

## 2.4. Formen der Darstellung von Sachstrukturen

Die Formen der Sachstrukturdarstellung, die wir hier diskutieren wollen, sind sowohl zur Darstellung der Sachstrukturen der Wissenschaft als auch der Sachstrukturen für den Physikunterricht geeignet.

Zu den bekanntesten und vertrautesten Darstellungen von Sachstrukturen gehören die üblichen Lehrbuchtexte. Diese Darstellungsart interessiert uns hier aber nicht weiter, weil die im folgenden betrachteten, eher formalen Darstellungsformen es gestatten, die Sachstruktur deutlicher hervortreten zu lassen, als es bei einem Lehrbuchtext möglich ist. Dabei werden wir uns insbesondere mit Begriffs-Regel-Hierarchien, einer besonderen Art von Flußdiagrammen, beschäftigen. Diese Darstellungsform hat sich bei der Planung von Unterricht (etwa bei der Entwicklung von Unterrichtseinheiten) gut bewährt.

### 2.4.1. Begriffs-Regel-Hierarchien

Wir stellen zunächst ein Beispiel für eine Begriffs-Regel-Hierarchie vor.<sup>1</sup> Abbildung 2.1. zeigt eine Sachstrukturdarstellung für einen Unterricht, in dem die Größe Arbeit in der 7. Klasse eingeführt werden soll. Sie bezieht sich auf einen Unterrichtsabschnitt von etwa 2 bis 3 Unterrichtsstunden.

In den Blöcken des Diagramms der Abb. 2.1. finden sich überwiegend Begriffe oder Definitionen von Größen. Dabei ist es ein wichtiges Kennzeichen dieser Art von Sachstrukturdarstellung, daß in den Blöcken nicht nur der Begriff bzw. die Größe genannt wird, sondern daß auch angegeben wird, wie der Begriff bzw. die Größe im Unterricht verstanden werden soll.

Regeln (oder auch allgemeine Gesetzmäßigkeiten) finden sich in der Abbildung 2.1. in Block 1 und in Block 8. Neben Begriffen, Größen und Regeln enthalten die Blöcke auch andere Inhalte, so in Abbildung 2.1. Anwendungsbeispiele aus der natürlichen und technischen Umwelt (s. die Blöcke 3 und 5) und Kennzeichnung größerer Unterrichtsabschnitte (Block 12). Weiterhin können auch kurze Charakterisierungen von innerfachlichen oder überfachlichen Ergänzungen in den Blöcken enthalten sein (s. dazu im Diagramm auf S. 49 die Blöcke 13 und 21/22).

Was den Inhalt der Blöcke angeht, so können wir also feststellen, daß dort die gesamte Thematik des Unterrichts aufgenommen werden kann. Durch die Blöcke ist eine Übersicht über die Inhalte (die „Sache“) des Unterrichts ge-

<sup>1</sup> Im Kapitel 9 findet sich ein — allerdings wenig detailliert ausgearbeitetes — Diagramm zum Thema „Transport elektrischer Energie“ (s. S. 275). Das Kapitel 10 enthält zwei Begriffs-Regel-Hierarchien. Ein Gesamtdiagramm für die Unterrichtseinheit „Grundbegriffe des Energiekonzeptes“ des IPN Curriculum Physik (1978) und ein genauer ausgearbeitetes Diagramm des dritten Unterrichtsabschnittes dieser Einheit (s. S. 302 bzw. S. 305). Abb. 2.1. gibt den zweiten Abschnitt dieser Einheit wieder.

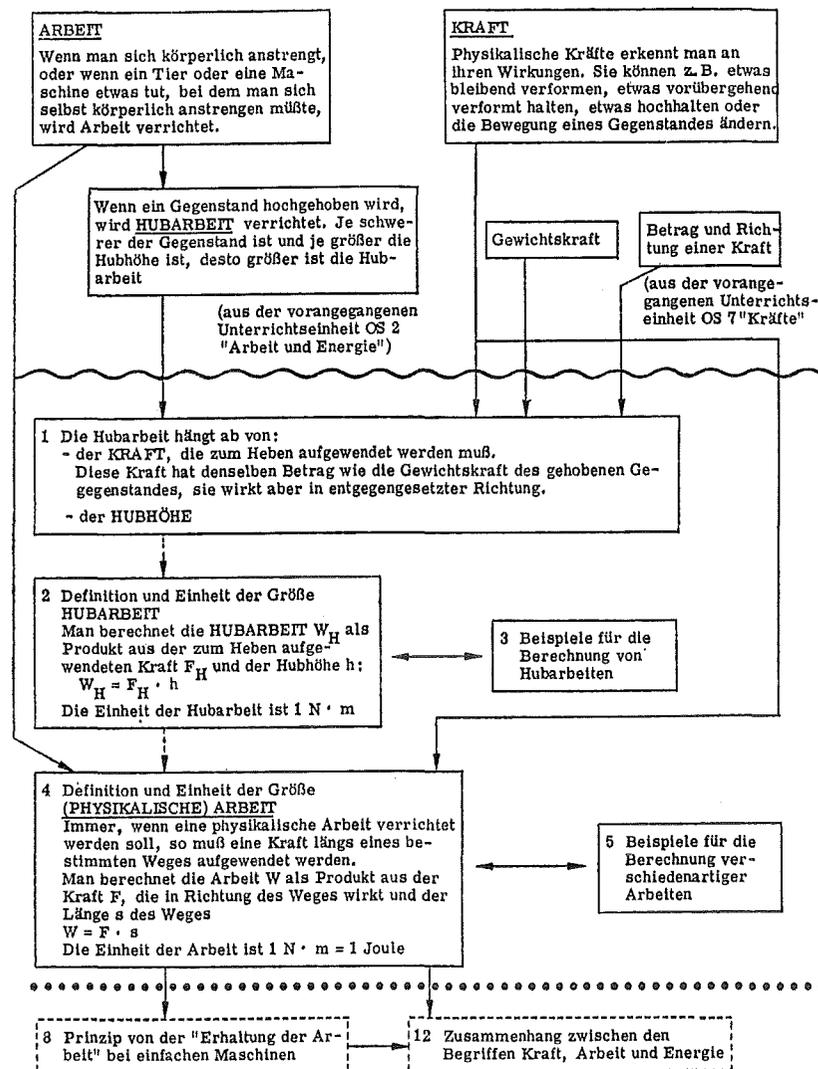


Abb. 2.1: Sachstrukturdiagramm für die Einführung der Größe Arbeit in der 7. Klasse (Unterrichtseinheit „Grundbegriffe des Energiekonzeptes des IPN Curriculum Physik)

geben, die Pfeile sollen die Beziehungen zwischen den Blöcken wiedergeben, also die Sachstruktur aufweisen.

Welche Bedeutung haben die Pfeile im Diagramm?

Diese Frage ist nicht ganz einfach zu beantworten, weil erstens unterschiedliche Pfeile verwendet werden ( $\rightarrow$   $\dashrightarrow$   $\leftrightarrow$ ) und weil die Pfeile nach verschiedenen Aspekten interpretiert werden können. Der einfache Pfeil ( $\rightarrow$ ) kommt am häufigsten vor. Er hat die folgende Bedeutung: Der Block, von dem der Pfeil ausgeht, ist sachlogisch Voraussetzung für den Block, auf den der Pfeil zeigt. Dies wird z. B. bei Block 1 sehr deutlich. Wenn die Regel dieses Blockes (die Abhängigkeit der Hubarbeit von sie bestimmenden Größen) den Schülern vermittelt werden soll, so muß bekannt sein, was Hubarbeit ist, es muß der Kraftbegriff zur Verfügung stehen, der Begriff Gewichtskraft muß vorhanden sein, und schließlich müssen die Begriffe Betrag und Richtung einer Kraft bekannt sein. Diese, von der Sachlogik her gegebenen Voraussetzungen werden durch die Pfeile gekennzeichnet. Dennoch haben die Pfeile nicht allein die Bedeutung „sachlogische Voraussetzung“. Dadurch, daß die Sachstruktur für den Physikunterricht geplant wird, sind bei der Erstellung einer Begriffs-Regel-Hierarchie immer auch Aspekte der Erlernbarkeit mit im Spiel. Bei Block 1 wurde z. B. gefragt, was notwendig ist, um die Regel zu erlernen.

Die doppelten Pfeile ( $\leftrightarrow$ ), z. B. zwischen den Blöcken 2 und 3 sowie 4 und 5 sollen darauf hinweisen, daß diese Blöcke in einer Art Wechselwirkung stehen: einerseits wird die Definition der Größe Hubarbeit — möglicherweise — an einem Beispiel herausgearbeitet, und die Definition wird andererseits angewendet, um Hubarbeiten zu berechnen.

Der gestrichelte Pfeil ( $\dashrightarrow$ ) zwischen Block 2 und 4 bedeutet, daß hier keine sachlogische Abhängigkeit besteht. Die Größe Arbeit kann ohne die Definition der Hubarbeit eingeführt werden. Der gestrichelte Pfeil deutet aber an, daß im Unterricht die Größe Arbeit in Analogie zur Größe der Hubarbeit definiert werden kann.

Die Verwendung verschiedener Pfeiltypen und der relativ breite Interpretationsrahmen für die Bedeutung der Pfeile sind bei Beginn der Beschäftigung mit einem solchen Sachstrukturdiagramm sicher erschwerend. Es hat sich aber gezeigt, daß eine allzu puristische Verwendung der Pfeile eine flexible Handhabung der Diagramme so sehr erschwert, daß es besser erscheint, einen Interpretationsspielraum in Kauf zu nehmen. Auf eine weitere Möglichkeit der Interpretation der Pfeile sei — allerdings in Verbindung mit einer Warnung — hingewiesen: Es liegt nahe, den Unterrichtsverlauf nach der Abfolge der Blöcke auszurichten, also im Unterricht Block für Block vorzugehen. Ein solches Anhängen des Unterrichtsverlaufes an die Sachstruktur steht aber immer in der Gefahr, zu unflexibel zu sein und für Anregungen und Lern-

schwierigkeiten der Schüler blind zu werden. Man sollte deshalb das Diagramm lediglich als eine Planungsskizze für den Unterrichtsverlauf ansehen und von der Abfolge der Blöcke abweichen, wenn es erforderlich ist.

Wir kommen nun zu wichtigen Kennzeichen der Diagramme, der Wellenlinie ( $\sim$ ) und der gepunkteten Linie ( $\dots$ ). Oberhalb der Wellenlinie stehen Begriffe, Regeln, usw., die aus vorangegangenen Unterrichtsabschnitten oder aus Vorerfahrungen der Schüler vorausgesetzt werden. Bei der Einführung der Größe Arbeit in Abbildung 2.1. wird z. B. vorausgesetzt, daß die Begriffe Arbeit, Hubarbeit und Kraft im dort umschriebenen Umfang bekannt sind. Unterhalb der gepunkteten Linie finden sich die Inhalte, auf die der betreffende Unterricht zielt.

Vielleicht ist zum Abschluß dieser Vorstellung der Begriffs-Regel-Hierarchien ein Blick auf ihre Herkunft interessant. Sie leiten sich her von den Lernstrukturen, die Gagné (1969) zur Planung von Lernprozessen vorgeschlagen hat. Diese Herkunft zeigt sich erstens in der Verwendung der Worte Begriff und Regel, die als zentrale Lernarten bei Gagné verwendet werden. Weiterhin ist in der Interpretation der Pfeile, die in den Begriffs-Regel-Hierarchien benutzt werden, ihre Herkunft aus den Lernstrukturen zu verspüren, indem nämlich ein Pfeil nicht nur sachlogische Abhängigkeit ausdrückt. Vielmehr sollte die Abfolge der Blöcke, zwischen denen die Pfeile Verbindungen herstellen, so gewählt sein, daß die entsprechenden Lernprozesse von den Schülern bewältigt werden können. Deshalb geben die Begriffs-Regel-Hierarchien auch einen *möglichen* Lernverlauf der Schüler wieder.

Nachdem wir nun an zwei Beispielen gezeigt haben, worum es sich bei Begriffs-Regel-Hierarchien handelt, wollen wir nun Verfahren anfügen, wie man zu dieser Art der Sachstrukturdarstellung kommen kann. Leider gibt es für die Erstellung von Begriffs-Regel-Hierarchien kein Patentrezept (nach der Devise: „Man nehme...“), es lassen sich lediglich einige Hinweise geben, wie solche Diagramme entwickelt werden können (s. auch Kap. 8).

- (1) Die Inhalte des geplanten Unterrichts (die Begriffe, Regeln, usw.) werden grob skizziert und in Blöcke aufgeteilt. Der Inhalt eines jeden Blockes kann auf einem kleinen Zettel notiert werden.
- (2) Die Blöcke werden in eine — vorläufige — Reihenfolge gebracht. Hat man sie auf einem Zettel notiert, so können auf einem Tisch oder auf einer Stecktafel leicht verschiedene Möglichkeiten der Anordnung „durchgespielt“ werden.
- (3) Es werden die Voraussetzungen, die zum Erlernen der Inhalte notwendig sind, in das vorläufige Diagramm eingetragen.
- (4) Hat sich eine bestimmte Reihenfolge der Blöcke konsolidiert, so wird das Diagramm im Detail näher ausgearbeitet. Dabei werden im allgemeinen einige kleinere Umstellungen auftreten, und es werden Ergänzungen notwendig sein.

Auch wenn man sich an diese Schritte hält, ist die Ausarbeitung einer Begriffs-Regel-Hierarchie ein Unternehmen, das einiger Übung bedarf. Hat man aber erst einmal eine gewisse Fertigkeit darin erworben, so ist es relativ einfach, auch kurzfristig — also für die nächste Unterrichtsstunde — die Sachstruktur nach diesem Verfahren aufzuzeichnen. Es wird allerdings so sein, daß es dem Lehrer in der Schulpraxis nur an wenigen Stellen möglich ist, dieses Verfahren vollständig einzusetzen. Dies wird vor allem bei solchen Themen sinnvoll und notwendig sein, in denen man sich noch nicht voll zu Hause fühlt. Dann ergeben die Begriffs-Regel-Hierarchien einen klaren und schnellen Überblick über die Struktur der Thematik und über die für das Unterrichten notwendigen Voraussetzungen.

Um eine Verbindung der Sachstruktur mit den allgemeinen Zielen des Unterrichts zu erreichen und um eine aspektreiche Sachstruktur für den Physikunterricht zu gewinnen, haben wir im Kapitel 8 ein Verfahren beschrieben, das hier Hilfe leisten kann (s. S. 254 ff.).

Welche Rolle können Begriffs-Regel-Hierarchien bei der Unterrichtsplanung spielen?

Begriffs-Regel-Hierarchien haben sich als sachlogische Flußdiagramme erwiesen, in denen lernpsychologische Überlegungen in einem bestimmten Umfang mit eingeschlossen sind. Sie nehmen den gesamten Inhalt des Unterrichts (also die physikalischen Regeln und Begriffe, aber auch technische Anwendungen, überfachliche Aspekte und dergleichen) auf. Die Begriffs-Regel-Hierarchien haben für die Unterrichtsplanung die folgenden Vorteile:

- Durch die Aufgliederung des Inhaltes in einzelne Blöcke und die hierarchische Anordnung dieser Blöcke nach sachlogischen Gesichtspunkten ist ein klarer Überblick über die Sachstruktur des Unterrichts, also über die Inhalte und ihre Beziehungen gegeben. Sachlogische Ungereimtheiten (z. B. Zirkelschlüsse) und fehlende Voraussetzungen können so relativ schnell erkannt werden.
- Lernpsychologische Überlegungen können bei der Erstellung einer Begriffs-Regel-Hierarchie mit berücksichtigt werden, wenn bei jedem Block gefragt wird, welche Voraussetzungen sachlogisch zum Erlernen nötig sind.
- Es kann klar abgelesen werden, auf welchen Voraussetzungen der Schüler man aufbaut (oberhalb der Wellenlinie ~~~) und wie die erlernten Inhalte im nachfolgenden Unterricht weiterverwendet werden (unterhalb der gepunkteten Linie .....).

- Durch die klare Übersicht, die die Begriffs-Regel-Hierarchien bieten, gewinnt der Lehrer für die Durchführung des Unterrichts dadurch Flexibilität, daß er schnell übersehen kann, welche Folgen für den weiteren Unterrichtsablauf Änderungen haben können. Weiterhin ist es möglich, im Diagramm alternative Unterrichtsverläufe zu erkennen.

- Die Diagramme enthalten nicht nur im engeren Sinne physikalische Inhalte, sondern auch technische Anwendungen und überfachliche Aspekte. Durch die Eingliederung solcher Aspekte in die physikalische Sachstruktur des Unterrichts kann eher verhindert werden, daß sie zu einem reinen Anhängsel des Unterrichts werden und die Sachstruktur der Wissenschaft (fast) allein zum Tragen kommt.

Diesen Vorteilen stehen unseres Erachtens zwei Nachteile gegenüber. Erstens ist das Verfahren zur Erstellung einer Begriffs-Regel-Hierarchie etwas kompliziert und zeitaufwendig. Es eignet sich deshalb insbesondere für solche Themengebiete, die dem Lehrer noch nicht gut vertraut sind. Für die Durchführung des Unterrichts liegt in den Diagrammen insofern eine Gefahr, als die klare Gliederung dazu verführen könnte, sich im Unterricht allzu eng an die Abfolge der Blöcke des Diagramms zu halten. Es sei deshalb hier noch einmal betont, daß sich der Unterrichtsverlauf zwar am Diagramm orientieren kann, daß er aber für Änderungen, die durch Schülerwünsche oder Lernschwierigkeiten notwendig werden, stets offengehalten werden sollte.