



ANDROMEDA

Zeitschrift der Sternfreunde Münster e. V.

AUS DEM INHALT

Polarlichter in Island

Geschichte der Schwarzen Löcher

Astronomie in der Schule des 21. Jhrdts.

33. Jahrgang – 3/2020

3.- Euro





Inhalt

15 Jahre Redaktionsarbeit als ViSdP - ein Rückblick	4
First Light mit Jugendtraum	8
Sternfreunde intern	9
Die große Konjunktion 2020	10
Stephans Quintett	11
Lustiges Silbenrätsel	11
Buchbesprechung „Annals of the Deep Sky“ Teil II	12
Polarlichter in Island	14
HFG-I und Abell 6	16
Buchbesprechung: „Astrofotografie“ von Katja Seidel	17
Warum nicht mal die Geminiden beobachten?	19
Astronomie in der Schule des 21. Jahrhunderts	20
1783 - 2020 - Eine Geschichte von Schwarzen Löchern	25
Was? Wann? Wo?	34

Für namentlich gekennzeichnete Artikel sind die Autoren verantwortlich.

Impressum

Herausgeber: Sternfreunde Münster e. V.
Sentruper Straße 285, 48161 Münster

Redaktion: Benno Balsfulland, Andreas Bügler, Peter Maasewerd,
Reinhard Mawick, Stephan Pläßmann, Ewald Segna (V.i.S.d.P.),
Hermann Soester, Jürgen Stockel, Christiane Wermert

Kontakt: Sternfreunde Münster e.V. Sentruper Str. 285, 48161 Münster

Auflage: 200 / Dezember 2020

Titelbild: Polarlichtgewitter über Island – © Jürgen Stockel
2. Umschlagseite: Polspuraufnahme – © Jörg Meier
3. Umschlagseite: Planetarische Nebel HFG-I und Abell 6
– © Peter Maasewerd
Rückseite: Der Planet Mars © Jochen Borgert
S. 25 Quellenangaben: Eine Geschichte von Schwarzen Löchern.



15 Jahre Redaktionsarbeit als ViSdP - ein Rückblick

...und Tschüss...

sage ich hier in eigener Sache: Nach 15 Jahren redaktioneller Mitarbeit und Gestaltung der „Andromeda“ werde ich zum Jahresende die Leitung der Zeitung in andere Hände geben.

Also lasse ich die letzten Jahre einmal Revue passieren! Was ist gewesen in all den Jahren, was hat mir gefallen, was weniger. Das wird natürlich ein sehr persönlicher Rückblick. Andere werden andere Schwerpunkte benennen, ja, nein, ist klar. Wie war das noch mal vor 15 Jahren?

Damals schrieb ich:

Ende des Jahres 2005 hat Klaus seinen Posten als Chefredakteur aufgegeben.

12 Jahre hat er in verantwortlicher Position die Andromeda zu dem gemacht, was sie ist: Ein Schau-

fenster oder auch das Schaufenster der Sternfreunde Münster e.V. in der Öffentlichkeit.

Ich hoffe, die Nachfolger haben ein ähnliches Händchen wie Klaus mit der Erstellung unserer Andromeda. Wiewohl ein (der) Chefredakteur noch nicht gefunden ist. Wir sind nach wie vor auf der Suche. Einstweilen kommissarisch habe ich den Posten übernommen. Ich hoffe, dass wir bald fündig werden und dann wieder eine regelmäßige Erscheinungsweise unserer Andromeda garantieren können!

Da sich keiner kurzfristig fand, habe ich dann den Schritt von der kommissarischen Aufgabe zur hauptverantwortlichen vollzogen, in dem Bewusstsein, dass über kurz oder lang ein anderer Sternfreund den Job übernehmen würde. Mitte 2006 erstellte ich die, meine erste „Andromeda“ mit dem schon eingespielten Team an Autoren. Es war eine Doppelausgabe, die im Juni 2006 herauskam.

Die totale Sonnenfinsternis am 29. März 2006, die von ca. 40 Sternfreunden in der Türkei beobachtet wurde, war natürlich ein super Aufhänger. Jürgen hatte den Flug und die Unterkunft organisiert. Leider war es mir aus gesundheitlichen Gründen nicht möglich, daran teilzunehmen. Toll fand ich, dass Jürgen mich zur Totalität aus Side anrief und quasi einen kurzen Livebericht abgab. Durch eine Unmenge von Bildmaterial gestaltete sich diese Andromeda-Ausgabe von selbst.

2006 war auch das Jahr, in dem Pluto seinen Status als Planet verloren hat und das Zeiss Planetarium Münster sein 25jähriges Bestehen feiern konnte. Auch die Gruppe der Astrokids etablierte sich. Ca. 10 Kinder von 8 bis 12 Jahren wurden durch Jürgen in die Geheimnisse der Sternkunde eingeweiht.

Die, ich kann sagen, spätere Tradition des Aprilscherzes nahm auch in diesem Jahr ihren Anfang und hat sich über all die Jahre gehalten. Tatsächlich warten noch ein paar Aprilscherze darauf, enttarnt zu werden.

2007 war das Jahr, in dem der langjährige Leiter des Planetariums Dr. Siegfried Peterseim (der



mit seinen Astrokursen 1984 und zusammen mit Michael Große den Anstoß für die Gründung der Sternfreunde Münster gegeben hatte) in den Ruhestand ging und durch Dr. Björn Voss ersetzt wurde. Ich hatte das Vergnügen, Björn in einem Interview den Lesern der Sternfreunde Münster näherzubringen.

2007 war aber auch das Jahr, in dem uns leider drei Astrofotografen aufgrund von Copyrightvorwürfen verließen.

2007 traten 10 Sternfreunde eine große Reise nach Berlin an um die dortigen astronomischen Einrichtungen zu besichtigen. Wilhelm-Förster-Sternwarte, Astrophysikalisches Institut Potsdam, Telegraphenberg, Archenhold-Sternwarte und der Einsteinturm waren die Ziele. Mit vielen Eindrücken und ebenso vielen Fotos kamen sie zurück und füllten satt die kommenden Andromeda-Ausgaben.

Für 2009 wurde das Internationale Jahr der Astronomie von der UN-Generalversammlung ausgerufen. In diesem Jahr machten das Planetarium und die Sternfreunde es sich zur Aufgabe, in der Beobachtungssaison jeden Mittwoch zwischen 19:30 Uhr und 21:00 Uhr eine öffentliche Beobachtung anzubieten. Das war schon eine stressige Angelegenheit – klar oder nicht klar – bewölkt – war hier öfters die Frage. Nun, wir sind ins (Stadt) Gespräch gekommen und somit auch bekannter geworden. Das war auch der Startschuss zu dieser einmaligen fruchtbaren Kooperation zwischen dem Planetarium und den Sternfreunden, die bis heute anhält.

Mit dem Artikel „Der Urknall und was aus ihm wurde“ trat Philipp Stratmann als neues Redaktionsmitglied in den Stab der Autoren ein. Dadurch wurde der Altersdurchschnitt auf einen Schlag drastisch gesenkt. Philipp war noch Schüler. Für frischen Wind war also gesorgt. Und Philipp spezialisierte sich auf komplizierte astrophysikalische Themen, eine Facette mehr im bunten Universum unserer Zeitung. Es war auch das Jahr, wo es mit der vereinseigenen Sternwarte konkret wurde. Der Standort wur-

de ausgetestet und alle Formalitäten zur festen Sternwarte in die Wege geleitet.

Worüber wir auch in diesem Jahr berichtet haben, war die ungewöhnliche Pättkestour der Sternfreunde Münster mit den Sternfreunden aus Osnabrück. Da Münster und Osnabrück die Städte des Westfälischen Friedens sind, kam die Idee auf, anlässlich des Jahres der Astronomie zwischen den beiden Städten eine Radtour (Friedensfahrt) mit astronomischen Inhalten zu planen und durchzuführen. Am 29. August 2009 machten sich 20 unentwegte Sternfreunde von Osnabrück aus auf den Weg nach Münster, von Planetarium zu Planetarium. Das Besondere an der Strecke: Die ca. 65 km lange Tour stellte im Maßstab 1:113 Millionen die Entfernung des Pluto (Planetarium in Osnabrück) zu unserer Sonne (LWL Museum für Naturkunde in Münster) dar. Unterwegs wurden maßstabsgetreu an den Positionen der acht Planeten Stopps eingelegt, an denen Björn viel Wissenswertes rund um den jeweiligen Planeten kundtat. Nach rund 7 Stunden waren wir wieder in heimischen Gestaden.

2010 hatte Dr. Westphal einen dicken Fisch an Land gezogen. In der Kosmologiegruppe diskutierten wir über alternative Kosmologische Modelle. Ein Buch war besonders im Fokus, „Zurück vor den Urknall“ von Prof. Bojowald. Dr. Westphal schrieb ihm einen geharnischten Brief, in dem er monierte, dass Prof. Bojowald „eine laxer Argumentation“ an den Tag legte. 3 Monate hörte er nichts, keine Reaktion. Dann aber meldete sich Prof. Bojowald per E-Mail und bot an, ihm seine Argumentation näher darzulegen. Den Fisch einmal an der Angel, zog er so kräftig, dass sich Prof. Bojowald bereit erklärte, bei einem Vortrag in Münster in die Diskussion treten zu wollen. Das Planetarium Münster erklärte sich spontan bereit, die Räumlichkeiten zur Verfügung zu stellen. Und dann war er da. Ganz anders als wir ihn uns vorgestellt hatten. Zurückhaltend und bescheiden. Der Clou an der Sache war, das Dr. Westphal noch seinen Mathematiklehrer ausfindig machte. Der hatte aber leider keine Zeit zu kommen. Carsten verriet er,

dass er dem jungen Bojowald, seinem Schüler, bei der schwierigeren Mathematik nicht mehr folgen konnte. Lachend erwähnte Prof. Bojowald, das er davon nichts gemerkt hatte. Nach dem Vortrag trafen sich noch einige Sternfreunde mit Prof. Bojowald zum Essen, wo dann weiterdiskutiert wurde. Ich bekam dann einen Bierdeckel, auf dem er die seiner Meinung nach wichtigste mathematische Formel seiner kosmologischen Untersuchungen notierte.

2010 war auch die Geburtsstunde von Stephans lustigem Silbenrätsel. Prof. Keller hatte das Planetarium in Münster für einen Vortrag besucht und von uns ein paar Exemplare der Vereinszeitung erhalten. Er war so begeistert davon, dass er gerne alle greifbaren Ausgaben haben wollte. Ich machte dann später ein dickes Paket fertig und brachte es auf den Weg nach Stuttgart, der Heimatstadt von Prof. Keller. Seitdem schickt er uns jedes Jahr ein Exemplar seines „Himmelsjahres“ zu und - so schließt sich der Kreis - es wird bei uns an den verschenkt, der die kniffligen Fragen des Quiz richtig löst.

Es gab aber auch traurige Nachrichten zu vermelden. 2012 war das Jahr, in dem Prof. Hilmar Dürbeck, ehemaliger Privatdozent des Astronomischen Instituts in Münster plötzlich starb. Mit ihm verloren wir einen netten, den Sternfreunden und dem Planetarium wohl gesonnenen Referenten und Förderer. Mir persönlich war er durch meine Beschäftigung mit veränderlichen Sternen sehr verbunden. In der Bibliothek des Astronomischen Instituts half er mir bei meinen privaten Studien über die verschiedenen Typen der Veränderlichen, und auch nicht nur einmal, durfte ich seine Kopierkarte benutzen.

Die Andromeda 2/2012 wurde dann die große Jubiläumsausgabe der Sternfreunde Münster. 25 Jahre hatte der Verein auf dem Buckel. Das Grußwort schrieb Dr. Hendricks, der damalige Leiter des LWL-Museums für Naturkunde.

Mein Arbeitskollege im Planetarium, Robert Perdok, gestaltete ein neues Layout für diese

Ausgabe unserer Vereinszeitung, und er entwarf auch die Titelseite der „Andromeda“! Auf einer besonderen Feier im Restaurant La Vela wurde das Jubiläum angemessen begangen und viele



Ehemalige konnten von Michael Dütting begrüßt werden. Bis auf eine Person (Kalli, Karl-Heinz, den es mittlerweile in die Schweiz verschlagen hatte) waren alle Gründungsmitglieder gekommen.

2013 hatte sich Daniel Kuna im Rahmen eines „Jugendforscht“ Projektes mit der „Beobachtung und Untersuchung des Sternsystems 51 Pegasi mit Hilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode“ beschäftigt. Nachdem er mit dieser Arbeit dort den Regionalsieg erringen konnte und seine „herausragende Arbeit mit wissenschaftlichem Anspruch“ auch schon den Hans-Riegel-Fachpreis für Physik gewonnen hatte, wurde „die besondere Leistung, die hinter dieser Schülerarbeit steckt“, mit der Verleihung des Samuel-Thomas-von-Soemmerring-Astronomiepreises in Frankfurt/Main gekrönt. Ein toller Erfolg unseres Sternfreundemitglieds.

2016 gelang der erste direkte Nachweis der Gravitationswellen. Wolfgang Albrecht brachte uns diese Sensation in einem sehr interessanten Artikel nahe. Mit dem Nachweis von Gravitationswellen tat sich eine neue Tür auf in der Erforschung des Kosmos.

In diesem Jahr war es endlich auch so weit, dass der langgehegte Traum der Sternfreunde Münster auf ein eigenes Observatorium wahr wurde: Eröffnung der vereinseigenen Sternwarte. Neben den Sternfreunden, die in reichlicher Anzahl erschienen, waren auch einige auswärtige Sternfreunde von befreundeten Vereinen eingeladen worden.

Ende des Jahres 2017 verabschiedeten sich Gracia und Werner, die Wirtsleute vom „La Vela“ in den Ruhestand.

2019 stand ein großes Projekt von Klaus Soja an. Ein Jahr notierte er bei klarem Wetter die Beobachtungsbedingungen an seinem Beobachtungsort in der Bauernschaft in Westbevern. Einen Zwischenbericht verfasste er Mitte des Jahres. Darin klang schon an, dass die Wetterbedingungen bei klaren Nächten in diesem Jahr nicht optimal waren. Keine Zaubernacht nach Definition von Klaus (Seeing 1“ oder besser, sehr gute bis gute Transparenz – Luftfeuchtigkeit < 50%, kein störendes Mondlicht) kam im ersten Halbjahr zustande. Der Abschlussbericht zeigte dann, dass es nur drei Nächte mit Seeing < 1.0 Bogensekunde gab, aber nicht eine Zaubernacht im ganzen Jahr! Fürwahr war das Jahr 2019 beobachtungstechnisch nicht so optimal.

Das Jahr 2020 bescherte uns endlich wieder einen Kometen, Neowise, der mit bloßem Auge zu beobachten war. Mit einer Helligkeit von 3^m fiel er zwar nicht direkt ins Auge, aber immerhin. Schöne Fotos auf der Homepage der Sternfreunde sind Beleg für seine Präsenz.

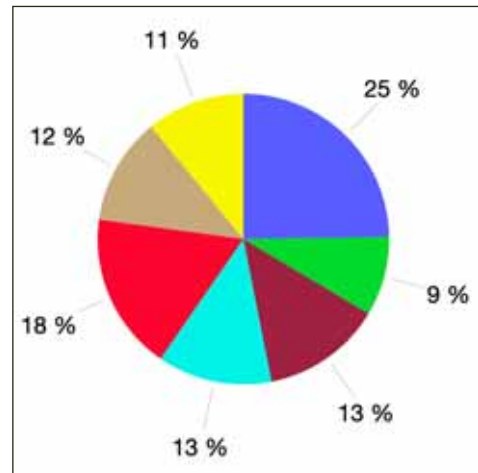
Ich bin nun fast am Ende meiner kleinen Rundschau, aber einen Punkt muss ich noch erwähnen. Weiter oben schrieb ich:

...Andromeda [...] Ein Schaufenster oder auch das Schaufenster der Sternfreunde Münster e.V. in der Öffentlichkeit.

Das stimmt nur zur Hälfte! Die andere Hälfte des Schaufensters sind unsere Internetseiten, die von Michael die ganzen Jahre über liebevoll gepflegt worden sind! Besten Dank Michael, für Deinen unermüdlichen Einsatz!

Zusammenfassend: Viele Themen fanden den Weg in die Zeitung, von Fernrohrtests über praktische Tipps für Astrofotografen, von Sonnenfinsternissen und Mondfinsternissen, von Aktivitäten der Sternfreunde, seien es Ausstellungen oder Kooperationen mit dem LWL-Museum für Naturkunde, von kosmologischen Fragestellungen bis hin zu Kursen für Beginner. Aber eine Zeitung ist nur deshalb so vielfältig, weil sie durch die Mitglieder Unterstützung erfährt. Und die darf nicht nachlassen. Meinem Nachfolger wünsche ich, dass er immer genügend Artikel auf Lager hat, und Sternfreunde, die ihn bei seiner Arbeit unterstützen.

Auf Seite 8 habe ich eine Statistik über die Themen in der Zeitung aufgelistet. 1600 Seiten



sind in den vergangenen 15 Jahren beschrieben worden. 1600 Seiten von Euch und der Redaktion verfasst! Ich sage allen ein herzliches Dankeschön!

Euch und Euren Liebsten eine schöne Weihnachtszeit, ein frohes Weihnachtsfest und einen guten Rutsch ins neue Jahr 2021.

Bleibt gesund!

Ewald

Dem schließt sich der Vorstand an!

Legende der Grafik nach Themen geordnet:

- **Allgemeines und Internes:** Titelseite, 2. Umschlagseite, 3. Umschlagseite, Rückseite, Inhalt, Impressum, Copyright Bilder, Was?Wann?Wo?, Editorial, Sternfreunde intern, Geburtstage, Ein/Austritte, Bildnachweise, Protokolle der MGV der Sternfreunde MS, Personen, Nachrufe
- **Sternhimmel,** Sternbilder, Sterne, Sternhaufen, SN, Exoplaneten, extraterrestrisches Leben
- **Aktionen der Sternfreunde** (Radtouren, Jahresrückblicke, Messiermarathon, Ausstellungen, Familiennachmittage im LWL-Museum, Planetarium, AGs der Sternfreunde, Reisen Sternfreunde, Astrokids
- **Planetensystem** (Transite, Meteore/ströme, Kometen, Planeten, Mond, Sonne, Leuchtende Nachtwolken, SoFis und MoFis)
- **Feuilleton** (Zitate, Weihnachtswünsche, Preisausschreiben, Lösung, Werbung, astron. Institut, Vorträge im Planetarium, Sternfreunde (Wie kam ich zur Astronomie), Stephans Quintett, Historie, astronomische Uhren, Buch- + Softwarebesprechungen, Internet, Homepage der Sternfreunde)
- **Astronomische Praxis** (Teleskope, Erfahrungsberichte, Einführung in die CCD-Kameratechnik, Sternwarte der Sternfreunde, Technik, Exoplaneten, Astrofotografie, Wetterbeobachtungen)
- **Physik** (Teilchen, Stringtheorie etc., Kosmologie)

First Light mit Jugendtraum

Jochen Borgert

Seit dem Beginn meiner Beschäftigung mit dem Hobby Astronomie träume ich von einem fest aufgestellten Teleskop. Seit dem Lesen des Artikels „SuW Besuch – bei der Amateursternwarte Annahütte“ (S. 258 – 259 in SuW 4/90) träume ich von einem fest aufgestellten Teleskop Carl Zeiss Jena Zeiss AS 200/3000. Das Problem ist nur, dass Teleskope dieser Art extrem selten, extrem teuer und extrem groß sind. Beim Zeiss AS 200/3000 handelt es sich um ein zweilinsiges achromatisches Refraktorobjektiv mit einer Öffnung von 200mm Öffnung und einer Brennweite von 3000mm, welches 1926 von August Sonnefeld entwickelt wurde und dank einer asphärischen letzten Linsenfläche eine als vorzüglich¹ geltende Korrektur aufweist. Einen solchen Dinosaurier aufzustellen (Tubuslänge etwa 3 Meter!) erfordert eine außergewöhnlich stabile (und damit teure) Montierung und viel Platz. Ich befürchtete also, dass dieser Jugendtraum eben ein Jugendtraum bleiben würde, bis zu dem Moment, in dem ich bei Ebay ein solches Objektiv gebraucht erwerben konnte.

Da lag es also, das Objektiv meiner Träume. Was sollte ich aber jetzt damit anfangen? Eine ausreichend stabile Montierung (Alt 7 oder so) würde die Haushaltskasse stark fordern und einen Schutzbau benötigen, der unseren Garten stark fordert. Kurz gesagt: Die Erstellung eines Teleskops mit diesem Objektiv schien unmöglich, zumindest bis zu meiner Rente, wenn ich die entsprechende Zeit hätte mich um all diesen Problemen zu widmen. Der Versuch einen gefalteten Refraktor auf einer Dobson-Montierung mit diesem Objektiv zu bauen scheiterte an der Zeit und an meinen handwerklichen Fähigkeiten. Das Projekt rückte in weite Ferne. Schneller als gedacht kam mir jedoch der Zufall zu Hilfe. Im Biete-Board von Astronomie.de wurde ein selbst gebauter Schaer-Refraktor (mit Taukappe 1,7 Meter lang) in sehr stabiler Ausführung mit einem chinesischen Objektiv mit den optischen

Maßen 200/3000 auf einer sehr schweren selbst gebauten Montierung (das Gewicht der Montierung liegt bei geschätzten 60 Kg) angeboten. Ich reagierte schnell, zumindest schneller als ein weiter Interessent, so dass ich nur kurze Zeit später eine 360 Kilometer lange Autoreise (nur Hinweg) durch Deutschland antrat, um mich mit dem Verkäufer zu treffen. Das Treffen verlief sehr positiv und freundlich, der Verkäufer erklärte sich sogar bereit, mir einen Adapter anzufertigen, mit dem ich mein Zeiss AS an diesen Schaer-Refraktor adaptieren konnte. Optisch war das unbedenklich, da der Schaer-Refraktor samt Umlenkspiegeln eben für ein Objektiv mit den optischen Daten 200/3000 gerechnet war. Jetzt kam alles zusammen: ein vor zweieinhalb Jahren im Garten selber gebauter kleiner Schutzbau samt Stahlsäule für Teleskope erwies sich als groß genug für den Refraktor samt Montierung, der Aufstellung stand nichts mehr im Weg. Am 19.09.2020 konnte ich also First Light feiern.



Am 14.10.2020 hatte ich dann die Gelegenheit mit einer schnell erworbenen ZWO ASI 120 MC-S ein Marsbild zu erstellen. Meine letzten Versuche in der Planetenfotografie lagen etwa 20 Jahre zurück und fanden noch auf Film statt, so dass das jetzt gewonnene Bild sicher nicht der Maßstab in Sachen Bildbearbeitung ist. Von etwa 5000 Aufnahmen mit jeweils 4 Millisekunden Belichtungszeit habe ich 35% unter Autostakert gestackt und unter Registax bearbeitet. Die Aufnahme zeigt die Tharsis-Region, auf der bei ungefähr 1 Uhr Olympus Mons zu erkennen ist. Etwas links unterhalb der Mitte sieht man das Mare Sirenum, etwas rechts unterhalb der Mitte steht Solis Lacus (s. Foto auf der Rückseite). Zusätzlich zeigt sich meiner Meinung nach der Farbfehler des Objektivs, da die Polkappe eigentlich weiß sein sollte, wie Vergleichsaufnahmen mit farbfehlerfreien Spiegelteleskopen zeigen, aber trotzdem einen Gelbstich hat. Bei genauem Hinschauen sieht man auch warum die Polkappe verfärbt erscheint. Um den Planeten zeigt sich auf dem Bild ein bläulicher Farbsaum, ein typischer Farbfehler für Achromate. Dieses blaue Licht fehlt aber im Planetenbild und führt zu der genannten Verfärbung. Ich musste also lernen, dass sich auch Jugendträume (und die Firma Carl Zeiss) den Gesetzen der Physik beugen müssen. Vermeidbar wird dieser Fehler durch die Verwendung einer Schwarzweißkamera mit Farbfiltern in Rot, Grün und Blau. Dadurch kann ich die einzelnen Farbkanäle getrennt voneinander fokussieren und aufnehmen. Das ist allerdings Zukunftsmusik.

¹ Riekher, Rolf: Fernrohre und ihre Meister; Verlag Technik GmbH Berlin 1990; Seite 216

Sternfreunde intern

- | Eintritte
- Christian Hölscher
- Jörg Meyer
- Thorsten Wetter
- Christian Hahn

Die große Konjunktion 2020

Hermann Soester

Knapp alle 20 Jahre passiert es. Der schnellere Jupiter (Umlaufzeit: 11 Jahre, 315 Tage und 3 Stunden) überholt den langsameren Saturn (Umlaufzeit: 29 Jahre und 166 Tage). In diesem Jahr ist es sogar eine ganz besonders enge Begegnung. Mit nur 6 Bogenminuten (das ist ein Fünftel des Vollmonddurchmessers) Abstand zieht Jupiter im Sternbild Steinbock südlich an Saturn vorbei.



Das bedeutet, dass man beide Planeten auch dann locker in einem Gesichtsfeld sieht, wenn man eine Vergrößerung wählt, die beide Planeten deutlich als Scheibchen erkennen lässt, inklusive klarer Ringwahrnehmung bei Saturn. Eine so enge Begegnung fand in den letzten beiden Jahrhunderten nicht statt. Noch knapper war es allerdings im Jahr 424 v.Chr., bzw. 2032 vor Erfindung des Teleskops: Da lagen lediglich eine Bogenminute und 18 Bogensekunden zwischen den beiden Riesen.

Die gleiche Distanz wie in diesem Jahr ergibt sich dafür „schon“ wieder am 15. März 2080. Für mich ist es ein schöner Gedanke, dass mein Enkel dann ungefähr so alt sein wird wie ich heute, vorausgesetzt es bleiben ihm persönliche oder globale Katastrophen erspart. Dann schafft er auch noch locker die knapp eineinhalb Jahre bis zur nächsten in Deutschland sichtbaren totalen

Sonnenfinsternis. Und vielleicht denkt er dann weit zurück an seine ersten Durchblickversuche an Opas Okular...

Der eigentliche Überholvorgang findet in diesem Jahr am 21. Dezember um genau 18:37 Uhr statt.



Doch dann stehen in Münster beide Planeten direkt am Horizont, was eine Beobachtung unmöglich macht. Aber eine Stunde früher ist der Winkelabstand nur unwesentlich größer und beide Planeten stehen noch über dem Horizont, wenn auch sehr knapp. Außerdem ist es dann auch schon einigermaßen dunkel. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Beobachtung sind also auf jeden Fall ein klarer Himmel mit sehr guter Horizontsicht sowie ein Standort ohne horizontale Hindernisse im Südwesten. Letzteres kann sich der geneigte Sternfreund lange vorher aussuchen, vielleicht kennt ja auch der eine oder andere Leser solch einen Ort und gibt diesen noch rechtzeitig bekannt. Geschuldet sind diese widrigen Umstände dem geringen Winkelabstand von Jupiter und Saturn zur Sonne zu diesem Zeitpunkt. Er beträgt dann lediglich $30,3^\circ$ (östlich). Was die Wetteraussichten angeht bleibt dem Münsteraner wohl eher grenzenloser Optimismus.

Da wäre es natürlich schöner, wenn die Begegnung in zeitlicher Nähe zur Opposition der beiden Planeten läge und der Winkelabstand zur Sonne richtig schön groß wäre. Wegen der damit verbundenen Oppositionsschleifen bekäme man dann auch noch Mehrfachkonjunktionen gebo-

ten, wie zuletzt 1981, als Jupiter am 14. Januar und 19. Februar in den frühen Morgenstunden Saturn überholte. Die Distanz zwischen beiden war aber mit jeweils $1^{\circ}09'$ deutlich größer als dieses Mal. Dafür gab es dann sozusagen als „Zugabe“ noch eine Begegnung am 30. Juli im selben Jahr. Der Abstand war dabei nur $3'$ größer.

Eine solche Dreifachkonjunktion spielte sich auch im Jahre 7 v. Chr. ab. Das könnte drei Magiern aus dem Morgenland Anlass gewesen sein, nach Jerusalem aufzubrechen. Möglicherweise deuteten sie dies als Zeichen für einen königlichen Machtwechsel, zumal es auch bis ins Morgenland durchgeschickert sein konnte, dass König Herodes inzwischen schon ein bisschen alt und klapprig geworden war. Der „Stern von Bethlehem“ war also vielleicht gar keiner...

Wie dem auch sei, dieses Mal steht tatsächlich Weihnachten vor der Tür. In diesem Jahr steht das Fest allerdings nicht unter einem wirklich guten Stern, dieser sollte aber weder mit dem Sternbild Corona borealis noch mit seinem südlichen Pendant in Verbindung gebracht werden!

Für alle, die sich weitergehend informieren wollen, empfehle ich die Lektüre des Monatsthemas Dezember im *Kosmos-Himmelsjahr 2020* von Hans-Ulrich Keller.

Stephans Quintett

Astro – Postillion

Stephan Plaßmann

Durch die Lappen gegangen:

Sternfreund findet nördlichsten Beobachtungsort.

Optische Sensation:

Neuartiges Fernrohr macht aus einer Mücke einen Elefanten.

Hopfen und Malz verloren:

Durstiger Sternfreund kaufte Teleskop mit Glaspilz.

Sirius siegte im Astro-Quiz:

Er war als erster auf den Hund gekommen.

Das ist ja wohl die Höhe!

Sternfreund will bei azimutaler Montierung Deklination einstellen.

Lustiges Silbenrätsel

Stephan Plaßmann

Aus den folgenden Silben sind astronomische Begriffe zu bilden, deren Bedeutung doppel-sinnig umschrieben sind. Die jeweils siebten Buchstaben der gefundenen Wörter ergeben die Lösung, welche sportliche Himmelskörper in einem Zirkus beschreibt.

Die Silben sind: ach – ber – del – den – ein – fleck – ge – gro – kap – kreis – le – licht – mi – na – ne – ner – nich – och – paar – pen – pil – pu – ro – schei – schmut – se – sen – sse – sser – ster – stun – tau – ter – tier – tor – trei – tritts – tung – ver – ver – wan – wei – zung – zwer

1. Eine Art Stierkämpfer
2. Vorgang der Scheidung
3. Film von Arnold Schwarzenegger
4. Kopfbedeckungen für die Schneeschmelze
5. Verunreinigung sichtbarer elektromagnetischer Wellen
6. Hellhäutige Gnome
7. Schlendernde Himmelskörper
8. Das Loch im Auge, welches hereinkommt
9. Einer, der etwas beleuchtet
10. Wenn man sein Hemd mit sehr viel Erdbeermarmelade bekleckert
11. Teil eines Wagens, das nicht einmal einen ganzen Tag hält
12. In einer Runde versammelte Vertreter der Fauna

Richtige Lösungen können eingesandt werden per Post an Sternfreunde Münster e.V., Sentru-per Str. 285, 48161 Münster oder per Mail an stephan.plassmann@online.de.

Dem Gewinner winkt ein handsigniertes Exemplar des Jahreskalenders

„Kosmos Himmelsjahr 2021“ von Hans-Ulrich Keller.

Einsendeschluss ist der 22.1.2021.

Bei mehreren richtigen Antworten entscheidet das Los.

Buchbesprechung Annals of the Deep Sky Teil II

oder die etwas andere Rezension

Ewald Segna

In der Ausgabe der Andromeda von 2/2016 schrieb ich über die Buchreihe „Annals of the Deep Sky“:

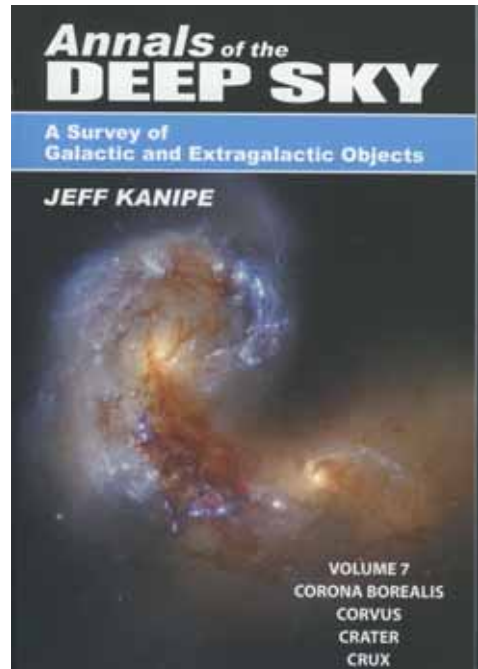
Der erste aus dem Verlag Willmann-Bell erschienene Band „Annals of the Deep Sky“ (insgesamt sind sechs Bände vorgesehen) behandelt ausführlich vier Sternbilder des Himmels (Andromeda, Antila, Apus und Aquarius), mit den darin eingebetteten Objekten, wie Sterne, Nebel und auch Galaxien.

Drei Bände sind bisher erschienen. Ende des Jahres kommt Band 4 heraus und im Jahre 2017 folgen die letzten beiden Bände.

Entweder ich habe da etwas falsch verstanden oder Willmann Bell hatte die Strategie geändert ;-):

Wir schreiben nun das Jahr 2020 und der Band 8 steht vor der Veröffentlichung. In der alphabetischen Abfolge der Sternbilder sind wir bei C angekommen. Zugegeben, mit C fangen sehr viele Sternbildernamen an. 22 um genau zu sein. Das 22ste wird auch das erste im neuen Band 8 sein - Cygnus. Die Struktur der Darstellung der Sternbilder hat sich in den Bänden bewährt. Was sich allerdings geändert hat, ist die Erscheinungsweise der Bücher. Sind in den ersten Jahren jeweils 2 Bände herausgekommen, ist es nun nur noch ein Band pro Jahr. Außerdem hat sich letztes Jahr Dennis Webb aus dem Autorenduo verabschiedet und nun muss Jeff Kanipe die Verantwortung der Autorenschaft alleine stemmen.¹ Stand der Dinge Mitte November ist, dass der Band 8 noch keinen Veröffentlichungstermin hat, was mich ein wenig beunruhigt. Ist das Pensum, das sich Jeff aufgebürdet hat von einer Person zu schaffen? Ich weiß es nicht, habe aber den Verantwortlichen von Willmann Bell eine E-Mail geschrieben, in der ich fragte, wann mit der Veröffentlichung des Buches zu rechnen sei. Im letzten Jahr hat eine diesbezügliche Anfrage innerhalb eines Tages die Antwort gezeitigt. Bisher kam keine E-mail von

Willmann Bell (Stand 17.11.2020). Schaun mer mal, wie es weitergeht.



Ein Wort noch zu der Reihe: In meiner ersten Buchbesprechung hatte ich geschrieben, dass es seinesgleichen nicht auf dem Markt für astronomische Literatur gibt. Das ist auch nach wie vor der Fall. Es ist ein tolles Projekt, das so viele Fakten zu den einzelnen Sternbildern zusammenträgt: Untenstehend sind sie noch einmal zusammengefasst:

- ein Zitat aus dem Umfeld des Sternbildes
- die Beschreibung des Sternbildes
- ein Kasten, der das Sternbildkürzel, den Kulminationszeitpunkt, die Größe in Grad sowie die hellsten Sterne und nichtstellaren Objekte (z. B. Galaxien) auflistet
- als nächstes werden Besonderheiten besprochen, z. B. besondere Sterntypen
- die figürliche Darstellung des Sternbildes folgt, wie eine erste Karte mit den eingezeichneten Sternen bis 5.5 mag und Deep Sky Objekte

- vervollständigt wird das Ganze durch eine Grafik über die Position am Himmel und die Jahressichtbarkeit
- eine weitere Sternkarte mit den Objekten bis zu 7mag folgt
- besondere Sterne werden auf den nächsten Seiten auf Karten markiert, der dann die ausführlichere Beschreibung folgt
- auch kommen die extragalaktischen Objekte zur Sprache, wie z. B. der Andromedanebel
- die dreidimensionale Position des Sternbildes in der Milchstraße und die Einbettung in das extragalaktische Koordinatensystem

Kurzum: Eine (fast) unerschöpfliche Wissensfundgrube.

Nach wie vor eine uneingeschränkte Empfehlung für alle, die das Wissen über die einzelnen Sternbilder kompakt an einem Ort versammelt haben wollen. Der Preis für die im Rhythmus eines Jahres erscheinenden Bände ist moderat, allerdings, acht Bände am Stück fressen schon ein kleines Loch in den Geldbeutel. Nun ja, Weihnachten steht vor der Tür.

Nachtrag: Nachdem ich immer noch kein Erscheinungsdatum recherchieren konnte (17.11.2020), bin ich auf die Homepage von Astroshop gegangen, über die ich die Bücher beziehe. Dort stand:

*„Bitte beachten Sie: Aus Altersgründen steht der Verlag Willmann-Bell derzeit vor einem Eigentümerwechsel. Daher kann momentan bei Büchern, die nicht in unserem Lager vorrätig sind, eine Aussage zur Lieferzeit gemacht werden“.*²

Einmal aufgescheucht, habe ich weiter im Internet geforscht und auf der Facebookseite von „Annals of the Deep Sky“ folgenden Eintrag gefunden:

27. Oktober um 06:34 „Annals of the Deep Sky“:

Vielen Dank an alle, die sich gemeldet haben. Am Sonntagabend teilte uns Willmann-Bell mit, dass sie damit begonnen haben, ihr Verlagsgeschäft aufzulösen (ein weiterer Kommentar, später im Chatverlauf: Willmann-Bell schließt aus persönlichen Gründen des Verlegers).

Uns liegen derzeit keine weiteren Informationen darüber vor, was das für „Annals ...“ bedeutet. Ich wünschte, wir hätten welche. Eine Druckauflage von Band 8 wurde inzwischen fertiggestellt; wir sind nicht sicher, wie diese Bücher bestellt und verteilt werden könnten, obwohl wir hoffen, dass Willmann-Bell einen Weg finden wird, dies zu tun. Es könnte eine Weile dauern, bis das geklärt ist. Sie sind die einzigen, die Fragen zur Bestellung und Verfügbarkeit der Bände 1 bis 8 beantworten können.

Auf lange Sicht sind wir nicht sicher, ob ein anderer Verlag die Bestände des Unternehmens kaufen könnte. Falls nicht, werden wir sicherlich nach anderen Verlagen Ausschau halten, die zukünftige Bände der Annals ... (9 und darüber hinaus) veröffentlichen [...].

Wir sind Willmann-Bell dankbar für alles, was sie im Laufe der Jahre für die Amateurastronomie getan haben. Danke und wir bemühen uns um eine Lösung.

- Jeff Kanipe und Alexandra Witze

20. November um 10:03 “Annals of the Deep Sky”:

Wir haben ein Statement von Willmann-Bell zum Stand des gedruckten Bandes 8, den wir Ihnen zur Verfügung stellen:

„Wir suchen nach Möglichkeiten, diese Bücher in die Hände einer kompetenten Organisation zu geben, die die Reihe fortsetzen, Bestellungen sicher abwickeln und die Lieferung garantieren kann. Das kann mehrere Monate dauern.“

Quellen:

¹ „Chris Hamilton“ (ein besorgter Unterstützer der Buchreihe - über Facebook)

... Fantastische Neuigkeiten! Ich frage mich nur, arbeitet Dennis nicht mehr an den „Annals ...“ oder nur nicht an diesem Band?

Antwort von „Annals of the Deep Sky“

Danke! Dennis ist nach wie vor als Berater für die Serie und als Verantwortlicher des grafischen Bereichs der „Annals ...“ tätig, ist aber nicht mehr in das Tagesgeschäft eingebunden.

² <https://www.astroshop.de/beobachtung/willmann-bell-buch-annals-of-the-deep-sky-volume-8/p,64315>

Polarlichter in Island

Jürgen Stockel

Ein langersehnter Traum wurde in 2020 wahr: 5 Wochen Urlaub in Island. Das Zeitfenster (ab 13. August) war gut getroffen worden: Kein Corona-Test bei der Einreise, keine Quarantäne und hervorragende Wetterbedingungen im Süden Islands. Wir erlebten absolute Traumtage mit vielen der bekannten Highlights Islands: Wasserfälle, Geothermalgebiete, Berge, Gletscher, Küsten und vieles mehr. Der Zeitraum war schon in 2019 bewusst spät gewählt worden: Ab Mitte August gibt es in Island bereits erste dunkle Nachtstunden. Da Island genau im Polarlichtoval liegt, hofften wir auf unsere ersten Live-Beobachtungen von Polarlichtern. Unsere Hoffnungen wurden erfüllt. Es gab vier klare Nächte, und in allen diesen Nächten haben wir Polarlichter sehen können.

Die Vorhersagen für das Aufkommen von Polarlichtern waren allerdings eher dürrftig. Die App „Polarlicht Pro“ sagte für unseren Aufenthalt einen KP-Index von maximal 2 voraus. Mit diesem Index bezeichnet man eine planetarische Kennziffer, welche die solare Teilchenstrahlung darstellt, die auf die Erde trifft. Diese hat unmittelbare Auswirkungen auf das irdische Magnetfeld. Die Skala geht von 0 bis 9. Je höher der Wert, desto mehr Energieteilchen erreichen die Erde, und die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen von Polarlichtern steigt an. Ein KP-Index von 2 ist nicht hoch. Allerdings befinden wir uns genau auf dem Polarlichtoval: Wenn es auch nur schwache Polarlichter geben sollte, dann sind sie hier in Island zu sehen. Einige Autoren berichten, dass die KP-Index-Vorhersage nicht immer zuverlässig sei. Manche großartige Polarlichter sind schon aufgetaucht, obwohl der KP-Index bei 0 gelegen hatte. Unser Optimismus blieb also ungebrochen.

Die niedrigen KP-Indices korrelieren mit der aktuell geringen Sonnenaktivität. Das letzte Aktivitätsminimum lag im Dezember 2019. Seitdem

bahnt sich eine neue Phase in der Sonnenaktivität an: Die Anzahl der Sonnenflecken nimmt wieder zu und die Heftigkeit solarer Ausbrüche steigt ebenfalls an. Ein solcher Sonnenfleckenzyklus dauert im Schnitt 11,1 Jahre an. Dieses Wechselspiel der Sonnenflecken wird begleitet von unregelmäßigen Plasma- und Strahlungsausbrüchen (Flares), Änderungen im Sonnenwind und von riesigen Gasfontänen (Protuberanzen). Wenn diese Energieströme auf die Erdoberfläche stoßen, ergeben sich dramatische Veränderungen im irdischen Magnetfeld. In einem Oval um die beiden Pole entstehen dann grandiose Lichtspiele am Himmel, die Polarlichter. Bei dem



Zusammenstoß der solaren Energieteilchen mit Sauerstoffatomen hoch oben in der Atmosphäre entstehen Lichtimpulse, die in verschiedenen Farben sichtbar werden. Im Dezember 2019 begann der 25. Sonnenzyklus. Schon im Sommer 2020 gab es bereits erste Anzeichen für eine zunehmende Sonnenaktivität. Das war unser großes Glück: Es passte alles zusammen: Der Beobachtungsort im Polarlichtoval, das gute Wetter und die Sonne, die genug Energieteilchen rüberpustete für unsere Polarlichter. Die Vorfreude war riesig groß.

Am 26. August zelteten wir in Hveragerdi, einem Ort im Südwesten Islands mit einer spektakulären geothermalen Umgebung. Der Tag war noch ziemlich bewölkt gewesen. Nachts gegen 01:00 Uhr meldete sich meine Blase: Raus aus dem Zelt, ab zum WC. Es war saukalt und sternenklar. Auf dem Weg zurück zum Zelt sah ich grün. Am Himmel! Schlagartig war ich putz-

munter. Das musste ein Polarlicht sein. Ich zog mir warme Klamotten an, stellte die Pentax auf



ein Stativ. Meine erste Probeaufnahme animierte mich, singend um das Stativ zu tanzen! Da war es, das erste Polarlicht unserer Reise! Conny kam dann dazu, und Arm in Arm bestaunten wir unsere ersten grünen Lichtbögen in Island. Wir waren total happy, obwohl das, was wir gerade sahen, noch recht schwache Polarlichter waren. Wir entdeckten in der Ferne grüne Vorhänge und langgestreckte Bögen. Über uns beobachteten wir feinere Strukturen über den Baumwipfeln.



Eine erste Zeitrafferaufnahme aus über 200 Bildern konnte dieses feine Spektakel filmisch festhalten. Noch ahnten wir nicht, dass diese grünen Lichter nur ein milder Abklatsch von dem war, was noch auf uns zukommen sollte.

Am 05. September wohnten wir in einem Gästehaus in Bordeyri direkt am Meer im Norden Islands. Nachts gegen 01:30 Uhr ging es los. Über dem Wasser tauchten erste Bögen auf, die sich im windbewegten Wasser leicht spiegelten und fantastische Doppelbilder erzeugten. Nur für einen kurzen Zeitraum – vielleicht 2 Minuten

– wurde es richtig flott und dramatisch am Himmel: Ein dramatisches Polarlichtgewitter tobte am Himmel mit flotten Bewegungen und rasend schnellen Veränderungen. Wir kamen aus dem Staunen nicht mehr heraus.

Getoppt wurde das bisherige aber am 14. September in der Nähe von Vopnafjörður im Osten Islands. Am Schluss der Reise gönnten wir uns eine richtig bequeme Ferienhütte. Die Wetterprognose war super, die Hütte stand



für sich allein etwa 300 Meter vom Bauernhof entfernt, ich hatte also Platz für die fotografische Dokumentation möglicher Polarlichter. Und dann ging es ganz früh los! Bereits in der Dämmerung und in der blauen Stunde waren erste grüne Strukturen auszumachen. Und dann wurde der Vorhang für ein weiteres spektakuläres Himmelschauspiel geöffnet: Riesige grüne geschwungene Bögen umspannten große Teile des Himmels. Vereinzelt waren an diesem Abend auch rötliche Polarlichtstrukturen sichtbar. Am



Boden war bereits Frost mit ca. -2 Grad! Das Weiß der schneebedeckten Berge wurde grün

illuminiert. Das absolute Highlight dauerte ca. 15 Minuten: Über uns tobte ein Polarlichtgewitter. Wir wussten gar nicht, wo wir zuerst hinschauen sollten. Die Bewegungen wurden immer flotter, rasend schnell veränderten sich die Strukturen der vielen Polarlichter.

Fotografisch konnte ich das nicht mehr im Detail festhalten, zu schnell waren die Variationen am Himmel. Manche Aufnahmen konnte ich mit 0,5 Sekunden Belichtungszeit realisieren. Normalerweise liegen die Belichtungszeiten je nach ISO-Einstellungen und in Abhängigkeit des verwendeten Objektivs zwischen 3 und 20 Sekunden. Die Zeitrafferaufnahmen von Polarlichtern zeigen oft schöne geschwungene Bewegungen von Bögen und Vorhängen. Dieses Gewitter wurde im Zeitraffer zu einer fast hektischen Polarlichtorgie. Unvergesslich! Sprachlos standen Conny und ich unter diesem bunten Himmel. Ein absoluter Traum wurde wahr. Wir standen live mittendrin. Jede Sekunde saugten wir visuell in uns auf. Der Himmel war superklar und stockfinster, die Milchstraße über uns leuchtete in all ihren verschiedenen Strukturen. Aber noch nie hatten wir eine grüne Milchstraße gesehen, eine Milchstraße im Polarlichtgrün. Mit Worten kann man das Erlebte nicht beschreiben, das muss man gesehen haben.

Einen Tag später konnten wir noch einmal weitere große helle geschwungene Bögen über Schneebergen sehen. Ein weiteres Polarlichtgewitter gab es aber in dieser klirre kalten Nacht nicht mehr.

Zwei Tage später brachte uns dann die Fähre wieder zurück nach Dänemark. Vier Nächte mit Polarlichtern durften wir erleben. Dank der guten Pentax K3-ii konnten wir viele Fotos und Videos mit nach Hause nehmen, die das live erlebte auch heute noch nachvollziehbar machen. Nach der totalen Sonnenfinsternis 2006 in der Türkei sind die Polarlichter 2020 in Island für uns das eindrucksvollste Himmelsereignis unseres Lebens. Am 09.02.2021 werde ich dazu im Rahmen unserer öffentlichen Vorträge einiges mehr berichten und Fotos und Videos zu den Polarlichtern in Island zeigen können.

Alle Fotos: © Jürgen Stockel

HFG-1 und Abell 6

Peter Maasewerd

Das Bild auf der hinteren, inneren Umschlagseite zeigt die beiden Planetarischen Nebel HFG-1 und Abell 6 im Sternbild Kassiopeia. HFG steht für Heckathorn, Fesen und Gull, welche die schwach leuchtende Struktur 1982 entdeckten. Abell 6 wird in dem von George Ogden Abell 1966 veröffentlichten „Catalog of Planetary Nebulae“ geführt.

Die Bezeichnung Planetarische Nebel (PN) leitet sich aus ihrer Ähnlichkeit mit dem Abbild des Planeten Uranus in den Teleskopen des 18. Jahrhunderts ab. PNs entstehen, indem sterbende, alte Sterne ihre äußere Gashülle abwerfen. Dieses Gas umgibt dann den Zentralstern und wird von dessen Strahlung ionisiert und zum Leuchten angeregt. Im Grundsatz handelt es sich also um Emissionsnebel, die oft in der blaugrünen Spektrallinie des Sauerstoffs (OIII) leuchten, aber untergeordnet auch rote Emissionsfarben des Wasserstoffs (H α) zeigen. Planetarische Nebel haben, gemessen an der Lebensdauer von Sternen, eine sehr kurze Lebensdauer im Bereich von wenigen 10.000 Jahren. Es gibt junge, hellstrahlende Vertreter wie den Ringnebel M57 im Sternbild Lyra. Aber auch alte, dunkle Gesellen, wie das hier abgebildete Pärchen.

Dabei ist insbesondere HFG-1 alles andere als alt und langweilig. Er befindet sich in einer Entfernung von ca. 1.600 Lichtjahren und hat einen Durchmesser von etwa 14,5". In der Aufnahme ist ein kometenartiger Schweif von etwa 5" x 20" Größe erkennbar, der erst im Jahr 2009 entdeckt wurde. Die Flächenhelligkeit beträgt schummerige 23,7 mag. Die Gashülle von HFG-1 wurde von dem Stern V664 Cas ausgestoßen. Dieser ist kein Einzelstern, sondern bildet mit einem sonnenähnlichen Begleitstern ein Doppelsystem, wobei die beiden Partner nur wenige Millionen Kilometer voneinander entfernt sind und einander mit einer sagenhaft kurzen Frequenz von nur 14 Tagen umkreisen.

Damit nicht genug. Das System bewegt sich mit einer Relativgeschwindigkeit von ca. 30 bis 60 km/s durch unsere Milchstraße. HFG-I wird als PN Typ F eingeordnet, was bedeutet, dass er gleichmäßig mit Gasen und Plasma gefüllt ist. Bei seiner Vorwärtsbewegung interagiert das runde System jedoch mit interstellarer Materie und produziert mit seiner Stoßfront eine Bugwelle bläulich ionisierter Gase an der Südwestseite. Dahinter ist ein Zwischenraum zum restlichen Nebel auszumachen. Nach innen hin zeigen sich drei hellere, bläuliche Loben und rötliches Material im zentralen Bereich des Nebels. Die äußere, bläuliche Bogenstruktur ist im Nordwesten geöffnet.

Abell 6 wurde 1955 entdeckt. Er hat einen schwachen Zentralstern von 18,6 mag, der nur in der Vollauflösung der Aufnahme schwach erkennbar ist. Seine Größe beträgt etwa 3" und die Flächenhelligkeit ca. 15,7 mag.

Besonders HFG-I ist ein sehr dunkles, ambitioniertes fotografisches Ziel, das üblicherweise mit extrem langen Belichtungszeiten von Dark Sites aufgenommen wird. Ich fotografiere aus einer Wohngegend mit Amateurequipment. Die Aufnahme hatte ich deshalb mit gemischten Gefühlen begonnen. Umso überraschter war ich, dass bereits mit ca. 10 Stunden Belichtungszeit ein annehmbares Ergebnis zu erzielen war. Für die Aufnahme wurden je etwa 4,25 Stunden Belichtungszeit für H-alpha Licht und OIII sowie etwa 1,5 Stunden RGB Daten verwendet. Die Kamera war eine ZWO ASI1600mmp an einem F/7.0 TS Photoline Triplet APO mit 0,79x Reducer. Die Bildbearbeitung erfolgte mit den Programmen Astro Pixel Processor und Photoshop CC2020. Die Vollversion des Bildes mit technischen Daten und Ausrüstungsdetails findet man auf der AstrobIn Seite:

<https://astrob.in/nwmfy4/B/>

Wer aufhört besser werden zu wollen, hört auf gut zu sein. -- NN
In Dir muß brennen, was Du in anderen entzünden willst. -- Augustinus Aurelius

Buchbesprechung: Astrofotografie von Katja Seidel

Jürgen Stockel

Auf der Titelseite leuchtet ein Polarlichtbogen mit dem Untertitel: „Spektakuläre Bilder ohne Spezialausrüstung“. Das lockt an! Fast 400 Seiten



vollgespickt mit traumhaften Astrofotos warten auf den Leser. Die vielen Bilder sind Motivation pur: „Das soll es sein, das will ich auch fotografieren können!“ Schon das erste unverbindliche Durchstöbern dieses großen Buches macht riesigen Appetit auf das spannende Thema Astrofotografie. Schnell taucht die Frage auf: Kann ich das tatsächlich mit meinem fotografischen Equipment selbst realisieren?

Katja Seidel gibt umfassende Antworten auf diese Frage und hält unzählige Ratschläge bereit. Schon zu Beginn entführt uns die Autorin in zwei einfache Projekte: Der Mond und Nachtaufnahmen bei Vollmond. Wer jetzt angebissen hat, der kann sich nun in drei großen Kapiteln auf die Reise in die Astrofotografie begeben.

Katja Seidel beginnt mit einem Grundkurs Astrofotografie (36 Seiten). Zunächst beantwortet sie die Frage nach der richtigen Ausstattung. Spätere

stens jetzt wird klar, dass kleine Kompaktkameras oder Handys nichts in der Astrofotografie zu suchen haben. Es sollte schon eine Spiegelreflexkamera oder eine spiegellose Systemkamera sein. Zur Grundausstattung gehören zudem ein Stativ und ein Kugelkopf. Weitere Empfehlungen betreffen die Auswahl von Objektiven passend zu den Aufnahmeprojekten. Weitere Ausstattungsdetails sind Fernauslöser und zusätzliche Stromversorgung. Viele wertvolle Hinweise macht Katja Seidel zu verschiedenen Apps und Software zur Astronomie und digitalen Nachbearbeitung. Spätestens jetzt wird deutlich, dass man für astrofotografische Projekte ein Mindestmaß an Ausrüstung benötigt. Eine professionelle Spezialausrüstung scheint nicht notwendig zu sein. Dennoch ist die Grenze nach oben offen. Wer sich intensiv mit einem Hobby auseinandersetzt, schraubt seine Ansprüche nach oben. Das gilt in der Musik genauso wie in der Astrofotografie. Auch Katja Seidel belegt das mit ihren tollen Bildern. Tröstlich für mich: Meine Pentax K3ii wandert nicht in die Schublade. Sie bleibt der technische Mittelpunkt meiner Astrofotografie. Das ist ein erstes Fazit!

Weitere 30 Seiten sind in dem Grundkurs den Grundlagen zur Astronomie gewidmet. Katja Seidel geht auf verschiedene Aspekte ein: Dämmerung, Mond, Sterne, Deepsky. Mit vielen wunderschönen Bildern und Grafiken gestaltet sie auch dieses Kapitel außergewöhnlich kurzweilig und höchst spannend.

Die nächsten 30 Seiten gelten speziellen Fototechniken für Nachtaufnahmen. Sehr anschaulich gelingt es der Autorin, mit Beispielen und guten Grafiken durch diese technische Thematik zu führen: Fokussieren, Langzeitbelichtung (ohne Nachführung), Panoramafotografie, Stacking und digitale Bildbearbeitung sind die Stichpunkte.

Das zweite große Kapitel widmet Katja Seidel speziellen astrofotografischen Projekten. Mit sehr praxisnahen Empfehlungen führt uns die Autorin durch unterschiedliche Themen: Blaue Stunde, leuchtende Nachtwolken, Mond, Milchstraße, Polarlichter, Startrails, Meteore, Mondfinsternis und Zeitrafferfotografie. Es macht einfach Spaß, durch diese Kapitel zu streifen und

sich anstecken zu lassen von ihrer Begeisterung für dieses tolle Hobby. Sie gibt viele Hinweise zur Planung, Realisierung und Nachbearbeitung der verschiedenen Projekte. Man merkt der Autorin an, dass sie schon viele Erfahrungen sammeln konnte, die sie im Übrigen auch auf mehrtägigen Seminaren weitergibt.

Anspruchsvoll wird es dann in Kapitel drei, wo sie Projekte für Fortgeschrittene beschreibt. Das dazu weiterführende Equipment bezieht sich vor allem auf die Möglichkeit von Nachführungen in der Astrofotografie. Katja Seidel bleibt auch hier ihrem Buchtitel treu: Schon mit recht einfachen leichten und noch erschwinglichen Reisemontierungen lassen sich spektakuläre Langzeitaufnahmen machen. Das macht mir enorm viel Mut, meine eigene Star Adventurer von Skywatcher am kommenden Winterhimmel ausgiebig zu testen und einzusetzen. Danke Katja!

Mit konkreten Projekten setzt sie ihre Vorüberlegungen praxisnah um: ISS, Andromedagalaxie, Kometen. Sehr genau beschreibt sie hier das konkrete Vorgehen und macht auch nicht Halt vor dem Aufwand digitaler Nachbearbeitung.

Mein ganz persönliches Fazit: Wer mit seinem hobbyfotografischen Equipment in die Astrofotografie einsteigen möchte, kommt an diesem praxisnahen Buch von Katja Seidel nicht vorbei. Grandiose Bilder zeigen, dass viele astrofotografische Projekte schon mit erschwinglichem passendem Equipment umsetzbar sind. Das Buch erzeugt einen hohen Spannungsbogen von ersten einfachen Projekten (Mond) bis hin zu anspruchsvolleren Objekten wie der Andromedagalaxie. Damit erreicht das Buch die große Gruppe von Hobbyfotografen, die sich astrofotografisch betätigen und die Gruppe von Hobbyastronomen, die sich der Fotografie ihrer beobachteten Objekte widmen wollen.

Für mich ist dieses Werk von Katja Seidel das wichtigste Buch für meine zukünftigen astrofotografischen Gehversuche geworden. In der Workshopreihe „Astrofotografie“ wird dieses Buch noch viele wertvolle Hinweise liefern können. Es lässt sich hervorragend lesen und ist durch die vielen grandiosen Bilder ein Buch, das man immer wieder gerne in die Hand nimmt.

Warum nicht mal die Geminiden beobachten?

Ewald Segna

Jede Jahreszeit hat ihren Meteorstrom, mal sind sie mehr oder mal weniger auffällig. Der bekannteste Strom ist der der Perseiden, die um den 12./13. August ihr Maximum haben. Bis zu ca. 120 Sternschnuppen die Stunde können beobachtet werden. Aber Vorsicht! Diese Zahl ist eine nach einer Formel berechnete Größe. Um annähernd diese Anzahl sehen zu können, müssen schon viele Faktoren zusammenspielen (meistens ist das nicht der Fall). Exzellente Beobachtungsbedingungen, das heißt, sehr klarer Himmel, kein störendes Mondlicht, aber auch kein Streulicht, das durch die Beleuchtung von Dörfern und Städten an den Himmel projiziert wird und somit den Himmel aufhellt, eine gute



Rundumsicht und last but not least, bequeme, warme Kleidung und ein Liegestuhl. Ein Fernglas ist nicht notwendig. Das bloße Auge ist in diesem Fall das optimale „Instrument“. Dann steht einer Beobachtung nichts mehr im Wege.

Bei den Perseiden im August sind die temperaturtechnischen Wetterbedingungen ausgezeichnet. Viele Sternschnuppen von diesem Ereignis habe ich in den vergangenen Jahren aufgezeichnet und auch ausgewertet¹. Ja, ist auch im Sommer.

Aber es gibt einen Strom, der den Sternschnuppenfallzahlen der Perseiden in nichts nachsteht. Allerdings im Dezember und ja, die normalerweise kalten Temperaturen haben schon viele davon abgehalten (o.k. auch das in der Regel ungünstige Wetter), ihn zu beobachten. Die Rede ist von den Geminiden. Ein Sternschnuppenstrom, dessen Radiant im Sternbild der Zwillinge liegt, etwas nordwestlich des Sterns Castor.

2020 gibt es keine Entschuldigung mehr, ihn nicht zu beobachten. Es ist Neumond, das Maximum fällt auf den 14. Dezember um ca. 1:50 Uhr. Das ist auch ungefähr der Zeitpunkt, an dem der scheinbare Ausstrahlungspunkt ca. 70 Grad hoch am Himmel steht. Die Fallraten der Sternschnuppen lagen in den Vorjahren zwischen 100 und 150, Tendenz steigend. Ein großes Unterscheidungsmerkmal zwischen den Perseiden und den Geminiden sind die sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten, mit denen die kleinen Staubkörner in die Erdatmosphäre eintreten und die Leuchterscheinungen, die Meteore, hervorrufen. Die Perseiden sausen mit ca. 70 km/s über das Firmament und die Geminiden eher gemächlich mit ca. 35 km/s, darunter viele helle, gelb-weiß leuchtende.

Als Ursprungskörper der Meteoride gelten Kometen, die in der Nähe der Sonne durch Verdampfung Gas- und Staubteilchen verlieren. Die verteilen sich auf ihre Umlaufbahnen, und wenn die Erde diese Bahnen kreuzt, kommt es eben zu diesen Sternschnuppenercheinungen, die bedingt durch die Atmosphärenschichten der Erde aufleuchten. Bahndaten der Geminiden deuten als Ursprungskörper auf den Asteroiden Phaethon² (Durchmesser ca. 5,8 km) hin. Vermutet wird, dass Phaethon ein „erloschener Komet“ ist, der seine flüchtigen Bestandteile (Gas und Staub) bereits vollständig verloren hat. Viel Glück mit dem Wetter!

Quellen:

¹ Andromeda 2/2019 „Die Nacht der vielen Wünsche“

² https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2018/4/20181211_forscher-klaeren-ursprung-geminiden.html

Astronomie in der Schule des 21. Jahrhunderts

Paul Breitenstein

Können sich Jugendliche in der astronomischen Forschung nützlich machen und dabei Medienkompetenz erlangen?

Ich behaupte: Ja! Das ist zeitgemäß! Interaktive internationale Forschungszusammenarbeit unter Einbindung robotischer Systeme ist heute für Schülerinnen und Schüler kein Problem. Vieles läuft mit Hilfe des Internets „just in time“, auch von zu Hause aus!

Beispiel: Erdnahe Objekte NEOs

Asteroiden und Kometen werden heute nur noch sehr selten von Menschen entdeckt. Das liegt vor allem an den immer besser werdenden robotisch gesteuerten Durchmusterungsprogrammen, zum Beispiel mit Hilfe von Pan-STARRS 1¹ auf dem Haleakala/Hawaii, vom Mt. Lemmon Survey² in Arizona/USA oder vom 40cm WISE-Satellitenteleskop³ der NASA⁴. Diese Systeme erzeugen in 24 Stunden tausende von Aufnahmen, die kein Mensch mehr sichten kann. Bildanalyseprogramme entscheiden, ob hier evtl. ein bewegtes Objekt oder auch eine (Super-) Nova abgelichtet wurde. Dabei werden Objekte bis zu 22mag problemlos erfasst. Aus Gründen der Selbsterhaltung liegt ein besonderes Augenmerk auf erdnahen, bewegten Objekten (Near Earth Objects, kurz NEOs) und Kometen. Man möchte schließlich wissen, was sich in unserer näheren Umgebung wie bewegt. Solche Objekte werden umgehend an das von der NASA gegründete Minor Planet Center (MPC)⁵ beim Harvard Smithsonian Center for Astrophysics gemeldet und dort sofort für jedermann sichtbar in der „NEO CONFIRMATION PAGE (NEOCP)“ veröffentlicht:⁶

Jeder Astronom, ob Profi oder Amateur, ist aufgefordert, diese verdächtigen Objekte als tatsächlich existent zu bestätigen und mitzuhelfen, Art und Bahn der Objekte durch die Einsendung

eigener unabhängiger Beobachtungen exakter zu bestimmen. In den vergangenen Jahren haben die robotischen Systeme durch bessere Kameras und bessere Bildanalyse deutlich sichtbar an Effizienz gewonnen. Bei Neumond, der Hochzeit der Asteroidenjagd, warten auf der NEOCP schon mal bis zu 100 Kandidaten auf ihre Bestä-

The NEO Confirmation Page Page last updated on Oct. 25, 2020 UTC

Get confirmation status for:

eg or just the objects entered below:

Name (obj.)	Source	Discovery	S.A.	RA	DEC	Y.R.	Comment	Area	Area	Area	Area	Area	Area
(1) 2020 TS ₂	000	2020 10 24 9.5	05 54.9	+02 47	21.3		Confirmed Oct. 24, 2020 UT	0	0.00	21.9	0.750		
(1) 2020 TS ₁	000	2020 10 24 9.4	04 15.4	+02 26	20.7		Confirmed Oct. 24, 2020 UT	0	0.00	20.9	0.740		
(1) 2020 TS ₃	000	2020 10 24 9.9	03 36.3	+02 16	20.7		Confirmed Oct. 24, 41 UT	0	0.00	20.9	0.823		
(1) 2020 TS ₄	000	2020 10 24 9.9	01 55.2	+01 45	21.9		Confirmed Oct. 24, 44 UT	0	0.04	20.8	0.923		
(1) 2020 TS ₅	000	2020 10 24 9.5	00 07.0	+02 24	20.9		Confirmed Oct. 24, 59 UT	0	0.00	21.2	0.874		
(1) 2020 TS ₆	000	2020 10 24 9.9	00 27.8	+01 28	21.8		Confirmed Oct. 24, 59 UT	0	0.00	21.7	0.890		
(1) 2020 TS ₇	000	2020 10 24 9.2	22 26.9	+00 46	20.1		Confirmed Oct. 24, 71 UT	0	0.00	21.0	0.875		
(1) 2020 TS ₈	000	2020 10 24 9.5	08 00.4	+01 4	21.4		Confirmed Oct. 24, 82 UT	0	0.00	19.1	0.823		

Abb. 1: Auszug aus der NEOCP vom 25.10.2020 (https://minorplanetcenter.net/iau/NEO/toconfirm_tabular.html)

tigung. Viele können wegen fehlender Kapazität humaner Beobachter nicht bestätigt werden und enden vorerst als „nicht bestätigt“ in einem Datenpool, dem Isolated Tracklet File (ITF)⁷ des MPC. Zuarbeit ist also sehr gefragt:

The International Astronomical Union
IAU Minor Planet Center

OBSERVERS DATA LAWN BETA

Previous NEO Confirmation Page Objects

The following objects were listed previously on the NEOCP and have now received preliminary designations, where appropriate:

- 2020 TS₁ + P11796 (mag. 12.86 UT)
- 2020 TS₂ + P11797 (mag. 12.21 UT)
- 2020 TS₃ + P11798 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₂₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₃₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₄₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₅₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₆₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₇₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₈₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₁ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₂ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₃ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₄ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₅ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₆ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₇ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₈ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₉₉ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]
- 2020 TS₁₀₀ + P11799 (mag. 12.10 UT) [see MPEC 2020-130]

Abb. 2: Von Münster aus bestätigter Asteroid 2020 TS2 = N00h77m (grün); nicht bestätigte Meldungen (gelb).

Nur mit Hilfe des ersten MINT-EC-Camps „Kleinplaneten“ hat es ein Gesteinsbrocken von immerhin 600m Durchmesser geschafft als Asteroid 2020TS2 bekannt zu werden. Das Camp

fand vom 5. bis 8. Oktober 2020 im Planetarium Münster statt.

Erstes MINT-EC-Camp „Kleinplaneten“

Mich hat das große Interesse an diesem Workshop erstaunt. Wegen der Corona-Pandemie durften nur 10 der 20 angemeldeten Jugendlichen von fünf MINT-EC-Schulen⁸ aus Münster und Umgebung teilnehmen.



Abb. 3: Zehn Jugendliche erfolgreich bei der Asteroidenjagd mit Paul Breitenstein (m) und Dr. Tobias Jogler (f).

Alle Jugendlichen waren sehr interessiert und hatten schnell verstanden, wie sie den 2 Meter Reflektor mit Namen Faulkes Telescope South (FTS)⁹ in Siding Spring/Australien über das Internet steuern und die Bilddaten abrufen können. Ausgewertet wurden die Bilder von den jungen Leuten mit Hilfe des Programms Astrometrica¹⁰ von Herbert Raab auf ihren eigenen Notebooks.



Abb. 4: Siding Spring, 2m - Faulkes Telescope South (FTS) in 1165 Metern Höhe unter Dach in Muschelform links.

Für die Live-Beobachtung hatte uns das Faulkes Telescope Project drei Zeitfenster (Slots) von jeweils einer halben Stunde kostenlos zur Verfügung gestellt.

Schon am zweiten Tag wurden verschiedene verdächtige Objekte aus der NEOCP ausgesucht und ins Visier genommen. Darunter auch ein Objekt mit dem Namen N00h77m, das von der NEOWISE-Gruppe¹¹ am 04.10.2020 dem MPC mit den folgenden Daten gemeldet wurde:

Date (UT)	J2000 RA	J2000 Dec	Magn	Location	Ref
2020 10 02 .31505	21 03 09 .30	-56 14 45.7	19 R	C51 - WISE	MPS 1254983
2020 10 02 .38038	21 03 38 .90	+56 08 46.3		C51 - WISE	MPS 1254983
2020 10 02 .44583	21 04 06 .31	-56 02 48.1		C51 - WISE	MPS 1254983
2020 10 02 .51128	21 04 37 .48	-55 56 51.3		C51 - WISE	MPS 1254983
2020 10 02 .57661	21 05 06 .22	-55 50 56.5		C51 - WISE	MPS 1254983

Abb. 5: Messergebnisse der ersten fünf Aufnahmen des WISE-Satellitenteleskops von N00h77m aus der NEOCP.

Auf der Grundlage dieser Daten stellt das MPC auf der NEOCP eine Vorhersage für jeden Beobachtungsort auf der Erde zur Verfügung. Am 06.10.2020 um 11:15 Uhr war es so weit:

Das Fenster für die Fernsteuerung des FTS wurde geöffnet, das Wetter in Australien war gut und die vorhergesagten Himmelskoordinaten bereitgelegt. Im Remote-Modus machten die Jugendlichen sechs Aufnahmen mit je 20s Belichtungszeit mit dem FTS in Siding Spring/Australien:



Abb. 6: Objekt N00h77m (gelbe Punkte) passiert Fixstern (Ausschnitt aus dem Stack unserer 6 Aufnahmen)

Mit Spannung wurde die Auswertung erwartet. Ein Stück außerhalb des Zentrums fanden die Jugendlichen eigenständig das bewegte Objekt.

Richtung und Geschwindigkeit passten. Leider konnten nur drei Messergebnisse verwendet werden, da das Objekt während unserer Beobachtung gerade einen Fixstern passierte (Siehe Abb. 6):

2020 10 06.39603 21 26 39.40 -50 46 52.5 19.4 R E10 - Siding Spring-Faulkes Telescope South NPS 1254983
2020 10 06.39662 21 26 40.16 -50 46 41.9 19.3 R E10 - Siding Spring-Faulkes Telescope South NPS 1254983
2020 10 06.39932 21 26 40.34 -50 46 39.0 19.5 R E10 - Siding Spring-Faulkes Telescope South NPS 1254983

Abb. 7: Innerhalb von Minuten ergänzen unsere Messergebnisse die Messungen des WISE-Roboters in Abb. 5.

Und jetzt wird es interessant: Per E-Mail werden die Messergebnisse in einem genau festgelegten 80-Spalten ASCII-Format an das MPC übermittelt und nur wenige Minuten später werden die Messdaten der NEOWISE-Gruppe auf der NEOCP durch unsere Messergebnisse ergänzt. Außerdem werden die Vorhersagen des MPC für folgende Beobachter mit Hilfe unserer Daten verbessert.

Der dritte Slot beginnt am Freitag, den 08.10.2020, um 11:15Uhr. Alles ist vorbereitet. Die Gruppe hat sich im Vorfeld schon fast professionell in offener Diskussion auf fünf zu untersuchende Objekte aus der NEOCP geeinigt. Dazu soll auch N00h77m gehören, da unsere Bestätigung bislang die einzige ist. Das ist außergewöhnlich, da inzwischen zwei Tage vergangen sind und andere internationale Teams sich in der Regel an bereits einmal bestätigte Objekte anhängen. Die Genauigkeit der Vorhersage steigt schließlich mit jeder zusätzlichen Beobachtung. Außerdem benötigt das MPC mindestens drei Beobachtungen an drei unterschiedlichen Tagen für eine Anerkennung als Neuentdeckung.

- Haben wir einen Fehler gemacht?
• Ist das von uns beobachtete Objekt tatsächlich N00h77m?
• Oder haben wir vielleicht eine eigene Neuentdeckung gemacht?
• Befindet sich das Objekt tatsächlich an den vorhergesagten Orten?

Gewissheit kann nur eine erneute Beobachtung liefern. Die Jugendlichen sind glücklich, als sie N00h77m nur geringfügig entfernt von der vorhergesagten Stelle wiederfinden und die neuen

Messwerte aufnehmen. Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit passen:

Das gleiche Spiel: Nur wenige Minuten nach

2020 10 06.39603 21 26 39.40 -50 46 52.5 19.4 R E10 - Siding Spring-Faulkes Telescope South NPS 1254983
2020 10 06.39662 21 26 40.16 -50 46 41.9 19.3 R E10 - Siding Spring-Faulkes Telescope South NPS 1254983
2020 10 06.39932 21 26 40.34 -50 46 39.0 19.5 R E10 - Siding Spring-Faulkes Telescope South NPS 1254983

Abb. 8: Unsere Ergebnisse der dritten Beobachtungsreihe des Asteroiden N00h77m in der NEOCP.

Sendung unseres Reports werden die bisherigen Messdaten des Objekts N00h77m auf der NEOCP durch unsere Messergebnisse ergänzt. Mit insgesamt drei unterschiedlichen Beobachtungs-tagen ist die Existenz von N00h77m bestätigt! Trotzdem benötigte das MPC zwei weitere Beob-

H.P.E.C. 2020-T87 Issued 2020 October 11, 20:13 UT

The Minor Planet Electronic Circulars contain information on unusual minor planets and routine data on comets. They are published on behalf of Division P of the International Astronomical Union by the Minor Planet Center, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA 02138, U.S.A.

Prepared using the Tamin Foundation Computer Network

MPC@CPA, HARVARD, EDU
URL https://www.minorplanetcenter.net/ ISSN 1523-6734

2020 TS2

Observations:
K207025 2020 10 02.31505 21 03 09.30 -56 14 45.7 19 R1E007C51
K207025 2020 10 02.31505 1 + 3072.7245 - 2464.7422 - 5636.6381 ET007C51
K207025 2020 10 02.38038 21 03 30.90 -56 08 46.3 19.0 R0E007E10
K207025 2020 10 02.38038 1 + 3054.2501 - 2432.8562 - 5640.9350 ET007C51
K207025 2020 10 02.44551 21 04 00.31 -56 02 40.1 19.0 R0E007E10
K207025 2020 10 02.44583 1 + 3076.6902 - 2455.3878 - 5638.4772 ET007C51
K207025 2020 10 02.51126 21 04 37.48 -55 56 51.3 19.0 R0E007E10
K207025 2020 10 02.51126 1 + 3095.9908 - 2478.9942 - 5595.8353 ET007C51
K207025 2020 10 02.57661 21 05 06.22 -55 50 56.5 19.0 R0E007E10
K207025 2020 10 02.57661 1 + 3080.5474 - 2446.4246 - 5620.3172 ET007C51
K207025 2020 10 06.39603 21 26 39.40 -50 46 52.5 19.4 R0E007E10
K207025 2020 10 06.39662 21 26 40.16 -50 46 41.9 19.3 R0E007E10
K207025 2020 10 06.39932 21 26 40.34 -50 46 39.0 19.5 R0E007E10
K207025 2020 10 06.39937 21 26 40.33 -50 46 36.3 19.5 R0E007E10
K207025 2020 10 05.38723 21 34 31.07 -48 36 07.9 19.7 R0E007E10
K207025 2020 10 06.38810 21 34 31.31 -48 36 05.0 19.4 R0E007E10
K207025 2020 10 06.38899 21 34 31.48 -48 36 01.4 19.4 R0E007E10
K207025 2020 10 06.38898 21 34 31.64 -48 35 58.4 19.5 R0E007E10
K207025 2020 10 06.39085 21 34 31.83 -48 35 54.5 19.4 R0E007E10
K207025 2020 10 10.40948 21 41 05.09 -46 58 50.2 19.8 R0E007E10
K207025 2020 10 10.40996 21 41 05.19 -46 58 48.0 19.9 R0E007E10
K207025 2020 10 11.58123 21 44 23.58 -45 56 52.1 19.4 R0E007E10
K207025 2020 10 11.58363 21 44 23.84 -45 56 47.6 19.6 R0E007E10
K207025 2020 10 11.58411 21 44 23.91 -45 56 46.2 19.6 R0E007E10

Observer details:
C31 WISE, Observer Near-Earth Object wide-field Infrared Survey Explorer.
Messers A. K. Mainzer, J. H. Bauer, T. Grav, J. B. Masiero, R. H. Cutri,
Z. W. Galley, E. Kremer, J. Pittichova, S. Sonnett, E. Wright,
E10 Siding Spring-Faulkes Telescope South, Observers P. Breitenstein, L. Broering, L. Benesh, H. Stahl, A. Koester, Messers L. Benesh, H. Spierer, S. Nakamura, C. Ross, T. Stahl, G. Stolin, A. Koester, A. Derdes,
P. Schaefer, S. Ardet, P. Breitenstein, L. Broering, 2.0-m Ritchey-
Chrétien + CCD.

Orbital elements:
2020 TS2 Earth MOID = 0.2025 AU
Epoch 2020 Dec. 17.0 TT = JD 2459200.5 Verres
H 30.23308 P (2000.0)
n 0.24880836 Peri. 73.75753 -0.84197412 40.47931443
e -0.0492209 Node 134.09722 -0.52326968 -0.53355713
a 0.94944636 Incl. 30.14023 +0.1326301 -0.25594532
P 3.95 H 10.9 G 0.15 U 8

Residuals in seconds of arc:
201002 C51 0.1 -0.2+ 201006 E10 0.2+ 0.2+ 201010 E10 0.2+ 0.1+
201002 C51 0.4 -0.1+ 201008 E10 0.1- 0.3- 201010 E10 0.1- 0.1+
201002 C51 0.3- 0.1- 201008 E10 0.3- 0.1- 201010 E10 0.0 0.2+
201002 C51 0.3+ 0.1- 201008 E10 0.3+ 0.4- 201010 E10 0.2+ 0.0
201002 C51 0.3+ 0.2- 201008 E10 0.2+ 0.1- 201011 E10 0.2+ 0.1+
201006 E10 0.0 0.5+ 201008 E10 0.0 0.3- 201011 E10 0.1+ 0.1+
201006 E10 0.0 0.1+ 201008 E10 0.1- 0.0 201011 E10 0.0 0.0

Abb. 9: Minor Planet Electronic Circular (MPEC) 2020-T87 bescheinigt die Existenz von Asteroid 2020 TS2

achtungsserien am 10. und 11. Oktober, ehe das offizielle Minor Planet Electronic Circular MPEC 2020-T87¹² das Objekt als hinreichend bestätigt attestiert. Alle an der Entdeckung beteiligten Jugendlichen werden in diesem wissenschaftlichen Dokument aufgeführt. Außerdem wird mit der Auflistung der Residuen die hohe Genauigkeit unserer Messwerte bestätigt.

Asteroid N00h77m wird in Zukunft unter dem normierten, wissenschaftlichen Namen 2020 TS2 geführt und wegen der Bahnelemente mit hoher Exzentrizität ($e = 0.9494745$) dem Typ „Apollo“ zugeordnet. Aufgrund unserer Helligkeitsmessungen wird von der ESA ein Durchmesser von ca. 600 Metern angegeben. Erst am 23. Oktober 2020 wird der Brocken auch vom Mount John Observatory am Lake Tekapo/Neuseeland bestätigt.¹³ Die NASA veranschaulicht die Bahn von 2020 TS2 wie folgt:

Wie für Asteroiden vom Typ Apollo üblich,

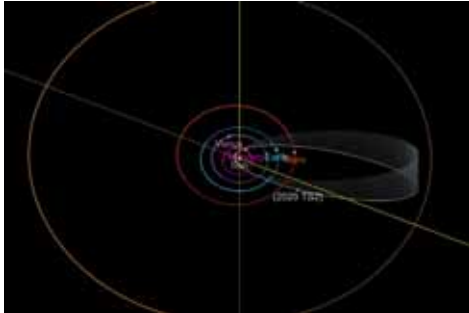


Abb. 10: Asteroid 2020 TS2 vom Typ Apollo auf seiner exzentrischen Bahn.¹⁴

kreuzt 2020 TS2 die Bahnen von Mars, Erde, Venus und Merkur. Da die Bahnebene mit einer Inklination von ca. 20° gegenüber der Ekliptik geneigt ist, besteht nach aktuellen Prognosen in naher Zukunft kaum Kollisionsgefahr mit den genannten Planeten. Ändern könnte sich dies nur dann, wenn der Brocken dem Merkur evtl. in sehr ferner Zukunft einmal zu nahe kommt, so dass die Gravitationskraft eine größere Bahnänderung bewirkt. Aktuell entfernt sich 2020 TS2 von der Erde und wird bald mit einer

Helligkeit von mehr als 22mag kaum noch beobachtbar sein. Erst in knapp vier Jahren wird er zurückerwartet. Obgleich unsere Messwerte recht genau sind, summieren sich kleine Fehler über diesen langen Zeitraum auf, so dass nur noch ein ellipsenförmiger Bereich am Sternenhimmel vorhergesagt werden kann, in dem der Gesteinsbrocken wieder beobachtbar sein wird. Für robotische Systeme ist es ein leichtes, solche Bereiche nach bereits bekannten Objekten, wie 2020 TS2, abzusuchen. Erst nach mehreren Umläufen um die Sonne, kann die Bahn eines Asteroiden über große Zeiträume sicher vorhergesagt werden. Es bleibt also spannend.

Die Jugendlichen konnten während des MINT-EC-Camps drei weitere Asteroiden aus der NEOCP bestätigen: Die NEOs vom Typ „Amor“ 2020 TX (MPEC 2020-T40)¹⁵ und 2020 TCI (MPEC 2020-T40)¹⁶ sowie den „Mars-Crosser“ 2016 VD30.¹⁷ An der Bestätigung von 2020 TX waren fünf, an der von 2020 TCI acht internationale Teams beteiligt. 2016 VD30 ist kein NEO; er kommt nicht nahe genug an die Erde heran.

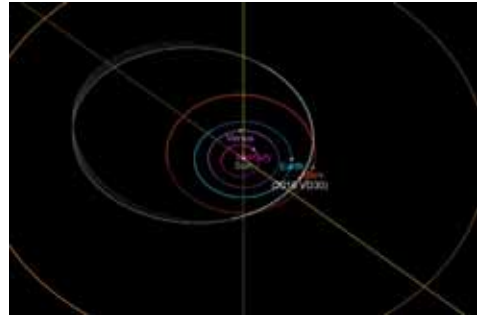


Abb. 11: Mars-Crosser 2016 VD30 wird 8 Jahre nach der ersten Sichtung dingfest gemacht.¹⁸

Alle Fotos: Workshop MINT-EC-Camp

Auf der Grundlage u.a. unserer Messungen hat das MPC in seinem Datenpool, dem schon oben erwähnten Isolated Tracklet File (ITF)¹⁹, vier gemeldete Messreihen aus den Jahren 2012 und 2016 gefunden, die zu der Bahn des Gesteinsbrockens passen. Es handelt sich hier also um eine Wiederentdeckung! Mit allen Daten aus insgesamt zwei Perioden gilt das Objekt damit als relativ sicher erfasst! Den Brocken mit einem

geschätzten Durchmesser von einem halben Kilometer wird man bei seiner Rückkehr im Jahr 2024 leicht wiederfinden können.

Moderne Astronomie und Medienkompetenz

Das Camp macht deutlich, dass sich Jugendliche sinnvoll an der Forschungsarbeit in der modernen Astronomie beteiligen können. Die Jugendlichen haben gelernt, dass die direkte Fernsteuerung von Forschungsgeräten alltäglich geworden ist.

Das Camp zeigt, dass in der modernen Forschung weltweite Interaktion normal ist. So greift z.B. das Auswertungsprogramm Astrometrica gleich beim Start auf die Datenbank des MPC zu, um die tagesaktuelle Datei MPCOrb.DAT mit allen bekannten Orbits von Asteroiden und Kometen herunterzuladen. Für die Eichung der Aufnahmen nutzt das Programm später eine Direktverbindung zu wissenschaftlichen Bibliotheken, um die aufgenommenen Fixsterne mit aktuell gültigen Sternkatalogen abzugleichen. Die genutzten wissenschaftlichen Bibliotheksserver müssen je nach Auslastung gewählt werden (u.a. Straßburg, Tokio, Cambridge, Beijing).

Die Sendung von MPC-Reports muss nach festgelegten Normen geschehen. Eine erfolgreiche Sendung bewirkt eine fast sofortige Reaktion des MPC-Systems: Ergänzung des Datenpools und Änderung der Vorhersagen.

Die Jugendlichen haben gelernt, dass es ein weltumfassendes, robotisches System von Teleskopen gibt, das als Frühwarnsystem vor Asteroideneinschlägen arbeiten soll. Aber zuletzt ist der Faktor Mensch als Regulativ wichtig, um zu entscheiden, ob von Robotern erfasste Gegebenheiten als wirklich vorhanden anerkannt werden können!

Hier führt weltweite Kooperation mit engagierten internationalen Teams zu einem schnellen und trotzdem belastbaren Erfolg. Dabei spielen Hautfarbe, nationale Zugehörigkeit und Geschlecht keine Rolle und sind in der Regel nicht einmal bekannt. Am meisten hat die Jugendlichen beeindruckt, dass sie über das eigene Notebook ein Großteleskop auf der anderen Seite

der Erde direkt steuern, die Bewegungen des Instruments optisch am Bildschirm beobachten und die entstandenen Aufnahmen direkt begutachten können. „Ich fand es gut, dass wir eigene Forschungsbeiträge leisten und selbst NEOs zum Bestätigen herausuchen konnten“, urteilt Anna vom KvG Hiltrup und Hannah vom Nepomucenum in Coesfeld ergänzt: „Das Camp hat auf jeden Fall viel Spaß gemacht, war sehr lehrreich und eine super Möglichkeit, einen Einblick in die Forschung und wissenschaftliches Arbeiten zu erhalten!“

Quellen:

1. <https://panstarrs.stsci.edu>
2. <https://catalina.lpl.arizona.edu>
3. https://www.nasa.gov/mission_pages/neowise/main/index.html
4. <https://www.nasa.gov>
5. <https://www.minorplanetcenter.net>
6. https://minorplanetcenter.net/iau/NEO/toconfirm_tabular.html
7. <https://minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCAT-OBS/MPCAT-OBS.html>
8. MINT-EC ist das nationale Excellence-Netzwerk von Schulen mit Sekundarstufe II und hervorragendem mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Schulprofil: <https://www.mint-ec.de>
9. <http://www.faulkes-telescope.com>
10. <http://www.astrometrica.at>
11. Die NEOWISE-Gruppe hat auch die ersten Aufnahmen des Kometen C/2020 F3 (NEOWISE) mit dem WISE-Satellit gemeldet, dessen Schweif im Sommer über Münster schön zu sehen war: https://www.nasa.gov/mission_pages/neowise/main/index.html
12. <https://minorplanetcenter.net/mpec/K20/K20T87.html> (Abb. 9)
13. https://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%26amp%3Bobject_id=2020%2F%20TS2
14. <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=2020%20TS2%20;old=0;orb=1;cov=0;log=0;cad=0#orb>
15. <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K20/K20T40.html>
16. <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K20/K20T45.html>
17. https://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%26amp%3Bobject_id=2016%2F%20VD30
18. <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=2016%20VD30%20;old=0;orb=1;cov=0;log=0;cad=0#orb>
19. <https://minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCAT-OBS/MPCAT-OBS.html>

1783 - 2020

Eine Geschichte von gefrorenen und dunklen Sternen, schwarzen Löchern und Singularitäten

Reinhard Mawick

Im Mittelpunkt des diesjährigen Nobelpreises für Physik standen Schwarze Löcher, die rätselhaftesten Objekte im Universum. Der Preis wurde zur einen Hälfte an Roger Penrose verliehen für die Feststellung, dass Schwarze Löcher innerhalb der Theorie der Allgemeinen Relativitätstheorie eine robuste Vorhersage darstellen. Penrose hat mathematisch gezeigt, dass schwarze Löcher keine obskuren mathematischen Kuriositäten innerhalb der Allgemeinen Relativitätstheorie sind, sondern sich zwingend aus den Erkenntnissen ergeben, die Albert Einstein über die Gravitation herausgefunden hat und sie als reale und konkrete Objekte im Universum existieren müssen.

Die andere Hälfte des Preises wurde zu gleichen Teilen Reinhard Genzel und Andrea Ghez verliehen für die Entdeckung eines supermassiven kompakten Objekts, kompatibel mit einem Schwarzen Loch, im Zentrum unserer Galaxie. Beide haben unabhängig voneinander, allerdings mit ähnlichen Methoden, nachgewiesen, dass sich im Zentrum der Milchstraße ein supermassives schwarzes Loch mit der mehr als viermillionenfachen Masse unserer Sonne befinden muss, ein Objekt, das den Namen Sagittarius A* (Sgr A*) trägt.

Die Geschichte der Entdeckung von Schwarzen Löchern begann im 17. Jahrhundert, sie steht in engem Zusammenhang mit den Fragen:

- Was ist Licht?
- Hat Licht eine Masse?
- Wie breitet sich Licht aus?
- Was ist Gravitation?
- Wie breitet sich Schwerkraft aus?

Die Geschichte der „Entdeckung“ Schwarzer Löcher dauerte mehr als 100 Jahre, sie war nur möglich, weil Wissenschaftler aufeinander auf-

bauen konnten. Im Folgenden ein kurz gefasster Abriss der wichtigsten Meilensteine.

1676 kam der dänische Astronom OLE RØMER durch die Beobachtung des Jupitermondes Io zu der Erkenntnis, dass das Licht sich mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreitet. Er hatte beobachtet, dass die Umlaufzeit von Io schwankte und dass diese regelmäßigen Schwankungen von der Entfernung des Jupiters zur Erde abhängig waren. Er kam zu dem Ergebnis, dass das Licht, dass wir von Io sehen, 22 Minuten benötigt, um den Erdbahndurchmesser zu durchqueren.

1676 konnte GIOVANNI DOMENICO CASSINI den Erdbahndurchmesser bestimmen. Er lehnte die Hypothese der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit allerdings ab und ging, wie René Descartes von instantaner Lichtausbreitung aus.

Zwei Jahre später, also **1678**, führte der niederländische Astronom CHRISTIAAN HUYGENS die Erkenntnisse von Rømer und Cassini zusammen. Aus den Licht-Laufzeit-Angaben von Rømer und dem nun bekannten Erdbahndurchmesser kam er für die Lichtgeschwindigkeit auf einen Wert von $212.000 \text{ km sek}^{-1}$. Er sah Licht als wellenförmig an und war der Auffassung, dass Licht keine Masse habe.

1687 veröffentlichte ISAAC NEWTON seine „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“⁴¹, in der er u.a. die Forschungen von Galilei zur Beschleunigung, die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegungen und die Forschung von Descartes zum Problem der Trägheit zu einer Theorie der Gravitation zusammenführte und die Grundgesetze der Bewegung formulierte. Licht war für Newton teilchenartig.

Die Vorstellung von teilchenartigem Licht, eventuell mit Masse ausgestattet, führte dann verbunden mit dem Gedanken um die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit und dem Wissen um das Konzept einer Fluchtgeschwindigkeit, die nötig ist, damit sich ein Objekt von der Schwerkraft eines Körpers lösen kann, zu den ersten Gedanken über Schwarze Löcher.

1783 veröffentlichte der englische Geologe und Astronom JOHN MICHELL einen Artikel², in dem er

einen Körper beschrieb, der so massiv ist, dass Licht von ihm nicht entweichen kann:

VII. *On the Means of discovering the Distance, Magnitude, &c. of the Fixed Stars, in consequence of the Diminution of the Velocity of their Light, in case such a Diminution should be found to take place in any of them, and such other Data should be procured from Observations, as would be farther necessary for that Purpose.* By the Rev. John Michell, B. D. F. R. S. In a Letter to Henry Cavendish, Esq. F. R. S. and A. S.

29. If there should really exist in nature any bodies, whose density is not less than that of the sun, and whose diameters are more than 500 times the diameter of the sun, since their light could not arrive at us; or if there should exist any other bodies of a somewhat smaller size, which are not naturally luminous; of the existence of bodies under either of these circumstances, we could have no information from sight; yet, if any other luminous bodies should happen to revolve about them we might still perhaps from the motions of these revolving bodies infer the existence of the central ones with some degree of probability, as this might afford a clue to some of the apparent irregularities of the revolving bodies, which would not be easily explicable on any other hypothesis; but as the consequences of such a supposition are very obvious, and the consideration of them somewhat beside my present purpose, I shall not prosecute them any farther.

Abb. 1

„Wenn der Radius einer Kugel von der gleichen Dichte wie die Sonne den der Sonne in einem Verhältnis von 500 zu 1 überstiege, hätte ein Körper, der aus unendlicher Höhe auf sie zu fiel, an ihrer Oberfläche eine höhere Geschwindigkeit als die des Lichts erlangt. Folglich – unter der Annahme, dass Licht von derselben im Verhältnis zu seiner Masse stehenden Kraft angezogen wird wie andere Körper auch – würde alles von einem solchen Körper abgegebene Licht infolge seiner eigenen Gravitation zu ihm zurückkehren. Dies gilt unter der Annahme, dass Licht von der Gravitation in der gleichen Weise beeinflusst wird wie massive Objekte.“

MITCHELL beschrieb in diesem Artikel weiter, dass diese Körper nachweisbare Gravitationseffekte hervorrufen müssten: „Wenn sich aus den Bewegungen dieser rotierenden Körper ein anderer leuchtender Körper um sie dreht, könnten wir vielleicht noch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf die Existenz des Zentralkörpers schließen; dies könnte uns auch einen Hinweis auf einige der Unregelmäßigkeiten der rotierenden Körper geben, die mit keiner anderen Hypothese leicht zu erklären wären.“ MITCHELLS Arbeit blieb aber ohne Resonanz.

Einige Jahre später, 1796, befasste sich der französische Mathematiker und Astronom, JEAN-

PIERRE LAPLACE mit den gleichen Gedanken. In seiner Arbeit „Exposition du Système du Monde“ beschrieb er seine Idee schwerster Sterne, von denen korpuskulares Licht nicht entkommen könnte. Er bezeichnete diese Sterne als „Dunkle Körper“ (corps obscur): „Ein leuchtender Stern von der gleichen Dichte wie die Erde, dessen Durchmesser 250-mal größer wäre als der der Sonne, würde aufgrund seiner Anziehungskraft keinen seiner Strahlen auf uns ausstrahlen. Es ist daher möglich, dass die größten Leuchtkörper im Universum durch diese Ursache unsichtbar sind.“

Den Beweis für seine in der „Exposition“ dargelegte Hypothese von Dunklen Körpern lieferte LAPLACE 1799 nach³. Er bewegte sich bei seinen Berechnungen im Rahmen der newtonschen Mechanik.

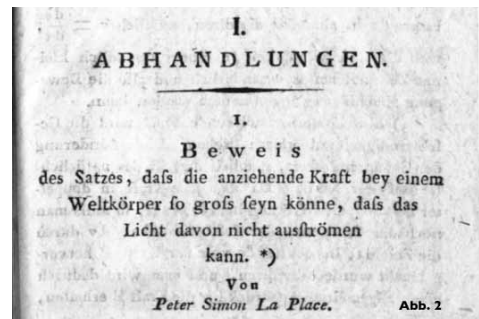


Abb. 2

So war am Ende des 18. Jahrhunderts die Idee der Schwarzen Löcher geboren worden. Die französische Akademie der Wissenschaften akzeptierte die Arbeit von LAPLACE aber nicht, sie war zu fantasievoll. Man war aufgrund der Arbeiten von AUGUSTIN JEAN FRESNEL und THOMAS YOUNG von der Wellentheorie des Lichts überzeugt und lehnte die der Arbeit von LAPLACE zugrunde liegende Teilchennatur des Lichtes ab. Um die Idee und den Begriff der DUNKLEN KÖRPER wurde es mehr als ein Jahrhundert lang DUNKEL.

Er tauchte erst Anfang des 20. Jahrhunderts wieder auf, als ALBERT EINSTEIN seine allgemeine Relativitätstheorie veröffentlichte.

Im gleichen Jahr, in dem ALBERT EINSTEIN die Spezielle Relativitätstheorie veröffentlichte, 1905,

veröffentlichte HENRI POINCARÉ seine Arbeit „Über die Dynamik des Elektrons“⁴. Auch wenn er ein Jahr zuvor noch seine Unsicherheit ob der Möglichkeit einer instantanen Ausbreitung von Gravitation dargelegt hatte⁵, kam er in „Über die Dynamik des Elektrons“ zu der Überzeugung, dass ein Lorenz-invariantes Gravitationsgesetz mit einer maximalen Ausbreitungsgeschwindigkeit von Gravitation (also mit $c=2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ m s}^{-1}$) möglich sei.

Am 25. November 1915 übergab ALBERT EINSTEIN der königlich preußischen Akademie der Wissenschaften ein Manuskript mit dem Titel: „Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie“⁶.

In der Allgemeinen Relativitätstheorie wird die Gravitation als Eigenschaft des Raumes identifiziert, dessen Struktur durch die Anwesenheit von Materie verändert wird. Der Raum ist keine absolute Einheit mehr, sondern eine flexible Struktur, die durch Materie deformiert wird. Der Lauf der Zeit wird auch durch die Anwesenheit von Materie beeinflusst. Die Komplexität der Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie war so hoch, dass Einstein selbst sehr skeptisch war, ob genaue Lösungen zu finden wären.

1916 äußerte sich Albert Einstein erstmalig zur Ausbreitung der Gravitation⁷: *„Daraus folgt zunächst, daß sich Gravitationsfelder mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Wir werden im Anschluss an diese allgemeine Lösung die Gravitationswellen und deren Entstehungsweise untersuchen.“*

Nach der allgemeinen Relativitätstheorie wirken Änderungen des Gravitationsfeldes nicht instantan im ganzen Raum, wie es in der newtonschen Himmelsmechanik angenommen wird, sondern breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Demnach werden von jedem System beschleunigter Massen (z. B. einem Doppelsternsystem oder einem um die Sonne kreisenden Planeten) Gravitationswellen erzeugt, ähnlich wie beschleunigte elektrische Ladungen elektromagnetische Wellen abstrahlen.

Bei seiner Vorstellung der Allgemeinen Relativitätstheorie war Einstein aufgrund der hohen Komplexität seiner Feldgleichungen noch sehr skeptisch hinsichtlich genauer Lösungen gewesen. Nur ein Jahr später, 1916, veröffentlichte

der deutsche Astronom Karl Schwarzschild eine Lösung der Feldgleichung. Die Schwarzschild-Lösung beschreibt Größe und Verhalten eines nichtrotierenden und nicht elektrisch geladenen statischen Schwarzen Lochs mit dem sogenannten Ereignishorizont bei $r = 2GMc^{-2}$ und einer zentralen Singularität bei $r = 0$.

Dabei steht G für die Gravitationskonstante, M für die Masse des Schwarzen Lochs und c für die Lichtgeschwindigkeit.

1918 veröffentlichte ALBERT EINSTEIN erneut Artikel „Über Gravitationswellen“, da seine 18 Monaten zuvor veröffentlichte Arbeit zum Thema nicht genügend durchsichtig und durch einen Rechenfehler verunstaltet war.

1931 beschrieb SUBRAHMANYAN CHANDRASEKHAR in „The density of White Dwarf stars“ und „The maximum mass of ideal White Dwarfs“ eine theoretische obere Grenze für die Masse eines Weißen Zwerges: Wenn ein Stern wie die Sonne nach Erlöschen seiner Kernfusionsprozesse in sich zusammenfällt, bilde er einen Weißen Zwerg. Dies passiere bei allen Sternen bis zu einer bestimmten Masse, der Chandrasekhar-Grenzmasse. Bei massereicheren Sternen reiche der Entartungsdruck im Stern nicht aus, um den Weißen Zwerg zu stabilisieren. Die Grenzmasse, auch: kritische Masse M_{krit} (M_{\odot}), bei der sich ein Weißer Zwerg stabilisieren könne, sei abhängig von seiner Zusammensetzung. Für Weiße Zwerge, die vorwiegend aus Kohlenstoff- oder Sauerstoff-Isotopen bestünden, betrüge die kritische Masse $1,457 M_{\odot}$, für Weiße Zwerge mit einem Eisenkern $2,154 M_{\odot}$.

1932 beschrieb KARL JANSKY in „Radio waves from outside the solar system“, wie er bei Arbeiten mit einer 100 Fuß langen, rotierenden Antenne versuchte herauszufinden, was der Grund für Störungen transatlantischer Telefongespräche sei. Er entdeckte, dass das Rauschen von überall herkam. Janskys zufällige Entdeckung dessen, was er „Sternenrauschen“ nannte, führte 20 Jahre später zu Arbeiten auf dem Gebiet der Radioastronomie, und der Rest ist Geschichte - oder besser gesagt - Kosmologie.

1933 entdeckte GEORGES LEMAITRE eine sphärisch symmetrische Lösung der Einstein-Feldgleich-

ungen für die Schwarzschild-Metrik. In Lemaître-Koordinaten gäbe es am Schwarzschild-Radius keine Singularität entsprechend einem Punkt. Es bleibe jedoch eine echte Gravitationsingularität im Zentrum. Sie definiere die richtige Zeit für sich gemeinsam bewegende Beobachter. Radial fallende Körper erreichten innerhalb begrenzter Zeit den Schwarzschild-Radius und das Zentrum entlang der Flugbahn eines radialen Lichtstrahls; daher könne kein Signal aus dem Schwarzschild-Radius entweichen, alle Geodäten liefen auf den Ursprung zurück.

1938 stellte FRANZ ZWICKY die Hypothese auf, dass Supernova-Explosionen als Folge eines Gravitationskollaps mit der Bildung eines Neutronensterns enden können („On collapsed neutron stars“)

1939 griffen J. R. OPPENHEIMER und H. SNYDER in der Arbeit „On continued gravitational contraction“ wieder das Thema Sternkollaps nach Ende des Fusionsprozesses auf. Sie kamen zu dem Schluss, dass es beim Kollaps eines großen Sterns eine maximale Masse für die Entstehung von Neutronensternen geben müsse. Würde diese überschritten, entstünde ein schwarzer oder gefrorener Stern, der sich jeder Kommunikation mit einem fernen Beobachter verschließe. Nur sein Gravitationsfeld bestünde weiter.

1939 griff ALBERT EINSTEIN in „On a stationary system with spherical symmetry consisting of many gravitating masses“ auf die Ergebnisse der 1916er Arbeit von Karl Schwarzschild zurück: „Das wesentliche Ergebnis dieses Artikels ist ein klares Verständnis dafür, warum „Schwarzschild-Singularitäten“ in der physischen Realität nicht existieren.“

1939 berechnete J. R. OPPENHEIMER und G. M. VOLKOFF in „On massive neutron cores“ die Masse eines Sterns, ab der, wird sie überschritten, aus einem kollabierenden Stern ein Schwarzes Loch würde: Die Oppenheimer-Volkoff-Grenze (0,7 Sonnenmassen (2)): „Die Sternmaterie wird nach der Erschöpfung der thermonuklearen Energiequellen, wenn sie massiv genug ist, auf unbestimmte Zeit, wenn auch immer langsamer, schrumpfen und nie ein wirkliches Gleichgewicht erreichen.“

1944 dachte ROGER PENROSE über gefangene Oberflächen nach. Dies „[...] sind zweidimensionale, geschlossene Gebilde, die ein massivstes Objekt umschließen, das alle Strahlung nach innen auf das Zentrum der Masse zwingt.“ Im Inneren dieses Rings einer Oberfläche liege immer eine Singularität, ein Punkt, an dem Raum und Zeit nicht mehr definierbar seien.

1958 beschrieb DAVID FINKELSTEIN in „Past-future asymmetry of the gravitational field of a point particle“ was mit Punktteilchen bei Überschreiten des Ereignishorizontes geschähe: „Die analytische Ausdehnung der Schwarzschild-Lösung für das Äußere ist in einer geschlossenen Form gegeben, die während der gesamten leeren Raumzeit gültig ist und außer dem Ursprung keine Unregelmäßigkeiten aufweist. Das Gravitationsfeld eines kugelförmigen Punktteilchens wird dann bei Zeitumkehrung für jede zulässige Wahl der Zeitkoordinate als nicht invariant angesehen. Die Schwarzschildfläche $r = 2m$ ist keine Singularität, sondern wirkt wie eine perfekte unidirektionale Membran: Kausale Einflüsse können sie durchqueren, aber nur in einer Richtung.“

1963 gelang MARTEEN SCHMIDT die erste Entdeckung eines Quasars: „3C 273: A star like object with large redshift“.

Die noch nie dagewesene Identifizierung des Spektrums eines scheinbar stellaren Objekts im Hinblick auf eine große Rotverschiebung legte für ihn eine der beiden folgenden Erklärungen nahe:

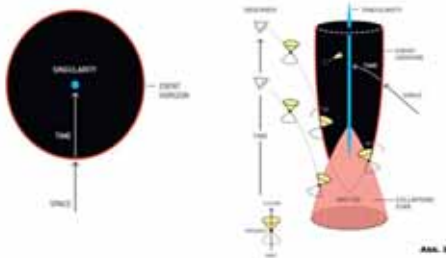
1. 3C 273 ist ein stellares Objekt mit großer gravitativer Rotverschiebung und einem Radius in der Größenordnung von 10 km.
2. 3C 273 ist der Kernbereich einer Galaxie mit einer kosmologischen Rotverschiebung von $z=0,158$, was einer scheinbaren Geschwindigkeit von 47.400 km s^{-1} entspräche. Die Entfernung würde etwa 500 Megaparsec betragen und der Durchmesser des Kernbereichs müsste optisch etwa 100 Mal heller sein als die leuchtenden Galaxien, die bisher mit Radioquellen identifiziert wurden.

1963 beschrieb ROY KERR eine Lösung für ein rotierendes Schwarzes Loch: Die Kerr-Metrik. Allerdings verwendete er den Begriff Schwarzes

Loch nicht. Er schrieb von „Schwarzen Sternen“ oder „gefrorenen Sternen“. „Gefroren“ als Metapher dafür, dass nach der Theorie der gravitativen Zeitdilatation von außen gesehen am Rand des Schwarzen Lochs die Zeit stillzustehen scheint.

1964 wurde der Begriff „SCHWARZES LOCH“ zum ersten Mal auf einem Symposium der American Association for the Advancement of Science benutzt. Thema des Symposiums waren die verschiedenen Endstadien von Sternen. Der Begriff etablierte sich aber erst später.

1965 wies ROGER PENROSE in der theoretischen Arbeit „Gravitational collapse and space-time singularities“ nach, dass es in einem Schwarzen Loch eine Singularität unendlicher Dichte sowie eine unendlich Krümmung der Raumzeit geben müsse. Penrose machte sich, unter der Annahme, dass die kollabierende Materie eine positive Energiedichte habe, daran, die Situation zu analysieren. Um dies zu erreichen, musste er, um die Topologie nutzen zu können, neue mathematische Methoden erfinden. Das Schlüsselkonzept war das einer eingeschlossenen oder gefangenen Oberfläche. Das Konzept erklärt, warum Licht und Materie den Ereignishorizont eines Schwarzen Lochs nur in eine Richtung (nach innen) passieren können: Raum und Zeit tauschen im Inneren dieser gefangenen Oberfläche ihre Rollen, die Zeit ersetzt den Raum. Es gibt nur noch eine Richtung, „vorwärts“ entspricht hierbei „in die Zukunft“. Dadurch wird die Bewegung nach innen zur Vorwärtsbewegung in der Zeit. Genau dies macht eine Rückkehr aus dem Schwarzen Loch unmöglich – rückwärts wäre ein Weg in die Vergangenheit, die Rückkehr



aus dem Schwarzen Loch damit eine Zeitreise in die Vergangenheit.

Der Fluss der Zeit trägt alles zu einer Singularität, die am weitesten im Inneren des Schwarzen Lochs liegt, wo die Dichte unendlich ist und die Zeit endet.

Der Lichtkegel in Abb. 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Lichtstrahlen vorwärts und rückwärts. Wenn Materie kollabiert und ein Schwarzes Loch bildet, dreht sich der Lichtkegel, der den Ereignishorizont des Schwarzen Lochs durchquert, nach innen, zur Singularität hin. Ein außenstehender Beobachter wird nie wirklich sehen, wie die Strahlen den Ereignishorizont erreichen, sie stoßen ihn nur an. Niemand kann weiter nach innen sehen.

1966 führte STEPHEN HAWKING mit dem Singularitäten-Theorem („The occurrence of singularities in cosmology“) den Nachweis, dass das Universum mit einer Singularität begonnen haben müsse und zeigt dabei gleichzeitig auf, dass die Allgemeine Relativitätstheorie allein nicht ausreichte, um den Kosmos und seinen Anfang zu verstehen.

1967 etablierte John ARCHIBALD WHEELER den Begriff BLACK HOLE, als er 1967 bei einer Konferenz im Goddard Institute for Space Studies einen Ersatz für den langen Ausdruck „gravitationally completely collapsed object“ suchte und den Vorschlag eines unbekannt gebliebenen Zuhörers aufgriff¹². „Nachdem Sie etwa 10 Mal „gravitationell vollständig kollabiertes Objekt“ gesagt haben“, erinnert sich Dr. Wheeler, „suchen Sie verzweifelt nach etwas Besserem“.

1967 erkannte WERNER ISRAEL, dass ein Schwarzes Loch eindeutig bestimmt ist durch Masse, elektrische Ladung und Drehimpuls. JOHN ARCHIBALD WHEELER fasste dies zusammen in dem Satz: „Schwarze Löcher haben keine Haare“.

1969 beschrieben ROGER PENROSE UND STEPHEN HAWKING in ihrer gemeinsamen Arbeit zum Singularitäten-Theorem, dass in der Allgemeinen Relativitätstheorie grundsätzlich mit Singularitäten zu rechnen sei, diese können nicht vermieden werden. Im gleichen Jahr veröffentlicht ROGER PENROSE die „Cosmic censorship hypothesis“, nach der nackte Singularitäten in

der Natur vorkommen können. Er bezeichnete dies als kosmische Zensur.

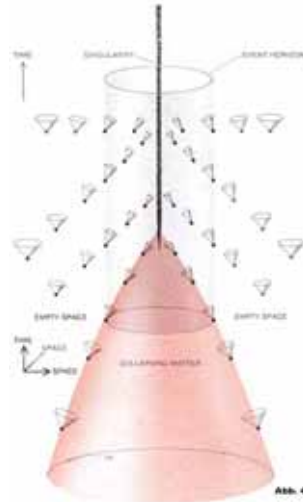
Nach dem Standardmodell der Kosmologie kann der Urknall als eine nackte Singularität aufgefasst werden!

STEPHEN HAWKING beschrieb in „Gravitational radiation from colliding black holes“ das AREA THEOREM: Schwarze Löcher strahlen bei Kollisionen Gravitationswellen ab. Sie verlieren damit also Energie – die Fläche, die der sogenannte Ereignishorizont umschließt, könne aber trotzdem nicht schrumpfen: „Bei der Kollision zweier schwarzer Löcher ist der Ereignishorizont des bei der Verschmelzung entstehenden Lochs größer als die Summe der Größe der Horizonte der beiden einzelnen Löcher. Der Ereignishorizont eines Schwarzen Lochs kann bei physikalischen Prozessen nicht schrumpfen.“

1971 wurde von dem US-amerikanischen Astronomen TOM BOLTON Cygnus X-1 entdeckt. Das Röntgendoppelsternsystem ist das erste tatsächlich existierende Schwarze Loch, das überhaupt nachgewiesen werden konnte. Der Nachweis erfolgte durch theoretische Arbeiten – die physikalischen Entdeckungen (Bedingungen) ließen keinen anderen Schluss zu.

1971 sagten MARTIN REES U. D. LYNDEN-BELL: in „On Quasars, dust and the galactic centre“ ein supermassives Schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße voraus.

1972 gab es Anzeichen dafür, dass quasistellare Objekte tatsächlich durch akkretierende Schwarze Löcher angetrieben wurden. Nichtsdestotrotz galt dieses Szenario immer noch als umstritten. Eindeutige Beweise für die Existenz von Schwarzen Löchern waren noch in weiter Ferne. ROGER PENROSE schrieb einen Artikel, um den Lesern von „Scientific American“ Schwarze Löcher vertraut zu machen. Er behandelte Themen wie die Tatsache, dass Licht einem Schwarzen Loch nicht entkommen kann, dass einige Schwarze Löcher rotieren und nackte Singularitäten existieren können. Die Energieumwandlungseffizienz, die offenbar mit Schwarzen Löchern in Verbindung gebracht wird, blieb jedoch immer noch



ein Rätsel. Die Akkretion von Materie hatte ihren Platz im Paradigma der Quasare noch nicht eingenommen.

In dem 1972 in „Scientific American“ erschienen Artikel „Black Holes“ schrieb PENROSE:

„Der sphärische gravitative Kollaps eines Sterns kann in

einem Raum-Zeit-Diagramm dargestellt werden, in dem zwei der drei Raumdimensionen horizontal und die Zeitdimension nach oben aufgetragen sind. Der Stern kollabiert, bis sein Gravitationsfeld so stark wird, dass kein Licht austreten kann und ein Ereignishorizont entsteht. Die Materie des Sterns kollabiert bis zu einer „Singularität“ zu null Volumen und unendlicher Dichte, wo die gegenwärtigen Gesetze der Physik zusammenbrechen.

Die Ausbreitung von Lichtsignalen von verschiedenen Punkten wird durch Lichtkegel angezeigt. Das Licht von Punkten, die näher an der stark anziehenden Singularität liegen, wird mehr zur Singularität hin verschoben als das Licht von weiter entfernten Punkten. Auch wenn die Lichtkegel in der Nähe der Singularität gekippt dargestellt werden, gilt für die lokalen Bezugssysteme der Lichtkegel immer noch die spezielle Relativitätstheorie und die Lichtgeschwindigkeit ist nach wie vor die begrenzende Geschwindigkeit.“ (siehe Abb. 4)

1973 erkannte JAKOB BEKENSTEIN Parallelen von Thermodynamik und Schwarzen Löchern, die Fläche des Ereignishorizonts eines Schwarzen Loches trage Entropie, die Physik Schwarzer Löcher weise Parallelen zur Thermodynamik auf. Es existieren Varianten der thermodynamischen Hauptsätze für Schwarze Löcher (siehe Tabelle I). Dabei entspräche die Entropie eines

Schwarzen Lochs einem Viertel der Oberfläche gemessen in Einheiten der Planck-Fläche. Die Planck-Länge beträgt $1,6 \cdot 10^{-35}m$, die Planck-Fläche entsprechend $2,6 \cdot 10^{-70}m^2$, somit hat

ein Schwarzes Loch von einer Sonnenmasse (Schwarzschild-Radius 3 km, Oberfläche ca. $100 km^2 = 3,9 \cdot 10^{77}$ Planck-Flächen) eine Entropie von ca. $10^{77} J K^{-1}$.

Hauptsatz	Thermodynamik	Schwarze Löcher
Nullter	Im thermodynamischen Gleichgewicht ist die Temperatur überall gleich.	Am Ereignishorizont ist die Schwerkraft überall gleich.
Erster	Die Energie eines abgeschlossenen Systems ist konstant.	Die Masse eines isolierten Schwarzen Lochs ist konstant.
Zweiter	Die Entropie eines abgeschlossenen Systems kann nicht abnehmen.	Die Oberfläche des Ereignishorizonts eines Schwarzen Lochs kann nicht abnehmen.
Dritter	Der absolute Nullpunkt der Temperatur ist unerreichbar.	Die Schwerkraft eines beliebig kleinen Schwarzen Lochs kann nicht Null werden.

Tabelle 1: Parallelen der Hauptsätze der Thermodynamik und der Schwarzen Löcher nach Bekenstein (1973)

1973 wies STEPHEN HAWKING die BEKENSTEIN Theorie nach der Schwarze Löcher Entropie tragen, zurück und veröffentlichte kurz danach

mit B. CARTER, J. M. BARDEEN einen Vorschlag über 4 Gesetze der Mechanik Schwarzer Löcher (Tabelle 2):

Vier Gesetze der Mechanik Schwarzer Löcher	
0	Die gravitative Beschleunigung am Ereignishorizont eines stationären, nicht-rotierenden schwarzen Lochs hat überall den gleichen Wert.
1	Bei äußeren Störungen ändert sich die Gesamtenergie eines Schwarzen Lochs auf eine ganz bestimmte Weise
2	Die Fläche des Ereignishorizonts kann entweder gleichbleiben oder wachsen, aber nie schrumpfen.
3	Es ist nicht möglich, ein Schwarzes Loch zu erzeugen, dessen Schwerebeschleunigung am Ereignishorizont gleich null ist.

Schwarzer Löcher, die heute Hawking Strahlung genannt wird: „In der „Atmosphäre“ des Schwarzen Lochs, also nah am Ereignishorizont entstehen fortwährend neue Teilchen-Paare aus Materie und Antimaterie. Sie existieren nur sehr kurz; daher ‚virtuelle‘ Teilchen genannt und vernichten sich dann gegenseitig wieder. Ereignet sich eine derartige

Tabelle 2 : Die vier Gesetze der Mechanik Schwarzer Löcher nach Hawking et al (1973)

Fluktuation in unmittelbarer Nähe des Ereignishorizonts eines Schwarzen Lochs, so kann es aufgrund der starken Raumzeitkrümmung in diesem Bereich zu einer Trennung der virtuellen Teilchenpaare kommen. Eines der beiden Teilchen fliegt in das Schwarze Loch, während das andere Teilchen sich vom Schwarzen Loch wegbewegt. Hat das Teilchen, das den Ereignishorizont überquert, negative Energie, verringert sich die Masse des Schwarzen Lochs. Von außen sieht man also, wie das Schwarze Loch ein bisschen leichter wird und gleichzeitig ein neues Teilchen von seinem Ereignishorizont hinaus in die Welt fliegt. Das schwarze Loch ‚strahlt‘“

1974 stimmte STEPHEN HAWKING dann der BEKENSTEIN- Theorie, dass Schwarze Löcher Entropie tragen, zu.

1974 entdeckten RUSSELL ALAN HULSE UND JOSEPH HOOTON TAYLOR den ersten Doppelpulsar. Dessen Existenz zeigte, dass zwei Neutronensterne oder zwei Schwarze Löcher schließlich zu einem größeren Schwarzen Loch zusammenstoßen könnten.

1974 beschrieb STEPHEN HAWKING: in “Particle creation by black holes” eine Strahlung

- Schwarze Löcher sind schwarz
- Und Löcher
- Löcher, aus denen nichts heraus kommt, nicht mal Licht
- Deswegen sind sie schwarz
- Aber nicht ganz!

1983 veröffentlichte S. CHANDRASEKHAR eine „Mathematische Theorie der Schwarzen Löcher“. In der Einleitung zur Arbeit schrieb er: „Lassen Sie mich mit der Definition eines Schwarzen Lochs beginnen. Für meine Zwecke genügt es zu sagen, dass ein Schwarzes Loch ein zeitunabhängiges, asymptotisch flaches Raum-Zeit-Gleichungssystem ist, das den dreidimensionalen Raum in zwei Regionen teilt: eine äußere Region und eine innere

Abb. 5: „Schwarze Löcher sind ...“ nach S. Hawking

Region, die durch eine glatte, konvexe, zweidimensionale Fläche - den Ereignishorizont - so voneinander getrennt sind, dass kein Punkt im Inneren mit dem äußeren Raum kommunizierbar ist. [...] ... sind die Schwarzen Löcher der Natur die perfektesten makroskopischen Objekte, die es im Universum gibt. Sie sind fast per definitionem die perfektesten, da die einzigen Elemente in ihrer Konstruktion unsere Vorstellungen von Raum und Zeit sind. Und da die allgemeine Relativitätstheorie nur eine einzige einzigartige Familie von Lösungen für ihre Beschreibung liefert, sind sie auch die einfachsten Objekte.“

1988 gab ROGER PENROSE in „Singularities and big bang cosmology“ einen Rückblick auf die Geschichte der Entwicklung der Urknalltheorie, einschließlich der Natur der Singularitäten in Schwarzen Löchern und ihres Beitrags zur Erforschung des Ursprungs des Universums. Verschiedene Modelle zur Entstehung des Universums, die Frage der kosmischen Zensur und die möglichen Auswirkungen des Gravitationskollapses wurden diskutiert.

1995 beschrieb STEPHEN HAWKING das „Informations-Paradoxon“: Die Materie, aus der das Schwarze Loch besteht, müsse so enorm stark komprimiert worden sein, dass sie quasi nur noch ein unvorstellbar dichter ‚Punkt‘ aus Materie sei. Es gäbe nur drei Parameter, die ein Schwarzes Loch vollständig beschreiben: Masse, elektrische Ladung und Drehimpuls. Egal wie die Materie ursprünglich beschaffen war, aus der das schwarze Loch entstanden ist: Am Ende bleibt ein Ding mit genau diesen drei Eigenschaften übrig und nicht mehr. Deswegen muss auch die Hawking-Strahlung rein thermisch sein, also komplett unabhängig vom Material, das hinter den Ereignishorizont fällt.

2002 führt REINHARD GENZEL Beobachtungen an Sagittarius A* durch.

REINHARD GENZEL und seine Gruppe, die am Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte (ESO) forschen, konnten einen Stern beobachten, der sich der Region Sagittarius A* auf 17 Lichtstunden ($\approx 18,36$ Milliarden Kilometer) genähert hatte. Die Forscher konnten bei ihren Beobachtungen eine plötzliche Kehrtwendung

des 15 Sonnenmassen schweren Sterns S2 erkennen. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit des Sterns kann dieser Vorgang nur als Bahnbewegung um ein Schwarzes Loch interpretiert werden. Durch die geringe Entfernung von S2 zu der enormen Masse des Schwarzen Loches ist seine Umlaufgeschwindigkeit sehr hoch. Seine Masse beträgt $10 - 15 M_{\odot}$, seine Bahngeschwindigkeit bis zu $27.000.000 \text{ km h}^{-1}$ (4). Seine Umlaufbahn ist relativ stabil; erst wenn sich S2 dem Schwarzen Loch auf 16 Lichtminuten genähert habe, würde er durch die Gezeitenkräfte zerrissen werden. Für einen Umlauf um das Zentrum benötigt S2 nur 15,2 Jahre.

2004 kam STEPHEN HAWKING zu der Auffassung, dass das „Informations-Paradoxon“ ein Irrtum war. Nach einer unermesslich langen Zeit ($>10^{66}$ Jahre) gäben die Schwarzen Löcher endlich die Informationen frei, die sie gefangen gehalten haben.

2004 zeigten RENNAN BARKANA U. ABRAHAM LOEB in “Spectral signature of cosmological infall of gas around the first quasars” wie Schwarze Löcher wachsen, insbesondere solche, die am Rande des beobachtbaren Universums gefunden wurden. Diese stellten ein hartnäckiges Problem dar; es waren Quasare beobachtet worden in einer Zeit von weniger als einer Milliarde Jahre nach dem Urknall. Sie stellten die Theorie auf, dass Quasare durch Wasserstoff aus den Filamenten gespeist würden, der in Richtung des Schwarzen Lochs im Zentrum von Halos aus massiver dunkler Materie kollabiert. (3)

2006 veröffentlichte REINHARD GENZEL erste Ergebnisse seiner Gruppe über den Umlauf von S2 um Sagittarius A*.

2009 führte ROGER PENROSE in “Black holes, quantum theory and cosmology” Gründe für die Annahme an, dass die Regeln der Quanten(feld)theorie geändert werden müssten, wenn die Allgemeine Relativitätstheorie für Schwarze Löcher gültig ist.

2014 beobachtete JEFF STEINHAEUER selbstverstärkende Hawking-Strahlung. Eine der auffälligsten Vorhersagen, die über Schwarze Löcher gemacht wurden, war, dass sie tatsächlich durch dasjenige strahlen, das heute als Hawking-Strahlung

bekannt ist (vgl. Hawking (1974) „Black holes explosions“). Im Jahr 2014 gelang es Jeff Steinhauer, mit Hilfe eines atomaren Bose-Einstein-Kondensats ein geladenes Schwarzes Loch analog zu erzeugen. Der Autor zeigte, dass von diesem analogen Schwarzen Loch ausgehende selbstverstärkende Hawking-Strahlung beobachtet wurde, was eine Bestätigung der ursprünglichen Vorhersage darstellte.

2015 gelang mit LIGO der erste Nachweis von Schwarzen Löchern durch Gravitationswellen. Am 19. Mai 2018 erreichte der Sagittarius A* umkreisende Stern S2 nach einem 16,05 Jahre dauernden Umlauf wieder seine größte Annäherung an das Schwarze Loch. Dabei wurde die durch die Allgemeine Relativitätstheorie vorhergesagte gravitative Rotverschiebung erneut bestätigt.

2018 veröffentlichten REINHARD GENZEL et al. das Ergebnis ihrer Forschungen an Sgr A* und S2: „Nachweis der gravitativen Rotverschiebung in der Umlaufbahn des Sterns S2 in der Nähe des galaktischen Zentrums massereicher Schwarzer Löcher“

Im gleichen Jahr veröffentlichte ANDREA GHEZ et al. das Ergebnis ihrer Forschungen an Sgr A* und S0-2: „Relativistische Rotverschiebung des Sterns S0-2, der das supermassive Schwarze Loch im Galaktischen Zentrum umkreist“

2019 gelang dem EVENT HORIZON TELESCOPE Projekt das erste „Bild“ eines Schwarzen Loches (in M87).

2020: DER NOBELPREIS FÜR PHYSIK wurde an ROGER PENROSE, REINHARD GENZEL und ANDREA GHEZ verliehen!



Abb. 6: Bild aus „Advanced Information“ des Nobelpreis-Komitees; 2020

Abb. 1 Titelblatt von „Michell, John (1784) On the means of discovering the distance, magnitude and c of the fixed stars in consequence of the diminution of the velocity of their light“

Abb. 2 Titelblatt von: Laplace (1799) Beweis des Satzes ...

Abb. 3 Bild aus „Advanced Information“ des Nobelpreis-Komitees; 2020

Abb. 4 Bild aus Penrose (1972)

Anmerkungen:

- (1) Kritische Masse - $1,45727 (2/\eta)^2 M_{\odot}$
- (2) Die Maximalmassen für Neutronensterne liegen nach heutiger Forschung höher, zwischen 1,5 und $3,2 M_{\odot}$. Es wurden ausschließlich Neutronen und keine anderen Teilchenspezies wie z.B. Kaonen oder Hyperonen oder Übergänge in andere Materiephasen wie z.B. dem Quark-Gluonen-Plasma betrachtet. Bei den hohen Dichten finden jedoch kernphysikalische Umwandlungsreaktionen statt, die eine solche Berücksichtigung erfordern. Zweitens werden Wechselwirkungen zwischen den Neutronen außer Acht gelassen – die müssen jedoch gerade bei großen Dichten der kompakten Materie berücksichtigt werden.
- (3) 2020 beschrieb eine Arbeitsgruppe des Nationalen Institutes für Astrophysik um M. Mignoli den Quasar SDSS J1030+0524 mit 1 Milliarde M_{\odot} bei einer Rotverschiebung $z=6,31$, der in ein „Spinnennetz“ aus Gasströmen eingebettet ist. Dies könnte erklären, woher die ersten Schwarzen Löcher die „Nahrung“ bekamen, um in verhältnismäßig kurzer Zeit nach dem Anfang des Universums zu derartigen Giganten zu wachsen.
- (4) [https://en.wikipedia.org/wiki/S2_\(star\)](https://en.wikipedia.org/wiki/S2_(star)), [https://de.wikipedia.org/wiki/S2_\(Stern\)](https://de.wikipedia.org/wiki/S2_(Stern)), vgl. hier auch den Artikel „Kepler würde sich freuen“ von Wolfgang Domberger in der Andromeda 4/2002.

Siehe auch QR-Code Seite 3

Was? Wann? Wo?



Astronomie – Unser Hobby:

Gemeinsame Beobachtung • Astrofotografie • Startergruppe
• Mond- & Sonnenbeobachtung • Beratung beim Fernrohrkauf
• öffentliche Vorträge über astronomische Themen • Vereinszeitung

Wer sich mit dem faszinierenden Gebiet der Astronomie näher beschäftigen möchte, ist herzlich eingeladen, zu einem unserer öffentlichen Treffen zu kommen. Unsere Mitglieder beantworten gerne Ihre Fragen.



Öffentliche Veranstaltungen

Wir veranstalten Vorträge über aktuelle astronomische Themen an jedem 2. Dienstag des Monats. Öffentliche Beobachtung vor dem LWL-Museum für Naturkunde. Aktuelle Infos über unsere Homepage!
www.sternfreunde-muenster.de. Alle Veranstaltungen sind kostenlos!

Vortragsthemen:

12.01.2021 **Wieviel Wissenschaft kann die visuelle Beobachtung leisten?**

- Daniel Spitzer

Bis zur Erfindung der Fotografie mussten Astronomen und Astronomen ihre Ergebnisse auf rein visuellem Wege gewinnen. Auch bei den Amateuren war bzw. ist zunächst die analoge und heute die digitale Fotografie nach wie vor auf einem Siegeszug. Die Fotografie mag der visuellen Beobachtung in vielerlei Hinsicht überlegen sein, dennoch kann man auch ohne viel Kabelsalat am Teleskop überzeugende Ergebnisse und Erkenntnisse gewinnen.

9. Febr.: **Polarlichter in Island**

- Jürgen Stockel

Anlässlich einer langen Islandreise in 2020 konnten Conny und Jürgen an vier Nächten Polarlichter live erleben. Anhand vieler Fotos und Zeitrafferaufnahmen wird erklärt, was Polarlichter sind und wie sie entstehen.

9. März: **Wie sieht man ein Schwarzes Loch?** - Prof. Dr. Michael Kramer

Schwarze Löcher sind eine Vorhersage der Relativitätstheorie; gesehen hat man sie je-

doch noch nie, auch wenn es hervorragende Anzeichen gibt, dass sie existieren, wie Messungen mit Gravitationswellendetektoren zeigen. Im Zentrum von Galaxien erwartet man tatsächlich supermassereiche schwarze Löcher zu finden, mit Massen von bis zu 10 Milliarden Sonnenmassen. Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße ist dagegen mit „nur“ ca. 4 Millionen Sonnenmassen relativ klein; aber uns sehr nah, und somit das Beste, um es zu studieren.

13. April: **Habitable Zone und superhabitable Planeten** - Andreas Bügler

Seit 1995 sind weit über 4.000 Planeten um Hauptreihensterne entdeckt worden. Von besonderem Interesse sind diejenigen, auf denen Leben existieren könnte. Hierzu müssten sie in der bewohnbaren Zone um ihren Stern liegen. Die Bestimmung der habitablen Zone ist jedoch schwierig, da es außer der Wärmeeinstrahlung durch den Stern auch auf die Eigenschaften des Planeten selbst ankommt.

Ort und Zeit: Multifunktionsraum des LWL-Museums für Naturkunde / 19.30 Uhr



