Einleitende Anmerkungen

1. Im ersten Teil dieser Untersuchung /27/ wurden die skalaren Größen behandelt, also die Größen, die nur ein Ausmaß haben und die ich mit einem Namen, der das Wesentliche unmittelbar zum Ausdruck bringt, als "Ausmaßgrößen" bezeichnete. Im größeren Teil des vorliegenden Bandes werden Größen behandelt, die nicht nur die Eigenschaft "Ausmaß" haben, sondern auch noch besondere Relationen erfassen. Auch diese Größen sind begrifflich und terminologisch differenzierter zu beschreiben, als das bis jetzt geschehen ist. Die folgende, den Sachverhalten gerecht werdende Betrachtung wird vielleicht umständlich wirken, ist aber nicht komplizierter als erforderlich: Die Sachverhalte selbst sind kompliziert. Eben deshalb konnten sie bei der bisherigen, zu wenig differenzierenden Darstellung nicht zutreffend verständlich gemacht werden.

Die ersten 11 Abschnitte werden sich im Wesentlichen mit Vorzeichenproblemen beschäftigen. Die Vorzeichen werden - mathematisch zweckmäßig, aber semantisch unbefriedigend - in mehreren Funktionen verwendet: als mathematische Vorzeichen im engeren Sinn des Wortes, als mathematische Operationszeichen, als Zeichen für Orientierungsfaktoren und sogar als Symbole zur Kennzeichnung der Art einer Größe. Das ermöglicht, in der Physik auf einfache Weise zu rechnen, verschleiert aber wichtige Sachverhalte und ist deshalb deutlich zu machen.

Zur Vorbereitung der erforderlichen Klärungen werden in den ersten beiden Abschnitten die Begriffe "Richtung in der Ebene" und "Richtung im Raum", "(physikalischer) Sinn" und "Orientierung" besprochen. Im Abschnitt 3 werden Namen für unpolare und polare Skalare und für orientierte Größen eingeführt. (Die Namen "Skalar" [für nicht orientierte und nicht gerichtete Größen] und "Vektor" [für gerichtete Größen] werden in der üblichen Bedeutung verwendet.) - Damit der Leser jederzeit nachlesen kann, in welcher Bedeutung die in der ersten drei Abschnitten eingeführten Namen verwendet werden, sind diese mit ihren Bedeutungen im Unterabschnitt 3.4 in begriffslogischer Reihenfolge aufgelistet.

Im Abschnitt 4 werden die orientierten Größen als Dreifaktorenprodukte - und nicht als Zweifaktorenprodukte «Zahlenwert mal Einheit» - dargestellt und im Abschnitt 5 an einigen konkreten Beispielen näher beschrieben. Die Orientierungsfaktoren, die in der vorliegenden Untersuchung eine große Rolle spielen, werden vergleichsweise ausführlich besprochen. Sie wirken nicht nur in der Physik, sondern bis in die Mathematik hinein (Abschnitt 11) verständniserschließend.

Um die Bewegungssinne und deren Orientierung mit möglichst wenigen Vorgriffen besprechen zu können, wird der (grundlegend wichtige) Schraubsinn in den Abschnitten 6 und 7 zugleich mit dem Drehsinn eingeführt und besprochen.

Im Abschnitt 8 wird geklärt, warum die Vektoren allen Bemühungen um eine Einbeziehung in das Arbeiten mit dem Größenkalkül widerstehen: Man kann mit Vektoren trotz deren großer Bedeutung für Physik und Technik grundsätzlich nicht in den Größenkalkül eingehen; man kann mit ihnen nur nach den Regeln der Vektorenrechnung arbeiten. - Damit die Begründung dieser Aussage auch von denjenigen Lesern verstanden werden kann, denen das Rechnen mit Vektoren wenig oder gar nicht geläufig ist, muß ich auf dieses vergleichsweise ausführlich eingehen.

Nach der Besprechung des Änderungssinns als eines weiteren physikalischen Sinns (Abschnitt 9) und der Klärung, daß Vorzeichen auch als Symbole zur Kennzeichnung der Art einer Größe verwendet werden (Abschnitt 10) ziehe ich im Abschnitt 11 die Zahlen als solche in die Betrachtung ein. Auch bei diesen bedingen unzureichende Vorstellungen über die Funktion der Vorzeichen als Orientierungs- und Drehfaktoren Verständnisschwierigkeiten. Auf der Grundlage der Kenntnisse, die über die Größen erarbeitet wurden, ist es möglich, den Namen "negative", "imaginäre" und "komplexe Zahlen" Vorstellungen zuzuordnen, die besser als die üblichen verständlich machen können, was die sogenannten relativen Zahlen eigentlich sind.

Im Abschnitt 12 werden die Ausmaß-Nullpunkt-Kombinate betrachtet, deren Symbole wie Größensymbole aussehen ("3 hMEZ", "3 mNN", "3 °C"), tatsächlich aber keine Größen (sondern Skalenpunkte) symbolisieren. Trotz aller Versuche, mit ihnen wie mit Größen zu rechnen, ist das nicht möglich. (Mit ihnen kann man allenfalls nach den Regeln der Punktgeometrie arbeiten. Diese wird im Gymnasialunterricht nicht behandelt und bleibt auch hier außer Betracht.) - Unter den Skalenpunktangaben stellt die Temperatur ein besonderes Problem dar: Temperaturangaben (in der Bedeutung von Skalenpunktangaben) sind im Gegensatz zu den unentbehrlichen Termin- und Pegelangaben heute (da wir die absolute Nulltemperatur kennen) grundsätzlich nicht mehr erforderlich. Wie man in der Wissenschaft und im wissenschaftlichen Unterricht ohne das Wort "Temperatur" auskommen kann, wird im didaktisch motivierten Unterabschnitt 12.5 beschrieben.

Im Abschnitt 13 werden schließlich die elektrische Spannung und die potentielle Energie (zwischen Elementen von Systemen) als Nur-Relationsgrößen betrachtet.

2. Wie schon im ersten Teil werde ich auch in diesem zweiten versuchen, die Leser an der Auseinandersetzung mit unzureichenden Aussagen teilnehmen zu lassen. Würden nur die Ergebnisse der erforderlichen Überlegungen mitgeteilt, könnte zu wenig bewußt werden, welches die Probleme sind, die ein verständiges Umgehen mit physikalischen Größen noch immer erschweren. Da die heute noch offenen Probleme konsequent (und das heißt auch: bis zu Ende) durchdacht werden sollen, erfordern die (notwendig diffizilen) Überlegungen ein bereitwilliges Mit- und Umdenken.

Da es mir weiterhin auf eine grundsätzliche Klärung der noch offenen Probleme ankommt, ist diese nicht ohne Verwendung neuer, also ungewohnter und deshalb leicht auf Ablehnung stoßender Namen durchzuführen. Ich werde also wieder gegen die Meinung verstoßen, daß es nicht wichtig sei, welche Wörter verwendet werden, sondern daß es nur darauf ankomme, zu wissen, in welcher Bedeutung die Wörter verwendet werden. Wer diese Meinung vertritt, ahnt nichts von der nicht zu überschätzenden didaktischen Bedeutung treffend gewählter Fachwörter und wird an den folgenden Ausführungen wenig Freude haben. Ich werde klärende Begriffsbezeichnungen verwenden, ohne jetzt schon zu fragen, ob sie allgemein annehmbar sein werden oder nicht. (Das zu entscheiden, ist eine spätere Sorge zuständiger Gremien.) Wenn einzelne dieser Namen an der Stelle ihrer Einführung (noch) nicht erforderlich erscheinen sollten, wird sich deren Einführung an späteren Stellen doch als sinnvoll erweisen. Auch bei Ausführungen, die unnötig ausführlich erscheinen sollten, dürfte sich an späteren Stellen zeigen, daß die Redundanz nicht überflüssig war.

Diese Arbeit soll auch zur Überwindung einer auffallenden Diskrepanz beitragen: Dem geläufigen Reden über kategoriale Klarheit und Bildung steht oft ein terminologisch allzu unbedachter Umgang mit Namen gegenüber, die in der Nähe der Spitze einer hierarchischen Namenspyramide stehen. Die vorliegende Untersuchung soll deshalb auch zeigen, wie klärend kategoriale Bewußtheit und sprachliche Korrektheit sind, und verdeutlichen, daß eine der Hauptaufgaben der Fachdidaktiker und Lehrer schlicht darin besteht, sich selbst in wissenschaftlicher Ehrlichkeit begriffliche und terminologische Klarheit über die Sachverhalte zu verschaffen. Wie schon im ersten Teil gesagt, kann man nur das verständlich vermitteln, was man auch selber wirklich verstanden hat. Nur wenn die Lehrer das, was zu sagen ist, auch zutreffend sagen, werden auch die Schüler lernen, sich bei dem, was sie hören oder selber sagen, ebenfalls das Zutreffende zu denken.

3. Ein Unterricht, der die Sachverhalte verständlich macht, braucht selbstverständlich nicht alle Wege zu gehen, die die folgende Auseinandersetzung erfordert. Diese hat ja nicht nur zutreffende Auffassungen aufzubauen, sondern vor allem auch tradierte unzutreffende Vorstellungen abzubauen. Die noch unverbildeten Schüler können deshalb an ein verständiges Umgehen mit Größen leichter herangeführt werden, als es beim Lesen der folgenden Überlegungen scheinen könnte.

4. Zum Verständnis des vorliegenden zweiten Teils der Gesamtuntersuchung ist die Kenntnis des ersten Teils unerläßlich, und zwar einschließlich der einleitenden Anmerkungen. In diesen steht zum Beispiel auch, daß ich die (auch im Folgenden häufig verwendeten) hochgestellten Doppelpunkte (˙...˙) als Unkorrektheitszeichen verwende.

5. Auf Seite 139 des ersten Teils schrieb ich, daß Lothar Kienle sich schon seit langer Zeit mit der Frage beschäftigt, ob Potenzen von Größen mit nicht ganzzahligen Exponenten sowie mit Logarithmen von Größen nicht doch im Größenkalkül zuzulassen seien. Wie sich inzwischen herausgestellt hat, ist diese Anmerkung insofern unkorrekt, als sich auch Heinz Griesel schon seit langer Zeit mit diesem Problem beschäftigt und wesentliche Arbeiten zu diesem sogar als erster veröffentlicht hat.

6. Die als Symbole für Winkel zu verwendenden griechischen Buchstaben ($\alpha = 30°$) sind (als Größensymbole) kursiv zu setzen, konnten von der Druckerei aber nur gerade gesetzt werden.