

Idee und Wirklichkeit des Perpetuum mobile im Mittelalter

von DIETRICH LOHRMANN

Überblick

Der Beitrag widerlegt unter Rückgriff auf zeitgenössische Naturphilosophie und Konstruktionsberichte die Anschauung, im Mittelalter habe die aristotelische Bewegungslehre keinen Platz für die Vorstellung eines Perpetuum mobile auf Erden belassen; die Zeit sei deshalb nicht inspirierend für Erfinder solcher Modelle gewesen, nur zwei Modelle des 13. Jahrhunderts seien bekannt. Tatsächlich schließt die Theorie auch bei bekannten Autoren wie Roger Bacon, Albertus Magnus, Johannes Buridan und Nikolaus Oresme Möglichkeiten solcher Bewegung nicht aus. Praktiker bemühten sich nach den Textzeugnissen während der gesamten Zeit um neue Konstruktionen. Mindestens zwei Autoren technischer Traktate äußern ihre Skepsis. Konrad Gruter aus Werden (1424) berichtet über eine siebenjährige Experimentierphase 1393-1400 am Papsthof einschließlich seiner Fehlschläge. Hintergrund sämtlicher Bemühungen war offensichtlich der drohende Energie mangel und die Suche nach neuen Formen der Energienutzung.

Abstract

This essay argues against the common assumption that, as a result of Aristotelian theories of motion, there was no conceptual space in late medieval times for the notion of a perpetual-motion device on earth. For in spite of the fact that only two *perpetuum mobile* models are known for the entire thirteenth century, medieval philosophy did not preclude the possibility of perpetual motion. Indeed, the works of well-known scientists like Roger Bacon, Albertus Magnus, John Buridan, and Nicholas Oresme all appeared to allow for it. Consequently, engineers and amateurs worked to develop new perpetual-motion designs throughout the late middle ages. Still, there were some skeptics. Konrad Gruter of Werden, for example, drafted a report in 1424 which dwelled on the failures of a set of *perpetuum mobile* experiments conducted at the Papal Court in 1393-1400. That this conceptual space for the idea of perpetual motion existed at all was due to the fact that an energy shortage began to emerge in the thirteenth century which fueled a widespread search for new sources and uses of energy.

Die Idee eines kontinuierlich laufenden Rades – ohne Antrieb, aber selbst antreibend – stammt bekanntlich aus Indien, vielleicht aus der Zeit vor dem 12. Jahrhundert. Bezeugt ist sie erstmals um 1150 im Werk des großen Hindu-Astronomen und Mathematikers Bhaskara, nun bereits in Form eines konkreten Modells, das den leichten Fluss des Quecksilbers nutzen will, um in einem Rad ein kontinuierliches Ungleichgewicht zu schaffen. Die Schwerkraft tätte ein Übriges, um das Rad zu drehen.¹ Dieses Rad war nicht die einzige Idee aus Indien, die schon am Anfang des 13. Jahrhunderts, vermittelt durch die arabische Kultur, nach Westeuropa gelangt war. Die indischen Zahlen, die Null und die neuen Formen des Rechnens, die sich im Positions- system der Zahlen eröffneten, trafen schon etwas früher ein. Ihre unübersehbaren Vorteile konnten nur als Empfehlung wirken.²

In Europa entwickelte sich die Idee vom Perpetuum mobile während der nachfolgenden Jahrhunderte kontinuierlich weiter. Die jeweils neuesten Errungenchaften der Mechanik, wie etwa Pumpen oder Archimedische Schraube, waren gerade gut genug, um in den Dienst der Sache zu treten. In dieser Entwicklung bildet die mittelalterliche Periode freilich den bislang am schlechtesten erforschten Abschnitt. Ziel dieses Beitrags ist es deshalb, zum einen die dokumentarische Basis für diese Periode zu verbreitern, und zum anderen, den Hintergrund der Suche nach neuen Formen von nutzbarer Energie herauszuarbeiten.

Bedingt durch ihr Bevölkerungswachstum und die vielfältige Entwicklung ihres Gewerbes war die Zeit des Hohen Mittelalters eine Zeit intensiver Suche nach vermehrtem Einsatz der Naturkräfte. Seit der Römerzeit nutzte man in Westeuropa zunehmend die Wasserkraft. Für die weiten Ebenen des nordwestlichen Europas, aber auch im Mittelmeerraum, reichte diese Energiequelle immer weniger aus. Die Ausweitung auf eine Sonderform der Wasserkraft, die Gezeitenenergie (Gezeitenmühlen sind in Irland seit dem 7. Jahrhundert bezeugt), war verbunden mit hohem Reparaturaufwand. Vor allem in dicht besiedelten Küstengebieten wie Flandern, dem östlichen England und der Normandie, bald auch im Rheinland, war es deshalb eine große Errungenschaft, als es ab etwa 1180 gelang, auch die Windkraft erfolgreich zum Antrieb von Maschinen zu nutzen. Um dieselbe Zeit ergaben sich weitere Fortschritte im militärischen Maschinenbau durch Einsatz schwerer Gegengewichte. Die neuen Trébuchet, Tribock oder auch Bliden genannten Schleudermaschinen nutzten die Schwerkraft und die Schwungkraft. In der zivilen Technik

-
- 1 Lynn White Jr., *Die mittelalterliche Technik und der Wandel der Gesellschaft*, München 1968, S. 105.
 - 2 Helmut Gericke, *Mathematik in Antike und Orient*, Berlin u. Heidelberg 1984, S. 184f. (*Mathematik I*); ders., *Mathematik im Abendland von den römischen Feldmessern bis zu Descartes*, Berlin u. Heidelberg 1990, S. 97ff. (*Mathematik II*); Charles Burnett, *The Introduction of Arabic Learning into England*, London 1997, S. 11ff. zeigt, dass die Nutzung hindu-arabischer Zahlen in Europa vereinzelt bereits im 11. Jahrhundert einsetzte.

entsprach dem im 13. Jahrhundert der Gewichtsantrieb der neuen mechanischen Uhren. Experimentell benutzte man mit Eifer auch schon Luftdruck, Vakuum, Magnetismus, Feuer und Dampf. Als Idealvorstellung galt die ständige und, wie man hoffte, perpetuierliche Drehung des Rades. Diese Vorstellung war, wie angedeutet, aus Indien gekommen. Wenn man die Welt, wie oft geschehen, als *machina mundi* auffasste, war es eine ernstzunehmende Vorstellung und keineswegs ein Wahn, zu versuchen, solche Modelle in funktionierende Maschinen umzuwandeln.

1. Forschungsstand: Eine Zeit ohne Inspiration für Erfinder von Perpetua mobilia?

Das späte Mittelalter, lange unterschätzt, ist als Zeit grundlegender Erfindungen im Laufe der Forschungen des 20. Jahrhunderts immer deutlicher hervorgetreten. Mehr und mehr setzt sich diese Sichtweise durch.³ Trotzdem soll es sich beim Rad mit kontinuierlicher Drehung (modern: Perpetuum mobile) anders verhalten haben. Die ersten Modelle aus dem 13. Jahrhundert wiesen in mehrfacher Hinsicht zwar weit in die Zukunft, doch blieben sie, so der bisherige Kenntnisstand, im 14. und 15. Jahrhundert zunächst ohne Nachfolger. Eine anregende neuere Arbeit von Gregor Wessels konstatiert eine angeblich fast 200-jährige Überlieferungslücke. Er schließt daraus, die Zeit sei „nicht inspirierend“ für Erfinder von Perpetua mobilia gewesen. Der Grund liege in der Dominanz des aristotelischen Weltbildes. Ihm widerspreche die Vorstellung von Bewegung aus sich selbst heraus. Natürliche Bewegung im sublunaren Bereich sei immer endlich. Auch die Kritik des berühmten französischen Naturphilosophen Johannes Buridan am Bewegungsgesetz des Aristoteles, seine neue Impetustheorie, die er außer auf die Sterne auch auf Wurf und freien Fall im irdischen Bereich anwenden wollte, ändere nichts an dieser Sicht. Erst mit der Annäherung an ein neues physikalisches Weltbild, wie es sich in der Zeit von Kepler bis zu Newtons Trägheitsgesetz ergab, hätten sich die Möglichkeiten erweitert, über neue Prinzipien beim Bau von Perpetua mobilia nachzudenken. Bis zum Ende des 16. Jahrhunderts sei, modern gesprochen, allein die Aufrechterhaltung eines ständigen „Differenzdrehmomentes“ im Rade erstrebgt worden. Erst danach seien neue Prinzipien hinzugekommen. Wessels bezeichnet sie als Energieadditionswandlung, vektorielle Schwerkraftüberwindung, Reversionsosmose und schließlich „Gnomkraftapplikation“. Fruchtbar für die Entwicklung der Perpetuum-Idee

3 Vgl. u.a. Wolfgang v. Stromer, Eine „Industrielle Revolution“ des Spätmittelalters, in: Ulrich Troitzsch u. Gabriele Wohlauf, Technik-Geschichte. Historische Beiträge und neuere Ansätze, Frankfurt a.M. 1980, S. 105-138; Karl-Heinz Ludwig u. Volker Schmidtchen, Metalle und Macht 1000-1600 (Propyläen Technikgeschichte, Bd. 2), Berlin 1992. Windkraft: Dietrich Lohrmann, Von der östlichen zur westlichen Windmühle, in: Archiv für Kulturgeschichte 7, 1995, S. 1-30.

in Westeuropa, so scheint es, wären demnach vor allem das 13. und das 17. Jahrhundert gewesen.⁴

Einen scheinbar überzeugenden Rückhalt für seine skizzierte Entwicklungslinie fand Wessels in der Annahme, die mechanische Idee der immerwährenden Bewegung habe „im Aristotelismus“ nicht die ihr entsprechende Theorie finden können, vielmehr herrsche dort der Widerspruch des Prinzips, dass alles, was sich bewegt, von anderem bewegt wird.⁵ Aristoteles kennt jedoch durchaus auch Bewegung aus sich selbst.⁶ Außerdem eröffnete er selbst seine Meteorologica mit der berühmten Annahme, dass die irdische Region irgendwie mit den oberen (himmlischen) Umläufen zusammenhängt, so dass ihre gesamte Kraft (*dynamis*) von dorther gesteuert werde und diese Kraft der Anfang jeglicher Bewegung (*kinesis*) sei.⁷ Bedenklich stimmt daher, dass auch eine der besten Kennerinnen der scholastischen Naturphilosophie, Anneliese Maier, zu der Auffassung gelangt ist, die großen Autoren des 14. Jahrhunderts hätten niemals nach einem Perpetuum mobile gesucht: „Sie wussten genau, dass so etwas nicht möglich ist, denn *vires infatigabiles* gibt es nicht im Bereich des irdischen Geschehens“. Maier geht noch weiter. Sie erkennt in dieser angeblichen, stillschweigenden Ablehnung durch die führenden Autoren der Zeit einen Grad wissenschaftlicher Reife, den selbst Leibniz als Konstrukteur eines wenig beachteten Perpetuums noch nicht besessen habe. Wenn für Max Planck das Prinzip von der Erhaltung der Energie nichts anderes sei als der Ausdruck der Erkenntnis, dass ein Motus perpetuus nicht realisierbar sei, dann dürfe man „wohl ohne allzu große Übertreibung den scholastischen Philosophen das Verdienst einer ersten, impliziten Entdeckung des Energieprinzips zuschreiben“.⁸

-
- 4 Gregor Wessels, Manierismen der technischen Zeichnung. Zur Ikonographie des Perpetuum Mobile, in: Hans Holländer (Hg.), Erkenntnis-Erfindung-Konstruktion. Studien zur Bildgeschichte von Naturwissenschaft und Technik vom 16. bis zum 19. Jahrhundert, Berlin 2000, S. 587-616, hier S. 590ff. u. 601f.
 - 5 Hans Blumenberg, Die Genesis der kopernikanischen Welt, Frankfurt a.M. 1975, S. 553.
 - 6 Aristoteles, Physik VII, 2 (Bekker 243a); Ich gebe hier drei lateinische Fassungen: *Omne igitur quod fertur aut et ipsum a se ipso movetur aut ab altero* (Hossfeld (s. dazu Anm. 9), S. 521 als Untertext zum Physikkommentar des Albertus Magnus). *Omne itaque quod fertur aut ipsum a se ipso movetur aut ab altero* (Aristoteles cum Averrois commentariis IV, Venedig 1562, f. 312 H (Neudruck Frankfurt a.M. 1962)). *Quicquid igitur fertur vel a se movetur vel ab alio* (Aristoteles Opera omnia graece et latine II, Paris 1860, S. 335). Vgl. auch Aristoteles latinus VII, 1-2 Physica. Translatio Vetus, ed. F. Boissier u. J. Brams, Turnhout 1990.
 - 7 Aristoteles, Meteorologica I, 2, (Bekker 339 a 20). Vgl. David Lindbergh, Die Anfänge des abendländischen Wissens, Stuttgart 1994, S. 287ff.
 - 8 Anneliese Maier, Metaphysische Hintergründe der spätscholastischen Naturphilosophie, Rom 1955, S. 268f. So auch schon dies., Das Lehrstück von den ‚vires infatigabiles‘ in der scholastischen Naturphilosophie, in: Archives internationales d’histoire des sciences 5, 1952, S. 6-44, hier S. 43f.

2. Motus perpetuum in der spätmittelalterlichen Naturphilosophie

Die weittragende Folgerung der Physikerin Anneliese Maier verdient eine nähere Prüfung, die durch eine umfassende Lektüre der Quellen abzusichern wäre. Erste Hinweise scheinen darauf hinzudeuten, dass die Ausgangslage im 13. Jahrhundert zunächst noch offen war. Auch im 14. Jahrhundert erklingen Stimmen, die den Erfolg einer kontinuierlichen bzw. perpetuierlichen Bewegung im irdischen Bereich nicht ausschließen. Der einflussreiche Physiskcommentar des Albertus Magnus mag als Ausgangspunkt dienen.⁹ Buch V bis VII beschäftigen sich, eng anschließend an Aristoteles und seinen arabischen Hauptcommentator Averroes, intensiv mit dem Thema der kontinuierlichen Bewegung. Ausführlich werden die Vorbedingungen für eine solche Bewegung definiert: Nur als räumliche Kreisbewegung ist sie vorstellbar, nur als solche erleidet sie keinerlei Unterbrechung. Aber eine solche Bewegung existiert. Folgte man Zenons provokativem Widerspruch, seinem Zweifel an der Bewegung grundsätzlich, dann würden nach Albert nicht nur sämtliche Konklusionen der Physik, sondern auch alle mechanischen Künste, welche die Natur imitieren, zerstört.¹⁰ Albert denkt hier an den irdischen Bereich und tut dies selbst im achten Buch, dessen zentrale Aufgabe darin liegt, den Beweis für die Existenz eines Motus perpetuus in Gestalt eines Primus motor der Himmelsbewegungen zu liefern. Aller Nachdruck liegt zunächst noch auf diesem Nachweis, nicht auf einer Scheidung von himmlischer und irdischer Physik. Auch wenn Albert am Anfang des achten Buches direkt fragt, ob es eine perpetuierliche Erstbewegung gebe, die auf Erden im Bereich der vergänglichen Dinge Ursache kontinuierlicher Bewegungsabläufe sei (*utrum sit aliquis unus motus primus perpetuus qui est causa continuae successionis motuum in inferioribus, in materia generabilium et corruptibilium*), kommt er keineswegs zu dem Schluss, dass solche Bewegung auf Erden nicht möglich sei, sondern fährt vorsichtig fort, er sage das nicht, weil er glaube, es gebe eine zu Gott gleich ewige Bewegung (*deo coaeternum*), sondern vielmehr um im Blick auf Zenons Paradox zu beweisen, zu keiner Zeit habe es Bewegung nicht gegeben und so werde es eine Zeit ohne Bewegung auch in Zukunft nicht geben.¹¹

9 Ausführlicher hierzu Dietrich Lohrmann, Motus continuus und Motus perpetuus in Technik und Naturphilosophie des späten Mittelalters, in: Andreas Speer (Hg.), Das Sein der Dauer (Miscellanea Mediaevalia, im Druck). Dazu vor allem der vorzügliche Index zur kritischen Edition von Albertus Magnus, Opera omnia IV, 2: Physica II, ed. Paulus Hossfeld, Münster 1993, S. 717 *motus continuus*, S. 720 *motus perpetuus*. Ob Albertus Magnus bereits eine in sich schlüssige Begrifflichkeit entwickelt hat, lasse ich offen. Die zahlreichen englischen Physikkomentare des 13. Jahrhundert, die Cecilia Trifogli, Oxford Physics in the Thirteenth Century (ca. 1250-1270), Leiden 2000, vorstellt, kann ich hier noch nicht berücksichtigen.

10 Albertus Magnus, Physik 8, 2, , ed. Hossfeld (wie Anm. 9), S. 582: *Nec ista dubitatio tantum est ad physica, sed est etiam ad destruendas omnes artes mechanicas quae physicam ... imitantur.*

11 Albertus Magnus, Physik 8, 1, 1, ed. Hossfeld (wie Anm. 9), S. 549: *Non autem nos aliquis existimet ita loqui de perpetuitate motus, quod putemus deo esse motum coaeternum,*

Differenziert sind auch die Bemerkungen Alberts zu einer Stelle der Meteorologica des Aristoteles, wo die Rubrik zwar verallgemeinert, die Bewegung (*motus*) der niederen Dinge werde verursacht durch die der oberen, aber nach Albert betrifft der Zusammenhang hier nicht die örtliche Bewegung, sondern natürliche Veränderungen von Pflanzen, Tieren, Bildung von Steinen und Erzen.¹² Die Möglichkeit eines kontinuierlich laufenden Rades ohne Antrieb wird bei Albert also direkt nicht erörtert.

Thomas von Aquin verfolgt in seinem Physikkommentar ebenfalls nicht das primäre Ziel einer Scheidung von himmlischem und irdischem Naturgeschehen. Auch bei ihm geht es zunächst wie bei Aristoteles um Nachweis und Definition von *primum mobile* und *primus motus* schlechthin. *Motus continuus* und *Motus perpetuus* bzw. *sempiternus* scheinen weniger deutlich getrennt als bei Albert. Sie sind praktisch synonym: Nichts hindere, dass eine nicht konträre Bewegung wie die Kreisbewegung ständig kontinuierlich und dauerhaft bleibe (*nihil tamen prohibet quin aliquis motus qui non est inter contraria sicut circularis motus, idem semper maneat continuus et perpetuus*).¹³ Um gleich darauf hinzuzufügen: Zwar sei jede Bewegung begrenzt, doch könne eine bestimmte Bewegung durch Wiederholung kontinuierlich und beständig werden (*Licet ergo omnis motus sit finitus secundum terminos, tamen per reiterationem aliquis motus potest esse continuus et perpetuus*). Das Material der Aussagen zum Thema ist sehr reich, nur wenig hervorzuheben. In der Lectio 19 zum achten Buch klärt Thomas, was er unter *perpetuus* versteht: Die potentiell perpetuierliche Bewegung habe Priorität vor der, die es nicht sein kann, denn nach Zeit und Natur steht das Dauerhafte vor dem nicht Dauerhaften (*Motus qui potest esse perpetuus est prior eo qui perpetuus esse non potest, quia perpetuum est prius non perpetuo, et tempore et natura*). Dann fährt er wie bei Albert fort in Bezug auf den *motus reflexus*: Nur Kreisbewegung kann dauerhaft sein, keine andere, da auf sie

sed potius ita, ut probare velimus nullum fuisse tempus in praeterito, in quo non fuerit motus, et nullum fore tempus in futuro, in quo non futurus sit motus.

- 12 Albertus Magnus, Opera omnia 6, 1, Meteora, ed. Paulus Hossfeld, Münster 2003, S. 5: *Quod omnium motus inferiorum est causatus a motu superiorum* (Rubrik), im Text aber: *oportet quod motus rerum quae ordinantur a natura, quae sunt in terra sicut plantae et genitura lapidum et generatio animalium et minerarum metallicarum et quae sunt similia dictis, sit factus et causatus ex motu corporum superiorum in omnibus suis alterationibus naturalibus et suis mutationibus*. Vgl. allgemein Ernest J. McCullough, St. Albert on Motion as *Forma fluens* and *Fluxus formae*, in: James A. Weisheipl (Hg.), Albertus Magnus and the Sciences. Commemorative Essays, Toronto 1980, S. 129-153.
- 13 Thomas von Aquin, In octo libros De physico auditu sive physicorum Aristotelis commentaria, ed. A.M. Pirotta, Neapel 1953, Lectio 19 n. 2 (Hier zitiert nach Internet, CorpusThomisticum, Commentaria in Aristotelem in libros Physicorum 8, <http://www.corpusthomisticum.org/iopera.html>, letzter Zugriff Nov. 2006): *nullum autem sequitur impossibile, si dicamus quod motus circularis sit in perpetuum continuus*, und etwas später noch einmal: *Nihil ergo prohibet, contrarietate sublata, motum circularem esse continuum*.

immer Stillstand folgt und Stillstand die Bewegung vernichtet (*ubi autem quies supervenerit corruptitur motus*). Im sechsten Buch, Lectio 11 bei der Erörterung des Zenon-Paradoxes zur Bewegung, wird Thomas noch konkreter. Ein Objekt bewegt sich im Kreis, Stillstand gibt es dort nicht, wie Zenon provokativ behauptet hatte, und so verhält es sich auch mit Rad und Säule. Anders lautet freilich sein Hinweis im Kommentar über den Himmel: Es gehe um die Mitte der Welt, ein Rad aber drehe sich um seine Mitte und diese Bewegung sei nicht eigentlich kreisförmig (*non movetur proprie circulariter*), vielmehr setze sie sich zusammen aus Auf- und Abstieg (*sed motus eius est compositus ex elevatione et depressione*).¹⁴ Doch hier dominiert, wie man sieht, das Interesse am Ablauf der Bewegung des Rades – die eine Hälfte steigt, die andere fällt. Es ist ein erster Hauch von Kinematik des Rades, die zur gleichen Zeit im Werk des Gerhard von Brüssel schon zu erstaunlichen Ergebnissen kam.¹⁵

Der Eindruck mag täuschen, aber zumindest der erste Blick auf einige Physikkommentare des 13. Jahrhunderts belässt die Möglichkeit, als ginge es den Autoren noch nicht primär um Scheidung von terrestrischer und himmlischer Bewegungslehre. Den „Aristotelismus“ als einheitliches System gibt es noch nicht, auch nicht im Bereich der Physik.

Das ändert sich spätestens um 1300: Abbreviationen der gesamten Naturphilosophie des Aristoteles grenzen nun deutlicher ab, wie etwa die Kurzfassung des Johannes Quidort von Paris es tut. Sie scheidet insgesamt acht Bereiche der Physik, nur die beiden ersten müssen uns hier beschäftigen. Zunächst geht es um Physik ohne strenge Beschränkung auf die lokale Bewegung: diese Bewegung sei den himmlischen Körpern und der Welt hienieden (*istis inferioribus*) zwar gemein, aber doch in unterschiedlicher Weise, weil solche Bewegung nach Aristoteles im Himmel regelmäßig, dauerhaft und kontinuierlich sei, hienieden aber lokal, weder regelmäßig noch dauerhaft (*quia in celo talis motus est regularis perpetuus et continuus secundum Philosophum, in hiis vero inferioribus est motus localis, nec regularis nec perpetuus*).¹⁶ Das ist sicher nicht die früheste Feststellung dieser Art,

14 Sancti Thomae de Aquino in libros Aristotelis De caelo et mundo expositio, editio Leonina, Rom 1886, De caelo I, lectio 3 (Hier zitiert nach Internet, Corpus Thomisticum, Commentaria in Aristotelem, In libros De Caelo et mundo 1, (wie Anm. 13)). Die Ausschreibung der Thomas-Zitate aus der Internet-Edition des Corpus Thomisticum, Commentaria in Aristotelem, verdanke ich Dr. Ulrich Alertz, Aachen.

15 Marshall Clagett, The ‚Liber de motu‘ of Gerard of Brussels and the Origins of Kinematics in the West, in: Osiris. Commentationes de scientiarum et eruditio[n]is historia 12, 1956, S. 73-175. Dazu Wolfgang Breidert, Das aristotelische Kontinuum in der Scholastik (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters N.F., Bd. 1), Münsingen 1970, S. 47-67, bes. 54f.

16 Zit. von Martin Grabmann, Methoden und Hilfsmittel des Aristotelesstudiums im Mittelalter, in: Sitzungsberichte Bayerische Akademie der Wissenschaften, phil.-hist. Klasse 1939, H. 5, = ders., Gesammelte Akademieabhandlungen II, Münster 1979, S. 1519ff.

aber doch eine besonders deutliche mit Breitenwirkung, da die Mehrheit der Artes-Studenten sich an die Abbreviationen gehalten haben wird.

Anneliese Maier zeigt nun in ihrer gelehrten Studie über Himmelsmechanik und allgemeine Bewegungsgesetze im späten Mittelalter, wie schon bei Thomas von Aquin eine leichte Verschiebung gegenüber der Auffassung des Aristoteles eingetreten war, ein *movens finitum* könne nicht *tempore infinito* Bewegung auslösen. Thomas schreibe zwar auch, *impossibile est autem quod mobile infinitum moveatur a motore finito* (unmöglich kann ein unendlich Bewegtes von einem endlichen Antrieb bewegt werden), aber andererseits könne bei ihm ein endlicher Bewegter, sofern unzerstörbar und seiner Natur nach unveränderlich, „sehr wohl unendlich lange Zeit bewegen“.¹⁷ Mit dieser Annahme werde die nachfolgend immer wichtigere Vorstellung einer unermüdlichen Kraft (*vis infatigabilis*) eingeführt. Das Schwere und das Leichte (*gravitas* und *levitas*) können als irdische Kräfte solche Merkmale annehmen. Buridan teile später die infatigablen Bewegter in zwei Klassen: in solche, die „aktuell“ und solche, die nur „potentiell“ unermüdlich seien. Die ersten bewegen sich ihm zufolge unendlich lange und besitzen damit nach Maier die gesamte Energiemenge, die für unendliche Bewegung erforderlich ist, während die nur potentiell unermüdlichen Bewegter diese Energie sukzessive von anderer Seite empfangen; sie verwandeln also nur die von außen gelieferte Energie. Dies, so Maier, gelte bei Buridan bemerkenswerterweise auch für die gewöhnlichen irdischen Kräfte, die *vires fatigabiles*. Buridans Schüler seien in diesem Punkt nicht weiter gekommen.¹⁸

Selbst Buridan lässt, wie man sieht, in der strengen Scheidung von irdischer und himmlischer Bewegungslehre schon ein kleines gemeinsames Verbindungstörchen offen. Vielleicht erklärt dies, warum wir an mindestens drei anderen Stellen im Rahmen der aristotelischen Physik des 14. Jahrhunderts Hinweise auf eine irdische *rota perpetua* (ewiges Rad) erhalten. Im ersten Fall soll diese Möglichkeit wegen der „Inkommensurabilität“ der Himmelsbewegungen nicht grundsätzlich ausgeschlossen sein. Der anonyme Bearbeiter eines irrtümlich dem Marsilius von Inghen zugeschriebenen Physikkommentars schildert den Fall im deutlichen Blick auf ein Perpetuum mobile. Eine *rota perpetua*, so fingiert er, kann sich nicht drehen wegen eines *impedimentum* (Hinderungsgrundes). Dieser Hinderungsgrund könne aber durch eine Konjunktion am Himmel und stärkere Annäherung an das Rad aufgehoben werden. Das Rad würde sich dann drehen.¹⁹

17 Vgl. Maier, (wie Anm. 8).

18 Maier, Hintergründe (wie Anm. 8), S. 261, Anm. 40. Vgl. auch Edward Grant, Das physikalische Weltbild des Mittelalters, Zürich u. München 1980, S. 93: „Die fortgesetzte Drehung eines einmal in Schwung gebrachten Mühlrades veranlasste Buridan zur Vermutung, daß bei Ausschaltung der verlangsamenden Widerstände das Rad sich infolge des am Anfang empfangenen Impetus endlos weiterdrehen würde.“

19 Marsilius von Inghen, *Questiones subtilissime Ioannis Marsilii Ingenu super octo libros Phisycorum*, Lyon 1518 (ND Frankfurt a.M. 1964), f. 70: *tertio.... tunc posito quod esset*

Was es mit der Inkommensurabilität der Himmelsbewegungen auf sich hat, zeigt am besten das zweite Beispiel, ein speziell diesem Thema gewidmeter Traktat des Nikolaus von Oresme.²⁰ Der berühmte Pariser Magister spricht in seinem noch bekannteren *Livre du ciel et du monde* die Möglichkeit eines sich ewig drehenden Rades aber auch direkt an. Nach der revidierten Übersetzung von Edward Grant erklärt er, es gebe eine Bewegung mit einem Anfang, die sich ständig fortsetze. In Frage komme ein Rad wie das Rad einer Uhr, das er näher beschreibt. „Something of this sort or similar to it could be performed artificially or by skilled craftsmanship“. Die Bewegungen von *a* und *b* sollten „incommensurable, regular and perpetual“ sein. Dazu stellt Oresme allerdings den Vorbehalt: „Such perpetual motion could not be created by any skill if the idea of certain persons, who at one time have conceived and attempted to make something called the *rota viva*, were not true“.²¹

Die dritte Stelle, auf die ich hier aufmerksam machen möchte, stammt aus einer noch unpublizierten Kurzfassung der aristotelischen Philosophie von etwa 1395. Im dritten Buch, wo es um die Möglichkeiten einer Erforschung der Seele aus ihren Bewegungen geht, diskutiert der Autor, Jacques Legrand (Jacobus Magni), die Meinung, jede ständige lokale Bewegung sei als beseelt zu betrachten. Eine noch weiter gehende Folgerung des Autors schließt daran an: auch eine künstlich erzeugte Dauerbewegung (*si motus artificiose in aliqua re posset perpetuari*) könne dann beseelt werden. Und damit sind wir bei einem mechanischen Perpetuum mobile, das der Autor selbst, freilich mit Einsatz von Wärme, erprobt haben will.²²

Item licet perpetuitatem motus non experiamur in re non sensitiva et inanimata, tamen plurum relatione fertur huiusmodi motum artificialiter inventum fuisse. Item exemplum est quod rota argento vivo repleta continue mo(vetur), dummodo eius pars inferior corpori calido opponatur, et istud expertus fui.

Obwohl wir dauerhafte Bewegung im Bereich der Sinne und des Unbeseelten nicht durch Erfahrung bestätigen können, berichten viele dennoch, eine solche Bewegung sei künstlich gefunden worden. Beispiel dafür sei ein Rad voller Quecksilber; es drehe sich kontinuierlich, wenn man den unteren Teil einer

una rota perpetua cui motor esset applicatus non potens ipsam movere propter impedimentum, et propter incommensurabilitatem motuum celestium potest provenire, quod aliqua sphaera aut aliqua coniunctio esset propinquior illi rote quam unquam fuit aliqua alia toto tempore eterno; et approximatione posset contingere quod impedimentum removeretur et moveretur rota. Hoc est impossibile nisi mediante motu eterno precedente.

20 Nicolaus Oresme, *Tractatus de commensurabilitate et incommensurabilitate motuum celi*, in: Edward Grant, Nicole Oresme and the Kinematics of Circular Motion, Madison, WI u. London 1971.

21 Oresme zitiert von Edward Grant (wie Anm. 20), S. 38f.

22 Näheres über die Handschriften und den Autor bei Lohrmann (wie Anm. 9), Anhang.

Cuius rationem facile est assignare, nam argentum vivum quod est inferius, rarefit et ideo ratione levitatis sursum fertur etc. in infinitum.

Wärmequelle aussetze. Das habe ich selbst erprobt. Der Grund ist leicht zu bestimmen, denn das untere Quecksilber verdünnt sich und wird durch die Leichtigkeit nach oben getragen bis zum Unendlichen.

Alle drei Texte belegen, dass auch im 14. Jahrhundert – trotz gegensätzlicher Annahme von Wessels und Maier – die Idee eines Ewigen Rades, wie man später in Deutschland sagte, nicht gänzlich aus den Köpfen verbannt war. Ob diese Zeit „ohne Inspiration“ für Erfinder solcher Modelle geblieben ist, lässt sich freilich mit Hilfe der schwer zu überblickenden naturphilosophischen Literatur allein nicht sagen.

3. Motus continuus in der mittelalterlichen Technik

3.1 Gravitationsperpetua

Nachdem die westliche Welt ab der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts Kenntnis der aristotelischen Physik erhalten hatte, erreichte sie, vermittelt durch die arabische Wissenschaft, recht bald auch der Umgang mit den indischen Zahlen und dem indisch-arabischen Rechenverfahren mit Positionalstellen.²³ In der Mechanik wurden die Schriften des Archimedes rezipiert und die Vorstellung von Ewiger Bewegung am Beispiel eines kontinuierlich bewegten Rades konkretisiert. Diese Vorstellung kam, wie bereits anfangs angezeigt, ebenfalls aus Indien. Erstmals bezeugt erscheint sie dort in den Schriften des Mathematikers Bhaskara.²⁴ Arabische Autoren, die diese Anregung aufnahmen, scheinen bald erwogen zu haben, solche Räder in der Praxis zur Wasserhebung oder zum Antrieb von Mühlen einzusetzen. In diesem Sinne erscheinen die Konstruktionsanweisungen und Skizzen in den bisher bekannten arabischen Handschriften jeweils mitten unter realisierbaren Maschinen, die längst funktionsfähig waren.²⁵ Ihre besondere Problematik wurde den Zeit-

23 Indische Zahlen und Positionalsystem: Burnett (wie Anm. 2).

24 Näheres bei Lynn White Jr., Medieval Religion and Technology. Collected Essays, Berkeley etc. 1978, S. 53, Anm. 59. Wichtigste Quelle ist die Siddhanta Siromani, engl. Übersetzung L. Wilkinson, Bibliotheca Indica XXIII: Hindu Astrology II, Calcutta 1861, S. 227.

25 Schmeller systematisiert das Material der arabischen Handschriften in Leiden, Oxford, Gotha nach sachlichen Gesichtspunkten: Wasserhebemaschinen mit Hebelanordnung, Wasserschöpfräder, Perpetua mobilia, Pumpen, Vorrichtungen zum Heben des Wassers mittels Feuers etc. Vgl. Hans Schmeller, Beiträge zur Geschichte der Technik in der Antike und bei den Arabern (Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin, Bd. 6), Erlangen 1922, S. 16-24. Von einer „Mühle im persischen Merend, die sich durch stehendes Wasser dreht“, berichtet Ende des 13. Jahrhunderts al Dimashqi. Ausführliche Beschreibung bei Eilhard Wiedemann, Aufsätze zur arabischen Wissenschaftsgeschichte, 2 Bde., Hildesheim 1970, Bd. 1, S. 214f. Vgl. auch Carra de Vaux, Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques par Philon de Byzance,

genossen nicht angezeigt. Alle Räder, ob mit Quecksilber oder Bleikugeln bestückt, erstreben die Schaffung eines Differenzdrehmomentes, berücksichtigen aber weder die Reibung noch die Materialschwierigkeiten (Quecksilber in Eisenröhren!). Für die Zeitgenossen dürften die Realisierungschancen solcher Vorschläge schwer abschätzbar gewesen sein. Bei wachsendem Bedarf an Antriebsenergie für Mühlen und Wasserhebung war die Möglichkeit eines künftigen *Motus continuus* bzw. *perpetuus* eine ernst zu nehmende Perspektive. War es nicht soeben, seit ca. 1180, wenn auch mit großen Schwierigkeiten gelungen, die Kraft des Windes unter den besonderen Bedingungen der westlichen Windverhältnisse dienstbar zu machen? Falsch wäre deshalb die Vorstellung, die erfolgreiche Konstruktion solcher Räder hätte von vornherein als völlig ausgeschlossen erscheinen müssen. In der Praxis lernte man zumindest, Reibungsverluste zu minimieren und Materialeigenschaften zu studieren.

Die älteste Nachricht aus Westeuropa, um 1235, findet sich in dem bekannten Skizzenbuch des aus der Picardie stammenden Architekten Villard de Honnecourt. Bemerkenswerter als die sorgfältige Zeichnung ist sein Kommentar, denn wir erfahren, die Diskussion um die Möglichkeit eines aus sich selbst drehenden Rades sei zu diesem Zeitpunkt bereits in vollem Gange gewesen: „Manchen Tag schon bemühten sich Meister darum, ein Rad sich aus sich selbst drehen zu lassen. Hier siehst Du, wie man es mit Hämtern in ungerader Zahl oder mit Quecksilber machen kann“.²⁶ In der wichtigen Frage, ob hier grundsätzlich die Möglichkeit einer Lösung oder nur der Weg zu einer Lösung, also das Ob oder das Wie, umstritten war, schafft der Text keine Klarheit. Dagegen bestätigt sich etwa dreißig Jahre später, dass nicht nur diskutiert, sondern auch konstruiert wurde. In einem Text, den wir gleich näher besprechen, heißt es 1269, es gehe darum, ein Rad – *continue mobilem* – mittels einer wunderbaren Vorrichtung (*miribili ingenio*) zu bauen. Viele hätten sich an einer solchen Erfindung schon planlos in vielfältiger Weise

Paris 1903, S. 6-18: *Livre des roues qui se meuvent d'elles-mêmes*, nach ms. Istanbul Sainte-Sophie 2755. Zur Anwendung eines Quecksilberrades vgl. Schmeller, S. 17: „Dann setze auf die Achse zwei kleine Kreise, sie gleichen denen der Bewässerungsmaschinen (daulâb), welche von Zugtieren in Bewegung gesetzt wurden. Um die beiden Kreise lege je einen Schöpfeimerkranz (nicht Eimerkette), jeder Eimer möge 20 R(atl) fassen, dann setze die Vorrichtung in Bewegung, sie fördert 20-30 G(arib) täglich. Sie dreht sich mit großer Kraft, weil das Quecksilber auf der einen Seite näher an der Achse des Rades ist als auf der anderen Seite“. Nach Schmeller, S. 5 entspricht 1 Garib ca. 60-100 Litern, ein Ratl etwa 400-500 Gramm. Zur Oxford Hs. vgl. auch Donald Hill, *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, La Salle, IL 1984, S. 205.

26 Villard de Honnecourt, Kritische Gesamtausgabe des Bauhüttenbuches ms. fr. 19093 der Pariser Nationalbibliothek von Hans Robert Hahnloser, 2. Aufl., Graz 1972. Vgl. auch Le carnet de Villard de Honnecourt d'après le manuscrit de la Bibliothèque nationale (n° 19093), présenté et commenté par Alain Erlande-Brandenburg et al., Paris 1986, S. 121: *Maint ior se sunt maistre despuite de faire torner une rheeue par li seule. Ves entci com en puet faire par mailles non pers u par vif argent*. Näheres bei Lohrmann (wie Anm. 9).

abgemüht, auf eine Lösung seien sie nicht gekommen.²⁷ Es gelang also weder die Schwerkraft noch die Kraft des Himmelsgewölbes, des *primus motor* in der Sprache der aristotelischen Physik, für die kontinuierliche Drehung von Rädern nutzbar zu machen. Aber man experimentierte daran und experimentierte im umgekehrten Sinne auch daran, die Rotation der Planetenbewegungen umzusetzen in ein Uhrwerk mit mechanischem Getriebe, Gewichtsantrieb und Hemmung. Eine Nachricht, dass dieses Vorhaben den Uhrmachern noch nicht gelungen sei, sie daran aber arbeiteten, erhalten wir fast gleichzeitig 1270.²⁸

Wichtiger als dies ist, dass wir nun zusätzlich auch aus dem 14. und 15. Jahrhundert eine Bestätigung für mannigfache Experimente und Überlegungen zum Perpetuum mobile erhalten. Damit bricht nicht nur die Annahme zusammen, diese Zeit sei für Erbauer solcher Räder „wenig inspirierend gewesen“, sondern auch die Erklärung, das Fehlen solcher Räder sei eine Folge des aristotelischen Weltbildes.²⁹ Gemeint sind drei Gravitationsmodelle, an denen zwischen 1393 und 1400 am Papsthof in Rom experimentiert wurde. Wessels kannte diese Zeugnisse noch nicht, sie wurden erst in diesem Jahr (2006) editiert und herausgegeben. Der gemeinte Experimentator war Konrad Gruter, ein junger Deutscher aus Werden an der Ruhr, der zuvor ein kurzes Studium der Artes an der Universität Köln absolviert hatte und dabei von seinen aus Paris gekommenen Lehrern auch einiges zum neuesten Stand der aristotelischen Physik gehört haben dürfte.³⁰ In Rom erhielt er von Seiten eines Priors des Johanniterordens aus Florenz die Anregung, sich mit der Konstruktion kontinuierlich bewegter Räder zu beschäftigen. Drei seiner Modelle setzen, wie schon die indo-arabischen Räder und die von Villard erwähnten, auf die Erzeugung einer permanenten Drehbewegung durch exzentrische Gewichtsverlagerung im Rad. Das erste Modell (Kap. 25) bringt keinen Fortschritt. Außer mit Bleikugeln und Quecksilber wird eine einseitige Verlagerung des Drehmoments an die Peripherie des Rades auch mit Sand versucht. Die beiden nächsten Modelle zeigen jedoch, dass weiter nachge-

- 27 Petrus Peregrinus de Maricourt, Opera: Epistula de magnete. Nova compositio astrolabii particularis, ed. Loris Sturlese u. Ron B. Thomson, Pisa 1995, S. 86-89.
- 28 Lynn Thorndike, Invention of the Mechanical Clock about 1271, in: Speculum 16, 1941, S. 242f. Dazu Derek J. de Solla Price, On the Origin of Clockwork, Perpetual Motion Devices and the Compass, in: Contributions from the Museum of History and Technology (Smithsonian Institute), Bulletin 218, Washington 1959, S. 82-112, bes. 106; und Gerhard Dohrn-van Rossum, Die Geschichte der Stunde. Uhren und moderne Zeitrechnung, München u. Wien 1992, S. 89f. u. 343, Anm. 125.
- 29 Wessels (wie Anm. 4), S. 601 zeigt selbst, wie im 14. Jahrhundert durch die Impetustheorie „der Keim zu einem neuen Physikentwurf“ entstand, der Himmlisches und Sublunares umfasste.
- 30 Konrad Gruter von Werden, De machinis et rebus mechanicis. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393-1424, Einleitung, Edition, Übersetzung und Kommentar von Dietrich Lohrmann, Horst Kranz u. Ulrich Alertz (Studi e testi, Bd. 428-429), Città del Vaticano 2006, Einleitung S. 113ff. und Edition S. 121-133.

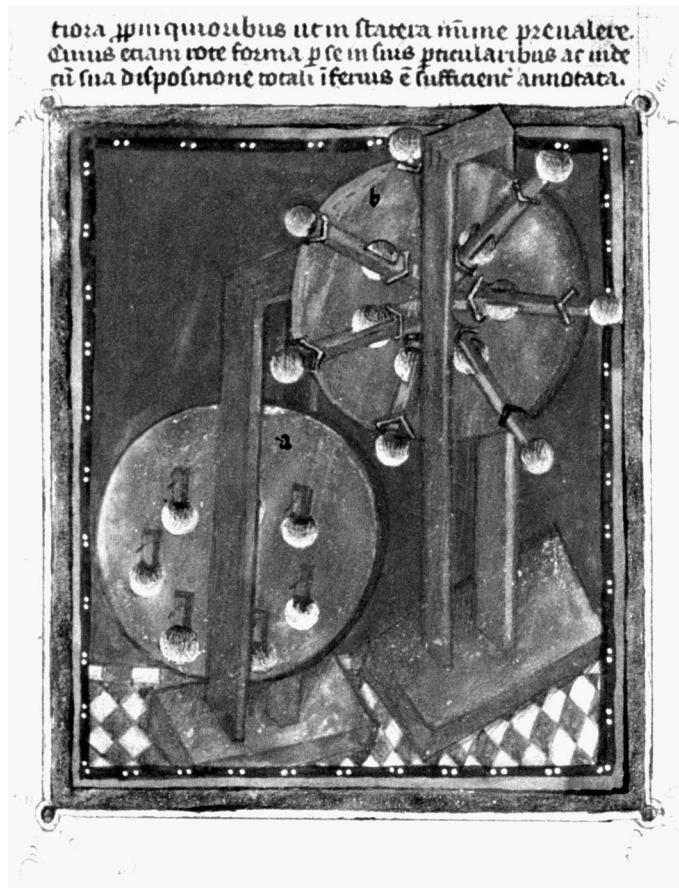


Abb. 1: Gravitationsperpetuum mit sieben Schiebegewichten nach Konrad Gruter, De machinis, Kap. 26, Biblioteca apostolica Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 27v.

dacht wurde und neue Modelle entstanden, wenn auch nicht unbedingt bessere, denn die nun eingesetzten Schiebegewichte (statt der früher erprobten Hebelarme und Hämmer) erhöhten den Reibungswiderstand (Kap. 26-27).

Aufschlussreicher aber als die Modelle sind die Details seines Berichtes aus Rom: Der Experimentator am Papsthof muss über ein Labor und wohl auch über die Hilfe geschickter Mechaniker bzw. Handwerker verfügt haben. Dazu konnte er auf Materialien wie Blei, Quecksilber, Stahl, Glas und hochwertiges Holz, ferner, wie wir gleich sehen werden, auf Nadeln und Zahnkränze, wie sie die Uhrenbauer einsetzen, zurückgreifen. Schließlich bestätigt der Traktat des Werdener Autors, dass Gruter keineswegs der einzige Experimentator dieser Art zu seiner Zeit war.³¹ Ähnlich wie Maricourt

³¹ Bestätigt wird dies auch durch Annie Th. Lantink-Ferguson, A Fifteenth Century Illustrated Notebook on Rotary Mechanisms, in: *Scientiarum Historia* 29, 2003, S. 3-66, hier S. 51 (englische Übersetzung S. 65). Der noch anonyme Traktat aus dem nordöstlichen Italien,

erklärt Gruter schon in seinem Vorwort, dass „mehr Leute auf ähnlichen Wegen“ Zeit und Geld auf die Erforschung solch subtiler Dinge verschwendeten, und fügt hinzu, er wolle sie mit dem genauen Bericht über seine eigenen Bemühungen nur unterrichten, wie weit er gekommen sei. Subtilere Geister als er selbst möchten ja weiter kommen. Seine allgemeine Einschätzung zum Stand der Mechanik lautet, ebenfalls im Vorwort, dass sie noch oft auf ebenso verwinkelten wie verwirrenden Umwegen in dunkle Bereiche führe und dass sich dann, wenn man sich am Ziel wähne, nur die Tore zu einem neuen Labyrinth öffneten. Die dem Aristoteles zugeschriebene Mechanik und auch die schon im 13. Jahrhundert übersetzten Schriften des Archimedes mit den weiterführenden Erkenntnissen eines Jordanus oder Gerhard von Brüssel waren dem Autor aus Werden nicht bekannt.

3.2 Magnetperpetua

Magneten galten im 13. bis 14. Jahrhundert als Mittler zwischen himmlischer und irdischer Physik. Sie konnten deshalb bei der Suche nach Rädern mit perpetuierlicher Bewegung als besonders interessant erscheinen. Ein Teil der Autoren beschränkt sich auf rein irdische Beobachtungen. Im Magneten liege eine Spur des Erdkreises (*in adamante est vestigium orbis*), sagt z.B. der Autor eines medizinischen Traktates, Johannes von Saint-Amand (1261-1298). Er nennt als Hauptrichtungen Nord und Süd, ein wenig aber auch Abweichungen nach Ost und West.³²

Andere Autoren erwägen Einwirkungen des Polarsterns oder der Himmelspole, ja geradezu des gesamten Firmaments auf den Magneten.³³ Der prominenteste Vertreter dieser Richtung war der hoch angesehene Experi-

etwa 1420, beschreibt f. 10v – 11rv ein Quecksilber- und ein Wasser- oder Sandperpetuum, die der Autor noch strenger beurteilt als Konrad Gruter: *Sed in rei veritate nundum vidi experientiam sive demonstrationem, sed mee opinionis est quod hec opinio est falsa in experientia, quia facta supradicta rotta, si plures portiones argenti descenderent in parte anteriori ad circumferentiam, quam descenderent in parte posteriori ad centrum, vere concederem. Sed hoc non est possibile, ymmo plures oportet a parte posteriori ascendere per aliquantum spatium sine descensione ad centrum, quia ultra polum debet elevari. Ecce ergo quomodo potest rotta moveri?* Grundsätzlich schließt somit auch dieser Autor die Machbarkeit nicht aus. Es folgt das Wasser- und Sandperpetuum, das noch weniger funktionieren könne als das voraufgehende. Zur Autorfrage vgl. demnächst Horst Kranz im Rahmen seiner Edition der Jugendwerke des Johannes Fontana und weiter unten Anm. 66.

- 32 *Et dico quod in parte pro meridie et septentrione existente maxime attrahit, parum a parte orientis et occidentis.* Johannes von Saint-Amand: Super Antidotarium Nicolai, Venedig 1508. Hier nach Lynn Thorndike, John of St. Amand on the Magnet, in: ISIS 36, 1946, S. 156f. Für die Geschichte der Magnetdeklination kann diese Stelle aufschlussreich sein. Heinz Balmer, Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus, Aarau 1956, S. 79, lässt sie praktisch erst mit Kolumbus beginnen.
- 33 Brüssel Bibl. royale, ms. 2962-78 f. 37r: *inter omnes lapides et res inferiores maiorem similitudinem habet celi.* Sturlese in: Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), S. 54. Nicht näher bekannt ist bisher ein Text über den Magneten in Erfurt UB ms. Amplon. Q 4°325 f. 195v-197v (*Per quantam distanciam magnes potest attrahere ferrum*).

mentator und Physiker Pierre de Maricourt, der 1269 einen bis ins 16. Jahrhundert unübertroffenen Traktat über den Magneten veröffentlichte. Woher der Magnet seine natürliche Kraft erhalte, fragt er und verwirft zunächst die Antwort derer, die auf das mineralische Umfeld verwiesen, wo der Stein gefunden werde; der Magnet weise nicht zu seinen Fundorten. Nein, alle Meridianlinien laufen an den Polen zusammen. Daran richten sich Teile des Magneten aus, die übrigen Teile unterliegen dem Einfluss des ganzen Himmels, also erhalte der Stein als ganzer seine Kraft vom ganzen Himmel; ein Versuch könne das zeigen.³⁴ Derselbe Petrus von Maricourt schlägt wenig später, in Kapitel II.3 seines Traktats *De magnete*, ein Magnetperpetuum vor, das jüngst sehr genau untersucht worden ist. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Text und Abbildungen dieses oft abgeschriebenen und gedruckten Werkes.³⁵ Keiner der Kopisten hatte die Konstruktion voll verstanden.

Zunächst bezeichnet sich Maricourt als derjenige, der als erster einen solchen Vorschlag mache.³⁶ Tatsächlich kennen, wie es scheint, weder die frühen Inder noch die frühen Araber ein solches Magnetperpetuum. Averroes in seinem Physiktraktat kommt bei der Besprechung des ersten Bewegers zwar schon auf den Magneten zu sprechen und bezweifelt, ob er zu den Körnern gehöre, die nur bewegen können, wenn sie sich selbst bewegen. Sein Ergebnis lautet, das Eisen bewegt sich, weil der Magnet in ihm eine Disposition induziert, sich aus sich selbst auf den Magneten zuzubewegen.³⁷ Albertus Magnus, bekanntlich ein aufmerksamer Leser des Averroes, hat das im Buch Sieben seines Physikkommentars noch nicht übernommen. Er bleibt dort bei der umgekehrten Auffassung, dass der Magnet zum Eisen bewegt werde (*magnes movetur ad ferrum*).³⁸ In Buch 8,2,5 dagegen folgt er dem Averroes: der Magnet bewegt das Eisen dadurch, dass er es durch seine Kraft verändert (*virtute sua alterat*) und etwas um ihn „generiert“. Besonders wichtig ist eine weitere Stelle (8,4,4), da hier zusätzlich erwogen wird, dass ein Magnetstein einerseits eine Nadel oder ein anderes Eisen bewegt und andererseits dieses Bewegte selbst wieder etwas anderes bewege (*quia licet lapis magnes*

34 Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), *Epistula de magnete* I 10, S. 78ff. Vgl. Balmer (wie Anm. 33), S. 247 (deutsche Übersetzung).

35 Andreas Kleinert, Wie funktionierte das Perpetuum mobile des Petrus Peregrinus? in: Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin 11, 2003, S. 155-170.

36 Sturlese in: Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), S. 86-89. Wichtig in den Textanmerkungen sind die ständig wechselnden Bezeichnungen des Rades durch die mittelalterlichen Schreiber: *rote semper moventis, rote perpetue mobilis, rote que continue et in eternum movebitur, rote perpetue mobilis ex magnete etc.*

37 Paul Lettinck, Aristotle's *Physics* and its Reception in the Arabic World, Academisch Proefschrift, Amsterdam 1991, S. 424. Dazu Wilhelm von Auvergne bei Friedrich Klemm, *Perpetuum mobile. Ein „unmöglich“ Menschheitstraum*, Dortmund 1983, S. 16.

38 Albertus Magnus, ed. Hossfeld (wie Anm. 9), S. 523.

*moveat acum vel aliud ferrum et illud motum a magnete iterum moveat aliud, tamen...).*³⁹ Solche Fragen werden offensichtlich im 13. Jahrhundert eifrig diskutiert, wie man auf anderer Ebene ja auch Hoffnungen verbreitete, mit Hilfe des Magneten könne eine Mühle angetrieben werden.⁴⁰

Dies ist der Zusammenhang, der Petrus von Maricourt 1269 zum Vorschlag seines Magnetperpetuums veranlasste. Er selbst glaubte offensichtlich nicht an die Realisierbarkeit einer solchen Konstruktion in Reinform, denn er ergänzt den Magnetantrieb durch ein mechanisches Element, ein Kugelchen (*calculus*) aus Bronze oder Silber. Nur so kann es unbeeinflusst vom Magneten bei jeder Drehung des Rades fallen und dem Rad einen zusätzlichen Impuls vermitteln. Es muss allerdings auch wieder angehoben werden. Die Einzelheiten sind bereits von Kleinert erörtert worden.⁴¹ Ergänzen wir hier, dass Maricourt sein Projekt schon lange mit sich herumgetragen hat. Wahrscheinlich schon vor 1254 konnte er es mit dem englischen Naturphilosophen Roger Bacon besprechen. Der griff alle seine Gedanken mit Begeisterung auf und kommt mehrfach auf sie zu sprechen. Er lobt einerseits den Magister Petrus als herausragenden Wissenschaftler und Experimentator, kommt andererseits aber immer wieder auch auf das große Ziel eines Gerätes zu sprechen, „das sich mit der Drehung des Himmels bewegt und das alle astronomischen Werkzeuge überträgt. „Es muss“, sagt er, „mit dem Magneten gemacht werden“.⁴² In einem anderen Werk (*De secretis operibus*) präzisiert er, es handele sich um einen Himmelsglobus. Diese Kugel solle so verfertigt werden, dass sie sich „wie der Himmel von Natur aus durch eine tägliche Bewegung dreht“. Es scheint, fügt er hinzu, „als ob dies nicht ausgeschlossen wäre, da ja vieles durch die Bewegung des Himmels mitgezogen wird, so die Kometen, das Meer bei der Flut und anderes, ganz oder teilweise. Dies wäre ein größeres Wunder als alle anderen und von fast unabsehbarer Nützlichkeit“. Ein kühner Experimentalforscher müsse den dringenden Wunsch hegen, ein solches Ziel zu erreichen bzw. die Möglichkeiten einer solchen Drehung zu erwägen.⁴³

Ein Projekt, das mit solcher Dringlichkeit angemahnt wurde, kann nicht ohne Folgen geblieben sein. Tatsächlich weckte der Magnettraktat des Pierre de Maricourt schon im Mittelalter ein sehr großes Interesse. 39 Abschriften sind aus der Zeit vom 13. bis 15. Jahrhundert bisher bekannt geworden. Dazu

39 Ebd., S. 646, 34.

40 Glosse zum fiktiven Brief des Priester Johannes: ed. Friedrich Zahnke, *Der Priester Johannes*, Leipzig 1879 (ND Hildesheim u. New York 1980), S. 918, Anm. D.

41 Kleinert (wie Anm. 35). Nach Albertus Magnus entspricht die Kombination von zwei Antriebskräften nicht den Bedingungen für Motus continuus.

42 Roger Bacon, *Opera hactenus inedita*, ed. J.S. Brewer, London, 1859 (Rolls Series 15,1), ND 1965, S. 384.

43 Texte Rogers in Übersetzung sämtlich bei Balmer (wie Anm. 33), S. 246f., Ein längerer Text über den Magneten, Bacon, ed. Brewer (wie Anm. 42), S. 383f., endet: *Et non solum ... et continuas et perpetuas recipient influentias a partibus coeli.* Einige der Aussagen Bacons kannte Nikolaus von Kues, vgl. Balmer (wie Anm. 33), S. 249.

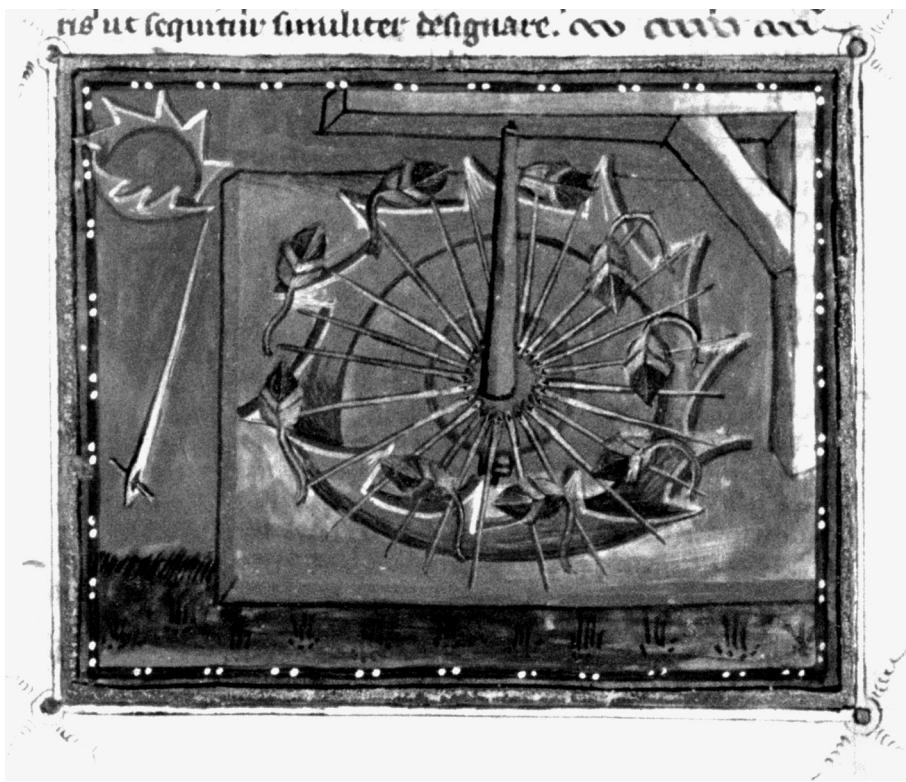


Abb. 2: Magnetperpetuum nach Konrad Gruter, *De machinis*, Kap. 24, Biblioteca apostolica Vaticana, ms. Vat. lat. 5961f. 25r.

kommen verlorene, nur erwähnte Handschriften wie die des rheinischen Arztes Amplonius Ratinck, dessen Bücherkatalog von 1412 nicht weniger als vier Exemplare anzeigen; drei sind in Erfurt erhalten.⁴⁴ Eine Abschrift des Wiener, ehemals Pariser Professors Heinrich von Langenstein (gest. 1397) gelangte später in den Besitz von Johannes Kepler.⁴⁵ Im 15. Jahrhundert wurde der Traktat ins Italienische übersetzt⁴⁶ wie andere Grundlagenwerke, am bekanntesten die Übersetzung von Vitruvs Architekturtraktat ins Toskanische durch Francesco de Giorgio Martini. Zwischen 1510 und 1520 folgte ein erster, nur in einem Exemplar nachgewiesener Druck; als Autor gilt in ihm der katalanische Scholastiker Raimund Lull.⁴⁷ Bedeutender war 1558 die Augsbur-

⁴⁴ Sturlese in: Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), S. 57ff. Dazu auch Balmer (wie Anm. 33), S. 249.

⁴⁵ Ebd.

⁴⁶ Druck bei Sturlese in: Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), S. 91-109 mit zehn Zeichnungen. Vgl. ebd. S. 50ff.

⁴⁷ Sturlese in: Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), S. 42f. nach George Sarton, *The First Edition of Petrus Peregrinus „De magnete“* (before 1520), in: ISIS 37, 1947, S.

ger Edition des Achilles Gasser für Kaiser Ferdinand I., gefolgt 1562 von einem Kölner Raubdruck.⁴⁸ Gassers Ausgabe bildete die Grundlage einer frühen englischen Übersetzung.⁴⁹ Sie führt uns zu William Gilberts großem Werk *De magnete* von 1600, mit dem eine neue Epoche in der Geschichte der Magnetforschung beginnt. Zu Unrecht stand jedoch unter dem Bildnis Gilberts in der School Gallery in Oxford zu lesen, er sei der erste Erforscher der Magnetkräfte gewesen (*magneticarum virtutum primus indagator*).⁵⁰ Dieser Ehrentitel gehört dem viel bestohlenen Pierre de Maricourt im 13. Jahrhundert. Bis zum 16. Jahrhundert hat sein Traktat über 200 Jahre lang dafür gesorgt, dass die Idee von einem Magnetperpetuum lebendig blieb.

Ein wichtiges Zeugnis für ein Magnetperpetuum und die Beschäftigung mit diesem Thema im 14. Jahrhundert steht noch aus. Wir verdanken es erneut Konrad Gruter aus Werden. Wie schon erwähnt, experimentierte er in den Jahren ab 1393 am Papsthof in Rom. Dort erhielt er seitens des Florentiner Johanniterpriors Leonardo di Buonafede den Rat, eine Lösung speziell mittels Einsatz eines Magneten zu suchen. Gruters erstes Modell in seinem Traktat von 1424 folgt dieser Anregung. Es beschränkt sich freilich nicht wie Maricourts Projekt auf einen einzigen Magneten, sondern will mit einer Vielzahl von Magneten eine noch größere Zahl von Nadeln jeweils über die Spitzen eines Kronrades ziehen und dadurch eine senkrechte Welle in Rotation versetzen. Gruters sorgfältig formulierter Text mit anschaulichem Farbbild widerlegt die Annahme mangelnder Inspiration in der Zeit vor der Entwicklung neuer physikalischer Vorstellungen im 17. Jahrhundert. Der junge Mann experimentierte mit seinem Magnetrad schon zwischen 1393 und 1400. Sein Kronrad entspricht in seiner Form dem der Uhrenbauer des 14. Jahrhunderts. Nicht bedacht ist bei ihm nur, dass die Nadeln dem ununterbrochenen Einfluss der Magneten unterlagen und deshalb von der Spitze der Zähne des Kronrades nicht herabfallen konnten. Maricourt hatte diesen Fehler durch Wahl von Bronze oder Silber als Material für seinen *calculus* vermieden.

3.3 Pneumatische Perpetua

Ausgangspunkt sind die schon in der Antike wohlbekannten pneumatischen Wasserheber, die wir aus den Schriften des Philon von Byzanz (-3. Jahrhundert) und des Heron von Alexandrien kennen (+1. Jahrhundert).⁵¹ In der ara-

178f. In dieselbe Zeit fällt die begeisterte Äußerung des Amadeus Meygret bei White (wie Anm. 1), S. 144.

48 Klemm (wie Anm. 37), S. 23

49 Sturlese in: Petrus Peregrinus de Maricourt (wie Anm. 27), S. 51

50 Balmer (wie Anm. 33), S. 728f.; dazu ebd. S. 149-163, 362-402.

51 Siehe Philon von Byzanz, *Pneumatik*: Lateinische Kurzfassung mit deutscher Übersetzung bei Wilhelm Schmidt, *Heronis Alexandrini Opera omnia I*, Leipzig 1899, S. 458-489. Arabische Vollfassung mit französischer Übersetzung bei Carra de Vaux, *Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques par Philon de Byzance*, Paris 1903; mit englischer Übersetzung bei Frank David Prager, *Philo of Byzantium, Pneumatica*,

bischen Welt waren diese Werke verfügbar seit dem 9. Jahrhundert. Insbesondere das Buch der sinnreichen Einrichtungen der Söhne des Musa bin Shakir (Banu Musa) von etwa 850 zeigt eine Vielzahl höchst raffinierter Anwendungen, die offenbar alle funktionsfähig sein könnten.⁵² Abwandlungen im Sinne eines pneumatischen Perpetuum mobile erscheinen hier so wenig wie um 1200 unter den Trinkgefäßen des al-Jazari.⁵³ Nach Westeuropa gelangte zunächst, wohl schon im 12. Jahrhundert, eine aus dem Arabischen übersetzte Kurzfassung von Philons Pneumatik (erstmals publiziert 1871 durch Valentin Rose).⁵⁴ Sie hat sehr anregend gewirkt. Zahlreiche Experimentatoren schlossen unmittelbar an sie an. Die so genannte Wasserstehlerin (Klepshydra) faszinierte. Auch Saugheber oder umgekehrte Syphones wurden im 13. Jahrhundert schon gebaut. Albertus Magnus erwähnt sie zweimal bei der Erörterung des Vakuums in seinem Physiktraktat. Versuche zur Wirkung des Vakuums nennt Roger Bacon etwas früher in seinen Pariser Physikvorlesungen.⁵⁵ In denselben Zusammenhang scheint ein verlorener „Tractatus de inani et vacuo“ zu gehören, der später in den angeblichen Physikquästionen des Marsilius von Inghen benutzt ist.⁵⁶

Irgendwann im 14. Jahrhundert scheinen Versuche begonnen zu haben, über die Möglichkeiten der Pneumatik des Philon von Byzanz hinauszukommen. Man wusste längst von der Kraft der Luft, von der schon Aristoteles spricht.⁵⁷ Man interessierte sich nun mehr und mehr auch für Pumpen und erträumte den Bau von Wasserleitungen, die ganze Seen über einen sie umgebenden Kranz von Bergen ins Tal auslaufen lassen sollten. Solche Vorstellungen vermittelt zuerst eine Zeichnung in Konrad Kyesers Kriegsbuch (*Bellifortis*) von 1405. Die Italiener Taccola, Francesco di Giorgio Martini und selbst der junge Leonardo da Vinci (Handschrift B) wollten Mühlen mittels solchermaßen herangeführtem Wasser betreiben. Sie scheuten sich

Wiesbaden 1974; Heron Alexandrinus, *Opera quae supersunt omnia I: Pneumatica et Automata*, rec. Guilelmus Schmidt, Leipzig 1899 (ND 1976).

- 52 The Book of Ingenious Devices (*Kitab al-Hiyal*) by the Banu (Sons of) Musa bin Shakir, translated and annotated by Donald R. Hill, Dordrecht al. 1979. Friedrich Hauser, Über das *Kitab al-Hiyal* – das Werk über die sinnreichen Anordnungen der Benu Musa (Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin, Bd. 1), Erlangen 1922.
- 53 Ibn al-Razzaz al-Jazari, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, translated and annotated by Donald R. Hill, Dordrecht u. Boston 1974, S. 95-126 (Vessels and figures suitable for drinking sessions).
- 54 Lateinischer Text mit deutscher Übersetzung am bequemsten bei Schmidt (wie Anm. 51), S. 459-490.
- 55 Roger Bacon, *Questiones supra libros octo physicorum Aristotelis*, ed. F.M. Delorme (*Opera hactenus inedita Rogeri Baconi*, Bd. 13), Oxford 1935, S. 199-204.
- 56 Pierre Duhem, *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic VIII*, Paris 1956, S. 126-138. Vgl. Einleitung zur Edition von Konrad Gruter (wie Anm. 30), S. 138-140.
- 57 Albertus Magnus, ed. Hossfeld (wie Anm. 9), S. 231.

nicht, den Einsatz möglichst dicker Rohre zu empfehlen.⁵⁸ Es half auch nichts, dass 1575 Federico Commandino die ausführliche Pneumatik des Heron von Alexandrien in lateinischer Übersetzung veröffentlichte. Herons ausführliche Erklärung und Begründung der Wirkung des Hebers hinderte weder den Neapolitaner Gianbattista della Porta, Autor einer *Magia naturalis* (1589, 1615), noch den kaiserlichen Hofgelehrten Jacopo de Strada (1507-1518), noch den in französischen Diensten stehenden Kriegsingenieur Agostino Ramelli (1531-1590), sich mit immer komplizierteren Modellen zu beschäftigen. Ramelli setzt eine doppelte Kolbenpumpe ein, die Wasser auf ein großes oberschlächtiges Zellrad hebt, das wiederum die Pumpe antreiben soll. Bei Strada sollen insbesondere die archimedische Schraube und ein Schwungrad zur „Wiederhinaufhebung“ des Wassers dienen, das zuvor einen Mühlstein angetrieben hat.⁵⁹ Es ist ein Spiel mit mechanischen Elementen, sowohl „künstlerische als nützliche Speculation, ... einem jeden Künstler zu fer nem Nachdenken anheim gestellt“, wie es 1661 in G.A. Boecklers *Theatrum machinarum novum* heißt.⁶⁰ Von der zwischenzeitlich erfolgten Entdeckung des Luftdrucks durch Beeckman, Torricelli und Pascal ist bei Boeckler noch keine Rede.⁶¹ Er bemerkt allerdings, dass man „allezeit mehr Wasser durch die beyde Schnecken I. und M. in den Kasten A hinaufführen solle, als durch (die Trombe) B auf das Rad abfällt“.⁶²

Ein neues Licht auch auf die Anfänge des pneumatischen Perpetuum mobile wirft wieder der schon oben erwähnte Traktat des Konrad Gruter von 1424. Er behandelt hier in den Kapiteln 1 bis 5 zunächst die Ergebnisse der antiken Pneumatik. Er nennt Philons Traktat *De aquarum ductibus* ausdrücklich nur in Kapitel 5, zeigt aber auch in Kapitel 1 bis 3 schon philonische Heber und in Kapitel 4 einen Heronsbrunnen, ohne Heron hierbei zu erwäh-

- 58 Klemm (wie Anm. 37), S. 28-33. Wessels (wie Anm. 4), S. 596 ordnet diese Heber der „vektoriellen Schwerkraftüberwindung“ zu. Karl-Heinz Ludwig, Art. Perpetuum mobile, in: Lexikon des Mittelalters 6, 1993, Sp. 1895-96, verweist auf Zeichnungen des Philipp Mönch (1495) in einer Heidelberger Handschrift: Es sind Pumpen, deren Schöpfwasser auf das Antriebsrad zurückfallen soll.
- 59 Abbildungen zu den genannten Autoren bei Klemm (wie Anm. 37), S. 72-89. Vgl. auch Stanislas Michal, Das Perpetuum mobile gestern und heute, Düsseldorf 1976 und Klemm (wie Anm. 37), S. 49-54 zu den hydraulischen Perpetua der Jesuiten Kircher, Schott und Solski.
- 60 Abbildungen aus Boeckler bei Klemm (wie Anm. 37), S. 80f. Die Frage der venezianischen Erfindungen von Perpetua mobilia lasse ich hier offen. Vgl. Roberto Berbeglieri, Inventori stranieri a Venezia (1474-1788). Importazione di tecnologie e circolazione di tecnici artigiani inventori. Repertorio, Venezia 1995 und ders., Le vie di Venezia. Canali lagunari e rii a Venezia: Inventori, brevetti, tecnologia e legislazione nei secoli XIII-XVIII, Sommacampagna (VR) 1999.
- 61 Der Luftdruck spielt in den neuen Saugpumpen (ab 15. Jahrhundert) eine entscheidende Rolle. Beim Bau solcher Pumpen bemerkten toskanische Pumpenbauer 1641 die Begrenzung des Aufstiegs von Wasser in Pumpenrohren auf eine Höhe von maximal 18 Ellen (9 bis 10 m).
- 62 Boeckler bei Klemm (wie Anm. 37), S. 85.

nen.⁶³ Kapitel 6 und 7 dagegen entsprechen Versuchen des 14. Jahrhunderts, über Philon hinaus zu kommen: „Manche richten eine lange Leitung aus Blei oder anderem Material in die Höhe, biegen sie nach unten um und befestigen gleich nach dieser Biegung ein großes Wassergefäß... Dabei behaupten sie (*arguentes*), das Wasser werde von der großen Menge und Schwere durch die kurze (an den großen Behälter anschließende) Röhre ausgetrieben und steige, damit sich kein Vakuum bilde, durch die lange Steigleitung auf. ... Diese Leute irren sich und ich irrte mich, als ich es zuerst an einem kleinen Gerät ausprobieren wollte“ (Kap. 6)

Gruter baut anschließend ein größeres Modell und bemerkt, wie in den großen oberen Behälter Luft eindrang, verbunden mit Gurgellauten (*ululatum in vase predicto*).⁶⁴ Sein nachfolgender Erklärungsversuch schließt an die zeitgenössische Theorie des größeren Abstandes vom Erdzentrum an. Dadurch sei das kürzere Rohr trotz größerem Wasserinhalt besser geeignet zum Eintritt von Luft als zum Anziehen weiteren Wassers. Sein nachfolgendes Bild einer Luftflasche, die aus der tiefsten Tiefe des Meeres aufsteigt, scheint ebenfalls aus der zeitgenössischen Literatur entnommen.

Gruters Kapitel 7 steht ganz im Zeichen des Themas *motus continuus*. Gruter will ihn hier durch Wasserdruck aus Spitzkegeln ermöglichen. Durch diesen Druck steige das Wasser in dünnen Röhren um einen Zoll über das Niveau im Kegel hinaus und fließe zurück in diesen. Er will etwas derartiges tatsächlich beobachtet haben (*contigit quod vidi...*), überprüft es mittels einer durchsichtigen Glasröhre und glaubt danach, tatsächlich stehendes Wasser in eine Dauerbewegung (*in perpetuum motum*) versetzt zu haben. Was er beobachtet hat, kann modern gesprochen mit Kapillarasension zu tun haben. Deren Wirkung reicht zwar bei weitem nicht aus für jedweden Antrieb. Trotzdem wurde der Gedanke im 17. Jahrhundert noch einmal aufgegriffen.⁶⁵

4. Kritik an der Idee einer perpetuierlichen Bewegung

Wie wir sahen, hat das angeblich geschlossene Denksystem der aristotelischen Naturphilosophie im späten Mittelalter die Erprobung verschiedener Modelle von *Perpetua mobilia* keineswegs verhindert. Vieles, was das 16. und 17. Jahrhundert in üppigen Kupferstichen dem Publikum vor Augen führt, geht gedanklich auf das 13. und 14. Jahrhundert zurück und wird im 15. Jahrhundert auch schon zeichnerisch dargestellt. Kritik ist ebenfalls bereits aus dem 15. Jahrhundert bekannt, und zwar bei Konrad Gruter, Johannes

63 Vgl. hierzu auch den Einleitungsband zur Edition von Konrad Gruters Maschinenbuch (wie Anm. 30) S. 44-52.

64 Gruter (wie Anm. 30), Kap. 6. Einen fehlgeschlagenen Versuch dieser Art bezeugt schon Heron, *Pneum.* I, 2, ed. Schmidt (wie Anm. 51), S. 33.

65 Wessels (wie Anm. 4), S. 595 Anm. 43 u. Abb. 14 (Entwurf Holzhammers von 1602, vgl. Michal (wie Anm. 59).

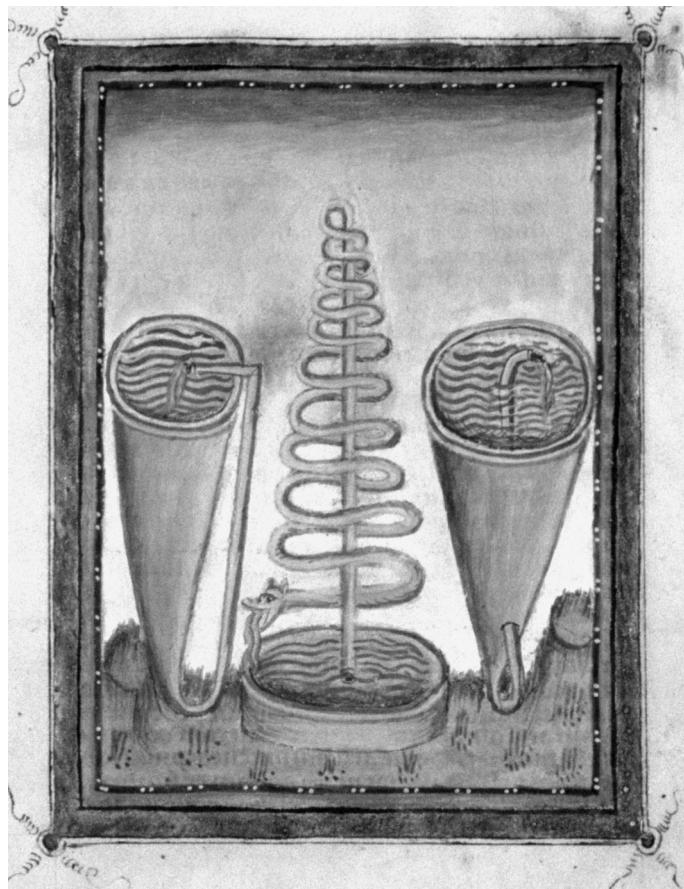


Abb. 3: Pneumatisches Perpetuum nach Konrad Gruter, *De machinis*, Kap. 7, Biblioteca apostolica Vaticana, ms. Vat. lat. 5961f. 8r. Der Autor hat, anders als bei den Rädern, sein Scheitern in diesem Falle nicht bemerkt. Er schreibt: „Und als ich das Gerät mit einer durchsichtigen Glasröhre überprüfte und das Aufsteigen und Absinken des Wassers sah, da wusste ich, dass stehendes oder ruhendes Wasser beweglich und in eine Dauerbewegung versetzbare ist, und dies auch der Vernunft entspricht ...“.

Fontana und Leonardo da Vinci. Auf die Feststellungen Gruters und Fontanas, die viel gelobten Räder seien nicht funktionstüchtig, gehe ich hier nicht erneut ein.⁶⁶ Für Leonardo bemerkt Klemm, der sich mit seinen Perpetua am

66 Vgl. auch Anm. 31. In dem von Horst Kranz derzeit zur Edition vorbereiteten Traktat *De pisce, cane et volucre* äußert Fontana sich folgendermaßen: *Verum quartum modum intellegereret, qui sciret perpetuam rotam mobilem componere, quoniam haberet in hoc et in multis aliis artingenitiis motorem primum; quam (rotam) in ventribus animalium vel occultis edificiorum locis statuere posset, ut reliquas rotas moveret. Sed de hac rota tractatum feci, in quo plurimorum fantastice mobilitatis rote (de)scribuntur; opiniones et fallaces multum, tamen sensibus apparentes pro quibus, veluti alkimiste in arte sua, multi philosophi vel architecti laborantes tempus et expensas ammiserunt. Describuntur etiam ipsius rote quidam modi prolongissimo tempore satis possibles.* Die berühmte Bild-

ausführlichsten beschäftigt hat,⁶⁷ ein gespaltenes Verhältnis. Immer wieder fasziniere ihn die Idee, doch gewinne er auch deutliche Einsichten, die ihn an der Realisierbarkeit und der Qualität der schon vorliegenden Modelle zweifeln lasse. Ein allmählicher Erkenntnisfortschritt scheint in die Jahre 1488 bis etwa 1495 zu fallen. Um 1488 will der 36-jährige Leonardo Wasser im Heberohr noch eine ganze Meile aufsteigen lassen und die Leitung im Scheitel anzapfen zwecks Antriebs einer Mühle (dieselbe Vorstellung erscheint schon ca. sechs Jahrzehnte früher bei Gruter und Taccola).⁶⁸ Um 1493 datieren mechanische Modelle im Codex Atlanticus, deren Vorbilder noch weiter ins Mittelalter zurückführen. Es sind Modelle mit ungleicher Zahl von beweglichen Hebelgewichten, wie wir sie bei Villard gesehen haben, und Modelle mit Kugeln in gebogenen Zellen eines Rades, wie sie in arabischen Zeichnungen und bei Gruter auftauchten. Zum ersten notiert Leonardo jedoch schon: „Gib acht, welcher Schlag in dem Rad mehr Bewegung hervorruft“. Zum zweiten zeigt er geometrisch, dass „die Kugel liegen bleiben wird, ebenso auch der Schwerpunkt jeden flüssigen Körpers“ wie etwa Quecksilber.⁶⁹

Auf der Rückseite desselben Blattes steht ein entwicklungsgeschichtlich jüngeres Modell eines Uhrenantriebs, der durch Verschiebung von Wassersäulen mittels Bälgen und Gegengewichten betrieben werden soll. Hier fürchtet Leonardo bei der abschließenden Bewertung, das Gegengewicht könne das Wasser nicht überwältigen und werde „in einer gewissen Höhe des Behälters anhalten“.⁷⁰ Ähnlich im Codex Forster I (ca. 1492-95): Hier sollen zwei archimedische Schrauben sich wechselseitig Antriebwasser zuführen, wozu Leonardo bemerkt, das herab fallende Wasser könne keineswegs die gleiche Menge Wasser wieder in die Höhe bringen.⁷¹ Allgemeine Ablehnungen Leonardos „Contra del moto perpetuo“ finden sich in einer Pariser Handschrift 1492, im Codex Forster II, wo Leonardo über die „Spekulanten auf immerwährende Bewegung“ spottet, und im Codex Madrid I, wo er die Leichtgläubigkeiten der Menschen beklagt. Während vieler Jahrhunderte schon

handschrift Fontanas in München Staatsbibl., cod. Icon. 242f. 47v-48r, zeigt eine Röhre, die sich spiralförmig um die beiden oberen Drittel einer Säule legt, unterhalb schließt eine schiefe Ebene an. Von oben her soll nun ein innen unterteiltes, teilweise mit Quecksilber gefülltes Rad herabrollen. Das würde schubartig erfolgen (*successive*), was Fontana besonders schön finde. Vgl. Eugenio Battisti u. Giuseppe Saccaro Battisti, *Le macchine cifrate di Giovanni Fontana, con la riproduzione del codice Icon. 242 della Bayerische Staatsbibliothek di Monaco di Baviera e la decrittazione di esso e del cod. lat. nouv. acqu. 635 della Bibliothèque nationale di Parigi*, Mailand 1984.

67 Klemm (wie Anm. 37), S. 34-45. Vgl. ders., *Vom Perpetuum mobile zum Energieprinzip*, in: ders., *Zur Kulturgeschichte der Technik. Aufsätze und Vorträge 1954-1978*, München 1979, S. 230-240.

68 Pariser Codex B f. 26r, nach Klemm (wie Anm. 37), S. 27f.

69 Codex Atlanticus fol. 1062r (neue Zählung), nach Klemm (wie Anm. 37), S. 36f.

70 Codex Atlanticus fol. 1062r (neue Zählung), nach Klemm (wie Anm. 37), S. 38.

71 Codex Forster I, fol. 42v., nach Klemm (wie Anm. 37), S. 41.

hätten sie sich „in langer Forschung und Erprobung sowie mit großen Ausgaben“ dem ewigen Rad gewidmet,⁷² was sich mit den Aussagen eines Konrad Gruter trifft, der 1424 ähnliches beklagte, letztlich aber auch mit den kürzeren Angaben des 13. Jahrhunderts bei Pierre de Maricourt und Villard de Honnecourt.⁷³ Wenn es Inspirationsmangel beim Perpetuum mobile gegeben hat, so können wir abschließen, liegt er eher im 16. Jahrhundert als in der voraufgehenden Zeit.

Ein kluger Vitruv-Kommentator des 16. Jahrhunderts, der Venezianer Daniele Barbaro, verdeutlicht seine kritische Haltung in besonders feinsinniger Weise. Zur archimedischen Schraube (Vitruv, Arch. X, 6) merkt er an, dieses Instrument habe sich in den venezianischen Brenta-Sümpfen hervorragend bewährt: Ein Wasserrad treibt dort andere Räder und Getriebe an, zusätzlich zieht aber auch eine Schraube Wasser aus dem Sumpf und lässt es zurückfließen in den Fluss. Einige Leute würden darin geradezu eine perpetuierliche Bewegung erkennen. „Ich aber denke, dass wir anderes bedenken sollten, wenn wir die Schraube nutzen wollen, um Felder zu bewässern“.⁷⁴

5. Schlussbemerkung

Die Sichtweise der neueren deutschen Forschung zum Perpetuum mobile im Spätmittelalter, vertreten durch Anneliese Maier, Hans Blumenberg und Gregor Wessels, wird noch bestimmt vom Blick auf das Energieerhaltungsgesetz der modernen Physik und stellt die mittelalterliche Suche nach Lösungen deshalb implicite in das Umfeld vergeblicher und uneinsichtiger Bemühung. Zum anderen stützt sie sich auf ein leicht zum Einsturz zu bringendes *argumentum e silentio*, das Fehlen von Quellen wegen angeblich schweigender Quellen. Drittens geht sie von einem festen System des Aristotelismus aus, das sich bei näherer Lektüre in eine Vielzahl von durchaus differenzier-

72 Klemm (wie Anm. 37), S. 43f.

73 Weitere Kritik des früheren 15. Jahrhundert äußert der junge Venezianer Johannes Fontana. Auf die späteren venezianischen Erfinder kann ich leider nicht eingehen: Vgl. Berveglieri, Inventori (wie Anm. 60).

74 Der ablehnende Hinweis auf die perpetuierliche Bewegung steht erst in der dritten Ausgabe der *Dieci libri dell'Architettura* di M. Vitruvio, übersetzt und kommentiert von Daniele Barbaro, Venedig 1584, S. 462. Die Ich-Form der Aussage lässt vermuten, dass es sich um einen handschriftlichen Zusatz im Autorexemplar der Ausgaben von 1556 oder 1567 handelt, wo diese Bemerkung noch nicht gedruckt ist. Vgl. Stillman Drake, *An Agricultural Economist of the Late Renaissance*, in: B.S. Hall u. D.C. West, *On Pre-Modern Technology and Science. Studies in Honor of Lynn White Jr.*, Malibu 1976, S. 53-74, hier S. 56; diese Studie ist von größter Bedeutung für die Geschichte der Archimedischen Schraube im 16. Jahrhundert. Zur früheren Zeit vgl. Dietrich Lohrmann, *Die archimedische Schraube in der Geschichte der menschlichen Arbeit bis ins 15. Jahrhundert*, in: Verena Postel (Hg.), *Arbeit im Mittelalter. Vorstellungen und Wirklichkeiten*, Berlin 2006, S. 171-186. Zu Barbaro, Daniele, in: Vitruvius, *I dieci libri dell'architettura, tradotti e commentati da Daniele Barbaro*, Venedig 1584 vgl. auch Klemm (wie Anm. 37), S. 110 und Klemm (wie Anm. 67), S. 104f.

ten Meinungen auflöst. Markant ist insbesondere der Kontrast zwischen Albertus Magnus und Roger Bacon. Weitere Textforschung würde ein noch stärker zu differenzierendes Bild ergeben.

Mit Leonardos geometrischer Widerlegung des perpetuierlich laufenden Rades im Codex Madrid I hätte die weitere Forschung auf diesem Felde eigentlich erledigt sein können.⁷⁵ Diese Darlegung wie überhaupt der größte Teil der mechanischen Aufzeichnungen Leonardos ist den Zeitgenossen und nachfolgenden Generationen jedoch lange nicht zugänglich geworden. Die beiden Madrider Handschriften wurden bekanntlich erst 1964/65 wieder gefunden.

Historisch gesehen stand die Zeit vom 13. bis 17. Jahrhundert vor einem deutlich sich abzeichnenden Energieproblem. So ist es nicht verwunderlich, dass insbesondere das 13. Jahrhundert die damals neue, aus dem Osten stammende Idee begierig aufgriff und sie erproben wollte. Einige Stellen bei Aristoteles schienen der Nutzung himmlischer Kräfte nicht entgegenzustehen. Auch die nachfolgenden Jahrhunderte blieben nicht untätig, wie insbesondere die neu entdeckten Zeugnisse des Konrad Gruter und Johannes Fontana für die Zeit von etwa 1390 bis 1425 ergeben. Italien spielt eine führende Rolle. Motus continuus galt als eine zentrale Frage in der Mechanik und erscheint vielfältig auch in der Naturphilosophie. Vielleicht enthält gerade der deutliche Zusammenhang zwischen theoretischer und praktischer Bemühung schon im 13. und 14. Jahrhundert das wichtigste Ergebnis dieser Studie.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Dietrich Lohrmann, Historisches Institut, Kopernikusstr. 16, 52056 Aachen, Email: Lohrmann@rwth-aachen.de.

⁷⁵ Codex Madrid I, fol. 147v-148r (Facsimile-Edition von Ladislao Reti, Frankfurt a.M. 1974).

