

***Daniela Leitner***

# ***Als das Licht laufen lernte***

***Eine kleine Geschichte  
des Universums***

***Mit einem Vorwort von Harald Lesch***

**C.Bertelsmann**

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	21
<i>Vorwort für ein großartiges Unterfangen</i> .....	23
<i>Wie die Physik zu mir kam</i> .....	24

## **1 Wellenreiter** ..... 31

*Das Licht und sein Doppelleben*

<b>1.1 Welle oder Teilchen</b> .....	38
<b>Warum sich das Licht nicht in Schubladen stecken lässt</b>	
<i>Wie Newton das Licht auseinandernahm</i> .....	38
<i>Der Streit beginnt</i> .....	39
<i>Die Eigenschaften von Wellen und Teilchen</i> .....	39
<i>Die Korpuskeltheorie</i> .....	41
<i>Das Huygens'sche Prinzip</i> .....	42
<i>Wer hatte recht?</i> .....	43
<i>Das Doppelspaltexperiment</i> .....	43
<i>Der Welle-Teilchen-Dualismus</i> .....	47
<i>Doppelspaltexperiment 2.0</i> .....	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 Kräfteressen der Bosonen</i> .....	▷ 90
<i>Das Photon</i> .....	▷ 94

**1.4 Das Licht zeigt sein Gesicht** .....D 104

*Über eine Kraft namens Elektromagnetismus*

*Der elektromagnetische Dreiklang* .....D 104

*Beinahe blind* .....D 108

*Unterwegs auf kurzen Wellen* .....D 109

*Unterwegs auf langen Wellen* .....D 117

*Ins Rote verschoben* .....D 118

*Licht ist Information* .....D 123

*Licht wird geboren* .....D 123

*Wie das Licht schwingt* .....D 127

**1.5 Photon liebt Elektron** .....D 133

*Wie das Licht Materie sichtbar macht*

*Der etwas andere Jo-Jo-Effekt* .....D 133

*Vom Verschlucken und Wiederausspucken* .....D 138

*Die Geburtshelfer des Lichts* .....D 139

*Wenn das Photon mit dem Elektron...* .....D 143

*Die Pigmentierung der Materie* .....D 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, allein** .....▷ 221

*Die Sonne als unteres Mittelmaß*

### **3.1 Rätselhaftes Dauerfeuer** .....▷ 224

*Das große Grübeln über die Energiequelle der Sonne*

*Warum scheint eigentlich die Sonne?* .....▷ 224

### **3.2 Energie für Einsteiger** .....▷ 228

*Eine kleine Vorstellungsrunde ihrer Erscheinungsformen*

*Ohne Energie geht gar nichts* .....▷ 228

*Thermische Energie und Temperatur* .....▷ 229

*Äquivalenzmasse und gravitative potenzielle Energie* .....▷ 236

### **3.3 Wie heiß, wie groß, wie schwer?** .....▷ 237

*Eine Bestandsaufnahme unserer Sonne*

*Die Anarchie der geladenen Teilchen* .....▷ 237

*Fakten, Fakten, Fakten* .....▷ 239

### **3.4 Schwindelnde Höhen** .....▷ 242

*Eine Exkursion in die Sonnenatmosphäre*

*Weitab vom Schuss* .....▷ 242

*Eine starke Brise* .....▷ 249

*Die Schlechtwetterfront der Sonne* .....▷ 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 Zicksackkurs* .....▷ 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** .....D 391

**Wie aus Krümeln Planeten entstanden**

*Die Überreste der Sternentstehung* .....D 391

*Die Sturm-und-Drang-Phase des Sonnensystems*

*und wie die Erde zum Wasser kam* .....D 392

*Mond, wo kommst du denn her?* .....D 394

*Auch Planeten fingen einmal klein an* .....D 400

*Sternenpaare* .....D 407

**4.4 Kleine Krümel, große Wirkung** .....D 409

**Die ersten Gehversuche unseres werdenden Sterns**

*Viel Wirbel um die Sonne* .....D 409

*Freier Fall* .....D 414

*Lichte Dichte* .....D 419

**4.5 Kühlende Moleküle und andere praktische Dinge** .....D 423

**Wege zur klirrenden Kälte, damit ein heißer Stern entstehen kann**

*Vom Molekül zum Stern* .....D 423

*Staub als praktisches Helferlein* .....D 424

*Die Wolke schwitzt* .....D 428

*Zappeln und Rotieren* .....D 429

*Elektronen-Pingpong* .....D 435

*Grüppchenbildung* .....D 440

*Zwei Phänomene mit seltsamen Namen* .....D 441

*Magnetfelder – Fluch und Segen für den Kollaps* .....D 445

*Wie der Ball ins Rollen kam* .....D 447

## **5 Die dunklen Zeiten .....▷ 449 sind vorbei**

*Der erste Stern macht das Licht an*

### **5.1 Startschuss für den Kollaps .....▷ 452**

*Warum unsere Molekülwolke in sich zusammenbrach*

*Turbulente Teilchen .....▷ 452*

*Eine rasende Blase .....▷ 456*

*Ein platzender Stern .....▷ 457*

### **5.2 Die Sache mit dem Sternenstaub .....▷ 462**

*Wiederverwertung im All*

*Ein Stern geht, der nächste kommt .....▷ 462*

*92 Prozent Sternenstaub .....▷ 466*

### **5.3 Der erste Stern vergeht .....▷ 469**

*Der Materiekreislauf beginnt*

*I, II oder III? .....▷ 469*

*Die Egozentriker unter den Sternen .....▷ 470*

*Andenken im All .....▷ 475*

**5.4 Damit die Chemie stimmt** .....▷ 484

*Wie die schweren Elemente entstehen*

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

**5.5 Mutation zur Zwiebel** .....▷ 528

*Schichtarbeit in einem sterbenden Stern*

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

**5.6 Nichts als Schatten** .....▷ 550

*Wenn selbst das Licht nicht mehr entkommen kann*

*Historische Überlegungen zu Schwarzen Löchern* .....▷ 550

*Schwarz, schwer, singular* .....▷ 555

*Sturz ins Bodenlose* .....▷ 557

*Informationsverweigerer* .....▷ 565

*Vorsicht, bissig: Relativitätstheorie trifft Quantenmechanik* .....▷ 565

*Hinterm Horizont ...* .....▷ 570

*Licht in der Linse* .....▷ 576

*Knautschsonne* .....▷ 581

*Zeitlos* .....▷ 583

**5.7 Es werde Licht!** .....▷ 596

*Der erste Stern wird geboren*

*Kurswechsel im Kosmos* .....▷ 596

*Metallmangel* .....▷ 606

*Erschwerte Startbedingungen* .....▷ 607

*Das Licht geht an* .....▷ 613

*Die Population-III-Sterne lassen noch auf sich warten* .....▷ 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!** .....D **727**

*Alles wird GUT*

*Die Große Vereinheitlichte Theorie* .....D 727

*Fragen über Fragen* .....D 732

*Inflationäre Klümpchenbildung* .....D 733

*Inflationärer Einheitsbrei* .....D 736

*Inflationär platt gedrückt* .....D 743

*Beweise, bitte!* .....D 755

**7.6 Katastrophale Kausalität** .....D **757**

*Der Anfang ohne Anstoß*

*Die Planck-Ära* .....D 757

*Der erste Symmetriebruch* .....D 765

*Und was war davor?* .....D 779

**7.7 Licht im Dunkel** .....D **786**

*Von zufälligen Absichten*

*Im Sternenzwald* .....D 786

*Danke, Licht!* .....D 792

**Anhang** .....D **807**

*Nachwort* .....D 809

*Index* .....D 812

*Bibliografie* .....D 856