

Beim Laden dieser Datei bitte beachten:

Die Installation des Acrobat Readers darf nicht mit „einfacher Installation“ sondern muss mit „manueller Installation“ erfolgt sein, da der Preprint chinesische Schriftzeichen enthält, die nur bei „manueller Installation“ geladen werden können.

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTSGESCHICHTE

Max Planck Institute for the History of Science

PREPRINT 136 (2000)

Jürgen Renn und Matthias Schemmel

Waagen und Wissen in China

Bericht einer Forschungsreise

Waagen und Wissen in China

Bericht einer Forschungsreise

| | |
|--|----|
| Einleitung..... | 1 |
| Kontaktaufnahme..... | 3 |
| Zwischen Akademie und Marktplatz..... | 6 |
| Alte und neue Waagen..... | 8 |
| Denkpause und erste Eindrücke..... | 11 |
| Begegnung mit einer tausendjährigen Tradition des Praktikerwissens..... | 12 |
| Vor verschlossenen Türen..... | 14 |
| Auf den Spuren der Pekinger Formel..... | 16 |
| Waagen, die keine sind..... | 20 |
| Abschließende Recherchen..... | 21 |
| Das Aussterben des Waagenbaus..... | 23 |
| Danksagung..... | 25 |
| Anhang A: Zum mohistischen Kanon..... | 26 |
| Anhang B: Bezeichnungen der Teile einer Laufgewichtswaage am Beispiel einer Waage vom Typ Changsha..... | 31 |
| Anhang C: Herstellung einer Laufgewichtswaage..... | 32 |
| Anhang D: Mentale Modelle in der Geschichte des Wissens: Auf dem Wege zu einer Paläontologie des mechanischen Denkens..... | 37 |
| Literatur..... | 55 |

Waagen und Wissen in China

Bericht einer Forschungsreise

Jürgen Renn und Matthias Schemmel

Einleitung

Unsere Forschungsarbeit zur Geschichte der Waage in China ist Teil eines Projektes, das sich mit dem Zusammenhang von praktischer Erfahrung und begrifflichen Strukturen in der Entstehung der Wissenschaft befaßt und eine Beschreibung langfristiger Entwicklungen des mechanischen Denkens zum Ziel hat.¹ Im Zentrum unserer Forschungsarbeit steht die ungleicharmige Waage.

Gleicharmige Waagen sind mindestens seit der Mitte des dritten Jahrtausends in Babylonien und Ägypten belegt; in China gibt es sie vermutlich seit Ende des zweiten Jahrtausends. Ihre Verwendung führte zu einer entwickelten Metrologie der Gewichte, aber nicht zu abstrakten Konzepten der Mechanik. Die ersten Hinweise auf das Auftreten der ungleicharmigen Waage findet man um 350 v. Chr. Zwei Typen von ungleicharmigen Waagen sind aus der europäischen Antike bekannt, der sog. „Besmer“, eine Waage mit beweglichem Aufhängepunkt und die sog. „Laufgewichtswaage“ oder „römische Schnellwaage“, eine Waage mit beweglichem Gegengewicht.² Diese Waagentypen setzen offensichtlich ein tieferes Verständnis der Beziehung zwischen der Konstruktion der Waage und ihrer Funktion zum

1. Eine Darstellung des theoretischen Hintergrundes dieses Projektes findet sich in Anhang D.

2. Ein dritter Waagentyp, bei dem Gegengewicht und Aufhängepunkt fest, dafür aber die Waagschale beweglich ist, kommt nur selten vor.

Bestimmen von Gewichten voraus. Etwa zur Zeit des Auftretens der ungleicharmigen Waagen entstanden in Griechenland und möglicherweise auch in China die ersten theoretischen Traktate zur Mechanik. In diesem Kontext wurde das Hebelgesetz formuliert, eine Schlüsselerkenntnis der Mechanik, die von da ab zu ihrem bleibenden Kern gehörte.

Die zeitliche Nähe der Erfindung der ungleicharmigen Waage und der Formulierung des Hebelgesetzes legt einen genetischen Zusammenhang dieser historischen Ereignisse nahe. Ist die Entdeckung des Hebelgesetzes der Erfindung der ungleicharmigen Waage vorangegangen, oder ist sie, umgekehrt, erst eine Konsequenz derselben? Welches mechanische Wissen wurde benötigt, um Waagen zu erfinden, herzustellen und zu benutzen, und welches Wissen konnte aus dem Umgang mit Waagen gewonnen werden? Antworten auf diese Fragen versprechen Einsichten in das Verhältnis von praktischer Erfahrung und theoretischem Wissen am Ursprung der Mechanik.

Diese Fragen werden im Rahmen eines Forschungsprojektes am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte verfolgt. Neben der Analyse und Neuinterpretation antiker, mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Quellen, werden historische Artefakte auf die kognitiven Voraussetzungen ihrer Bauweise hin untersucht. Für den europäischen Raum sind zu diesem Zweck die Waagen aus den reichen Funden aus Pompeji vermessen und analysiert worden. Auch die gegenwärtige Waagenbaupraxis in Italien, die eine Fortsetzung der antiken Tradition darstellt, wurde untersucht und dokumentiert.

Das Projekt ist aber keineswegs auf den europäischen Raum beschränkt. Das eng umrissene Gegenstandsfeld macht es möglich, verschiedene Kulturen systematisch in die Untersuchungen einzubeziehen. Alternative Wege der historischen Entwicklung, die Abhängigkeit der Wechselwirkung praktischen und theoretischen Wissens von sozialen und kulturellen Bedingungen, aber auch ein möglicher Austausch zwischen den Kulturen können auf diese Weise untersucht werden. Zunächst ist das Projekt auf den chinesischen Raum erweitert worden. Durch ihre lange Praktiker- und Wissenstradition eignet sich die chinesische Kultur besonders zu einer kulturvergleichenden Studie langfristiger Entwicklungen.

Wir berichten im folgenden von unserer Forschungsreise in China, die im Vorfeld des Delegationsbesuchs der Generalsekretärin der Max-Planck-Gesellschaft, Frau Dr. Bludau, im September 1998 stattfand. Neben dem Studium von Artefakten, die in chinesischen Sammlungen aufgehoben sind, und der Recherche nach historischen Quellen, die Aufschluß über die prak-

tische und die theoretische Bedeutung von Waagen in China geben, haben wir die heutige Praxis der Herstellung und der Anwendung der Laufgewichtswaage in China untersucht und dokumentiert. Zwei Fragenkomplexe haben uns insbesondere bei unseren Untersuchungen in China geleitet:

- Sind die heute noch in China gebräuchlichen ungleicharmigen Waagen das Resultat einer eigenständigen Entwicklung oder eines Wissenstransfers aus dem europäischen Raum? Zur Beantwortung dieser Frage ist es entscheidend, die frühesten Belege für den Gebrauch der ungleicharmigen Waagen in China zu identifizieren.
- Welches Wissen setzen Herstellung und Gebrauch der chinesischen Laufgewichtswaage voraus und welches Wissen kann daraus gewonnen werden? Geht insbesondere ein Kenntnis des Hebelgesetzes in die Herstellung ein? Setzt der Herstellungsprozeß überhaupt ein sprachlich repräsentiertes Wissen voraus, das selbständig tradiert wird (z.B. in Form von Praktikerregeln, Merksprüchen, Zahlenverhältnissen)?

Heute erlebt die Geschichte der Waage in China mit der allmählichen Verdrängung der Laufgewichtswaage ihre vermutlich folgenreichste Umwälzung, in der ein über Jahrhunderte tradiertes Wissen verloren geht. Mit unserer Forschungsreise nach China verband sich daher die Hoffnung, diese Tradition zumindest für eine historische Epistemologie des physikalischen Wissens zu bewahren.

Der folgende Bericht entstand auf der Grundlage eines täglich geführten Reisetagebuchs und behält diesen Charakter weitgehend bei, insbesondere auch, um unsere Eindrücke von der engagierten Unterstützung, die unsere Forschung in China erfahren hat, möglichst unverfälscht zu bewahren. Diese Form des Berichts bringt es allerdings mit sich, daß hier auch ungesicherte Arbeitshypothesen und vorläufige Schlüsse zur Sprache kommen, die im Lichte einer sorgfältigen Auswertung unserer Ergebnisse erst noch zu überprüfen sind.

Sonntag, der 6. September 1998. Peking. Kontaktaufnahme.

Am Pekinger Flughafen begrüßte uns der Vizedirektor der Abteilung für Westeuropäische Programme der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, Herr Chen Lesheng, der sich während unseres gesamten Aufenthaltes sehr bemühte, uns in unserem Forschungsvorhaben zu unterstützen.

Gleich am Tage unserer Ankunft in China haben wir ein Arbeitsgespräch mit chinesischen Wissenschaftlern arrangiert, um einen über die Literatur hinausgehenden Eindruck von der Forschungslage in China zu gewinnen und unser Forschungsprogramm darauf abzustimmen. An diesem Arbeitsgespräch nahmen Professor Qiu Guangming, Professor Zhang Baichun und Professor Wang Yihe teil.

Professor Qiu arbeitet über die Geschichte der chinesischen Metrologie. Sie ist ständiges Ratsmitglied am Institut für historische Metrologie und Ratsmitglied der wissenschaftlich-technischen archäologischen Vereinigung Chinas. Gerade hat sie ein neues Buch, einen Überblick über die chinesische Metrologie, fertiggestellt. Herr Wang, außerordentlicher Professor am Institut für die Technische Überwachung der Volksrepublik China, hatte auf Anfrage von Paul Weinig über das Goethe-Institut die Verbindung zu Professor Qiu hergestellt und war daher am Verlauf des Gesprächs interessiert.

Herr Zhang, außerordentlicher Professor am Institut für die Geschichte der Naturwissenschaften der Chinesischen Akademie der Wissenschaften,³ arbeitet über die Rezeption frühneuzeitlicher europäischer Wissenschaft in China und speziell über die Rolle, die der Jesuitenpater Matteo Ricci bei der Übermittlung von europäischem Wissen im 17. Jahrhundert gespielt hat. Zu seinen wissenschaftlichen Interessen gehört auch die Technikgeschichte des modernen China (siehe z.B. *Zhang 1992*). Mit ihm diskutierten wir insbesondere die Frage, ob Matteo Ricci und andere Europäer im 17. Jahrhundert in China eine eigenständige Tradition begründet haben, und ob es chinesische Traktate aus dieser Tradition gebe, in denen möglicherweise Verbindungen mit traditionellem Wissen, z.B. mit der chinesischen Mathematik, hergestellt wurden.

**Ergebnisse des
ersten Arbeits-
gesprächs**

— **Historische Quellen.** Auf unsere Frage nach historischen Quellen, die Auskunft über Herstellung und Gebrauch von Waagen geben, antwortete Professor Qiu, zur Herstellung von Waagen seien ihr zwar keine Quellen bekannt, nach Texten zur Verwendung von Waagen lohne es sich aber im *Song Shi* 宋史, im *Yuhai* 玉海 und im *Song Hui Yao Ji Gao* 宋會要輯稿 zu suchen. Nach historischen theoretischen Texten zur Waage gefragt, verwies Professor Qiu auf den uns bereits bekannten *Mohistischen Kanon* 墨經. Sie vertrat die Auffassung, daß in diesem Kanon die theoretische Grundlage für die chinesische Entwicklung der ungleicharmigen Waage gelegt worden sei. (Zum mohistischen Kanon siehe Anhang A.)

3. Herr Zhang ist inzwischen ordentlicher Professor an dem selben Institut und z.Zt. Gastwissenschaftler am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte.

- **Terminologie.** Einen weiteren Diskussionsschwerpunkt bildeten Fragen zu der überlieferten Terminologie für Waagen und den physikalischen Begriffen in deren Umkreis. Insbesondere fragten wir eingehend nach Begriffen wie dem des „positionellen Vorteils“, der in einigen Interpretationen des mohistischen Kanons auftaucht, um festzustellen, ob dieser Ausdruck in der weiteren chinesischen Tradition noch irgend eine Rolle gespielt hat. Nach Ansicht von Professor Qiu ist der Text des mohistischen Kanons allerdings zu korrumpiert, um eine eindeutige Interpretation zuzulassen. Sie hielt sich an die herkömmliche Interpretation des Zeichens *quan* 權 als Laufgewicht. Eine solche Interpretation unterstellt allerdings, daß es zur damaligen Zeit bereits Laufgewichtswaagen in China gab, wofür es nach unserem Wissen keine unabhängigen Beweise gibt.
- **Artefakte.** Desweiteren stellten wir Fragen zu überlieferten Artefakten. Professor Qiu konnte uns bestätigen, was wir über die Sammlungen chinesischer Museen wußten; daß die Sammlung im Historischen Museum in Peking die größte Waagensammlung im Raum der Volksrepublik China sei, und dieses Museum daher sicherlich das wichtigste für unser Projekt sei; daß es in Changsha gleicharmige Waagen gebe, bei denen allerdings zumeist der Waagebalken, da er aus Holz gewesen ist, schon verrottet sei und nur noch die Gewichte übrig seien. Wir erfuhren, daß keine Laufgewichtswaagen aus der Zeit vor der Ming-Dynastie (1368–1644) erhalten seien. Die Song-zeitlichen Waagen, deren Vorhandensein ein Artikel des Historikers Guo Zhengzhong nahezulegen schien (*Guo 1994*), sind nur aus schriftlichen Quellen bekannt.
- **Die Frage der Standardgewichte.** Ob die Laufgewichtswaagen alten Stils Standardgewichte als Laufgewichte verwenden, stellte sich als eine auf Grund des gegenwärtigen Informationsstands nicht leicht zu beantwortende Frage heraus. Diese Frage ist für uns deshalb bedeutsam, weil sich viele Datierungen des ersten Auftretens von Laufgewichtswaagen in China auf frühe Funde offenbar nicht standardisierter Gewichte stützen. Zu gleicharmigen Waagen gehörige Gewichte, so die in der Literatur geläufige Argumentation, entsprechen bestimmten ganzzahligen Vielfachen der Gewichtseinheiten, was bei Laufgewichten nicht erforderlich ist.
- **Heutige Produktion von Laufgewichtswaagen.** Eine weitere Frage bezog sich auf die heutige Fabrikation ungleicharmiger Waagen. Professor Qiu teilte uns mit, daß man, obwohl diese Waagen heute in China verboten seien, nach wie vor Personen finden könne, die sich auf das Herstellen solcher Waagen verstünden. Uns stellte es sich als eines der vordringlichen Ziele unseres Forschungsaufenthaltes dar, eine solche Waagen-

werkstatt aufzufinden und möglicherweise die Herstellung von Laufgewichtswaagen zu filmen. Professor Zhang und Professor Qiu versicherten uns, beim Aufsuchen einer solchen Werkstatt behilflich zu sein.

Montag, der 7. September 1998. Peking. Zwischen Akademie und Marktplatz.

Der Vormittag dieses Tages war einem Besuch des wissenschaftshistorischen Instituts der Chinesischen Akademie der Wissenschaften gewidmet. Anschließend haben wir auf der chinesischen Behörde für Kulturgegenstände (國家文物局 , 文物保護管理處) die Frage der Genehmigung von Untersuchung und Reproduktion von Artefakten in chinesischen Museen geklärt. Schließlich haben wir uns auf einem Pekinger Markt einen Eindruck vom gegenwärtigen Gebrauch der Laufgewichtswaage verschafft.

Besuch des Instituts für die Geschichte der Naturwissen- schaften und Planung zukünftiger Kooperation

Mit Professor Wang Yusheng, dem Vizedirektor des Instituts für die Geschichte der Naturwissenschaften, und einigen seiner Mitarbeiter besprachen wir Möglichkeiten zukünftiger Kooperation. Dabei erwähnten die chinesischen Kollegen ihre bereits bestehende Kooperation mit der Technischen Universität Berlin und regten an, einen ähnlichen Kooperationsvertrag mit dem Max-Planck-Institut abzuschließen. Dieser sollte unter anderem den Austausch von jüngeren Wissenschaftlern ebenso wie von Gastwissenschaftlern zwischen beiden Institutionen ermöglichen. Eine Frage, der zukünftige gemeinsame Forschungen gewidmet werden könnten, betrifft die Rezeption des von Europa nach China gelangten Wissens vor dem Hintergrund der eigenen Wissenstradition.

Als ein weiterer möglicher Schwerpunkt für eine Kooperation stellte sich die gemeinsame Nutzung elektronischer Medien heraus. Anschließend an unsere Vorstellung der im Institut verwendeten computergestützten Methoden der Bearbeitung historischer Dokumente, besprachen wir die Rolle, die elektronische Medien gerade auch für die chinesische Wissenschaft spielen könnten. Die chinesischen Kollegen zeigten sich besonders an der Möglichkeit interessiert, wissenschaftshistorische Dokumente und Veröffentlichungen in Zukunft im Internet verfügbar zu machen. Sie sahen darin auch eine Chance, neue Grundlagen für internationale Kooperationen zu schaffen. Wir vereinbarten, auch im Namen des Leiters der Bibliothek des Max-Planck-Institutes, Urs Schoepflin, einen Austausch der Bibliotheken unserer Institute über Möglichkeiten des Einsatzes von EDV in der Wissenschaftsgeschichte.

Beim anschließenden Gang zur Behörde für chinesische Kulturgegenstände wurden wir von Herrn Chai Xiaoming, dem Vizedirektor der Abteilung, empfangen. Er erläuterte, daß die Behörde uns für nicht kommerzielle Zwecke eine generelle Erlaubnis zur Reproduktion und zum Vermessen von Artefakten in Museen erteilen könne, die jeweils aber im einzelnen noch mit den Museen abzusprechen sei, da dort zum Teil besondere Vorschriften gelten.

Auf einem Lebensmittelmarkt im Xicheng Bezirk haben wir uns ein Bild vom Innovationszyklus chinesischer Waagen machen können, der in Peking im Vergleich zu kleineren Städten (wie wir in den folgenden Tagen in Changsha sehen konnten) schon recht weit fortgeschritten ist. Neben der Laufgewichtswaage alten Stils gibt es solche, die nach dem gleichen Prinzip funktionieren, aber inzwischen zu einem industriell gefertigten Gerät weiterentwickelt wurden und bei denen der Laufgewichtsarm der Waage in einer Öse nur noch geringen Spielraum hat. Diese Laufgewichtswaagen neueren Typus waren auf dem Markt etwa in gleicher Anzahl vorhanden wie moderne Federwaagen. Daneben wurden von einigen Händlern bereits elektronische Waagen verwendet.

Auf diesem Markt fanden wir nur eine Laufgewichtswaage alten Stils, die von einer jungen Teeverkäuferin aus Yunnan verwendet wurde (siehe Abb. 1). Wir bateten sie um Erlaubnis, sie beim Wiegen zu filmen, und sie führte uns daraufhin die Benutzung dieser Waage vor. Insbesondere zeigte sie, daß die Waage nicht ins Gleichgewicht gebracht wird, sondern daß das Sinken der Last ausschlaggebend ist, d.h. es wird zugunsten des Kunden gewogen. (Auch für die Laufgewichtswaagen neueren Typs gilt die Ware als richtig ausgewogen, wenn der Balken mit dem Laufgewicht an den oberen Rand



Praxis der Verwendung der Laufgewichtswaage (1): Markt in Peking

Abb. 1: Verwendung der Laufgewichtswaage auf einem Markt in Peking

der Öse stößt. Den Umgang mit dieser Waage haben wir ebenfalls filmisch festgehalten.)

Als wir die Laufgewichtswaage der Teeverkäuferin genauer in Augenschein nahmen, konnten wir unsere Annahme bestätigen, daß die Funktionsweise solcher Waagen nicht ohne weiteres durch das Hebelgesetz erklärt wird. In der Tat konnten wir feststellen, daß der Nullpunkt der Skala nicht im Drehpunkt (Fulcrum) der Waage lag, wie man im Falle einer direkten Anwendbarkeit des Hebelgesetzes erwarten würde. (Zur Bezeichnung der Teile der Laufgewichtswaage siehe Anhang B.)

Dienstag, der 8. September 1998. Peking. Alte und neue Waagen.

Dieser Tag war dem Studium von Artefakten im Historischen Museum der Volksrepublik China im Zentrum von Peking gewidmet. Außerdem haben wir unser Bild von der gegenwärtigen Praxis der Benutzung von Laufgewichtswaagen in einer traditionellen chinesischen Apotheke erweitert.

Arbeit im Historischen Museum der Volksrepublik China

*Abb. 2: Eine der
beiden in der
Literatur bekannten
Ming-Waagen aus
der Wanli-Periode
(1573 – 1619)*

Zum Antrittsbesuch im Museum begrüßten uns der Vizedirektor des Museums, Professor Zhu Fenghan, und Professor Wang Guanzhuo, der Experte für Wissenschaftsgeschichte in diesem Museum.



Bei der Besichtigung des Museums in Begleitung von Professor Wang Guanzhuo bekamen wir viele der für unsere Forschung relevanten Objekte zu sehen. So zum Beispiel eine der beiden in der Literatur bekannten Waagen aus der Ming-Zeit (siehe Abb. 2), die beiden sogenannten „Wang-Waagebalken“ (王字銅衡) aus der Zeit der Streitenden Reiche (475–221

v. Chr.) (siehe Abb. 3) und eine Waage aus dem Staate Chu, ebenfalls aus der Zeit der Streitenden Reiche, die nur in Bruchstücken überliefert ist.

Die „Wang-Balken“ gaben uns ein Rätsel auf: Wie konnte mit ihnen wohl gewogen worden sein? Hängt man sie an ihrer Öse auf, so kann man auf beiden ihrer Arme entweder Gewichte oder eine Last anhängen. Allerdings waren keine Spuren einer Aufhängung zu erkennen. Und wozu diente die vom linken bis zum rechten Ende durchgängige, äquidistante Skala, die zehn Abschnitte zählte? Erst gegen Ende unserer Reise sollten wir hinter das Geheimnis kommen.



Abb. 3: Die zwei bronzenen „Wang-Balken“

Wir hatten dem Museum lange vor unserer Abreise nach China unser spezielles Interesse an sechs Objekten angekündigt und um Unterstützung bei unserem Forschungsvorhaben gebeten. Nach einem eingehenden Vorgespräch wurde uns schließlich Gelegenheit zu einer direkten Vermessung eines der Objekte gegeben. Es handelte sich dabei um eine Ming-Waage, die nicht in der Vitrine ausgestellt war.

- **Schwierigkeit der Zuordnung.** Unsere Untersuchung der Waage begann mit einer Überraschung: Wir konnten die Waage, obwohl sie die in der Literatur angegebenen Inskriptionen „Wan Li“ (萬曆) auf Gewicht und Waagschale trug, mit keiner der beiden aus der Literatur bekannten Ming-Waagen identifizieren. Sie unterschied sich von diesen schon in den auffälligsten Details, so zum Beispiel der Länge des Waagebalkens und dem Gewicht des Laufgewichtes. Auch der uns begleitende Museumsassistent wußte hierüber keine Auskunft zu geben.
- **Beziehung der Ming-Waagen zu heutigen Waagen.** Während eine detaillierte Analyse der Vermessungsergebnisse, die wir in einer Datenbank festgehalten haben, noch aussteht, ergaben sich gleich vor Ort Hinweise darauf, daß die Waage aus der Ming-Zeit nach Prinzipien gebaut ist, die noch den heute in China gebräuchlichen Waagen zugrunde liegen.

**Erste Ergebnisse
des Studiums der
Ming-Waagen**

Praxis der Verwendung der Laufgewichtswaage (2): Apotheke in Peking

Wir hatten erfahren, daß nicht nur auf Märkten, sondern auch in Apotheken Laufgewichtswaagen nach wie vor gebräuchlich sind. Auf der Rückfahrt vom Museum fragten wir daher unseren chinesischen Fahrer, ob ihm eine Apotheke für chinesische Medizin bekannt sei. Auf diese Frage hin bog er sogleich von der großen Chang'an Dajie in eine der kleineren Nebenstraßen ab und hielt nach kurzer Fahrt vor einer Apotheke für traditionelle chinesische Medizin. Wir betraten die Apotheke, in der tatsächlich eine große Zahl von Laufgewichtswaagen in Gebrauch war. Rasch wurden verschiedene Medikamente abgewogen und nach dem Rezept für die Kunden zusammengestellt. Die verschiedenen Arbeitsabläufe, die wir auch filmisch dokumentiert haben, fanden auf engstem Raum nebeneinander statt und verliefen doch ganz reibungslos.

*Abb. 4:
Gebrauch von
Laufgewichtswaagen in einer
Apotheke in Peking*



Die Leiterin der Apotheke (vorne in Abb. 4) und ihr Personal begegneten uns äußerst freundlich und waren bereit, uns alles über ihren Gebrauch der Waagen zu erklären. Die Frage, ob die Laufgewichte Standardgewichten entsprechen, konnten

wir für die Apothekerwaagen klären: wir haben die Gewichte gewogen und festgestellt, daß sie jeweils sehr nahe bei 30g lagen, was für eine Standardisierung dieser Gewichte spricht.

Praktikerwissen und Hebelgesetz

Unsere bisherigen Beobachtungen betrafen nur das Wissen der Benutzer von Waagen. Um der Frage nach dem Wissen der Produzenten nachzugehen, war die Beobachtung des Herstellungsprozesses einer Laufgewichtswaage notwendig. Aufgrund der frappierenden baulichen Ähnlichkeiten der historischen und der gegenwärtigen Waagen, konnten wir zuversichtlich sein, durch das Studium der gegenwärtigen Waagenbaupraxis Einsichten in überliefertes Wissen zu erhalten. Inzwischen hatten sich drei Möglichkeiten für einen Manufakturbesuch ergeben. Die eine war direkt ein Ergebnis unseres Besuchs in der Apotheke, wo man uns auf eine lokale Pekinger Manufaktur verwies. Eine weitere war das Ergebnis der Bemühungen von Herrn Chen Lesheng, der uns mitteilte, daß Herr Chen Xin, Wissenschaftler am Institut für Geotektonik der Chinesischen Akademie der Wissenschaften

ten, der uns in Changsha begleiten würde, Kontakt zu einer solchen Manufaktur aufgenommen hätte. Die dritte Möglichkeit war durch die Vermittlung unserer Kollegen Zhang Baichun und Qiu Guangming zustande gekommen. Die Manufaktur, die nahe Peking in Tongzhou (Tongxian) liegt, planten wir mit beiden gemeinsam zu besuchen.

Mittwoch, der 9. September 1998. Peking, Changsha. Denkpause und erste Eindrücke.

Den Tag unseres Fluges von Peking nach Changsha haben wir für die Besprechung unserer bisherigen Ergebnisse und die Vorbereitung der folgenden Forschungsaufgaben genutzt.

Eine unserer zentralen forschungsleitenden Fragen betrifft die Beziehung zwischen Theorie und Praxis in der chinesischen Tradition. Eine Passage des mohistischen Kanons kann zwar so ausgelegt werden, daß darin eine qualitative Beschreibung des Funktionierens von Laufgewichtswaagen dargestellt wird, womit dieser Text eine Parallele etwa zu den „Fragen zur Mechanik“ des Pseudo-Aristoteles in der westlichen Tradition darstellen würde. Nach unserem bisherigen Wissen sind solche Laufgewichtswaagen in der chinesischen Tradition jedoch erst sehr viel später nachgewiesen. Bisher mangelt es jedenfalls an Indizien dafür, daß vor der Möglichkeit europäisch-arabischen Einflusses Laufgewichtswaagen in China überhaupt konstruiert wurden.

**Europäischer
Einfluß oder
unabhängige
Entwicklung?**

Unsere Hoffnung war, daß die Frage, wie früh Laufgewichtswaagen in China gebräuchlich waren, sich durch ein Studium der überlieferten Artefakte beantworten ließe. Dies war ein Hauptgrund für unsere Reise nach Changsha, wo wir uns im Museum der Provinz Hunan einige Waagen aus sehr früher Zeit anschauen wollten. Soweit wir wußten, handelte es sich dabei ausschließlich um gleicharmige Waagen, aber wir wollten die Möglichkeit untersuchen, daß zusätzliche Laufgewichte angebracht waren. Diese Möglichkeit erschien denkbar, da gleicharmige Waagen aus der römischen Antike, wie sich an Funden aus Pompeji nachweisen ließ, durchweg ein zusätzliches Laufgewicht besessen haben müssen.

**Praxis der
Verwendung
der Laufgewichts-
waage (3):
Apotheke und
Markt in
Changsha**

Auch in Changsha haben wir zunächst wieder die Benutzung von Waagen beobachtet und filmisch festgehalten. In Changsha sind die Laufgewichtswaagen alten Stils auf den Märkten noch sehr verbreitet.

Vor dem Hintergrund unserer Erfahrungen in Peking haben wir eine Apotheke für traditionelle chinesische Medizin aufgesucht, in der man uns bereitwillig das Funktionieren von Laufgewichtswaagen erklärt hat. Durch Fragen, die den Fragen des Pseudo-Aristoteles, des ersten Textes aus der griechischen Antike zur Mechanik, nachempfunden waren, wie die nach der Möglichkeit mit nur einem Gegengewicht verschiedene Lastgewichte wiegen zu können, haben wir versucht, etwas über das intuitive physikalische Wissen der Benutzer zu erfahren. Während zunächst einmal alle Antworten auf das Instrument selbst zielten — „das Gewicht kann hier auf der Skala abgelesen werden“ — so daß man annehmen muß, daß für die Benutzer das Wissen von diesen Zusammenhängen in der Waage selbst konserviert ist, hat weiteres Nachfragen die Benutzer ermuntert, Modelle zu entwickeln, um das Funktionieren der Laufgewichtswaage zu erklären. Sie kamen dabei zum Beispiel auf das Modell der Wippe zu sprechen, oder versuchten eine Erklärung mit Hilfe der Idee einer Kompensation von Entfernung und Gewicht.

Die Waagen der Straßenhändler sind allerdings etwas anders konstruiert als die in der Apotheke benutzten. Sie sind insbesondere etwas größer und etwas gröber. Auf die Frage hin, wie die Waage funktioniert, erläuterte uns ein Obstverkäufer wiederum, wie man das Gewicht von der Skala abliest.

**Donnerstag, der 10. September 1998. Changsha.
Begegnung mit einer tausendjährigen Tradition
des Praktikerwissens.**

Der Tag begann mit einem Besuch im Museum der Provinz Hunan und wurde mit einem Mittagessen mit dem Direktor des Geotektonischen Instituts der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, Professor Liu Shunsheng, fortgesetzt. Es folgte der Besuch einer Werkstatt, in der Laufgewichtswaagen nach alter Handwerkstradition hergestellt wurden. Schließlich haben wir den Besitzer der Werkstatt, Herrn Wen Zhifei, ausführlich interviewt.

Im Hunan Museum wurden wir vom Museumsdirektor, Professor Xiong Chuanxin, in Begleitung von etwa zehn Mitgliedern seines Mitarbeiterstabs, darunter der stellvertretende Direktor, Dr. Chen Songchang, der Assistenz-Direktor Professor Li Jianmao und der Assistenz-Direktor des akademischen Komitees, Dr. Liu Binhui, empfangen. Professor Xiong stellte sich als außerordentlich interessiert und kooperativ heraus und noch während des Begrüßungsgesprächs wurden die Objekte, für die wir uns interessierten, hereingetragen und uns zur Untersuchung überlassen. Einige unserer Beobachtungen seien hier genannt.

**Arbeit im Museum
der Provinz
Hunan**

- **Gewichtssätze gleicharmiger Waagen.** Mehrere Gewichtssätze gleicharmiger Waagen, die in der Umgebung von Changsha gefunden wurden und aus der Zeit der Streitenden Reiche bis zur Han-Zeit stammen, haben wir neu vermessen, da die handschriftlichen Notizen, die man uns dazu vorlegte, nicht zutrafen. Zu unserer Überraschung stellte sich heraus, daß die ringförmigen Gewichte nicht einfache Vielfache voneinander sind.
- **Mögliche Laufgewichte.** Außer diesen Gewichtssätzen von gleicharmigen Waagen haben wir Gewichte untersucht, deren Form dafür spricht, daß es sich bei ihnen um Laufgewichte handelt. Wir haben einige solcher Gewichte vermessen und die Ergebnisse in unsere Datenbank eingetragen. Nicht alle Gewichte sind eindeutig datierbar. Immerhin stammen sie alle aus der Song- oder der darauf folgenden Yuan-Zeit, d.h. aus der Zeit zwischen dem 10. und dem 14. Jahrhundert. Daß es in China zu dieser Zeit Laufgewichtswaagen gegeben hat, ist auch durch textliche Quellen belegbar (siehe z.B. *Guo 1993*).

Nach dem gemeinsamen Mittagessen mit dem Direktor des Geotektonischen Instituts, besuchten wir die Straßenwerkstatt eines Waagenbauers. Der junge Handwerker, den wir dort antrafen, war von unserem Vorhaben bereits unterrichtet und führte uns alle Arbeitsschritte zur Herstellung einer Laufgewichtswaage im einzelnen vor. Wir haben den gesamten Arbeitsvorgang ausführlich verfilmt. Eine kurze Beschreibung des Herstellungsprozesses mit Bildern ist im Anhang C zu finden.

**Werkstatt in
Changsha**

Im Anschluß haben wir den Meister der Werkstatt, der zugleich Besitzer dieser und zweier weiterer Werkstätten ist, in ein nahegelegenes Restaurant eingeladen und ausführlich über Bauweise und Tradition der Laufgewichtswaagen befragt. Auch dieses Interview haben wir aufgezeichnet.

Wir haben somit eine Variante der traditionellen Herstellung von Laufgewichtswaagen in allen Details kennengelernt, die sich von der europäischen vor allem dadurch unterscheidet, daß die Position des Fulcrums nicht vorge-

geben ist, sondern im Prinzip für jede einzelne Waage neu bestimmt werden kann. Für ähnliche Waagentypen werden allerdings feste Werte tradiert, so daß der Geselle die Zahlen dafür schon im Kopf hatte, während der Meister uns später erzählte, die Lage der Fulcra auch selbst bestimmt zu haben.

Freitag, der 11. September 1998. Peking. Vor verschlossenen Türen.

Den Tag unseres Rückflugs nach Peking haben wir wieder für die Nachbereitung unserer bisherigen Ergebnisse genutzt, um daraus die Prioritäten unserer Arbeit für die verbleibende Zeit abzuleiten. Insbesondere hatten wir uns vorgenommen, die Pekinger Waagenmanufaktur, die uns von unserem Apothekenbesuch her bekannt war, aufzusuchen. Die Realisierung dieses Vorhabens hielt allerdings einige Überraschungen für uns bereit.

Im zur Werkstatt gehörigen Laden wurden wir zunächst von der Verkäuferin mit dem Hinweis, die Kunst des Waagenbauens sei ein Familiengeheimnis, nicht zu den Waagenbauern durchgelassen. Aber auch nachdem wir erklärt hatten, daß das chinesische Wissen über den Waagenbau uns nicht zum Aufbau einer eigenen Produktion in Europa, sondern lediglich zu Forschungszwecken dienen sollte, blieb sie beharrlich bei ihrer ablehnenden Haltung. Nun leugnete sie, daß man in ihrer Familie überhaupt noch etwas vom Bau von Laufgewichtswaagen verstünde, und verstrickte sich mit jedem Satz, den sie weiter vorbrachte, tiefer in Widersprüche. Sie selbst jedenfalls schien, wie wir feststellen konnten, vom Waagenbau nichts zu verstehen. Zum Beispiel behauptete sie, die Länge des Fadens, an dem das Laufgewicht hängt, sei ausschlaggebend für das Funktionieren der Waage. Aber vielleicht war diese Äußerung ja auch nur ihre Art, das Familiengeheimnis zu wahren.

Wir waren mit der Rikscha gekommen, weil die Werkstatt im Herzen von Peking für Autos unzugänglich war. Als unser Rikschafahrer nun sah, daß wir mit unserem Vorhaben keinen Erfolg hatten, begann er zu erzählen, was er von Herstellung und Gebrauch der Laufgewichtswaage wußte. Zu unserer Überraschung konnte er Einzelheiten aus dem Herstellungsprozess schildern, die von einer großen Vertrautheit mit dem Waagenbau zeugten. Es stellte sich heraus, daß er als Kind neben einer Waagenwerkstatt aufgewachsen war.

Auf unsere Frage nach dem Hebelgesetz antwortete der Rikschafahrer mit einer Erklärung der Funktion der Laufgewichtswaage, und zwar insbesondere der Rolle ihrer beiden Fulcra. Chinesische Laufgewichtswaagen haben in der Regel zwei Fulcra (siehe die Abbildung in Anhang B). Mit dem ersten Fulcrum (touhao 頭毫) mißt man in einem Wägebereich, der bis zum höchsten mit der Waage meßbaren Gewicht reicht. Benutzt man das zweite Fulcrum (二毫), so kann man in einem Bereich wiegen, der von der Null (leere Waagschale) bis zu einem bestimmten Gewicht reicht, das möglichst ungefähr dem kleinsten mit dem ersten Fulcrum meßbaren Gewicht entspricht. Allerdings war unserem Rikschafahrer nicht klar, wie die Abstände der Fulcra im Herstellungsprozeß der Waage bestimmt werden.

Der Abend dieses Tages war einer vorläufigen Auswertung unserer Ergebnisse gewidmet:

- **Vorläufiges Ergebnis einer erneuten Durchmusterung unserer Daten zu den Gewichtssätzen in Changsha.** Die lineare Anordnung der Einzelgewichte, so wie sie in der Literatur behauptet wird, ist nicht ohne Schwierigkeiten mit den Daten in Übereinstimmung zu bringen. Die einzelnen Gewichte, insbesondere die kleineren, zeigen vom linearen Verlauf stark abweichende Werte. Nur eine statistische Auswertung von mehreren Gewichtssätzen kann Auskunft darüber geben, ob diese Abweichungen noch innerhalb der Fehlergrenzen liegen. Eine solche Auswertung ist unseres Wissens nach bisher in der Literatur nicht vorgenommen worden.
- **Evidenz für Laufgewichte?** Von den gugelhupfförmigen Gewichten, die als Kandidaten für Laufgewichte gelten und zum Teil aus sehr frühen Zeiten stammen — z. B. aus der Qin-Zeit (221-207 v. Chr.) — sind nur Einzelobjekte und keine Sätze gefunden worden, was ein Hinweis darauf sein könnte daß es sich tatsächlich um Laufgewichte handelt.
- **Bau von Laufgewichtswaagen erfolgt ohne explizite Anwendung des Hebelgesetzes.** Es ist uns durch die Einbeziehung von Praktikerwissen gelungen, die Herstellungsprinzipien von Ming-Waagen zu rekonstruieren. Insbesondere haben wir zeigen können, daß das Hebelgesetz für die Herstellung solcher Waagen — im Gegensatz zu der in der Literatur vorherrschenden Meinung — nicht erforderlich ist.

Samstag, der 12. September 1998. Peking. Auf den Spuren der Pekinger Formel.

An diesem Tag haben wir eine Waagenmanufaktur in Tongzhou bei Peking besucht. Herstellungsprozeß und anschließendes Interview haben wir wieder filmisch dokumentiert. Zhang Baichun und Professor Qiu haben uns begleitet.

Werkstatt in Peking

Im Gegensatz zur Werkstatt, die wir in Changsha besuchten, handelt es sich bei der Pekinger Waagenwerkstatt nicht um ein privates Unternehmen, sondern um eine Abteilung der Normbehörde. Zunächst haben wir Station in einem Büro der Normbehörde gemacht, das etwa auf halbem Weg zur Werkstatt liegt. Der Direktor, Herr Ai Chun, empfing uns mit mehreren Mitarbeitern und begleitete uns auch anschließend zur Werkstatt. Das Gespräch führte auf die Geschichte des Normwesens in China. So wurde zum Beispiel über die Umstellung der chinesischen Metrologie auf das internationale System im Jahr 1985 gesprochen.

Die Werkstatt untersteht Herrn Li, unter dem insgesamt 16 Leute arbeiten, von denen eine Person, eine Dame, die Waagen herstellt. Zwei bis drei Personen arbeiten als Verkäufer, eine Person ist Geldverwalter, eine andere Rechnungswalter (diese beiden letzten Positionen müssen personell getrennt sein), weiterhin gibt es drei bis vier Prüfer, die neben den in dieser Werkstatt hergestellten Waagen auch solche von außerhalb, z.B. auf dem Markt, prüfen. Daneben gibt es zwei Fahrer, eine Schülerin der Waagenbauerin und verschiedene andere Personen, die zur „Einheit“ gehören aber selbst nicht produktiv sind, z.B. Rentner.

Die Herstellungszeit einer Waage beträgt etwa zwei Stunden. Die Waagen werden zum Preis von 20 bis 30 Yuan pro Stück verkauft, ein Betrag, von dem ein sehr kleiner Teil an den Staat abgeführt wird. Neben der Waagenherstellung übernimmt die Werkstatt die Verteilung und den Vertrieb von Waagen, die anderswo angekauft werden, ebenso wie die Reparatur und die Prüfung von Waagen, die ebenfalls kostenpflichtig ist.

Im Anschluß an den Herstellungsprozeß haben wir eine Diskussion mit einigen in der Werkstatt Beschäftigten geführt, darunter waren die Handwerkerin, der Chef ihrer Abteilung der Behörde, der Bruder ihres Meisters und die Beamten der Normbehörde. Wir haben auf diese Weise viele Informationen zum Herstellungsprozeß und seinem sozialen Umfeld gewonnen.

Aus moderner Sicht geht das physikalische Wissen, das wir heute durch das Hebelgesetz zum Ausdruck bringen, vor allem in drei Phasen des Herstellungsprozesses ein: a) in die Dimensionierung der Waage, b) in die Bestimmung der Lage der Fulcra der Waage, c) in die Eichung und Gestaltung ihrer Skalen. Das Vorgehen bezüglich des Punktes c) war in Peking recht ähnlich wie in Changsha und ist daher im Anhang C (Herstellung einer Laufgewichtswaage) nachzulesen. Hier wollen wir etwas genauer auf das Vorgehen der Handwerker bezüglich der Punkte a) und b) eingehen.

a) Ausgangspunkt für die Herstellung einer Waage ist das Wissen um ihre Dimensionierung, z.B. darüber, welche Länge des Waagebalkens zu welchem Laufgewicht gehört. Diese Eckdaten bestimmen den Wägebereich einer Waage. Sie muß der Waagenbauer kennen noch bevor er mit dem ersten Arbeitsgang beginnt. Dieses Wissen wird offenbar nicht jedesmal durch Ausprobieren gewonnen, sondern ist Teil eines überlieferten Wissenskanons und zum Teil auch in behördlichen Bestimmungen festgehalten.

b) Die Lage der Fulcra legt die Skalen der Laufgewichtswaage fest und bestimmt ihr Verhältnis zueinander. Ihre Bestimmung stellt einen zentralen Aspekt des Planungswissens, das in den Bau einer Laufgewichtswaage eingeht, dar. Die Positionen der Fulcra müssen so gewählt werden, daß die Skala, deren Maximalwert vorgegeben ist, auf den Balken vorgegebener Länge paßt, d.h. einerseits die Länge des Balkens nicht übertrifft, andererseits den Balken aber ausfüllt. Wie wird die Lage der Fulcra bestimmt, so daß diese Bedingungen erfüllt sind?

Wir konnten drei verschiedene Methoden zur Bestimmung der Position der Fulcra ausmachen:

1. Empirische Bestimmung der Fulcra. Eine Methode zur Bestimmung der Lage der Fulcra besteht im Ausbalancieren des Balkens (siehe Abb. 5). Dazu werden Haken und Waagschale am Balken angebracht und die dem Höchstgewicht der Skala entsprechenden Standardgewichte aufgelegt. Das Laufgewicht wird an diejenige Stelle am Ende des Balkens geschoben, an dem die Skala enden soll. So wird der Waagebalken auf einem Messer ausbalanciert. Die Position des Messers bei ausbalanciertem Balken wird als Lage des Fulcrums markiert. Benützt man diese Methode zur Bestimmung beider Fulcra, so kann man erreichen, daß beide Skalen auf einer Höhe enden, was von der Handwerkerin als „schön“ bezeichnet wurde. Auch vom Meister in Changsha wurde diese Methode als die zuverlässigste bezeichnet.

Abb. 5: Werkstatt in Peking: Bestimmung der Lage des zweiten Fulcrums durch Auflegen von Gewichten und Ausbalancieren des Balkens.



Zur empirischen Bestimmung der Lage des Fulcrums wird also der Auflagepunkt variiert, während Lastgewicht und Gegengewicht (das Laufgewicht am Ende des Balkens) vorgegeben sind. Hier wird also das gleiche Verfahren verwendet, das dem Besmer, der Waage mit beweglichem Fulcrum, zugrundeliegt.

2. Eine Rechnung zur Bestimmung der Position des Fulcrums. Die empirische Methode zur Bestimmung der Lage des Fulcrums verlangt, daß man das höchste mit der zum Fulcrum gehörigen Skala meßbare Gewicht hebt. Da die Handwerkerin hier eine Waage herstellt, die bis zu 15 kg messen kann, bedeutet das, daß sie im Falle

des ersten Fulcrums Referenzgewichte von 15 kg hätte ausbalancieren müssen. Stattdessen verwendete sie, wie der Geselle in Changsha, den Zirkel, um den Balken in eine bestimmte Zahl von Abschnitten zu teilen (siehe Abb. 6) und das Fulcrum auf dem ersten Teilpunkt zu konstruieren. Aber woher stammt die Zahl der Abschnitte?

Abb. 6: Werkstatt in Peking: Abmessung der Lage des ersten Fulcrums mithilfe des Zirkels.



Der Geselle in Changsha hatte diese Zahlen von seinem Meister gelernt. Sie können also einen Teil des tradierten Wissens bilden. Die Handwerkerin dagegen gab an, die Zahl von 21,5 Abschnitten selbst durch eine Rechnung bestimmt

zu haben. In einem längeren Gespräch brachten wir sie schließlich dazu, die Formel, die ihrer Rechnung zugrunde liegt, niederzuschreiben. Diese „Pekinger Formel“ bestimmt die Lage des Fulcrums aus dem erwünschten Wägebereich der Waage und dem verfügbaren Laufgewicht. Zum maximal mit der Waage meßbaren Gewicht wird das Gewicht der Waagschale addiert und das Ergebnis durch das Laufgewicht geteilt. Daraus ergibt sich die Anzahl der Abschnitte von der Aufhängung des Lastge-

wichtiges bis zum Ende des Balkens, mit der Maßgabe, daß das Fulcrum am Ende des ersten Abschnittes (ausgehend von der Lastaufhängung) anzubringen ist:

$$\frac{\text{Maximalgewicht} + \text{Gewicht der Waagschale}}{\text{Gewicht des Laufgewichtes}} = \text{Anzahl der Abschnitte}$$

Bei der konkreten Rechnung werden 16000 (15000 g Maximalgewicht + 1000 g für die Waagschale) durch 750 (das genormte Gewicht des Laufgewichtes) geteilt, mit dem Ergebnis von angenähert 21,5. Das Gesamtgewicht wird also in Einheiten des Laufgewichtes gemessen, und daraus die Anzahl der

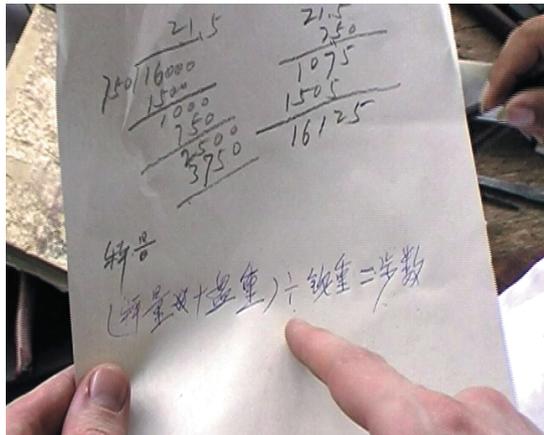


Abb. 7: Die „Pekinger Formel“ (blau) und die konkrete Rechnung für eine Waage mit einem Maximalgewicht von 15 kg (schwarz)

Skalenteile auf dem Gesamtbalken bestimmt. Damit ist die Lage des einen Fulcrums bestimmt, und zwar nach einer Rechnung, die nicht mit dem Hebelgesetz übereinstimmt. Die Pekinger Formel ergibt vielmehr leicht vom Hebelgesetz abweichende Werte. Die Abweichungen gehen dabei gerade in die Richtung, in die das Hebelgesetz aufgrund des Eigengewichtes des Balkens korrigiert werden müßte.

Wir haben diese Rechnung mit den Werten aus Changsha verglichen und dabei überraschenderweise eine völlige Übereinstimmung gefunden. Es ist also möglich, daß das durch diese Formel repräsentierte Erfahrungswissen die Grundlage für Planung und Herstellung der chinesischen Laufgewichtswaagen darstellt.

- 3. Relative Lage der Fulcra zueinander.** Auch die relative Lage der zwei Fulcra ist offenbar durch eine Praktikerregel bestimmt. Nach Auskunft des Meisters wird die Strecke von der Lastaufhängung zum zweiten Fulcrum in drei Teile geteilt und die Position des ersten Fulcrums so abgetragen, daß seine Entfernung von der Lastaufhängung ein Drittel der gesamten Strecke beträgt.

Auf der Fahrt nach Tongzhou, ebenso wie auf dem Rückweg nach Peking, haben wir mit Professor Qiu noch einmal eingehend über ihr neues Buch gesprochen und haben sie unter anderem nach weiteren Funden, die eine frühe Existenz der Laufgewichtswaage in China belegen könnten, befragt. Während uns nach Durchsicht von *Qiu 1992* der früheste Kandidat für ein

Laufgewicht — seiner Form nach geurteilt — aus der Nördlichen Qi-Dynastie (550–577) zu stammen schien (S. 437 Nr. 198), verwies sie auf Funde jüngerer Datums, die auch in ihrem neuesten Buch besprochen werden, von dem sie ein Manuskript mitgebracht hatte. Dabei handelt es sich offenbar um Funde von Gewichten im Zusammenhang mit anderen Teilen von Waagen: ein gugelhupfförmiges Gewicht mit einer einzelnen Waagschale, gefunden in Jiazuo, Provinz Henan aus der Zeit der Östlichen Han-Dynastie, etwa von 9 n. Chr. und ein gugelhupfförmiges Gewicht mit Haken und Resten eines Holzbalkens, gefunden in Baoji, Shaanxi, ebenfalls aus der Östlichen Han. Die Tatsache, daß es sich jeweils um einzelne Gewichte, einzelne Waagschalen, bzw. um einzelne Haken handelt, könnte als Indiz für eine Laufgewichtswaage aufgefaßt werden.

Sonntag, der 13. September 1998. Peking. Waagen, die keine sind.

Vor Ankunft der Delegation der Max-Planck-Gesellschaft unter der Leitung von Frau Dr. Bludau am Nachmittag haben wir noch einmal das Historische Museum besucht und dort verschiedene Objekte, die für unsere Forschung von Interesse sind, dokumentiert.

Neubewertung der „Wang- Balken“

Unter diesen Objekten befinden sich auch die sogenannten „Wang-Waagebalken“ (siehe Abb. 3, auf Seite 9), deren erneute genaue Betrachtung uns in einer Vermutung bestärkt hat, die uns in den letzten Tagen gekommen war. Diese bronzenen Balken werden in der Literatur als Waagebalken zweier gleicharmiger Waagen mit zusätzlichen Skalen zur Verschiebung von Last und Gewicht und damit als eine Art Übergangstypus von der gleicharmigen Waage zur Laufgewichtswaage aus der Zeit der Streitenden Reiche (475–221 v. Chr.) interpretiert (*Liu 1979*). Mit größter Wahrscheinlichkeit handelt es sich hierbei aber gar nicht um Waagebalken sondern um Längenmaßstäbe. Zu dieser Vermutung geben folgende Hinweise Anlaß.

- Die Balken besitzen an ihren Enden keine Aufhängeschlaufen oder Aufhängepunkte zum Anhängen von Gewichten oder Schalen.
- Der letzte Punkt der Skala fällt mit dem Ende des Balkens zusammen, das Ende der Skala müßte sich aber etwas versetzt nach innen befinden, um eine Aufhängung zu ermöglichen.
- Die Unterteilung des Balkens in Einheiten entspricht keinem für die damalige Zeit belegten System von Gewichtseinheiten, läßt sich allerdings mit bekannten Längeneinheiten in Verbindung bringen. Die Tatsa-

che, daß die Längenabstände auf der Skala sehr genau einer Einheit aus dem Qin-Längenmaßsystem entsprechen, legt die Interpretation der Balken als Längenmaßstäbe nahe.

- In einem Buch von Professor Qiu (*Qiu 1992*) sind sehr ähnliche Objekte als Längenmaßstäbe klassifiziert. (Vgl. z.B. die Nummern 58 und 59 in diesem Buch.) Sie stammen aus der Zeit der Östlichen Han-Dynastie (25-220 n. Chr.), sind exakt gleich lang, ebenfalls in 10 Einheiten unterteilt und tragen ebenfalls in der Mitte ein dreieckförmiges Muster. Der einzige Unterschied zu den Wang-Balken besteht darin, daß die wahrscheinlich zum Aufhängen der Maßstäbe angebrachten Löcher nicht in der Mitte, sondern an einem Ende der Maßstäbe zu finden sind. Die Maßstäbe aus der Zeit der Östlichen Han sind, genau wie die Wang-Balken, in der Provinz Anhui gefunden worden, so daß es sich um die gleiche Klasse von Objekten handeln könnte. Dieser Befund stellt die Zuverlässigkeit der Datierung der Wang-Balken in Frage, zumal bisher kein Beleg dafür bekannt ist, daß die Einheiten, die auf der Längenskala der Balken abgebildet sind, im Staate Chu verwendet wurden. Möglicherweise sind diese Balken nicht zur Zeit der Streitenden Reiche hergestellt, sondern ebenfalls zur Zeit der Östlichen Han.

14. bis 18. September 1998. Peking. Abschließende Recherchen.

Einer von uns (MS) blieb noch nach der Abreise der Delegation bis zum 18. September in Peking, um die Forschungsarbeit fortzuführen. Neben einem Besuch von Frau Qiu an ihrem Arbeitsplatz, dem Nationalen Institut für Metrologie der Volksrepublik China, und einem Gespräch mit dem renommierten Historiker Guo Zhengzhong, der gerade aus Italien zurückgekommen war, wurde mit der Literaturrecherche in der Bibliothek des Instituts für die Geschichte der Naturwissenschaften begonnen. Einige vorläufige Ergebnisse dieser Tage seien hier genannt:

- Es stellte sich bei der weiteren Recherche in der Tat heraus, daß die Datierung der Wang-Balken nicht ganz sicher ist: Einziger konkreter Hinweis ist ein Gefäß aus der Zeit der Streitenden Reiche, das ein ähnlich geschriebenes Zeichen „Wang“ (王) trägt (siehe *Qiu 1992*, S.151, Nr. 26 b).

Abb. 8: Wandmalerei aus den Dunhuang-Grotten (Nordwand der Grotte Nr. 254. Quelle: Seki, Tō 1978, S. 69)



— Die älteste bekannte Abbildung einer ungleicharmigen Waage in China befindet sich in den Dunhuang-Grotten in Gansu und ist aus der Zeit der Nördlichen und Südlichen Dynastien (5. – 6. Jahrhundert) (siehe Abb. 8). Desweiteren wird ein Gemälde, auf dem eine Laufgewichtswaage zu erkennen ist, auf die Zeit der Nördlichen und Südlichen Dynastien datiert. Allerdings ist nur eine spätere Kopie die-

ses Gemäldes, die wiederum auf die Tang-Zeit (618–907) datiert wird, erhalten, was aber nicht unumstritten ist.

- Professor Guo datiert das Auftreten der Laufgewichtswaage in China auf das Ende der Östlichen Han (25–220). Seine Ansicht sei hier mit einem kurzen Auszug aus seinem Buch (*Guo 1993*, S. 29 ff) wiedergegeben. Zunächst benennt er drei herkömmliche Sichtweisen: 1) die Laufgewichtswaage sei zur Zeit der Streitenden Reiche entstanden, für diesen Standpunkt werde der mohistische Kanon und die einzelnen Gewichte aus der Qin- und Hanzeit als Belege angeführt; 2) die Laufgewichtswaage sei zur Zeit der Östlichen Han bereits weit verbreitet gewesen, als Beleg werde die Tatsache, daß die Gewichte der Östlichen Han keine Normgewichte sind, angeführt; und 3) die Laufgewichtswaage sei zur Zeit der drei Reiche (220–280) aus der gleicharmigen Waage durch Verschiebung des Fulcrums aus der Mittellage entstanden, und sei im 5. und 6. Jahrhundert weit verbreitet gewesen, was durch Gewichtsfunde aus der Zeit der Nördlichen Wei und der Nördlichen Qi zu belegen versucht werde. Professor Guo schreibt hierzu in seinem Buch Folgendes (*Guo 1993*, S. 29–30):

Unter den drei obigen Meinungen bleibt die erste ein hinreichendes Argument schuldig, die dritte ist offensichtlich vergleichsweise zuverlässig. Tatsächlich wird die Tatsache, daß zur Zeit der Südlichen und Nördlichen Dynastien der Gebrauch der am Seil gehaltenen Laufgewichtswaage verbreitet war, nicht nur durch die Abbildung „Zhi Cheng Tu“ [gemeint ist das oben erwähnte Bild, dessen Kopie erhalten ist] und Quellen, die davon sprechen, daß „der Balken Zahlen für Jin und Liang [Gewichtseinheiten] trägt“ bestätigt, sondern darüber hinaus durch die große Zahl der ausgegrabenen Laufgewichte bewiesen.

Für seine Auffassung, die, wie er sagt, der zweiten der oben genannten Sichtweisen nahe kommt, führt er eine Textstelle aus dem *Tang Ben Cao* 唐本草 an, in dem gesagt wird, daß die Jin-Waage 晉秤, die er als Laufgewichtswaage deutet, gegen Ende der Östlichen Han aufgetreten sei.

Samstag, der 19. September 1998. Nanjing. Das Aussterben des Waagenbaus.

Bei einem anschließenden Besuch in Nanjing ergab sich die Gelegenheit, einen weiteren Waagenbaumeister aufzusuchen, um ihn nach Wissenstradition und Bauprinzip der Laufgewichtswaage zu befragen. Er war bereits sehr alt und wohnte mit seiner Frau in einer Ladenwerkstatt in der Nähe des Zhonghua Men. Die Einheit, zu der sein Laden gehörte, eine Waagenfabrik südlich des Zhonghua Men, habe, so erzählte er, früher über zweitausend Mitarbeiter besessen. Nun würde die Fabrik bald schließen, da sie bankrott sei. Auch bei einem Besuch in der



Abb. 9: Gebrauch der Laufgewichtswaage auf einem Markt in Nanjing.

Fabrik wurde bestätigt, daß dieser Meister der letzte Laufgewichtswaagenbauer der „Einheit“ sei, und daß es, wenn er sterbe, niemanden mehr gebe, der diese noch herstellen kann. Das gelte für ganz Nanjing, da die Regierung beschlossen habe, die Laufgewichtswaagen auslaufen zu lassen (taotai 淘汰), es würden dann nur noch Federwaagen hergestellt werden.

**Waagenbau-
tradition in
Nanjing**

Einige weitere Ergebnisse der Befragung, die sich teilweise mit unseren Erfahrungen aus Peking, teilweise mit denen aus Changsha decken, seien hier genannt.

- **Tradition und Empirie in der Bestimmung der Position der Fulcra.** Das Bestimmen der Fulcra wurde, so die Auskunft des Waagenbauers, durch Aufhängen der Waage, Auflegen von Gewichtssteinen und Ausbalancieren der Waage, also empirisch vorgenommen. Das müsse man aber nicht für jede einzelne Waage tun, sondern lediglich für jeden Waagentyp einmal, dann könne man die Abstände mithilfe des Zirkels ausmessen. Auf die Frage, ob es eine Formel oder Regel zur Berechnung der Lage der Fulcra gebe, gab der Waagenbauer widersprüchliche Auskunft.
- **Zusammenarbeit von Fabrik und Behörden zur Herstellung genormter Gewichte.** Die Gewichte für die Laufgewichtswaagen werden, wie der Angestellte der Waagenfabrik weiter mitteilte, in der Fabrik selbst gegossen und dann von der Maßbehörde überprüft. Anschließend können sie zum Waagenbau verwendet werden.
- **Tradierung des Wissens.** Das Wissen über den Waagenbau werde, so führte der Waagenbauer aus, von Meister zu Meister weitergegeben. Meister und Lehrling seien immer verwandt, so daß es sich um eine Familientradition handele. Er habe aber keinen Lehrling mehr und habe auch niemals einen gehabt. Merksprüche zum Erlernen und Memorieren der Waagenbautechnik gebe es nicht. Aufgeschrieben werde ebenfalls nichts. Alles, auch alle Zahlen müsse man sich auswendig merken. Alle Zahlen seien tradiert, auch solche, die die Lage des Fulcrums bestimmten. Dennoch habe er die Lage der Fulcra auch selbst vermessen.
- **Waagenimport.** In einem Waagenladen am Shuixi Men, den der Waagenbauer nannte, war zu hören, daß es in Nanjing auch selbständige Waagenbauer wie in Changsha gebe. Viele Waagen, zum Beispiel die kleinen Dengzi (Laufgewichtswaagen) aus Metall und die meisten der modernen Waagen würden aber in der Provinz Zhejiang hergestellt und nach Nanjing geliefert.

Danksagung

An erster Stelle möchten wir hier der Chinesischen Akademie der Wissenschaften danken, die unsere Forschungen in jeder Hinsicht unterstützt und gefördert hat. Unser besonderer Dank gilt dabei Herrn Dr. Chen Lesheng, gegenwärtig geschäftsführender Vizedirektor des Chinesisch-Deutschen Zentrums für Wissenschaftsförderung, der mit Einfühlungsvermögen, Geduld und Engagement unsere ungewöhnliche Gratwanderung zwischen Wissenschaft und Marktplatz erst möglich gemacht hat. Auch Herr Dr. Chen Xin, Herr Fang Qiang und andere Mitarbeiter der Akademie haben sich in einer Weise für unsere Forschungen eingesetzt, die wir nicht erwarten konnten und für die wir an dieser Stelle unseren herzlichen Dank sagen möchten. Unseren chinesischen Kollegen, den Professoren am Institut für die Geschichte der Naturwissenschaften der chinesischen Akademie der Wissenschaften, insbesondere Herrn Dr. Liu Dun, Direktor, Herrn Dr. Wang Yusheng, Vizedirektor, und Herrn Dr. Zhang Baichun, ebenso wie weiteren Kollegen dieses Instituts, aber auch Mitgliedern anderer Institutionen, insbesondere Frau Dr. Qiu Guangming, Professorin am Institut für Management der Behörde für die technische Überwachung der Volksrepublik China, Herrn Dr. Guo Zhengzhong, Professor am Institut für Geschichte der Chinesischen Akademie der Sozialwissenschaften und Herrn Dr. Fang Ximin, Professor an der Universität Nanjing, möchten wir für ihre Kooperationsbereitschaft, für ihre vielen hilfreichen Hinweise und für ihre großzügige Gastfreundschaft danken. Ebenso sei den Vertretern chinesischer Museen, insbesondere Herrn Dr. Xiong Chuanxin, Direktor des Museums der Provinz Hunan, und seinen Mitarbeitern, für ihre freundliche Unterstützung gedankt; auch den Herren Dr. Zhu Fenghan und Dr. Wang Guanzhuo, Professoren am Historischen Museum der Volksrepublik China, möchten wir an dieser Stelle danken. Nicht zuletzt möchten wir den chinesischen Handwerkern danken, die uns ohne Zögern die Türen ihrer Werkstätten geöffnet haben und uns an ihrem Jahrhunderte alten Wissen teilhaben ließen.

Im weiteren möchten wir dem China-Koordinierungsausschuß der Max-Planck-Gesellschaft und der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken, ohne deren Unterstützung unsere Forschungsreise nicht möglich gewesen wäre. Unser besonders herzlicher Dank gilt dabei Frau Dr. Barbara Spielmann, die uns bereits in der Vorbereitungsphase wohlwollend und unbürokratisch unterstützt hat. Darüberhinausgehend waren uns Herr Dr. Herwig Kempf und seine Mitarbeiter von der Zweigstelle Peking des Goethe-Instituts, Herr Dr. Hans Ulrich Vogel, Professor an der Universität Tübingen, und Dr. Herr Wang Yihe, Professor am Institut für die Technische Überwa-

chung der Volksrepublik China während unserer Vorbereitungen auf freundliche Weise behilflich, wofür wir uns hier herzlich bedanken möchten.

Unseren Kollegen am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, insbesondere Dr. Peter Damerow, Simone Rieger, Urs Schoepflin und Dr. Paul Weinig, ebenso wie Dr. Zhang Baichun, zur Zeit Gastwissenschaftler am Institut, möchten wir dafür danken, daß sie uns in bewährter Weise bei der Vorbereitung und Auswertung der Reise geholfen haben. Für die Anregung, einige unserer Ergebnisse bei einem Festkolloquium in Tübingen vorzustellen, möchten wir insbesondere Professor Dr. Uli Schwarz, Direktor am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie, danken.

Abschließend möchten wir unserer besonderen Dankbarkeit Ausdruck geben gegenüber der Generalsekretärin der Max-Planck-Gesellschaft, Frau Dr. Bludau, ebenso wie gegenüber Herrn Dr. Ebersold, Generalverwaltung der Max-Planck-Gesellschaft, für das freundliche Interesse an unseren Forschungen und für ihre geduldige Unterstützung unserer Arbeit, die sie uns auch während einer anstrengenden Delegationsreise gewährt haben.

Anhang A: Zum mohistischen Kanon

Die erste uns bekannte Formulierung des Hebelgesetzes findet sich in der Schrift des Pseudo-Aristoteles aus dem dritten vorchristlichen Jahrhundert. In derselben Schrift werden auch zum ersten Mal ungleicharmige Waagen beschrieben. Ebenfalls aus der Zeit um 300 v. Chr. stammt die einzige Schrift zur Mechanik aus der chinesischen Antike, die einen Teil des sogenannten Mohistischen Kanons bildet. So schwierig die Interpretation dieser Schrift ist, so unbezweifelbar ist es, daß sie sich in einem Abschnitt mit dem Problem der Wirkung eines Gewichts an verschiedenen langen Hebelarmen beschäftigt. Bevor wir diesen Abschnitt näher untersuchen, wollen wir kurz auf den historischen Kontext des Mohistischen Kanons eingehen.

Gegen Ende der Zhou-Dynastie (11. Jht. – 221 v. Chr.) fand mit dem Niedergang des Feudalstaates in China die größte soziale Umwälzung vor dem 19. Jahrhundert statt. Das Reich zerfiel in viele kleine Staaten und wurde erst wieder unter der Herrschaft der Qin (221 – 207 v. Chr.) und ihrer zentralisierten Beamtenbürokratie geeint. Ein wesentlicher Aspekt der gesellschaftlichen Entwicklung in dieser (sozialhistorisch bisher unzureichend erforschten) Periode ist in der Zunahme von Handwerk und Handel zu

sehen. Zugleich stellt diese Epoche — von der Frühlings- und Herbstperiode (770 – 476 v. Chr.) bis zur Zeit der Westlichen Han-Dynastie (206 v. Chr. – 24 n. Chr.) — eine Blütezeit der chinesischen Philosophie dar. Neben den im Westen weithin bekannten Konfuzianern und Daoisten bildeten im 4. und 3. vorchristlichen Jahrhundert die Mohisten eine dritte große philosophische Schule.

Über ihren Gründer, Mozi 墨子 (oder Mo Di 墨翟), der zwischen den Jahren 500 und 390 v. Chr. gelebt hat, ist wenig bekannt. Viele Autoren haben Hinweise auf handwerkliche Tätigkeit und einen den zeitgenössischen aristokratischen Philosophen gegenüber sozial niedrigeren Status Mo Dis als Belege aufgefaßt, daß er, wenn nicht selbst im Handwerk tätig, zumindest Verbindungen zu Handel und Handwerk besaß. Eine der Grundhaltungen der Mohisten bestand in ihrer Kriegsgegnerschaft, wobei sie allerdings den Verteidigungskrieg befürworteten und sich im Festungsbau spezialisierten. So handeln die letzten 20 Kapitel des insgesamt 71 Kapitel umfassenden Buches *Mozi*, vom Festungswesen und der defensiven Kriegsführung. Die anderen Kapitel behandeln in erster Linie ethische, aber auch logische und naturphilosophische Fragen.

Uns interessiert hier vor allem jener Teil, der als *Jingshuo* 經說 (Kanon und Erläuterungen) bezeichnet wird. Der Kanon ist in den Kapiteln 40 und 41 des *Mozi* zu finden und diente wahrscheinlich dazu, auswendig gelernt zu werden. Die dazugehörigen Erläuterungen bilden die Kapitel 42 und 43. Der Kanon und die Erläuterungen sind lange nach Mo Dis Tod, am Ende des 4. vorchristlichen Jahrhunderts entstanden und dem Neu-Mohismus zuzurechnen. In dieser Zeit waren die Schulen der chinesischen Philosophie zunehmend dazu übergegangen, ihre ethischen Grundsätze argumentativ zu stützen, womit sie auf andere zeitgenössische Strömungen, vor allem den Individualismus Yang Zhus 楊朱 und die „Schule der Namen“ (Mingjia 名家, häufig auch als „Sophisten“ bezeichnet) reagierten. Von den drei großen philosophischen Schulen haben dabei die Mohisten die Rationalisierung ihrer Lehre am konsequentesten durchgeführt, wovon der mohistische Kanon Zeugnis abgibt.

Unter der Herrschaft der Qin-Dynastie (221–207 v. Chr.), auf die die Schule der Legalisten einen starken Einfluß ausübte, wurden der Konfuzianismus und der Mohismus unterdrückt, ihre Anhänger verfolgt und ihre Schriften verbrannt. Während der Konfuzianismus unter der folgenden Han-Dynastie (206 v. Chr. – 220 n. Chr.) aber zur Staatsphilosophie erhoben und schließlich zur dominierenden Doktrin Chinas für mehr als 2000 Jahre wurde, hat sich der Mohismus von seiner Zerschlagung nie wieder erholt. Es ist gut vorstellbar, daß die mohistische Tradition als Anknüpfungspunkt für spätere

Versuche einer theoretischen Reflexion praktischer Erfahrung hätte dienen können, und daß demnach ihr Verschwinden weitreichende Folgen für die Entwicklung der chinesischen Wissenschaft hatte.

Wir wenden uns jetzt dem Text selbst zu. Der mohistische Kanon hat eine komplizierte Überlieferungsgeschichte und ist in Teilen so sehr korrumpiert, daß manche Autoren die Möglichkeit einer treuen Rekonstruktion und Interpretation vollständig verneinen. Zu den philologischen Schwierigkeiten und Verfahren, diesen zu begegnen, verweisen wir auf *Graham 1978* (S. 73–110), dem wir auch in unsrer Übersetzung und Interpretation weitgehend folgen. Bei dem Text, der im Zusammenhang unserer Forschung von Interesse ist, handelt es sich um den Kanon B 25 b und der dazugehörigen Erläuterung. Dies ist eines von sechs Textpaaren, die als zur Mechanik gehörig klassifiziert werden können. In unserer Wiedergabe des Textes folgen wir wiederum *Graham 1978* (S. 387).

< 衡 >。 ... < 說在得 >

衡。加重於其一旁必捶，權重相若也。相衡，則本短標長。兩加焉重相若，則標必下，標得權也。

Die erste Zeile stellt den Kanon dar, der aber in allen Teilen rekonstruiert werden mußte. Das erste Zeichen ist anhand des üblichen Musters von Kanon und Erläuterung erschlossen. Die drei Punkte deuten verlorengangenen Text an, der nicht rekonstruiert werden konnte. Schließlich folgen drei Zeichen, die den Kanon abschließen. Sie entstammen dem Kanon B 24, wohin sie aber irriger Weise geraten sind, wie sich plausibel argumentieren läßt (*Graham 1978*, S. 387–388). Die Erläuterung ist vollständig erhalten, wobei die Satzzeichen bereits Teil der Interpretation sind.

Wir geben nun die folgende Übersetzung, die sich eng an die Übersetzung Grahams hält:

Kanon: Der Balken (das Ausbalancieren) ... erläutert durch: „erhalten“.

Erläuterung: Der Balken: füge ein Gewicht auf seiner einen Seite hinzu, [dann] muß diese absinken, [denn] der positionelle Vorteil und das Gewicht sind auf beiden Seiten gleich. Balanciere beide Seiten aus, dann ist das *ben* kurz und das *biao* lang. Füge auf beiden Seiten das gleiche Gewicht hinzu, dann sinkt das *biao* notwendigerweise ab, denn es hat positionellen Vorteil gewonnen.

Den Begriff des „positionellen Vorteils“ werden wir weiter unten erörtern (siehe unten, Punkt 2).

Wir haben hier *ben* 本 und *biao* 標 als Spezialtermini unübersetzt gelassen. Eine mögliche Übersetzung bestünde in „Stamm“ und „Wipfel“ oder „dickes Ende“ und „dünnendes Ende“. 標 = 標 mit abweichendem Radikal.

Zum leichteren Umgang mit Originaltext und Übersetzung geben wir hier kurz lateinische Umschrift und Bedeutung der übrigen auftretenden chinesischen Zeichen an.

heng 衡 : Balken, ausbalancieren (siehe unten, Punkt 1); *shuo zai* 說在 [diese Formel findet sich gewöhnlicherweise am Ende eines Kanons und verweist auf die Erläuterung]: erläutert durch ... ; *de* 得 : erhalten, bekommen; *jia* 加 : addieren, hinzufügen; *zhong* 重 : Gewicht, schwer, wiegen (schwer sein); *yu* 於 : auf, zu, an, bei; *qi* 其 : sein (possessiv); *yi* 一 : eins, ein, eine; *pang* 旁 : Seite; *bi* 必 : zwangsläufig, müssen; *chui* 捶 = 垂 mit abweichendem Radikal: sinken, absinken; *quan* 權 „positioneller Vorteil“ (siehe unten, Punkt 2); *xiang* 相 : gegenseitig; *ruo* 若 : gleich; *ye* 也 : grammatische Partikel; *ze* 則 : dann (folgt); *duan* 短 : kurz; *chang* 長 : lang; *liang* 兩 : zwei; *yan* 焉 : dieses, 於之 (auf es); *xia* 下 : absinken, unten.

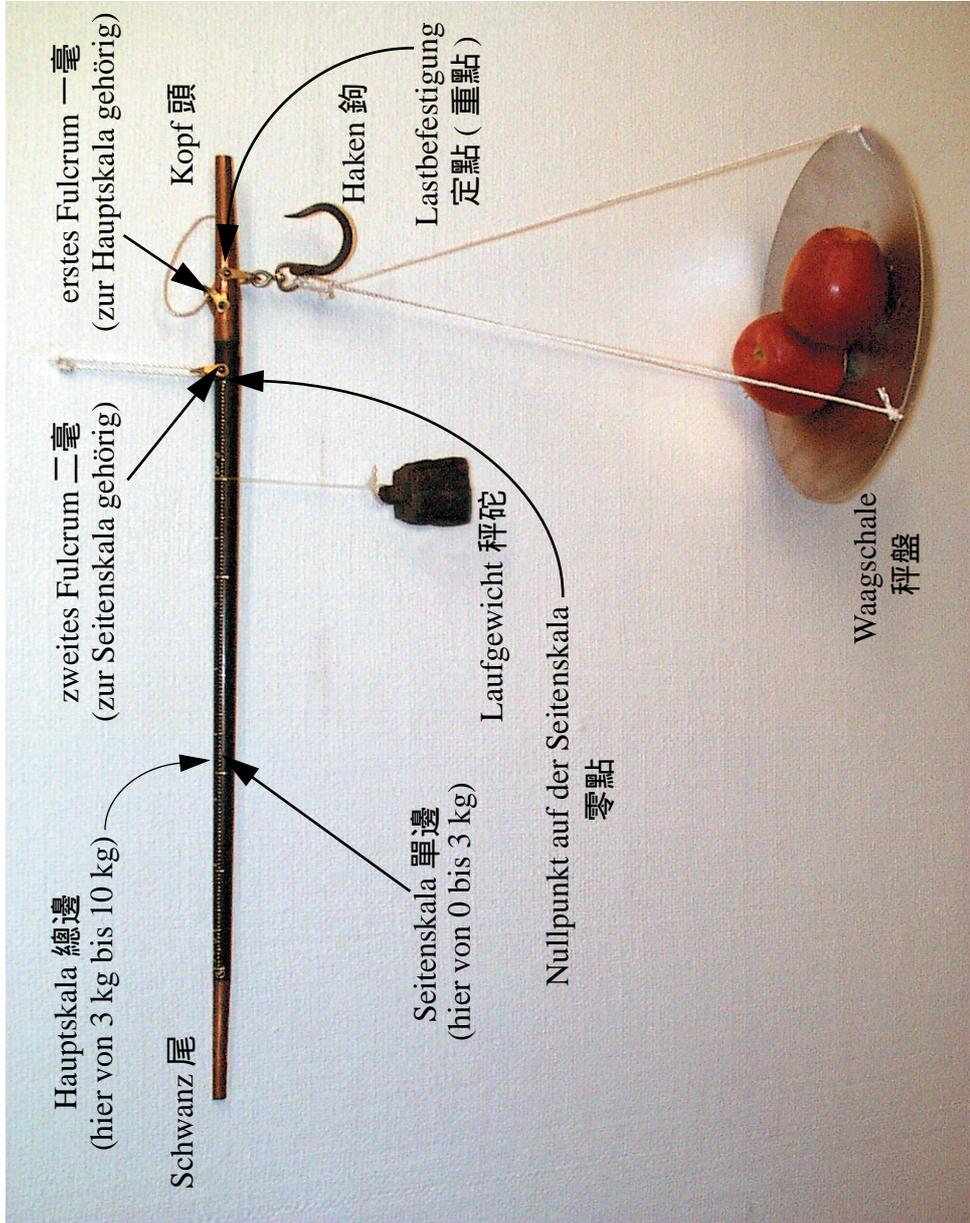
Wir wollen nun einige Bemerkungen zur Übersetzung und zu ihrer Interpretation hinzufügen.

1. Aus dem Text des mohistischen Kanons, wie wir ihn hier mit Graham verstehen, geht offensichtlich nicht eindeutig hervor, ob es sich um eine ungleicharmige Waage oder lediglich um einen Balken, der aufgehängt ist oder auf etwas aufliegt, handelt. Das Wort *heng* 衡 ist hier entweder substantivisch als „Balken“ oder verbal als „ausbalancieren“ übersetzt. Für die Richtigkeit von Joseph Needhams Interpretation von *heng* 衡 als „balance“ (Needham 1989, S. 22), sehen wir keinen Anhaltspunkt. (Bei *Huainanzi* 淮南子 aus dem 2. vorchristlichen Jahrhundert ist die Verwendung von *heng* 衡 als Waagebalken allerdings zu finden.) Sollte es sich bei der beschriebenen Anordnung aber tatsächlich um eine Wägegerät handeln, so legt diese Interpretation nahe, daß es sich um eine Waage vom Typ des Besmers handelt, also eine solche, bei der nicht ein Laufgewicht, sondern das Fulcrum verschoben wird (Graham 1978, S. 389).
2. Eine der größten Schwierigkeiten bei der Deutung dieses Textes ist zweifelsfrei die Interpretation des Wortes *quan* 權 . Ursprünglich Birkenholz bezeichnend, bekam dieses Zeichen schon früh abstrakte Bedeutungen wie Macht, Recht, (politisch) vorteilhafte Stellung, aber auch Gleichgewicht. In den *Gesprächen* des Konfuzius wird es für das gewogene

Gewicht verwendet, später und auch noch in heutiger Schriftsprache dient es als Bezeichnung für das Laufgewicht einer ungleicharmigen Waage. Von Needham wird es rundheraus als „steelyard“ übersetzt (*Needham 1989*, S. 22). Dies ist aber weder mit dem zweiten Auftreten von *quan* 權 in der Erläuterung zu B 25 b selbst, noch mit der Verwendung von *quan* 權 in der Erläuterung zum Kanon B 26 zu vereinbaren. Häufig wurde auch versucht, *quan* 權 als Laufgewicht zu übersetzen, womit die Passage 權重相若也 dann aussagen würde, daß Lastgewicht und Laufgewicht, also die Gewichte auf beiden Seiten des Balkens gleich groß seien. Graham schließt auch diese Interpretation aus und interpretiert *quan* 權 Qian Baocong folgend als eigenen mohistischen Fachterminus, den er als „positional advantage“ („positioneller Vorteil“) übersetzt (*Graham 1978*, S. 389-390). Diese Interpretation kann durch die Verwendung von *quan* 權 in der Erläuterung zum Kanon B 26 gestützt werden. Das folgende Problem bleibt unserer Ansicht nach aber bestehen:

3. Es ist unplausibel, daß im ersten Satz der Erläuterung, nachdem das Sinken der einen Seite konstatiert wurde, die Ausgeglichenheit von Gewicht und positionellem Vorteil auf beiden Seiten zur Erklärung herangezogen wird (權重相若也). Dies hat Qian Baocong dazu bewogen, die Verneinungspartikel *bu* 不 einzufügen (*Qian 1965*), womit der Satz nun 權重不相若也 , „der positionelle Vorteil und das Gewicht sind auf beiden Seiten nicht gleich“ lautet. Ein anderer Ausweg, der keine derartige Korruption dieser Textstelle unterstellt, könnte darin bestehen, *quan* 權 nicht als „positionellen Vorteil“, sondern allgemeiner als „Vorteil“ zu deuten, der dann sowohl in der Position als auch im Gewicht bestehen kann. Der Satz 權重相若也 wäre dann so zu verstehen, daß das *quan* 權 gleich dem *zhong* 重 ist, d.h. daß in diesem Falle der Vorteil im Gewicht besteht. Eine solche Verwendung von *xiang ruo* 相若 auf der Ebene der Begriffe ist aber an keiner anderen Stelle im Kanon zu finden, stattdessen würde ein solcher Sachverhalt vermutlich mit dem Satz 重 , 權也 zum Ausdruck gebracht werden.

Anhang B: Bezeichnungen der Teile einer Laufgewichtswaage am Beispiel einer Waage vom Typ Changsha



Anhang C: Herstellung einer Laufgewichtswaage



Dies ist eine der drei Werkstätten des Waagenbauers Wen Zhifei in Changsha (Bild links). Ein Geselle führte uns den Bau einer Laufgewichtswaage, die bis zu 10 kg wiegen kann, vor.



Ein unbearbeiteter Holzbalken wird auf eine Länge von 1,8 chi 尺 (60 cm) zurechtgesägt und gehobelt (Bild oben rechts).



Anschließend wird der Balken feinbearbeitet (feilen, schmirgeln etc.). An beiden Enden des Balkens werden dann Markierungen eingeritzt, die die Größe der später anzubringenden Metallkappen vorgeben.

Nun wird mithilfe eines in Tinte getränkten Fadens eine gerade Linie auf dem Balken markiert, entlang derer später die Hauptskala (總邊) zu konstruieren ist (Bild links).

Es folgt der sogenannte erste Schritt (第一步), die Bestimmung der Position der Fulcra. Dazu wird mithilfe eines Zirkels die Strecke vom Ende der einen zum Anfang der anderen Metallkappe entlang der mit dem Tintenfaden markierten Linie in eine vorgegebene Anzahl von Teilstrecken unterteilt. Diese Einteilung erfolgt empirisch, d.h. die Zirkelöffnung wird solange variiert, bis die Teilung aufgeht (Bild oben rechts). Die Anzahl der Teilstrecken (21,5 für die Hauptskala, 7,2 für die Nebenskala) sind vom Meister



vorgegeben worden. Zu den empirischen und theoretischen Möglichkeiten zu ihnen zu gelangen, siehe den Haupttext. Die Fulcra liegen dann auf der jeweils ersten Unterteilung.

Die Löcher zur Aufhängung der Fulcra werden mit einem elektrischen Bohrer eingebohrt. Auch sie liegen auf der für die Hauptkala gezogenen Linie.



Dann werden die Enden des Balkens zugeschliffen und die Metallkappen aus Kupferblech angebracht.

Auf beiden Seiten des Balkens wird nun wiederum mithilfe des Tintenfadens jeweils eine Linie gezogen. Diese dienen zur Markierung der Tiefe, bis zu der die Fulcra ausgesägt werden sollen. Auf einer der beiden Seiten des Balkens dient die Linie später außerdem der Konstruktion der Seitenskala (單邊).





Nach dem Aussägen der Fulcra (Bild links) werden die Ösen eingeschlagen (Bild rechts). Eine ähnliche Befestigung wie die



Aufhängung der Fulcra bekommt übrigens auch die Waagschale.

Diese wird schließlich mithilfe von drei Schnüren am Balken befestigt. Außerdem wird zusätzlich ein Haken zum Anhängen von Lasten angebracht.



Nun folgt der zweite Schritt (第二步), die Eichung der Skalen. Diese wird empirisch vorgenommen. Dazu werden verschiedene Standardgewichte aufgelegt und das Laufgewicht so verschoben, daß die Waage ausbalanciert ist. Die Position des Laufgewichtes wird sodann markiert. Für jedes der beiden Fulcra werden jeweils zwei Punkte auf der Skala markiert. Hier im Bild wird der Null-

punkt (keine aufliegenden Gewichte) auf der Seitenskala gemessen. Es folgt eine Messung mit 3 kg auf der Waagschale. Diese 3 kg markieren auch den Beginn der Hauptskala. Schließlich werden 5 kg an den Haken gehängt, um einen zweiten Punkt (8 kg) auf der Hauptskala zu bestimmen.

Mithilfe des Zirkels werden nun die Einteilungen auf der Skala vorgenommen. Wieder geht es dabei darum, die vorgegebenen Strecken in eine bestimmte Zahl von Teilstrecken zu teilen. Ist dies gelungen, so werden die einzelnen Unterteilungen in den Balken eingeritzt. Sie bilden die Markierungen auf der entstehenden Skala.



Die so markierten Punkte werden nun mit dem traditionellen Handbohrer ausgebohrt.



In diese Bohrlöcher wird dann ein Pulver, das aus Quecksilber und Zinn im Mischungsverhältnis 1:2 besteht, eingerieben (links). Die so entstehenden silbrigen Markierungen auf der Skala werden „Sterne“ genannt.



Nun erfolgt die Endbehandlung des Balkens. Er wird gewaschen und gestrichen.



Anschließend wird der Waagebalken gereinigt und poliert. Weitere Metallblättchen werden angebracht.



Schließlich werden alle Teile der Waage (Balken, Waagschale und Haken und das Laufgewicht) zusammengesetzt. Die Waage ist fertig.



Anhang D: Mentale Modelle in der Geschichte des Wissens: Auf dem Wege zu einer Paläontologie des mechanischen Denkens⁴

Es ist ein häufig verwendetes Cliché in Kriminalfilmen: der Inspektor befragt einen Verdächtigen und schickt sich an, den Raum zu verlassen. Beim Herausgehen fällt ihm — scheinbar beiläufig — noch etwas ein. Er hat bereits die Türklinke ergriffen, aber er dreht sich noch einmal um und stellt eine letzte, anscheinend harmlose Frage, wobei dem Verdächtigen erst viel später auffällt, daß es sich um eine Kernfrage des ganzen Gesprächs handelt. „Ach, wissen Sie zufällig, ob es in der Nähe hier einen Fleischer gibt? Es ist wegen meiner Frau, Sir.“ Diesem Schema ähnelt ein für mich und das Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte entscheidendes Gespräch mit Herrn Gierer. Im Anschluß an eine Expertenanhörung der Gründungskommission des Instituts, der Herr Gierer angehörte, stellte er mir, als die Sitzung sich bereits auflöste, noch eine Frage, deren Wortlaut ich vielleicht nicht ganz korrekt wiedergeben kann, die aber sinngemäß lautete: „Glauben Sie, daß ein Programm wie das, was Sie hier vorgestellt haben, in etwa fünf Jahren zu einem Ansatz für so etwas wie eine historische Theorie der Wissenschaft führen könnte?“

Wie der genannte Verdächtige muß auch ich zugeben, daß ich zunächst den Eindruck hatte, die Frage würde den Kern der Sache verfehlen. Denn die neue Wissenschaftsgeschichte, wie wir sie uns damals vorgestellt haben, sollte sich ja nicht zuletzt von einer normativen und realitätsfernen Theorie der Wissenschaft absetzen; sie sollte empirisch orientiert sein und offen für ein breites Spektrum theoretisch motivierter Fragen und Methoden.

Etwas mehr als fünf Jahre sind seit diesem Gespräch vergangen, und ich bin der freundlichen Einladung, hier in Tübingen zu Ehren von Alfred Gierer vorzutragen, auch deshalb gerne gefolgt, weil ich ihm außer dem Dank für sein Engagement zugunsten unseres Instituts auch noch den für seine damalige Frage schulde. Denn inzwischen spielt die Frage nach einer historischen Theorie der Wissenschaft eine zentrale Rolle für die Arbeit unseres Instituts. Betrachten Sie deshalb den folgenden Festvortrag als eine Para-

4. Dieser Vortrag wurde von Jürgen Renn zu Ehren des 70. Geburtstages von Prof. Dr. Alfred Gierer auf Einladung des Max-Planck-Instituts für Entwicklungsbiologie am 27. 5. 1999 in Tübingen gehalten. Er beruht auf gemeinsamer Arbeit mit Peter Damerow im Rahmen eines Forschungsprojekts des Max-Planck-Instituts für Wissenschaftsgeschichte.

phrase der von Alfred Gierer gestellten Gretchenfrage „Wie halten Sie es mit der Theorie?“

Analogie mit der Evolutionstheorie

Aus meiner heutigen Sicht gibt es gute Gründe, warum diese Frage gerade von einem Biologen aufgeworfen wurde.

Die Geschichte des Wissens in der menschlichen Gesellschaft ist wie die Geschichte des Lebens auf der Erde ein zusammenhängender Prozeß. Die Formen des Wissens können wie die Formen des Lebens zwar unter vielfältigen Aspekten studiert werden, aber die Erklärung ihrer Entwicklung macht es in beiden Fällen notwendig, nach einer Theorie zu suchen, die diese einzelne Aspekte nicht voneinander isoliert, sondern in ihrem Zusammenhang begreiflich macht. Eine solche Theorie hat notwendigerweise einen Doppelcharakter, denn sie muß zugleich die Logik der Entwicklung beschreiben und das über die einzelnen Aspekte verfügbare Wissen integrieren. Die Darwin'sche Evolutionstheorie genügt dieser Forderung. Der von ihr beschriebene Mechanismus der Artabwandlung liefert eine Entwicklungslogik für die Geschichte des Lebens, die sowohl die Kontinuität der Entwicklung wie ihren innovativen Charakter erklärt. Obwohl die Evolutionstheorie selbst eine Spezialdisziplin der Biologie konstituiert, repräsentiert sie zugleich eine Integration des Wissens anderer biologischer Einzeldisziplinen, wie z.B. der Biogeographie, der Paläontologie, der Morphologie und der Systematik. Ohne diese Integrationsfunktion hätte sie weder entstehen noch sich durchsetzen können.

Die Wissenschaftsgeschichte hat eine solche integrative Theorie bisher nicht hervorgebracht. In ihrer traditionellen Variante konzentriert sie sich auf die Sichtung und Ordnung historischer Dokumente und rekonstruiert die Prozesse, die diesen einst Leben und Sinn verliehen, nur *ad hoc*, d.h. ohne definierte Methodologie. Sie gleicht darin einer Paläontologie, bei der es auch einmal vorkommen kann, daß — in Ermangelung von Kriterien für zulässige Rekonstruktionen — gesammelte Fossilien zu einem Einhorn zusammensetzt werden. Wenn solche Irrtümer in der modernen Paläontologie zumindest weniger wahrscheinlich geworden sind, dann deshalb, weil die Paläontologie für ihre Rekonstruktionen systematisch auf das Wissen anderer Disziplinen zurückgreift, vor allem auch solcher, die noch heute beobachtbare Lebensprozesse zum Gegenstand haben. In der Wissenschaftsgeschichte hat man dagegen bisher kaum damit begonnen, die Analyse historischer Formen des Denkens und Wissens durch die Einsichten jener Disziplinen zu ergänzen, die aktuelle Denkprozesse zum Gegenstand haben. Einige unserer Überlegungen zu einer solchen Synthese sollen im Zentrum dieses Vortrags stehen. Für die Entstehung der biologischen Evolu-

tionstheorie hat sich der von Lyell für die Geologie eingeführte „Aktualismus“, die Integration historischer und aktueller Wissensressourcen, als Schlüssel erwiesen. Ich beende deshalb diese einleitenden Bemerkungen mit einem Zitat aus Darwins Autobiographie, in der er sich an die Schlüsselrolle der Erfahrung von Tierzüchtern für sein beginnendes Verständnis der Entwicklung der Arten erinnert (*Darwin 1982*, S. 140–1):

Nach meiner Rückkehr nach England kam mir der Gedanke, daß durch Befolgung des von Lyell für die Geologie gegebenen Beispiels und durch Sammeln aller Tatsachen, die in irgendeiner Weise sich auf das Abändern der Tiere und Pflanzen im Zustande der Domestikation und im Naturzustande beziehen, vielleicht etwas Licht auf den ganzen Gegenstand geworfen werden könnte. ... Ich nahm bald wahr, daß Zuchtwahl der Schlüssel zum Erfolg des Menschen beim Hervorbringen nützlicher Rassen von Tieren und Pflanzen ist. Wie aber Zuchtwahl auf Organismen angewendet werden könnte, die im Naturzustand leben, blieb noch einige Zeit für mich ein Geheimnis.

Zunächst möchte ich kurz erläutern, was es bedeutet, Wissenstrukturen und die Formen ihrer Repräsentation zum Gegenstand einer historischen Epistemologie zu machen. Die historische Epistemologie, so wie wir sie verstehen, beschäftigt sich mit der Entwicklung der menschlichen Erkenntnis. Dieses ist natürlich auch der Gegenstand der Wissenschaftsgeschichte, allerdings unter einer stark eingeschränkten Perspektive. Symptomatisch für diese Einschränkung ist die übliche Konzentration auf die Fragen, wer wann als erster einen Tatbestand entdeckt hat, der sich später als Schlüsselkenntnis der Wissenschaft erwies. Für die Physik, die im Mittelpunkt meines Vortrags steht, ergeben sich etwa die folgenden Fragen: Wer entdeckte das Hebelgesetz? Archimedes. Wer entdeckte das Fallgesetz und die Parabelgestalt der Wurfbahn? Galilei. Wer entdeckte den Trägheitssatz? Newton. Wer entdeckte die Strahlungsquanten? Planck. Wer entdeckte die Längenkontraktion bei schnellen Bewegungen? Einstein. Wer fand die Gleichung für den Zusammenhang zwischen Trägheit und Gravitation? Wieder Einstein. Wer entdeckte die Gravitationswellen? Bisher noch niemand, aber es wird intensiv danach gesucht.

Wissenstrukturen als Gegenstand der historischen Epistemologie

Die Konzentration von Wissenschaftshistorikern auf solche Tatbestände setzt allerdings stillschweigend und manchmal sogar programmatisch voraus, daß die moderne Architektur des Wissens den Rahmen für die Beschreibung des Erkenntnisfortschritts bilden muß. In dieser Architektur des Wissens sind auf empirische Erfahrung gegründete allgemeine theoretische Aussagen in logisch konsistenter Weise zu wissenschaftlichen Theorien verknüpft. Die klassische Mechanik z.B. ist die Theorie, in der das Hebelgesetz, das Fallgesetz und die Gestalt der Wurftrajektorien sowie der Trägheitssatz in einem deduktiven Zusammenhang stehen. Die Quanten-

theorie schlägt eine deduktive Brücke zwischen den Spektrallinien und den Strahlungsquanten. Die allgemeine Relativitätstheorie schließlich bildet das deduktive Gerüst für Sachverhalte wie die Längenkontraktion, Trägheit, Gravitation, und die mit großem Aufwand gesuchten Gravitationswellen.

Angesichts der Tatsache, daß diese Architektur des Wissens im Großen und Ganzen der disziplinären Gliederung der Physik entspricht, wirkt es auf den ersten Blick außerordentlich plausibel, daß der Erkenntnisfortschritt in der Wissenschaftsgeschichte im wesentlichen in der Konstruktion dieses Gebäudes besteht. Demnach wird in der Geschichte Pfeiler um Pfeiler zusammengetragen, um mit ihnen Stockwerk um Stockwerk dieses Gebäude zu errichten. Diese Vorstellung ist jedoch von starken Annahmen geprägt und legt im Grunde den möglichen Verlauf von Entdeckungsprozessen und insbesondere die „Arbeitsteilung“ von Empirie und Theorie weitgehend fest. Erkenntnisse sind wahre Aussagen, die sich in den Aufbau dieses Gebäudes einfügen. Dabei gelten neue Erkenntnisse in der Regel als durch Beobachtungen und Experimente gewonnen, während theoretische Ableitungen wahrer Aussagen eher als Erklärungen begriffen werden.

Nehmen wir als Beispiel Galileis unbestrittene Entdeckung des Fallgesetzes. In Übereinstimmung mit dieser Vorstellung führt die Konzentration von Wissenschaftshistorikern auf Entdeckungen dazu, daß eine Bemerkung Galileis in den *Discorsi*, seinem abschließenden Werk über die Mechanik, über ein vielfach wiederholtes Experiment an der schiefen Ebene als Hinweis auf das Schlüsselexperiment zu interpretieren ist, das die Entdeckung des Fallgesetzes ausmacht.

Solche Antworten auf die Frage nach Entdeckungsprozessen halten allerdings meistens einer genaueren historischen Überprüfung nicht stand. Das zeigt das Beispiel von Galileis Entdeckung des Fallgesetzes, die sich aufgrund unserer Arbeiten in einem veränderten Licht darstellt. Galilei war von der Gültigkeit des Fallgesetzes aufgrund einer Entdeckung überzeugt, die wir heute nicht mehr als eine solche gelten lassen würden. Er hatte sich nicht durch präzise Messungen sondern durch ein simples qualitatives Experiment davon überzeugt, daß die Wurfbahn eines Geschosses eine symmetrische Kurve ist. Wir haben dieses Experiment unter kontrollierten Bedingungen wiederholt, wobei uns aus in der klassischen Physik naheliegenden Gründen nicht gelungen ist, Galileis Behauptung, die Kurve sei symmetrisch, zu bestätigen. Diese Wiederholung des Experiments hat uns andererseits entscheidende Hinweise gegeben, die es uns erlaubt haben, in Galilei's Handexemplar der *Discorsi* eine Seite mit Kurven zu identifizieren, die mit dieser Experimentalanordnung erzeugt wurden und ebensowenig symmetrisch sind wie die unsrigen.

Galilei schloß aus diesem Experiment, daß die Wurfbahn eines Geschosses trotz ihrer Abweichung von der Symmetrie der Kurve einer hängenden Kette ähnlich ist und folgerte dann auf der Grundlage einer etwas vagen, aber plausiblen Begründung im Rahmen der aristotelischen Physik auf die Gleichheit beider Kurven. Er hat dann weiter nicht nur die Wurfbahn sondern — aus heutiger Sicht unzulässigerweise — auch die Kettenlinie als Parabel interpretiert und auf dieser Grundlage das Fallgesetz abgeleitet. Während Galilei zunächst die — aus moderner Sicht irrtümliche — Einsicht in die Gleichheit von Wurftrajektorie und Kettenlinie als seine zentrale Entdeckung ansah, erhielt das Fallgesetz erst etwa zehn Jahre nach dem Experiment den Status einer Schlüsseleinsicht für Galileis Mechanik.

Angesichts solcher verschlungenen und aus heutiger Sicht der Logik entbehrenden Entdeckungswege wird üblicherweise der Unterschied zwischen dem Entdeckungskontext und dem Rechtfertigungskontext wissenschaftlicher Erkenntnisse ins Spiel gebracht. Nach dieser Unterscheidung muß sich nur der letztere, d.h. die spätere, publizierte Begründung einer Erkenntnis, in die traditionelle Architektur des Wissens einfügen, während der ursprüngliche Weg zu ihr außerhalb liegen darf. Im Falle Galileis allerdings hilft diese Unterscheidung nicht weiter. Die Beweise und Argumente seines abschließenden Werks über die Mechanik sind aus moderner Sicht ebenso problematisch wie seine Entdeckungswege. So wurde er nur durch seinen Tod daran gehindert, dieses Werk mit einer Abhandlung über die Kette zu krönen, die seine Ausführungen über die Projektilbewegung durch einen Beweis der vermeintlich analogen Parabelgestalt der Kette stützen sollte.

Das Beispiel Galileis weist auf ein allgemeineres Problem hin. Historische Rechtfertigungskontexte wissenschaftlicher Erkenntnisse sind aus heutiger Sicht keineswegs rationaler als ihre Entdeckungskontexte; sie lassen sich jedenfalls ebensowenig wie diese durch die traditionellen Vorstellungen von der Architektur wissenschaftlichen Wissens beschreiben. Die Schwierigkeit, die heute akzeptierte Architektur des Wissens als Bezugsrahmen auch für die Wissenschaft der Vergangenheit vorauszusetzen, wird besonders deutlich, wenn man die Standardfragen der Wissenschaftsgeschichte nach dem „wer-wann-was“ wissenschaftlicher Leistungen auf solche Entdeckungen ausweitet, die entweder aus heutiger Sicht keine mehr sind oder anders interpretiert werden; also z.B.: Wer entdeckte die Proportionalität von bewegender Kraft und Geschwindigkeit? Aristoteles. Wer entdeckte die Wechselwirkung von Elektrizität und Magnetismus im schwingenden Äther? Hertz. Wer entdeckte das Ausmaß, in welchem der Äther von einem sich bewegenden Medium mitgeführt wird? Fizeau.

Angesichts der Unmöglichkeit, die Wissenschaftsgeschichte als Serie von Entdeckungen zu rekonstruieren, die sich in ein feststehendes logisches Gerüst fügen lassen, kann kein Zweifel daran bestehen, daß das Wachstum des wissenschaftlichen Wissens mit einer Veränderung seiner Architektur einhergeht. Dabei droht allerdings nicht jede neue Erkenntnis das ganze Gebäude umzustürzen, wie es naheliegen würde, wenn die zugrundeliegende Struktur ein deduktives System im Sinne der formalen Logik wäre, in dem eine Prämisse sich als falsch herausgestellt hat. Im Gegensatz zu den Schlüssen der formalen Logik sind wissenschaftliche Schlußfolgerungen korrekturfähig. Aber auch in den Fällen, in denen es zu größeren Umgestaltungen oder sogar zur Errichtung eines Neubaus kommt, beginnt man in der Wissenschaft nicht jedesmal von vorne, wie man es bei einem formallogisch strukturierten System tun müßte, dessen Prämissen nicht mehr akzeptabel sind. Nicht nur das überlieferte wissenschaftliche Wissen, sondern darüberhinaus große Bereiche des menschlichen Erfahrungswissens gehen bei Umstrukturierungen wissenschaftlicher Theorien keineswegs verloren, auch wenn dieses Wissen in solchen Theorien nicht immer explizit erscheint.

Versuche, die Strukturen des wissenschaftlichen Wissens durch sogenannte „rationale Rekonstruktionen“ auf der Grundlage der klassischen Logik transparenter zu machen, können nur um den Preis einer adäquaten Beschreibung der historischen Realität wissenschaftlicher Forschung und ihrer Resultate gelingen. Auf eine vergleichbare Diskrepanz zwischen Logik und realen Denkprozessen weist Alfred Gierer hin, wenn er schreibt (*Gierer 1988, S. 45*):

Die moderne mathematische Logik konstruierte verschiedene Systeme von Prämissen und Schlußregeln, untersuchte ihre Folgerungen und ihre Widerspruchsfreiheit. Dabei machte man allerdings die Erfahrung, daß man auf diese Weise zwar sichere formale Erkenntnisse gewinnt, daß es aber sehr schwierig ist, die Beziehung zum tatsächlichen menschlichen Denken aufzuklären. ... Ist man nicht dabei, den Mythos des Sisyphus im Bereich geistiger Arbeiten zu verwirklichen? Anstelle eines Steins, den der Verdammte immer wieder den Berg hinaufwältzt, und der ihm immer wieder zurückrollt, erfindet der moderne Formalist immer neue Systeme von Regeln, die absolut sichere, aber völlig bedeutungslose Konsequenzen haben.

Die Tatsache einer Diskrepanz zwischen mathematischer Logik und Denken auch in der Wissenschaft zwingt aber — im Gegensatz zur Auffassung mancher Wissenschaftsphilosophen — nicht dazu, der Wissenschaft ein Vorgehen nach dem Motto „anything goes“ zu unterstellen und letztlich an ihrer Rationalität zu zweifeln. Es liegt viel näher, zur Beschreibung wissenschaftlicher Rationalität nach Hilfsmitteln Ausschau zu halten, die sich für

die Analyse intelligenten Verhaltens in komplexen Situationen empirisch bewährt haben. Solche Hilfsmittel werden seit einigen Jahrzehnten von den Kognitionswissenschaften entwickelt, die gegenüber der Wissenschaftsgeschichte den Vorteil haben, die Validität ihrer Modelle an aktiven Systemen, seien es denkende Menschen oder Denken simulierende Computer, erproben zu können. Ihre Methoden und Ergebnisse könnten für eine historische Theorie des Wissens zu einer wichtigen Ergänzung wissenschaftshistorischer Einsichten werden, ähnlich wie es die Theoretisierung der Zuchtwahl für Darwins historische Theorie des Lebens war.

Im Folgenden soll ein Konzept der Kognitionswissenschaft im Vordergrund stehen, das der „mentalen Modelle“. Wir verstehen dabei unter mentalen Modellen eine Anwendung der nicht-monotonen Logik, die Erkenntnisfortschritt und deduktives Schließen in ein realistischeres Verhältnis bringen soll als dieses durch die klassische Logik bestimmt ist. Die Theorie des nicht-monotonen Schließens erlaubt die Konzeptualisierung der Korrektur von Schlußfolgerungen, wie wir sie täglich in der Wissenschaft beobachten, ohne annehmen zu müssen, daß dabei die Axiome oder die Schlußregeln verändert werden. Die Voraussetzungen von Schlüssen werden in der nicht-monotonen Logik bei einer Korrektur nicht negiert sondern ergänzt. In der klassischen Logik gilt, daß wenn ein bestimmter Ausdruck von einer Menge von Prämissen ableitbar ist, so kann dieser Schluß durch das Hinzufügen weiterer Prämissen seine Validität nicht verlieren. Man bezeichnet dies als Monotonie der klassischen Logik, weil ein Mehr an Prämissen immer mit einem Mehr an Schlußfolgerungen einhergeht. Menschliches Denken ist dagegen häufig nicht-monoton. In vielen Situationen ziehen wir Schlüsse, die wir im Lichte erweiterter Information wieder aufgeben.

**Was sind
mentale Modelle?**

Da dieser Gedanke ungewöhnlich ist, soll er an einem Standardbeispiel der Kognitionswissenschaft erläutert werden, in dem natürlich wie üblicherweise der inzwischen berühmt gewordene Vogel mit dem Namen Tweety eine zentrale Rolle spielt. Tweety ist ein Vogel. Daraus ziehen wir den Schluß, daß Tweety fliegen kann, obwohl darüber explizit gar nichts ausgesagt ist. Wir wissen eben, daß Vögel normalerweise fliegen können. Erfahren wir dagegen zusätzlich, daß Tweety ein Pinguin ist, sind wir natürlich bereit, den früheren Schluß zurückzuziehen, ohne allerdings deshalb auf irgendeine unserer früheren Prämissen zu verzichten. Wir sind immer noch überzeugt, daß Tweety ein Vogel ist, und daß Vögel typischerweise fliegen können. Diese Art von „nicht-monotonen“ Schlußfolgerungen trifft besser, was wir in der Wissenschaftsgeschichte vorfinden.

Das Tweety-Beispiel illustriert aber nicht nur die Korrigierbarkeit menschlicher Schlußfolgerungen, sondern auch ihre Abhängigkeit von vorangegangener Erfahrung. Die Aussage, daß Vögel fliegen, wurde in diesem Beispiel nicht explizit gegeben, sondern aus unserer Erfahrung ergänzt. Sie stellt eine Standardannahme über die Eigenschaften von Vögeln dar, die es erlaubt, Schlußfolgerungen zu ziehen, die über die aktuell verfügbare unvollständige Information hinausgehen. Solche Standardannahmen heißen in der nicht-monotonen Logik „default-Annahmen“.

Wir sehen also, daß mentale Modelle, wie wir sie verstehen, eine spezifische Repräsentationsform von Wissen sind, die es erlaubt, aus vorangegangener Erfahrung Schlüsse über komplexe Objekte und Prozesse zu ziehen, selbst wenn die über sie verfügbare Information unvollständig ist. Wir werden im Folgenden von einer „Anwendung eines Modells“ sprechen, obwohl damit nicht impliziert sein soll, daß es sich bei diesem Schluß aus vorangegangener Erfahrung um eine bewußte Wahl zwischen verschiedenen Alternativen der Interpretation handelt. Ein Beispiel soll etwas näher erläutern, wie wir diesen Begriff verwenden.

Ein für physikalisches Wissen fundamentales mentales Modell ist das „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modell. Wenn dieses Modell auf einen Bewegungsvorgang angewandt wird, führt es zu dem Schluß, daß der bewegte Körper durch eine von einem Beweger aufgebrachte Kraft bewegt wird. Als Satz der klassischen Physik ist diese Schlußfolgerung allerdings schlicht inkorrekt, denn sie widerspricht dem Newton'schen Trägheitssatz, der ausdrücklich von kräftefreien Bewegungen handelt. Dennoch verkörpert dieses mentale Modell elementare menschliche Erfahrungen. Wenn man ein bewegtes Objekt, etwa irgendein Gefährt auf der Straße, sieht, dann unterstellt man normalerweise, daß es einen Beweger gibt, der durch seine Kraft dieses Gefährt antreibt, und zwar auch dann, wenn der Beweger und seine Kraft selbst nicht unmittelbar erkennbar sind. Mentale Modelle verfügen über sogenannte Leerstellen oder „slots“, die mit empirisch gewonnenen Informationen oder aber auch mit Default-Annahmen belegt sein können. Unter diesen slots gibt es solche, die in jedem Falle belegt sein müssen, wenn das Modell überhaupt anwendbar sein soll, wie in diesem Falle die Leerstellen für den Beweger, den bewegten Körper, und die Bewegung selbst, die sogenannten „kritischen slots“, und andere, die nicht unbedingt belegt sein müssen, wie z.B. eine Leerstelle für den Widerstand gegen die Bewegung und eine für die potentielle Wirkung des bewegten Körpers.

Die Einbettung eines mentalen Modells in eine Theorie stellt neuartige Herausforderungen an das Erklärungspotential des Modells, insbesondere einen Zwang zur Universalisierung und zur Präzisierung seiner Anwendung.

Die Probleme der Universalisierung lassen sich anhand der zentralen Rolle illustrieren, die das „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modell im Rahmen der aristotelischen Naturphilosophie spielt. Als Grundlage einer Theorie der Natur fallen im Prinzip alle Bewegungsphänomene unter das durch dieses Modell konstituierte Erklärungsschema, auch solche, für die seine Anwendung im täglichen Leben nicht unbedingt naheliegen würde, wie etwa die Anwendung auf die Bewegung der Gestirne. Welcher Beweger soll den eigentlich diese Bewegung hervorrufen? Man versteht, warum Gelehrte wie der Byzantiner Kosmas Indikopleustes auf so absurde Ideen kamen wie die, daß die Gestirne wie Lampen von Engeln am Himmel herumgeschleppt werden.

Auch die problematischen Konsequenzen der Präzisierung eines mentalen Modells lassen sich anhand der aristotelischen Naturtheorie verdeutlichen. Da das Modell innerhalb der Theorie durch eine Reihe von expliziten Aussagen repräsentiert wird, wird es zugleich weitergehend festgelegt. Eine derartige Spezifizierung des „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modells impliziert jetzt zum Beispiel, daß ein Körper sich nur so lange bewegt, wie sich der Beweger in direktem Kontakt mit ihm befindet. Diese Präzisierung wirkt insbesondere für die Erklärung der Wurfbewegung ein nicht leicht zu lösendes Problem auf. Wenn ein Projektil einmal den Abschubort verlassen hat, wie etwa der geworfene Stein die Hand des Werfers, dann setzt sich seine Bewegung fort, obwohl der Stein nicht mehr mit dem ursprünglichen Beweger in Kontakt ist und obwohl kein anderer Beweger sichtbar ist, der die Bewegung aufrechterhält. Wie läßt sich diese Fortsetzung der Bewegung ohne erkennbaren Beweger erklären? Die von Aristoteles vorgeschlagene Lösung klingt verblüffend: Von einigen Subtilitäten abgesehen, läuft sie darauf hinaus, daß die Luft die unmittelbare Bewegungsursache darstellt, die das Wurfgeschöß vor sich hertreibt. Diese Idee wird verständlich, wenn man sie als die Konsequenz der Notwendigkeit versteht, das „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modell in seiner strikten Variante auch auf das frei-fliegende Projektil anzuwenden. Da nach der Trennung von der werfenden Hand nur noch die unsichtbare Luft den bewegten Körper berührt, kommt auch nur sie als der äußere Beweger des Wurfgeschosses in Betracht. Andererseits sind die Einwände gegen diese Erklärung zu offensichtlich, als daß sie außerhalb theoretischer Konstruktionen und ihrer dogmatischen Überlieferung hätte überzeugen können.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, im Rahmen einer gegebenen Theorie mit derartigen Erklärungsschwierigkeiten umzugehen. Eine der Möglichkeiten besteht darin, eine theoretische Entität zu konstruieren, die den Anforderungen des Problems genügt und mit der Erfahrung nicht in Konflikt gerät.

Eine solche theoretische Konstruktion liegt dem Begriff des sogenannten „Impetus“ zugrunde. Der Impetusbegriff hat es erlaubt, für die Erklärung der Projekttilbewegung im Rahmen des „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modells eine plausible Lösung zu finden, die mehr als 1000 Jahre lang, vom späten Hellenismus bis in das Zeitalter Newtons, eine prominente Rolle in der Literatur zu diesem Problem gespielt hat. Die Erklärung der Projekttilbewegung durch den Impetusbegriff geht davon aus, daß der ursprüngliche externe Beweger, etwa eine werfende Hand, durch seine Kraft dem Projektil nicht nur Bewegung mitteilt, sondern diese Kraft selbst zum Teil auf das Projektil überträgt, so daß dieses sich — jetzt mit einem inneren Motor ausgestattet — auch nach der Trennung vom ursprünglichen Beweger weiter fortbewegen kann. Diese vom Beweger auf den bewegten Körper übertragene, innere Bewegungsursache ist der Impetus. Als Beispiel für die Plausibilität für Erklärungen auf der Grundlage dieses Modells zitiere ich einen Text von Galilei, in dem eine Erklärung für das Verhalten eines senkrecht emporgeworfenen Körpers und der Beschleunigung bei der anschließenden Fallbewegung (*Galilei 1973, S 151*):

... ich finde, daß beim emporgeworfenen Körper die anfänglich mitgeteilte Kraft stetig abnimmt, und den Körper fortwährend erhebt, bis sie gleich der entgegengewirkenden Schwerkraft geworden ist, und nachdem beide ins Gleichgewicht gelang sind, der Körper aufhört zu steigen und in den Zustand der Ruhe gelangt, in welchem der mitgeteilte Schwung nicht anders vernichtet ist, als in dem Sinne, daß der Überschuß verzehrt ist, der anfangs das Gewicht des Körpers übertraf und mittels dessen der Aufstieg zustande kam. Indem nun die Verminderung dieses fremden Antriebes fort dauert, und indem späterhin das Übergewicht zugunsten der Schwere des Körpers eintritt, beginnt das Niedersinken, aber sehr langsam im Gegensatz zum mitgeteilten Antriebe, der zum großen Teile dem Körper noch verbleibt; da derselbe aber stetig vermindert wird, da in immer höherem Maße die Schwere überwiegt, so entsteht hierdurch die stetige Beschleunigung der Bewegung.

Während nach der klassischen Physik beim senkrechten Wurf nur die Schwerkraft wirkt, benötigt Galilei das Wechselspiel zweier Kräfte, eine für die Aufwärtsbewegung, die andere für die Abwärtsbewegung. Beide sind gedacht als theoretische Entitäten, konstruiert auf der Grundlage der Weiterentwicklung des „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modells durch den Impetusbegriff.

Diese Weiterentwicklung eines mentalen Modells durch die Konstruktion einer theoretischen Entität ist ein typisches Beispiel für die Möglichkeit, Modelle durch Reflexion auf Anwendungsprobleme zu verändern. Das Wechselspiel zwischen der Exploration mentaler Modelle durch Anwendungen und ihrer reflexiven Umgestaltung ist ein zentraler Mechanismus des Strukturwandels in der Wissenschaftsgeschichte. Die Anwendung des

„Bewegung-impliziert-Kraft“ Modells auf die Bewegung an schiefen Ebenen liefert dafür ein weiteres in der Geschichte der Mechanik zentrales Beispiel, das zugleich die Schwierigkeiten illustriert, ein mentales Modell zu widerlegen. Diese Anwendung scheint zunächst ein ganz einfacher Fall zu sein, denn um einen Körper entlang einer schiefen Ebene aufwärts zu bewegen, bedarf es natürlich einer Kraft, und zwar einer um so größeren, je steiler die schiefe Ebene ansteigt. Seit der Antike haben verschiedene Autoren Regeln formuliert für die Abhängigkeit der aufzuwendenden Kraft von der Steilheit der Ebene. Im Grenzfall der horizontalen Ebene stießen sie dabei allerdings auf eine paradoxe Konsequenz, die sich unmittelbar aus der Annahme eines plausiblen Zusammenhangs zwischen Steilheit und Größe der Kraft ergibt. Im Falle der horizontalen Ebene müßte dann die für eine Bewegung aufzuwendende Kraft völlig verschwinden — in direktem Widerspruch zur Grundstruktur des „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modells.

Auch Galilei ist in einer seiner frühen Schriften auf diesen Widerspruch gestoßen. Wissenschaftshistoriker haben die Entdeckung dieser Schwierigkeit in einen direkten Zusammenhang mit der Formulierung des Trägheitsprinzips der klassischen Physik gebracht. Der Gestaltpsychologe Max Wertheimer hat als einer der ersten behauptet, daß sich die Entdeckung des Trägheitsprinzips aus der Einsicht in die Sonderrolle der Bewegung auf einer horizontalen Ebene ergab.

Wertheimers Idee, die Entstehung neuer wissenschaftlicher Konzepte aus der reflexiven Neustrukturierung von bereits akkumuliertem Wissen zu erklären, ist sicherlich überzeugender als der Kuhn'sche Gedanke eines Neuanfangs des wissenschaftlichen Denkens mit jedem Paradigmenwechsel. Dennoch greift Wertheimers Rekonstruktion der Entdeckung des Trägheitsprinzips zu kurz. Er war wahrscheinlich nicht mit der Mechanik des Heron von Alexandria vertraut, in der das gleiche Problem aufgeworfen und ebensowenig wie bei Galilei im Sinne der Einführung des Trägheitsprinzips aufgelöst wird. Galileis Reaktion auf das Paradoxon der horizontalen Ebene gleicht in verblüffender Weise der von Heron, obwohl sie aller Wahrscheinlichkeit nach unabhängig entstanden ist, da Herons Mechanik nur in arabischer Übersetzung überliefert wurde. Weder für Heron noch für Galilei war jedenfalls das Problem der horizontalen Ebene Grund genug, dieses Modell aufzugeben. Beide kamen zu der Auffassung, daß die Bewegung auf einer horizontalen Ebene zwar von jeder beliebig kleinen Kraft verursacht werden kann, aber immer noch einer Kraft bedarf.

Da diese Kraft nicht mehr in einem endlichen Verhältnis zu den anderen Bedingungen der Bewegung an der schiefen Ebene steht, stellte dieser Fall Galilei allerdings vor ein unausweichliches Dilemma. Trotz dieses Dilem-

mas blieb das „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modell Teil der unhinterfragten Grundlage seines physikalischen Denkens. Auf dieser Grundlage hat er mit großen Schwierigkeiten und unter Inkaufnahme von zahllosen Ungereimtheiten und sogar Widersprüchen seine Ergebnisse erzielt. Erst seine Schüler konnten den Gegenstand von Galileis Untersuchungen unbelastet von seinen Ergebnissen her interpretieren. Ohne es überhaupt wahrzunehmen, in Ehrfurcht alles ihrem verehrten Meister zuschreibend konstruierten sie ein neues mentales Modell zur Interpretation physikalischer Bewegungen, welches das später formulierte Trägheitsprinzip als unausweichliche Konsequenz mit sich führte.

**Externe
Repräsentationen
mentaler Modelle**

Für eine historische Epistemologie sind mentale Modelle Bestandteil einer historisch überlieferten Architektur des Wissens. Sie sind nur von Interesse insofern sie zu einem gesellschaftlichen, d.h. intersubjektiv geteilten Wissensreservoir gehören, aus dem sich das individuelle Wissen speist und zu dem es beiträgt.

Mentale Modelle können aus verschiedenen Gründen entweder zum allgemeinen gesellschaftlichen Wissen oder zum gesellschaftlichen Wissen einer bestimmten Gruppe gehören. Es gibt zunächst einmal eine Reihe von Basismodellen der intuitiven Physik, die von allen Menschen ontogenetisch auf der Grundlage von Umweltbedingungen konstruiert werden, die in verschiedenen Kulturen ähnlich und über lange historische Zeiträume stabil sind. Zu diesen Basismodellen gehören diejenigen, die das intuitive Verständnis von Kraft, Widerstand, fester Körper, Raum und Zeit charakterisieren. Ein Beispiel für ein solches Basismodell ist das bereits ausführlich besprochene „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modell. Eine andere Gruppe von mentalen Modellen bestimmt das Verständnis mechanischer Prozesse und Wechselwirkungen und gehört zum professionellen Wissen von mehr oder weniger spezialisierten Praktikern. Schließlich gibt es mentale Modelle, die integraler Bestandteil des wissenschaftlichen Wissens sind und durch explizite Beschreibung ihrer Struktur und der Bedingungen ihrer Anwendungen kommuniziert werden. In allen diesen Fällen sind externe Repräsentationen (allerdings verschiedenster Art) die Grundlage für die historische Überlieferung von mechanischem Wissen und daher die Voraussetzung für die Tradierung mentaler Modelle.

Externe Repräsentationen spielen für eine historische Theorie des Wissens eine Rolle, die dem Vererbungsmechanismus in der Biologie äquivalent ist, denn beide ermöglichen die Kontinuität der jeweiligen Entwicklungsprozesse. Innovationen können erst auf der Grundlage individueller Abweichungen der durch externe Repräsentationen überlieferten Wissens-

architektur entstehen. Die zentrale Rolle externer Repräsentationen ist auch der Grund, aus dem wir uns unter den zahlreichen Konzepten der Kognitionswissenschaften gerade auf das der mentalen Modelle konzentriert haben. Der Begriff des mentalen Modells steht in einem engen Zusammenhang mit dem Begriff des realen Modells als der korrespondierenden externen Repräsentationsstruktur von Wissen. Reale Modelle spielen eine Schlüsselrolle für die Überlieferung des durch mentale Modelle strukturierten Wissens, das in vielen Fällen nur mit ihrer Hilfe erlernt, angewendet und weitergegeben werden kann.

Während die Basismodelle der intuitiven Physik ein jederzeit zur Verfügung stehendes Hintergrundwissen darstellen, hängt die Ausbildung der mentalen Modelle des Praktikerwissens von den in einer bestimmten historischen Situation vorhandenen gegenständlichen Mitteln ab, die als korrespondierende reale Modelle interpretiert werden können. Die Geschichte dieser realen Modelle bildet daher die Grundlage für die Geschichte des mechanischen Wissens. Am Anfang dieser Geschichte standen neben den Basismodellen der intuitiven Physik eine Reihe von mentalen Modellen, die im Umgang mit einfachen gegenständlichen Instrumenten ausgebildet wurden. Ich werde einige von ihnen im Folgenden kurz vorstellen und zeigen, welche Konsequenzen sich aus ihrer Rekonstruktion für die Frühgeschichte der Mechanik ziehen lassen.

**Mentale Modelle
in der
Frühgeschichte
der Mechanik**

Zu den Grunderfahrungen des Praktikerwissens antiker Techniker und Ingenieure gehörte die Erfahrung der Äquivalenz des Gewichts eines Körpers und der Kraft, ihn aus seiner Lage zu bringen, die übrigens auch immer schon unterstellt ist bei dem „Bewegung-impliziert-Kraft“ Modell. Diese Äquivalenz wird prototypisch verkörpert in einem realen Modell, nämlich dem der Waage: die Kraft, die die Waage im Gleichgewicht hält, ist gleich dem Gewicht in der Waagschale. Wir benennen daher das Modell der Kompensation von Kraft und Gewicht als „Gleichgewichtsmodell“. In der technischen Terminologie, die wir zur Beschreibung solcher Modelle verwenden, kann die Struktur des Modells durch eine Reihe von Regeln für die Transformation seiner Zustände beschrieben werden. Insbesondere gibt es eine Substitutionsregel für Belegungen der slots, die Gleichgewichtszustände ineinander überführen, und eine Kompensationsregel für die Herstellung des Gleichgewichts aus einem Nicht-Gleichgewichtszustand.

Das Praktikerwissen der antiken Techniker und Ingenieure war jedoch auch noch auf eine ganz andere Grunderfahrung gegründet, nämlich der Erfahrung, daß man sich mit Hilfe geeigneter Instrumente dem Zwang der Äquivalenz von Gewicht und Kraft entziehen kann: Die Kunst des

„Mechanikers“ wurde gerade darin gesehen, die Gesetze der Physik außer Kraft zu setzen. Wir haben das diese Erfahrung strukturierende Modell das „Mechanae-Modell“ genannt — nach dem griechischen Wort „mechanae“, das zugleich „mechanisches Instrument“ und „Trick“ bedeutet und am etymologischen Ursprung des Wortes „Mechanik“ steht. Das Mechanae-Modell bestimmte das Verständnis von einfachen Instrumenten wie z.B. der Brechstange. Seine kritischen Leerstellen oder slots sind das Instrument selbst, zu dessen Interpretation das Modell eingesetzt wird, die aufgewendete Kraft, und der erzielte „widernatürliche“ Effekt.

Die Denkfigur des Mechanae-Modells bestimmt auch den Inhalt und Aufbau des ersten überlieferten Textes zur Mechanik, der sogenannten „Mechanischen Probleme“, die man früher einmal Aristoteles zugeschrieben hat, und von denen man heute glaubt, daß sie von einem seiner Schüler stammen. In der Einleitung dieses Textes heißt es:

Wenn es also notwendig ist, etwas entgegen der Natur zu tun, sind wir hilflos wegen der Schwierigkeit und bedürfen der Technik. Wir nennen daher jenen Teil der Technik, der in solchen Schwierigkeiten Beistand leistet, ein mechanisches Instrument (mechanae). Denn es ist wahr, wie es der Dichter Antiphon schrieb: Durch Technik gewinnen wir die Herrschaft über Dinge, von denen wir, wenn es nach der Natur ginge, besiegt würden. Von dieser Art sind jene, in denen das Geringere das Größere überwindet, und in denen Dinge, die geringes Gewicht (ropae) besitzen, große Gewichte (baros) bewegen, und fast alle der Probleme, die wir die mechanischen nennen.

Im vierten vorchristlichen Jahrhundert kam es, wahrscheinlich in Griechenland, zur Erfindung der ungleicharmigen Waage. Diese Erfindung wurde konsequenzenreich für die Frühgeschichte der Mechanik, denn die ungleicharmige Waage war gleichzeitig durch das Gleichgewichtsmodell und das Mechanae-Modell interpretierbar. In ihr verschwand der Gegensatz zwischen der Äquivalenz von Kraft und Gewicht und der Unverhältnismäßigkeit zwischen aufgewandter Kraft und widernatürlichem Effekt. Schon die scheinbar paradoxe Beschreibung dessen, was bei der ungleicharmigen Waage passiert, macht dies deutlich: Bei einer ungleicharmigen Waage hält ein kleines Gewicht ein großes Gewicht im Gleich-Gewicht.

Das auffälligste Indiz für die Veränderungen, die mit der Erfindung der ungleicharmigen Waage einhergingen, ist die Tatsache, daß etwa zur selben Zeit das Hebelgesetz entdeckt und von da ab zum Kernbestand der Mechanik wurde. Aus der Sicht der historischen Epistemologie ist die zentrale Frage die, ob die Erfindung der ungleicharmigen Waage die die Entdeckung des Hebelgesetzes zur Folge hatte oder ob umgekehrt die Erfindung der

ungleicharmigen Waage nur eine Anwendung des zuvor entdeckten Hebelgesetzes war.

Diese Frage hat sich unerwarteterweise als eine nicht leicht zu beantwortende Frage herausgestellt. Im Verlaufe dieser Arbeit hat sich die Fragestellung in einen Komplex eng miteinander zusammenhängender Fragen wie die folgenden ausdifferenziert:

- welche kognitiven Voraussetzungen sind für die Verwendung einer solchen Waage notwendig,
- welche kognitiven Voraussetzungen sind für ihre Herstellung notwendig,
- und insbesondere natürlich, welche kognitiven Voraussetzungen sind für ihre Erfindung unabdingbar?

Um Hinweise auf die epistemischen Voraussetzungen und Konsequenzen der Erfindung, der Herstellung und des Gebrauchs der ungleicharmigen Waage zu finden, haben wir eine ganze Reihe verschiedenartiger Forschungsarbeiten unternommen. Unter anderem hat eine Forschergruppe unseres Instituts die in Pompeji und Neapel aufbewahrten römischen Waagen genauer untersucht, und dabei insbesondere Zusammenhänge zwischen der herstellungstechnisch bedingten Geometrie der Waagen und der Dimensionierung von Skalen und Gewichten aufgedeckt, die Rückschlüsse auf die der Konstruktion zugrundeliegenden Überlegungen ermöglichen. Auch haben wir Versuche unternommen, an heute noch zu findenden traditionellen Herstellungspraktiken solcher Waagen direkt zu studieren. Wir haben solche Studien insbesondere in zwei traditionellen chinesischen Handwerksbetrieben und in einer süditalienischen Manufaktur durchgeführt.

Ohne auf die Einzelheiten der praktischen Herstellung einzugehen, will ich hier nur festhalten, daß Berechnungen nach dem Hebelgesetz dabei jedenfalls keine Rolle spielen. Und noch etwas anderes ist uns bei der Analyse des umfangreichen Materials über alle Phasen der zum Teil sehr unterschiedlichen Herstellungsprozesse sowie der Analyse von Konstruktionsmerkmalen antiker Waagen aufgefallen. Sie sind nicht denkbar ohne ein spezifisch durch die ungleicharmige Waage geprägtes mentales Modell. Bei der gleicharmigen Waage werden Gewichtsdifferenzen durch Gewichte ins Gleichgewicht gebracht, bei der ungleicharmigen Waage durch Verschiebung eines Gewichts auf der Skala. Dieses verallgemeinert notwendigerweise das Gleichgewichtsmodell und insbesondere die Kompensationsregel für die Herstellung des Gleichgewichts aus einem Nicht-Gleichgewichtszustand: Gewichte können nicht nur durch Gewichte, sondern auch durch Längen kompensiert werden. Es hat sich gezeigt, daß auf dieser Regel nicht nur viele Techniken der Dimensionierung von Waagen und der Herstellung

von Skalen beruhen, sondern auch fundamentale Konstruktionsprinzipien der analysierten antiken Waagen. Insbesondere ergeben sich Erklärungen für so irritierende Befunde wie den, daß der Nullpunkt der Skalen in der Regel nicht im Fulcrum liegt, oder daß einfache ganzzahlige Verhältnisse zwischen dem Abstand zwischen dem Fulcrum und der Last einerseits und dem Verhältnis des Laufgewichts zum Gewichtsstandard andererseits bestehen.

Diese Beispiele machen Ihnen vielleicht klar, daß im Gegensatz zu dem, was meist stillschweigend in der Wissenschafts- und Technikgeschichte angenommen wird, sich bei uns die Indizien häufen, daß die Erfindung der ungleicharmigen Waage nicht auf der Entdeckung des Hebelgesetzes beruht. Wichtiger erscheint uns die Erkenntnis, daß die Erfindung der ungleicharmigen Waage offensichtlich die Integration des Gleichgewichtsmodells und des *Mechanae*-Modells zur Folge hatte. Auf der Grundlage dieser Integration konnte das Hebelgesetz mühelos formuliert werden, wenn es nur ein Motiv dazu gab, was allerdings im Rahmen des Praktikerwissens zunächst nicht der Fall gewesen sein dürfte.

Ich möchte Ihnen zum Abschluß, die möglichen Konsequenzen solcher Integrationen mentaler Modelle noch anhand eines ganz andersartigen Beispiels verdeutlichen. Einstein hat später oftmals betont, daß am Anfang seiner Überlegungen zu einer neuen Theorie der Schwerkraft ein Gedankenexperiment mit einem geschlossenen Kasten stand, das auch als „Aufzugsexperiment“ bekannt ist. Nur als Gedankenexperiment verstanden freilich muß es ein Rätsel bleiben, warum Einstein solange daran festgehalten und es gegen die Widerstände fast aller seiner Kollegen zu einem zentralen Element seiner Heuristik gemacht hat. Interpretiert man es dagegen als Operation mit mentalen Modellen, wird klar, daß es dramatische Auswirkungen auf die Architektur des Wissens der klassischen Physik haben konnte. Betrachten wir Einsteins Kasten in zwei Zuständen, die in der klassischen Physik mit Hilfe verschiedener Begriffe beschrieben werden. Im ersten Fall wird der Kasten in einem Inertialsystem von einer beliebigen äußeren Kraft gleichmäßig beschleunigt. Er repräsentiert das mentale Modell eines Systems mit Trägheitskräften, zu dessen Leerstellen der Bewegungszustand des Systems, die im Inneren wirkenden Trägheitskräfte und die durch sie verursachten Bewegungen von Körpern gehören. Im zweiten Fall ruht der Kasten in einem Inertialsystem und ist einem homogenen Gravitationsfeld ausgesetzt. Er repräsentiert jetzt das mentale Modell eines Systems mit Schwerkraft, zu dessen Leerstellen der Bewegungszustand des Systems, die auf Körper in diesem System wirkende Schwerkraft und die durch sie verursachten Bewegungen gehören.

Einstein hat nun bemerkt, daß ein Beobachter im Inneren des Kastens diese beiden Fälle nicht unterscheiden könnte. Ein Kasten, von dem man nur weiß, daß in ihm Körper mit gleichförmiger Beschleunigung zu Boden fallen, erfüllt die Bedingungen an die Leerstellen beider mentaler Modelle, die auf diese Weise miteinander verknüpft werden. Diese Integration führt dazu, daß der in der klassischen und speziell-relativistischen Physik gültige Wesensunterschied zwischen beschleunigten Systemen und Inertialsystemen hinfällig wird, ebenso wie der zwischen Trägheitskräften und Gravitationskräften. Dieses Beispiel aus der Geschichte der Relativitätstheorie wirft ein Schlaglicht auf die Rolle mentaler Modelle für die Integration von Wissen auch in der modernen Wissenschaft und weist interessante Parallelen auf zu dem Mechanismus, den wir bei der Formulierung des Hebelgesetzes beobachten konnten.

Dieses Schlaglicht sollte allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, daß das Ziel einer historischen Epistemologie nicht die Zusammenstellung solcher Episoden sein kann. Sie würde damit dem problematischen Vorbild der Wissenschaftsphilosophie folgen, die oft genug die Wissenschaftsgeschichte nur als Steinbruch für Beispiele zu ihren Hypothesen mißbraucht hat, ohne sie als ernsthafte empirische Herausforderung für die Formulierung einer historischen Theorie des Wissens zu begreifen. Ich möchte daher abschließend kurz auf die empirische Seite des Programms einer historischen Epistemologie eingehen.

Eine historische Theorie des Wissens kann sich nicht mit Fallstudien begnügen. Sie muß, wie die Darwin'sche Evolutionstheorie, in der Lage sein, die in dem von ihr untersuchten Material dokumentierten langfristigen Entwicklungszusammenhänge zu rekonstruieren, auch dann, wenn diese Rekonstruktion sie weit über das von der bisherigen Wissenschaftsgeschichte erkundete Terrain hinausführt. Um universales oder kontextspezifisches Basiswissen zu rekonstruieren, müssen die Ergebnisse psychologischer und anthropologischer Studien berücksichtigt werden. Die Rekonstruktion von Praktikerwissen erfordert nicht nur die Einbeziehung archäologischer und technikhistorischer Expertise, sondern auch eine Analyse der von Archäologen und Technikhistorikern oft vernachlässigten epistemischen Dimensionen technischer Traditionen. Die Rekonstruktion des wissenschaftlichen Wissens erfordert natürlich in erster Linie ein Studium der Texte, in denen dieses Wissen für uns heute verkörpert ist. Aber eine historische Epistemologie kann sich nur zum Teil auf die Ergebnisse der bisherigen Wissenschaftsgeschichte stützen. Da ihr Gegenstand nicht einzelne Entdeckungen sind, sondern Veränderungen in einem gesellschaftlich tradierten Wissensreservoir, ist sie auf eine viel breitere Quellenbasis ange-

**Mentale Modelle
und
Quellenanalyse**

wiesen als die traditionelle Wissenschaftsgeschichte, die sich vor allem mit den Heroen der Wissenschaft beschäftigt hat. Die kontrollierbare Rekonstruktion der Strukturen und Inhalte eines solchen Wissensreservoirs bedarf zudem einer präziseren und umfassenderen Analyse der Quellen im Hinblick auf die in ihnen verwendete Fachsprachen und Argumentationsstrukturen als sie in der auf narrative Darstellung zielenden Wissenschaftsgeschichte bisher üblich ist.

Wir sind darauf angewiesen — noch mehr als es Darwin im Falle der Formulierung der biologischen Evolutionstheorie war —, die empirische Basis für eine historische Theorie des Wissens erst noch zu erarbeiten. Unser langfristiges Ziel ist die Rekonstruktion der Entwicklung des mechanischen Wissens, verstanden als die Tradierung und Veränderung mentaler Modelle in Wechselwirkung mit spezifischen historischen Bedingungen, und schließlich eine Neuinterpretation der Quellen im Lichte dieser Rekonstruktion. Die unser Forschungsprojekt leitende Frage nach dem Verhältnis zwischen praktischer Erfahrung und Theorie bei der Entstehung der Mechanik umreißt ein Gebiet, in dem es sich erweisen könnte, ob eine solche Wissenschaftsgeschichte sinnvoll und möglich ist. Vielleicht liegen hier, so jedenfalls hoffen wir, die Galapagos-Inseln der historischen Epistemologie.

Literatur

- Darwin 1982* Charles Darwin. *Erinnerungen an die Entwicklungen meines Geistes und Charakters (Autobiographie) u.a.* Leipzig, Jena, Berlin: Urania, 1982
- Galilei 1973* Galileo Galilei. *Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend*, Hrsg. Arthur von Oettingen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1973.
- Gierer 1988* Alfred Gierer. *Die Physik, das Leben und die Seele*. München, Zürich: Piper, 1988.
- Graham 1978* A.C. Graham. *Later Mohist Logic, Ethics and Science*. Hong Kong: The Chinese University Press, 1978.
- Guo 1993* Guo Zhengzhong. *San zhi shisi shiji zhongguo de quan heng du liang*. Beijing: Zhongguo shehui kexue chubanshe, 1993.
- Guo 1994* Guo Zhengzhong. „The Deng Steelyards of the Song dynasty (960–1279).“ *Cahiers de Métrologie* 11–12 (1994): 297–306.
- Liu 1979* Liu Dongrui. „Tan Zhanguo shiqi de budengbi cheng ‘Wang’ tongheng.“ *Wenwu (Cultural Relics)* 4 (1979): 73-76.
- Needham 1989* Joseph Needham. *Physics and physical technology*. Vol. 4, *Science and civilisation in China*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- Qian 1965* Qian Baocong. „‘Mojing’ lixue jinshi.“ *Kexueshi Jikan* 8. Kexue chubanshe, 1965.
- Qiu 1992* Qiu Guangming. *Zhongguo lidai du liang heng kao*. Beijing: Kexue chubanshe, 1992.
- Seki, Tô 1978* Seki Kafuku (Photographs) and Tô Kengo (Texts). *Tonkô e no michi*. Nippon hōsō shuppan kyōkai, 1978.
- Zhang 1992* Zhang Baichun. *Zhongguo jindai jixie jianshi*. Beijing: Ligong Daxue chubanshe, 1992