

## Kapitel 3

# Zusammenhänge zwischen der Fachsprache und dem Verständnis physikalischer Sachverhalte aus der Mechanik

## 3.1 Physikalische Begriffsbildung und Alltagstheorien

Verstehen von Physik ist immer auch Verstehen (d.h. Bilden) der Physikalischen Begriffe. Damit behindert trivialerweise eine Fachsprache, die missverständliche Worte benutzt, dieses Verstehen bereits im Vorfeld. Schecker weist auf die Gefahren hin, die durch die Bedeutungsunterschiede gleichklingender Begriffsworte entstehen.

„Physik ist nicht eine exaktere und mathematisierte Formulierung der Begriffe, die man aus dem Alltag prinzipiell schon kennt. Und Physik besteht nicht in der genaueren und messenden Betrachtung dessen, was man schon immer gesehen hat. Physik schaut vor dem Hintergrund theoretischer Naturentwürfe („mit anderen Augen“) hin, und Physik verwendet ein konsistentes, durch mathematische Beziehungen ineinandergefügtes Begriffssystem, das sich in vielen Kernbegriffen von der Alltagssprache abgekoppelt hat, auch wenn die Verwendung gleicher Begriffswörter z. T. darüber hinwegtäuscht.“ [SCHE85, S451]

Nach Schecker trifft der Newtonsche Kraftbegriff bei seiner Einführung im Unterricht zunächst auch das Begriffscluster Kraft/Energie/Schwung/Wucht/...

„Er steht in der Gefahr das Cluster lediglich um eine Facette zu erweitern, ohne die ihm zukommende eigenständige, abgegrenzte Funktion in einem physikalischen Begriffssystem zu erlangen. Der Prozess der Aneignung des Newtonschen Kraftbegriffes und damit des zentralen Pfeilers der klassischen Dynamik, soweit sie in der Schule vermittelt wird, verläuft dann erfolgreich, wenn parallel dazu oder einleitend die Grundstruktur des galileisch-newtonschen Denkens erfasst wird. Dazu gehört eine Bewusstwerdung, dass zwischen Alltagsbegriffen und gleichklingenden physikalischen prinzipielle Unterschiede bestehen. Diese werden oft nicht wahrgenommen. Auf den Punkt gebracht heißt die These: Der Newtonsche Kraftbegriff ist

deshalb, wie alle Untersuchungen über Schülervorstellungen in Mechanik belegen, so schwer, weil er von den Schülern aus dem Alltagsgebrauch von „Kraft“ für bereits bekannt gehalten wird.“ (Hervorhebung im Original) [SCHE85, S452]

Er belegt seine These mit subjektiven Selbsteinschätzungen von Schülern und Lehrern, die den Kraftbegriff als „leicht“ bzw. „sehr leicht“ einschätzen und unterscheidet deutlich zwischen dem Alltagsbegriff (Begriffscluster) und dem scharfen physikalischen Begriff. Man kann die Bildung physikalischer Begriffe jedoch auch unter einem weiter gefassten Rahmen betrachten. Unter diesem Rahmen beginnt Verstehen von Physik zunächst mit (häufig fachphysikalisch falschen) Alltagstheorien. Der Begriff Alltagstheorie ist hier in einem weiten Bedeutungsbereich gemeint. Er erstreckt sich von dem Extremfall, dass jemand aus Erfahrung einen einzigen physikalischen Sachverhalt richtig voraussagen kann, bis zu komplexen Alltagstheorien, die viele im Alltag relevante Sachverhalte beschreiben. Solche Theorien erreichen eventuell sogar die Stufe historischer physikalischer Theorien (z.B. Impetustheorie), so dass in ihnen unscharfe Begriffe (Vielleicht so etwas wie Schwung oder Wucht als Mischbegriff für gerichtete (Impuls) und ungerichtete Bewegungsgrößen (kinetische Energie)) vorkommen, für die kein fachsprachliches Wort existiert. Wenn man sich nun auf den Standpunkt stellt, dass solche, vom Lerner selbst erfundenen (d.h. nicht im heutigen fachphysikalischen Begriffssystem gebräuchlichen) Begriffe, wenn sie einen im weitesten Sinne physikalischen Sachverhalt beschreiben, zumindest prinzipiell physikalische Begriffe sind, zeigt sich eine weitere Gefahr der Fachsprache: Sie wird in der Schulphysik zu früh, d.h. bevor eine Ausschärfung der Begriffe erfolgt, eingeführt. Aufgrund seiner Theoriegebundenheit kann ein fachphysikalischer Kraftbegriff eigentlich auf Sekundarstufe I-Niveau nicht gebildet werden. Wird der auf diesem Niveau gebildete Begriff dann - fachsprachlich sanktioniert - mit dem Wort „Kraft“ bezeichnet, behindert die Fachsprache weitergehendes physikalisches Verstehen, indem sie eine weitere Ausschärfung überflüssig erscheinen lässt. Alltagsbezeichnungen wie „Kraft“, „Wärme“ oder „Arbeit“ erleichtern darüber hinaus die Verwechslung solcher „Zwischenlösungen“ mit gleich klingenden und Ähnliches beschreibenden Begriffen der Fachsprache.

Nach Merzyn [MERZ98d] lassen sich viele der als „Alltagvorstellungen“ beschriebenen Probleme des Physikunterrichts als Mängel in der Begriffsbildung auffassen. Versteht man unter einer Alltagsvorstellung ein Konzept wie z. B. „An/in einem bewegten Körper wirkt eine Kraft in Bewegungsrichtung“ ist diese Aussage nur eine andere Formulierung seiner anderen These „Eine Naturwissenschaft lernen heißt zu einem erheblichen Teil: den Umgang mit ihren Begriffen lernen“. Verständnis von Physik bedeutet folglich Aspekte der Welt durch die „physikalische Brille“ sehen zu können und diese Sichtweise setzt das Vorhandensein physikalischer Begriffe voraus. Diese Begriffsbildung kann natürlich, wie jegliche Begriffsbildung, nicht bloß aus einer Definition wie: *"Kraft := zeitliche Änderung des Impulses während einer Wechselwirkung"* bestehen. Eine klare Definition eines

physikalischen Begriffs beinhaltet immer auch z. B. eine scharfe Abgrenzung gegenüber Nachbarbegriffen, die ihrerseits anders definiert sind.

Die Begriffe Kraft und Energie werden in vielen Alltagskonzepten synonym verwendet. Beim Versuch einer Abgrenzung auf Schulniveau kommt erschwerend hinzu, dass man Energie nicht in ähnlicher Weise scharf definieren kann wie Kraft. Schwierigkeiten bereitet ferner die Abgrenzung zwischen den Begriffen kinetische Energie und Impuls.

Schließlich beinhaltet eine gelungene Begriffsbildung Klarheit über den Geltungsbereich der Theorie, die den Begriff verwendet. D. h. Kenntnis über die Theorie selbst und damit über Sachverhalte, die die Theorie beschreibt bzw. voraussagen kann. In diesem Sinne wird ein korrekter Kraftbegriff erst durch seine Anwendung definiert. M. E. können alle Stufen der Begriffsbildung, was den Kraftbegriff angeht, in der Schule schon allein aus ökonomischen Gründen nicht erreicht werden. Der Newtonsche Kraftbegriff ist, unabhängig davon was der Name „Kraft“ in der Alltagssprache bedeutet, viel schwieriger als z.B. der Geschwindigkeitsbegriff, weil eben die Newtonsche Theorie damit untrennbar verknüpft ist.

Hericks [HERI93] versucht bei seiner Beschreibung den Erwerb physikalischer Kompetenz in Mechanik bei Schülern dadurch zu strukturieren, dass er vier verschiedene Niveaustufen (Lernertheorien, KM0 bis KM3) unterscheidet. Den Ausgangspunkt (Niveau KM1) bilden mechanische Alltagstheorien, die es dem Einzelnen ermöglichen in der Alltagssprache angemessen über Sachverhalte zu kommunizieren, die in den Augen eines Physikers Tatbestände der Mechanik sind. Er stellt dabei fest, dass, trotz individueller Ausprägungen, Alltagstheorien in besonderem Maße gemeinsame Grundzüge aufweisen, die es gestatten im Rahmen didaktischer Forschung verallgemeinerbare Aussagen zu machen.

Z. B. bestehen Strukturgleichheiten zwischen dieser Stufe der Lernertheorie und der aristotelischen Klasseneinteilung in „natürliche“ und „unnatürliche“ d. h. „erklärungsbedürftige“ Bewegungen.

„Alle Alltagstheorien zur Mechanik ... beinhalten das Konzept, das **jede** unnatürliche Bewegung eines trägen/schweren Dinges Kraft/Energie/Arbeit/Leistung erfordert. Ohne Antrieb von außen kommen alle Dinge wieder zur Ruhe. Die durch einen Schrägstrich verbundenen Begriffe bilden jeweils einen Cluster, hier das alltagstheoretische **Cluster von Antriebspotenzen zum Bewegen**. Das heißt die Aussagen "Ich brauche Kraft zum Bewegen" und "Ich brauche Energie zum Bewegen" sind auf KM1 synonym.“ ( Hervorhebungen im Original) [HERI93, S130]

Auf dieser Stufe wird nicht zwischen Bewegungen mit gleichbleibender oder sich verändernder Schnelligkeit differenziert, was den Aufwand an Kraft/Energie/Arbeit/Leistung

angeht. Je nach Erklärungsbedarf kommen die beiden Bedeutungsvarianten „Kraft/Energie zum Bewegen“ bzw. „Kraft/Energie in der Bewegung“ vor.

Folge des Physikunterrichts kann eine Weiterentwicklung auf das Niveau „vorwissenschaftlicher Lernertheorien zur Mechanik (KM2)“ sein. Diese Stufe enthält als charakteristisches Element den Beschleunigungsbegriff. Damit wird Bewegung als kinematischer Begriff zugänglich.

„Insofern zur Aufrechterhaltung von Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit Kraft, Energie, Arbeit oder Leistung erforderlich ist, wird die Ursache hierfür nicht mehr in der Bewegung selbst gesehen, sondern in hemmenden (äußeren) **Widerständen**. ... Gleichwohl werden Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit ... noch **nicht** als **kräftefreie Bewegungen** angesehen.“ (Hervorhebungen im Original) [HERI93, S133]

Als Grund hierfür gibt Hericks die weiterhin bestehende, von anderen Autoren [SCHE85, JUNG81a] als „Aktivitätsschema“ bezeichnete Vorstellung an, bewegungshemmenden Widerständen nicht die gleiche Rangstufe zuzubilligen, wie den aktiven, wirkenden Ursachen, auch wenn die Bereitschaft vorhanden ist, beides mit dem Wort „Kraft“ zu bezeichnen. Kräftefreie Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit sind auf dieser Stufe lediglich bei Bewegungen einsehbar, bei denen überhaupt keine Kräfte im Spiel sind (Weltraum). Weiterhin wird das dritte Newtonsche Axiom auf dieser Stufe in dem Sinne missverstanden

„dass zwei Kräfte – eine aktive Kraft und eine passive Gegenkraft – auf **einen** Körper einwirken und die Gegenkraft gegenüber der aktiven Kraft sekundär ist, durch letztere gleichsam erst induziert wird.“ (Hervorhebung im Original) [HERI93, S134]

Auch die als „wissenschaftliche Lernertheorie zur Mechanik (KM3)“ bezeichnete Stufe, die das Kompetenzniveau beschreibt, welches „angesichts der in der Sekundarstufe II üblicherweise vermittelten Anforderungen ... günstigstenfalls erwartet werden kann“, entspricht noch nicht der vollen Beherrschung der Newtonschen Mechanik. Hericks sieht die Grenzen des im üblichen Physikunterricht Erreichbaren bei der Beschreibung mehrdimensionaler Probleme und beim Wechselwirkungsaspekt überschritten.

„Während das **Energiekonzept**, ..., durchgängig zur Konzeptionalisierung von mechanischen Prozessen verwendet werden kann, gelingt dies beim **Kraftkonzept** noch nicht. Insbesondere das dritte Newtonsche Axiom wird in aller Regel noch immer in derselben Weise wie auf KM2 mißinterpretiert.“ (Hervorhebungen im Original) [HERI93, S137]

Die vierte Stufe schließlich bezeichnet er als „kritisch regredierte Konzeptualisierung der Mechanik (KM0)“. Sie bedeutet einen durch den Physikunterricht induzierten Rückgang der

Kompetenz unter die allgemeine Alltagstheorie (KM1), d. h. den Ausgangspunkt des Unterrichtes.

„Die Schüler "erlernen" und erfahren in der Konfrontation mit physikalischen Konzepten und der Fachsprache die, gemessen an der physikalischen Norm, unzulängliche Gestalt von Alltagskonzepten und Alltagssprache. Sie sehen jedoch keine Möglichkeit, Fachsprache und Fachkonzepte an ihre Alltagstheorien zu "assimilieren", ... so werden diese Schüler in der Begegnung mit Physik und ihrer Sprache im wahrsten Sinne des Wortes **sprachlos** und stehen mechanischen Konzepten entsprechend konzeptionslos gegenüber.“ (Hervorhebung im Original) [HERI93, S137]

Anzumerken ist an dieser Stelle, auch wenn im weiteren nicht genauer darauf eingegangen wird, dass der Physikunterricht bei der Umstrukturierung alltagstheoretischen Denkens ständig mit dem Problem konfrontiert ist, den Lerner überhaupt für die physikalische Sichtweise zu motivieren. Es dürfte nicht leicht sein, jemandem klarzumachen, zu welchem Zweck er sein, im Alltag funktionierendes, Naturbild verändern soll, wenn die Vorteile (z.B. die Verallgemeinerbarkeit) eines physikalischen Begriffssystems erst in Bereichen sichtbar werden, zu denen der Schüler im Rahmen des Unterrichts nicht mehr vordringen wird. Z.B. erscheint die Beschreibung einer alltäglichen Bewegung unter Reibungseinflüssen mit Hilfe der Newtonschen Mechanik, falls überhaupt auf Schulniveau durchführbar, dem Problem unangemessen kompliziert (vgl. Abschnitt 3.3).

Die Unbeliebtheit des Faches Physik und seine in vielen Untersuchungen belegte Wirkungslosigkeit, was die Fähigkeit und die Bereitschaft ehemaliger Physikschrüler angeht, wenigstens Teile der lebensweltlichen Umwelt unter physikalischen Aspekten zu betrachten, ist in der Fachdidaktik hinlänglich bekannt. Hält man am Lernziel der Vermittlung eines wissenschaftlichen Naturbildes uneingeschränkt fest, setzt wirkliches Physik-Lehren voraus, dem Schüler den Sinn der physikalischen Sichtweise plausibel zu machen. Andernfalls könnte Lehren und Lernen, wie es Nolte-Fischer leicht polemisch ausdrückt, zu einer reinen Denksportaufgabe, noch dazu unter schulischem Druck, werden.

„Dann freilich wäre der Physikunterricht zumindest für alle späteren Nicht-Physiker weniger eine intellektuelle oder affektive Überforderung, wie Lehrer und Didaktiker im Grunde hilflos gegenüber der selbst gestellten Aufgabe unterstellen, sondern eher eine intellektuelle und affektive Zumutung zweifelhaften Unterhaltungswertes.“ [NOLT89]

### 3.2 Einige Anmerkungen über den Zusammenhang zwischen Denken und Sprechen

In der vorliegenden Arbeit geht es um Verständnisschwierigkeiten in Physik, die vermutlich zumindest teilweise durch die physikalische Fachsprache verursacht bzw. begünstigt werden. Wenn sich physikalische Kompetenz in der Bildung physikalischer Begriffe, d. h. physikalischer Bedeutungen, ausdrückt, berührt man einen Bereich der Psychologie, der sich mit der Einheit von Sprache und Denken befasst.

„Wir haben diese Einheit, die die Einheit von Denken und Sprechen in der einfachsten Form widerspiegelt, in der **Bedeutung** des Wortes gefunden. Die Wortbedeutung ist eine solche nicht mehr weiter zerlegbare Einheit beider Prozesse, von der nicht mehr gesagt werden kann, ob sie ein Phänomen der Sprache oder ein Phänomen des Denkens darstellt. Ein seiner Bedeutung entkleidetes Wort ist kein Wort: es ist ein leerer Klang; folglich ist die Bedeutung ein notwendiges, konstituierendes Merkmal des Wortes selbst. Es ist das von der Innenseite betrachtete Wort. Somit scheint es hinreichend begründet, die Bedeutung als ein Phänomen der Sprache anzusehen. Aber psychologisch ist die Wortbedeutung eine Verallgemeinerung oder ein Begriff. Verallgemeinerung und Wortbedeutung sind Synonyme. Jede Verallgemeinerung aber, jede Begriffsbildung ist ein spezifischer und unbestreitbarer Denktakt. Folglich sind wir berechtigt, die Wortbedeutung als Phänomen des Denkens zu betrachten.“ (Hervorhebung im Original) [WYGO74, S293]

Grundlegende sprachwissenschaftliche und psychologische Betrachtungen zu diesem hochkomplexen Thema sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur kurz in einigen Punkten skizziert werden, um dem Leser die Möglichkeit zu geben, die angedeutete Problematik einzuordnen. Sprach- und Sozialwissenschaftliche Übersichtstexte stimmen darin überein, dass die Beziehung zwischen Sprache und Denken bis heute nicht hinreichend geklärt ist. Die Theorien reichen nach Graumann [GRAU75] von der wesenhaften Unabhängigkeit von Sprache und Denken bis zur völligen Identität.

„Doch immer wird dieses Verhältnis als ein besonders enges gesehen, bleibt Sprache Medium des Denkens. Ob also "Denken und Sprechen ... dasselbe (sind), nur dass das innere Gespräch der Seele mit sich selbst, was ohne Stimme vor sich geht, Denken genannt worden ist ..." – so Platon in seinem "Sophistes"; ob Sprache "die sich ewig wiederholende Arbeit des Geistes (ist), den artikulierten Laut zum Ausdruck des Gedankens fähig zu machen" – so Wilhelm von Humboldt; ob Denken ein nach innen verlegtes stummes Sprechen ist – so der Behaviorist Watson; oder aber ob Sprache einem menschlichen Grundvermögen und –bedürfnis der "symbolischen Transformation" entspricht – so die Philosophin Susanne Langer; ob es ein "inneres Sprechen" gibt, das zuallererst in äußeres umgewandelt werden muss – so der sowjetische Psychologe Wygotski; ... immer wird der Sprache ... eine Mittlerfunktion zugewiesen, ...“ [GRAU75]

In physikdidaktischen Übersichtsartikeln [MERZ98a, BAUE83, LICH92] werden häufig die Arbeiten von Piaget und Wygotski angesprochen. Letzterer befindet sich „sozusagen in einer mittleren Position“ [GRAU75] zwischen Piaget, der eine weitgehende Unabhängigkeit der Entwicklung des Denkens von der Entwicklung der Sprache annimmt und der Position von Watson, für den „das Denken nichts anderes sei als lautloses Sprechen“. Bei Wygotski ist dagegen das „innere Sprechen“ wesentliches Element. Danach wird die Sprache Teil der Denkmechanismen, wenn sie sich verinnerlicht [BRUN71].

„Die Autonomie dieses inneren Sprechens ist ... so groß, dass es „sich unter allen Gesichtspunkten von der äußeren Sprache unterscheidet“. Entsprechend ist der Übergang von der inneren zur äußeren Sprache kein einfaches Lautwerden, sondern eine regelrechte Umstrukturierung: „die Umwandlung einer völlig eigenständigen Syntax, der semantischen und lautlichen Struktur der inneren Sprache in andere Strukturformen, die der äußeren Sprache zu eigen sind“. Während sich „der Gedanke in der äußeren Sprache im Wort verkörpert, stirbt das Wort in der inneren Sprache und gebiert dabei den Gedanken. Die innere Sprache ist in beträchtlichem Maße ein Denken in reinen Bedeutungen.“ [GRAU75]

Der Aspekt, dass die innere Sprache keine der äußeren Sprache angemessene Syntax braucht, ist sicherlich am leichtesten nachzuvollziehen. Schon bei einem Gespräch zwischen verschiedenen Personen, die in ihren Gedanken große Übereinstimmungen aufweisen, z.B. aufgrund einer gleichen Lebenssituation oder enger persönlicher Bindungen, ist eine einwandfreie Verständigung mittels einer extrem verkürzten Sprache, die einem Außenstehenden als völlig zusammenhanglos erschiene, möglich.

„Wenn es ein gemeinsames Subjekt in den Gedanken der Gesprächspartner gibt, verstehen sie sich voll und ganz mit Hilfe einer maximal verkürzten Sprache mit einer extrem vereinfachten Syntax; im entgegengesetzten Fall kommt es selbst bei einer ausführlichen Sprache zu keinem gegenseitigem Verstehen.“ [WYGO74, S333]

Erfolgt die Kommunikation in der inneren Sprache mit sich selbst, wird die Reduktion sprachlicher Äußerungen bis zum Extrem geführt. In der inneren Sprache besteht nie die Notwendigkeit, das Wort bis zum Ende auszusprechen. „Wir verstehen schon von der Absicht her, welches Wort wir aussprechen.“ [WYGO74, S342] Die innere Sprache entwickelt sich nach Wygotski auf Grundlage der „egozentrischen Sprache“ des Kindes, die, entgegen der Position von Piaget, „an der Schwelle des Schulalters nicht abstirbt, sondern in die innere Sprache übergeht.“ [WYGO, S315]. Unter der „egozentrischen Sprache“ versteht Piaget im Gegensatz zur „sozialisierten Sprache“, die auf Meinungs- und Informationsaustausch gerichtet ist, eine Sprache, bei der der Sprechende nicht versucht auf den Zuhörer einzugehen. „Sein Gesprächspartner ist der erstbeste. Das Kind erwartet von ihm nur scheinbares Interesse, auch wenn es offensichtlich die Illusion hat, gehört und verstanden zu werden.“ [PIAG75a]

Wygotski geht u. a. auf Grundlage damaliger Untersuchungen an Menschenaffen davon aus, dass Denken (Gebrauch von Werkzeugen) und Sprechen (emotionale und soziale Funktionen) verschiedene entwicklungsgeschichtliche Wurzeln haben und ihre Entwicklung unabhängig voneinander auf verschiedenen Wegen verläuft. Vorintellektuelle Wurzeln der Sprache, die nichts mit dem Denken gemein haben, wurden auch in der frühkindlichen Phase beim Menschen festgestellt. Während jedoch der für den Menschen charakteristische Zusammenhang zwischen Denken und Sprechen bei den Tieren nicht erkennbar ist, nimmt die Entwicklung beim Menschen einen anderen Verlauf.

„Das Wichtigste, was wir über die Entwicklung von Denken und Sprechen beim Kind wissen, ist die Tatsache, dass etwa um das 2. Jahr die Entwicklungslinien des Denkens und Sprechens zusammenfallen und eine neue, für den Menschen charakteristische Verhaltensform einleiten.“  
[WYGO74, S88]

Bruner sieht die Hauptschwäche von Wygotskis Auffassung darin, dass man so wenig über das Wesen der inneren Sprache weiß [BRUN71]. Jedoch spielt auch bei ihm die Sprache eine gewichtigere Rolle bei der geistigen Entwicklung des Kindes als bei Piaget. Bruner geht in seiner Theorie zur kognitiven Entwicklung von drei psychologischen Repräsentationen aus.

„Auffällige Akzentverschiebungen ereignen sich im Verlaufe der Entwicklung der Darstellungsfunktion (representation). Zuerst kennt das Kind seine Umwelt hauptsächlich durch die gewohnheitsmäßigen Handlungen, die es braucht, um sich mit ihr auseinanderzusetzen. Mit der Zeit kommt dazu eine Methode der Darstellung in Bildern, die relativ unabhängig vom Handeln ist. Allmählich kommt dann eine neue und wirksame Methode hinzu, die sowohl Handlung wie Bild in die Sprache übersetzt, woraus sich ein drittes Darstellungssystem ergibt. Jede dieser drei Darstellungsmethoden, die handlungsmäßige, die bildhafte und die symbolische, hat ihre eigene Art, Vorgänge zu repräsentieren. Jede prägt das geistige Leben des Menschen in verschiedenen Altersstufen, und die Wechselwirkung ihrer Anwendung bleibt ein Hauptmerkmal des intellektuellen Lebens des Erwachsenen.“ [BRUN71, S21]

Er zeigt z. B. anhand quantitativer Experimente, wie Kinder mit den unterschiedlichen Darstellungsmethoden Dingen ihrer Umwelt Äquivalenz zuschreiben. Danach basieren Äquivalenzurteile von Sechsjährigen auf Vorstellungsbildern, während ältere Kindern in zunehmenden Maße linguistische Strukturen zur Steuerung ihrer Beurteilung einsetzen. Untersuchungen mit Kindern aus unterschiedlichen kulturellen Umgebungen (Alaska, Mexico, Senegal, ungeschulte Dorfkinder, geschulte Stadtkinder) machen jedoch ebenfalls deutlich, dass „die Entwicklung von komplexiv-perzeptiven Definitionen der Äquivalenz zu solchen durch Oberbegriffe und Funktionen nicht eine universelle Eigenschaft des „Heranwachsens“ ist, da „der natürliche Endpunkt der Entwicklung in hohem Maße von den Mustern abhängt, welche die Kultur dem Individuum aufzwingt“. [BRUN71, S115]

Selbstverständlich ist auch für Piaget der Spracherwerb für die kognitive Entwicklung von großer Bedeutung. Beispielsweise ist die Sprache für ihn eine Voraussetzung zur Vollendung der aussagenlogischen Operationen, die zwischen 11 und 14 Jahren einsetzen. Jedoch führten ihn, sowohl die Erforschung der vorsprachlichen sensomotorischen Intelligenz im Säuglingsalter als auch die Ergebnisse seiner Untersuchungen zur Entwicklung der konkret-operatorischen Strukturen (ca. 7 bis 11 Jahre), z.B. die Ergebnisse einiger seiner berühmt gewordenen Experimente zum Invarianzbegriff [PIAG75b] zu dem Schluss, dass die Operationen als Ergebnis verinnerlichter Handlungen und ihrer Koordinationen lange Zeit von der Sprache verhältnismäßig unabhängig sind [PIAG76].

„So beobachtet man zwischen 7 und 12 Jahren, d.h. vor der Bildung der aussagenlogischen und hypothetisch - deduktiven Operationen, die mit der Sprache eng verbunden sind, eine lange Phase "konkreter" Operationen (Klassen, Relationen, Zahlen), die durch die direkte Manipulation von Gegenständen gekennzeichnet sind. Diese Operationen kommen u.a. durch den Erwerb von Invarianzbegriffen zum Ausdruck, die über den des permanenten Gegenstandes (Bei Piaget Urtyp der Erhaltung zwischen der Mitte des ersten und der des zweiten Lebensjahres, Anm. d. Verf.) hinausgehen. So gibt der Test mit den Plastilinkugeln, das Substanzinvarianz mit etwa 7 oder 8 Jahren, die Gewichtsinvarianz mit 9 - 10 Jahren und die Erhaltung des Volumens mit 11 - 12 Jahren erworben wird. Trotz dieser zeitlichen Verschiebungen benutzt das Kind allerdings dieselben Argumente und sprachlichen Formulierungen, um die jeweilige Invarianz zu begründen. ... Dies weist eindeutig darauf hin, dass diese Begriffe nicht allein von der Sprache abhängen. Vielmehr haben wir es mit der fortschreitenden Strukturierung des Gegenstandes zu tun, gemäß seiner verschiedenen Eigenschaften und in Abhängigkeit von aktiven Operationssystemen, die sich weit mehr auf die am Objekt vollzogenen Handlungen als solche, als auf ihre verbale Formulierung stützen.“ [PIAG76]

Der primäre Spracherwerb fällt in den ersten Teil der Periode zwischen etwa 1 ½ und 7 Jahren (Stufe des präoperativen Denkens) an deren Ende der Übergang zum konkret operativen Denken steht. Piaget sieht in der Sprache eine der Ausdrucksformen der Symbolfunktion, deren Kennzeichen die „Differenzierung der differenzierten Bedeutungsträger sowie die Möglichkeit durch sie nicht gegenwärtige Inhalte zu vergegenwärtigen“ sind. Sprachwissenschaftler sprechen von semiotischer Funktion, da sie neben dem Gebrauch von Symbolen auch den von sprachlichen Zeichen umfasst.

„Tatsächlich tritt das Sprechen auf der selben Entwicklungsstufe ein wie das Symbolspiel, die verschobene Nachahmung und - so ist anzunehmen - das geistige Bild als verinnerlichte Nachahmung. ... Der Übergang von den sensomotorischen zu den symbolischen oder vorstellungsmäßigen Verhaltensweisen wird nun zweifellos durch die Nachahmung gewährleistet ..., die in ihrer verschobenen und verinnerlichten Variante die Differenzierung von Bedeutungsträger und Inhalt leistet. So wird die Sprache über die Nachahmung erworben, die hier als wesentliches Hilfsmittel erscheint, denn wenn das Erlernen des Sprechens nur von Konditionierungen abhinge, müsste sie bedeutend früher einsetzen.“ [PIAG76]

Auf eine zwangsläufig stark verkürzte Darstellung wesentlicher Erkenntnisse der Entwicklungspsychologie nach Piaget soll an dieser Stelle bewusst verzichtet werden. Sie könnte seinem theoretischem Werk, welches u.a. die kognitive Entwicklung von der Geburt bis zum 16. Lebensjahr durch eine Abfolge charakteristischer Stufen beschreibt, in keiner Weise gerecht werden. Einen Überblick über Piagets Leben und Werk vermittelt z. B. die Monographie von T. Kesselring, in der, neben den theoretischen und empirischen Arbeiten zur Intelligenzentwicklung, auch philosophische Aspekte im Zusammenhang mit Piagets Fragestellung Berücksichtigung finden [KESS88].

Piagets entwicklungspsychologische Experimente wurden, teils in veränderter Form, von anderen Wissenschaftlern wiederholt. Viele seiner Experimente (z.B. die Aufgaben zur Erhaltung der Flüssigkeitsmenge trotz augenscheinlich veränderter Flüssigkeitsstände beim Umgießen in verschieden geformte Gefäße) stellen im formalen Sinne keine verbalen Aufgaben dar. So wurden sie in abgewandelter Form zur Untersuchung der Rolle der Sprache bei der Entwicklung des Denkens Gehörloser benutzt. Es zeigten sich einerseits Entwicklungsverzögerungen jüngerer gehörloser Versuchspersonen im Vergleich zur normal hörenden Kontrollgruppe. Andererseits hatten ältere Gehörlose, obwohl sich ihre Sprachfertigkeit nicht nennenswert verbessert hatte, keine Probleme mit der richtigen Lösung, was die Vermutung bestärkte, dass Sprache per se für den Erfolg bei dieser Aufgabe nicht wesentlich ist [FURT72].

Selbst wenn man den Aspekt, wie die Sprache das Denken beeinflusst bzw. sich beides gegenseitig bedingt, zunächst nicht berücksichtigt und sich auf den vermeintlich sichereren Bereich bezieht, in welchem Sprache nur der Informationsübertragung dient, kann man o. g. Schwierigkeiten nicht entgehen. Leisen bezeichnet die Informationstransportfunktion der Sprache als Vorurteil, denn

„die Vorstellungen, die sich Menschen von der Wirklichkeit zurechtlegen, konstruieren, sind verschieden und so können sie durch die Sprache keine Information über (in seinem Beispiel: den Stromkreis an sich) übertragen, sondern dem Kommunikationspartner nur sprachliche Fassungen der eigenen Wirklichkeitskonstruktion zuwerfen.“ [LEIS98]

Eine gelungene Kommunikation wird folglich erst durch Gemeinsamkeiten, z. B. durch ähnliche Sinneseindrücke vom besprochenen Gegenstand, in den jeweils eigenen Wirklichkeitskonstruktionen beider Gesprächspartner möglich. Verstehen sich zwei Gesprächspartner, die die gleiche Muttersprache sprechen, nehmen sie in ihrer „natürlichen Logik“ an, sie verstehen sich aufgrund geeigneter Wortwahl zum Ausdruck ihrer Gedanken. Nach Whorf [WHOR75] ist dem Sprecher dabei jedoch nicht bewusst, dass seine Aussagen dabei grammatikalischen Gegebenheiten folgen,

„die in seiner eigenen Sprache oder Sprachfamilie einen Hintergrundcharakter haben, die aber keineswegs in allen Sprachen gelten oder gar ein allgemeines Substrat der Vernunft überhaupt sind.“ [WHOR75]

Whorf vertritt die Auffassung, dass jedes Individuum durch seine Zugehörigkeit zu einer Sprachgemeinschaft bei der Beschreibung der Natur in seinem Interpretationsspielraum beschränkt ist. Das also nicht zwangsläufig gleiche physikalische Sachverhalte einen Beobachter zum gleichen Weltbild führen, sondern gemeinsame linguistische Hintergründe. Innerhalb der modernen europäischen Sprachen werden solche Unterschiede nicht deutlich, da alle diese Sprachen indoeuropäische Dialekte sind, die Übereinstimmungen in ihren Grundstrukturen zeigen. So ist z.B. die Aufteilung von Wörtern unserer Sprache in die beiden Klassen „Substantive“ und „Verben“ nicht aufgrund natürlicher Phänomene erklärbar.

„Man wird bemerken, dass ein "Vorgang" für uns das ist, "was unsere Sprache als Verb klassifiziert" oder etwas, das daraus analogisierend abgeleitet ist. Und man wird weiter bemerken, das es unmöglich ist, "Vorgang, Ding, Objekt Relation" usw. von der Natur der Phänomene her zudefinieren.“ [WHOR75]

Bei seiner Untersuchung von Eingeborensprachen Amerikas, die sich einige Tausend Jahre lang unabhängig voneinander entwickelt haben, findet Whorf Klassifizierungen, die unserer Denkweise völlig fremd sind.

In der Hopisprache (Hopi = nordamerikanischer Stamm der Puebloindianer im Staate Arizona) werden Ereignisse nach ihrem Status der „Dauer“ klassifiziert. Vorgänge von kurzer Dauer wie z. B. „Blitz, Welle, Flamme; Meteor, Rauchwolke“ sind danach Verben. Ereignisse längerer Dauer (an der unteren Grenze z. B. Wolke und Sturm) werden als Substantive erfasst. Weiterhin verfügt die Hopisprache nicht über einen quantifizierbaren Zeitbegriff. Auch das Vokabular unterschiedlicher Sprachen kann z.B. in für die jeweilige Kultur wesentlichen Bereichen stark voneinander abweichen. Häufig zitiertes Beispiel sind die vielen unterschiedlichen Worte der Eskimosprachen für unser einziges Wort „Schnee“ [WHOR75]. Umgekehrt verwenden die Azteken für unsere drei Worte „Schnee, Kälte, Eis“ nur einen einzigen Wortstamm. Aus der Analyse solcher und ähnlicher Beispiele lassen sich Vermutungen darüber anstellen, dass Vokabular, Satzbau und Grammatik einer Sprache umgekehrt auch einen Einfluss auf die Wahrnehmung und das Denken ausüben.

„Da die grammatikalischen Formen dem Wandel weniger unterworfen sind als das Vokabular, wäre ein solcher Einfluß, falls er existieren sollte, viel durchdringender als der des Vokabulars.“ [HENL75]

Neben der These, einer Beeinflussung durch die Sprache, die die Aufmerksamkeit „auf bestimmte Aspekte der Erfahrung mehr als auf andere lenkt“ [HENL75] lässt z.B. die Tatsache,

dass in unserer Sprache zeitliche Vorstellungen durch Worte, ausgedrückt werden, die räumliche Vorstellungen beschreiben (z.B. davor, danach, lang, kurz, Zeitraum, usw.), auch die umgekehrte Schlussfolgerung zu.

„Wir finden nämlich, dass das Denken bereits sehr genau zwischen lokalen und temporalen Bestimmungen zu scheiden vermag, wogegen die konservative Sprache auf einer primitiveren Bewusstseinsstufe verharrt, die in bezug auf diese Denk- und Darstellungsaufgaben noch nicht sachentsprechend differenziert.“ [KAIN72]

Schon die wenigen hier angesprochenen Aspekte zum Zusammenhang zwischen Sprache und Denken machen deutlich, dass ein eindeutiger theoretischer Ansatz, der als Fundament für eine entsprechende empirische Untersuchung dienen könnte, bis heute fehlt. Ferner beschäftigen sich die hier kurz angerissenen Beispiele hauptsächlich mit der Entwicklung des Denkens im Kindesalter. Für eine Untersuchung von Auswirkungen der Fachsprache auf Denkprozesse bei älteren Schülern und Erwachsenen können sie nur schwache Anhaltspunkte geben.

Untersuchungen von Schülervorstellungen lassen sich jedoch rechtfertigen, wenn man sich auf eine bescheidenere Fragestellung beschränkt. Anstatt danach zu fragen, was Versuchspersonen bei der Beurteilung physikalischer Sachverhalte und physikalischer Begriffe denken, oder, anders ausgedrückt, wie bestimmte Vorstellungen entstehen, wird man zunächst versuchen, bestimmte, häufig anzutreffende Vorstellungen zu beschreiben. Diese Untersuchungen (Interviews oder schriftliche Tests) müssen notwendigerweise weitgehend auf der sprachlichen Ebene erfolgen. „Grundsätzlich gilt, dass es in der Regel keinen direkten Weg von Schüleräußerungen zu Schülervorstellungen gibt.“ [JUNG85]

Liegen entsprechende Ergebnisse vor, wie das bei Fragestellungen aus der Mechanik in großem Umfang der Fall ist und geht es bei dem betreffenden Bereich um anschauliche, d.h. um unmittelbar beobachtbare Sachverhalte, was ebenfalls auf viele mechanische Problemstellungen zutrifft, eröffnet sich die Möglichkeit, fachsprachliche Einflüsse durch weitgehende Elimination der Fachsprache aufzudecken. Dies geschieht in der vorliegenden Untersuchung sowohl bei der Fragestellung, bei der eine bildliche Darstellung verwendet wird, als auch bei der Antwort, indem lediglich Voraussagen über den Ausgang eines Experiments verlangt werden (multiple choice). Darüber hinaus erlaubt eine Darstellung durch Cartoons auch eine implizite Einbeziehung lebensweltlicher Erfahrungen und zeitlicher Abfolgen. Die Versuchspersonen haben damit bei entsprechenden Fragen die Möglichkeit die Lösung vollständig in ihrer „inneren Sprache“ zu vollziehen. Übersetzungen und Erklärungen sind nicht nötig, der Dialog mit dem Tester läuft lediglich auf Zustimmung oder Ablehnung hinaus.

### 3.3 Umsetzung der Fragestellung in Design des Fragebogens

Für Physiker, die die einem Begriff zugrundeliegende Theorie kennen, ist die Fachsprache eine ökonomische Methode, große Informationsmengen untereinander auszutauschen. Der konkrete Name des Begriffes ist dabei völlig austauschbar, solange Verwechslungen ausgeschlossen sind und klar ist, innerhalb welcher Theorie bzw. Näherung (z.B. ob relativistische oder quantenmechanische Effekte berücksichtigt werden) man sich gerade verständigt. Innerhalb der Fachphysik kann der Name eines Begriffes allein (oder sein Formelzeichen) häufig nicht darüber Auskunft geben, worum es eigentlich geht. So kann mit dem Symbol  $\Delta$  z.B. eine Differenz oder der Laplace Operator gemeint sein [WEIZ60].

„Das der Physiker üblicherweise nur sie im Auge hat und also in  $\Delta\phi = 0$  mit dem Symbol  $\Delta$  den Laplace-Operator meint, liegt jedoch in der Formel keineswegs begründet. Der Laplace-Operator trägt den Namen eines berühmten Mannes. Sie finden hier einige Eigentümlichkeiten der Sprache der exakten Wissenschaften, dass nämlich oft ein Symbol mit einem sprachlichen Namen belegt wird, dem man nur auf dem Umweg über die Geschichte ansehen kann, warum er gewählt wurde. Statt des Namens eines berühmten Mannes könnte man natürlich sehr wohl durch eine Definition etwas anderes einführen. Man müsste dann aber andere, schon definierte Begriffe benutzen und faktisch ist die Anzahl von Begriffen, die man einführen muss, so groß, dass es lästig ist, diese Begriffe systematisch zu bezeichnen. Die Systematik ändert sich überdies unablässig mit dem Fortschritt der Wissenschaften, und so wählt man lieber die Bezeichnung durch den Namen eines Mannes, obwohl diese Bezeichnung im Grunde nichtssagend ist, weil der betreffende Mann meistens nicht einmal das erfunden hat, wovon jeweils die Rede ist.“ [WEIZ60]

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es am Beispiel des Kraftbegriffes herauszufinden, ob und in welcher Weise Unkenntnis über Physik mit Unkenntnis der verwendeten Fachsprache zusammenhängt. Der gewählte Ansatz versucht, die aus anderen Untersuchungen zum Schülervorverständnis in Mechanik bekannten Probleme folglich aus einer etwas anderen Perspektive anzugehen. Testitems, in denen direkt nach Kräften gefragt wird, wie sie in vielen derartigen Untersuchungen in Interviews oder in schriftlicher Form verlangt werden, überprüfen neben physikalischer Voraussagekompetenz immer zugleich die Beherrschung der Fachsprache.

Es wäre durchaus denkbar, dass in einigen Fällen Unkenntnis über physikalische Sachverhalte vielleicht nur Unkenntnis der verwendeten Fachsprache ist. Eine weitergehende These wäre, dass bestimmte Misskonzepte durch fachsprachliche Bezeichnungen erst verursacht werden. Handelte es sich hierbei um eine hinreichende Bedingung, würden bestimmte Fehler ohne Fachsprache nicht gemacht. Wäre die Fachsprache nichts weiter als eine normale Fremdsprache, dann könnte man diese These einfach dadurch überprüfen, dass man die gleichen Fragen zweimal stellt. Einmal in der zu testenden Fremdsprache und ein weiteres Mal in einer Sprache, die die Versuchsperson (VP) mit einiger Sicherheit versteht. Die Frage

selbst bezieht sich dabei auf einen Sachverhalt, der sich in beiden Sprachen erklären (beschreiben) lässt. D.h. die Versuchspersonen (VPN) verfügen über die notwendigen Begriffe. Bei dieser Methode ist sichergestellt, dass man jeweils Worte für die gleichen Begriffe aus beiden Sprachen für die Aufgabe benötigt.

Die beiden zu vergleichenden Sprachen unterscheiden sich aber im vorliegenden Fall gerade nicht nur durch Worte, sondern durch die zugrundeliegenden Begriffe. D.h. um die These zu überprüfen, muss man als Voraussetzung annehmen, dass fachphysikalisch richtige Begriffe auch ohne die Fachsprache gebildet werden können. Falls ja, mit welchen Namen werden diese Begriffe dann versehen bzw. sind sie überhaupt formulierbar?

Wie oben bereits angedeutet, gibt es vermutlich eine Klasse von Problemstellungen bei denen es möglich ist, eine derartige Untersuchung anzustellen. Und zwar bei Begriffen, die einen beobachtbaren Sachverhalt beschreiben. Damit müsste sich zumindest zeigen lassen, ob ein Aspekt eines Begriffes, der in einer speziellen Situation zur Beschreibung benötigt wird, vorhanden ist. Wenn also VPN deutlich ober- bzw. unterhalb der statistischen Ratewahrscheinlichkeit bestimmte Voraussagen abgeben, deutet das auf ein Vorhandensein bestimmter für die Situation relevanter Begriffe hin.

Ein schönes Beispiel für eine solche Situation findet sich bei Wagenschein [WAGE70]: Die Voraussage der Konstellation von Erde, Sonne und Mond bei einer Finsternis, sowie bei den Mondphasen. Diese beiden Sachverhalte kann nur jemand korrekt beschreiben, der über den Schattenbegriff verfügt und die Geometrie der Situation durchschaut, d. h. eine Theorie besitzt. Auf dieser Grundlage sind dann die Begriffsdefinitionen „Mondfinsternis“ und „Mondphase“ sinnvoll. Die Begriffsnamen werden gleichzeitig überflüssig, denn man könnte den Sachverhalt dann auch in der Alltagssprache ausdrücken.

Eine ähnliche Struktur von beobachtbaren Sachverhalten zu finden, aus deren korrekter Voraussage sich der Newtonsche Kraftbegriff ableiten lässt, der dann als letzte und eigentlich überflüssige Handlung den Namen „Kraft“ erhält, ist schon dadurch extrem schwierig, weil Kraft keine unmittelbar beobachtbare Größe ist. Zudem sind hier zur Begriffsbildung Zwischenschritte notwendig. So ist z.B. der Beschleunigungsbegriff oder der Impulsbegriff eine dieser Voraussetzungen, je nachdem, welcher Weg für die Einführung des Newtonschen Kraftbegriffes gewählt wird.

Die Untersuchung soll also einerseits zeigen, ob bestimmte Aspekte eines korrekten Kraftbegriffes bei den VPN vorhanden sind. Eine intuitive Vorstellung der Impulserhaltung ist z.B. ein solcher Aspekt (Wechselwirkungs-Aspekt). Andererseits soll herausgefunden werden, ob solche Aspekte mit dem, was sich die VPN unter dem Wort „Kraft“ vorstellen, konsistent

sind. Um nun den Einfluss der Fachsprache bei der Lösung physikalischer Probleme weitgehend zu isolieren, wurde ein Fragebogen entwickelt, der sich in zwei Teile gliedert.

Im ersten Teil des Fragebogens sollen die VPN Voraussagen zu physikalischen Sachverhalten abgeben. Die Situationen werden möglichst realitätsnah z.B. als Cartoon dargestellt. In der Fragestellung wird im Unterschied zu o.g. Tests die Fachsprache bewusst vermieden. Das gilt insbesondere auch für physikalisch interpretierbare alltagssprachliche Ausdrücke wie z.B. "sich bewegen". Eine Untersuchung von Jung [JUNG83] ergab beispielsweise, dass für einige jüngere VPN "sich bewegen" mit körperlicher Anstrengung verbunden ist. Ein Fahrgast in der Straßenbahn "bewegt sich" in diesem Sinne nicht. Die VPN sollen entscheiden, ob Ereignisse eintreten, vorgegebene Bahnkurven beurteilen oder durch Positionsangaben indirekt Geschwindigkeiten voraussagen.

Neben der Vermeidung fachsprachlicher Termini dient diese Art der Darstellung natürlich auch zur Motivation der VPN („Erweckung von Interesse, Bekräftigung des Selbstvertrauens, Vermittlung von Motiven, die weiteren Fragen mit gutem Willen zu beantworten“ [NOEL63]) und täuscht etwas über den Schwierigkeitsgrad einzelner Items hinweg. Da sich die Befragung an einen möglichst breiten Bereich der Bevölkerung richtet, müssen die dargestellten Situationen soweit möglich einen gewissen Alltagsbezug haben. Damit enthalten die Bilder zwangsläufig auch Informationen, die nichts mit dem physikalischen Hintergrund der jeweiligen Frage zu tun haben. Aus den gleichen Gründen musste von den in Physikaufgaben üblichen Laborbedingungen abgesehen und eine gewisse Unschärfe in Kauf genommen werden. Ob von den VPN gewisse Abstraktionen hinsichtlich verschiedener Einflussgrößen (z.B. Reibung) vorgenommen werden, ist hier also nicht Voraussetzung sondern Ergebnis der Befragung. Es ist bekannt, dass VPN bei bildlich dargestellten Items stärker auf Details achten, als das bei rein verbalen Fragestellungen der Fall ist [GERD99]. Z. B. wählten VPN, denen man eine abgeänderte Version (Flugbahn eines Kindes nach Verlassen einer Wasserrutsche) zu der im Force Concept Inventory zum waagerechten Wurf gestellten Frage (Flugbahn einer waagrecht abgeschossenen Kanonenkugel) vorlegte, häufiger die „korrekte“ Lösung. M.E. sind jedoch Fragestellungen, bei denen eine reibungsfreie Lösung bei derartigen Geschwindigkeiten (Neben der Kanonenkugel kommt auch eine Frage, bei der ein Gegenstand aus einem Düsenflugzeug fällt, vor) als korrekte Newtonsche Lösung gewertet wird [HEST92], übertrieben.

Da die Voraussagen in diesem Teil des Fragebogens nonverbal erfolgen, muss offen bleiben, welche physikalische- oder Alltagstheorie zur Lösung benutzt wurde. Dass ein umfassender, nonverbaler Kraftbegriff bei den VPN vorhanden ist und lediglich der Name „Kraft“ bestimmte Fehler induziert, ist aufgrund der Komplexität des Kraftbegriffes auszuschließen. Das belegen Vorverständnisuntersuchungen aus dem englisch- oder französischsprachigen Raum (vgl. *Tabelle 2.3.2* in Abschnitt 2.3). Z. B. ist das Konzept „Kraft proportional zur

Geschwindigkeit“ in dieser Hinsicht international. Anders verhält es sich vielleicht mit einzelnen Aspekten des Kraftbegriffes. So könnte der Wechselwirkungsaspekt in Fällen in denen beide Wechselwirkungspartner gesehen werden oder der Trägheitsaspekt durchaus in einer intuitiven Vorstellung der Impulserhaltung angelegt sein. Es wurde deshalb versucht, Sachverhalte anzugeben, bei denen bestimmte (aus Vorverständnisuntersuchungen bekannte) Misskonzepte zum Kraftbegriff bestimmte (richtige und falsche) Voraussagen nahe legen.

Im zweiten Teil des Fragebogens wird gezielt nach dem Wort "Kraft" gefragt. Die VPN sollen für Situationen, die sie aus dem ersten Teil des Fragebogens bereits kennen, dem Wort "Kraft" Pfeilsymbole zuordnen. Personen, die den Kraftbegriff aus dem Physikunterricht kennen, sehen in den angegebenen Pfeilen sicherlich eher eine symbolische Beschreibung der jeweiligen Situation mit Hilfe des physikalischen Kraftbegriffes als Laien, die hier vielleicht lediglich Pfeile zum Wort Kraft assoziieren. Es wurde nicht explizit nach den korrekten Kraftpfeilen gefragt, sondern nach Kraftpfeilen, die der VP für die jeweilige Situation vernünftig erscheinen. Es sollte dabei vermieden werden, den VPN hier durch umfangreiche Instruktionen zu viele Informationen zu geben, die diese dann durch hin- und herblättern an anderer Stelle im Fragebogen einsetzen könnten.

Weiterhin können die VPN in diesem Teil des Fragebogens aufschreiben, was ihnen spontan zum Wort „Kraft“ einfällt, Sätze in denen das Wort vorkommt selbst erfinden und einige vorgegebene Aussagen dazu beurteilen.

Die für die Befragung vorgegebenen Antwortalternativen stammen größtenteils aus einem Vorlauftest (Originalfragebogen und Rohdaten im Anhang B) mit Studienanfängern (N = 81) und Schülern (N = 20). In dieser physikalisch anspruchsvolleren Testversion des Fragebogens wurden von den VPN mehr physikalische Grundkenntnisse verlangt. Sie mussten sich z.B. Geschwindigkeitspfeile selbst ausdenken und einige ihrer Entscheidungen an späterer Stelle des Fragebogens begründen. Interessante Einzelergebnisse dieser Testbefragung werden jew. im Zusammenhang mit den Einzelergebnissen der Haupterhebung (vgl. Kapitel 4.4.2ff) diskutiert.

Um fachsprachliche Einflüsse auf das Lösungsverhalten von physikalischen Problemstellungen zu untersuchen, wurde noch ein weiterer Untersuchungsansatz verfolgt. Neben der Haupterhebung standen für eine Vergleichsbefragung VPN zur Verfügung, die verschiedene Fachsprachen für gleiche Sachverhalte gelernt haben. Die entsprechende Untersuchung wurde durch einen Vergleich von Oberstufenschülern, die in Klasse 11 nach dem sog. Karlsruher Physikkurs unterrichtet wurden mit traditionell unterrichteten Schülern ermöglicht. Auf die Vergleichsbefragung und den sprachlich und inhaltlich grundlegend anders strukturierten Aufbau der Mechanik des Karlsruher Physikkurses wird in Kapitel 5 eingegangen.