

Regiomontanus Bote



1

Sternaufbaumodelle am PC selbst gerechnet

Astronomie am Gymnasium Eckental

Spätlese 2: Das Finale





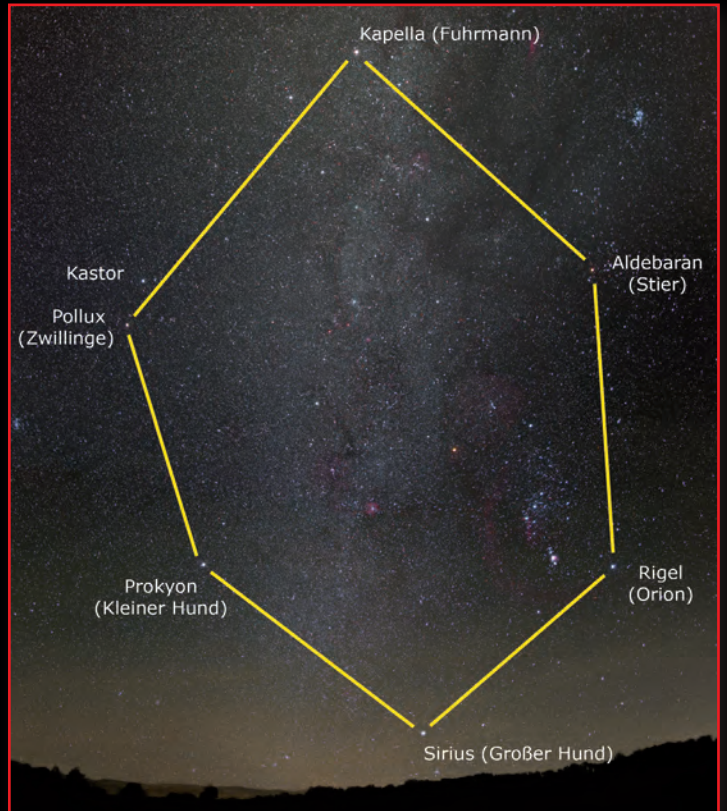
Mond – Teleskop: William FLT 110 mm, Kamera: Canon EOS 5D Mark IV, Belichtung: 50 × 1/320 s bei ISO 100, Aufnahmeort: Fürth
(Paul Schuberth am 14. November 2016 um 19:30 Uhr)



Mond – Teleskop: TMB APO 175/1400 mm, Kamera: Canon EOS 600D, Belichtung: 1/125 s bei ISO 200, Aufnahmeort: Sternwarte Nürnberg
(Hartmuth Kintzel am 12. November 2016 um 20:30 Uhr)



Mond – Kamera: Nikon P610, Aufnahmeort: Oldenburg
(Carsten Dosche am 13. November 2016 um 20:30 Uhr)

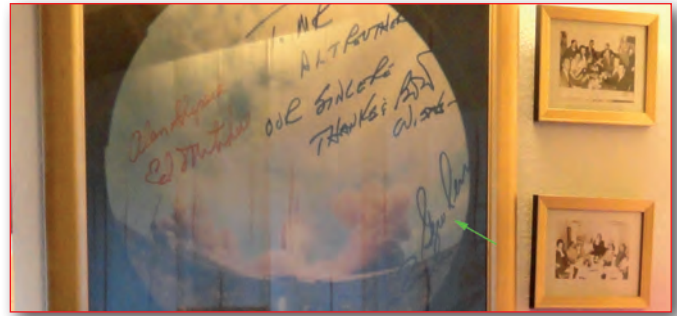


Wintersechseck mit den Verbindungslinien – siehe Hefrückseite



Liebe Leserinnen und Leser,

vor gut 50 Jahren begann das Apollo-Programm der NASA, das mit dem Ziel ins Leben gerufen worden war, Menschen auf dem Mond zu landen und zur Erde zurückzubringen. Das ehrgeizige Programm der USA, die sich im Wettbewerb mit der Sowjetunion befanden, war schließlich erfolgreich: Zwischen Juli 1969 und Dezember 1972 landeten insgesamt 12 Astronauten auf der Mondoberfläche und hielten sich dort für kurze Zeit – maximal drei Tage – auf. Inzwischen ist der Wettbewerb mit der Sowjetunion längst Geschichte und damalige euphorische Pläne zur bemannten Weltraumfahrt sind weitgehend begraben. So geht auch die Ära der Apollo-Astronauten langsam zu Ende. Nach dem kürzlichen Tod von Eugene Cernan leben noch sechs der Astronauten, die damals auf der Mondoberfläche „spazieren gingen“ – alle bereits im Alter zwischen 80 und 90 Jahren. Cernan hatte bei Apollo 17 die Mondlandefähre vor dem Rückflug als zweiter bestiegen und galt seither als „letzter Mensch auf dem Mond“. Fast vergessen ist, dass einige Astronauten vor ihrer Reise zum Mond in Deutschland für den Mondaufenthalt trainierten: Im Nördlinger Ries, das vor rund 15 Millionen Jahren durch einen Meteoriteneinschlag entstand, sollten sie sich in Steinbrüchen mit der Geologie von Impaktkratern vertraut machen. An den mehrtägigen Aufenthalt der späteren Apollo-14-Astronauten – inklusive Ersatzmannschaft – erinnert heute kaum mehr als einige Hinweistafeln sowie archivierte Berichte aus der Lokalpresse. Mehr durch Zufall



P. Friedrich

Von Apollo-14-Astronauten signiertes Bild im Nördlinger Hotel-Café Altreuter, darunter auch die Unterschrift des Ersatzmanns und späteren Kommandanten von Apollo 17, Eugene Cernan (Pfeil)

findet man im Hotel-Café Altreuter in Nördlingen ein großes, etwas verblasstes Bild eines Raketenstarts, das von dem Astronautenteam signiert ist.

In unserer Titelgeschichte berichtet Johannes Ebersberger über seine Sternentwicklungsrechnungen auf dem eigenen PC. Das Verständnis der Funktionsweise von Sternen mit Energieerzeugung und -transport im Inneren sowie der daraus abgeleiteten Entwicklungsgeschichte ist ein grundlegendes Thema in der Astronomie; Computerberechnungen haben vor Jahrzehnten zu großen Durchbrüchen im Verständnis geführt, konnten jedoch zunächst nur auf (damaligen) Großrechnern durchgeführt werden. Heutige PCs übertreffen deren Leistungsfähigkeit bei weitem, sodass es eine reizvolle Aufgabe ist, diese Rechnungen selber durchzuführen. Der Autor zeigt, wie man mit einigen grundlegenden physikalischen Zusammenhängen diese Aufgabe angehen und sich Stück für Stück weiter darin vertiefen kann.

Auch für Bahnrechnungen im Planetensystem ist ein Computer sehr nützlich. Im fünften und letzten Teil der noch von Wolf Broda initiierten „Spätlese 2“ werden, aufbauend auf den bisherigen Beiträgen, die exakten Gleichungen für die Bahnrechnung in einem Mehrkörpersystem abgeleitet. Darin kommt zum Ausdruck, dass die Planeten nicht um den Mittelpunkt der Sonne, sondern um den gemeinsamen Schwerpunkt von Sonne und Planeten ihre Bahnen ziehen.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Ih. P. Friedrich

Augsburger Allgemeine vom 13. August 1970



Das Nördlinger Bier schmeckt den amerikanischen Astronauten von Apollo 14, die anfangs des nächsten Jahres auf dem Mond landen wollen. Von links: Mondfähren-Pilot Mitchell, Ersatzpilot und altgedienter Weltraumfahrer Cernan, Ersatzmann Engle und Raumschiff-Kommandant Shepard. Bild: Fred Schöllhorn

INHALT

Editorial.....	3	Vereinsnachrichten der NAA.....	21
Einfache Sternaufbaumodelle.....	5	Bulletin der NAG.....	22
Spätlese 2: Die Kepler-Gesetze – Teil 5.....	13	Astroschlagzeilen.....	24
Himmelsalbum.....	15	Beobachtungshinweise.....	28
Astronomie am Gymnasium Eckental.....	18	Termine.....	29
Aus dem Schatzkästchen der		Über die NAA.....	30
Nürnberger Elektrizitätsgeschichte.....	19	Impressum.....	30



www.teleskop-express.de

Teleskop-Service – Dein kompetenter Partner für Astronomie

Der große Onlineshop für Astronomie,
Fotografie und Naturbeobachtung

mit über **6000 Angeboten!**



Teleskop-Service Ransburg GmbH, von-Myra-Str. 8, 85599 Parsdorf, Tel. 089-99228750, info@teleskop-service.de



Vom Reiz der Sinne Wahrnehmung und Gehirn

16.03.–25.07.2017

► www.kortizes.de

► Zur brainWEEK 2017
Donnerstag, 16. März 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00950

Prof. Dr. Dr. Günter Niklewski & Lizzy Aumeier

**Science meets Comedy:
Schräge Vögel, irre Typen**
Psychopathen oder
Normabweichler?

Vom Reiz des Übersinnlichen Parnormales und Skepsis

Vortragsreihen im
Nicolaus-Copernicus-
Planetarium Nürnberg



Vom Reiz der Sinne

Kurs-Nr. 00920

► Vom Reiz der Sinne
Dienstag, 21. März 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00921
Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer

Sinne, Werte, Moral

Von der Wahrnehmung zur Ethik

► Vom Reiz der Sinne
Dienstag, 4. April 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00922
Prof. Dr. Marc O. Ernst

Das Puzzlespiel der Sinne

Wahrnehmungstäuschungen als Ausdruck
optimaler Informationsverarbeitung

► Vom Reiz der Sinne
Dienstag, 18. April 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00923
Dr. Sibylle Herholz

Macht Übung den Meister?

Wie unser Gehirn durch musikalisches Training geformt wird
– und welche Rolle Talent dabei spielt

► Vom Reiz der Sinne
Dienstag, 2. Mai 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00924
Prof. Dr. Simone Schütz-Bosbach

Das Ich und mein Körper

Wie durch sensorische Erfahrung
Selbst-Bewusstsein entsteht

► Vom Reiz der Sinne
Dienstag, 16. Mai 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00925
Prof. Dr. Andreas Feigenspan

Die Evolution des Sehens

Von molekularen Sensoren zum menschlichen Auge

Ort: Nicolaus-Copernicus-Planetarium der Stadt Nürnberg, Am Plärrer 41,
90429 Nürnberg. Anmeldung über Bildungszentrum Nürnberg unter
Angabe der Kursnummer: <http://bz.nuernberg.de/planetarium/>

Vom Reiz des Übersinnlichen

Kurs-Nr. 00930

► Vom Reiz des Übersinnlichen
Dienstag, 30. Mai 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00931
Lydia Benecke

Die Psychologie des Bösen

Was sind und was tun eigentlich Psychopathen?

► Vom Reiz des Übersinnlichen
Dienstag, 13. Juni 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00932
Dr. Katharina Schüller

Wahn, Wunsch und Wirklichkeit in der Statistik

Wie durch statistische Interpretationsfehler
irrig Überzeugungen entstehen

► Vom Reiz des Übersinnlichen
Dienstag, 27. Juni 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00933
Anousch Mueller

Mehr Dinge zwischen Himmel und Erde?

Wie Heilpraktiker mit esoterischen
Vorstellungen arbeiten

► Vom Reiz des Übersinnlichen
Dienstag, 11. Juli 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00934
Dr. Natalie Grams

Globuli zwischen Wunsch und Wirklichkeit

Bekenntnisse einer Ex-Homöopathin

► Vom Reiz des Übersinnlichen
Dienstag, 25. Juli 2017, 19:30 Uhr Kurs-Nr. 00935
Dr. Yvonne Vosmann

Ägyptische Weisheit?

Geschichte, Tradition und Innovation
esoterischer Objekte



2. März 2017
Mitgliederversammlung der NAA
19:30 Uhr
auf der Regiomontanus-Sternwarte

Einfache Sternaufbaumodelle am PC selbst gerechnet

von Johannes Ebersberger

Das Thema Aufbau und Entwicklung der Sterne ist schon seit etwa 150 Jahren ein beherrschendes Thema in Astronomie und Astrophysik. Seit der Verfügbarkeit digitaler Computer (ca. ab 1940) und der Entdeckung und Berechenbarkeit der Kernfusion mit Bethe und Weizsäcker (ab 1938) wird das Thema von Astrophysikern enorm erfolgreich behandelt. Man kann von der größten Erfolgsstory in der Astrophysik in den letzten sieben Jahrzehnten sprechen. Zu dem Thema gibt es noch heute an fast allen Universitäten zweisemestrigere Vorlesungen.

Historisches

Ziel von Sternmodellrechnungen ist es, die Funktionsweise eines Sterns aus seinem inneren Aufbau heraus zu verstehen und rechnerisch zu erschließen, was für seine Weiterentwicklung und ein mögliches Endstadium daraus folgt. Im Vordergrund steht dabei, das Wesen und die Funktionsweise der Energiequelle im Inneren zu klären, festzustellen, in welchem Zustand die Materie dort vorliegen müsste, wie die erzeugte Energie nach außen dringt und wo, wann und warum es zu Bewegungen von großen Materiemengen kommen kann. Dafür werden lokale Zustandsgrößen definiert wie Druck, Temperatur, Dichte, Energieerzeugungsrate, Absorptionskoeffizient, Häufigkeitsverteilung der Elemente und deren Ionisationsgrad. Der Zusammenhang zwischen diesen Zustandsgrößen wird hauptsächlich durch Differentialgleichungen hergestellt, die sich aus den bekannten Gesetzen und grundlegenden Prinzipien der Physik ergeben, wie z.B. den Erhaltungssätzen für Energie und Impuls. Daraus können die lokalen Zustandsgrößen an allen Stellen im Sterninneren berechnet und ein Gesamtmodell eines Sterns erstellt werden. Auch die globalen Zustandsgrößen wie Leuchtkraft, Radius und Oberflächentemperatur können bei vorgegebener Gesamtmasse ermit-

telt und ggf. mit Beobachtungswerten verglichen werden. Endziel ist es, möglichst alle erhaltenen Beobachtungsbefunde (z.B. auch physisch veränderliche Sterne und Wechselwirkung mit Doppelsternpartnern) mithilfe solcher Sternmodelle in konsistenter Weise nachzuvollziehen.

Naturphilosophisch grundlegend ist dabei die Annahme (für uns heute längst selbstverständlich), dass Sonne und Sterne an sich wesensgleich seien. Bereits im Altertum wurde dies von Demokrit (ca. 400 v. Chr.) und Epikur (ca. 300 v. Chr.) postuliert. Auch bei den Arabern im Mittelalter, die das griechische Erbe weitertrugen, war der Gedanke präsent (Al-Razi, 12. Jh.). Im christlichen Abendland gab es diesen Gedanken auch. Einer der interessantesten Vertreter war hier Giordano Bruno (Dominikanermönch und Philosophieprofessor, einer der kühnsten Denker der Renaissancezeit), der die Fixsterne als weit entfernte, „in der Tiefe gestaffelte Sonnen“ ansah, die auch „unendlich viele andere Welten“ beherbergten – mit anderen Menschheiten – damals undenkbar, heute wieder ein brandheißes Thema. Diese Vorstellung wurde von der Kirche abgelehnt, weil sie den von ihr übernommenen geozentristischen Standpunkt mit der Erde als Mittelpunkt der Welt und den Menschen als Krone der Schöpfung wohl letztlich in Frage gestellt hätte. Bruno landete im Jahre 1600 auf dem Scheiterhaufen der Inquisition, nur zehn Jahre vor der Entdeckung der Jupitermonde mit einem Fernrohr. Der Grund für seine Hinrichtung war aber, dass er sich fortgesetzt und in provokanter Weise gegen zentrale Dogmen der Kirche gestellt hatte und sich weigerte, seine „Irrlehren“ zu widerrufen, u.a. hatte er ähnlich der Lehre Mohammeds sogar die Gottesnatur von Jesus geleugnet. Seine oben erwähnten, uns heute interessant erscheinenden naturphilosophischen Vorstellungen und seine Schwärmereien für den Heliozentrismus konnten ihm sicherlich

auch keinen besseren Stand bei der Inquisition beschert haben.

Die ersten klaren Beweise für die Wesensgleichheit von Sonne und Fixsternen waren die Fraunhofer'schen Linien in den Spektren von Sonne (1802 schon entdeckt durch Wollaston) und Sternen (1819 erstmals entdeckt durch Fraunhofer bei Kapella und Pollux) und später (1838) die ersten Parallaxenmessungen an Fixsternen durch Bessel. Im 20. Jahrhundert bestätigten Sternmodellrechnungen in ungeahnter Klarheit und Tiefe diese Wesensgleichheit. Man konnte damit zumindest virtuell in die Sterne hineinschauen. In der Folge konnten damit die Entwicklungswege und Stadien der Sonne und die der Sterne selbst über Jahrmilliarden hinweg studiert und aufgeklärt werden.

Auch kuriose Dinge wurden dabei gefunden (s. [7]), z.B. dass es tief im Inneren der Sterne (lichtoptisch) dunkel ist, weil bei den Fusionsreaktionen nur Gammastrahlung entsteht. Außerdem liegt das Maximum der Schwarzkörperstrahlung dort im Röntgenbereich, sodass der Anteil des sichtbaren Lichts um weit mehr als zehn Größenordnungen niedriger liegt. Die Wellenlängenzunahme durch Compton-Streuung – so bezeichnet man die Absorption und Reemission eines Strahlungsquants (Photon) durch ein freies Elektron, wobei das Photon einen Teil seiner Energie an das Elektron abgibt und das Elektron seine Bewegungsrichtung ändert – kommt unterhalb der weichen Röntgenstrahlung zum Erliegen, sodass auch dabei kein sichtbares Licht entstehen kann. Im Laufe ihres Weges durch den Stern nach außen wird die Strahlung thermalisiert (s.u.), wobei schließlich die Temperatur in den Außenschichten so weit absinkt, dass vorwiegend sichtbares Licht abgestrahlt wird. Kurios ist auch, dass die mittlere Leistungsdichte der Sonne nur der eines Komposthaufens entspricht (140 W/m^3), was aber ihre lange Lebensdauer erklärt (ca. 12 Mrd. Jahre).

Dabei wird sie wiederum nur 10 % ihres Wasserstoffvorrates verbrauchen, die restlichen 90 % werden nach einem Stadium als roter Riese „ungenutzt“ abgestoßen und wahrscheinlich in einem planetarischen Nebel aufgehen. Auch eine „eingebaute Sicherung“ gegen Explosion konnte entdeckt werden: Nicht nur das hydrostatische Gleichgewicht stabilisiert die Wasserstofffusion in den Sternen, sondern auch noch die negative Wärmekapazität im Innern, d.h. bei Wärmezufuhr in ein Massenelement sinkt dessen Temperatur bei gleichzeitiger Expansion, also Verringerung der Dichte. Ein Aufschaukeln bzw. „thermisches Durchgehen“ der Fusion wird durch negative Rückkopplung über diese negative Wärmekapazität abgefangen. Der Fusionskern wird durch Kompressionswellen sofort entlastet, die in etwa einer Stunde die Sonne durchlaufen. Auch die Konvektion erzeugt Kompressionswellen, deren Effekte (stehende Wellen) an der Sonnenoberfläche spektroskopisch beobachtet werden können (siehe „Helioseismologie“, [7]). Ein Schwingungsmodus mit einer Periode von fünf Minuten dominiert dabei.

Martin Schwarzschild in den USA war ab 1946 einer der ersten Astrophysiker, dem ein elektronischer Computer für Sternmodellrechnungen zur Verfügung stand. Er erkannte dabei als erster die Bedeutung von turbulenten Konvektionszonen für den Energietransport im Sterninneren. In Deutsch-

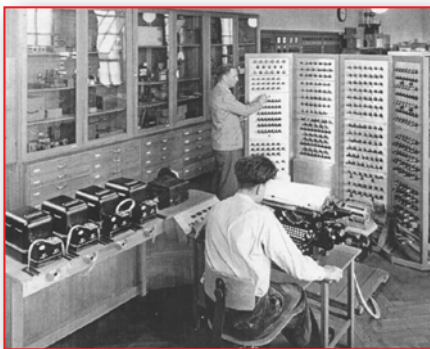


Abb. 1: Der Göttinger Rechner von 1952. Er hatte als Eingabegeräte Lochstreifenleser von der Post. Der 3. Leser von links trägt eine „Programmschleife“ (im wahrsten Sinne des Wortes). Die Stellwände rechts tragen etwa 500 Röhren und 100 Relais, jeder schwarze Knopf entspricht einem Bit. Unter der dritten Stellwand steht eine seltsame kleine „Trommel“. Dies war eine selbstgebaute „Festplatte“ mit Tonbandschnipseln als Speichermedium.

land war zum Thema Sternmodelle der auch durch seine Öffentlichkeitsarbeit bekannt gewordene Rudolf Kippenhahn besonders aktiv [1]. Er studierte an der Universität Erlangen Mathematik und Physik, wurde dort promoviert und schließlich an der Dr. Karl Remis-Sternwarte in Bamberg auch habilitiert. Er hatte schon 1952 die Möglichkeit, am Heisenberg'schen MPI für Physik in Göttingen an einem der damals noch seltenen elektronischen Computer Sternmodelle zu rechnen. Die Göttinger Maschine (s. Abb. 1) hatte eine Rechengeschwindigkeit von nur zwei „Flops“ (Floatingpoint-Operationen pro Sekunde), was aber schon 20× schneller ist als ein geübter Mensch (heute hat man selbst bei PCs schon Gigaflops).

1961 machte Kippenhahn erste eigene Sternentwicklungsrechnungen und veröffentlichte 1963 zusammen mit Baker seine Arbeiten über den Kappa-Mechanismus [3]. Damit konnten die Pulsationen der Delta-Cephei-Sterne im Detail erklärt und verstanden sowie die Perioden-Helligkeits-Beziehung dieser Sterne verifiziert werden. Man erkannte dabei, dass die Pulsationen nur die massearmen Außenschichten betreffen und nicht von Schwankungen der Kernfusion herrühren. In bestimmten mittleren Schichten, schon weit außerhalb des Kerns, kommt es periodisch zu einer Transparenzminde- rung (durch Streuung und Eigenabsorption) und so zu einem Strahlungsstau, der den Strahlungsdruck auf die darüber liegenden Schichten erhöht und diese ausdehnt, wodurch die Dichte abnimmt. Dadurch erhöht sich die Transparenz dieser Schichten und die aufgestaute Strahlung kann entweichen. Daraufhin sinkt aber auch der Strahlungsdruck wieder und die äußeren Schichten fallen wieder zurück, verdichten sich und die Strahlung staut sich wieder auf usw.

1967 veröffentlichte Kippenhahn seine Rechenergebnisse für enge Doppelsterne mit Masseaustausch, u.a. konnten damit die „blue stragglers“ im Hertzsprung-Russell-Diagramm von alten Sternhaufen erklärt werden. Das sind junge blaue Riesen, die vom Alter des Sternhaufens her dort gar nicht mehr vorkommen dürften. Sie entstehen durch nachträgliches „Anfüttern“ eines alten, massearmen Sterns durch

einen sich aufblähenden, massereichen Doppelsternpartner, der dabei den größten Teil seiner Masse an den kleineren Partner verliert.

Motivation

Ein Traum aus meiner Studentenzzeit (ab 1974) war, einmal mit den Grundgleichungen zum Sternaufbau etwas herumzuspielen, von denen in den Vorlesungen immer die Rede war. Mittlerweile haben sich einige Gründe ergeben, die es besonders leicht erscheinen lassen, dieses Vorhaben in die Tat umzusetzen:

- Heutige PCs sind reinste Supercomputer im Vergleich zu dem, was 1975 an Uni-Rechenzentren zur Verfügung stand. Die millionenteure „Cyber 172“, die damals im Rechenzentrum in Erlangen stand, arbeitete gerade einmal mit 25 MHz Taktfrequenz, brauchte ca. 100 m² Grundfläche und man musste sie sich mit Hunderten anderer Nutzer teilen.
- Heutige Mathematik-Programme, z.B. MATLAB, haben gut getestete Standard-Algorithmen, z.B. zur numerischen Lösung von Differentialgleichungen, ausgefeilte Optimierungsverfahren zur Parameteranpassung und Interpolationsverfahren.
- Auch im Internet finden sich mittlerweile Unmengen leicht zugänglicher Unterlagen, wie Veröffentlichungen, Vorlesungsskripte, Tabellen, Referenzdaten und Animationen.
- Auch Kippenhahns neu herausgegebenes Buch zu Sternaufbaumodellen und Sternentwicklung von 2012 [5] liefert sehr gute Einarbeitungsmöglichkeiten.
- Nicht zuletzt sind die Grundgleichungen zum Sternaufbau eigentlich recht einfach.

Vereinfachende Voraussetzungen

Wichtigster Punkt ist dennoch, zunächst einfache Fälle zu betrachten, um die Übersicht zu behalten. Sinnvolle Vereinfachungen sind:

- Rotation, Pulsation, Magnetfelder, Massenverluste oder störende Doppelsternpartner für Modellsterne ausschließen.
- die Zeit festhalten (also keine partiellen Differentialgleichungen ansetzen) und nur den stabilen Gleichge-

wichtszustand berechnen.

- mit Kugelsymmetrie rechnen, also für jede Zustandsgröße nur einen Wert auf je einer Kugelschale berechnen und so lauter Kugelschalen wie Zwiebelschalen ineinanderschichten. Dadurch reicht es aus, die Werte in einer Dimension entlang einer radialen, d.h. vom Zentrum des Sterns ausgehenden Linie zu berechnen. Auch der Gradient reduziert sich auf die Ableitung nach der radialen Koordinate r , da die Bedingungen auf einer Kugelschale jeweils konstant sind. Die Zustandsgrößen können dann als Profile über den Abstand r zum Sternzentrum in einer einfachen Liniengrafik dargestellt werden.
- die Zustandsgleichung für ideales Gas mit Strahlungsdruck annehmen, aber noch keine Entartung oder Neutrinoabkühlung im Kern berücksichtigen.
- „zero age main sequence“-Sterne (abgekürzt: ZAMS) rechnen, also „frischgeborene“ Modellsterne mit homogener chemischer Zusammensetzung (Wasserstoff: 70 %, Helium: 28 %, Rest: 2 %), in denen nur Wasserstofffusion stattfindet.

Die Grundgleichungen des Sternaufbaus

Wie sehen die (in der Literatur stets angeführten) Grundgleichungen unter den in Abschnitt 2 genannten vereinfachenden Voraussetzungen aus (hier in sog. Euler'scher Darstellung, also mit Ableitung nach dem Radius r)?

Kontinuitätsgleichung oder Masse-Radius-Beziehung
(folgt aus der Massenerhaltung)

$$\frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \cdot \rho$$

Diese Gleichung lässt sich leicht plausibel machen: Man stellt sie so um, dass links nur noch dM_r steht. Der rechte Ausdruck lässt sich als die Masse einer dünnen Kugelschale identifizieren (das Volumen einer dünnen Kugelschale ist $V = 4\pi r^2 \cdot dr$, deren Masse $M = V \cdot \rho = 4\pi r^2 \cdot dr \cdot \rho$). Damit lässt sich Massenverteilung eines Sterns beschreiben, wenn man viele solcher ineinander geschachtelter dünner Kugelschalen verwendet.

Hydrostatisches

(d.h. mechanisches) Gleichgewicht
(folgt aus der Impulserhaltung)

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \cdot \frac{G \cdot M_r}{r^2}$$

Diese Gleichung ist auch relativ leicht zu verstehen: $V = 4\pi r^2 \cdot dr$ ist wieder das Volumen einer dünnen Kugelschale. Mit der Dichte $\rho = M/V$ ist die Masse dieser Kugelschale $M = \rho \cdot (4\pi r^2 \cdot dr)$ mit $4\pi r^2$ als Grundfläche der Kugeloberfläche (an der Stelle r). $M \cdot G \cdot M_r / r^2$ ist dann die Gravitationskraft F auf diese Kugelschale. Kürzt man dr heraus, bleibt für $dP = F / (4\pi r^2)$, also Kraft pro Fläche, d.h. dP sagt dann aus, wie der Druck innerhalb dieser dünnen Schicht zunehmen muss, damit die Gravitation gerade kompensiert wird (deswegen das Minuszeichen) und der Modellstern stabil bleibt.

Thermisches Gleichgewicht
(folgt aus der Energieerhaltung)

$$\frac{dL_r}{dr} = 4\pi r^2 \cdot \rho \cdot \epsilon$$

(die Physik der Energieerzeugung steckt im ϵ)

Diese Gleichung ist ebenfalls leicht zu verstehen: ϵ ist die Energieerzeugungsrate pro Masse, die Masse $M = \rho \cdot V$, das Volumen einer dünnen Kugelschale ist $V = 4\pi r^2 \cdot dr$, also ist $4\pi r^2 \cdot dr \cdot \rho$ deren Masse und $4\pi r^2 \cdot dr \cdot \rho \cdot \epsilon$ die Energieerzeugung bzw. die Leuchtkraft dL_r dieser dünnen Kugelschale.

Energietransport

(hier werden zwei Gleichungen alternativ verwendet, sie werden je nach der Stärke des Strahlungsdiffusions-Temperaturgradienten ∇_{rad} umgeschaltet (s.u.))

$$\frac{dT}{dr} = \nabla_{\text{rad}} = \frac{-3}{4ac} \cdot \frac{\kappa \rho}{T^3} \cdot \frac{L_r}{4\pi r^2}$$

1. bei Energietransport durch Strahlungsdiffusion

$$\frac{dT}{dr} = -\nabla_{\text{ad}} \cdot \frac{T}{P} \cdot \frac{dP}{dr}$$

2. bei Energietransport durch Konvektion

Diese beiden Gleichungen sind nicht ganz so leicht zu verstehen. Sie beschreiben die Effizienz des Energietransports. Im Falle von Strahlungstransport hängt sie neben dem

Temperaturgefälle auch von der Opazität und der Dichte ab.

Bei Konvektion sinkt die Temperatur in einer aufsteigenden Gasblase weniger stark als in der Umgebung, wobei die Dichte der Blase unter die der Umgebung fällt, wodurch sie eine Auftriebskraft erfährt.

Die letzte Grundgleichung enthält den adiabatischen Temperaturgradienten

$$\nabla_{\text{ad}} = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) = 0,4$$

Erläuterung der Variablen in den Grundgleichungen und in den Grafiken:

P = berechneter Druck (P_r = Druck beim Radius r , P_c = Druck im Zentrum aus [9]), ρ = Dichte, κ = Opazität
 T = berechnete Temperatur, (T_r = Temperatur beim Radius r , T_c = Temperatur im Zentrum aus [9])

L = berechnete Gesamtleuchtkraft, L_r = Leuchtkraft der eingeschlossenen Masse bis zum Radius r , L_o = Sonnenleuchtkraft (aus [9])

T_{eff}^1 = effektive Oberflächentemperatur (am Photosphärenrand):

$$T_{\text{eff}} = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}, \quad \sigma = \text{Stefan-Boltzmann-Konstante}$$

M = berechnete Gesamtmasse, M_r = eingeschlossene Masse bis zum Radius r , M_o = Sonnenmasse (aus [9])

R = berechneter Oberflächenradius (Photosphärenrand), R_o = Sonnenradius (aus [9])

ϵ = Energieerzeugungsrate für Proton-Proton- und CNO-Zyklus:

$$\epsilon = 1,1 \cdot 10^{-45} \cdot \rho \cdot T^{5,3} + 1,1 \cdot 10^{-125} \cdot \rho \cdot T^{16}$$

G = Gravitationskonstante, c = Lichtgeschwindigkeit, a = Strahlungskonstante $4\sigma/c$, γ = Adiabatenkoeffizient = $5/3$

Für die endgültige Berechnung ist noch eine Materialgleichung nötig, die den Zusammenhang der hier wesentlichen inneren Eigenschaften der Sternmaterie beschreibt. Es ist die Zustandsgleichung des idealen Gases, die ich

1) Wie in der Physik häufig üblich, wird hier die Sonne idealisiert als „schwarzer Strahler“ behandelt.

hier der Einfachheit halber verwendet habe, erweitert um einen Term für den Strahlungsdruck, der bei den extrem hohen Temperaturen im Sterninnern wegen der Proportionalität zu T^4 eine sehr große Rolle spielt, er verhindert den Gravitationskollaps:

$$P = \frac{R}{\mu} \cdot \rho \cdot T + \frac{4}{3c} \cdot \sigma \cdot T^4$$

R = Gaskonstante, c = Lichtgeschwindigkeit μ = mittleres Molekulargewicht = $1/(2 \cdot X + 0,75 \cdot Y + 0,5 \cdot Z)$, Elementhäufigkeiten:

X steht für den Wasserstoffgehalt, Y für Helium, Z für den Rest der chemischen Elemente

Die obigen vier Grundgleichungen sind einfache gewöhnliche nichtlineare Differentialgleichungen 1. Ordnung und zeigen in dieser Form im Prinzip immer den Unterschied der Zustandsgrößen zwischen zwei benachbarten Kugelschalen an. Um die Werte der Zustandsgrößen selbst zu bestimmen, müssen sie von Startwerten beginnend (den sog. Randbedingungen), schrittweise hochgerechnet werden. Am besten nimmt man Anfangswerte im Zentrum an und rechnet von innen nach außen. Der Modellstern baut sich so kugelschalenweise wachsend bis zur Oberfläche hin auf. Im Detail heißt das, dass bei jedem Schritt der Radius ein kleines Stück (dr) vergrößert wird und für jede Zustandsgröße der Beitrag der momentan erreichten Kugelschale jeweils hinzuaddiert wird (Euler'sches Verfahren). Der jeweilige Beitrag zu einer Zustandsgröße ist einfach der Wert aus der rechten Seite der zugehörigen Differentialgleichung bei dem erreichten Radius r multipliziert mit der Radiusschrittweite dr . Bei der ersten Gleichung beispielsweise ist dann der Beitrag dM_r , der gerade erreichten Kugelschale zur Masse M_r innerhalb der Kugelschale:

$$dM_r = 4\pi r^2 \cdot \rho \cdot dr$$

Konkret habe ich hier ein rechen-technisch etwas ausgefeilteres Verfahren nach Runge-Kutta verwendet (MATLAB function „ode45“). Hier wird besonders auf Fehlerkontrolle geachtet, z.B. wird mit der Schrittweite dr vorsichtig agiert, damit die Rechnung stabil bleibt und nicht unkontrolliert in z.B. sich aufschaukelnde Oszillatio-

nen abgleiten kann (wie sie leicht beim Euler-Verfahren auftreten können). So wird die Schrittweite automatisch vergrößert, wenn sich die Stützstellen der Lösungsfunktion wenig ändern, und umgekehrt wird sie bei schnellen Änderungen verfeinert.

Die Gleichung zum Energietransport durch Strahlungsdiffusion berücksichtigt die Eigenabsorption des Plasmas und die Streuung von Gammastrahlung im Sterninneren, die mit der Opazität κ (kappa) beschrieben werden kann. Sie ergibt sich aus einem geschickt gewählten Mittelwert des Absorptionskoeffizienten über alle Wellenlängen. Anschaulich kann man Opazität als „Intransparenzgrad“ oder „Milchigkeit“ im Sterninnern umschreiben. Die Strahlung macht durch Streuung², Absorption und Reemission eine Art „random walk“, geht also um sehr viele Ecken oder wird sehr lange in der thermischen Bewegung des Gases „geparkt“. Durchschnittlich kommt sie erst nach einigen Millionen Jahren am Sternenrand an. Sie geht also nicht einfach ungehindert oder gar geradlinig durch das Sterninnere hindurch. In bestimmten Wertebereichen von Dichte und Temperatur kann es sogar zu einem besonders hohen κ kommen. Dabei staut sich Strahlung auf und es kommt zu einem starken Anstieg des Temperaturgradienten. Hier kommt das Plasma buchstäblich zum „Kochen“, d.h. heiße Plasmablase setzen sich ab und transportieren überhitztes Material nach außen, wo es durch Ausdehnung abkühlen kann. Im Gegenzug kann dann kühleres Material nach innen sinken (und der Temperaturgradient wird begrenzt). Beides zusammen wird bekanntlich als Konvektion bezeichnet. Hier ist noch ein Kriterium nötig, das sagt, wann der Energietransport von Strahlung in Konvektion umschlägt. Das Umschaltkriterium wird in der Literatur „Schwarzschild-Kriterium“ genannt:

$$\nabla_{\text{rad}} > \nabla_{\text{ad}}$$

wobei ∇_{ad} der adiabatische Temperaturgradient ist. Ist das Kriterium er-

2) Unterschieden wird dabei zwischen elastischer und inelastischer Streuung, bei letzterer wird Energie übertragen. Viele aufeinanderfolgende inelastische Streuvorgänge führen zu einer statistischen Verteilung der Energie, durch die ein thermisches Spektrum der Strahlung entsteht. Den Vorgang bezeichnet man als Thermalisierung.

füllt, tritt Konvektion ein und die Gleichung für den Energietransport muss auf Konvektion umgeschaltet werden. Die Berechnung von κ ist sehr kompliziert und schwierig (viel Quantenmechanik). Man kann sich aber umfangreiche Tabellen von κ im Internet unter OPAL [6] ganz einfach herunterladen und muss diese nur entsprechend interpolieren.

Erste Überraschungen

In einem Vorversuch habe ich zunächst probiert, die Sonne als vollkonvektiven Stern anzusetzen, also ohne die Gleichungsumschaltung beim Energietransport und ohne Opazität. Was passiert, wenn man mit einem so vereinfachten Gleichungssystem die Zustandsgrößen für das Sonneninnere in nur einem einzigen Lauf („single-shot“) hochrechnet? Das verwendete Programm hat dann nur eine Seite Code!

Man bekommt nach einigem Herumprobieren tatsächlich schon eine sonnenähnliche Gaskugel mit einem markanten scharfen Rand, d.h., dass ab einem gewissen Radius gleichzeitig Temperatur, Dichte und Druck schnell und kräftig fallen (gleich um mehrere Zehnerpotenzen, s. Abb. 2) – Eureka!

Eigentlich war dieses erstaunliche Ergebnis jedoch unerwartet, weil die Randbedingungen am Außenrand noch gar nicht in der Rechnung verwendet wurden (T , P und ρ sollten hier gegen Null gehen). Dies hat sich aber schon ohne weiteres Zutun von selbst so ergeben. Auch sind die so erhaltenen Werte von Oberflächenradius, Leuchtkraft und Gesamtmasse nicht irgendwo im „Nirwana“, sondern den wirklichen Werten der Sonne schon „relativ“ nahe. Als Gesamtmasse kommt $0,83 M_{\text{Sonne}}$ heraus, die Zentraldichte liegt bei $0,73 \rho_{\odot}$, der Oberflächenradius bei $0,4 R_{\text{Sonne}}$, nur die Leuchtkraft ist gleich um einen Faktor 7 zu hoch, und auch T_{eff} ist mit 14813 K noch zu hoch.

Optimierungen

Nach diesem ersten kleinen Erfolg ist man natürlich motiviert, richtig loszulegen. Liest man sich weiter in die Literatur ein ([2-5]), ergeben sich vielerlei Möglichkeiten, das Modell noch grundlegend zu verbessern:

Die oben gezeigte einfache Formel für ε stammt noch aus Zeiten vor

1964, als man die Fusionsraten noch ziemlich überschätzt hatte. Verwendet man für das o.g. vollkonvektive Sonnenmodell das neuere Formelwerk für ϵ von 2012 aus [5], verbessert sich T_{eff} schon von 14813 K auf 11726 K und der Leuchtkraftüberschuss sinkt von 6,9 auf 2,7 (s. Abb.2, links). Der Grund für die restlichen Abweichungen liegt hauptsächlich an der noch fehlenden Berücksichtigung der Effekte der Strahlungsdiffusion im Sterninnern. Es wurde ja im Vorversuch noch so gerechnet, als wäre die Sonne von vorn bis hinten durchsichtig. Es zeigt sich, dass dies der wichtigste Optimierungsschritt ist, die Effekte der Strahlungsdiffusion über den Opazitätskoeffizienten κ zu berücksichtigen und die erwähnte Gleichungsumschaltung für den Energietransport einzubauen. Erwähnenswert ist, dass man über diese Maßnahme bereits mit dem „single-shot“-Modell hervorragende Ergebnisse erzielen kann. So gelingt es, über einen simplen Fit an die messbaren globalen Zustandsgrößen der Sonne (Masse, Leuchtkraft, Radius und effektive Oberflächen-

temperatur) ein Modell mit nur 2,4% durchschnittlicher Abweichung von den momentan gültigen Literaturwerten der Sonne [9] zu erhalten (s. Abb. 2, rechts). Beim Rücksteigen auf die o.g. simple vollkonvektive Rechnung (ohne Strahlungsdiffusion) steigen die Abweichungen für die Sonne mit dem gleichen Fit auf durchschnittlich 47%. Das unterstreicht deutlich die Wichtigkeit der Strahlungsdiffusionseffekte.

Des Weiteren bekommt man ausgerechnet am Anfangspunkt im Zentrum ($r=0$) eine Singularität, also eine Division durch Null. Diese habe ich damit umgangen, dass ich die Rechnungen erst ganz dicht neben dem Zentrum mit den Literaturwerten von Druck und Temperatur begonnen habe. Das ist zwar keine wirklich saubere Vorgehensweise, aber fürs Erste erkennbar erfolgreich. Später verwendete ich deshalb eine in einer Veröffentlichung von Eggleton (1971, [4]) gefundene, elegante Transformation der Gleichungen, die es erlaubt, das Gleichungssystem auch im Zentrum ohne weiteres zu verwenden:

- $r \rightarrow r^2$
- $m = M_r^{2/3}$ als unabhängige Variable nehmen, statt r
- P und T logarithmieren

Unbefriedigend bei dem bisher beschriebenen einfachen „single-shot“-Modell ist, dass man immer noch einem passenden Paar von P_c und T_c händisch suchen muss, mit dem sich eine „randscharfe Lösung“ (eine Kugel mit scharfem Rand) und nicht eine diffuse Wolke als Lösung einstellt. Das Gleichungssystem hat nämlich noch eine diffuse Wolke als eine weitere Lösungsmannigfaltigkeit. Dieses Problem lässt sich nun nicht mehr so einfach lösen. Man muss die äußeren Randbedingungen geschickt hereinbringen, um ein gut definiertes Ergebnis zu bekommen. Die äußeren Randbedingungen sind aber schwerer zu fassen als die im Zentrum. Die Zustandsgrößen (außer Leuchtkraft und Masse) einfach gegen Null gehen zu lassen, klingt schön einfach und plausibel, ist auch tendenziell richtig, aber viel zu ungenau.

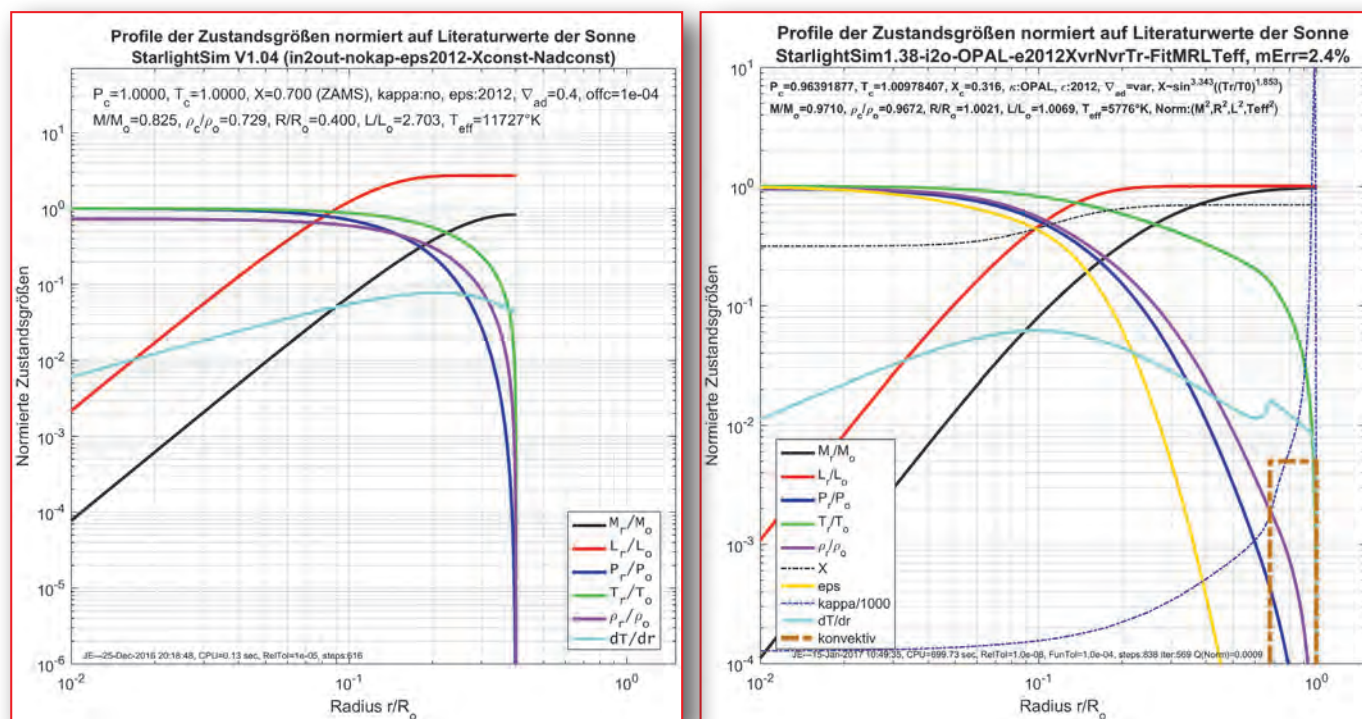


Abb.2: Zustandsgrößenprofile für Masse, Leuchtkraft, Druck, Temperatur und Dichte, aufgetragen über den Radius, gerechnet mit dem „single-shot“-Verfahren und dem Formelwerk von 2012 für die Energieerzeugungsrates (aus [5], S.175ff). Links gerechnet für eine rein konvektiv angenommene Modellsonne. Erstaunlich ist, dass diese einfache Rechnung bereits eine Oberfläche mit markantem scharfem Rand ausweist. Rechts: „single-shot“-Rechnung mit den Optimierungen aus Abschnitt 6, jedoch noch ohne „tricky shooting“ und ohne Atmosphärenmodell. Bereits damit ergeben sich für die globalen Zustandsgrößen und die Zentralwerte der Sonne nur noch Abweichungen von den Literaturwerten [9] von durchschnittlich 2,4%. Die braun gestrichelte Linie markiert die Lage der Konvektionszone in der Modellsonne. Interessant ist, dass der Temperaturgradient (türkisfarbene Linie) vor dem Einsetzen der Konvektion kurz vor stark ansteigt und erst mit dem Einsetzen der Konvektion wieder einbricht.

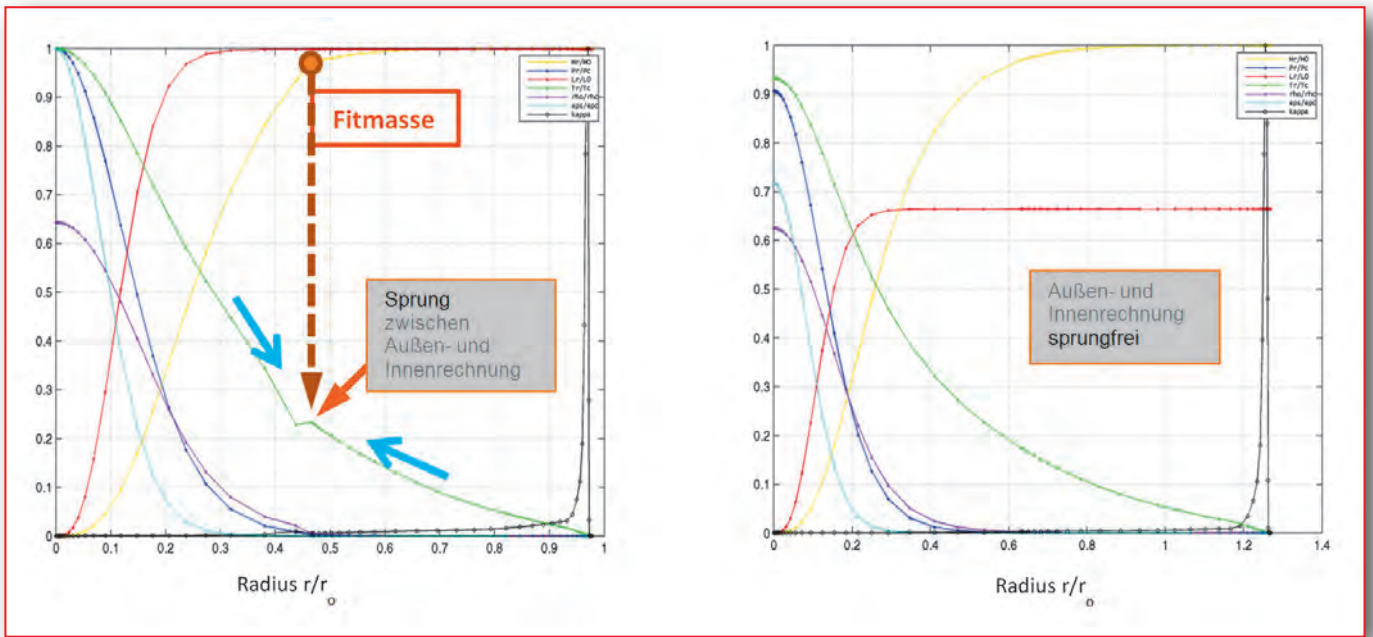


Abb.3a: Wirkung des Simplex-Algorithmus beim „tricky shooting“. Links: Die blauen Pfeile zeigen die zwei Rechenrichtungen. Am Fitmassepunkt haben die Zustandsgrößen noch eine Unstetigkeitsstelle (Sprung). Rechts: Sprungfreier Übergang der Zustandsgrößen nach dem „Zurechtrütteln“ der Randbedingungen mit dem Simplex-Algorithmus. Deutlich zu sehen ist, wie stark sich die Verläufe der Zustandsgrößen durch diese Maßnahme noch ändern (linkes und rechtes Bild haben gleiche Normierungswerte). Die Leuchtkraft (rote Kurve) geht gleich um mehr als 30% herunter und der Oberflächenradius ändert sich von ca. 0,98 auf 1,25, erkennbar jeweils am rechten Endpunkt der grünen Kurve.

Als Lösung bietet sich ein Verfahren an, das ich „tricky shooting“ genannt habe und das in ähnlicher Form auch Kippenhahn verwendet hat. Es arbeitet mit einem außen aufgesetzten Atmosphärenmodell, in dem vereinfachte Aufbaugleichungen verwendet werden. Es wird mit $\epsilon = 0$ und mit konstanter Schwerebeschleunigung gerechnet. Außerdem gibt es einen zusätzlichen Rechenweg, nämlich statt von innen nach außen auch noch umgekehrt von

außen nach innen. An einem definierten Punkt, wo sich beide Rechnungen treffen (s. Abb.3a, links), müssen die Zustandsgrößen in Einklang gebracht werden, d.h. sie müssen stetig (also sprungfrei) ineinander übergehen.

Den Treffpunkt hat Kippenhahn „Fitmassepunkt“ genannt. Er nimmt ihn bei der Kugelschale an, die 97 % der Gesamtmasse einschließt, das ist etwa beim halben Oberflächenradius [2]. Die Sprungfreiheit für alle Zustandsgrößen

gleichzeitig zu bewerkstelligen ist alles andere als einfach. Ich habe dazu einen Simplex-Algorithmus gewählt. Er ist in der Lage, die inneren Randbedingungen so „zurechtzurütteln“, dass gleichzeitig alle Zustandsgrößen am Fitmassepunkt sprungfrei werden. Ein Simplex-Algorithmus ist in MATLAB fertig programmiert verfügbar (funktion „fminsearch“).

Wie funktioniert dies? Der Algorithmus „beobachtet“, wie sich die Abweichungen entwickeln, wenn die Randbedingungen etwas geändert werden. Er startet dazu mehrere Läufe von innen nach außen und von außen nach innen, jeweils mit leicht veränderten Randbedingungen, interpoliert die Zustandsgrößen für den Fitmassepunkt und bestimmt dort deren Abweichungen zwischen den beiden Rechenrichtungen. Danach setzt er die Variation der Randbedingungen immer in der Richtung fort, die zuvor zu geringeren Abweichungen der Zustandsgrößen zwischen den beiden Rechenrichtungen im Fitmassepunkt geführt hat. Ist ein gewisses vorgegebenes Gütemaß erreicht, bricht der Algorithmus dieses „Rütteln“ ab und präsentiert das Ergebnis (Abb. 3a rechts). Dann ist man fertig und hat Masse, Leuchtkraft, Oberflächentemperatur und Oberflächenradius sowie den Verlauf von

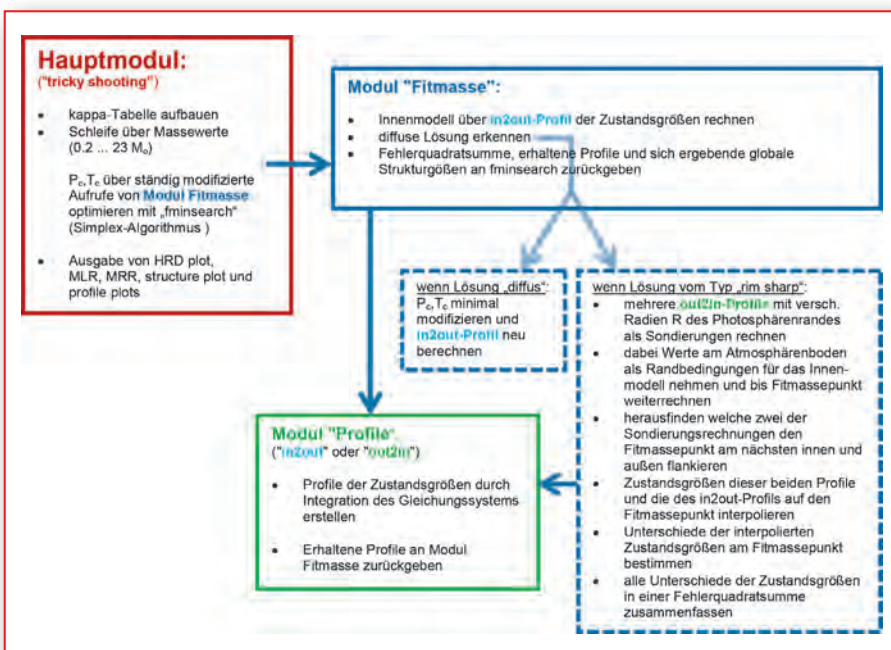


Abb.3b: Flussdiagramm für den „tricky shooting“-Algorithmus.

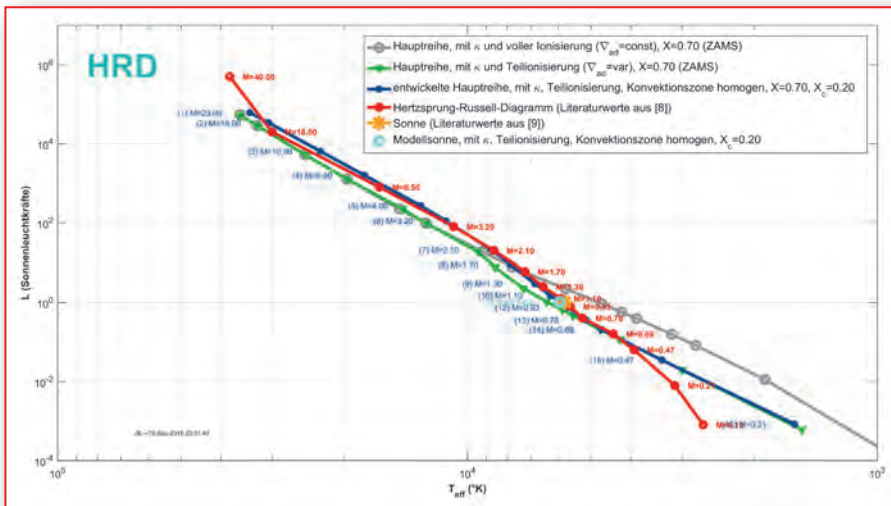


Abb.4: Hertzsprung-Russell-Diagramm für drei Rechenvarianten (die rote Kurve zeigt die Literaturwerte aus [8]):

- Graue Kurve:** Alter-Null-Sterne, also $X = 0,70$ überall im Stern (ZAMS). Der adiabatische Temperaturgradient ∇_{ad} ist hier noch konstant mit $0,4$ angesetzt, was nur für vollionisierte Gase gilt. Hier sind besonders bei massearmen Sternen wegen der noch fehlenden Berücksichtigung der Teilionisierung des Gases im Außenbereich noch größere Abweichungen des Modells festzustellen.
- Grüne Kurve** mit Dreiecken: Alter-Null-Sterne (ZAMS), aber mit adiabatischem Temperaturgradienten ∇_{ad} jetzt variabel angesetzt, d.h. die Änderung durch die Teilionisierung des Wasserstoffs im Außenbereich ist hier berücksichtigt. Das bringt deutliche Verbesserungen bei den masseärmeren Sternen.
- Blaue Kurve:** entwickelte Sterne mit $X = 0,70$ außen und $X_c = 0,20$ im Zentrum. Hier sind Teilionisierung im Außenbereich und zusätzlich noch die chemische Homogenisierung der Konvektionszone im Kern berücksichtigt. Die Übereinstimmung mit den Literaturwerten der Standard-Hauptreihe [8] ist teilweise schon erstaunlich gut. Nur noch bei den extrem massearmen Sternen (unter $0,5 M_{Sonne}$) sind noch deutliche Abweichungen erkennbar. Der hellblaue Kreis zeigt die Position der Modellsonne für diese Rechenvariante.

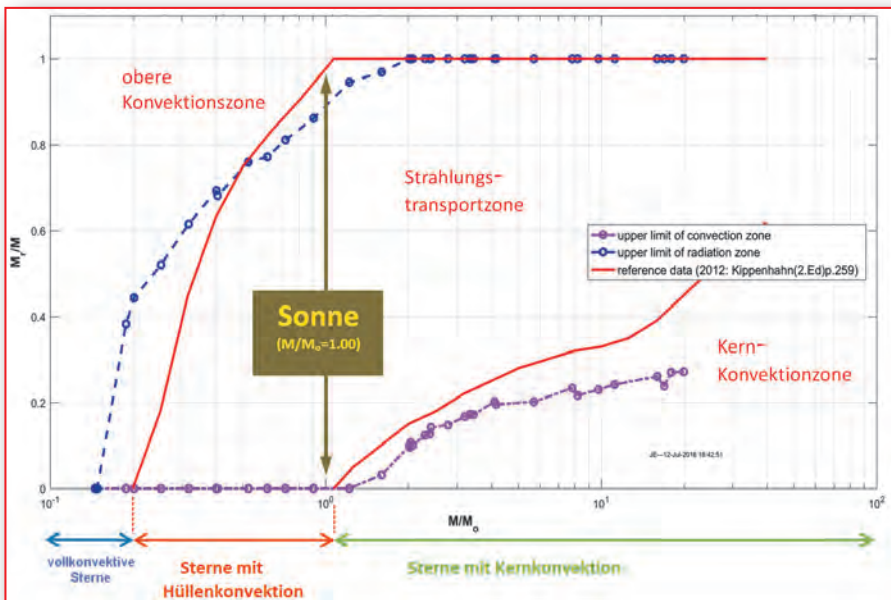


Abb.5: Das Konvektionszonen-Grenzliniendiagramm zeigt, dass es drei Grundtypen des Sternaufbaus gibt. Sie sind am unteren Rand des Diagramms eingezeichnet. Auch zeigt das Diagramm, dass das Modell die Lage der Konvektionszonenengrenzen (blau und magenta) zumindest tendenziell schon gut wiedergibt (rot: Literaturwerte für Alter-Null-Sterne (ZAMS) aus [5], S.259). Eine senkrechte Linie durch das Diagramm zeigt immer die Verhältnisse für einen Modellstern mit einer bestimmten Gesamtmasse M an ($M_o = M_{Sonne} = 1$ Sonnenmasse). An dem Diagramm kann man auch sehen, dass bei der Sonne die Konvektion gerade noch in den massearmen Außenschichten erfolgt (M_i/M kurz unter 1) im Kern aber noch nicht.

Druck, Dichte und Temperatur und die Lage der Konvektionszonen im Inneren eines Modellsterns bestimmt. Ein vereinfachtes Flussdiagramm für den „tricky shooting“-Algorithmus ist in Abb. 3b gezeigt.

Weitere Ergebnisse und Vergleiche

Für weitere Tests der Modellrechnungs-Ergebnisse eignen sich die standardmäßigen Zustandsdiagramme, zu denen es Referenzdaten in der Literatur gibt [8]. Dazu gehören das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD), die Masse-Leuchtkraft- und die Masse-Radius-Beziehung. In Abb. 4 und 6 sind dazu immer die Verhältnisse für 16 Modellsterne mit Massen von $0,2$ bis 23 Sonnenmassen gezeigt.

Die Auswirkungen der oben beschriebenen Verbesserungen können in Abb. 4 studiert werden. Der erste dargestellte Rechenversuch (graue Kurve) enthält bereits vier der im vorigen Kapitel beschriebenen Optimierungen, das „tricky shooting“ plus Atmosphärenmodell, die Gleichungsumschaltung für den Energietransport plus Opazität κ , das erwähnte neuere Formelwerk für die Fusionsenergie ϵ sowie die erwähnten Gleichungstransformationen. Der adiabatische Temperaturgradient ∇_{ad} wird aber noch als überall konstant und wie für vollionisierte Gase angenommen.

Anhand der grünen Kurve in Abb. 4 kann man den verbessernden Effekt eines modifizierten adiabatischen Temperaturgradienten ∇_{ad} sehen. Für vollionisierte Gase gilt $\nabla_{ad} = 0,4$. Dies ist im tiefen Inneren der Sterne immer der Fall, bei massereichen Sternen auch bis zur Oberfläche. In den Außenbereichen von masseärmeren Sternen sinkt ∇_{ad} wegen der Teilionisierung des Gases unter $0,4$, wodurch Konvektion begünstigt wird ([5], S. 133). Solche Modellsterne verlagern sich dann im HRD deutlich näher an die Referenzkurve nach unten.

Die blaue Kurve in Abb. 4 passt noch besser zu den Literaturwerten (rot). Hier wurden der Wasserstoffverbrauch im Kern ($X_c = 0,20$ statt $0,70$) und der Durchmischungseffekt durch die Konvektion berücksichtigt. Die konvektive Durchmischung führt zu einer homogenen chemischen Zusammensetzung innerhalb einer Konvektionszone.

Dies lässt sich programmiertechnisch leicht umsetzen und wirkt sich bei Unterzweigen und massereichen Sternen aus, da hier die Konvektionszone den Fusionskern erfasst. Die Fusionsprozesse im Kern unterliegen dann etwas anderen Bedingungen, weil sich weniger „Fusionsasche“ (Helium) im innersten Kern aufstaut. In den Mittel- und Außenbereichen außerhalb des Kerns ist die chemische Zusammensetzung von vornherein homogener, weil dort keine Fusion mehr stattfindet.

Auch ein Grenzliniendiagramm (s. [5], S. 259, fig. 22.7), das die Umschlagpunkte von Strahlungstransport zu Konvektion für verschiedene Sternmassen zeigt, ist hilfreich. Dies ist insofern besonders interessant, weil es die drei Grundtypen des Sternaufbaus zeigt: 1. vollkonvektive Sterne, die unter $0,2 M_{\text{Sonne}}$ liegen (Unterzweige), 2. Sterne mit äußerer Konvektionszone (wie die Sonne) mit $0,2 M_{\text{Sonne}} < M < 1,3 M_{\text{Sonne}}$ und 3. massereiche Sterne ab ca. $1,3 M_{\text{Sonne}}$, die nur eine Konvektionszone im Kern haben. Das Diagramm zeigt, dass das optimierte Modell die drei Grundtypen des Sternaufbaus schon reproduziert sowie in etwa auch die Lage der Konvektionszonen im Stern (s. Abb. 5).

Ausblick: Erste Ansätze zu Sternentwicklungsrechnungen

Die hier gezeigten Effekte sind beileibe noch nicht alles, was zu berücksichtigen möglich ist, d.h. die Beschäftigung mit diesem Thema bleibt für mich weiterhin spannend, z.B. lässt sich das optimierte Modell in dieser Ausbaustufe bereits jetzt ansatzweise für die Modellierung von Sternentwicklung verwenden.

Setzt man Modellsterne mit gleicher Masse einfach mit verschiedenem Wasserstoffgehalt X_c im Kern an, kann man bereits sehen, wohin sich ein Stern im Lauf seiner Entwicklung im HRD bewegen wird (s. Abb. 6), allerdings werden Massenverluste durch

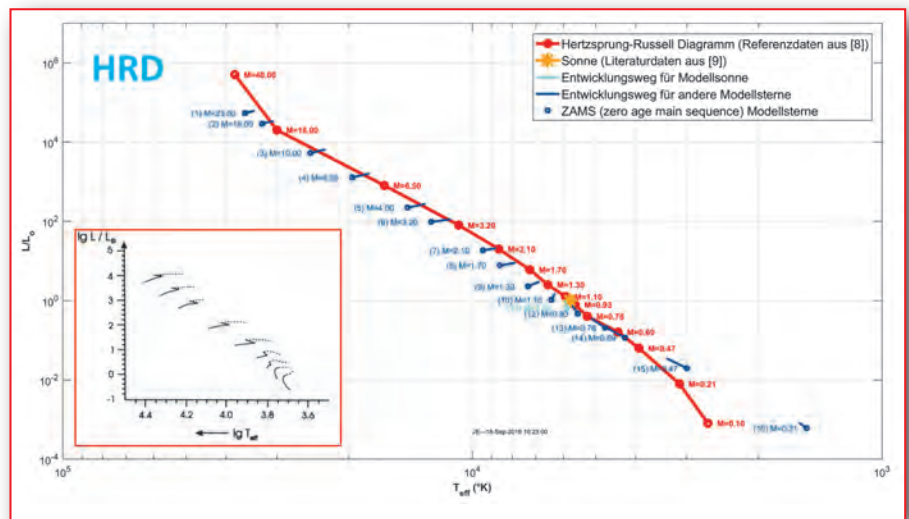


Abb.6: Entwicklungsverlauf von Modellsternen im HRD bei fallendem Wasserstoffgehalt X_c im Kernbereich. Den „zero-age“-Fall (ZAMS, $X = 0,70$ überall im Stern) markiert jeweils ein blauer Kreis. Das dünne Ende des blauen Markers zeigt den Fall des jeweiligen Modellsterns mit $X = 0,70$ außen, aber nur noch $X_c = 0,20$ im Kern. Die Teilionisierung in den Außenschichten und chemische Homogenität in den Konvektionszonen wurden hier wieder berücksichtigt. Massereichere Modellsterne bewegen sich mit sinkendem Wasserstoffgehalt im Kern nach rechts und leicht nach oben. Masseärmere Modellsterne und die Sonne bewegen sich im HRD erstmal entlang der Hauptreihe nach links oben, was sich mit Angaben in der Literatur schon tendenziell ganz gut deckt, vgl. mit der rot eingerahmten Grafik links unten (aus [5], S. 347, gezeigt sind Entwicklungswege für Massen von $0,8, 1,0, 1,2 \dots 10 M_{\text{Sonne}}$, die Grafik zeigt gepunktet auch die Wege nach Ende des zentralen Wasserstoffbrennens). Ein genauerer Vergleich wäre möglich, wenn die Literaturwerte auch Angaben zum Wasserstoffgehalt im Kern hätten.

Fusion oder den Sternwind noch nicht berücksichtigt. Aber auch so zeigt das Modell erfreulicherweise schon Eigenschaften, die tendenziell den Ergebnissen von Sternentwicklungssimulationen in der Literatur entsprechen. Massereiche Modellsterne bewegen sich mit sinkendem Wasserstoffgehalt im Kern nach rechts und leicht nach oben. Massearme Modellsterne bewegen sich im HRD zunächst entlang der Hauptreihe nach links und leicht nach oben.

Literaturverzeichnis

- [1] Kippenhahn, R., (Röser, S., edt.): „Als die Computer die Astronomie eroberten“ (Karl Schwarzschild Lecture), in Reviews in Modern Astronomy 20, 1, Wiley-VCH, Weinheim (2008)
- [2] Hofmeister, E., Kippenhahn, R., Weigert, A., Zeitschrift für Astrophysik 59, 215 (1964)
- [3] Kippenhahn, R., Weigert, A., SuW 8/9, 173 (1964)
- [4] Eggleton, P. P., MNRAS 151, 351 (1971)
- [5] Kippenhahn, R., Weigert, A., Weiss, A.: „Stellar Structure and Evolution“, 2. Ausgabe, Springer, Berlin, Heidelberg (2012)
- [6] The Opal Opacity Code: opalopacity.lnl.gov
- [7] Wikipedia: Sonne. <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonne>
- [8] Zombeck, M. V., Handbook of Space Astronomy and Astrophysics, 2. Ausgabe, Cambridge University Press, Cambridge (1990), ads.harvard.edu/books/hsaa/toc.html
- [9] Williams, D. R.: Sun Fact Sheet, NASA Goddard Space Flight Center, nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html

Spätlese 2: Die Kepler-Gesetze

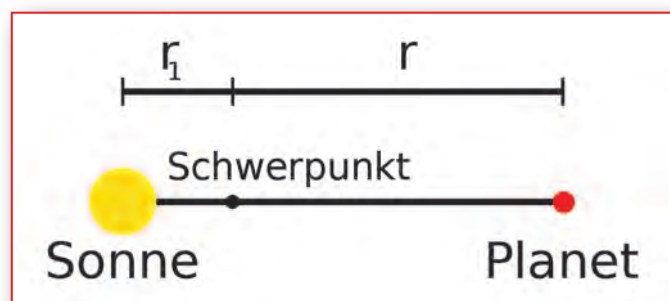
Teil 5: Erstes Keplersches Gesetz und das Zweikörperproblem

von Gerhard Meiler und Susanne Friedrich

in Andenken an Wolf Broda

Erweiterung auf das Zweikörperproblem

Im abschließenden Teil dieser Artikelserie werden die in Teil 2 und Teil 3 abgeleiteten Gleichungen für die Bewegung eines Himmelskörpers im Schwerfeld der Sonne auf das Zweikörperproblem erweitert. Dies ist notwendig, da die Sonne nicht – wie dort angenommen – punktförmig ist und die gesamte Masse des Planetensystems in sich vereint. Auch sind die Planeten, allen voran Jupiter mit immerhin einem tausendstel Sonnenmassen und Saturn mit 0,3 tausendstel Sonnenmassen, nicht masselose Probekörper. Die Lage des Masseschwerpunkts des Planetensystems, Baryzentrum genannt, hängt von der Stellung von Jupiter und Saturn zueinander ab, die entsprechend ihrem Massebruchteil den Schwerpunkt um etwa 740.000 bzw. 410.000 km verschieben. Da der Sonnenradius nur 696.000 km beträgt, kann das Baryzentrum auch außerhalb der Sonnenoberfläche liegen. Zentrum der Planetenbewegung ist damit nicht mehr der Sonnenmittelpunkt, sondern der gemeinsame Schwerpunkt Sp von Sonne und Planet (s. auch ABC, Kapitel 17.1.3).



Bewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt

Wie aus der Abbildung zu ersehen, ist damit die Polarkoordinate r nicht mehr identisch mit dem Abstand Sonne-Planet, sondern ist der Abstand des Planeten vom gemeinsamen Schwerpunkt. Der Abstand der Sonne vom Schwerpunkt sei r_1 . Es ist dann

$$M \cdot r_1 = m \cdot r$$

bzw.

$$r_1 = r \cdot \frac{m}{M}$$

Der Abstand von Sonne und Planet r_{S-P} , den wir bei der Anwendung des Gravitationsgesetzes brauchen, ist

$$r_{S-P} = r + r_1 = r + r \cdot \frac{m}{M} = r \cdot \left(1 + \frac{m}{M}\right) = r \cdot \frac{M + m}{M}$$

Das Gravitationsgesetz, wie es in Gl. (5) in Teil 2 mit r^2 im Nenner benutzt wurde, lautet jetzt

$$\begin{aligned} F &= -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_{S-P}^2} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{\left(r \cdot \frac{M+m}{M}\right)^2} = \\ &= -G \cdot m \cdot M \cdot \frac{\left(\frac{M}{M+m}\right)^2}{r^2} \end{aligned} \quad (23)$$

Dies ist die Anziehungskraft von Sonne und Planet in Abhängigkeit des Abstands des Planeten zum gemeinsamen Schwerpunkt.

Sie unterscheidet sich von der Gl. (5) formal durch den Faktor $(M/(M+m))^2$, mit dem die Sonnenmasse M noch multipliziert ist.

Fazit

Da das die einzige grundlegende Gleichung ist, die sich ändert, muss in allen in Teil 2 und 3 abgeleiteten Gleichungen die Sonnenmasse M mit dem Faktor $(M/(M+m))^2$ multipliziert werden.

Da alle Längen in den Bahnkurven mit dem Schwerpunkt im Zentrum um das Verhältnis

$$\frac{r}{r_{S-P}} = \frac{r}{\frac{r \cdot (M+m)}{M}} = \frac{M}{M+m}$$

kleiner werden als bei denen mit der Sonne im Zentrum, müssen alle in den Gleichungen auftretenden Größen a , b , c und q mit dem Verhältnis $M/(M+m)$ multipliziert werden.

Aus der Gl. (11d) wird dann

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \varphi} \cdot \frac{M}{M+m} \quad (24)$$

Wenn p weiterhin als

$$\begin{aligned} p &= a(1 - e^2) && \text{für die Ellipse} \\ p &= 2q && \text{für die Parabel} \\ p &= a(e^2 - 1) && \text{für die Hyperbel} \end{aligned}$$

geschrieben wird, ändern sich die Gleichungen für die Bahngeschwindigkeiten durch einen zusätzlichen Faktor $M/(M+m)$, um die Änderungen von a und q zu berücksichtigen:

$$\begin{aligned} v_x &= \sqrt{\frac{G \cdot M \cdot \left(\frac{M}{M+m}\right)^2}{p \cdot \frac{M}{M+m}}} \cdot \sin \varphi = \sqrt{G \cdot M \cdot \frac{M}{M+m}} \cdot \frac{\sin \varphi}{p} = \\ &= \sqrt{\frac{G \cdot M}{p}} \cdot \sqrt{\frac{M}{M+m}} \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (25a)$$

$$v_y = \sqrt{\frac{G \cdot M \cdot \left(\frac{M}{M+m}\right)^2}{p \cdot \frac{M}{M+m}}} \cdot (e + \cos \varphi) =$$

$$= \sqrt{\frac{G \cdot M}{p}} \cdot \sqrt{\frac{M}{M+m}} \cdot (e + \cos \varphi) \quad (25b)$$

Die Gl. (13), das dritte Keplersche Gesetz, bekommt jetzt ebenfalls seine exakte Form

$$\frac{T^2}{\left(\frac{a \cdot M}{M+m}\right)^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M \left(\frac{M}{M+m}\right)^2}$$

nachdem die Faktoren $M/(M+m)$ soweit wie möglich gekürzt wurden:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M} \cdot \frac{M}{M+m} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (M+m)} \quad (26)$$

Die Konstanten p^2/C der Gln. (21a), (21b) und (21c) müssen wegen der darin auftretenden Größen M und a bzw. q noch mit dem Faktor

$$\frac{\left(\frac{M}{M+m}\right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\left(\frac{M}{M+m}\right)^2}} = \frac{M}{M+m} \cdot \frac{\sqrt{\frac{M}{M+m}}}{\frac{M}{M+m}} = \sqrt{\frac{M}{M+m}}$$

multipliziert werden.

Die Gl. (22a) ist davon nicht betroffen, da sie nicht über das Gravitationsgesetz, sondern aus der Umlaufzeit ermittelt wurde.

Die Faktoren $M/(M+m)$ bzw. $\sqrt{M/(M+m)}$ liegen nahe bei 1. Sie betragen z. B. bei Merkur und Jupiter:

	Merkur	Jupiter
$M/(M+m)$	0,99999983	0,999046119
$\sqrt{M/(M+m)}$	0,999999917	0,999522946

Sie können normalerweise vernachlässigt werden. Die gemeinsamen Schwerpunkte der einzelnen Planeten und der Sonne liegen, mit Ausnahme des Jupiter, alle noch innerhalb der Sonne. Der Sonnenradius beträgt 696.000 km. Der gemeinsame Schwerpunkt mit Merkur liegt nur 9,6 km und derjenige mit Jupiter 743.115 km vom Sonnenmittelpunkt entfernt. Das sind bei Merkur 0,014 ‰ und bei Jupiter 107 ‰ vom Sonnenradius.

Schlusswort

Nachdem einige Leser des Astronomischen Berechnungs Cocktails angemerkt hatten, dass dem Buch die „Dynamik“ fehlt, kündigte Wolf Broda an, dies nachzuholen. In seinem Buch hatte er darauf verzichtet, getreu seinem Motto, die Himmelmeechanik dem Leser nur mit den Grundrechenarten und einem Taschenrechner für die Winkelfunktionen näher zu bringen. Sein Telefonanruf „Gerhard, wir machen weiter!“ setzte die Spätlese 2 in Gang. Nur Teil 1 konnte er noch selbst mitgestalten, danach mussten wir sie ohne seine Hilfe zu Ende bringen. Seine unnachahmliche Art, auch komplizierte mathematische Zusammenhänge zu erklären, konnten wir nicht kopieren, hoffen aber doch, dass wir zeigen konnten, dass auch die Himmelsdynamik verstanden werden kann.

Literatur

Broda, W.: Astronomischer Berechnungs Cocktail – Ein ABC der Himmelsmechanik, Oculum-Verlag GmbH, Erlangen (2007)

2. März 2017
Mitgliederversammlung der NAA
19:30 Uhr
auf der Regiomontanus-Sternwarte

Himmelsalbum

zusammengestellt von Peter Friedrich und Matthias Gräter

Neben interessanten Einzelobjekten wie Galaxien und Nebeln in den Sternbildern Pegasus, Andromeda, Dreieck und Fuhrmann hat der Herbst- und Winterhimmel mit seinen vielen hellen Sternen, die sich u.a. zum „Wintersechseck“ formieren, auch seinen Reiz für den visuellen Anblick ohne Instrument. Polarlichter sind ebenfalls ein Genuss für das freie Auge, zeigen sich allerdings vornehmlich in den Polarregionen. Natürlich zieht auch der Mond die Blicke auf sich, zumal er gerade als Vollmond – zum Leidwesen der Deep-Sky-Beobachter – den Sternenhimmel überstrahlt. Um den 14. November geisterte dieser als „Supervollmond“ durch die Medien, betrug doch die Entfernung zum Vollmondtermin ein paar Kilometer weniger als sonst bei den jährlich auftretenden Vollmondterminen in Erdnähe. – Hätten Sie es bemerkt? Tatsächlich fällt es uns schon schwer, den Unterschied der Mondgröße in Erdnähe und Erdferne ohne Messinstrumente zu konstatieren, und der macht immerhin 14% aus.

Gasnebel M 27, NGC 3372, IC 405: M 27 ist ein Planetarischer Nebel (die Namensgebung bezieht sich allein auf das planetenähnliche Erscheinungsbild), d.h. ein Produkt der späten Sternentwicklung. Er bildete sich vor etlichen tausend Jahren aus den abgestoßen Hüllen eines Sterns, dessen Kernfusionsprozesse zu Ende gingen, und dehnt sich noch heute weiter aus. Planetarische Nebel zeigen je nach Perspektive oft eine kreisförmige oder bipolare Gestalt. Diese Symmetrie geht auf ihre Entstehung, d.h. den Sternwind, zurück, ist aber keinesfalls zwingend, da auch das interstellare Medium die Verteilung des abgestoßenen Ma-

terials mitbestimmt. Der Carinanebel (NGC 3372) am Südhimmel ist eines der größten Sternentstehungsgebiete der Galaxis, ca. sechsmal größer im Durchmesser als der Orionnebel. Eingebettet in die Gaswolke liegt der offene Sternhaufen Trumpler 14 sowie der helle Stern η Carinae, dessen Entwicklungsgeschichte noch Rätsel aufgibt. Es handelt sich um ein enges Doppelsternsystem mit Komponenten von etwa 90 bzw. 30 Sonnenmassen, das in den letzten Jahrhunderten starke Helligkeitsschwankungen gezeigt hat¹. AE Aurigae ist ein junger heißer Stern (Typ O), der vor rund drei Millionen Jahren im Sternhaufen um die Trapezsterne im Orion entstanden ist. Von dort wurde er, wahrscheinlich durch Wechselwirkung mit zwei Doppelsternsystemen, mit hoher Geschwindigkeit herausgeschleudert. Er bewegt sich nun mit 150 km/s durch das interstellare Medium und begegnet zurzeit einer Molekülwolke, die er durch seine UV-Strahlung für eine astronomisch kurze Zeitspanne als Emissionsnebel IC 405 aufleuchten lässt²; auch die Emission von Röntgenstrahlung einer bogenförmigen Stoßfront (engl. bow shock) wurde nachgewiesen.

Galaxien M 31, M 32, M 33, NGC 110, NGC 891, NGC 7814: Während die Dreiecks-Galaxie M 33 nur sehr schwer mit bloßem Auge auszumachen ist, kann man die Andromeda-Galaxie M 31 bei dunklem Himmel mit dem bloßen Auge relativ gut

als „Nebelfleck“ erkennen. Bei einer Entfernung von „nur“ 2,5 Millionen Lichtjahren erreicht sie am Himmel mit mehr als 2° eine beachtliche Ausdehnung. Photos zeigen die Detailfülle der Spiralarme sowie die beiden hellen Begleitgalaxien M 32 und NGC 110. Ebenfalls im Sternbild Andromeda liegt die Spiralgalaxie NGC 891. Sie ist M 31 an Größe ebenbürtig, erscheint jedoch aufgrund der rund zwölffachen Entfernung entsprechend kleiner und lichtschwächer. Die Spiralarme der Galaxie sind allenfalls zu erahnen, da unser Blick exakt auf die Kante der Diskusform fällt, dafür hebt sich das dunkle Staubbänd in der Hauptebene der Galaxie kontrastreich ab. Bei genauem Hinsehen fällt auf, dass diese Ebene leicht verbogen ist – vermutlich die Folge von Gezeitenkräften, für die eine irreguläre Begleitgalaxie in 0,5° Abstand verantwortlich sein könnte. Da diese selbst jedoch keine Anzeichen der Wechselwirkung (mehr) zeigt, liegt die Begegnung der beiden Galaxien vermutlich bereits einige Milliarden Jahre zurück; als Zeugen des Ereignisses können die zahlreichen unregelmäßig erscheinenden Zwerggalaxien um NGC 891 gedeutet werden, die infolge der Wechselwirkung entstanden sein könnten³. Die Spiralgalaxie NGC 7814 zeigt sich ebenfalls im Kantenblick, mit einem schmalen, aber ausgeprägten Staubbänd in der Hauptebene und einem ausgeprägten „Bulge“. Sie ist etwas kleiner als unsere Milchstraße und steht in gut 50 Millionen Lichtjahren Entfernung im Sternbild Pegasus nahe dem Stern Algenib (γ Pegasi).

1) S. F. Portegies Zwart, E. P. J. van den Heuvel, „Was the nineteenth century giant eruption of Eta Carinae a merger event in a triple system?“, MNRAS 456, 3401 (2016)

2) J. López-Santiago et al., „AE Auriga: First Detection of non-thermal X-Ray Emission from a Bow Shock Produced by a Runaway Star“, APJ Let. 757, L6 (2012)

3) Earl Schulz, „Dwarf Galaxies in the Halo of NGC 891“, APJ 790, 76 (2014)



M 33 – Teleskop: William FLT 110 mm auf EQ8, Kamera: Atik 383 L+, Belichtung: H α : 17 \times 15 min (23.9.), L: 19 \times 8 min, RGB: je 21 \times 8 min (31.10.), Aufnahmeort: Vockenroth (Paul Schuberth am 23. September und 31. Oktober 2016)



IC 405 – Teleskop: Skywatcher Esprit 80/400 mm APO auf EQ8, Kamera: Atik 383L+, Belichtung: H α : 52 \times 900 s, L: 20 \times 360 s, RGB: je 30 \times 360 s, Aufnahmeort: Fürth (Paul Schuberth zwischen dem 27. November und 3. Dezember 2016)



NGC 3372 (Carinanebel) – Teleskop: APM APO 107/700 mm mit Riccardi-Reducer f=524 mm auf Alt7 FS2, Kamera: Moravian G2 8300 bei -20 °C mit Baader-Filter 36 mm, Belichtung: H α : 10 \times 8 min, OIII: 10 \times 8min, 228 \times Bias, 23 \times Dark, 41 \times Flat H α , 41 \times Flat OIII, Guiding: 8 \times 50 Finder + ASI120MM, PHD-Guiding, Nachbearbeitung: Pixinsight, Photoshop, CRAW, Aufnahmeort: Farm Kiripotib Namibia (*Thomas Jäger* am 27. und 28. Juli 2016)



M 31 Andromedagalaxie – Objektiv: 150 mm/f4 GSO-Newton mit TS-Newton-Korrektor bei 570 mm (effektiv), Kamera: Canon EOS 450D, Belichtung: 29 \times 5 min bei ISO 1600, Aufnahmeort: Oberwindsberg (*Hartmuth Kintzel* am 28. November 2016)

Astronomie am Gymnasium Eckental

von Tobias Spangler und Max Kuhler

Am Gymnasium Eckental¹ wird derzeit im Rahmen eines Projekt-Seminars eine Sternwarte gebaut. Das Seminar, an dem 16 Schülerinnen und Schüler teilnehmen und das von Herrn Rösler geleitet wird, begann bereits im Frühjahr 2016 mit den ersten Planungen. Ein wichtiger Aspekt war natürlich die Finanzierung! Die Kosten für Gebäude, Teleskop und Montierung bewegten sich nach ersten Schätzungen in der Größenordnung von 8000 EUR. Von diesem Betrag übernahmen die Nürnberger Astronomische Gesellschaft (NAG), der Förderverein und der Elternbeirat unserer Schule den Löwenanteil. Dafür möchten wir uns auch an dieser Stelle herzlich bedanken!

Als Fachmann für praktische Astronomie konnte Herr Liebscher gewonnen werden. Er ist aktives Mitglied der NAG, besitzt selbst eine Sternwarte und hat große Erfahrung – insbesondere in allen technischen Aspekten. Gestützt auf seine Erfahrungen entschieden wir uns für eine Hütte der Größe 4 m × 5 m mit niedrigen Wänden, die möglichst viel Platz bietet, um auch mit größeren Gruppen Beobachtungen durchführen zu können. Das Dach ist so geplant, dass es bei Benutzung der Sternwarte auf vier Pfeilern weggeschoben werden kann. Als Standort wurde das Pausengelände der Schule gewählt, da dieses beste Voraussetzungen für die Beobachtung bietet.

Im September 2016 wurde das Beobachtungsinstrument geliefert: ein für uns beeindruckend großes 12-Zoll-Newton-Teleskop, das auf einer EQ8-Montierung befestigt werden kann. Endlich konnte es mit dem Bau losgehen. Nach den Vermessungsarbeiten stand dem ersten Spatenstich nichts mehr im Wege. Wir ahnten allerdings

nicht, dass die Hütte auf Lehmbohlen stehen sollte, der mit Steinen gespickt war. So war das Ausheben des Fundamentes der Hütte und der Säule sowie des 38 m langen Kabelkanals alles andere als einfach und hat so manchen Schweißtropfen gekostet.

Nach dem Aufbringen einer Mineralbetonschicht unter dem Fundament der Hütte und den Armierungsarbeiten wurde dann in den Herbstferien betoniert. Im November konnten wir noch die Säule gießen. Danach wurde das Wetter zu schlecht und die Luft zu eisig, um mit dem Bau fortzufahren.

Während wir uns im Winter mit dem Teil des Seminars beschäftigten, in dem es vor allem um die Berufs- und Studienwahl geht, fanden auch weiterhin Planungen und Aktivitäten für den Bau statt.

Bei einem Workshop von Frau Schadock, die Bauingenieurwesen an der TU Darmstadt studiert, gewannen wir neue Erkenntnisse über die Bauphysik und viele Anregungen für die praktische Umsetzung unseres Bauplans. Auch die konkreten Planungen zu Dachkonstruktion, Farbgestaltung und Innenausbau sollen noch im Winter abgeschlossen werden.

Besonders freudig erwarten die Teilnehmer des W-Seminars „Astronomie“ den ersten Einsatz des neuen Teleskops, um damit Beobachtungen für ihre Seminararbeiten durchzuführen. Bisheriger Schwerpunkt des Seminars waren

die theoretischen Grundlagen der Astronomie. Die Beschäftigung mit Themen wie Konjunktionsstellung, Rektaszension, Brennpunkte, scheinbare Helligkeit oder dem Hertzsprung-Russell-Diagramm verloren schnell ihren Schrecken und boten viele interessante Facetten.

Was man von den wissenschaftlichen Arbeiten des Seminars erwarten kann, zeigen zwei Arbeiten, die bereits jetzt so weit vorangeschritten sind, dass sie beim diesjährigen Wettbewerb „Jugend forscht“ in Erlangen präsentiert werden können:

Philipp Wehr dokumentierte über mehrere Nächte die genaue Stellung der vier großen Jupitermonde, um damit seiner Arbeit über die Keplerschen Gesetze einen praktischen Unterbau zu geben. Neben beeindruckenden Bildern des Jupiter ist auch die Erkenntnis, dass astronomische Beobachtungen ein interessantes, aber auch kaltes Betätigungsfeld sind, Teil dieser Arbeit.

Sandra Helldörfer versucht in ihrer Arbeit mit einfachen schulischen Mitteln eine Beobachtungsstation für Radioastronomie zu errichten und will damit das Auftreten von Meteorschauern messtechnisch erfassen.

Auch wenn die praktische Arbeit an unserer Sternwarte gegenwärtig ruht, soll es bereits im März 2017 mit dem Bau zügig weitergehen – schließlich soll schon im kommenden Sommer unsere Sternwarte fertiggestellt werden!



Grube mit Schalung und Armierung



Fundament und Säule

1) Die Gemeinde Eckental liegt etwa 20 km nordöstlich von Nürnberg im mittelfränkischen Landkreis Erlangen-Höchstadt; das Gymnasium wurde 1995 gegründet.

Aus dem Schatzkästchen der Nürnberger Elektrizitätsgeschichte

von Hans Gaab

Siegfried Kett: Erhellung und Beschleunigung. Vom Glasrohr zum Dynamo und Telefon. Nürnbergs Rolle in der Elektrogeschichte.

Reihe Buchfranken – Bücher aus Franken, Band 3.

Röttenbach: Schrenk-Verlag 2016, ISBN 978-3-924270-83-4. 154 S., 14,90 EUR

Im Oktober 2016 sind in der neuen Reihe *Buchfranken* die ersten fünf Bände erschienen. So wie die Weinbauern ihre Heimat Franken mit dem Slogan „Weinfranken“ bewerben, so will Verleger Johann Schrenk mit Buchfranken auf die jahrhundertealte und bis heute lebendige Literaturszene Frankens hinweisen. Die Buchreihe setzt auf die Entdeckung, Erinnerung und Wiederentdeckung all dessen, was aus den Schubladen des Zauberschrankes Franken zu befördern ist. Mitherausgeber der Reihe ist Hermann Glaser. Alle Bände haben das Format 135 mm × 215 mm, umfassen mindestens 154 Seiten und kosten 14,90 EUR.

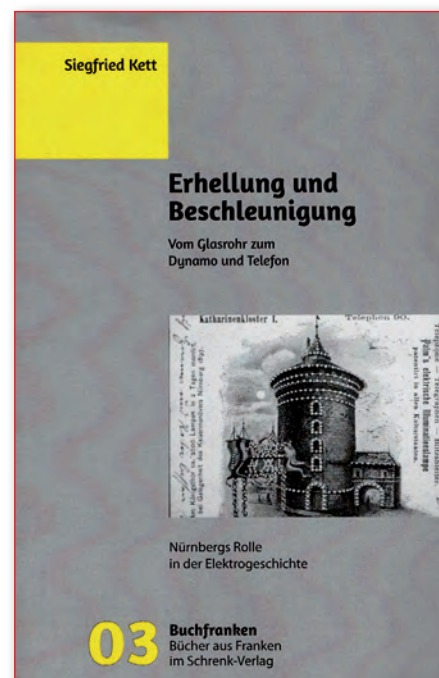
Mit Band 3 hat Siegfried Kett – ehemaliger Direktor des Nürnberger Bildungszentrums – den Nürnberger Zauberschrank der Elektrizitätslehre geöffnet. Die Anfänge liegen im Jahr 1744, als der Nürnberger Mathematikprofessor Johann Gabriel Doppelmayr (1677–1750) das erste in deutscher Sprache verfasste Lehrbuch zum Thema herausbrachte. Seine wichtigste Elektrizitätsquelle war ein geriebenes Glasrohr, womit er immerhin 270 Experimente zusammenstellen konnte. Bald darauf kamen die Leidener Flaschen auf, mit denen man erstmalig eine bessere Elektrizitätsquelle zur Verfügung hatte. Doppelmayrs Nachfolger – der aus Fürth stammende Georg Moritz Lowitz (1722–1774) – konnte damit in seinem Wohnsitz – dem Toplerhaus unterhalb der Burg – schon beeindruckende Experimente vorführen.

Ein wichtiges Forschungsthema war damals die elektrische Natur der Blitze. Die ersten Blitzableiter Deutschlands

standen in Hamburg; beschränkt man sich auf Bayern, hatte München die Nase vorn. In Nürnberg wollte Ende der 1770er Jahre ein junger Theologe – sein Name ist nicht überliefert – auf dem Dach seines Hauses neben der Lorenzkirche einen Blitzableiter installieren, doch war sein Nachbar aus unbekanntem Gründen dagegen. Zehn Jahre später fragte der Arzt Philipp Ludwig Wittwer (1752–1792) nicht mehr weiter nach, die Unschädlichkeit von Blitzableitern war schließlich erwiesen.

Diesen Blitzableiter installierte Johann Conrad Gütle (1747–1827), den Kett als ersten „Berufselektriker“ vorstellt. Der gebürtige Schwabacher hatte sich auf die Produktion elektrischer und mechanischer Geräte verlegt. 1779 konnte er fast hundert „Belustigungen“ vorweisen, darunter ein „Donnerhaus“ und einen „in Brand gesteckten Turm“. Er hielt Vorträge und reiste viel. 1788 ließ er sich in Nürnberg nieder, musste aber nach 1800 einen Rückgang seines Geschäftes hinnehmen, was hauptsächlich an der Erfindung der Gleichstrombatterie durch Alessandro Volta lag: Die neuen Versuche waren wenig spektakulär, das öffentliche Interesse an der Elektrizität ging zurück.

1820 fand der dänische Physiker Oerstedt heraus, dass die Phänomene Elektrizität und Magnetismus zusammenhängen. In Deutschland erfuhr man davon durch das in Nürnberg von Johann Salomo Christoph Schweigger (1779–1857) herausgegebene *Journal für Physik und Chemie*, die führende naturwissenschaftliche Zeitung im deutschsprachigen Raum. Schweigger war Lehrer an der neu eingerichteten mathematisch-naturwissenschaftlichen Realstudienanstalt. Hier wurde fleißig experimentiert und die neuesten naturwissenschaftlichen Errungenschaften wurden diskutiert. Durch Einfluss reaktionärer Kreise musste die Anstalt jedoch 1816 überraschend schließen. Schweigger wanderte im Folgenden ab und nahm sein Journal mit. Nürnberg verlor so seinen Status



als wichtiger Informationsort für physikalische Errungenschaften.

Doch lenkte nun der Erlanger Georg Simon Ohm (1789–1854) die Aufmerksamkeit nochmals auf die Stadt – ab 1833 arbeitete er hier an der Polytechnischen Schule. Sein berühmtes Gesetz hat er schon früher entdeckt, doch dauerte es sehr lange, bis es auch allgemein anerkannt wurde. 1850 ging er nach München – im gleichen Jahr wurde er Ehrenbürger der Stadt Nürnberg.

Im Folgenden ging es vor allem um technische Anwendungen. Die Telegraphie kam auf und 1838 untersuchte Carl August Steinheil (1801–1870), ob die Schienen der Nürnberg-Fürther Eisenbahn zur Übermittlung elektrischer Signale taugten. Die Versuche schlugen fehl, doch entdeckte er dabei das Prinzip der Erdung: Zur Übermittlung der Signale brauchte man nur einen Draht, keine zwei. Parallel dazu stellte der findige Nürnberger Mechaniker Peter Bauer (1783–1847) einen der ersten Elektromotoren vor, die je entwickelt wurden. Allerdings machte er um seine Erfindung eine große Geheimniskrämerei, so dass sie weiter keinen Einfluss hatte.

Johann Friedrich Heller (1836–1911) führte elektrische Klingeln in Nürnberg ein, er entwickelte aber auch Fernsprechapparate. Nachdem er 1888 schon 1700 Apparate an Post und Bahn geliefert hatte, wurden seine bisherigen Räume in der Vorderen Sternstraße zu eng. In der neubauten Fabrik in der Peterstraße hatten 25 Angestellte und 150 Mitarbeiter Platz.

Viel bekannter als Heller wurde sein Lehrling, der zu Beginn seiner Tätigkeit erst 14 Jahre alte Sigmund Schuckert (1846–1895), der seine erste eigene Werkstatt in der Schwabenmühle hatte. 1879 zog er in ein frei gewordenes Fabrikgelände in der Schanzäckerstraße um. Er entwickelte leistungsfähige Dynamos, kümmerte sich vor allem aber auch um die elektrische Beleuch-

tung von öffentlichen Plätzen und Gebäuden. 1882 eröffnete er die erste elektrische Straßenbeleuchtung Nürnbergs zwischen dem Josephsplatz und der Kaiserstraße.

Damit hielt die Elektrizität langsam Einzug in den Alltag der Menschen, doch ließ der Einzug in die Privathäuser noch lange auf sich warten. Um 1900 gab es noch kaum ein Haus mit elektrischer Beleuchtung. Radiohören war erst ab 1923 möglich, doch war es anfangs noch extrem teuer. Deshalb wurden die Endspiele um die Deutsche Fußballmeisterschaft, an denen 1926 die SpVgg Fürth und 1927 der FCN beteiligt waren, von cleveren Wirten durch Lautsprecher vielen direkt erlebbar gemacht. Damals entstand das „Public Listening“ als Vorform des

heutigen „Public Viewing“.

Nun, mit der Astronomie hat dieses Buch nichts zu tun. Jeder, der sich aber auch nur ein bisschen für die lokale Wissenschaftsgeschichte interessiert, findet hier ein großes Lesevergnügen. Kett erzählt anschaulich und in vielen Details vom Leben der beteiligten Wissenschaftler und Entdecker. In kleinen, grau unterlegten Einschüben bietet er dazu auf leicht verständliche Art und Weise das benötigte physikalische Wissen. Bei den Jahreszahlen gibt es manchmal Zahlendreher und gelegentlich wurde das falsche Jahrhundert erwischt. Aber das tut dem Buch keinen Abbruch, man muss es trotzdem als rundum gelungen bezeichnen.



Nicolaus-Copernicus-Planetarium Öffentliche Veranstaltungen – Programm von Februar bis Mai 2017

Astronomieprogramm: Der Sprung ins All, Ferne Welten – Fremdes Leben?, Geheimnis Dunkle Materie, Milliarden Sonnen – Eine Reise durch unsere Galaxis, Von der Erde in die Tiefen des Universums, Zeitreise – Vom Urknall zum Menschen, Water – A Cosmic Story & From Earth to the Universe (engl.) (9.2.), The secret of dark matter (engl.) (9.3.), Faraway worlds – alien life? (engl.) (13.4.) **Live-Vorführung:** Das Ende der Welt – Tod aus dem All und andere Katastrophen (1.3.), Der aktuelle Sternenhimmel (1.2./8.3./12.4./3.5./31.5.), Faszination Weltall (23.3./11.5.), Kreuzfahrt am Himmel – In 80 Minuten um die Welt (29.3.), Reise durch das Universum (23.2./19.4.), Welt der Galaxien (8.2./5.4.), Red giants, white dwarves and black holes – what the Universe is telling us through its colours (engl.) (17.5.), Astronomietag 2017 (18.3.)

Kinderprogramm: Abenteuer Planeten, Als der Gulp die Erde einsackte, Der kleine Mondbär, Dinosaurier und das Abenteuer des Fliegens, Ein Sternbild für Flappi, Limbradur und die Magie der Schwerkraft, Mit Professor Photon durchs Weltall, Peterchens Mondfahrt, Plan! und Wuschel retten die Sterne, Sterne, Unsere erste Sternennacht, Wir reisen zum Mond und zu den Planeten, Zauber des Teleskops **Live-Vorführung:** Sonne, Mond und Sterne (24.2./17.3./21.4./19.5.), Götter, Helden und Prinzessinnen (13.4.), Geschichten vom Mond und von den Sternen (3.2., 29.3.), **Astronomiekurs:** Grundlagen der Astronomie (ab 10.2.), **Sternenkino:** Hugo Cabret (3.3.), **Info:** Das Nicolaus-Copernicus-Planetarium – Ein Blick hinter die Kulissen (17.3.), **Hörspiel:** Sternennitter – Die Festung im All (3.3.)

Wissenschaftsprogramm: Dinosaurier und das Abenteuer des Fliegens, Energie – Motor des Lebens, **Comedy:** Science meets Comedy: Schräge Vögel, irre Typen – Psychopathen oder Normabweichler? (16.3.)

Kulturprogramm: Chaos & Order – Eine mathematische Sinfonie, Die Rückseite des Mondes, Queen Heaven Full Dome, Sphärenklänge – Classical Sky I, Zauber der Anderswelt, Jules Verne Voyages – Drei Reisen durch das Unmögliche, TABALUGA und die Zeichen der Zeit, **Hörspiel:** Star Wars – The Dark Lord (3.2.), **Kabarett/Lesung:** Faschingskind – Nicht nur närrische Zeiten (31.3.), **Konzert:** Außergewöhnliche Sounds – Cinematicrock (21.4.), Es war einmal das Leben (19.5.), Liebeslieder (14.2.), Musikalischer Sternenzauber (17.3.)

Vorträge: siehe Nürnberger Termine

Programminformationen unter: (09 11) 929 65 53 oder www.planetarium-nuernberg.de

Was, Sie haben den Regiomontanusboten noch nicht abonniert?

- Ich möchte den Regiomontanusboten abonnieren (Jahresabo 14,00 EUR inkl. 4,00 EUR Versand)
- Ich möchte Mitglied der Nürnberger Astronomischen Arbeitsgemeinschaft e.V. werden (Jahresmitgliedsbeitrag inkl. Bezug des Regiomontanusboten)

Vorname, Name: _____

Adresse: _____

Beitrag: Normal (28,- EUR) Ermäßigt (18,- EUR) Familienmitgliedschaft auf Anfrage Förderbeitrag (____,- EUR)

zzgl. Himmelsjahr (+16,99 EUR), Zusendung des Jahrbuches jeweils im Herbst des Vorjahres, Preisänderung vorbehalten.

zzgl. Sternzeit (+9,40 EUR), Zusendung jeweils nach Erscheinen viermal jährlich, Preisänderung vorbehalten.

Schicken Sie diesen Abschnitt an: NAA e.V., Regiomontanus-Sternwarte, Regiomontanusweg 1, 90491 Nürnberg, Fax: 0911 9 59 35 40, info@naa.net
Bankverbindung der NAA e.V.: VR-Bank Erlangen-Höchststadt-Herzogenaurach eG, IBAN: DE81 7636 0033 0000 7049 70, BIC: GENODEF1ER1

Nürnberger Astronomische Arbeitsgemeinschaft e.V.

Vereinsnachrichten 1/2017

zusammengestellt von Inge Volkert



Mitgliederbewegung

Eintritte: Als neue Mitglieder dürfen wir herzlich begrüßen:

Roland Hofrichter aus Nürnberg und Michael Grimm aus Fürth.

Austritte: Drei Mitglieder haben zum 31.12.2016 gekündigt, vier Mitglieder sind zum 1. bzw. 9.12.2016 wegen Beitragsrückstand ausgeschieden. Unser Mitglied Herr Rainer Rauch ist am 6.12.2016 verstorben. Herr Rauch war uns über viele Jahre besonders als regelmäßiger Besucher der Vereinsabende bekannt. Wir werden ihm ein ehrendes Gedenken bewahren.

Glückwünsche

Wir gratulieren zum Geburtstag:

Rudolf Aust am 13. März zum 80.,
Irmgard Adam am 14. März zum 75.,
Marianne Köhler-Kleinlein am
6. April zum 65.,
Nual Gebhard am 10. April zum 50.,
Jürgen Schmitzer am 22. April zum 50.,
Daniela Mahle am 1. Mai zum 50.,
Elisabeth Düll am 7. Mai zum 75.,
Françoise Gröning am 19. Mai zum 70.,
Rainer Meier am 20. Mai zum 50.,
Jörg Fuhse am 21. Mai zum 50.

Astronomie-Grundkurs

Auch im Jahr 2016 konnte wieder der Astronomiekurs des Bildungszentrums Nürnberg auf der Sternwarte stattfinden. Die 14 Teilnehmer fanden sich vom 19. September bis zum 12. Dezember immer montags ab 20 Uhr auf der Sternwarte ein, um die Grundlagen der Astronomie in den Bereichen Geschichte, Himmelserscheinungen, Sonnensystem, Sternaufbau und Sternentwicklung, Kosmologie und Veränderliche kennenzulernen. Der Kurs endete mit praktischer Astronomie, die bei nur leicht bewölktem Himmel auf der Terrasse und in der Kuppel angeboten werden konnte.

Neumitglieder-Info-Tag

Der Neumitgliedernachmittag am 19. November 2016 war mit 11 Teilnehmern und 11 Aktiven eine erfolgreiche Veranstaltung. Nachdem sich alle

Anwesenden vorgestellt hatten, gab Johannes Hölzl einen Einblick in die Geschichte der Sternwarte. Er erläuterte danach die Organisation der NAA mit ihren Arbeitsgruppen, die von den anwesenden Aktiven dargestellt wurden, und die Abläufe der verschiedenen Veranstaltungen. Bevor es zu einer Führung durch die Sternwarte ging, ermunterte Johannes Hölzl unsere Neumitglieder, sich im Rahmen ihrer Interessen und Möglichkeiten aktiv in den verschiedenen Bereichen einzubringen.

Weihnachtsfeier

Den Jahresabschluss 2016 bildete die beliebte Weihnachtsfeier, zu der der NAA-Vorstand die Mitglieder des Vereins eingeladen hatte. 55 Mitglieder folgten am 17. Dezember dieser Einladung und verbrachten bei Essen und Trinken, informativen und lockeren Gesprächen einen geselligen Abend. Die Gruß- und Dankesworte des Vorstandes überbrachte der 2. Geschäftsführer, Johannes Hölzl. In einem kurzen Abriss ließ er das vergangene Jahr Revue passieren: die Mitgliederversammlung am 3. März, bei der alle bisherigen Vorstände wiedergewählt wurden, den Merkurtransit vom 9. Mai, zu dem 344 Besucher den Weg zur Sternwarte gefunden hatten, das öffentliche Sternwarten-Sommerfest am 9. Juli mit 400 Besuchern, den NAA-Ausflug nach Wien und all die anderen Veranstaltungen und Sonderführungen, die

ohne den unermüdlichen Einsatz der Aktiven nicht hätten „gestemmt“ werden können. In einer Gedenkminute wurde auch der verstorbenen Mitglieder des Vereins gedacht. Die NAA-Blechbläser unterhielten die Besucher mit beliebten Weihnachtsliedern und erteten dafür begeisterten Applaus.

Tag der Astronomie 2017

Samstag, der 25. März 2017, steht im Zeichen des Astronomietages, an dem die NAA die Besucher ab 20 Uhr zu einem Himmelsspaziergang auf die Sternwarte einlädt. Wir hoffen auf einen klaren Himmel und freuen uns auf zahlreiche Besucher. Im Planetarium gibt es bereits am 18. März von 14 Uhr bis 19 Uhr einen „Langen Tag der Sterne“.

Einladung zur Mitgliederversammlung

Alle Mitglieder der NAA erhielten Anfang Januar 2017 zusammen mit dem Jahresbrief und der Beitragsrechnung die Einladung und Tagesordnung zur Jahreshauptversammlung am Donnerstag, 2. März 2017. Sie beginnt um 19:30 Uhr im Vortragssaal der Sternwarte. Es wird um zahlreiches Erscheinen gebeten, da 1/10 der Mitglieder anwesend sein müssen, damit die Versammlung beschlussfähig ist.

Beachten Sie bitte, dass im Jahresbrief im Adressfeld der neue Mitgliedsausweis integriert ist, der herausgetrennt werden kann.



Gemütliches Beisammensein bei der NAA-Weihnachtsfeier

Paul Schubert

Nürnberger Astronomische Gesellschaft e.V.

Bulletin 1/2017

von Thomas Lauterbach und Ulrich Dingfelder



Webseiten wurden auf neues System umgestellt

Die Webseiten der NAG sowie des Astronomie-Portals „Astronomie in Nürnberg“ und der beiden Themenwege (Nürnberger Astronomie- und Sonnenuhrenweg) waren in die Jahre gekommen und konnten teilweise nicht mehr erweitert und gewartet werden.

Dank des engagierten Einsatzes einiger Aktiver unter Federführung von Dr. Nico van Eikema Hommes konnten die Seiten noch vor Weihnachten auf ein anderes System (PHP/Linux statt ASP/Windows) umgestellt werden. So können insbesondere die Seiten zur Astronomiegeschichte jetzt wieder bearbeitet und ergänzt werden. Die AG Astronomiegeschichte hat zahlreiche Briefe Nürnberger Astronomen gefunden, die jetzt zum Teil auch online gestellt werden können. Die Webseiten der Themenwege wurden auf „responsive design“ umgestellt, sodass sie nunmehr auch mit Smartphones oder Tablets gut lesbar sind. Dadurch wird es möglich, die Themenwege mit solchen Geräten auch ohne Flyer zu begehen. Im Rahmen der Überarbeitung der Webseiten konnten auch einige Informationen zur FG Radioastronomie aufgenommen werden, die unter „Projekte“ zu finden sind.

Der Vorstand dankt der Gruppe um Herrn Dr. van Eikema Hommes für ihren großen Einsatz, mit dem sie die Webauftritte wieder auf einen zeitgemäßen technischen Stand gebracht hat.

Spende eines Meade ETX 125 EC

Aus einem Nachlass erhielt die NAG ein Meade-ETX-125-EC-Teleskop als Spende, um es im Rahmen der Schulförderung einzusetzen und es bei der nächsten sich bietenden Gelegenheit an eine geeignete Schule weiterzugeben. Es ist in einem exzellenten Erhaltungszustand, ohne auch nur die geringsten Gebrauchsspuren. Der Erbe hat selbst keine astronomischen Ambi-

tionen, fand das Gerät aber zu schade zum Verschrotten und suchte deshalb nach einer sinnvollen Verwendung. Eine Internetrecherche führte ihn dann sehr schnell zur NAG, die sich über diese Spende sehr freut und herzlich dafür dankt. Das Teleskop soll beim Abend der offenen Tür der Lothar-von-Faber-Schule Anfang Februar zum ersten Mal durch die NAG eingesetzt werden.

Astronomie an der Wilhelm-Löhe-Schule

Der Weltraum, unendliche Weiten – so weit wollen wir an der Wilhelm-Löhe-Schule (WLS) nicht gehen. Aber jede Generation lässt sich vom nächtlichen Sternenhimmel mit seinen Planeten, Sternen und Galaxien faszinieren.

Auch in diesem Jahr konnten wir die Begeisterung der Schüler am Thema Astronomie in vielfältiger Weise erleben. Im März 2016 veranstaltete das P-Seminar einen Astronomieabend für 50 Schüler (wie bereits im Bulletin 2/2016 berichtet). Der Erlös des Abends wurde in Ausrüstung für die Astrofotografie investiert.

Das nächste astronomische Highlight an der WLS war am 9. Mai der Merkurtransit. Drei Schüler aus der Forscher-

klasse beobachteten im Rahmen ihres Projektes vom Pausenhof aus dieses beeindruckende Ereignis durch Teleskope mit Sonnenfiltern.

Seit November 2016 ist die WLS stolzer Besitzer eines Baader-Planetariums, das von Dr. Hölzl in der Schulversammlung den Schülern und Lehrern vorgestellt und übergeben wurde.

Mit diesem Tischplanetarium kann man sehr anschaulich die Bewegung von Sonne, Mond und Erde ebenso wie die Jahreszeiten, Mondphasen und Finsternisse vorführen. Darüber hinaus kann mit der Funktionalität des Planetariums die ganze Schönheit des Sternenhimmels auch untertags bestaunt werden. Das Planetarium soll ebenso wie ein Exemplar des Buches „Die Sterne über Nürnberg – Albrecht Dürer und seine Himmelskarten von 1515“ in der Bibliothek allen Schülern der WLS zugänglich sein. Den ersten Einsatz hatte das Baader-Planetarium bereits an einem Beobachtungsabend im Dezember 2016, der über das Wahlkursangebot der WLS angeboten war.

Dieser Abend wurde mit dem Leitfaden, den das P-Seminar „Astronomie meets Schule“ erstellt hat, organisiert



Übergabe des Baader-Planetariums in der Schulversammlung



Die Gruppe der Teilnehmer mit ihren Urkunden

und durchgeführt. 20 Schülerinnen und Schüler nahmen teil und ließen sich von der Astronomie in den Bann ziehen. Neben der Gestaltung eigener Planeten konnten sich die Schüler über die Dimensionen in unserem Sonnensystem anhand eines Planetenmodells, das im Gang aufgebaut worden war, informieren. Auf der Dachterrasse

konnten die Schüler mit den vier Teleskopen z.B. die Venus, den Mars und den Mond beobachten und bestaunen.

Am 24. Januar übergaben die Schülerinnen und Schüler des P-Seminars den 20-seitigen Leitfaden symbolisch an NAG-Präsident Dr. Hölzl mit der Bitte um Weiterleitung an alle NAG-Mitgliedsschulen.



Sternwarte auf der Dachterrasse der Wilhelm-Löhe-Schule

Nicht nur in der Schule erleben Schüler die Astronomie, sondern auch bei Besuchen auf der Sternwarte am Rechenberg, die im November 2016 von den beiden Astrophysikkursen der Q12 mit insgesamt 32 Schülern besucht wurde.

Dank der guten Ausstattung, die die WLS der NAG verdankt, können wir auch weiterhin die Schüler für Naturwissenschaft und Astronomie begeistern. In diesem Jahr ist ein weiterer Astronomieabend im März im Rahmen des Wahlkursangebots geplant. Am Tag der offenen Tür am 28. Januar 2017 wurde unsere Ausstattung wieder der Öffentlichkeit vorgestellt.

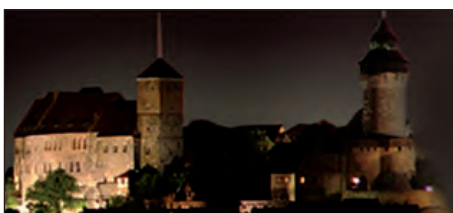
NAG-Abend und Mitgliederversammlung

Auch wenn die NAG-Mitglieder bereits schriftlich eingeladen wurden, soll auf den 12. NAG-Abend und die Mitgliederversammlung 2017 am Donnerstag, dem 9. März 2017, auf der Regiomontanus-Sternwarte hingewiesen werden, denn auch Nicht-Mitglieder sind herzlich willkommen.

Der NAG-Abend wird um 19:00 Uhr mit einem Vortrag unseres Mitglieds Andreas Dosche zum Thema „Die neue Meteoritensammlung – eine Bereicherung für die Besucher der Regiomontanus-Sternwarte“ eröffnet. Anschließend wird die offizielle Übergabe der 1:1-Replik des Meteoriten „Unter-Mäsing“ als Dauerleihgabe der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V. an die NAG erfolgen. Danach findet die Mitgliederversammlung 2017 statt. Die Tagesordnung ist im internen Bereich der NAG-Website zu finden.

Mitgliederentwicklung

Die NAG begrüßt als neue Mitglieder Herrn Dr. Andreas Kelz, Nürnberg, Herrn Axel Weber, Hemhofen, Herrn Michael Kramer, Oberasbach, Herrn Michele Marcucci, Nürnberg, und das Georg-Wilhelm-Steller-Gymnasium, Bad Windsheim.



Astronomie in Nürnberg
Das Astronomieportal in der Region



www.astronomie-nuernberg.de

Astroschlagzeilen

zusammengestellt von Peter Friedrich

Mond unter Beschuss

Wie lange werden die Fußabdrücke der Astronauten auf dem Mond überdauern? – Das hängt vor allem von der Rate der Meteoriten und Mikrometeoriten ab, die den Mond treffen. Der Lunar Reconnaissance Orbiter, der den Mond seit 2009 umrundet, hat inzwischen eine Fülle von Oberflächenaufnahmen gesammelt, die auch einen Einblick in die Zeitskalen von Veränderungen auf der Oberfläche geben. Die Analyse dieser Veränderungen ergibt, dass statistisch gesehen die obersten 2 cm des Mondbodens¹ innerhalb von weniger als hunderttausend Jahren „umgegraben“ werden. Früher hatte man eine Zeitskala von zehn Millionen Jahren angenommen. Es wurden insgesamt 222 neue Einschlagskrater gefunden, wobei die Zahl der Krater über 10 m Durchmesser um ein Drittel höher liegt als erwartet. Entscheidend für die kürzere Zeitskala ist jedoch die bisher unterschätzte Wirkung der sekundären Impakte, von denen die Umgebung der Einschlagskrater aufgrund von Auswurfmaterial betroffen ist.

Quellen: NASA Release 16-33; E. J. Speyerer, Nature 538, 215



NASA

Nach neuesten Erkenntnissen könnte dieser Fußabdruck von Buzz Aldrin vom Juli 1969 auf der Mondoberfläche bereits in einigen zehntausend Jahren verschwinden.

1) Der Mondboden besteht aus einer mehrere Meter dicken Schicht aus Regolith, einem lockeren Material, das im Laufe der Zeit durch Impakte entstanden ist.

Verstecktes Eis auf Ceres

Der Zwergplanet Ceres (Durchmesser knapp 1000 km) im Planetoidengürtel zwischen Mars und Jupiter wird seit fast zwei Jahren von der Raumsonde Dawn umkreist und untersucht (s. RB 1/2016, S. 26f und RB 4/2016, S. 21f). Die Oberfläche ist von Kratern übersät und dunkel. Einzelne helle Flecken sind offenbar Salzablagerungen. Wassereis ist hingegen auf den ersten Blick nicht zu erkennen, obwohl theoretische Modelle für den fast kugelförmigen Zwergplaneten mit einer mittleren Dichte von 2,2 g/cm³ eine differenzierte innere Struktur mit einer oberflächennahen eishaltigen Kruste vorhersagen. Mit Dawns Gammastrahlen- und Neutronen-Detektor (GRaND) wurden nun indirekt größere oberflächennahe Mengen von Wasserstoff nachgewiesen, die zu den Polarregionen hin zunehmen. Nimmt man an, dass dieser Wasserstoff zu einem bestimmten Teil in Wassermolekülen gebunden ist, dürfte das Krustenmaterial zu rund 10% aus Eis bestehen, wobei die Eisanreicherung nur in den Polarregionen bis an die Oberfläche reicht, während sie zum Äquator hin erst etwa einen Meter unter der Oberfläche beginnt. Aber auch in den Polarregionen hält sich das Eis unmittelbar an der Oberfläche versteckt, nämlich in Kratern, deren Inneres nie oder kaum von der Sonne beschienen wird. Dies hat eine Studie von 634 Kratern mit dauerhaftem Schattenbereich ergeben, bei denen man in bisher zehn Fällen durch Beobachtung von Streulicht eine helle Oberfläche entdeckt hat. In einem Fall wurde H₂O spektroskopisch durch die typischen spektralen Signaturen im nahen Infrarotbereich nachgewiesen. Auch eine spektroskopische Untersuchung des 10 km großen Kraters Oxo in gemäßigten Breiten hat die dortige Existenz von Wassereis belegt.

Quellen: NASA News vom 15.1.2016; T. H. Prettyman et al., Science 355, 55 (2017); J.-P. Combe et al., Science 353, 1007 (2016); T. Platz et al., Nature As-

tronomy 1, 7 (2017); J. C. Castillo-Rogez, T. B. McCord, Icarus 205, 443 (2010)



NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

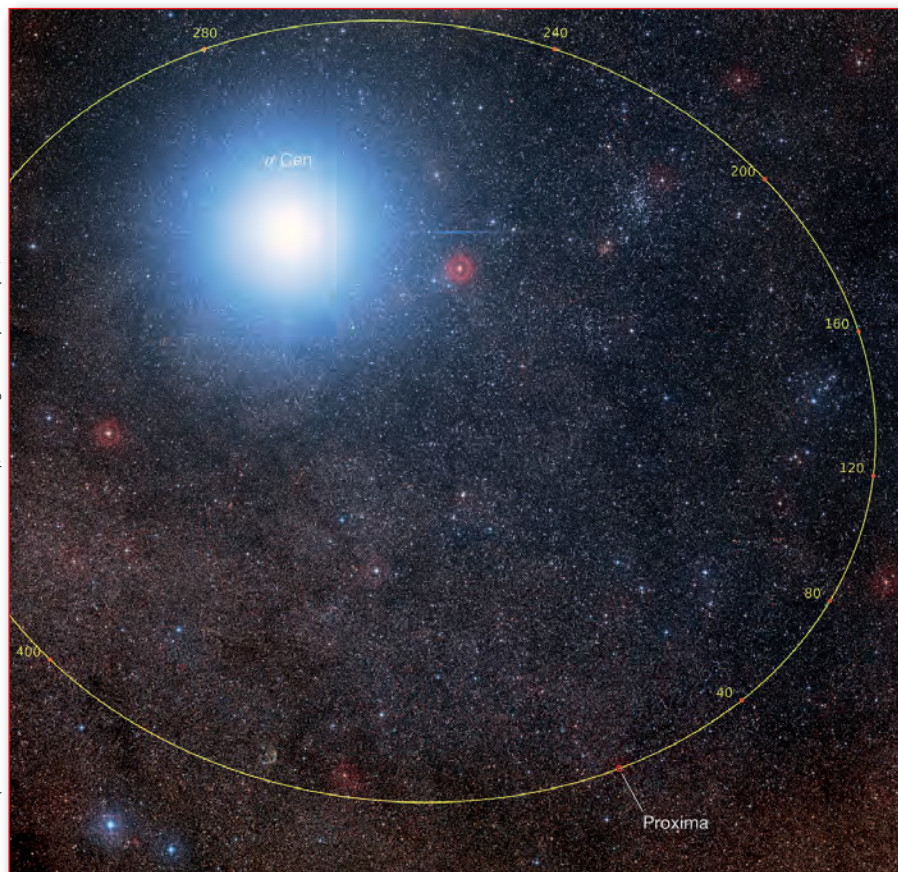
Krater in Ceres' Nordpolarregion, dessen Boden zum größten Teil dauerhaft im Schatten liegt; ein Film dazu, der die Bewegung des Schattens zeigt, findet sich unter www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6703

Proxima ist Begleiter von α Centauri

Der kleine Stern „Proxima Centauri“ am Südhimmel gilt als nächster Nachbarstern der Sonne, der Abstand beträgt gut vier Lichtjahre. Etwa 2° von Proxima entfernt steht der helle Hauptstern des Sternbilds Zentaur α Centauri, auch Toliman genannt. Tatsächlich ist α Centauri ein Doppelsternsystem, dessen Komponenten gegenwärtig nur sechs Bogensekunden auseinanderstehen. Nun wurden starke Hinweise dafür gefunden, dass auch Proxima Centauri zum System von α Centauri gehört, allerdings als entfernter Begleiter mit einer Umlaufbahn von 0,2 Lichtjahren Radius und einer Umlaufzeit von 600.000 Jahren. In den gut hundert Jahren seit seiner Entdeckung hat sich Proxima Centauri somit nur minimal bewegt und auch seine Bahngeschwindigkeit ist äußerst gering. Deshalb gelang die Entdeckung nur mit einer äußerst präzisen Messung der Radialgeschwindigkeiten über den Doppler-Effekt, wofür das Instrument HARPS² am 3,6-m-Teleskop der ESO

2) HARPS steht für „High Accuracy Radial velocity Planet Searcher“, ein Spektrograph mit einer spektralen Auflösung von 120.000

P. Kervella (CNRS/U. of Chile/Observatoire de Paris/LESIA), ESO/Digitized Sky Survey 2, D. De Martin/M.



Graphische Darstellung des berechneten Orbits von Proxima Centauri; die Zahlen an der Bahn bedeuten tausend Jahre

eingesetzt wurde. Erst einige Monate zuvor war auf die gleiche Weise ein Planet um Proxima Centauri entdeckt worden (RB 4/2016, S. 22).

Quelle: ESO Pressemitteilung 1702

Orionnebel im Infrarotlicht

Im Rahmen der VISION-Durchmusterung (Vienna Survey in Orion) mit dem VISTA-Teleskop am Paranal-Observatorium der ESO entstand ein aus

vielen Einzelaufnahmen zusammengesetztes Nahinfrarot-Bild der gesamten Orion-A-Molekülwolke. Sie erstreckt sich über etwa acht Grad in der Gegend des als Schwert bekannten Teils des Sternbilds Orion und ihr hellster Teil ist der Große Orionnebel. Das Gebiet ist von Staubwolken durchzogen, die im sichtbaren Licht undurchsichtig sind, im Infrarotlicht aber transparent werden und den Blick in das Innere von Sternentstehungsgebieten freigeben.

Quelle: ESO Pressemitteilung 1701

Radioblitze geortet

Kurzzeitige Radiostrahlungsausbrüche, sogenannte „Fast Radio Bursts“ (FRBs), leuchten nur für Sekundenbruchteile auf und stellen seit ihrer Erstentdeckung vor zirka zehn Jahren ein Rätsel für Astronomen dar. Nachdem kürzlich erstmals eine offenbar extragalaktische Quelle (FRB 121102) von Millisekunden-Radiopulsen gefunden wurde, die wiederholt Signale aussendet (s. RB 2/2016, S. 26), ist nun deren hochgenaue Lokalisierung gelungen. Dies erfordert ein Netzwerk miteinander verbundener Radioteleskope über große Distanzen, um mit interferometrischen Methoden Radiobilder von sehr hoher Winkelauflösung zu erhalten. Mit dem „Very Large Array“-Radioteleskop in New

ESO/VISION survey



Mosaikbild des Orionnebel und seiner Umgebung im nahen Infrarotlicht



ESO/VISION survey

Zusammenstellung besonderer Strukturen in der Molekülwolke Orion A aus hochauflösenden Einzelbildern, die mit dem VISTA-Teleskop im Rahmen der Durchmusterung aufgenommen wurden; klar zu erkennen sind unter anderem rote Jets aus sehr jungen Sternen, dunkle Staubwolken und sogar winzige Aufnahmen sehr ferner Galaxien.

Mexico konnte die Position der Quelle bereits auf eine Zehntel Bogensekunde genau bestimmt werden. Ein internationales Netzwerk von Radioteleskopen, darunter das 305-m-Arecibo-Teleskop und das 100-m-Teleskop in Effelsberg, verbesserte dann die Positionsgenauigkeit nochmals um einen Faktor Zehn, nachdem mit dieser Konstellation neue Strahlungsausbrüche von FRB 121102 gemessen wurden und deren Ursprung einer schwachen permanenten Radioquelle zugeordnet werden konnte. Diese lässt sich nach Beobachtungen mit dem 8-m-Gemini-Nord-Teleskop mit hoher Wahrscheinlichkeit als eine 25^m helle Zwerggalaxie mit deutlichem Emissionslinienspektrum, das auf Sternentstehung deutet, identifizieren. Über die Natur der gepulsten Radioquelle wird allerdings nach wie vor spekuliert.

Quellen: S. Chatterjee et al., Nature 541, 58 (2017); S. P. Tendulkar et al., APJ Letters 384, L7 (2017); B. Marcote et al., APJ Letters 834, L8 (2017); Pressemitteilung des MPIfR vom 4.1.2017

Gleichmäßigere Verteilung der Dunklen Materie?

Aus der Messung des Mikrowellen-Hintergrunds durch den Satelliten Planck konnten die wichtigsten kosmologischen Parameter bestimmt

werden, so auch die mittlere Materiedichte im Universum. Nun hat eine andere Himmelsdurchmusterung mit dem Weitwinkelteleskop VST der ESO ein abweichendes Ergebnis geliefert. Bei der Untersuchung mit dem VST wurden knapp 15 Millionen Galaxien in einem etwa 450 Quadratgrad³ großen Himmelsareal betrachtet und hinsichtlich Bildverzerrungen durch Gravitationslinsen analysiert. Daraus wurden Materiedichte und -verteilung berechnet: Beide Werte liegen merklich unter den Planck-Ergebnissen. Bei der Materiedichte im Universum macht die relativ gut bekannte leuchtende Mate-



NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

Das VST auf dem Paranal ist mit einer 268-Megapixel-Kamera ausgerüstet, die ein Quadratgrad⁴ des Himmels gleichzeitig abbildet.

3) Das entspricht etwa 1% des gesamten Himmels.

4) In ein Quadratgrad passt der Vollmond vier Mal hinein.

rie (in Form von Sternen etc.) nur einen sehr geringen Teil aus; deshalb ist das neue Ergebnis vor allem hinsichtlich der Dunklen Materie interessant: Nach der VST-Durchmusterung wäre sie gleichmäßiger verteilt als nach der Analyse des Mikrowellenhintergrunds.

Quelle: ESO-Pressemitteilung 1642; H. Hildebrandt et al., MNRAS 465, 1454

Pläne der ESA

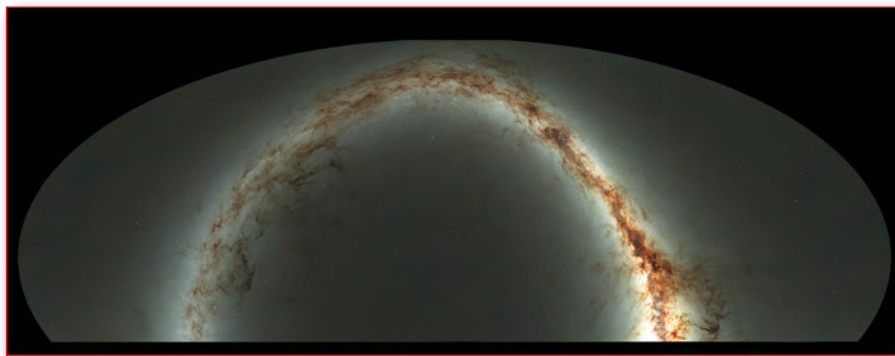
Mitte Dezember 2016 tagte in Luzern der Ministerrat der 22 Mitgliedsstaaten der ESA. Hierbei ging es nicht allein um die wissenschaftlichen Zielsetzungen der laufenden und vorgeschlagenen Raumfahrtmissionen, sondern vor allem um die Prioritäten bei deren Finanzierung. Ein wenig überraschend war die klare Entscheidung für die Fortsetzung des ExoMars-Projekts, das nicht nur unter einer Finanzierungslücke leidet, sondern auch mit dem Lander von ExoMars 2016 erst kürzlich einen Misserfolg zu verzeichnen hatte. Dass mit Italien, Frankreich und Großbritannien drei große Mitgliedsländer zusätzliche Finanzmittel für diese Mission bereitstellen, dürfte eine wichtige Rolle für die Entscheidung gespielt haben. Unmittelbar nach dem Treffen wurde ein Vertrag zwischen ESA und dem Hauptauftragnehmer Thales Alenia Space unterzeichnet. Weiterhin wurde, auch durch zusätzliche Unterstützung aus Deutschland, die Finanzierung der Internationalen Raumstation ISS bis zum Jahr 2024 gesichert. Erhebliche Mittel fließen selbstverständlich auch in die laufenden Projekte, von denen in Kürze einige „startreif“ sein werden, darunter das amerikanische James Webb Space Telescope, an dem auch die ESA beteiligt ist, im Jahr 2018.

Quellen: ESA: „Europas Zukunft in der Raumfahrt“ vom 13.12.2016; Pressemitteilung der ESA vom 16.12.2016; Pressemitteilung von Thales Alenia Space vom 16.12.2016

Pan-STARRS1-Himmelsdurchmusterungen veröffentlicht

Vier Jahre lang hat das 1,8-m-Teleskop auf dem Gipfel des Haleakalā auf Maui, Hawaii, den Himmel im sichtbaren und nahen infraroten Bereich in fünf Filtern durchmusterung und dabei

Danny Farrow, Pan-STARRS1 Science Consortium, MPE



Ansicht des gesamten Himmels, der vom Standort des Pan-STARRS-Observatoriums sichtbar ist, bestehend aus einer halben Million Aufnahmen mit jeweils etwa 45 Sekunden Belichtungszeit

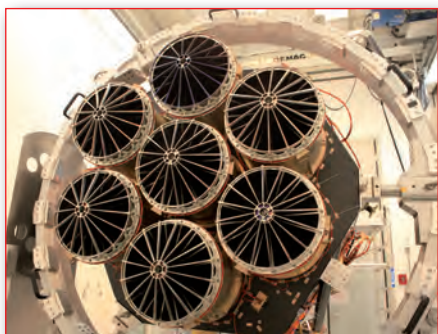
Daten von drei Milliarden Einzelquellen wie Sternen, Galaxien und verschiedenen anderen Objekten gesammelt. Eines der Ziele war, bewegliche Objekte zu identifizieren, wie z.B. Planetoiden, die der Erde gefährlich nahe kommen könnten. Das Archiv enthält zwei Petabytes (10^{15}) an Daten und Bildern – das entspricht einhundert Mal dem gesamten Inhalt von Wikipedia. Am 19. Dezember 2016 wurden die Daten nun vom Space Telescope Science Institute (STScI) in Baltimore, Maryland, zusammen mit dem Astronomischen Institut der Universität von Hawaii in Honolulu für die Öffentlichkeit freigegeben. Über die Webseite panstarrs.stsci.edu gelangt man zum Archiv.

Quellen: STScI-2016-41; Pressemitteilung des Institute for Astronomy, University of Hawaii vom 19.12.2016; Pressemitteilung des MPE vom 19.12.2016

Röntgenteleskop unterwegs

Am 20. Januar 2017 wurde das am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE) gebaute eROSITA-Röntgenteleskop in München in ein Frachtflugzeug verladen und nach Russland transportiert. Es wird nun in Moskau auf den russischen Satelli-

MPE (F. Friedrich)



Das Röntgenteleskop eROSITA mit sieben Spiegelmodulen in der Integrationshalle des MPE

MPE (F. Schrey)



Ausladen des Containers mit dem eROSITA-Teleskop in Moskau

ten Spektrum-Röntgen-Gamma (SRG) gebaut, der im kommenden Jahr mit einer Proton-Rakete vom russischen Startplatz Baikonur in Kasachstan ins All starten soll. Im Vordergrund der wissenschaftlichen Mission steht eine vierjährige Himmeldurchmusterung, in der u.a. rund 100.000 Galaxienhaufen nachgewiesen werden sollen, aus deren Verteilung Rückschlüsse über Struktur und zeitliche Entwicklung des Universums gezogen werden können.

Quellen: MPE; DLR

John Glenn (1921–2016)

Der US-Astronaut John Herschel Glenn Jr. aus Ohio ist am 8. Dezember 2016 im Alter von 95 Jahren gestorben. Wie viele aus der ersten Astronautengeneration kam Glenn über eine militärische Karriere als Testpilot zur NASA, die seit Ende der 1950er Jahre Astronauten für das erste Projekt der bemannten Raumfahrt der USA ausbildete. Sie flogen in der Raumkapsel „Mercury“, die gerade Platz genug für einen Astronauten bot. Nachdem Alan Shepard einige Wochen nach Juri Gagarins Erdumrundung einen Suborbitalflug in einer Mercury-Kapsel absolviert hatte und Virgil Grissom diese Leistung bald darauf wiederholte, war

John Glenn im Februar 1962 der erste Amerikaner, der die Erde umrundete – und das gleich drei Mal. Beim Wiedereintritt der Mercury-Kapsel in die Atmosphäre lief nicht alles glatt, aber Glenn hatte Glück. Zwei Jahre später verließ er die NASA, war zeitweise Geschäftsführer einer Getränkefirma und saß von 1974 bis 1998 für den Bundesstaat Ohio als Vertreter der Demokratischen Partei im US-Senat. Mit 77 Jahren nahm Glenn an der zehntägigen Space-Shuttle-Mission STS-95 mit der Raumfähre Discovery teil.

Quelle: NASA



NASA

John Glenn während des Trainings für die Space-Shuttle-Mission STS-95 im Jahr 1998.

Eugene Cernan (1934–2017)

Eugene Andrew Cernan war Kommandant der Mission Apollo 17 und landete zusammen mit dem Geologen Harrison Schmidt im Dezember 1972 auf dem Mond. Sie erkundeten in Exkursionen mit dem mitgeführten Rover ein Gebiet im Taurus-Littrow-Gebirge. Die Mission stellte in Länge und wissenschaftlicher Ausbeute einen Rekord dar. Gleichzeitig war dies bis heute der letzte Flug zum Mond, und Cernan, der am 14. Dezember 1972 als letzter die Landefähre zum Rückflug betrat, galt seither als „letzter Mensch auf dem Mond“. Am 16. Januar 2017 ist er im Alter von 82 Jahren gestorben. Bis ins hohe Alter hat er sich für die Weiterführung der bemannten Raumfahrt engagiert. Quelle: NASA



NASA (Harrison H. Schmidt)

Eugene Cernan als Fahrer des Mond-Rovers von Apollo 17

Beobachtungshinweise

von Irmgard Adam

Der nächtliche Himmel bietet derzeit viele offene Sternhaufen. Mit bloßem Auge und Fernglas sind folgende leicht zu finden: Im Sternbild Stier (Taurus) stehen die Hyaden (Mel 25). Der helle Vordergrundstern Aldebaran ist mit 65 Lichtjahren nur knapp halb so weit entfernt wie die Hyadensterne mit rund 150 Lichtjahren. Nordwestlich von Aldebaran finden wir die Plejaden (M 45), auch Siebengestirn genannt, die mit gut 400 Lichtjahren viel weiter von uns entfernt sind. Im Sternbild Krebs (Cancer) können wir bei guten Sichtbedingungen M 44 schon mit bloßem Auge als Lichtflecken erkennen. Er wird auch als Krippe oder Praesepe bezeichnet und ist etwa 610 Lichtjahre von uns entfernt. In ca. 2260 Lichtjahren Abstand von uns befindet sich M 41 im Sternbild Großer Hund (Canis Major), wir finden ihn südlich von Sirius. M 44 und M 41 entfalten ihre volle Schönheit in einem lichtstarken Fernglas oder in einem Teleskop bei niedriger Vergrößerung.

Merkur bleibt zunächst weiterhin am Taghimmel und ist nicht zu beobachten. Erst nach dem 20. März kann man den $-1,2^m$ hellen Planeten in der Abenddämmerung knapp über dem Westhorizont finden. Er wird an diesem Tag gegen 19:00 Uhr MEZ sichtbar und geht schon um 19:36 Uhr MEZ unter. Am 1. April wird der $-0,1^m$ helle Merkur gegen 20:15 Uhr MESZ erkennbar und geht bereits um 21:35 Uhr MESZ unter. Nach dem 7. April wird man vergeblich nach dem flinken Planeten suchen. Am 10. April wird Merkur stationär und eilt rückläufig der Sonne entgegen. Er kommt am 20. April in untere Konjunktion mit ihr und bleibt auch im Mai für uns unsichtbar.

Venus wird zum strahlenden Abendstern. Am 17. Februar strahlt sie mit $-4,6^m$ in maximalem Glanz. Am 2. März wird sie im Sternbild Fische (Pisces) rückläufig und eilt der Sonne entgegen. Venus verabschiedet sich

danach vom Abendhimmel und ist ab dem 20. März nur noch mit lichtstarker Optik zu sehen. Am 25. März steht sie in unterer Konjunktion. Bereits einen Tag später taucht die $-4,0^m$ helle Venus um 6:19 Uhr MESZ am Osthimmel als Morgenstern wieder auf. Sie wird also im März vom Abendstern zum Morgenstern. Am 13. April wird Venus stationär und wandert anschließend wieder rechtläufig durch das Sternbild Fische. Am 1. April geht sie um 5:54 Uhr MESZ auf; am 1. Mai strahlt sie schon ab 4:33 Uhr mit $-4,5^m$ als heller Morgenstern.

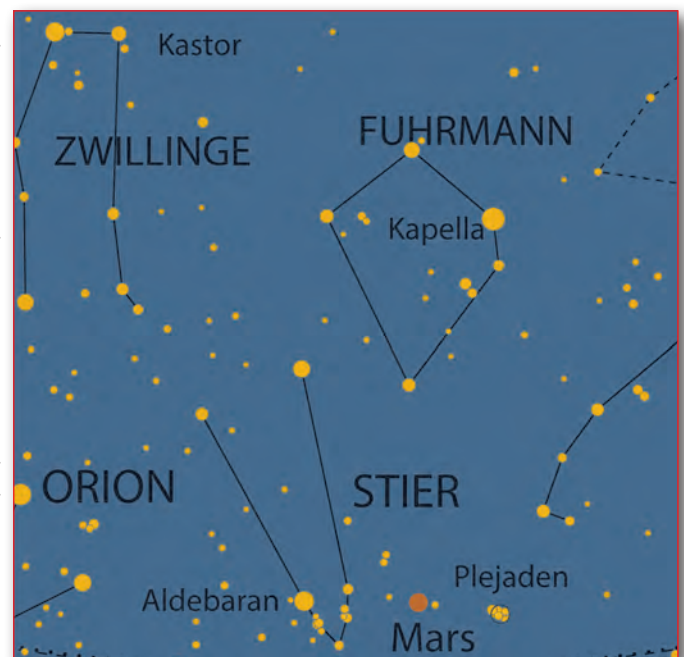
Mars ist weiterhin am Abendhimmel vertreten. Am 8. März wandert er vom Sternbild Fische ins Sternbild Widder (Aries) und wechselt am 12. April ins Sternbild Stier. Seine Untergangszeiten bleiben fast konstant. Erfolgt der Untergang des roten Planeten am 1. Februar um 21:45 Uhr MEZ, am 1. März um 21:50 Uhr MEZ, am 1. April um 23:03 MESZ, so sinkt er am 1. Mai um 22:53 Uhr MESZ unter die Horizontlinie. Am 7. Mai zieht Mars nördlich an Aldebaran im Sternbild Stier vorbei und passiert dabei das Goldene Tor der Ekliptik, das von den beiden offenen Sternhaufen Plejaden und Hyaden markiert wird. Mitte Mai zieht er sich vom Abendhimmel zurück und wird un beobachtbar.

Jupiter wird am 6. Februar stationär und setzt zu seiner Oppositionsschleife an. Anschließend wandert er rückläufig durch das Sternbild Jungfrau (Virgo). Er wird allmählich zum

Planet der gesamten Nacht. Am 1. März geht Jupiter um 21:35 Uhr MEZ auf und am 1. April erfolgt der Aufgang des $-2,5^m$ hellen Riesenplaneten bereits um 20:15 Uhr MESZ. Am 14. März geben sich der noch fast volle Mond und Jupiter ein Stelldichein und am 10. April zieht der Vollmond nördlich an Jupiter vorbei. Der Riesenplanet kommt am 7. April in Opposition zur Sonne.

Saturn wandert am 24. Februar vom Sternbild Schlangenträger (Ophiuchus) ins Sternbild Schütze (Sagittarius). Seine Aufgänge werden immer früher. Geht er am 1. Februar um 4:59 Uhr MEZ auf, am 1. März um 3:18 Uhr MEZ, am 1. April um 2:21 Uhr MESZ, so steigt er am 1. Mai bereits um 0:21 Uhr MESZ über die Horizontlinie. Am 6. April kommt Saturn zum Stillstand, setzt zu seiner Oppositionsschleife an und wandert dann rückläufig durch das Sternbild Schütze. Er wechselt am 18. Mai ins Sternbild Schlangenträger.

Neumondtermine: 26. Februar, 28. März, 26. April, 25. Mai 2017



Mars passiert das „Goldene Tor der Ekliptik“; Anblick des Sternenhimmels im WNW am 26. April 2017 gegen 22 Uhr MESZ

Februar

- 21.02. Di Vortrag: „Emmy Noether: Mutter der modernen Algebra“ (R. Tobies)
19:30 Uhr Planetarium
- 22.02. Mi Vortrag: „Physik, Astronomie und Raumfahrt in Entenhausen“ (S. Jordan)
19:00 Uhr Planetarium
- 23.2. Di Vortrag „Maria Clara Eimmart – Nürnbergs einzige Astronomin um 1700“ (H. Gaab)
19:00 Uhr Bildungszentrum, Fabersaal

März

- 02.03. Do **Vereinsabend der NAA: Mitgliederversammlung 2017**
19:30 Uhr Sternwarte
- 09.03. Do NAG-Abend und Mitgliederversammlung
19:00 Uhr Sternwarte
- 12.03. So Astrokreis
19:30 Uhr Sternwarte
- 15.03. Mi Vortrag: „Der Large Hadron Collider – Neueste Ergebnisse aus der Teilchenphysik“ (N. Savic)
19:00 Uhr Planetarium
- 18.03. Sa Langer Tag der Sterne
14-19 Uhr Planetarium
- 18.03. Sa AG Spektroskopie
15:00 Uhr Sternwarte
- 21.03. Di Vortrag: „Sinne, Werte, Moral“ (M. Spitzer)
19:30 Uhr Planetarium
- 22.03. Mi Vortrag: „Aus was besteht die Welt? – Quantenphysik 1“ (G. Phillip)
19:00 Uhr Planetarium
- 28.03. Di NAG-Fachgruppe Radioastronomie
19:00 Uhr Sternwarte
- 28.03. Di Vortrag: „Bezaubernde Mathematik – Grundlagen der Mathemagie“ (M. Kreuzer)
19:30 Uhr Planetarium
- 29.03. Mi Vortrag: „Frauen in der Astronomie“ (G. Wolfschmidt)
19:00 Uhr Planetarium
- 29.03. Mi Offene Sitzung des Vereinsrats
19:30 Uhr Sternwarte

April

- 04.04. Di Vortrag: „Das Puzzlespiel der Sinne“ (M. O. Ernst)
19:30 Uhr Planetarium
- 05.04. Di Vortrag „Simon Marius – der fränkische Galilei und der Streit ums richtige Weltsystem“ (P. Leich)
19:30 Uhr Vortragsraum des Deutsch-Türkischen Unternehmervereins TIAD am Plärrer
- 06.04. Do **Vereinsabend der NAA**
19:30 Uhr Sternwarte
- 09.04. So Astrokreis
19:30 Uhr Sternwarte
- 15.04. Sa AG Spektroskopie
15:00 Uhr Sternwarte
- 18.04. Di Vortrag: Macht Übung den Meister? (S. Herholz)
19:30 Uhr Planetarium
- 25.04. Di NAG-Fachgruppe Radioastronomie
19:00 Uhr Sternwarte
- 26.04. Mi Vortrag: „Rosalind Franklin und ihre Rolle bei der Entdeckung der Doppelhelix“ (K. Nickelsen)
19:00 Uhr Planetarium

Mai

- 02.05. Di Vortrag: „Das Ich und mein Körper“ (S. Schütz-Bosbach)
19:30 Uhr Planetarium
- 04.05. Do **Vereinsabend der NAA**
19:30 Uhr Sternwarte
- 06.05. Sa RB Redaktionssitzung
16:30 Uhr Sternwarte
- 09.05. Di Vortrag: „Mathematik – die beleidigte Königin der Wissenschaften“ (B. Kümmerer)
19:30 Uhr Planetarium
- 10.05. Mi Vortrag: „Die verrückte Welt der Quantenphysik – Quantenphysik 2“ (G. Phillip)
19:00 Uhr Planetarium
- 11.05. Do Diskussionsforum: „Das verborgene Gravitationspotenzial der Sterne und Galaxien“ (P. Pohling, mod. H. Wild)
19:30 Uhr Sternwarte
- 14.05. So Astrokreis
19:30 Uhr Sternwarte
- 16.05. Di Vortrag: „Die Evolution des Sehens“ (A. Feigenspan)
19:30 Uhr Planetarium

Die Nürnberger Astronomische Arbeitsgemeinschaft e.V.

In der Nürnberger Astronomischen Arbeitsgemeinschaft e. V. (NAA) finden sich astronomisch Interessierte zusammen, die zum Teil aktiv in verschiedenen Bereichen tätig sind oder auch nur am allgemeinen Erfahrungsaustausch teilnehmen. **Mitgliedsbeitrag:** 28 EUR pro Jahr (Ermäßigt 18 EUR). Der Regiomontanusbote als Mitgliederzeitschrift der NAA ist im Mitgliedsbeitrag inbegriffen.

AG Astrokreis (Andreas Dosche, 0177 2 35 92 15, dosche@naa.net)

Die NAA hat eine aktive Beobachtergruppe, die Astrofotografie, visuelle Planetenbeobachtung und CCD-Technik pflegt. Schwerpunkt ist die visuelle Deep-Sky-Beobachtung. Die Beobachter treffen sich häufig in der Nähe der Ortschaft Kreden. Die Treffen auf der Sternwarte sind dem Terminkalender zu entnehmen.

AG Öffentlichkeitsarbeit (Matthias Gräter, 0177 2 44 85 18, info@naa.net)

Mitglieder der NAA beteiligen sich aktiv an der Volksbildungsarbeit der Sternwarte. Dazu gehören die öffentlichen Himmelsführungen, wie auch Gruppenführungen für z.B. Schulklassen, und die Organisation von Vorträgen. Daneben wird eine eigenständige regelmäßige Pressearbeit geleistet.

AG Magnetometer (Christoph Hofmann, 0178 7 22 55 58, hofmann@naa.net)

Die AG Magnetometer ist eine kleine Gruppe von NAA Mitgliedern, die sich mit der Vermessung des Erdmagnetfeldes beschäftigt. Hierbei geht es vor allem um die Entwicklung eines dreiachsigen Magnetometers und den Aufbau eines regionalen Messnetzes.

AG Regiomontanusbote (Dr. Peter Friedrich, 08446 92 99 56, regiomontanusbote@naa.net)

Die NAA veröffentlicht als Mitgliederzeitschrift vierteljährlich den Regiomontanusbote (RB) mit interessanten und aktuellen Beiträgen aus allen Bereichen der Astronomie, in denen sich die Aktivitäten der Mitglieder widerspiegeln. Auch Nichtmitglieder können ihn abonnieren.

AG Sonnenbeobachtung (Johannes Hölzl, 0175 6 64 91 91, hoelzl@naa.net)

Die NAA veranstaltet immer am ersten und dritten Samstag im Monat eine öffentliche Sonnenführung, und bietet bei Sonderveranstaltungen Sonnenbeobachtung an. Dazu stehen mehrere moderne Spezialfilter zur Verfügung, unter anderem ein Coronado H α -Filter.

AG Spektroskopie (Jürgen Krüger, 09131 92 32 611, jukrueger@naa.net)

Die AG Spektroskopie beschäftigt sich mit der Aufnahme und Auswertung von Spektren der Sterne. Dafür steht ein DADOS Spektrograph zur Verfügung.

AG Technik (Gernot Semmer, 0163 63 78 341, semmer@naa.net und Andreas Sperber, 0179 52 86 948, asperber@naa.net)

Die AG Technik stellt sich den neuen Aufgaben der Sternwartenmodernisierung. Sie gibt den Mitgliedern die Möglichkeit, aktiv an der technischen und baulichen Gestaltung der Sternwarte mitzuwirken, den Führungsbetrieb zu verbessern und neue Technologien zu diskutieren.

Termine: Der Vereinsabend findet in der Regel an jedem ersten Donnerstag im Monat ab 19:30 Uhr auf der Sternwarte statt. Das offene Treffen ist nicht themengebunden und soll als Diskussionsrunde für Themen aller Art genutzt werden. Themenvorschläge an Jürgen Krüger (09131 923 26 11). Weitere Termine und Themen sind dem Terminkalender zu entnehmen.

Schlüsselregelung: Vertrauenswürdige, volljährige Mitglieder können einen Sternwartenschlüssel bei Douglas Draa, Andreas Dosche oder Volker Pritsching nach Absprache ausleihen. Voraussetzung dafür ist die erfolgreiche Teilnahme an einer Einführungsveranstaltung über die astronomischen Instrumente auf der Sternwarte durch qualifizierte Mitglieder. Des Weiteren wäre eine aktive Beteiligung an der Öffentlichkeitsarbeit wünschenswert.

Bibliothekregelung: Bücher der NAA-Bibliothek können für maximal 8 Wochen bei jedem Schlüsselberechtigten ausgeliehen werden. Zeitschriften können nicht ausgeliehen werden. Ansprechpartner: Patricia Heilenz, Johannes Hölzl, Gernot Semmer, Ralph Puchta (bibliothek@naa.net)

Interner Webzugang: Jedes NAA Mitglied kann auch Zugang zum internen Bereich der NAA auf der Webseite bekommen. Zugangsdaten können beim Vorstand angefordert werden (info@naa.net)

Vorstand

1. Geschäftsführer: Matthias Gräter graeter@naa.net
2. Geschäftsführer: Johannes Hölzl hoelzl@naa.net
Schatzmeister: Jürgen Krüger jukrueger@naa.net
Schriftführer: Regina Sperber rsperber@naa.net

Vereinsrat

Andreas Dosche	dosche@naa.net	Volker Pritsching	pritsching@naa.net
Wolfgang Fürstenhöfer	fuerstenhoefer@naa.net	PD Dr. Ralph Puchta	puchta@naa.net
Björn Karlson	karlson@naa.net	Gernot Semmer	semmer@naa.net
Hartmuth Kintzel	kintzel@naa.net	Andreas Sperber	asperber@naa.net
Bernd Liebscher	liebscher@naa.net	Jan-Nico Zäch	zaech@naa.net
Helmut Oberegger	oberegger@naa.net		

Ehrenmitglieder

Prof. Wolf Broda (†2014), Rainer Gröbel, Prof. Senator e. h. Dr.-Ing. Hans L. Hofmann, Dr. Franz K imberger (†2009), Dr. Uwe Lemmer, Prof. Dr. Hanns Ruder (†2015), Werner Rummel (†2016), Prof. Dr. Gudrun Wolfschmidt

Impressum

Herausgeber: Nürnberger Astronomische Arbeitsgemeinschaft e. V., Regiomontanus-Sternwarte, Regiomontanusweg 1, 90491 Nürnberg, info@naa.net, Tel.: 0911 9 59 35 38, Fax: 0911 9 59 35 40, **Bankverbindung/Spendenkonto:** VR-Bank Erlangen-Höchstädt-Herzogenaurach eG, IBAN: DE81 7636 0033 0000 7049 70, BIC: GENODEF1ER1

Der Regiomontanusbote ist auch das Mitteilungsblatt der Nürnberger Astronomischen Gesellschaft e.V.

Erscheinungsweise: 4 Mal im Jahr, Preis: Einzelpreis 3,20 EUR, Jahresabo (inkl. 4,00 EUR Versand) 14,00 EUR, Auflage: 500, ISSN: 0938-0205
Erfüllungsort und Gerichtsstand: Nürnberg, Copyright und V. i. S. d. P. bei den Autoren

Herstellung, Layout und Satz: Matthias Gräter

Chefredaktion: Dr. Peter Friedrich, Hoheberg 29, 85309 Pörsbach, Tel.: 08446 92 99 56, info@regiomontanusbote.de, www.regiomontanusbote.de
Vertretung: Dr. Susanne Friedrich, Johannes Hölzl

Redaktionssekretariat: Dr. Dieter Hölzl • **Korrektur:** Hans Dieter Borowczyk und Günter Volkert

Fachredakteure: Irmgard Adam, Andreas Dosche, Dr. Nico van Eikema Hommes, Dr. Johannes Ebersberger, Dr. Susanne Friedrich, Dr. Peter Friedrich, Brigitte Granier, Matthias Gräter, Johannes Hölzl, Dr. Dieter Hölzl, Berit Kreibich, Pierre Leich, PD Dr. Ralph Puchta, Inge Volkert (Die E-Mail-Adresse der einzelnen Redakteure ist i. d. R.: nachname@naa.net)

Manuskripteinsendungen: Manuskripte und Beobachtungsberichte werden gerne entgegengenommen. Mit dem Einsenden gibt der Verfasser die Zustimmung zum Abdruck im Regiomontanusbote und zur Veröffentlichung in digitalen Medien und im Internet. Manuskripte sind in jedem Fall an die Redaktion zu senden. Für unverlangt eingesandte Manuskripte (einschl. Bilder) übernehmen wir keine Verantwortung.



M 27 – Teleskop: Takahashi 152 mm APO-Refraktor f/8, Kamera: EOS 650 Da, Belichtung: 11 x 300 s, Darks, Flats, Bias, Nachbearbeitung: Stacking DSS, Fitsworks, Aufnahmeort: Sternwarte Max Valier, Südtirol (*Marianne Köhler-Kleinlein* am 23. September 2016)



Polarlichtband – Kamera: Canon EOS 6D, Belichtung: 4 s bei Blende 1,4 und ISO 1600, Aufnahmeort: Westspitze Islands beim alten Leuchtturm von Garður (*Thomas Jäger* am 23. Oktober 2016)



NGC 7814 – Teleskop: Celestron C9.25 auf EQ6, Kamera: DL604M, Belichtung: L: 5000 x 2 s, RGB je 1000 x 2 s, Aufnahmeort: Oldenburg (*Carsten Dosche* am 4. Oktober 2016)



NGC 891 – Teleskop: GSO 16-Zoll RC auf Alt7, Kamera: DL604M, Belichtung: L: 3600 x 1 s, RGB je 1000 x 1,5 s, Aufnahmeort: Leerhufe (*Carsten Dosche* am 27. November 2016)



Wintersechseck – Objektiv: Zeiss Distagon 2.8/16 mm, Kamera: Canon EOS 600Da, Belichtung: 3 Bilder mit je 5 × 4 min bei ISO 800, Nachbearbeitung: Photoshop, Aufnahmeort: Oberwindsberg (*Hartmuth Kintzel* am 29. November 2016)