

WELLENREITEN IM WELTALL

SUZANNA
RANDALL

Eine Reise durchs
Universum auf den
Spuren des Lichts



GRÄFE
UND
UNZER

EDITION

INHALT

VORWORT	6
DER KOSMISCHE REGENBOGEN	10
ROT: RADIOWELLEN	20
Galaktische Funkfeuer	25
Ich seh' was, was du nicht siehst!	30
Geheimnis um ... Dunkle Materie	39
Signale aus den Tiefen des Weltalls	45
Ist jemand da draußen?	48
ORANGE: MIKROWELLEN	54
Mikrowellen für alle!	58
Zurück in die Zukunft (des Universums)	62
Unsere 66 Augen in den Kosmos	66
Wie entstehen Planeten?	76
Das größte Teleskop der Welt	80
GELB: INFRAROTSTRAHLUNG	86
Auf ins Weltall!	91
Die Suche nach fremden Welten	96
Gibt es eine Erde 2.o?	101
Und es kommt doch auf die Größe an!	108
A Star Is Born	111
GRÜN: SICHTBARES LICHT	118
Sag mir, wie viel Sternlein stehen ...	124
Groß, größer, Weltraum	128

Der Stern unseres Lebens	133
Mit einem Auge im Kosmos	140
Was geht in der Nachbarschaft?	146
Versteckspielen mit Aliens	151
BLAU: UV-LICHT	156
Feuer und Flamme	160
Dating für Sterne	164
<i>Hubble</i> , hilf!	168
Alles hat ein Ende ... nur manche Sterne haben zwei!	174
Galaktische Aussichten	176
INDIGO: RÖNTGENSTRAHLUNG	182
Kosmisch verstrahlt	187
Total dicht: Neutronensterne und schwarze Löcher	191
Wir alle sind aus Sternenstaub	198
Fang das Photon!	203
Die heißesten Geheimnisse des Universums	207
VIOLETT: GAMMASTRAHLUNG	214
Kernfusion? Nichts leichter als das!	218
Blitze der Superlative	223
Kosmisches Yin und Yang	227
Ein Blick in den Gammastrahlen-Himmel	230
Mehr Energie geht nicht	234
AM ENDE DES REGENBOGENS	238
Danke!	246
Anmerkung zum Buch	248
Nachweise und Anmerkungen	250

VORWORT

Das Weltall fasziniert mich, seit ich denken kann. Meine Eltern erzählen, dass ich schon als Dreijährige bei nächtlichen Autofahrten gebannt den Mond und die Sterne anstarrte. Später begann ich, alles über Raumfahrt, fremde Planeten, Sterne und Galaxien zu lesen, was ich in die Finger bekam. Ich entdeckte Sally Ride, die erste Amerikanerin im Weltall, folgte den *Voyager*-Raumsonden bei ihrer langen Reise durchs Sonnensystem und tapezierte mein Zimmer mit Bildern des Pferdekopfnebels, der Sombrero-Galaxie und meines Lieblingsplaneten Neptun. Und dem *Bravo*-Starschnitt von Jon Bon Jovi natürlich. Mit meiner besten Freundin plante ich, nach Chile auszuwandern, weil ich gelesen hatte, dass dort die größten Teleskope der Welt stünden. Meine geliebte Katze nannte ich Triton, frei nach dem größten Neptunmond, und ich erzählte jedem, der es hören wollte (oder auch nicht), dass ich irgendwann der erste Mensch auf dem Mars sein würde. Das hat meine Mitschülerinnen so beeindruckt, dass es am Ende sogar als Ankündigung in unserer Abizeitung stand.

Woher ich diese ungewöhnliche Leidenschaft hatte? Ich weiß es nicht. In meinem näheren Umfeld hatte niemand eine Affinität zu den Naturwissenschaften, geschweige denn dem Weltraum. Aber mich faszinierte das Unbekannte, das Exotische und besonders das Unvorstellbare – und was bitte ist unvorstellbarer als die unendlichen Weiten des Weltalls? Ich wollte immer schon fremde Welten entdecken und erforschen, Abenteuer erleben.

Mein kleiner Bruder kann ein Lied davon singen – er wurde als Kind regelmäßig als Rudersklave oder, wenn er richtig Glück hatte, als erster Offizier eingespannt, um mit mir wahlweise auf dem Sofa oder dem Klettergerüst über die Weltmeere zu segeln oder durch ferne Galaxien zu düsen. Mir war früh klar, dass ich

später beruflich „irgendwas mit Weltraum“ machen wollte – so kam es, dass ich nach dem Abi Astrophysik studierte, zuerst in meiner Herzensstadt London und danach in Montreal in Kanada. Dort schrieb ich meine Doktorarbeit über pulsierende blaue Unterzweigsterne, von denen ich auch in diesem Buch erzähle. Kurz danach wurde für mich ein Kindheitstraum wahr: Ich ergatterte eine Stelle an der Europäischen Südsternwarte ESO in Garching bei München und darf seitdem regelmäßig nach Chile, um dort mit den größten Teleskopen der Welt in die unendlichen Weiten unseres Universums zu schauen!

Ich begann meine Karriere bei der ESO am VLT, dem *Very Large Telescope*, und wechselte einige Jahre später zu ALMA, dem neuesten ESO-Observatorium der Superlative. 2018 ging für mich ein weiterer Kindheitstraum in Erfüllung: Ich wurde durch die deutsche Privatinitiative *Astronautin* als eine von zwei Astronautinnen ausgewählt und trainiere seitdem in Teilzeit für eine zweiwöchige Forschungsmission zur internationalen Raumstation ISS.

Über dieses Abenteuer könnte ich wahrscheinlich auch ein Buch schreiben – aber nicht das, das du jetzt in den Händen hältst. Hier geht es um meine erste Liebe: die Astronomie. Inzwischen bin ich seit über 15 Jahren als Wissenschaftlerin bei der ESO, habe hier alle möglichen Aufgaben rund um astronomische Beobachtungen übernommen, mit Astronomie-Kollegen aus aller Welt an unterschiedlichen Forschungsprojekten gearbeitet und war unzählige Male in Chile an allen ESO-Teleskopen. Und immer noch fasziniert mich das Weltall mit seinen Geheimnissen.

Heutzutage geht es mir weniger darum, Fantasiereisen in ferne Galaxien zu unternehmen (obwohl das durchaus ab und zu noch vorkommt), als den Kosmos mit seinen vielen Facetten wissenschaftlich zu begreifen. Zu verstehen, wie Sterne und Planeten entstehen, sich entwickeln und sterben. Unbekannte Objekte am Nachthimmel zu entdecken und herauszufinden: Was ist das?

Exotische Objekte wie schwarze Löcher zumindest annähernd beschreiben zu können. Und natürlich: herauszufinden, ob unsere Erde einzigartig ist, ob es noch irgendwo anders in diesem riesigen Kosmos Leben gibt und wenn ja, wie es aufgebaut ist.

Genau wie ich finden auch unzählige andere Menschen den Weltraum und die Dinge, die dort herumschwirren, total spannend und würden gerne mehr darüber erfahren. Aber viele fangen gar nicht erst an, sich damit zu beschäftigen, weil sie meinen, das sei alles total kompliziert und ohne ein abgeschlossenes Physikstudium sowieso nicht zu verstehen. Falls du dazugehörst, kann ich dich beruhigen: Mehr als sehr vage Erinnerungen an die Schulphysik und etwas Interesse brauchst du nicht, um Spaß an diesem Buch zu haben. Gleichzeitig denke ich, dass es auch für richtige Astroneerds den ein oder anderen Aha-Moment gibt – ich jedenfalls habe bei meiner Recherche viel dazugelernt und beim Schreiben auch mal vor mich hin geschmunzelt.

Noch vor ein paar Jahren hätte ich niemals geglaubt, ein populärwissenschaftliches Astronomiebuch schreiben zu können – oder das überhaupt zu wollen. Dann fing ich durch einen dieser schicksalhaften Zufälle, die das Leben manchmal bereithält, im Herbst 2020 an, für den ZDF YouTube-Kanal *Terra X Lesch & Co.* Videos zu moderieren und entdeckte eine ganz neue Seite der Wissenschaft. Hatte ich vorher nur hochwissenschaftliche (aber oft staubtrockene) Paper veröffentlicht, um meinen sehr eng gefassten Bereich der astrophysikalischen Forschung ein wenig voranzubringen, fand ich nun mehr und mehr Gefallen daran, mir ein breites Wissen über die aktuellen astronomischen Erkenntnisse anzueignen und meine Faszination für das Weltall mit einer Vielzahl unterschiedlich gestrickter Menschen zu teilen. Als ich mich schließlich entschied, dieses Buch zu schreiben, war mir sofort klar: Es musste um Beobachtungen des Kosmos in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen gehen.

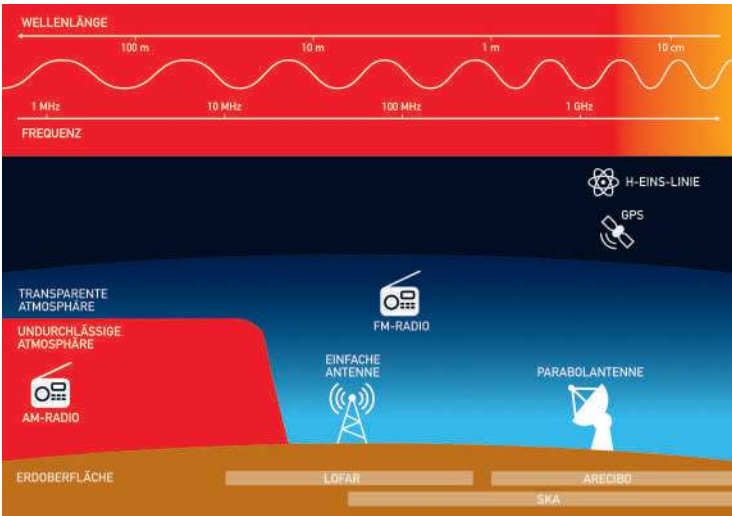
Erstens ist das ein Thema, mit dem ich bestens vertraut bin. Schließlich habe ich meine wissenschaftliche Karriere mit optischen Beobachtungen begonnen, bevor ich zu ALMA, einem Millimeter-Teleskop, wechselte. Und zweitens finde ich es essenziell, Dinge aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten, um sie wirklich zu verstehen. Und eben nicht nur das sichtbare, sondern auch das unsichtbare Licht einzufangen und zu deuten.

Wie schon Antoine de Saint-Exupéry in *Der kleine Prinz* schrieb: „Das Wesentliche ist für die Augen unsichtbar.“ Im Falle des Weltalls sieht man aber nicht nur mit dem Herzen gut, sondern vor allem mit speziell für die unterschiedlichen Bereiche des unsichtbaren Lichts konzipierten Teleskopen. Mit denen können wir Dinge erkennen, die sonst unseren Augen entgehen würden – und so aus den einzelnen Beobachtungs-Puzzleteilchen auf das große Ganze schließen. Von unserem Ursprung aus Sternenstaub bis zur fernen Zukunft des Universums ist alles dabei bei dieser abenteuerlichen Reise durch unseren Kosmos und seine Farben. Ich wünsche dir viel Spaß beim Wellenreiten auf dem Licht des Weltalls!

Deine
Suzanna Randall

ROT

RADIOWELLEN



Radiowellen haben eine lange, illustre Geschichte: Sie waren die ersten elektromagnetischen Wellen, die von Menschen bewusst generiert und für ihre Zwecke (Stichwort: Radio!) genutzt wurden. Der Startschuss fiel bereits 1864 mit den berühmten Maxwellschen Gleichungen: Darin postulierte James Clerk Maxwell, dass elektrische und magnetische Felder sich als sogenannte elektromagnetische Wellen im Raum ausbreiten können und dass unser allseits bekanntes Licht nur eine kurzwellige Art dieser elektromagnetischen Strahlung sei. In gewisser Weise geht also dieses gesamte Buch auf Maxwell zurück, was ich ziemlich ironisch finde – denn ich habe die Maxwellschen Gleichungen und eigentlich alles, was mit Elektrizität und Magnetismus zu tun hatte, während meines Astrophysik-Studiums regelrecht gehasst. Aber zum Glück für mich (und dich!) haken wir unseren Freund Maxwell an dieser Stelle

STECKBRIEF

Wellenlänge: $> 15 \text{ cm}$

Frequenz: $< 2 \text{ GHz}$

Teleskope: Arecibo, LOFAR, SKA

Astronomische Quellen:

Radiogalaxien, neutraler Wasserstoff, Pulsare, Aliens?

Anwendung: Radio, GPS

auch schon ab und konzentrieren uns auf die spannenden Auswirkungen seiner Theorie im Alltag – und natürlich in der Astronomie. Denn ohne elektromagnetische Wellen geht wirklich gar nichts.

Angefangen mit der Telekommunikation. Zwar war es schon in den 1830er Jahren möglich, mithilfe von Drahtverbindungen und elektrischen Impulsen Nachrichten im Morsecode zu verschicken, die am anderen Ende der Leitung als Telegramme entschlüsselt werden konnten. Aber dafür war eben immer eine Drahtleitung notwendig – nicht besonders praktisch, wenn man zum Beispiel auf einem Schiff unterwegs war. Glücklicherweise gelang es Heinrich Hertz 1886 mithilfe von einem Funkeninduktor (deswegen der Name Funkwellen!), ein paar Zinkkugeln und Drähten, erstmals elektromagnetische Wellen zu erzeugen und durch die Luft von einem Sender zu einem Empfänger zu schicken – ganz ohne Drahtverbindung!

Die Grundlage für die Radiokommunikation war gelegt und wurde über die nächsten Jahrzehnte von Forschern aus aller Welt weiterentwickelt. Heinrich Hertz wurde mit der meiner Meinung nach höchsten aller Auszeichnungen geehrt – einer nach ihm benannten physikalischen Einheit, in diesem Falle die der Frequenz. Wenn ich die Wahl hätte, würde ich das sogar einem Nobelpreis vorziehen, denn die gängigsten Physik-Einheiten kennt jedes Schulkind, die Nobelpreisträger mit ein paar Ausnahmen eher nicht.

Der Rundfunk, wie wir ihn auch heute noch kennen, etablierte sich ab den 1920er Jahren und basiert darauf, dass Radiowellen gezielt entweder in Amplitude (AM Radio) oder Frequenz (FM Radio) moduliert werden. Diese leichte Abänderung der Trägerwelle enthält das zu sendende Signal. Das kann man sich vorstellen wie einen hin und her wippenden Cowboy auf einem gleichmäßig galoppierenden Pferd: Der Tanz des Cowboys ist das, was wir sehen wollen – aber ohne das Pferd würde er uns niemals erreichen.

Das Besondere an unserem Radiowellen-Pferd ist, dass es dank seiner langen Beine Hindernisse einfach überspringen kann – würden wir unseren Cowboy stattdessen auf einen Chihuahua setzen, wäre an der ersten kleinen Mauer Schluss. Und genauso ist es auch bei elektromagnetischen Wellen: Die langen Radiowellen können (anders als zum Beispiel das sichtbare Licht) Hindernisse wie Wände und Mauern problemlos durchdringen und so auch bei geschlossener Tür von unserem Radioempfänger erkannt und in Schallwellen umgewandelt werden. Die übrigens keine elektromagnetischen Wellen sind, sondern Druckwellen. Das ist auch der Grund dafür, warum dich im Weltall keiner schreien hört: Druckwellen brauchen ein Medium, wie zum Beispiel Luft oder auch Wasser, in dem sie sich ausbreiten können. Elektromagnetische Wellen hingegen können sich auch im Vakuum des Weltalls ausbreiten – zum großen Glück für die Satellitentelekommunikation und einer weiteren Radiowellentechnologie, die aus unserem Alltag heute nicht mehr wegzudenken ist: GPS (Globales Positionsbestimmungssystem).

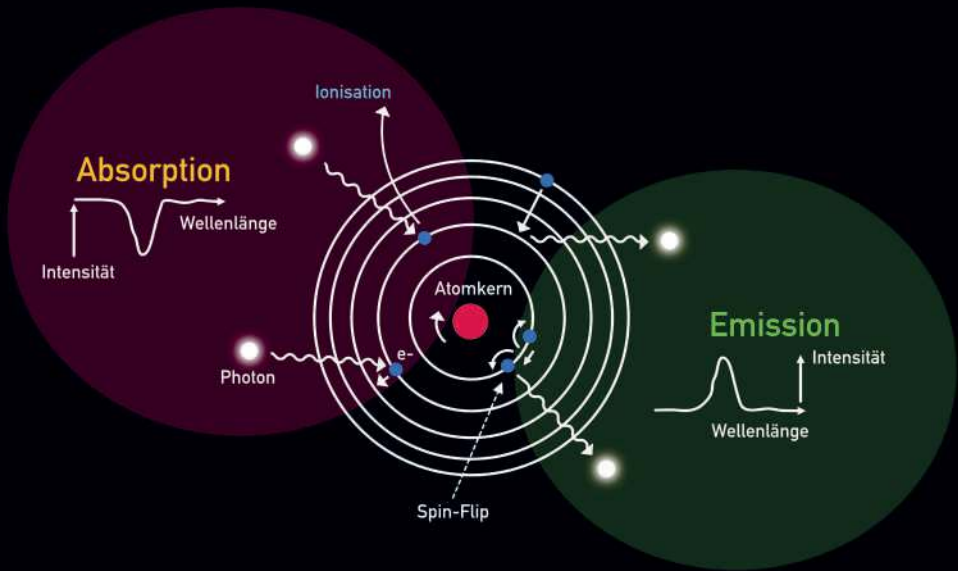
GPS und die damit verbundene Satellitennavigation hat mich schon so manches Mal aus der Bredouille befreit: bei der Hostel-Suche in Asien, der langen Wanderung im Nirgendwo in den chilenischen Anden oder auch einfach der Stauumfahrung in München. Tatsächlich ist das Navi inzwischen zu einem festen Bestandteil unseres modernen Lebens geworden. Ich weiß gar nicht mehr, wie ich früher zurechtgekommen bin ohne den blauen Punkt auf meinem Smartphone, der mir genau anzeigt, wo ich bin – und wo ich hinmuss. Wahrscheinlich habe ich mich einfach viel verlaufen und verfahren (und dabei manchmal Unerwartetes entdeckt, aber das ist eine andere Geschichte).

Die Technologie hinter der Positionsbestimmung ist vom Konzept her so einfach wie technisch aufwändig und beruht darauf, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wel-

len Materie. Direkt gesehen hat sie noch keiner, aber wir wissen, dass sie da ist.

Wie früher das Gespenst unter meinem Bett. Mit dem kleinen, aber feinen Unterschied, dass es für die Dunkle Materie echte wissenschaftliche Belege gibt, für das Gespenst dagegen nur meine diffuse Angst. Die ich nach eingehender experimenteller Überprüfung (Resultat: Ich sehe kein Gespenst, auch nicht mit meiner Superdetektiv-UV-Lampe) als waschechte Nachwuchs-Wissenschaftlerin dann auch bald abgelegt habe. An Dunkle Materie allerdings glaube ich weiterhin – unter anderem dank Beobachtungen der H-Eins-Linie in unserer sowie anderen Galaxien.

Schematische Darstellung der Entstehung von Spektrallinien durch die Absorption und Emission von Photonen in einem Atom.



Um zu verstehen, wie die H-Eins-Linie überhaupt entsteht, müssen wir einen kleinen Exkurs in die Physik der Atome auf uns nehmen. Wasserstoff ist ja das leichteste, einfachste Element überhaupt – es besteht aus nur einem Proton und einem Elektron. Dieses Elektron kann sich innerhalb des Wasserstoffatoms auf unterschiedlichen Energieniveaus bewegen oder im Falle der Ionisation auch ganz aus dem Atom herausgekickt werden. Wenn es nun wieder ins Atom aufgenommen wird oder auf ein niedrigeres Energieniveau zurückfällt, wird Energie frei – in Form von Strahlung mit einer charakteristischen Wellenlänge. Diese hängt davon ab, wie weit zurückgesprungen wird – je größer der Unterschied zwischen den Energieniveaus, desto mehr Energie hat die Strahlung und eine desto höhere Frequenz (beziehungsweise kleinere Wellenlänge) hat die Emissionslinie.

Vereinfacht kannst du dir das Ganze vorstellen wie einen Apfel, der dir auf den Kopf fällt: Je länger er fällt, mit desto mehr Energie prallt er auf deinen Schädel – und desto mehr tut es weh. Beim Wasserstoffatom entstehen bei diesem „Herunterfallen“ des Elektrons Spektrallinien im UV-Bereich, im sichtbaren oder im Infrarotbereich, also bei viel kleineren Wellenlängen (und dementsprechend höheren Energien) als bei der Radiostrahlung. Diese Linien werden uns in späteren Kapiteln dieses Buches immer wieder begegnen, deswegen erwähne ich sie hier. Die H-Eins-Linie allerdings entspricht einem sehr kleinen Energieunterschied des Atoms, denn sie entsteht nicht beim Übergang des Elektrons von einem Energieniveau zum anderen, sondern bei einer Änderung der Rotation des Elektrons relativ zur Rotation des Protons, einem sogenannten Spin-Flip. Dabei ist das Elektron schon auf dem niedrigsten Energieniveau, rotiert aber in die gleiche Richtung wie das Proton. Wenn diese Rotation sich umkehrt, wird eine winzige Menge Energie frei – und die beobachten wir als Emissionslinie im Radiowellenlängenbereich bei 21 Zentimetern Wellenlänge. In

DURCH DAS WELTALL AUF DEN WELLEN DES LICHTS

»Wir rauschen durch das ganze Universum, vorbei an fremden Welten und weit entfernten Galaxien. Dabei verfolgen wir das Leben der Sterne, von ihrer Geburt bis zum bitteren Ende als weißer Zwerg, Neutronenstern oder schwarzes Loch. Wir streifen die dunkle Materie und sehen in die Zukunft unseres Sonnensystems. Und ja, natürlich halten wir auch Ausschau nach Aliens ... !«

**Witzig, unterhaltsam und dabei
ungemein informativ – so schön kann
astrophysikalisches Wellenreiten sein!**



WG 980 Technik
ISBN 978-3-8338-8380-4

