.*

Auch bei diesen Diagrammen handelt es sich wieder um graphische Integrationen gemäß der in Abb. 7 und 8 erläuterten Methode. Abb. 9 ist eine ununiformer-diffforme Bewegung, deren resultierende Flächen im Sinne der In-

⁷¹ Geometrische Darstellung infinitesimaler Sachverhalte. NICOLE ORESME, *Questiones super geometriam Euclidis*, ed. BUSARD, H. L. L., Leiden 1961, *quaestio 4*, S. 9, 16 – S. 10, 22, Fig. 6.

⁷² Geometrische Integration. NICOLE ORESME, *Questiones super geometriam Euclidis, quaestio 14*, S. 37, 29 – S. 41, 22, Fig. 25 und Fig. 26.

⁷³ Geometrische Integration. NICOLE ORESME, *Questiones super geometriam Euclidis*, ed. BUSARD, H. L. L., Leiden 1961, *quaestio 4*, S. 9, 16 – S. 10, 22, Fig. 4.

tegration auf einfachere geometrische Formen wie Quadrat und Dreieck (Abb. 10) zurückgeführt werden. Abb. 11 entspricht einer difformiter-difformen Bewegung mit einem resultierenden Graphen, der einen infinitesimalen Sachverhalt wiedergibt.

4.2.8. Die Entdeckung der Irrationalität, Inkommensurabilität und Komplexität der Welt

Dies betrifft z.B. Nicole Oresmes äußerst moderne naturphilosophisch-mathematische Einsicht in die weitestgehende Inkommensurabilität und Irrationalität der natürlichen Verhältnisse und damit in die Unendlichkeit der Welt. Diese überwiegende Irrationalität und Unendlichkeit liegt laut Oresme im Wesen der Kontinua begründet, die eine unendliche Anzahl möglicher Verhältnisse beinhalten, von denen nur die wenigsten rational sind.⁷⁴ So führt für Oresme eine begrenzte Anzahl akustischer und musikalischer Parameter (*intensio, fortitudo, acuties* etc.) durch deren unendliche Zahl möglicher Verhältnisse zu einer unendlichen Variabilität der Musik.⁷⁵ Da nach Oresme die gesamte Natur einen Kontinuumscharakter aufweist, gilt dieses musikalische Irrationalitäts- und Unendlichkeitspostulat paradigmatisch für sämtliche natürliche Phänomene.

Was Oresme mit dieser Komplexität produzierenden *machina musica* formulierte, ist im Grunde genommen dasselbe, auf was im 20. Jahrhundert die auf Computerverfahren beruhende Chaostheorie hinwies, nämlich das aus den einfachsten Formeln durch Iteration eine hochkomplexe Welt mit nicht vorhersagbarem Verhalten entsteht.⁷⁶

So war es nur konsequent, dass Oresme diese mathematisch-musikalisch determinierte Unendlichkeitsauffassung der Komplexität, Irrationalität und Inkommensurabilität konsequenterweise auch auf die antike Idee der *musica mundana*⁷⁷ ausdehnte, womit seine Irrationalitätsauffassung zugleich auch eine ästhetisch-ethische Gewichtung erhielt: In seinem *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi*⁷⁸ verteidigte er seine progressi-

⁷⁴ NICOLE ORESME, *De commensurabilitate*, S. 312, 360-367, S. S. 320, 457-466, S. 294, 120f., NICOLE ORESME, *Ad pauca respicientes*, ed. GRANT, EDWARD, Nicole Oresme: *De proportionibus proportionum* and *Ad pauca respicientes*, Madison 1966, S. 384, 33 – S. 386, 38, Supposition I und II. Vgl. dazu GRANT, EDWARD, ebd. S. 75, S. 82f, S. 85ff., 88ff., S. 122. Siehe auch NICOLE ORESME, *De proportionibus proportionum*, S. 246, 33-35. Siehe ebenfalls TASCHOW, Nicole Oresme, S. 143ff., S. 179ff. u.a.

⁷⁵ NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 324, 2-21.

⁷⁶ NICOLE ORESME, *De causis mirabilium*, S. 278, 73- 84. Vgl. auch *De causis mirabilium*, S. 216, 323-325, S. 292, S. 329, 694-700.

⁷⁷ Hierbei handelt es sich um eine reine Metapher, denn Oresme lehnte die Theorie einer real erklärenden Sphärenmusik aus physikalisch-akustischen Gründen radikal ab. Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 181.

⁷⁸ NICOLE ORESME, *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi*, in: *Nicole Oresme and the Kinematics of Circular Motion*, ed. GRANT, EDWARD, Madison, Milwaukee, London 1971.

ve Theorie der Inkommensurabilität und Difformität der Himmelsbewegungen⁷⁹ genau mit dieser Komplexität erzeugenden *machina musica*. So setzt er gegen die naive pythagoreische Auffassung der uniformen und regulären Himmelsbewegungen, zum Ausdruck kommend in der sich ewig wiederholenden, in reinen Konsonanzen erklingenden Himmelsmusik, die durch Inkommensurabilität und Difformität der Himmelsbewegungen zu Stande kommende unendliche Weltmusik. Dies ist zugleich eine Entscheidung für das Primat seiner geometrischen Methode contra der konservativen Arithmetik, die er mit der Auffassung von der Kommensurabilität auf der Basis der reinen Konsonanzen als diskreten Zahlenverhältnissen identifiziert hatte: Denn wenn die Himmelsbewegungen kommensurabel wären, würden sie immer wieder dasselbe Lied spielen. Dies wäre aber langweilig und würde nur Ekel erzeugen. Nur die Schöpfung von ständig Neuem könne erfreuen und ein Sänger, der nicht die Fähigkeit die Musik variierend zu gestalten besäße, wäre ein schlechter Musiker und als Kuckuck zu bezeichnen.⁸⁰ Das heißt also, Gott als Komponist einer unendlichen sich niemals wiederholenden Weltmusik und damit einer in jedem Punkt einzigartigen, sich niemals wiederholenden Welt. In diesem Kontext ist auch Oresmes spektakuläre, ethisch gewichtete Auffassung vom endlosen Fortschreiten menschlichen Wissens zu sehen.⁸¹

4.2.9. Entwicklung neuer dynamischer Systemmodelle für Komplexität

Schließlich suchten die Scholastiker des 14. Jahrhunderts auch nach mathematischen Modellen, die ihrer neuen Auffassung von der Natur als einem hochkomplexen dynamischen System adäquaten Ausdruck verleihen konnten. Eine fruchtbare Quelle bildeten diesbezüglich wiederum musikalische und somit angewandt mathematische Modelle, die man mit der aristotelischen *materia-forma*-Physik und der Vier-Elementenlehre des Empedokles verknüpfte. Nicole Oresme entwickelte derart auf der Basis der musikalischen Prinzipien der Inkommensurabilität, Irrationalität, Komplexität und der damit verbundenen unendlichen Variationen in seinen *Questiones super de generatione et corruptione*, in der verlorengegangenen Schrift *Tractatus de perfectione specierum* wie auch im *Tractatus des configurationibus*⁸² ein mathematisch determiniertes dynamisches Strukturmodell für die Konstitution der im Aristotelisch-scholastischen Sinne vordem fixen substantiellen Arten und der dynamisch veränderlichen Individuen, welches Prinzipien der Systemtheorie, Selbstorganisation und Evolution vorwegnimmt: Durch die Analogisierung der musi-

⁷⁹ Vgl. auch BLUMENBERG, HANS, *Der Prozess der theoretischen Neugierde*, Frankfurt a. M. 1973, S. 154ff.

⁸⁰ NICOLE ORESME, *De commensurabilitate vel incommensurabilitate*, S. 316, 402-406. Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 184ff., S. 186ff., S. 200ff. u.a.

⁸¹ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 184f.

⁸² NICOLE ORESME, *Quaestiones super De generatione et corruptione*, ed. CAROTI, STEFANO, in: Veröffentlichungen der Kommission für die Herausgabe ungedruckter Texte aus der mittelalterlichen Geisteswelt, Bd. 20, München 1996, S. 275, 5ff. – S. 285, 249. NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 238, 1ff., S. 246, 28.



kalischen Qualitäten mit den die Arten und Individuen konstituierenden „ersten und zweiten Qualitäten“ (Empedokles) wird das Individuum zu einem selbstorganisierenden dynamischen System, dessen Aufgabe in der dynamischen Aufrechterhaltung eines möglichst optimalen Systemzustands gegenüber störenden Umwelteinflüssen besteht. Dieser äußere Regelkreis wirkt wiederum zurück auf die substantielle *forma* und erhält derart auch artbildende Funktion ganz im Sinne unseres heutigen evolutionären Prinzips der Anpassung und Modifizierung des Genmaterials.⁸³

Abb. 12: Jacobus de Sancto Martino, *De perfectione specierum*⁸⁴

4.2.10. Psychologisierung der Messtheorie und messtheoretische Preisgabe des Exaktheitsanspruchs

In Kap. 3.3. hatten wir bereits den stark psychologisierenden Zugang des 13./14. Jahrhunderts zum Messen vorgestellt. Ein wesentliches diesbezügliches Erkenntniswerkzeug bildete für Oresme die akribische Untersuchung akustischer und hörpsychologischer Phänomene, durch die ihm grundsätzliche Einsichten in die Prinzipien reflexiver physikalischer Bewegungen (Schwingungen) gelangen. Oresme entwickelte am Exempel der Schallausbreitung die erste wellenmechanische Theorie des Energietransports, die er dann auch auf seine spektakuläre Lichttheorie übertrug. Erst diese Physikalisierung erlaubte in der Folge Einsichten in die Konstruktivität wahrnehmungspsychologischer Prozesse. So gelangen ihm bereits erste wesentliche Erkenntnisse der Physiologie und Psychologie der Wahrnehmung, mit denen teilweise gar Wissen des 19./20. Jahrhunderts antizipiert wurde: Dies betrifft e.g. die Ermittlung von Wahrnehmungsschwellen und Grenzen des sinnlichen Auflösungsvermögens, an denen er einerseits die systemimmanente Ausschnitthaftigkeit und Verzerrung der Wahrnehmung (Spezifität und Selektivität) erfasste. Darüber hinaus erkannte er am Beispiel der Schwingung und der damit verbundenen Partialtöne, dass diese Wahrnehmungsgrenzen psychologisch nicht als Informationsverlust, sondern im Gegenteil als wahrnehmungskonstituierende Elemente zu verstehen sind. Denn erst durch diese Wahrnehmungsgrenzen werden Einzelschwingungen in der kognitiven Verarbeitung zu einem kontinuierlichen Ton zusammengesetzt und die objektiv quantifizierbaren Partialtöne zu einer subjektiven Klangfarbe ver-

⁸³ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 100ff., S. 206ff., insbesondere S. 211-217.

⁸⁴ Eine geometrische Darstellung der Arten im Sinne der kontinuierlichen Steigerung des Seins frei nach Oresmes Konfigurationsmethode. JACOBUS DE SANCTO MARTINO, *De perfectione specierum*, Bayerische Staatsbibliothek, München, Deutschland, *codices latini*, M 26838, fol. 80r. Siehe auch MS Vat. Chis. F. IV. 66, 7v.

schmolzen.⁸⁵ Diese psychologischen Einsichten hatten grundsätzliche Folgen für die scholastische Messtheorie, da derart einerseits die Grenzen menschlicher Erkenntnisfähigkeit ausgelotet wurden. Andererseits führte die Einsicht, dass die Begrenztheit der Wahrnehmung selbst bereits ein konstitutives Element der Wahrnehmung war, pragmatisch zur messtheoretischen Preisgabe des Exaktheitsanspruchs. Denn letzterer hätte nur unter der Voraussetzung einer erkenntnistheoretisch naiven Abbildtheorie einen Sinn gehabt. So formulierte Oresme aus kognitionspsychologischen Einsichten sogar bereits ein statistisches Wahrnehmungsgesetz der „Selbstregulation der Wahrnehmungsunschärfe mit zunehmender Urteilstiefe“ mit der Konsequenz, dass jegliche Wahrnehmung nicht mehr als ein statistischer Wahrscheinlichkeitswert sein kann.⁸⁶ Die mess- und erkenntnistheoretische Preisgabe des Exaktheitsanspruchs in der Physik erwächst u.a. aus diesen psychologischen Einsichten. Denker wie Oresme sind diesen pragmatischen Weg nicht nur gegangen, sondern haben ihn ethisch positiviert, z.B. indem sie dieses „systemimmanente Nichtwissen“ als ewigen Motor des Wissenschaftsprozesses begriffen.⁸⁷

4.2.11. Die *Musica* und die Diskussionen um das Wesen des Kontinuums

Auch aus den umfassenden scholastischen Untersuchungen zum Kontinuum erwuchs viel Neues. Man thematisierte Stetigkeitsprobleme diffomer Bewegungen, die aristotelische *quies media*, das aktual Unendliche, Prozessübergänge oder auch Überlegungen bezüglich einer möglichen atomistischen Struktur des Kontinuums. Letztere Idee spielte gerade bei der Frage nach der Bildung von Einheiten und damit nach der Mess- und Zählbarkeit physikalischer Größen eine wesentliche Rolle (e.g. Quadrat-Diagonale-Paradoxum).

Denkwürdigerweise suchten die Scholastiker im Unterschied zur Gegenwart einen für physikalische und mathematische Sachverhalte gleichermaßen gültigen Kontinuumsbegriff, was ein Hinweis auf die bewusstseinsevolutionär noch stärkere Gegenständlichkeit ihres Denkens ist. Und überall spielte die Musik eine wichtige Rolle. Oresmes graphische Konfigurationsmethode wäre ohne seine Abstrahierung der Monochordsaite als *longitudo* oder *qualitas linearis* nicht möglich gewesen. Denn Oresme richtete auf dieser *longitudo* als Basis je nach dem Grad der räumlichen Intensitätsverteilung der Qualität senkrecht die Intensionslinien oder *latitudines* auf und erhielt in der Konsequenz eine resultierende *linea summitatis*. Diese Vorstellung war entsprechend der konservativen mathematischen Kontinuumstheorie seiner Zeit höchst unorthodox, da nach

⁸⁵ Oresmes Hinweise auf diese wahrnehmungspsychologischen Phänomene sind so zahlreich, dass eine Aufzählung dieser relevanten Textpassagen in diesem Rahmen nicht durchführbar ist. Seine gesamte Tontheorie, insbesondere seine spektakuläre Partialtontheorie in *de configurationibus* beruht auf diesen „konstruktiven Grenzen“ der Wahrnehmung. In *de causis mirabilium* hat er gar ein ganzes Buch diesem Thema gewidmet. Siehe dazu e.g. TASCHOW, Nicole Oresme, S. 117ff., S. 142ff. sowie das 3. Buch (Der Brückenschlag zwischen dem Ich und der Welt) und das 4. Buch (Das Wunder einer fehlerfreien Wahrnehmung) ebd.

⁸⁶ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 810ff., S. 820ff.

⁸⁷ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 177ff., S. 184.

Euklid eine unendlich große Punktmenge auf Grund der Ausdehnungslosigkeit eines Punktes niemals eine Linie und analog eine unendliche Linienmenge niemals eine Fläche ergeben konnte.⁸⁸ Mit seiner physikalisierten „klingenden Geometrie“ überwand Oresme also theoretische Begrenzungen der überkommenen Kontinuumsauffassung und machte derart den Weg frei für neue Mathematisierungsmethoden.

Auch im Rahmen der Untersuchung von Schwingungsvorgängen wurden Kontinuums- oder Stetigkeitsprobleme diffomer Bewegungen problematisiert und das aristotelische Problem der *quies media* diskutiert.⁸⁹ Das musikalische Modell lieferte für die potentiell unendlich teilbaren Kontinua exemplarisch aber auch natürliche und pragmatisch willkürliche Einheiten und damit eine erste Brücke zwischen *continuum* (Geometrie) und *discretum* (Arithmetik).

Schließlich und endlich erhalten auch Oresmes Beschäftigungen mit unendlichen geometrischen Reihen⁹⁰ in der Musik eine interessante sinnlich-empirische Einlösung in Gestalt der mit seiner Partialtontheorie verbundenen Theorie der unendlichen Steigerbarkeit des Irrationalitätsgrades und der Addition dieser irrationalen Tonverhältnisse hin zu einem Partialtonkontinuum (weißes Rauschen).⁹¹

5. Resümee

Wir sind am Ende unserer kleinen Reise zu den Anfängen der Mathematisierung im späten Mittelalter angekommen. Wenn wir diese Geschichte mit dem Wissen der heute Geborenen überblicken, halte ich drei Dinge des Resümierens für besonders wert:

5.1. Verlust an Wirklichkeit

Die symptomatische Abwertung des Individuellen und Sinnlichen in den antiken und mittelalterlichen Wissenschaften entsprang in starkem Maße dem seit Platon und Aristoteles sprachphilosophisch determiniertem Wissenschaftsverständnis, gemäß dem man nach dem wesenhaften Allgemeinbegriff strebte und die Akzidenzien wie Farbe, Größe, Bewegung etc. begriffshierarchisch und erkenntnistheoretisch eben nur die unterste und damit niederste Einheit darstellten. Dass es in der wissenschaftlichen Entwicklung seit dem 13. Jahrhundert

⁸⁸ Siehe e.g. NICOLE ORESME, *De configurationibus*, S. 172, 15-19. NICOLE ORESME, *Quaestiones super de generatione et corruptione*, S. 227, 52-59, TASCHOW, Nicole Oresme, S. 78ff. u.a.

⁸⁹ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 124ff. u.a.

⁹⁰ Oresme untersucht in Teil III seines *Tractatus de configurationibus* mittels unendlicher Reihen bereits infinitesimale Probleme wie z.B. die unendlich ansteigende Geschwindigkeit (*intensio*) bei einem endlich bleibenden Weg (*quantitas velocitatis*) gemäß der konvergenten unendlichen Reihe: $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots \frac{1}{2^n} = 2$.

⁹¹ Siehe TASCHOW, Nicole Oresme, S. 143ff.

dennoch zur Aufwertung der Quantität als niederster Kategorie hin zu einem zentralen Begriff der Welterfassung kam, ist mehr als beachtenswert und verlangt nach weiterführenden Fragen und Antworten, die ich teilweise bereits zu realisieren versucht habe.⁹² Die neuzeitlichen Naturwissenschaften basieren bis zum heutigen Tage auf einer immer weiter fortschreitenden Entfernung ihrer Modelle von der Alltagserfahrung, also auf einem Prozess des stetigen Auseinanderdriftens von sinnlicher Wahrnehmung und intelligiblen Wirklichkeitsmodellen. Gerade an der Geschichte des Zählens, Messens und Quantifizierens wird diese Entwicklung besonders greifbar, da diese historischen Mathematisierungsversuche nicht nur Ausdruck, sondern zugleich auch Motor dieses Prozesses waren.

5.2. Verlust an Verantwortung

In den scholastischen Wissenschaften des 13./14. Jahrhunderts finden wir ein teilweise geradezu konstruktivistisches Wissenschaftsverständnis, das sich zu dem naiven Objektivismus der wissenschaftlich-technischen Revolutionäre des 17. Jahrhunderts und der Folgezeit geradezu diametral verhält. Der neuzeitliche wissenschaftlich-technische Fortschritt wurde erkaufte durch eine letztlich im Wesen unserer Sprache und damit im Denken liegende objektivistische Fokussierung auf Kosten einer komplexen Gesamtweltschau, womit der Erfolg dieses wissenschaftlichen Unternehmens nicht auf dessen angeblich polyvalenter Leistungsfähigkeit beruht, sondern vielmehr auf dem Trick diese Einengung des Erklärungshorizontes quasi als „Erklärungstotalität zu verkaufen“.⁹³ Hinter dem scholastischen und neuzeitlichen Verständnis stehen zwei diametral verschiedene Auffassungen oder Glaubenssätze von Wissenschaften, auf der einen Seite die eines schöpferischen und ehrfürchtigen Prozesses, in dem ein absoluter Wahrheitsanspruch systemimmanent immer versagt bleibt und bleiben soll,⁹⁴ und auf der anderen Seite die Auffassung von den Wissenschaften als einem Prozess des passiven Findens und Abbildens der Welt mit dem Anspruch einer

⁹² Die Frage zerfällt in fünf Unterfragen: 1. Was erzeugte in der Spätscholastik das vehemente Bedürfnis nach Quantifizierung und Metrisierung der Natur? 2. Welche letzten Gründe führten zur Annahme einer Quantifizierbarkeit der Welt? 3. Was machte man, von einer Metaebene aus betrachtet, über die Spezialfälle hinausgehend eigentlich mit dem Werkzeug Quantität? 4. Wie ist das Phänomen einer Mathematisierung der Natur ohne technisches Messen, ohne empirisch verifizierbare physikalische Größen und ohne praktische Notwendigkeiten im 14. Jh. zu erklären? 5. Wie konnten die Scholastiker, obwohl sie gemäß heutigem Empirieverständnis den zweiten Schritt vor dem ersten taten, dennoch zu teilweise richtigen oder besser viablen Lösungen gelangen? Siehe dazu TASCHOW, Nicole Oresme, S. 251ff. u.a.

⁹³ Zur Erreichung dieses positiven Scheins der Erklärungstotalität bedienen sich die Wissenschaften derselben Methoden wie die traditionellen Religionen der Welt: Sie sind erklärungs- und sinnstiftend; sie berufen sich auf kanonische Texte und Inhalte, die einer allgemeinen Kritik durch nicht eingeweihte Normalbürger weitestgehend entzogen sind; sie beanspruchen Erklärungstotalitäten zu liefern, die aber einzig durch Verengung des Blick- oder Erklärungsbereiches erreicht werden; sie sind autoritär und autorisierend; sie schwören ihre Mitglieder auf spezifische Denk- und Handlungsweisen ein; sie sind expansiv, repressiv und stehen kurz davor eine quasi „Weltreligion“ zu werden.

⁹⁴ Vergl. e.g. TASCHOW, Nicole Oresme, S. 184ff, S. 869ff. u.a.

Erklärungstotalität. Der Glaube an eine Welt, die man finden und abbilden kann, hat jedoch einen Verlust an Verantwortung für das eigene Tun zur Folge, da in ihm implizit die Legitimation des eigenen Tuns bereits enthalten ist: Das heißt, man geht von der impliziten Voraussetzung aus, nur eine vorgefundene Faktizität wenngleich mit gewissen Verzerrungen abzubilden und mit der technischen Umsetzung des derart erworbenen Wissens nur das in der Natur enthaltene Potential zu aktivieren. Der schöpferische Aspekt der wissenschaftlich-technischen Umgestaltung der Lebenswelt wird bis zum heutigen Tage weitestgehend unterschlagen und damit auch die Verantwortung für selbige. Doch diese Verschiebung scheint mir die zentrale Zäsur zur Neuzeit zu sein: die Auffassung von einer Welt, die einerseits als vollständig menschenverfügbar angesehen wird und in der man zugleich die Verantwortung für das eigene Tun von sich schiebt. Die eigenschaftslose von allem Wesentlichen entkleidete „objektive“ Quantität war und ist das ideale Werkzeug dieser rücksichtslosen neuen Weltanschauung. Doch wider das Prinzip der Masse kann die Welt niemals mit Quantität und Sprache adäquat eingefangen werden.

5.3. Die scholastischen Veteranen der Neuzeit

Die Frage, inwieweit die scholastischen Wissenschaften des 13./14. Jahrhunderts im vormathematischen und mathematischen Bereich die Voraussetzungen der neuzeitlichen und modernen angewandten Mathematik geschaffen haben, muss mit einem eindeutigen Ja beantwortet werden. Trotz des kargen Nährbodens und der vielfachen Behinderungen schufen die Scholastiker, vielfach unabhängig und weit über die mathematischen Textbücher des Euklid und Boethius⁹⁵ hinausgehend, gerade auch mit der *machina musica* als Vehikel, zahlreiche neue Ansätze für eine Mathematisierung und Vermessung der Welt. Neben allen erstaunlichen Einzelleistungen liegt die weitaus bedeutendste Leistung der Scholastiker meines Erachtens in der allgemeinen Schaffung von messtheoretischen Voraussetzungen, quantitativ-metrischen Modellen, Begriffen, Denkformen und allem voran der generellen ideologischen Voraussetzungen und Überzeugungen bezüglich einer Mathematisierbarkeit der Welt. Diese überwiegend theoretischen Bausteine bildeten quasi Glaubenssätze und selbsterfüllende Prophezeiungen, die ab dem 17. Jahrhundert dann Schritt für Schritt in eine mess- und experimentalpraktische Wirklichkeit überführt wurden. Der entscheidende Unterschied zwischen den Mathematisierungsmethoden des späten Mittelalters und der Neuzeit liegt nicht in der angewandten operativen Zahl an sich, sondern in den besonderen Vorstellungen von dieser Zahl. Die angewandte mittelalterliche Proportionslehre arbeitete nämlich nicht mit Zah-

⁹⁵ Bezüglich des Messens betrifft dies insbesondere folgende Abschnitte der Euklidischen *Elementa*: Fragen wie Bedingungen der Messbarkeit: Buch 5, Def. 4, Kommensurabilität von Größen: Buch 10, 1. Def., Ähnlichkeit: Buch 6 etc. Boethius ist weniger durch die Proportionslehre der *Institutio Arithemtica* als vielmehr durch die musikalische Mensuraltheorie seiner *Institutio Musica* für die Scholastiker interessant gewesen. Die *musica* avancierte modellhaft für andere Disziplinen zur klassischen *scientia media* im Sinne einer angewandten Mathematik.

lenverhältnissen im heutigen Verständnis, sondern mit Verhältnissen von Objekten, die auch durch Zahlen ausgedrückt werden konnten. Zwischen Zahlen und Objekten bestand im scholastischen Verständnis also ein feiner aber entscheidender logischer und ontologischer Unterschied. Deshalb konnten Zahlen als Stellvertreter von Objekten terminologisch eben nur addiert, d.h. kombiniert werden und nicht wie unsere heutigen Zahlen auch multipliziert. Diese fehlende Universalität der mittelalterlichen angewandten Zahl ist jedoch einmal mehr ein deutliches Indiz für das bewusstseinsrevolutionär noch weitaus gegenständlichere Denken der Scholastiker, auf das wir schon in der Geschichte der Einführung der Null hingewiesen hatten, das den heute üblichen Abstraktionsgrad und Wirklichkeitsverlust entweder nicht realisieren wollte oder aber auch nicht konnte.

Wenn Hermann von Helmholtz, einer der Väter der modernen Wissenschaften, die Quantität „tief im Wesen unserer Begriffsbildung verankert“ sah⁹⁶, gehen wir noch einen Schritt weiter. Die Quantität ist nicht nur im Wesen unserer Sprache verankert, sondern die ureigenste Sprache des Bewusstseins schlechthin, da sie genauso reduktionistisch und informationsarm ist wie unser Bewusstsein. Ob wir nun bewusst hören, sehen, tasten etc. – überall bleiben uns als unüberschreitbare Kapazitätsgrenze der bewussten Wahrnehmung nur 15 bit/Sek., der 100 Mio. bit/Sek. unbewusster Wahrnehmung und etwa 100 Milliarden bit/Sek. Gesamtverarbeitungskapazität allein unseres Gehirns gegenüber stehen.⁹⁶ Wollen wir die hochkomplexe, unendlich informationsreiche Welt als fleißige Buchhalter und Archivare bewusst verwalten, müssen wir die Informationen drastisch reduzieren und packen. Die Quantität ist das Werkzeug dazu. Halten wir es jedoch mit Novalis und geben unserem diffusen Unbehagen gegenüber der Zahl nach, müssen wir nicht nur den Umgang mit der Zahl, sondern vielmehr den Umgang mit unserem Bewusstsein selbst verändern.

⁹⁶ Die ersten diesbezüglichen Messungen der Bandbreite des Bewusstseins erfolgten auf der Basis der Informations- und Kommunikationstheorie Claude Shannons (1948) bereits 1951 durch die amerikanischen Physiologen Wendell R. Garner und Harold Hake. Siehe GARNER, WENDELL, R. und HAKE, HAROLD, The amount of information in absolute judgements, in: Psychological Review, 58, 1951, S. 446-459. Zu mehr Bescheidenheit im Umgang mit dem Bewusstsein haben die Ergebnisse bis heute nicht geführt.