

tum enim vulgus rem aliquam se satis intellegere existimat,
 cum ipsam non admiratur.
 (... Das Volk meint nämlich, eine Sache dann völlig zu verstehen,
 wenn es sich über diese nicht mehr verwundert.)

Baruch de Spinoza

1. Einführende Anmerkungen

1.1. Unsere Schüler kommen im allgemeinen interessiert und aufgeschlossen in den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht, verlieren aber später zu einem beträchtlichen Teil das Interesse, und zwar ungefähr zeitgleich mit der zunehmenden Mathematisierung des naturwissenschaftlichen und insbesondere des Physikunterrichts. Die Schüler geraten oft sogar in eine ablehnende Haltung gegenüber dem naturwissenschaftlichen Unterricht und auch gegenüber den Naturwissenschaften selbst. Das dadurch mitbedingte Ergebnis ist bekannt: das gebrochene Verhältnis auch vieler Menschen der sogenannten Bildungsschicht zu den Naturwissenschaften und zur Technik.

Die Naturwissenschaften bestimmen nicht nur weitestgehend unsere technische Zivilisation, sondern sind auch ein unverzichtbarer Bestandteil unserer geistigen Kultur. Es ist deshalb mit Theodor Litt zu fragen, warum es so vielen Menschen nicht gelingt, diese geistige Macht im Gefüge ihrer Bildung unterzubringen. - Vor dem Hintergrund dieser Frage lohnt es sich, auch unser Umgehen mit den sogenannten physikalischen Größen und den mathematischen Gleichungen zwischen diesen näher zu untersuchen.

Vorweg ist aber zu betonen, daß die zeitgleich mit der Mathematisierung erfolgende Abnahme des Interesses vieler Schüler nicht zu der Forderung verleiten darf, den naturwissenschaftlichen Unterricht unter weitgehendem Verzicht auf die Mathematisierung zu betreiben. Da der Aufbau der Physik nur dadurch möglich war, daß auch quantitative Betrachtungen angestellt wurden, und da auch die heutigen naturwissenschaftlichen und technischen Untersuchungen weitestgehend quantitativ sind, würde ein Verzicht auf die Mathematisierung bedeuten, daß man den Lernenden ein Verständnis der heutigen Naturwissenschaft und Technik nicht erschließen könnte.

Ein solcher Verzicht ist aber auch gar nicht nötig. Es ist nach meinen Erfahrungen nämlich nicht die Mathematisierung als solche, die den Schülern die Hauptschwierigkeit bereitet. Die Ansprüche, die die Naturwissenschaften im Anfangsunterricht an die mathematischen Fähigkeiten der Schüler stellen, sind nicht so groß, als daß sie nicht mit Hilfe des Mathematikunterrichts gemeistert werden könnten. Ein wichtigerer Grund für die Abnahme des Interesses am naturwissenschaftlichen Unterricht scheint mir die oft zu schnelle und zu unreflektierte Benutzung der Sprache des sogenannten Größenkalküls zu sein. Diese unterscheidet sich - wie bald verdeutlicht werden wird - notwendig von der (Protokoll-) Sprache, in der die naturwissenschaftlichen Sachverhalte zunächst zu beschreiben wären. Dadurch verlieren die Lernenden leicht den Bezug zu den Phänomenen, zu deren Deutung die Naturwissenschaften letztlich entwickelt und betrieben werden. Ja, die unreflektierte Benutzung der heutigen Kalkülsprache verstellt den Lernenden geradezu den Blick auf die Wirklichkeit. Der Unterricht zeigt den Schülern die Natur oft nicht, wie sie ist; er zeigt weitgehend das Zerrbild der Natur, das sich bietet, wenn diese durch die Brille der nicht zureichend erläuterten Kalkülsprache betrachtet wird. Die tatsächliche Natur gerät den Lernenden oft so weit aus dem Blickfeld, daß viele Schüler den Eindruck gewinnen, daß ihnen der naturwissenschaftliche Unterricht nicht das bietet, was sie von ihm erwarten, oder daß sie glauben, für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu dumm zu sein. Beides ist nicht dazu angetan, die Schüler, die bald Erwachsene sein werden, zu den Naturwissenschaften und zur Technik ein angemessenes Verhältnis finden zu lassen. Es erscheint deshalb in der Tat geboten,

auch die Kalkülsprache zu untersuchen, um etwaige Unzulänglichkeiten aufzuspüren und auszumergen.

1.2. Die folgenden Ausführungen haben - bei dieser Zielsetzung - nur wenig mit dem Problem der Axiomatisierung des Größenkalküls zu tun, um das sich seit einiger Zeit wieder mehrere Mathematiker und Physiker intensiv bemühen, insbesondere (in alphabetischer Reihenfolge) Heinz Griesel /7/, /8/, /9/, /10/, /11/, Lothar Kienle /16/, /17/, /18/, /19/, /20/, und Otto Rang /28/, /29/, /30/.

Die Arbeiten /10/ und /11/ liegen - wie viele weitere - in Form von Polykopen vor, die Interessierte - insbesondere Mitarbeiter des Fachnormenausschusses für Einheiten und Formelgrößen (AEF) im Deutschen Institut für Normung (DIN) - über den jeweiligen Stand der Überlegungen unterrichten. - Die genannten Autoren betätigen sich nicht nur als Größentheoretiker; sie haben auch viele Arbeiten aus anderen Gebieten veröffentlicht.

Was dem interessierten (Jugendlichen wie Erwachsenen) Nichtfachmann besondere Schwierigkeiten bereitet, zum Beispiel die (auch Nichtfachleuten von der Schulzeit her noch bekannte) Tatsache, daß die verschiedenartigen Größen "Arbeit W " („Verschiebungsenergie W ") und "Drehmoment M " die gleiche Dimension haben, ist den meisten Größentheoretikern kein Problem. (Ausnahmen bilden stärker physikalisch orientierte Größentheoretiker, die - wie Rang - sich oft gerade mit dem Problem der verschiedenartigen Größen gleicher Dimension auseinandersetzen.) So schreibt Kienle in /19/: «Ungleiche Merkmale» (wie Arbeit und Drehmoment) «werden durch dieselbe Größe» (in diesem Fall durch ein Kraft-Länge-Produkt) «quantifiziert. Dies mag da oder dort für eine physikalische Information als störend empfunden werden, belastet aber die Logik des Größenkalküls nicht». «Hinweise auf Änderung, Herkunft» der Größen sind «nötig für die physikalische Information; sie sind» aber «Bestandteile des Kontextes, nicht des formalen Kalküls». «Naturgesetzmäßigkeiten» werden nicht durch «Größenaussagen» allein «angegeben», sondern durch «Größenaussagen mit Kontext».

Unter Verwendung der letzten beiden Schlagwörter kann ich sagen, daß sich die folgenden Ausführungen in erster Linie mit dem erforderlichen Kontext beschäftigen, dabei aber auch ein klärendes Licht auf die «Größenaussagen» selbst werfen werden.

1.3. Wie schon angedeutet, werden die Schwierigkeiten beim Umgehen mit Größen weniger durch mathematische Ansprüche bedingt; sie beruhen mehr auf begrifflich-terminologischen Unzulänglichkeiten. Diese werden bis jetzt zu wenig Ernst genommen. Es wird im allgemeinen zu wenig beachtet, daß nicht nur die Vermittlung, sondern auch schon die Gewinnung von Erkenntnissen weitestgehend mit Hilfe der Sprache erfolgt. Deshalb wird im Folgenden in erster Linie eine sprachliche Untersuchung durchgeführt werden. Sprachanalytische Betrachtungen unterstützen nicht nur fachliche Klärungen; sie sind sogar ein unverzichtbarer, wenn auch oft vernachlässigter Teil der fachlichen Bemühungen.

Die folgenden vorwiegend didaktisch motivierten, aber um größtmögliche fachliche Klarheit bemühten Untersuchungen werden deshalb vorwiegend begrifflich-terminologischer Art sein und nebenher zeigen, daß auch die Fachdidaktik nicht ein Anhängsel, sondern ein wichtiger Teil der Fachwissenschaft ist: Was man nicht verständlich vermitteln kann, hat man noch nicht zutreffend verstanden.

Die folgenden Ausführungen werden also nicht versuchen, sich in die mathematische Analyse der algebraischen Struktur des Größenkalküls einzuschalten, sondern sich bemühen, auf sprachlich möglichst anschauliche Weise jedermann verständlich (begreifbar) zu machen, was wir tun, wenn wir mit Größen umgehen. Mir kommt es darauf an, die Größenlehre so aufzubereiten, daß dem Kalkülbenutzer - und insbesondere dem Lernenden - während der mathematischen Be-

handlung naturwissenschaftlich-technischer Probleme der Bezug zu den Phänomenen nicht abreißt, beziehungsweise daß - anders gesagt - die Physik der Sachverhalte während der mathematischen Operationen besser als bisher bewußt bleibt.

1.4. Das Fortschreiten der Naturwissenschaft besteht - außer im vorwiegend experimentell vermittelten Auffinden bis dahin unbekannter Sachverhalte - vor allem darin, die Sachverhalte gedanklich (begrifflich) zunehmend besser - und das heißt: differenzierter - zu erfassen und terminologisch entsprechend differenziert zu beschreiben. Das zweite geschieht leider nicht immer mit der erforderlichen Angemessenheit. Außerdem wurden manche der bis jetzt gebräuchlichen Termini - wie auch die folgenden Ausführungen zeigen werden - nicht immer glücklich gewählt, und es wandelt sich unser Sprachempfinden. Es ist deshalb erforderlich, auch die in der Wissenschaft verwendeten Ausdrücke von Zeit zu Zeit zu überprüfen und erforderlichen Falles durch geeignetere zu ersetzen.

Selbstverständlich sind die Klärungen nicht durchzuführen, ohne bis jetzt gebräuchliche Wörter zunächst weiter zu verwenden. Es kann sich erst im Lauf der Untersuchungen klären, welche dieser Wörter den sprachlichen Erfordernissen gerecht werden und welche durch besser geeignete ersetzt werden sollten. - Etliche der im Folgenden verwendeten Wörter werden vermutlich bei vielen Lesern zunächst auf Ablehnung stoßen. Ich hoffe aber, daß sie sich denjenigen, die sich zum Mitdenken angeregt fühlen, beim Lesen der Arbeit zunehmend als annehmbar erweisen werden.

Eine besondere Begründung für den Gebrauch bestimmter geänderter oder zusätzlicher Namen wird im Unterabschnitt "Methodologische Anmerkungen" des Abschnitts 9 gegeben werden.

Um die Voraussetzungen für ein verständiges Umgehen mit Größen zu schaffen, ist es insbesondere erforderlich, die Probleme mit Wörtern zu beschreiben, die das jeweils Gemeinte möglichst unmittelbar, das heißt: schon von ihrer geläufigen Wortbedeutung her, zum Ausdruck bringen.

Um mich jedermann verständlich zu machen, werde ich unter anderen die Wörter "Eigenschaft" und "Relation" wie in der Ontologie verwenden und nicht näher darauf eingehen, daß die Größen-theoretiker zum Beispiel nicht gerne von Eigenschaften, sondern bevorzugt von "Merkmalen" sprechen und die Merkmale als die (mathematische) Menge der «Merkmalsträger» definieren.

Abgesehen davon, daß der Nichtfachmann mit dieser Definition nichts anzufangen weiß, bezeichnet das Wort "Merkmal" für den Nichtfachmann weniger eine Eigentümlichkeit einer Sache, also etwas, was einer Sache untrennbar als Beschaffenheit oder Eigenschaft zukommt; das Wort bezeichnet für den Nichteingeweihten vielmehr etwas, was einer Sache nicht eigentümlich sein muß, sondern - im Extremfall - sogar nur ein Etikett sein kann. Um die Beschaffenheit beziehungsweise Eigenschaft einer Sache nicht zu einem «Merkmal» zu entwerten, das in den Augen der Lernenden für die Sache nicht wesentlich sein muß, werde ich konsequent die Namen "Beschaffenheit" und "Eigenschaft" verwenden. Das wird zu keinen Schwierigkeiten führen, da die Mathematiker die Merkmale als «Eigenschaften in präzisiertem Sinne» /19/ bezeichnen und deshalb tolerieren können, daß anstelle des Wortes "Merkmal" auch das Wort "Eigenschaft" in «umgangssprachlich liberaler, 'vor-wissenschaftlicher' Weise» verwendet wird. - Ich brauche nicht zu betonen, daß der ontologische Begriff der Eigenschaft ein durchaus wissenschaftlicher Begriff ist.

1.5. Zu den begrifflich-terminologischen Unzulänglichkeiten gehört auch die oft zu knappe Formulierung der (schriftlichen wie mündlichen) Größenzeichen (Namen und Symbole), insbesondere die unzureichende Verwendung von Indizes. Das übliche Nichtverwenden von Indizes einträchtigt nicht nur den Unterrichtserfolg, sondern führte auch in der Größenlehre selbst zur

Einführung überflüssiger und damit irreführender Scheinbegriffe. Fragen der Indizierung müssen deshalb im Folgenden den ihnen gebührenden Platz finden, auch wenn sie in den ersten Abschnitten noch ebenso unwichtig wie von mir überbewertet erscheinen mögen.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, betone ich ausdrücklich, daß die folgenden Ausführungen nicht die Routinearbeiten des Praktikers betreffen: Dieser kann seine Ausdrücke beliebig verkürzen. Die folgenden Untersuchungen bezwecken nicht, Routinepraktiken zu verändern, sondern dienen der Schaffung grundsätzlicher Klarheit.

1.6. Die noch offenen und damit zur Klärung anstehenden Probleme sind schon lange bekannt und wurden schon von vielen bearbeitet. Es ist daher klar, daß sie sehr subtil sind und zu ihrer Lösung einer weit ausholenden und bis auf die Grundlagen zurückgehenden Bearbeitung bedürfen. Die Leser mögen deshalb beim Mitdenken nicht die Geduld verlieren. Wenn an bestimmten Stellen auftauchende Fragen nicht gleich eine Antwort finden, können die Leser doch ziemlich sicher sein, daß die Antwort an einer späteren Stelle gegeben werden wird.

1.7. Da sich die vorliegende Arbeit an Adressaten mit unterschiedlichen Interessen und unterschiedlichen Vorbildungen wendet (Didaktiker, Lehrer, Normbearbeiter, Normbenutzer, Nichtfachleute, die an naturwissenschaftlicher Bildung interessiert sind und verstehen wollen, was man tatsächlich macht, wenn man mit Größen arbeitet), drücke ich mich im Folgenden bewußt redundant aus. Ich teile auch nicht einfach Ergebnisse mit, sondern versuche, die Leser gewissermaßen an deren Erarbeitung teilnehmen zu lassen. Die Ausführlichkeit der Darstellung möchte auch dazu beitragen, daß möglichst kein Leser die Ausführungen allein von seinen bisherigen Auffassungen her beurteilt und dann leicht zu einer Ablehnung kommt, sondern daß im Gegenteil möglichst viele Leser bewogen werden, die hier vorgetragenen Auffassungen auch dann, wenn diese von ihren eigenen abweichen, zur Kenntnis zu nehmen und ernsthaft zu prüfen, daß also die Leser der unterschiedlichen Interessenrichtungen zu unvoreingenommenem Mitdenken und zu weiterem Nachdenken angeregt werden.

1.8. Die folgenden Ausführungen werden nicht nur bewußt machen, was wir beim Umgehen mit Größen tatsächlich machen, sondern auch zeigen, daß die Einführung physikalischer Größen durch die bis jetzt in der Physik weitgehend ausgeklammerte Betrachtung der phänomenologischen Beschaffenheiten der physikalischen Objekte besser zu unterbauen und daß ein neuer begrifflich-terminologischer Aufbau der Anfangsgründe der Naturwissenschaften zu entwickeln ist. Nur wenn das geschieht, wird der künftige Unterricht ein besser zutreffendes Bild der Natur vermitteln als der heute übliche.

1.9. Im vorliegenden ersten Teil der Arbeit werden die Eigenschaften und Relationen besprochen, die nur ein Ausmaß haben (skalare Größen und skalare Beträge vektorieller Größen).

Der zweite Teil wird sich mit den Ausmaß-Vorzeichen-Kombinationen beschäftigen und dazu die folgenden Themen behandeln:

- Gleit-, Dreh- und Schraubsinn bei geometrischen Gebilden und physikalischen Größen,
- Polarisierung und Orientierung,
- Größen als Zwei- und als Dreifaktorenprodukte,
- Unpolare, polare, orientierte und gerichtete Größen,
- Größenkalkül und Vektorenkalkül,
- Rechnen mit imaginären und mit komplexen Zahlen,
- Weitere Größen mit Vorzeichen,
- Nullpunktbezogene Angaben.

Der dritte Teil wird die folgenden Themen behandeln:

- Gleichungen, die als Gesetze bezeichnet werden, tatsächlich aber nur Bedingungsgleichungen sind und erst im Kombinat mit einer zweiten Gleichung, also erst nach Ergänzung zu einem Gleichungsimplikat, eine Gesetzmäßigkeit beschreiben.
- Rechnen mit Geldwerten, mit Mengen und mit Anzahlen, sowie mit Kombinat von Ausmaßgrößen einerseits und Geldwerten, Mengen und Anzahlen andererseits. - Die Mengen und Anzahlen werden besonders ausführlich zu behandeln sein, weil in der Chemie ein seit der Antike sich vollziehender Paradigmenwechsel noch nicht konsequent genug zu Ende gedacht wurde, nämlich der Übergang vom Denken in Begriffen und vom Reden mit Namen, die der Auffassung entspringen, daß die Stoffe Kontinua seien, zum Denken und Reden in Begriffen und mit Namen, die konsequent der Auffassung gerecht werden, daß die Stoffe aus diskreten Teilchen aufgebaute Diskontinua sind. Die fehlende Konsequenz wirkt sich bis heute in verständnisbehindernder Weise auf das Rechnen gerade in den Teilen der Chemie aus, die auch für den Unterricht bedeutsam sind.
- Schließlich wird - um eine die Größenlehre besonders belastende Lücke zu füllen - untersucht werden, was unter dem Wort "(physikalische) Größe" alles verstanden wird beziehungsweise verstanden werden sollte, und es wird der Gebrauch des Wortes "Größe" selbst kritisch betrachtet werden.

1.10. Da einzelne Zeichen, einzelne Wörter, Satzteile, Sätze und mehrsätzliche Textstellen aus verschiedenen Gründen vom umgebenden Text abzuheben sind, werde ich im Folgenden aus semantischen Gründen mehrere unterschiedliche Abhebungszeichen verwenden.

- Wörtliche Wiedergaben werden durch die Anführungszeichen «...» gekennzeichnet.
- Wenn eine Sache nicht allein durch das ihr zugeordnete Zeichen (Namen oder Symbol) bezeichnet wird (wie die Zahl "3" in dem Satz "3 ist eine ungerade Zahl"), sondern zusätzlich auch noch durch das Zeichen des übergeordneten Begriffs (Die Zahl "3" ist ungerade), setze ich das Zeichen der eigentlich gemeinten Sache zwischen die Anführungszeichen "...". (Das Urteil "4 ist eine gerade Zahl" ist ein wahres Urteil; die Größe "Geschwindigkeit" ...; der Begriff "Dimension" ...; die Masse "1 Kilogramm"; ...). Diese Kennzeichnung widerspricht nicht der Konvention der Methodologen, nach der Zeichen, die nicht - wie üblich - eine Sache meinen, sondern ausnahmsweise sich selbst, zwischen Anführungszeichen zu setzen sind (Wasserstoff ist ein Gas [und nicht zum Beispiel ein fester Stoff]; "Wasserstoff" ist der Name eines Gases).
- Ausdrücke, die in einer ungeläufigen Bedeutung gebraucht werden oder die das Gemeinte nicht präzise treffen oder die nicht der festgelegte Name für den gemeinten Begriff sind oder die scherzhaft oder ironisch gemeint sind, werden zwischen hochgestellte Doppelpunkte :: gesetzt (Der Wagen fährt mit 90 ·Sachen· durch die Kurve).

