

Völz, H. u. Ackermann, P.: Die Welt in Zahlen und Skalen. Mit 323 Seiten, 26 Abbildungen, 9 Tabellen und 61 Skalen; Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg - Berlin - Oxford 1996

Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Von der Wahrnehmung zum Vergleich - Zählen und Messen
 - 2.1 Von der Menge zur Zahl
 - 2.2 Vom Vergleich zur Maßeinheit
 - 2.3 Messgeräte
- 3 Skalen
 - 3.1 Länge
 - 3.1.1 Fläche
 - 3.1.2 Volumen
 - 3.2 Zeit
 - 3.2.1 Frequenz
 - 3.2.2 Geschwindigkeit
 - 3.2.3 Beschleunigung
 - 3.2.4 Volumenfluss
 - 3.3 Masse
 - 3.3.1 Massenfluss
 - 3.3.2 Dichte
 - 3.3.3 Kraft
 - 3.3.4 Druck
 - 3.3.5 Leistung
 - 3.3.6 Leistungsflächendichte
 - 3.3.7 Leistungsdichte
 - 3.3.8 Leistungsmassendichte
 - 3.3.9 Energie
 - 3.3.10 Bestrahlung
 - 3.3.11 Räumliche Energiedichte
 - 3.3.12 Energiedichte
 - 3.3.13 Dynamische Viskosität
 - 3.3.14 Kinematische Viskosität und Diffusion
 - 3.4 Elektrizität
 - 3.4.1 Elektrische Stromstärke
 - 3.4.2 Elektrische Stromdichte
 - 3.4.3 Elektrische Spannung
 - 3.4.4 Elektrische Feldstärke
 - 3.4.5 Beweglichkeit von Ladungsträgern
 - 3.4.6 Elektrischer Widerstand
 - 3.4.7 Spezifischer elektrischer Widerstand
 - 3.4.8 Elektrische Ladung
 - 3.4.9 Elektrische Kapazität
 - 3.4.10 Relative Dielektrizitätskonstante
 - 3.5 Magnetismus
 - 3.5.1 Magnetische Feldstärke
 - 3.5.2 Magnetische Induktion
 - 3.5.3 Induktivität
 - 3.5.4 Relative magnetische Permeabilität
 - 3.6 Stoffmenge
 - 3.7 Temperatur
 - 3.7.1 Wärmeleitfähigkeit
 - 3.7.2 Spezifische Wärmekapazität
 - 3.8 Lichtstärke
 - 3.8.1 Leuchtdichte
 - 3.8.2 Lichtstrom
 - 3.8.3 Beleuchtungsstärke
 - 3.8.4 Belichtung
 - 3.8.5 Lichtausbeute

- 3.9 Energiereiche Strahlung
 - 3.9.1 Aktivität
 - 3.9.2. Spezifische Aktivität
 - 3.9.3 Energiedosis
 - 3.9.4 Exposition
 - 3.9.5 Äquivalentdosis
- 3.10 Sonstige Größen
 - 3.10.1 Informationsmenge
 - 3.10.2 Datenfluss
 - 3.10.3 Lineare Speicherdichte
 - 3.10.4 Flächenspeicherdichte
 - 3.10.5 Volumenspeicherdichte
 - 3.10.6 Winkel
 - 3.10.7 Lautstärke
 - 3.10.8 Wirkungsgrad
- 3.11 Zahlen - Relationen - Wahrscheinlichkeiten
 - 3.11.1 Relative Messfehler
- 4 Verknüpfungen von Einheiten
 - 4.1 Länge und abgeleitete Einheiten
 - 4.2 Zeit und Frequenz
 - 4.3 Masse und Ableitungen
 - 4.4. Energie und Leistung
 - 4.5. Elektrizität und Magnetismus
 - 4.6 Temperatur
 - 4.7 Lichttechnik
 - 4.8 Ionisierende Strahlung
 - 4.9 Information
- 5 Von der Welt der Zahlen zur Welt in Zahlen
 - 5.1 Ziffern und Zahlen - Bedeutung und Deutung
 - 5.2 Zahlen in der Mathematik
 - 5.3 Zahlenbereiche
 - 5.3.1 Binärer Zahlenbereich
 - 5.3.2 Psychologischer Zahlenbereich
 - 5.3.3 Anschaulicher Zahlenbereich
 - 5.3.4 Naturgebener Zahlenbereich
 - 5.3.5 Kombinatorischer Zahlenbereich
 - 5.3.6 Mathematischer Zahlenbereich
 - 5.4 Die Welt in Zahlen - Widerspiegelung oder Fiktion?
- 6 Von der Mathematik zur Physik - Die Messung
 - 6.1 Messen - Prozess und Darstellung
 - 6.1.1 Physikalische Größen
 - 6.1.2 Messprozess
 - 6.1.3 Messwert, Messfehler
 - 6.1.4 Grenzwerte
 - 6.2 Skalentypen
 - 6.3 Maßsysteme, SI
 - 6.3.1 Absolute Maßsysteme
 - 6.3.2 Das Système International (SI)
 - 6.3.3 Probleme des SI
- 7 Die vermessene Welt
- Anhang
 - A1. Beschreibung der CD-ROM
 - A1.1 Umrechnungsprogramme
 - A1.2 Datensammlung
 - A1.3 Zeittafel
 - A1.4 Namen- und Sachverzeichnis
 - A2 Wichtige Konstanten
- Literatur
- Namen- und Sachverzeichnis

1 Einführung

Zahlen spielen im Leben der Menschen eine große Rolle. Tagtäglich werden wir in allen Lebensbereichen mit ihnen überschüttet, beim Frühstück durch die Nachrichten, während der Arbeit, in der Freizeit, bei Sport und Spiel. Ein großer Teil unseres Lebens wird durch Zahlen bestimmt oder durch sie erfasst.

Das Wesentliche unserer Geburt ist für die meisten Menschen nur die Angabe unseres Geburtsdatums. Wir selber werden schon im Mutterleib durch allerlei Zahlen charakterisiert, gleich nach der Geburt werden unsere „Koordinaten“ (Zeitpunkt, Gewicht, Länge) festgehalten. Anhand solcher Zahlen werden wir unser ganzes Leben lang beobachtet und charakterisiert. Es kommen im Laufe der Zeit weitere hinzu, wie Blutdruck, Herzfrequenz etc. Der erwachsene Mensch bestimmt seinen Tagesablauf durch die Angabe von Zahlen, z.B. durch Termine, Telefonnummern, Postleitzahlen (ein Brief ohne letztere benötigt ein Vielfaches der normalen Laufzeit).

Für viele wird unsere Existenz nur durch Zahlen charakterisiert, Personalnummern in Betrieben, Versicherungsnummern, Kontonummern, Pin-Nummern für Kreditkarten, Kundennummern u.ä. Schon mancher hat unter den Folgen einer falschen Eingabe solch einer Zahl gelitten, mancher Auftrag wurde mangels Angabe der entsprechenden Kundennummer nicht ausgeführt, Überweisungen wurden fehlgebucht, weil niemand mehr den Empfängernamen liest.

Mittels Zahlen bewerten wir Ereignisse und sogar Menschen. Der Erfolg von Fernsehsendungen wird durch die Angabe der Einschaltquote charakterisiert. Der Wert eines Menschen wird an der Größe der Zahl auf dem Gehaltsstreifen abgelesen, Wissenschaftler werden nach der Zahl ihrer Publikationen bewertet. Schönheitswettbewerbe benötigen Zahlentripel, Durchschnittswerte geben Normen vor. Wertungen richten sich an der Zahl aus, weil wir diese überbewerten.

Zahlen haben die Welt erobert. Aber wir können oftmals auch die Welt nur noch mittels Zahlen darstellen. Es geht nicht mehr um die verbale, ganzheitliche Beschreibung von Tatsachen und Vorgängen - eine „exakte“, quantifizierte Beschreibung wird gefordert. Diese benötigt Zahlen, wer mit vielen Zahlen operiert erweckt den Anschein großer Exaktheit und Objektivität („Zahlen lügen nicht“ - aber mit Zahlen kann man gut lügen!).

Es gibt aber auch eine andere, mystische Seite der Zahlen. In vielen Kulturen spielten und spielen bestimmte („heilige“) Zahlen eine besondere Rolle. Im Abendland sind es die 3 (Dreifaltigkeit) und die 7 (Zahl der Planeten, Tage eines Mondviertels und Tage der Woche). Die 13 gilt in Europa als Unglückszahl. In der Kabbala spielt die Zuordnung bestimmter Zahlen zu Wörtern, die sich aus der Zahlbedeutung der hebräischen Buchstaben ergeben, eine wichtige interpretatorische Rolle (Gematrie). Die besondere Rolle von Zahlen ist auch bei dem zunehmend zu beobachtenden Trend zur Esoterik und ähnlichen Strömungen zu verzeichnen.

Zahlen haften etwas Widersprüchliches an, einerseits der Geruch von Mystik und Emotionalität, andererseits der Habitus von Exaktheit und Rationalität. Obwohl wir uns oft gegen die Vereinnahmung durch die Zahlen wehren, lassen wir uns andererseits durch sie in den Bann ziehen. Von alters her erzählen uns Zahlen Geschichten. So bedeutet auch das mittelhochdeutsche Wort „zal“ noch sowohl Zahl als auch Erzählung. Die Bedeutungsverschiebung zur Exaktheit im Sinne von abzählen trat um 1400 mit der Lehnübersetzung aus dem Lateinischen auf.

In diesem Buch soll, auf der rationalen Seite der Zahlen, der Frage nachgegangen werden, was uns die Zahlen erzählen können und wie wir es besser verstehen lernen. Den Ausgangspunkt bilden dabei das alltägliche Leben genauso wie die uns umgebende Natur und Technik. Es wird Fragen nachgegangen wie

Wie groß ist die Gesamtmasse des Weltalls?

Wie schwer sind die Elektronen oder Neutrinos?

Wie stehen diese Werte in bezug zu Größen unseres alltäglichen Lebens?

Dabei reicht der Einzugsbereich der verwendeten Zahlen von der Wirtschaft, der Technik bis zu den spezialisierten Gebieten der Wissenschaft. Gerade auf den Querbezügen zwischen den verschiedenen Gebieten liegt ein Schwerpunkt. Er soll es auch ermöglichen, dass der Spezialist eines Gebietes bei Zahlen aus anderen Gebieten Vergleichsbeispiele seines Gebietes findet. Das fördert den interdisziplinären Dialog und die Fähigkeit, den vernetzten Relationen unserer Welt geistig näher zu kommen.

Es kommt dabei oft gar nicht so sehr darauf an, wie groß die Zahlenwerte der einzelnen betrachteten Größen „exakt“ sind, es genügen Größenordnungen, Richtwerte, bestehend aus einer gültigen Ziffer und der Zehnerpotenz. So ist die Reproduktionsgenauigkeit von lithographischen Halbleitern dadurch zu charakterisieren, daß Abbildungen auf 1 km millimetergenau übereinstimmen. Im täglichen Leben reicht uns meist diese Genauigkeit auf 100 m bezogen. Der Unterschied liegt also in der Größenordnung, weniger in der exakten Maßzahl. Warum dies so ist, wird in den Kapiteln 5 und 6 näher betrachtet.

Um die Geschichte zu verstehen, die uns die Zahlen erzählen, muss man ein wenig darüber wissen, wie man zu ihnen gekommen ist. Ursprünglich wurde alles in Länge und Zeit gemessen. Da die Maße aus dem täglichen Erlebnisbereich stammten (man denke an die territorial unterschiedlichen Längen des Maßes Elle oder Fuß, an die praktische Bedeutung des Flächenmaßes Morgen), mussten z.B. auch Längenangaben mit Hilfe von Zeitangaben gemacht werden (die Entfernung einer Tagesreise). Das war ein erster, auf der Erfahrung beruhender Querbezug zwischen Maßeinheiten. Heute gibt es, im Zuge der Entwicklung der Wissenschaften und der Technik, für die unterschiedlichsten Gebiete spezifische Maßeinheiten, deren Gültigkeit international vereinbart wurde. Das derzeitige Ende dieser Entwicklung stellt das *Système International d' Unités* (SI) dar. Es geht von sieben Basiseinheiten aus:

- das Meter (m) für die Länge;
- das Kilogramm (kg) für die Masse;
- die Sekunde (s) für die Zeit;
- das Ampere (A) für die elektrische Stromstärke;
- das Kelvin (K) für die (thermodynamische) Temperatur;
- das Candela (cd) für die Lichtstärke;
- das Mol (mol) für die Stoffmenge.

Aus deren Kombination folgen dann ca. hundert spezifische, widerspruchsfreie Maßeinheiten. Die internationale Vereinheitlichung hat wesentlich zur Internationalität des Produkt- und Warenaustausches beigetragen. Auch für die Entwicklung der Wissenschaften ist diese Vereinheitlichung nicht zu unterschätzen, ist doch eines ihrer wichtigsten Prinzipien die Reproduzierbarkeit der erhaltenen Ergebnisse, was internationale Vergleichbarkeit voraussetzt. Im Kapitel 2 wird ein kurzer historischer Streifzug durch die Entwicklung des Zählens und Messens bis hin zu dieser internationalen Standardisierung gegeben.

Der Preis für diese Standardisierung und Vergleichbarkeit ist eine höhere Abstraktion der Maßeinheiten und damit ein Entfernen von den lebensweltlichen Erfahrungsbereichen. Das wird daran deutlich, dass man i.allg. mit der Angabe, daß ein neuer Klebstoff eine Zugfestigkeit von $50\,000\text{ N/m}^2$ hat, nicht viel anfangen kann. Erst der Vergleich mit der Zugfestigkeit von Stahl (etwa 10^9 N/m^2) macht die Leistung des Klebstoffherstellers deutlich. Es werden zum Vergleich Erfahrungswerte aus der täglichen Praxis benötigt, um die Bedeutung von Zahlen zu erkennen - letztlich um die Geschichte zu verstehen, die sie uns erzählen wollen. Diese Aufgabe wollen die 61 Skalen in Kapitel 3 - der Hauptteil des Buches - leisten. Sie zeigen einerseits die enorme Spannweite der Zahlenwerte für einzelne Maßeinheiten. Auf der anderen Seite wird durch das Nebeneinanderstellen von Zahlenwerten gleicher Größenordnung aus unterschiedlichen Bereichen die Vergleichbarkeit mit individuellen Erfahrungswerten ermöglicht. Die ergänzenden Texte geben Informationen zur Definition der Maßeinheit, zum zugrundeliegenden physikalischen Phänomen und Messprinzip, zu Fehlerbereichen, Extremwerten und zum Bezug zu anderen Einheiten der physikalischen Größe. Dabei wird auch auf historische Aspekte und auf das Vorkommen besonderer Zahlenwerte in Natur und Technik hingewiesen. Da es einige Einheiten gibt, die im täglichen Leben durchaus in Gebrauch sind, wurden diese trotz ihrer Fremdheit gegenüber dem SI mit aufgenommen.

Da die Skalen einen umfangreichen Fundus aus nahezu allen Gebieten aus Naturwissenschaft, Technik und dem täglichen Leben enthalten, bekommt der Leser hier auch schnell zahlenhafte und anschauliche Vorstellungen zu allen Gegebenheiten und Grenzen der Welt in ihrer vielfachen Ausprägung. Dabei wurde bewußt kein Guinness-Buch der physikalisch-technischen Rekorde angestrebt. Im Mittelpunkt stehen die üblichen Werte, die uns im täglichen Leben begegnen und erfahrbar sind.

An das Kapitel 3 schließt eine Betrachtung der möglichen Verknüpfungen zwischen den betrachteten Einheiten auf der Basis der zugrundeliegenden Naturgesetze an. Dadurch werden fast alle bedeutsamen Maßeinheiten in den Zusammenhang eingeordnet. Auch hier werden z.T. SI-fremde Einheiten mit einbezogen.

Es folgen dann zwei etwas theoretischere Kapitel, die einmal den Zahlen selbst und zum anderen dem Weg zu den aus Zahl und Maßeinheit bestehenden Größen gewidmet sind. Hier wird die theoretische Grundlegung der Skalen aus Kapitel 3 noch einmal dargestellt.

Das siebente Kapitel soll dann den Bogen noch einmal zum Ausgangspunkt zurückschlagen. Nachdem die Vielfalt der Zahlen dargestellt wurde, ihre Struktur und ihre Querbeziehungen aufgezeigt und die theoretischen Grundlagen der rationalen Verwendung der Zahlen dargestellt wurden, soll noch einmal über unseren Umgang mit ihnen und den Maßeinheiten nachgedacht werden.

Um den enzyklopädischen Charakter des Buches noch ein wenig abzurunden, sind in einem Anhang bzw. auf der beiliegenden CD-ROM weitere Informationen zusammengestellt. In gedruckter Form betrifft das eine Übersicht über wichtige Konstanten, weiterführende Literatur und ein Namen- und Sachverzeichnis. Hier sind die Fundstellen der Stichworte durch unterschiedlichen Druck der Seitenzahlen nach Text bzw. Skale unterschieden.

Diese Sammlung wird wohl niemand wie einen Roman von Anfang bis Ende durchlesen oder wie ein gutes Lehrbuch systematisch durcharbeiten. Sie ist eher wie ein Lexikon zu nutzen und bei Interesse kann man die Kapitel als Kommentare cursorisch zu den Skalen lesen. Darum sind bewusst Wiederholungen eingebaut, um ein zu häufiges Verweisen zu vermeiden.

Dem Buch ging ein vieljähriges Sammeln von Daten voraus. Dabei mussten häufig sich widersprechende Daten bereinigt werden. Teilweise konnten Daten aus Skalen anderer Autoren einbezogen werden. Trotzdem ist nicht gesichert, dass alle Daten korrekt sind bzw. dem neuesten Stand der Erkenntnis entsprechen. Autoren und Verlag sind für kritische Hinweise dankbar.