

Daniela Leitner
Als das Licht laufen lernte

Daniela Leitner

*Als das Licht
laufen lernte*

*Eine kleine Geschichte
des Universums*

Mit einem Vorwort von Harald Lesch

C.Bertelsmann



Verlagsgruppe Random House FSC®-N001967

Das für dieses Buch verwendete FSC®-zertifizierte Papier

Maxioffset von UPM liefert Igépa

1. Auflage

© 2013 by C. Bertelsmann Verlag, München,

in der Verlagsgruppe Random House GmbH

Lektorat: Christina Riemann

Umschlaggestaltung: buxdesign, München/Daniela Leitner, Helmbrechts

Layout, Satz, Fotos und Grafiken: Daniela Leitner, Helmbrechts

Druck und Bindung: Druckerei Uhl GmbH&Co KG, Radolfzell

Printed in Germany

ISBN 978-3-570-10184-1

www.cbertelsmann.de

Inhalt

Vorwort▷ 21

Vorwort für ein großartiges Unterfangen▷ 23

Wie die Physik zu mir kam▷ 24

1 Wellenreiter▷ 31

Das Licht und sein Doppelleben

1.1 Welle oder Teilchen▷ 38

Warum sich das Licht nicht in Schubladen stecken lässt

Wie Newton das Licht auseinandernahm▷ 38

Der Streit beginnt▷ 39

Die Eigenschaften von Wellen und Teilchen▷ 39

Die Korpuskeltheorie▷ 41

Das Huygens'sche Prinzip▷ 42

Wer hatte recht?▷ 43

Das Doppelspaltexperiment▷ 43

Der Welle-Teilchen-Dualismus▷ 47

Doppelspaltexperiment 2.0▷ 51

1.2 Was die Welt im Innersten zusammenhält▷ 56

Ein Einblick in das Reich der Quantenmechanik

| | |
|---|------|
| <i>Die große Revolution des ganz Kleinen</i> | ▷ 56 |
| <i>Die Erkenntnisse der Quantenrevolution</i> | ▷ 57 |
| <i>Die Heisenberg'sche Unschärferelation</i> | ▷ 60 |
| <i>Warum sehen wir überhaupt etwas?</i> | ▷ 62 |
| <i>Sockenversuch Nummer 1</i> | ▷ 62 |
| <i>Sockenversuch Nummer 2</i> | ▷ 66 |
| <i>Sockenversuch Nummer 3</i> | ▷ 70 |
| <i>Zurück beim Welle-Teilchen-Dualismus</i> | ▷ 71 |
| <i>Bilderverbot</i> | ▷ 73 |
| <i>Unwahrscheinlich unwahrscheinlich</i> | ▷ 75 |

1.3 Ein Photon kommt selten allein▷ 77

Das Licht in seiner Rolle als Elementarteilchen

| | |
|--|------|
| <i>Die Suche nach den Zutaten des Universums</i> | ▷ 77 |
| <i>Die Eigenschaften der Elementarteilchen</i> | ▷ 78 |
| <i>Das Photon und sein Bekanntenkreis</i> | ▷ 82 |
| <i>Fermionen sind verfeindet</i> | ▷ 82 |
| <i>Bosonen lieben sich</i> | ▷ 85 |
| <i>Halb oder ganz? Die Sache mit dem Spin</i> | ▷ 85 |
| <i>Kommunismus pur</i> | ▷ 89 |
| <i>Das Kräftemessen der Bosonen</i> | ▷ 90 |
| <i>Das Photon</i> | ▷ 94 |

1.4 Das Licht zeigt sein GesichtD 104

Über eine Kraft namens Elektromagnetismus

Der elektromagnetische DreiklangD 104

Binahe blindD 108

Unterwegs auf kurzen WellenD 109

Unterwegs auf langen WellenD 117

Ins Rote verschobenD 118

Licht ist InformationD 123

Licht wird geborenD 123

Wie das Licht schwingtD 127

1.5 Photon liebt ElektronD 133

Wie das Licht Materie sichtbar macht

Der etwas andere Jo-Jo-EffektD 133

Vom Verschlucken und WiederausspuckenD 138

Die Geburtshelfer des LichtsD 139

Wenn das Photon mit dem Elektron...D 143

Die Pigmentierung der MaterieD 145

2 Zurück in die Vergangenheit▷ **153**

Warum nichts schneller ist als das Licht

2.1 Scheitern an der Schnelligkeit▷ **156**

Wie das Licht der Wissenschaft lange Zeit davoneilte

Dem Licht auf der Spur▷ 156

Das berühmteste misslungene Experiment aller Zeiten▷ 157

2.2 Jonglieren mit Raum und Zeit▷ **163**

*Warum die Lichtgeschwindigkeit schuld daran ist,
wenn der Verstand seinen Dienst quittiert*

Einstein und das Licht▷ 163

Die Gedanken sind frei – Raum und Zeit sind es nicht▷ 164

Kissenkonstellation, die erste▷ 167

Kissenkonstellation, die zweite▷ 170

Kissenkonstellation, die dritte▷ 171

Die Sturheit des Lichts▷ 177

Kistenkonstellation, die erste▷ 187

Kistenkonstellation, die zweite, und die Dehnung der Zeit▷ 190

Kistenkonstellation, die dritte, und das Stauchen der Länge▷ 194

Kistenkonstellation, die vierte, und das Zunehmen der Masse▷ 195

Aus Jahren Tage machen▷ 202

Die anderstickende Welt▷ 209

2.3 Das Ewiggestrige▷ **213**

Warum wir niemals sehen werden, was wirklich gerade passiert

Die Geschichte des Universums von hinten aufrollen▷ 213

Unsere Reise in die Vergangenheit beginnt▷ 218

3 Kalt, klein, alleinD 221

Die Sonne als unteres Mittelmaß

3.1 Rätselhaftes DauerfeuerD 224

Das große Grübeln über die Energiequelle der Sonne

Warum scheint eigentlich die Sonne?D 224

3.2 Energie für EinsteigerD 228

Eine kleine Vorstellungsrunde ihrer Erscheinungsformen

Ohne Energie geht gar nichtsD 228

Thermische Energie und TemperaturD 229

Äquivalenzmasse und gravitative potenzielle EnergieD 236

3.3 Wie heiß, wie groß, wie schwer?D 237

Eine Bestandsaufnahme unserer Sonne

Die Anarchie der geladenen TeilchenD 237

Fakten, Fakten, FaktenD 239

3.4 Schwindelnde HöhenD 242

Eine Exkursion in die Sonnenatmosphäre

Weitab vom SchussD 242

Eine starke BriseD 249

Die Schlechtwetterfront der SonneD 252

3.5 Das Sprungbrett des Lichts▷ 259

An der Sonnenoberfläche geht es rund

Kein fester Boden unter den Füßen▷ 259

Alles andere als makellos▷ 260

Irrungen und Wirrungen▷ 264

Der Wunsch der Sonne nach Veränderung▷ 265

Eisige Zeiten▷ 266

3.6 Das Licht als Kämpfernatur▷ 268

Warum die Photonen in der Sonne nichts zu lachen haben

Eine Fahrkarte Richtung Ausgang, bitte!▷ 268

Auf Zickzackkurs▷ 280

Drückend heiß▷ 281

3.7 Von einem Element zum nächsten▷ 282

Warum sich Kernreaktionen lohnen

Grundkurs Kernphysik, Lektion 1: Die Kernladung▷ 283

Grundkurs Kernphysik, Lektion 2: Fusion und Fission▷ 284

Eigentlich zu kalt und klein, um ein echter Stern zu sein▷ 286

Ominöses Durchtunneln▷ 287

Die Sonne verbrennt ineffizient▷ 298

3.8 Kochrezept für eine Portion Energie▷ 301

Aus Wasserstoff wird Helium

Proton trifft Proton▷ 301

1 plus 1 ist weniger als 2▷ 312

3.9 Alles eine Frage der Balance▷ 317

Die Sonne und ihr Gleichgewichtssinn

Ganz schön raffiniert▷ 318

Die Sonne wächst und schrumpft zugleich▷ 320

4 Wolkenbruch▷ 325

Von kühlen Krümeln zum strahlenden Stern

4.1 Alles dreht sich um die Sonne▷ 328

Eine Inventur des Sonnensystems

Ein strenges Regiment▷ 328

Vor allem leerer Raum▷ 335

In direkter Nachbarschaft – die terrestrischen Planeten▷ 339

Der mickrige Merkur▷ 339

Die rechtsdrehende Venus▷ 341

Der Glücksfall Erde▷ 343

Der massive Mond▷ 345

Der rostige Mars▷ 348

Der krümelige Asteroidengürtel▷ 349

In weiter Ferne – die jovianischen Planeten▷ 349

Der wuchtige Jupiter▷ 351

Der extravagante Saturn▷ 352

Der umgefallene Uranus▷ 355

Der knallblaue Neptun▷ 358

Der Sonderling Pluto im eisigen Kuipergürtel▷ 360

Die chaotische Oort'sche Wolke▷ 364

4.2 Kampf der Kräfte▷ 368

Wie die Sonne sich in ihre Existenz stürzte

Die Nebulartheorie▷ 368

Gravitation versus thermischer Druck▷ 369

Vom Vorhauptreihenstern zum Hauptreihenstern▷ 369

Vom Protostern zum Vorhauptreihenstern▷ 374

Die Fülle der Hülle▷ 378

Leise rieselt der Staub...▷ 383

Wie die Sonne ihre Rotation loswurde▷ 386

Lichtkeulen im Doppelpack▷ 387

4.3 Die Reste vom Feste▷ 391

Wie aus Krümeln Planeten entstanden

Die Überreste der Sternentstehung▷ 391

Die Sturm-und-Drang-Phase des Sonnensystems

und wie die Erde zum Wasser kam▷ 392

Mond, wo kommst du denn her?▷ 394

Auch Planeten fingen einmal klein an▷ 400

Sternenpaare▷ 407

4.4 Kleine Krümel, große Wirkung▷ 409

Die ersten Gehversuche unseres werdenden Sterns

Viel Wirbel um die Sonne▷ 409

Freier Fall▷ 414

Lichte Dichte▷ 419

4.5 Kühlende Moleküle und andere▷ 423

praktische Dinge

Wege zur klirrenden Kälte, damit ein heißer Stern entstehen kann

Vom Molekül zum Stern▷ 423

Staub als praktisches Helferlein▷ 424

Die Wolke schwitzt▷ 428

Zappeln und Rotieren▷ 429

Elektronen-Pingpong▷ 435

Grüppchenbildung▷ 440

Zwei Phänomene mit seltsamen Namen▷ 441

Magnetfelder – Fluch und Segen für den Kollaps▷ 445

Wie der Ball ins Rollen kam▷ 447

5 Die dunklen ZeitenD 449 sind vorbei

Der erste Stern macht das Licht an

5.1 Startschuss für den KollapsD 452

Warum unsere Molekülwolke in sich zusammenbrach

Turbulente TeilchenD 452

Eine rasende BlaseD 456

Ein platzender SternD 457

5.2 Die Sache mit dem SternenstaubD 462

Wiederverwertung im All

Ein Stern geht, der nächste kommtD 462

92 Prozent SternenstaubD 466

5.3 Der erste Stern vergehtD 469

Der Materiekreislauf beginnt

I, II oder III?D 469

Die Egozentriker unter den SternenD 470

Andenken im AllD 475

5.4 Damit die Chemie stimmt▷ 484

Wie die schweren Elemente entstehen

| | |
|--|-------|
| <i>Nutzen und Aufwand</i> | ▷ 485 |
| <i>Heiße Protonenküche</i> | ▷ 486 |
| <i>Schnelle Neutronenküche</i> | ▷ 488 |
| <i>Gemütliche Neutronenküche</i> | ▷ 494 |
| <i>Sternenzwiebel</i> | ▷ 494 |
| <i>Untätiges Eisen</i> | ▷ 499 |
| <i>Das Silicium brennt!</i> | ▷ 500 |
| <i>Gefangenes Helium</i> | ▷ 505 |
| <i>Der Sauerstoff brennt!</i> | ▷ 508 |
| <i>Das Neon brennt!</i> | ▷ 509 |
| <i>Der Kohlenstoff brennt!</i> | ▷ 514 |
| <i>Das Helium brennt!</i> | ▷ 515 |
| <i>Der Wasserstoff brennt!</i> | ▷ 520 |
| <i>Ausgebrannt ...</i> | ▷ 521 |

5.5 Mutation zur Zwiebel▷ 528

Schichtarbeit in einem sterbenden Stern

| | |
|---|-------|
| <i>Eine Schicht jagt die nächste</i> | ▷ 528 |
| <i>Da waren es nur noch vier ...</i> | ▷ 533 |
| <i>Da waren es nur noch drei ...</i> | ▷ 535 |
| <i>Da waren es nur noch zwei ...</i> | ▷ 536 |
| <i>Rote Riesen auf Diät</i> | ▷ 540 |
| <i>Wasserstoff ist aus</i> | ▷ 541 |
| <i>Vom Unterriesen zum Roten Riesen</i> | ▷ 543 |
| <i>Die Ruhe vor dem Sturm</i> | ▷ 543 |
| <i>Übrigens ...</i> | ▷ 547 |

5.6 Nichts als SchattenD 550

Wenn selbst das Licht nicht mehr entkommen kann

Historische Überlegungen zu Schwarzen LöchernD 550

Schwarz, schwer, singularD 555

Sturz ins BodenloseD 557

InformationsverweigererD 565

Vorsicht, bissig: Relativitätstheorie trifft QuantenmechanikD 565

Hinterm Horizont...D 570

Licht in der LinseD 576

KnautschsonneD 581

ZeitlosD 583

5.7 Es werde Licht!D 596

Der erste Stern wird geboren

Kurswechsel im KosmosD 596

MetallmangelD 606

Erschwerte StartbedingungenD 607

Das Licht geht anD 613

Die Population-III-Sterne lassen noch auf sich wartenD 618

6 Vorhang auf▷ **623**

Das Licht lernt laufen

6.1 Lückenhaft▷ **626**

Das Zeitalter des Kontrasts

Die Ära der Galaxien▷ 626

6.2 Nicht viel mehr als einfach nur schwer▷ **628**

Von Dunkler Materie und düsteren Zeiten

Schwer unsichtbar▷ 628

Machos▷ 634

Weicheier▷ 636

Tiefe Töpfe▷ 639

Die Ära der Atome▷ 643

6.3 Unglaublich, unerhört und unverschämt▷ **650**

Das Universum hatte einen Anfang

Hubbles Glückstreffer▷ 650

Gestern kleiner als heute▷ 654

6.4 Hinter kosmischen Gardinen▷ **658**

Das Zeitalter der Helligkeit

Erst hell, dann dunkel▷ 658

Taubenkot und andere merkwürdige Vorfälle▷ 659

Hintergrundrauschen▷ 661

Die Unabhängigkeitserklärung der Materie▷ 666

Fast zu perfekt, um wahr zu sein▷ 685

7 Der Tag ohne Gestern▷ 691

Eine logische Katastrophe und ihre Folgen

7.1 Dunkel, dünn, kalt und alt▷ 694

Vom heutigen Universum zur Urknalltheorie

Das Echo des Urknalls▷ 694

7.2 Energie liegt in der Luft▷ 698

Kernreaktionen unter freiem Himmel

Die Ära der Atomkerne▷ 698

Die Nukleosynthese-Ära▷ 699

Hallo, Helium!▷ 702

Das Schicksal der Neutronen▷ 703

7.3 Eins gegen eine Milliarde▷ 708

Vom Schicksal des letzten Antiteilchens

Die Hadronen-Ära▷ 708

7.4 Das letzte Zerwürfnis▷ 722

Vom Ausflocken der Kräfte

Die elektroschwache Ära▷ 722

7.5 Inflationär!▷ **727**

Alles wird GUT

Die Große Vereinheitlichte Theorie▷ 727

Fragen über Fragen▷ 732

Inflationäre Klümpchenbildung▷ 733

Inflationärer Einheitsbrei▷ 736

Inflationär platt gedrückt▷ 743

Beweise, bitte!▷ 755

7.6 Katastrophale Kausalität▷ **757**

Der Anfang ohne Anstoß

Die Planck-Ära▷ 757

Der erste Symmetriebruch▷ 765

Und was war davor?▷ 779

7.7 Licht im Dunkel▷ **786**

Von zufälligen Absichten

Im Sternenzwald▷ 786

Danke, Licht!▷ 792

Anhang▷ **807**

Nachwort▷ 809

Index▷ 812

Bibliografie▷ 856

Vorwort

Vorwort für ein großartiges Unterfangen

von Harald Lesch

Wer wagt sich schon aus freien Stücken an dieses Thema der größten Geschichte aller Zeiten? Zugegeben, es gibt ein großes Interesse an astronomischen und sogar kosmologischen Fragen, aber so ganz genau wollen es nur die wenigsten wissen. Sobald nämlich klar wird, dass es sich um Physik des Allergrößten handelt, immer wieder vermischt mit der Physik des Allerkleinsten, bleibt zwar die Faszination, aber die Mühe, sich mit allen Einzelheiten zu beschäftigen, ist dann doch zu groß, und man versteckt sich gerne hinter dem Gedanken, dass man es so genau gar nicht wissen kann. Und dann das hier!

Da macht sich jemand auf und erkundet auf eigene Faust die Kosmologie und die Quantenmechanik und die Relativitätstheorie und die Kernphysik und entwirft das Bild des Kosmos in allen Facetten und Nuancen. Diese unermüdliche Entdeckerin benutzt eine so bildhafte Sprache und so geniale, aus ihrer unmittelbaren Lebensumwelt gegriffene, anschauliche Beispiele, dass man als Profi einfach nur staunen kann. Und das Tollste ist, es ist alles richtig! Daniela Leitner legt hier ein Werk vor, das tatsächlich die gute alte, akademisch so traditionsreiche Bezeichnung des »Magnum Opus« verdient hat. »Als das Licht laufen lernte« ist eine höchst erquickliche, weil sehr vergnügliche und zugleich bemerkenswert geistreiche Reise durch das Land des expandierenden Kosmos, der sich verzehrenden Sterne, des Urknalls, der Auseinandersetzung von Licht und Materie und der Versuch, die Welt da draußen zu verstehen. Das alles in den Worten des »Normalverbrauchers«. Bei jeder Zeile hat man das Gefühl, direkt dabei zu sein. Das Universum wird hier zum Spielplatz, Sterne zu Spielbällen und selbst vor schwierigstem Gelände in der Quantenmechanik und Teilchenphysik wird nicht haltgemacht, sondern mit Bild und Wort ein Panoramagemälde gezeichnet, das vor Fabulierlust und Darstellungsliebe nur so strotzt. Der Autorin ist hier etwas ganz Großartiges gelungen, zu dem ich ihr nur voller Respekt gratulieren kann. Ich habe es schon gelesen und beneide alle, die es noch vor sich haben.

Wie die Physik zu mir kam

von Daniela Leitner

Was ist eigentlich Licht? Diese Frage sollte der Ausgangspunkt eines Projekts werden, das mich sehr lange in Atem hielt... Doch eines gleich vorweg: Ich bin weder Physikerin noch hatte ich bis zu dem Zeitpunkt, als ich mir die obige Frage, mehr aus einer Laune heraus, zu stellen begann, irgendetwas mit Physik zu tun noch die Ambitionen, mich jemals mit diesem Fach ernsthaft zu beschäftigen. In der Tat durchfuhr mich bereits in der Schulzeit das blanke Grausen, wenn ich einen Physiksaal auch nur betreten musste. Mehr schlecht als recht habe ich deshalb meine Physikkarriere mit Abwählen des verhassten Fachs am Ende der elften Jahrgangsstufe an den Nagel gehängt.

Doch dann, fast zehn Jahre später, sollte sich das Blatt wenden und meine Einstellung zur Physik eine mehr als dramatische Wendung erfahren. Schuld an dieser wirklich unwahrscheinlich unwahrscheinlichen Kehrtwende ist der Physiker Prof. Dr. Harald Lesch, der mir zum ersten Mal über den Weg lief, als ich, der Frage »Was ist Licht?« nachgehend, auf seine Fernsehsendung »alpha-Centauri« stieß. In dieser Sendung wird kurz und knackig innerhalb einer Viertelstunde ein Begriff aus der Astronomie derart unterhaltsam und anschaulich erklärt, dass selbst komplett ahnungslose Laien folgen können.

Und in der Tat schien das Konzept der Sendung auch bei mir zu fruchten: Irgendetwas Seltsames muss in den folgenden 15 Minuten mit meinem Gehirn passiert sein. Was es war, weiß ich selbst nicht, jedenfalls begann ich bereits während der ersten Minute der Sendung mit der Physik Freundschaft zu schließen – mehr noch: Ich hatte sogar das Gefühl, die Dinge, die Herr Lesch mir da durch den Bildschirm erklärte, wirklich zu verstehen!

Es folgte eine erste lange Phase des Recherchierens. Ich schrieb sämtliche »alpha-Centauri«-Sendungen, die mir für mein inzwischen zur Chefsache gewordenes Thema »Licht« relevant erschienen, per Hand mit. Am Ende sollten es fast 70 Sendungen werden, die ich mir angesehen und minutiös mitgeschrieben habe – und das vollkommen freiwillig und ohne, dass ich zunächst wusste, warum ich das überhaupt tat.

Es folgte die harte Recherchephase Nummer 2. Nun mussten Fachbücher gewälzt werden. Auch diese wurden fein säuberlich

von mir von vorne bis hinten durchgeackert und exzerpiert. Irgendwann stand schließlich der Entschluss fest: Ich wollte ein eigenes Buch über die Physik des Lichts schreiben! Doch nicht nur schreiben – da ich Studentin im Fach Kommunikationsdesign war, sollte dieses Projekt meine Diplomarbeit werden. Die Gestaltung durfte deshalb alles andere als für ein populärwissenschaftliches Fachbuch üblich ausfallen.

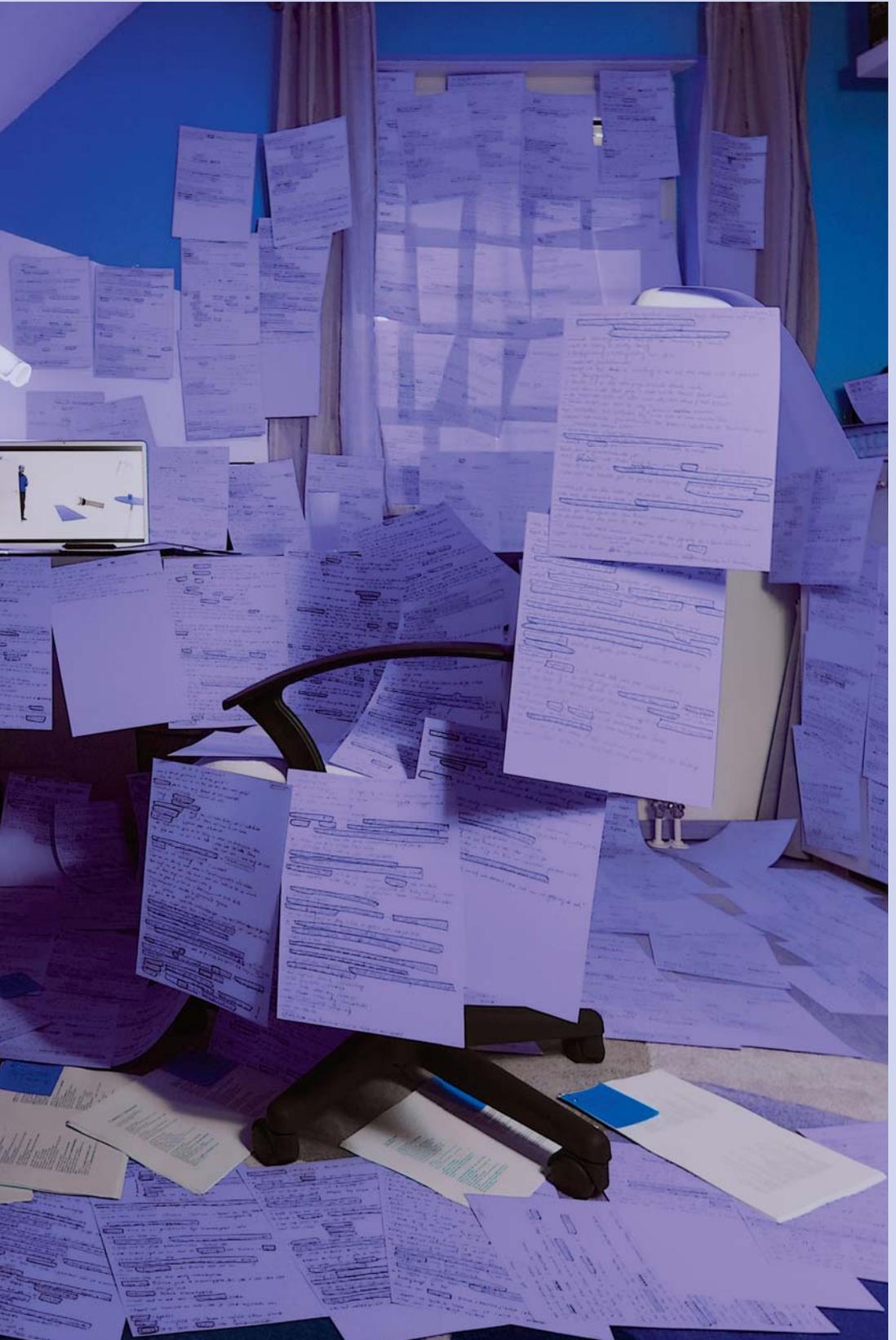
Kommen wir also zum Konzept, das dieses etwas andere Physikbuch zu einer eher exotischen Spezies macht: Dieses Buch richtet sich nicht nur an bereits vorgebildete Fachleute, die es ohnehin schon gewohnt sind, sich erschreckend schwere Fachbücher einzuverleiben – obwohl auch diese Zielgruppe an der ungewohnt andersartigen Herangehensweise an die ansonsten meist eher trocken dargebotene Welt der Physik ihre helle Freude haben wird, denn auch an Tiefgang wird es hier definitiv nicht mangeln! Auch dem bis zu diesem Zeitpunkt völlig ahnungslosen Laien soll es ähnlich ergehen wie mir damals – Physik kann nämlich tatsächlich richtigen Spaß machen! Das klingt vielleicht komisch, aber so ist es! Und genau dieses Erweckungserlebnis möchte ich aus dem Leser herauskitzeln. Dieses Buch ist deshalb der mir sehr am Herzen liegende Versuch, andere mit demselben seltsamen Virus ganz hinterlistig zu infizieren, der mich bei meinem ersten Zusammentreffen mit Harald Lesch selbst überfiel.

Was also erwartet den Leser auf den kommenden rund 800 Seiten, auf denen ich die Physik auf eine etwas andere Art präsentieren werde? Erst einmal zur Beruhigung – gerade für die Lesergruppe, die wie ich bisher nur sehr schlechte Erfahrungen mit dem Schulfach Physik gemacht hat: Das Verhältnis von Text zu Bild ist mehr als ausgewogen. Es wird hier außerdem niemals ellenlange Abhandlungen geben, sondern es werden stets sehr mundgerechte Texthäppchen serviert, die mit zahlreichen zusammenfassenden, zum Schmunzeln anregenden oder einfach nur unglaublich interessanten Einschüben gesalzen sind. Denn die Geschichte dieser Naturwissenschaft ist mehr als fesselnd – sie birgt sogar einiges an humoriger Skurrilität in sich...

Die zahlreichen Fotografien und Grafiken haben mit der für Fachbücher üblichen Bildsprache rein gar nichts zu tun. Stattdessen habe ich sämtliche Sachverhalte in diesem Buch anhand eines Tagesablaufs in meiner Wohnung, rückwärts vom Schlafengehen bis zum Aufstehen, inszeniert. Worum sich alles drehen wird, ist natürlich das Licht. Wir werden dieses wundersame physikalische



[Dokumentationsfoto] Recherche



Phänomen von heute bis zum Anbeginn der Zeit zurückverfolgen und dabei von Zimmer zu Zimmer wandern und jedes Thema mit den dort vorhandenen Gegenständen auf eine etwas unkonventionelle Art und Weise kennenlernen. Entsprechend wird auch die Zeit in der Wohnung verkehrt herum fließen. Auf unserer Reise in die Vergangenheit wird uns außerdem so einiges über die gesamte Welt der Physik über den Weg laufen, das über einige Umwege ebenfalls mit dem Phänomen Licht verwoben ist. In sieben Kapiteln werden wir dabei auf folgende Etappen stoßen:

Wir starten unsere Reise im Schlafzimmer und Bad, in denen wir das Licht grundsätzlich betrachten. Was ist Licht überhaupt? Ist es ein Teilchen? Eine Welle? Wie verhält es sich? Welche Freunde hat es? Und wie schafft es das Licht eigentlich, dass wir etwas sehen können?

Danach werden wir uns der Geschwindigkeit widmen, mit der sich das Licht umherbewegt. Wie schnell ist das Licht? Warum ist es überhaupt so schnell? Und was bedeutet das für unser Verständnis von Raum und Zeit? Als Versuchslabor wird uns dabei das Wohnzimmer dienen.

Vom Wohnzimmer wandern wir schließlich weiter in Küche und Esszimmer. Hier werden wir unsere Sonne genauestens unter die Lupe nehmen. Wie groß ist sie? Woraus besteht sie? Wie weit ist die Sonne von uns entfernt, und was bedeutet das für uns? Und wie kommt überhaupt das viele Licht zu uns, das unser Stern jeden Tag aussendet?

Nachdem wir all diese Fragen geklärt haben, drehen wir die Zeit weiter zurück und begutachten unser Sonnensystem als Ganzes. Wie ist es aufgebaut? Und vor allem: Wie ist es überhaupt entstanden? Dies und vieles mehr werden wir im Arbeitszimmer rekonstruieren.

Ebenfalls im Arbeitszimmer widmen wir uns schließlich den allerersten Sternen, die unser Universum jemals mit Licht versorgt haben. Wie lebten diese Sterne? Wie sahen sie aus? Wie sind sie entstanden? Und was hatte ihre Existenz für unser heutiges Universum zur Folge?

Im sechsten Kapitel werden wir schließlich an eine fiese Grenze stoßen: Am Frühstückstisch werden wir klären, seit wann das Licht überhaupt frei laufen kann, und warum wir nicht weiter als bis zu jener besagten Grenze blicken können. Was ist dieser »Lichtvorhang« überhaupt? Was passierte danach? Und warum gibt es seitdem eigentlich Sterne?

Zu guter Letzt landen wir schließlich wieder im Schlafzimmer und Bad. Hier wird uns der Anfang von allem, der Urknall, über den Weg laufen – der Moment, in dem alles Licht entstand, aus dem sich im Laufe von Milliarden von Jahren schließlich Leben entwickeln sollte. Was ist hier passiert? Warum sind die Vorgänge damals so prägend für unser gesamtes heutiges Universum gewesen? Und welche Rolle spielte das Licht dabei?

Wir haben also einiges vor! Legen wir deshalb gleich los und beginnen unsere Reise in die Vergangenheit, auf den Spuren des Lichts, und stürzen uns direkt ins Vergnügen...

Woraus besteht eigentlich das Licht? In diesem Kapitel werden wir ganz nah in das Reich des winzig Kleinen blicken, um dabei einem gewissen Photon auf die Schliche zu kommen. Wie und wo lebt jenes Lichtteilchen? Und wie gelingt es ihm, unserem Leben Farbe einzuhauchen und damit die Welt, in der wir leben, überhaupt für unsere Augen sichtbar zu machen?

1

Wellenreiter

Das Licht und sein Doppelleben

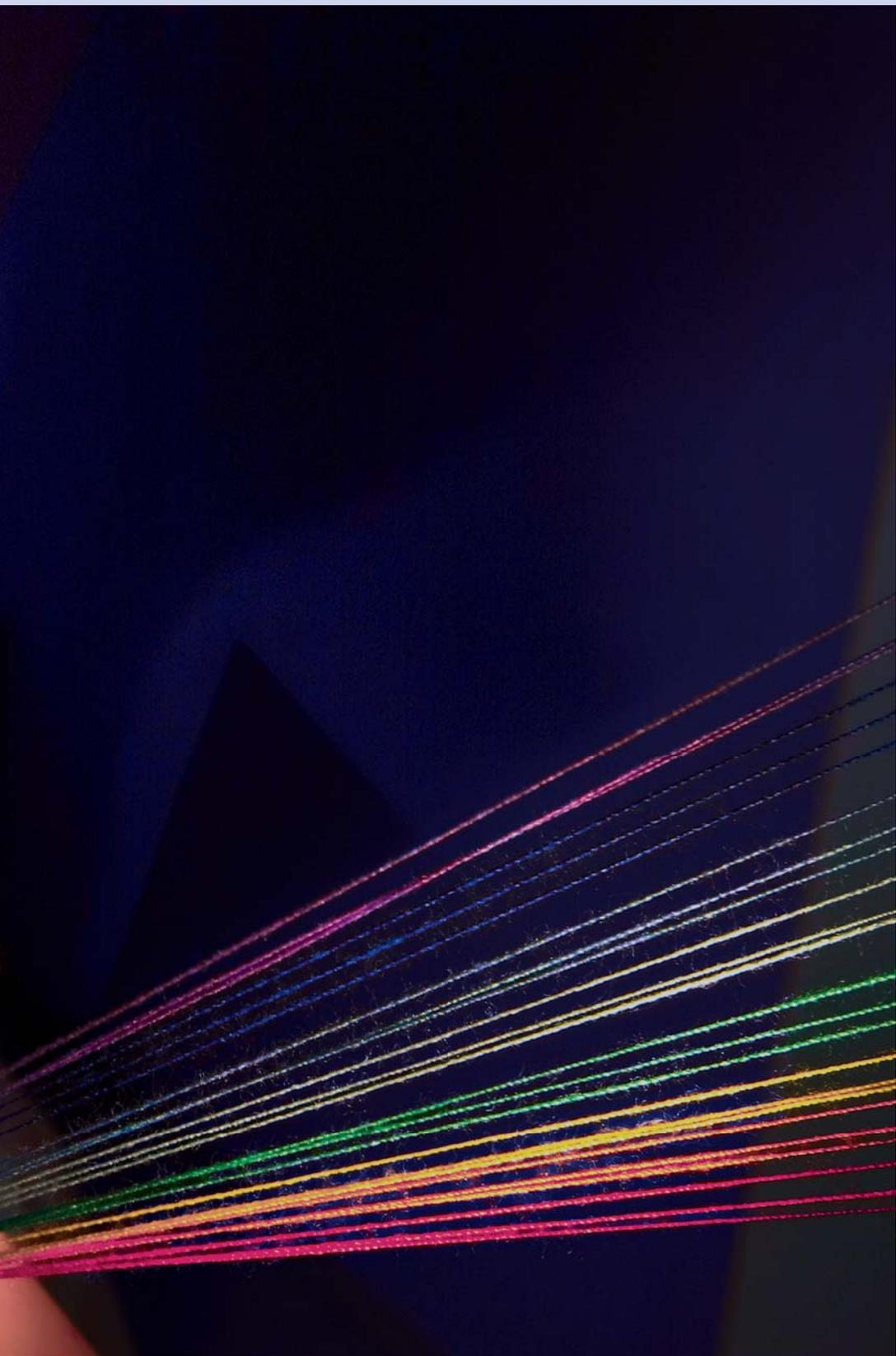
*»Fünfzig Jahre intensiven
Nachdenkens haben
mich der Antwort auf die
Frage ›Was sind Licht-
quanten?‹ nicht näher ge-
bracht.*

*Natürlich bildet sich heute
jeder Wicht ein, er
wisse die Antwort. Doch da
täuscht er sich.«*

Albert Einstein



[Fotografie 1] Das Spektrum des sichtbaren Lichts, aufgefüchert durch ein Prisma



1.1 Welle oder Teilchen?

Warum sich das Licht nicht in Schubladen stecken lässt

Anfang des 18. Jahrhunderts entzündete sich an der Frage »Was ist Licht?« die wichtigste Debatte in der Geschichte der Wissenschaft: Verhält sich das Licht wie eine Welle oder wie ein Teilchen? Dieser Konflikt sollte erst ein ganzes Jahrhundert später ein äußerst überraschendes Ende finden...

Wie Newton das Licht auseinandernahm

Was ist Licht? Eine scheinbar einfache Frage – doch eine ebenfalls einfache Antwort darauf zu geben, fällt gar nicht so leicht. Versuchen wir deshalb, uns langsam an das Thema heranzutasten, und beginnen mit einer Eigenschaft des Lichts, die wir direkt wahrnehmen können: der Farbe.

Das Spektrum des sichtbaren Lichts, also der Farben, die wir mit unseren Augen sehen können, reicht von Rot, Orange, Gelb bis Grün, Blau und Violett. Der Eindruck von Weiß entsteht, wenn alle Farben des Regenbogens zu gleichen Teilen enthalten sind. Schwarz ist streng genommen keine Farbe – denn hier ist kein Farbanteil des Spektrums enthalten. Rot, Grün und Blau zählen zu den sogenannten Primärfarben, für die unsere Sehzellen empfindlich sind. Kombinationen aus diesen dreien lassen dabei die gesamte Bandbreite des sichtbaren Lichts entstehen.

Die Tatsache, dass weißes Licht, also beispielsweise das der Sonne oder das einer Glühbirne, alle Farben des Spektrums zu gleichen Teilen enthält, kann man ganz einfach selbst überprüfen, indem man es durch ein Prisma scheinen lässt. Das weiße Licht wird dabei in seine Bestandteile aufgefächert (siehe Fotografie 1).

Der erste Wissenschaftler, der sich mit dem Lichtspektrum beschäftigte, war der britische Physiker Sir Isaac Newton (1643–1727).

Er teilte in den 1660er-Jahren Licht mittels eines Prismas in seine einzelnen Farbbestandteile auf und setzte ein zweites Prisma hinter eine der Farben. Dieses zweite Prisma zeigte wiederum kein Spektrum, sondern gab lediglich die eintretende Farbe wieder. Newton bewies damit, dass Farben nicht durch Prismen erzeugt werden, sondern eine Eigenschaft des Lichts sind.

Der Streit beginnt

Das Experiment mit den beiden Prismen zeigte zwar, dass Licht und Farbe direkt zusammenhängen, es lieferte jedoch keine Antwort auf die Frage, was Licht denn nun tatsächlich ist.

Newton hatte aber bereits eine Vermutung. Für ihn bestand das Licht aus vielen kleinen Teilchen, sogenannten Korpuskeln. Doch diese Meinung teilten nicht alle Wissenschaftler. Sein hartnäckigster Gegner war der niederländische Physiker, Astronom und Mathematiker Christiaan Huygens (1629–1695). Er war der Ansicht, Licht sei eine Art Welle, die sich durch den Raum ausbreite.

Anfang des 18. Jahrhunderts spaltete sich die Wissenschaft in zwei Lager, mit den Anhängern der Wellentheorie auf der einen und den Befürwortern der Teilchentheorie auf der anderen Seite. Es war der Beginn der wichtigsten Debatte in der Geschichte der Wissenschaft: Verhält sich das Licht wie eine Welle oder wie ein Teilchen?

Die Eigenschaften von Wellen und Teilchen

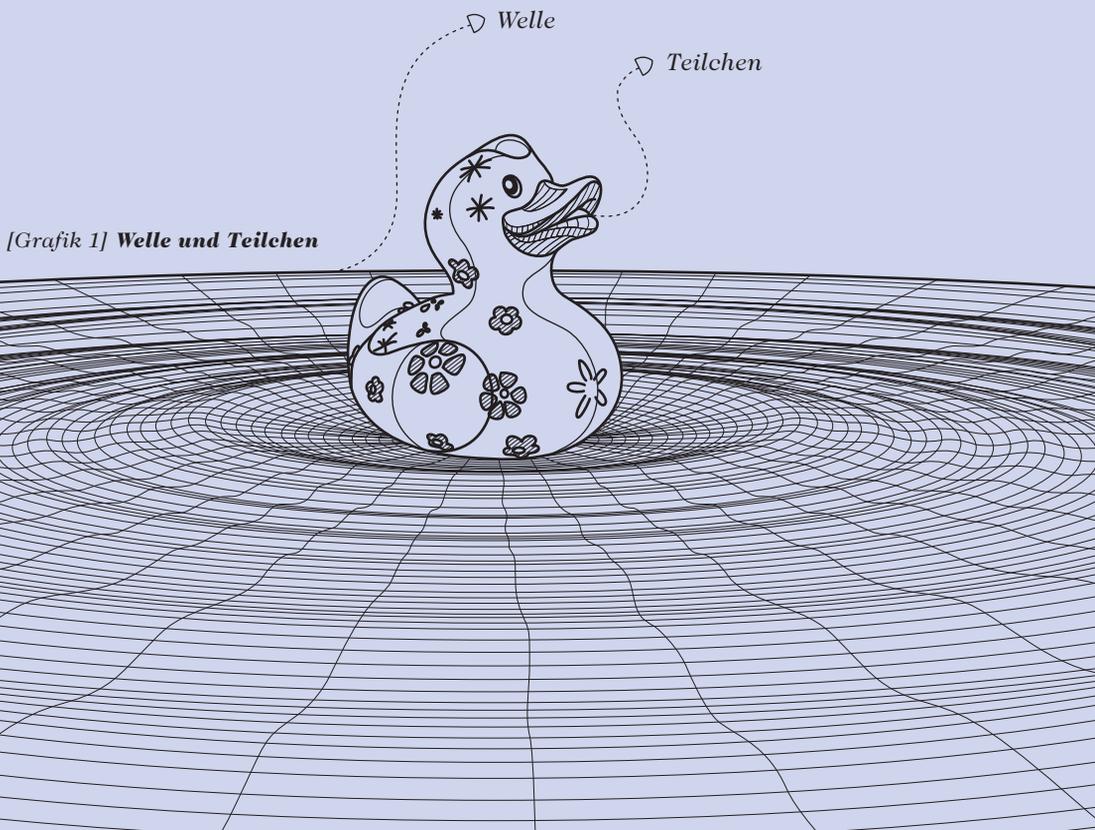
Um den Konflikt besser zu verstehen, muss man zunächst die genaue Definition von »Teilchen« beziehungsweise »Welle« kennen. Ein Teilchen ist einfach zu beschreiben. Eine Orange ist beispielsweise ein recht großes Teilchen, während eine Murmel schon etwas kleiner ist. Ein noch kleineres Teilchen wäre zum Beispiel ein Atom. Es handelt sich also um feste, greifbare Dinge. (Wobei sich die Greifbarkeit einzelner Atome als recht schwierig gestaltet, aber das soll an dieser Stelle ignoriert werden.) Teilchen können entweder ruhen oder sich von einem Ort zum anderen bewegen.

Doch wie sieht es mit Wellen aus? Eine Art von Wellen, die uns im täglichen Leben immer wieder begegnen, sind Wasserwellen. Lässt man zum Beispiel Wasser in die Badewanne laufen, breiten sich die Wellen vom Zentrum des Wasserstrahls kreisförmig nach außen aus.

Bringt man Teilchen und Welle nun zusammen, zum Beispiel indem man ein Quitscheentchen in die Badewanne legt, beginnt das Teilchen auf der Welle zu tanzen. Es bewegt sich auf und ab, jedoch *nicht* mit der Welle nach vorne. Während die Welle sich also ausbreitet, verharrt das Teilchen, in diesem Fall also unser Entchen, auf seiner Position. (Ebenso verhält es sich übrigens mit Wassermolekülen, die ja auch Teilchen sind. Sie bewegen sich auf und ab, jedoch nicht mit der Welle fort.)

Wellen sind daher ein Medium, das sich ausbreitet. Sie transportieren dabei jedoch keine Materie, sondern Energie. Lassen wir unser Entchen in die Badewanne fallen, wird es vom Wasser abgebremst und gibt dabei einen Teil seiner Bewegungsenergie an das Wasser weiter. Das Wasser transportiert diese Energie nun mit den Wellenbewegungen nach außen davon (siehe Grafik 1). Während Teilchen also fest und dinghaft sind und somit zur Materie zählen, sind Wellen eine Art Muster, das erst durch die Wechselwirkung mit Materie erkennbar wird.

Das Muster einer Welle lässt sich in einzelne Welleneigenschaften unterteilen (siehe Grafik 2). Wellen haben immer einen höchsten Punkt, den sogenannten Wellenberg, und einen tiefsten Punkt, das



[Grafik 1] **Welle und Teilchen**

Wellental. Der Abstand zwischen Wellenberg und Wellental wird als Amplitude bezeichnet. Die durchschnittliche Höhe liegt dabei genau dazwischen. Die Wellenlänge ist durch die Distanz von einem Wellenberg (oder Wellental) zum nächsten definiert. Die Frequenz ergibt sich aus der Anzahl der Wellenberge, die einen Punkt in einer Sekunde durchqueren. Sie wird in Schwingungen pro Sekunde in der Einheit Hertz (Hz) angegeben. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit sagt aus, wie schnell die Welle Energie von einem Punkt zum nächsten transportiert. Sie ergibt sich, indem man die Wellenlänge mit der Frequenz multipliziert.

Die Korpuskeltheorie

Kehren wir nun zum Streit zwischen Newton und Huygens zurück und nehmen ihre Theorien genauer unter die Lupe. Wie bereits erwähnt gilt Isaac Newton als Begründer der Korpuskeltheorie (auch Korpuskulartheorie, Emissionstheorie, Emanationstheorie oder ballistische Lichttheorie genannt), nach welcher das Licht aus vielen kleinen Körperchen, sogenannten Korpuskeln, also Teilchen, besteht. Diese kleinen Lichtteilchen, so die Theorie, werden von leuchtenden Lichtquellen geradlinig ausgesendet, wobei die Lichtgeschwindigkeit stets abhängig von der Geschwindigkeit der Lichtquelle ist.

