

2

Die Astronomen und die Zeit

In den vergangenen Jahrzehnten haben die Astronomen Entdeckungen gemacht, die unsere Sicht auf das Universum revolutionierten. Sie entwickelten Instrumente, mit denen sie den Himmel beobachteten, sie haben alle Größen gemessen, die für sie zugänglich waren, wie etwa die Temperatur eines Milieus, die Energie von Teilchen oder die chemische Zusammensetzung von Gas; sie entwickelten Modelle, die zu diesen Messungen passten, trafen dann anhand dieser Modelle Aussagen über bisher unbekannte Eigenschaften der von ihnen untersuchten Objekte, um dann schließlich wieder von vorne anzufangen. Dieses Vorgehen ist charakteristisch für die gesamte Astrophysik. Diese Anwendung wissenschaftlicher Methodik auf die Beobachtung des Himmels ist ein sehr altes, bereits in der Antike verwendetes Prozedere.

Bis zum Beginn des 17. Jahrhunderts erfolgten Himmelsbetrachtungen ausschließlich mit dem bloßen Auge, und Instrumente dienten in erster Linie dazu, Winkel zu messen. Das Interesse richtete sich damals darauf, den Platz der Erde im Sonnensystem und im Kosmos zu bestimmen und Modelle davon, sogenannte Kosmogonien, zu erstellen. Mit dem Bau des großen Observatoriums, das Tycho Brahe auf der im Öresund zwischen Dänemark und Schweden gelegenen Insel Ven errichten ließ, oder der Sternwarte im indischen Jaipur wurde das astronomische Instrumentarium umfangreicher. Dann betrachtete Galileo den Mond, die Sonne und den Jupiter durch ein Fernrohr und ebnete damit den Weg für die Analyse der Beschaffenheit dieser Himmelskörper. Allerdings spielte diese Art von Forschung in der Astronomie lange Zeit nur eine untergeordnete Rolle. Die Tätigkeit der Astronomen richtete sich bis vor Kurzem vor allem darauf, die Zeit zu messen, d. h. die Jahreszeiten und Jahre, aber auch die Tage und Stunden, schließlich die Minuten, Sekunden und Bruchteile von Sekunden.

2.1 Zeit, die sichtbare Bewegung der Sterne und die Mechanik

Schon in den frühesten Anfängen seiner Geschichte hat der Mensch die sichtbaren Bewegungen der Sterne dazu benutzt, um die Zeit zu messen. Die Sonne, der Mond und die Sterne sind die einzigen Anhaltspunkte, anhand derer es möglich ist, die Zeit einzuteilen. Und dazu sind

noch nicht einmal grundlegende Kenntnisse der physikalischen Gesetze erforderlich. Die Sterne, so wie wir sie aufgrund des sichtbaren Lichts mit unseren Augen wahrnehmen, sind zu diesem Zweck zuverlässig genug. Würde man den Himmel dagegen im Bereich der Röntgenstrahlung betrachten, einem Bereich, in dem sich die Intensität der Himmelskörper ständig verändert und in dem sie manchmal sogar ganz verschwinden, so wären diese am Himmel beobachteten Veränderungen sehr wahrscheinlich nicht geeignet, um die verstreichende Zeit zu bestimmen.

Andere regelmäßige Bewegungen wie beispielsweise die Schwingungen eines Pendels oder die von schwingenden Quarzen oder atomaren Übergängen waren im Gegensatz zu den Himmelsbewegungen nicht geeignet, die Zeit zu messen, weil man die Phänomene noch nicht verstand, die für derartige Bewegungen verantwortlich sind. Über diese Kenntnisse verfügen wir erst seit der Neuzeit.¹ Die Schwingungsperioden von Pendeln haben die Gelehrten erst um das Jahr 1600 herum verstanden, und erst seit dieser Zeit können die Pendelbewegungen in Uhren zur Zeitmessung eingesetzt werden. Noch heute sprechen wir von Pendeluhr. Später wurde diese Mechanik in den meisten modernen Uhren durch schwingende Quarzkristalle ersetzt. Und in den vergangenen Jahrzehnten ist es gelungen, die Schwingungen beim Atomübergang so gut zu verstehen, dass die Zeitmessung in unseren Gesellschaften heute auf Atomuhren basiert.

¹Sand- und Wasseruhren lassen wir hier beiseite.

2.2 Die Jahreszeiten

Ohne das Wissen darüber, wie sich der Stand der Sonne im Verhältnis zur Erde im Lauf eines Jahres verändert, lassen sich die Jahreszeiten nicht verfolgen. Auf der nördlichen Erdhalbkugel steigt die Sonne im Winter und im Frühling jeden Tag ein wenig höher, um dann im Sommer und im Herbst wieder abzusteigen. Auf der südlichen Hemisphäre sind diese Jahreszeiten um genau ein halbes Jahr verschoben. Schon manche der allerersten von Menschen errichteten Monumente, die noch heute erhalten sind, wie die bereits vor dem Schriftzeitalter errichteten Stones of Stenness (Abb. 2.1) auf den Orkneyinseln oder die von Stonehenge in England, sind nach einem



Abb. 2.1 Die Stones of Stenness auf den Orkneyinseln. (© S. Kessler)

Höhepunkt des astronomischen Jahres ausgerichtet, etwa nach der Wintersonnenwende. Es waren also bereits damals Himmelsbeobachter, Astronomen, die über die Aufstellung dieser Monumente wachten, mit denen es möglich war, die Jahreszeiten zu bestimmen.

Um schon in prähistorischer Zeit auf den britischen Inseln den Stand der Sonne zum Zeitpunkt der Wintersonnenwende zu bestimmen, waren jahrelange Beobachtungen erforderlich; man musste sich die verschiedenen Positionen merken und die Beobachtungsergebnisse von Jahr zu Jahr weitergeben. War dann einmal ermittelt, wo die Sonne zur Wintersonnenwende stand, musste wahrscheinlich noch die Gemeinschaft davon überzeugt werden, dass es sinnvoll war, auf dieser Achse ein Monument zu errichten, denn um das zu leisten, war eine große gemeinschaftliche Anstrengung erforderlich. Heute würde man vielleicht von einem Großteil des Bruttoinlandsprodukts der Gemeinschaft sprechen. Bedenkt man, wie viel Mühe es uns kostet, unsere Behörden und unsere Mitmenschen davon zu überzeugen, dass unsere astronomische Arbeit sinnvoll ist, so müssen unsere Vorfahren eine enorme Überzeugungsarbeit geleistet haben, um zu diesem Ergebnis zu gelangen!

Waren diese gigantischen Steine erst einmal aufgestellt und ausgerichtet, konnte man mit ihrer Hilfe das ganze Jahr über die Zeit messen. Für die Landwirtschaft ist das ungeheuer wichtig. Nur eine zeitlich genaue Vorstellung von den Monaten ermöglicht die Aussaat zum richtigen Zeitpunkt, denn das Wetter allein ist kein zuverlässiger Indikator für die Jahreszeiten. Erst durch die Beobachtung des Himmels, die Beobachtung der Sonne und der

Sterne, also erst durch die Arbeit der Astronomen, waren die prähistorischen Gesellschaften in der Lage, erfolgreich Ackerbau zu betreiben. Die Fähigkeit, die Zeit im Ablauf des Jahres zu bestimmen, gehört zu den Errungenschaften, die es dem Menschen ermöglicht haben, seine Umwelt zu beherrschen, eine Fähigkeit, die entscheidend zur Entwicklung der Zivilisation beigetragen hat. Und diesen Beitrag zur Entwicklung der Menschheit verdanken wir der Astronomie.

2.3 Die Zeit und das Leben in der Gesellschaft

Die Bestimmung der Jahreszeiten ist für die Landwirtschaft von zentraler Bedeutung. Will man sich allerdings mit einem anderen Menschen verabreden oder ein Treffen vereinbaren, was ja für das Leben in der Gesellschaft eine wichtige Rolle spielt, so ist diese Art der Zeitmessung nicht präzise genug. Dafür muss man in der Lage sein, die Tageszeiten genau zu ermitteln. Und wieder einmal fällt die Hauptaufgabe dabei der Astronomie zu. Die Tageszeit wird durch die Drehung der Erde um sich selbst bestimmt. Und diese wiederum misst man, indem man von der Erdoberfläche aus beobachtet, wann die Sterne den Meridian überschreiten, den Großkreis an der Himmelskugel, der durch die Rotationsachse und die Position des Beobachters definiert wird. Der Stern überschreitet den Meridian, wenn er vom Standpunkt des Beobachters aus betrachtet den höchsten Punkt über dem Horizont erreicht hat.

Die Dauer einer Erdumdrehung, also ein sogenannter siderischer Tag (von lat. *sidus*: Stern), ergibt sich aus der Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen desselben Sterns durch denselben Ort. Auch die Sonne überschreitet jeden Tag den Meridian, und der Zeitpunkt, an dem sie ihren höchsten Stand erreicht, definiert den Mittag. Doch die Erde verändert ihre Position zur Sonne jeden Tag um einen Winkel von ungefähr einem Grad (das entspricht etwa dem 365. Teil der Bahn, die die Erde in einem Jahr um die Sonne beschreibt). Von der Erde aus gesehen verändert sich deshalb die Position der Sonne im Verhältnis zu den Sternen um denselben Winkel. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Höchstständen der Sonne, der Sonnentag, ist deshalb nicht identisch mit dem siderischen Tag, d. h. der Zeit, die zwischen zwei Meridiandurchgängen eines entfernten Sterns verstreicht. Diese komplexen Zusammenhänge mussten erst verstanden werden, bevor es möglich war, die Zeit genau zu messen und mit ihrer Hilfe das Leben in der Gesellschaft zu strukturieren.

Die Astronomen haben je nach dem Stand der Technik ihrer Zeit die Instrumente entwickelt, die sie für ihre Beobachtungen benötigten, und in allen Gesellschaften, die die Beherrschung der Zeit für das Leben in der Gemeinschaft für nützlich erachteten, haben sie auch Jahrhunderte hindurch Nacht für Nacht die dazu nötigen Beobachtungen angestellt. Mit den Ergebnissen ihrer Arbeit hat die Astronomie einen ganz zentralen Beitrag zum Leben in der Gesellschaft geleistet, auch wenn dieser Aspekt ihrer Tätigkeit seit einigen Jahrzehnten nicht mehr mit der gleichen Intensität verfolgt wird. Betrachtet man einmal, mit welchen Aufgaben die Obrigkeiten

vieler mehr oder weniger bedeutender Städte in den vergangenen Jahrhunderten ihre Observatorien betrauten, so steht die Zeitmessung mit Abstand an erster Stelle. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts stellte die Gewinnung neuer Erkenntnisse in der Astrophysik nur einen Nebenbereich der Arbeit in den Sternwarten dar.

Eine weitere Schwierigkeit, die es zu lösen galt, war die Frage, wie man der Bevölkerung die genaue Uhrzeit mitteilen konnte. Wenn der lokale Astronom beispielsweise weiß, dass es in seiner Sternwarte gerade Mittag ist, so kann er wohl kaum zu Fuß oder zu Pferd loseilen, um dem Bürgermeister oder einer sonstigen Amtsperson mitzuteilen, dass es jetzt gerade zwölf Uhr mittags ist. Bei seiner Ankunft unten im Ort wäre die Mittagszeit längst vorbei. Da der Schall sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 300 m/s verbreitet, waren akustische Signale als Mittel für die Zeitübermittlung, beispielsweise für die Navigation auf See, nicht genau genug. Die Stadt Athen und auch andere Gemeinden haben dieses Problem im 19. Jahrhundert dadurch gelöst, dass sie ein optisches Signal verwendeten. Genau in dem Moment, in dem es auf der Sternwarte Mittag war, ließ man eine Kugel von einem Mast auf dem Dach des Observatoriums herunterfallen (Abb. 2.2). Der Mast war von der Kathedrale aus zu sehen, und der Glöckner konnte zum exakten Zeitpunkt seine Glocken läuten und so der Bevölkerung jeden Tag die genaue Uhrzeit angeben. Die Verzögerungen aufgrund der Ausbreitung des Schalls waren dabei so gering, dass sie für das tägliche Leben an Land – im Gegensatz zur Navigation auf See – kein Problem darstellten, denn niemand hält eine Verabredung auf die Sekunde genau ein.



Abb. 2.2 Die Sternwarte von Athen. Sie wurde 1842 errichtet, um der Stadt die genaue Uhrzeit anzugeben. Von einem Mast wurde jeden Tag um Punkt 12 Uhr mittags eine Kugel fallen gelassen. (Quelle: Fingalo, CC-BY-SA 2.0 Deutschland; Wikicommons ©)

Viele Jahrhunderte hindurch und noch bis vor gar nicht langer Zeit standen die Observatorien vor allem im Dienst ihrer Gemeinden, und ihre Aufgabe war es, präzise Zeitmessungen durchzuführen. Die Sternwarte von Besançon wurde beispielsweise in den 1870er Jahren gegründet, aber die in ihr arbeitenden Astronomen sollten nicht etwa ihr Wissen über den Kosmos erweitern, sondern vielmehr die ortsansässige Uhrenindustrie unterstützen, die sich gegenüber der Konkurrenz aus Genf und Neuchâtel im Nachteil befand, weil die nämlich über Observatorien zur präzisen Zeitmessung verfügte.

Seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts ist die Mechanik in den Uhren allmählich durch eine Technik abgelöst worden, die sich zunächst die Schwingung von Kristallen und später die von Atomübergängen zunutze machte. Diese neuen Uhren sind sehr viel kostengünstiger und messen die Zeit sehr viel genauer, als es astronomischen Sternwarten über den Tag hinweg möglich ist. Dennoch hängt auch die Atomzeit mit der astronomischen Zeit zusammen, und die fortschreitende Verlangsamung der Erdrotation aufgrund der Gezeitenreibung wird regelmäßig dadurch ausgeglichen, dass man der amtlichen Atomzeit Schaltsekunden hinzufügt, wodurch die offizielle Zeit weiterhin mit der astronomischen Zeit übereinstimmt.

2.4 Zeit und Navigation

Zwischen der Messung der Zeit und der Bestimmung von Positionen auf der Erdoberfläche besteht ein enger Zusammenhang. Die Zeit wird anhand des Meridiandurchganges

von Sternen bestimmt, wobei der Meridian von der Position des Beobachters abhängt. Zwei Punkte auf der Erde, die auf unterschiedlichen Längengraden liegen, bestimmt man dadurch, dass man misst, wie viel Zeit zwischen den Meridiandurchgängen an den beiden Punkten verstrichen ist. Der Stand der Sonne über dem Horizont zur Mittagszeit, mit dem sich die geografische Breite ermitteln lässt, hängt außerdem nicht nur von der Position des Beobachters ab, sondern auch vom Tag der Messung. Für die Ermittlung der relativen Position zweier Punkte auf der Erde sind also genau wie für die Messung der Zeit in erster Linie astronomische Berechnungen erforderlich.

Auf diesen Erkenntnissen beruht die gesamte geografische Kartografie; sie sind auch die Grundlage für die Navigation auf hoher See, wo es keine anderen Orientierungspunkte außer den Gestirnen gibt. Der Steuermann ermittelt die zurückgelegte Entfernung, indem er seine Position in regelmäßigen Abständen anhand der Sonne und der Sterne bestimmt und sie in eine Seekarte einträgt.

Erst seit den 1990er Jahren lässt sich durch den Empfang von Signalen, die von Satelliten in der Erdumlaufbahn ausgehen, eine genaue Positionsbestimmung vornehmen. Zu den bekanntesten Satellitennavigationssystemen zählen GPS aus den USA und das noch im Aufbau befindliche europäische System Galileo. Für die Bestimmung einer Position mithilfe des GPS-Systems muss man zum einen die Umlaufbahn der Satelliten kennen, sowie deren jeweilige Position auf der Bahn. Diese Daten lassen sich von Bodenstationen auf der Erde geometrisch messen, deren Position bekannt ist. Diese Positionen müssen jedoch unabhängig voneinander bestimmt werden, und

das geschieht mittels astronomischer Messungen. Wie die Messung der Zeit sind also auch die modernsten Ortungssysteme eng mit den Grundlagen der Astronomie verbunden.

Die Entwicklung der Kartografie und der Navigation sind das Ergebnis der Arbeit der Astronomen, die mit der Zeit die Position von Sternen immer genauer bestimmen konnten, so dass sich dank ihrer Messungen auch Reiserouten besser berechnen ließen als in früheren Zeiten, in denen man auf Schätzungen angewiesen war. Geografische und navigatorische Kenntnisse sind für die Führung und die Verteidigung eines Landes und auch für die Eroberung „neuer“ Gebiete von zentraler Bedeutung. Sie sind für Regierungen und Militär unerlässlich, und deshalb wurden die entsprechenden Forschungsarbeiten immer auch finanziert, wenn auch manchmal mit recht bescheidenen Mitteln, und die Ergebnisse häufig zur Geheimsache erklärt.

2.5 Zeit und Riten

Die Sterne bestimmen nicht nur die Zeit, sondern auch den Zeitpunkt für manche Riten. Der Ramadan dauert einen Mondmonat lang, er endet, wenn der Mond sich nach Neumond zum ersten Mal wieder zeigt. Ostern feiern wir am ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond, der auf die Frühjahrstagundnachtgleiche folgt. Der Algorithmus, mit dem dieses Datum berechnet wird, ist offenbar etwas ungenau, was dazu geführt hat, dass sich die westlichen und die orthodoxen Kirchen über den genauen Zeitpunkt nicht immer einig sind. Aber wieder ist es die

Arbeit der Astronomen, an der sich der Zyklus der religiösen Feiertage einer Gemeinschaft orientiert.

Der Zeitpunkt für die jährlich wiederkehrenden Feiertage richtet sich nach den regelmäßigen Vorgängen am Himmel. Unregelmäßig auftretende Himmelsereignisse, wie beispielsweise das Auftreten von Kometen, haben das Leben der Gesellschaften aber ebenfalls beeinflusst. Man deutete sie als Zeichen, oft als böse Vorzeichen. Die Bahn von Kometen lässt sich ebenso vorhersagen wie die von Planeten, doch da sie meistens sehr weit entfernt von der Sonne vorbeiziehen und in dieser Entfernung nicht einmal mit den stärksten Teleskopen zu sehen sind, entsteht der Eindruck, dass sie sich auf mysteriöse Weise aus dem Nichts nähern. Ihr Erscheinen wurde lange Zeit hindurch als ein Vorzeichen für wichtige Ereignisse gedeutet. Das Gleiche gilt für Sonnenfinsternisse, bei denen die Sonne vorübergehend hinter dem Mond verschwindet. Bevor es möglich war, den Zeitpunkt derartiger Sonnenfinsternisse genau vorherzusagen, galten auch sie als positive oder negative Vorzeichen für die Zukunft.

Der enge Zusammenhang zwischen Astronomie und Zeitmessung ist nicht nur in der jüdisch-christlichen oder westlichen Welt bekannt. Wie für alle wissenschaftlichen Messungen gilt auch für die Beobachtung der sich täglich wiederholenden Himmelsbewegungen, dass sie überall auf der Welt angestellt wurden. Die australischen Ureinwohner beispielsweise gaben ihren sechs Jahreszeiten die Namen der Sterne, die jeweils zu deren Beginn am Himmel erschienen.²

²Norris R.P./Hamacher D.W., Proceedings IAU symposium 260, Hrsg: D. Valls-Gabaud und A. Boksenberg, S. 40.

Für die chinesische Astronomie bestand eine enge Verbindung zwischen den sichtbaren Bewegungen der Sterne, dem Kalender und der politischen Macht. Da die Anzahl der Tage im Jahr keine ganze Zahl ergibt, und das Gleiche auch für die Mondmonate eines Jahres gilt, müssen die Kalender regelmäßig angepasst werden. Wir tun das, indem wir alle vier Jahre den Monat Februar um einen Tag verlängern, das sind die Schaltjahre. Die chinesischen Kalender stimmten nach einigen Jahrzehnten nicht mehr mit den Jahreszeiten überein und mussten deshalb von Zeit zu Zeit korrigiert werden. Diese Veränderungen gingen mit wichtigen politischen Veränderungen einher, denn ein neuer Kalender wurde immer auch mit dem Beginn einer neuen Herrschaftsperiode assoziiert.³

2.6 Die Astronomie im Dienst der Gesellschaft

Die Fähigkeit, die Zeit zu messen und geografische Positionen zu bestimmen, war für die Landwirtschaft, den Aufbau der Gesellschaft und für die Seefahrt von außerordentlicher Bedeutung. Die Regierung eines Staates war deshalb bei vielen wichtigen Aufgaben auf Astronomen angewiesen, und das gilt für alle Regierungen weltweit. Diese besondere Stellung der Astronomen in der Gesellschaft und im Staat zeigt sich noch heute an der

³X. Sun, Proceedings IAU symposium 260, Hrsg.: D. Valls-Gabaud und A. Boksenberg, S. 98.

herausragenden Position des königlichen Astronomen im Vereinigten Königreich. Die Tatsache, dass die astronomischen Erkenntnisse der letzten Jahrzehnte sehr viel mehr mit der Physik der kosmischen Objekte zu tun haben als mit der für die Gesellschaft wichtigen Zeitmessung, bewirkt allerdings, dass seine Stellung, wie auch die seiner Kollegen in anderen Ländern, eher mit gesellschaftlichem Ansehen einhergeht als mit realer Macht.

Im Laufe der Jahrtausende und Jahrhunderte haben Astronomen der Gemeinschaft und ihren Regierungen einen ganz konkreten Dienst geleistet. Bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hinein hat diese Arbeit den Gang und die Entwicklung der Gesellschaften ganz wesentlich beeinflusst. Dieser Dienst an der Gesellschaft hat auch die anderen Tätigkeiten der meisten Astronomen stark bestimmt. Die Gewinnung neuer Erkenntnisse, die heute im Mittelpunkt der Arbeiten in der Gemeinschaft der astronomischen Forscher steht, ist auch eine Form des Dienstes an der Menschheit, allerdings eine abstraktere. Das aus der Beobachtung des Himmels und der Himmelskörper resultierende Wissen hat in der Geschichte dazu beigetragen, die menschliche Kultur zu bereichern, und es bereichert sie auch heute noch.

Keine Gesellschaft ohne Wissenschaft!

Courvoisier, T.J.-L.

2017, XXII, 141 S. 14 Abb., 11 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-55555-2