

4.4.2.1.3 Situationen in denen beide Wechselwirkungspartner betrachtet werden.

A: Voraussage von beobachtbaren Sachverhalten zum Thema Wechselwirkungspartner mit asymmetrischer Energie- oder Massenverteilung

A.1 Fragen 9a und 9b

Asymmetrische Vorstellungen über wirkende Kräfte bei einer Wechselwirkung sowie die Vermischung des Kraftbegriffes mit Begriffen wie Leistung und Energie sollten, falls der Kraftbegriff seine zentrale Stellung im Rahmen des Mechanikunterrichtes verdient, zu falschen Einschätzungen der Realität führen. Ein Ergebnis vieler Untersuchungen zu Fehlvorstellungen aus dem Bereich der Mechanik ist, dass das 3. Newtonsche Axiom von den Schülern, auch nach dem Physikunterricht, nicht verinnerlicht wird (vgl. Abschnitte 2.3 und 3.1). Die Assoziationen zum Wort „Kraft“ in Abschnitt 4.4.2.3 sowie die Beschreibung der Situation in den Fragen 5 bzw. 15 in Abschnitt 4.4.2.2 werden dafür weitere Belege liefern. Bei der im Schulbuch üblichen Vorgehensweise zur Einführung des Kraftbegriffes steht das 3. Newtonsche Gesetz meist als schwierigstes Kapitel am Ende (z.B. 20 Seiten nach Einführung der Kraft bei [DORN93]). Der Impulsbegriff taucht dabei in vielen Schulbüchern der Sekundarstufe I gar nicht auf oder wird als neues Thema an ganz anderer Stelle [BSV93] behandelt. Erschwerend für die Schüler kommt hinzu, dass zunächst oft im Rahmen der Statik Gleichgewichtspaare, die an einem Körper angreifen, behandelt werden. Wie unter 4.4.2.2 noch angesprochen wird, sind einige Sachverhalte aus der Statik, die in Schulbüchern der Sekundarstufe I diskutiert werden, selbst für die meisten Studienanfänger unlösbar. Wenn man, wie das traditionell üblich ist, den Kraftbegriff in den Mittelpunkt stellt, ist m. E. die übliche Behandlung der Dynamik, die über weite Teile ohne den Wechselwirkungsaspekt der Kraft erfolgt, für die Begriffsbildung ungünstig.

Aufgrund der bekannten Schwierigkeiten, die der Kraftbegriff bei Schülern verursacht, ist man heute zunehmend der Überzeugung, den Energiebegriff vor dem Kraftbegriff zu behandeln (Lehrpläne [NRW93a], [NRW93b]). Neben der praktischen Erfahrbarkeit der mengenartigen Größe Energie in einigen Situationen (z. B. in Verbindung mit der Temperatur oder dem Spannungszustand von Körpern), ist auch die Fachsprache wesentlich einfacher. Eine mengenartige Größe kann als Eigenschaft von Körpern angesehen werden, sie kann z.B. gespeichert oder übertragen werden. Die wichtigste Eigenschaft ist jedoch, dass für die Größe Energie ein Erhaltungssatz gilt, der wesentliche Aussagen in allen Teilbereichen der Physik erlaubt, und auch in der Atomphysik oder relativistischen Physik gültig bleibt.

In Frage 9 wurden den VPN zwei Vorrichtungen gezeigt, von denen lediglich eine funktioniert. Zur Lösung reicht die alleinige Kenntnis des Energiesatzes jedoch nicht aus, auch wenn manche Betrachtungen diesen Anschein erwecken [FREN96]. Frage 9a wurde in Anlehnung an das Kinderbuch von Michael Ende “Jim Knopf und die Wilde 13” [ENDE90]

gestellt. In einem Kapitel des Buches wird die Lokomotive Emma mit Hilfe von "Magnetsteinen" auf eine ähnliche Weise betrieben. Da der Autor im Kinderbuch keine Aussage über die Feldenergie der geheimnisvollen Steine macht, wurde der Magnet in Frage 9a zusätzlich an ein "unerschöpfliches" Energiereservoir angeschlossen, so dass der Energiesatz die Fortbewegung nicht verbietet. Der einfachste Weg zur Lösung liegt in der Beachtung des zweiten für die Mechanik relevanten Erhaltungssatzes, der Impulserhaltung. Bei der Argumentation mit Kräften benötigt man also des 3. Newtonschen Gesetz.

Frage 9

Voraussage ob die dargestellten Arten der Fortbewegung funktionieren

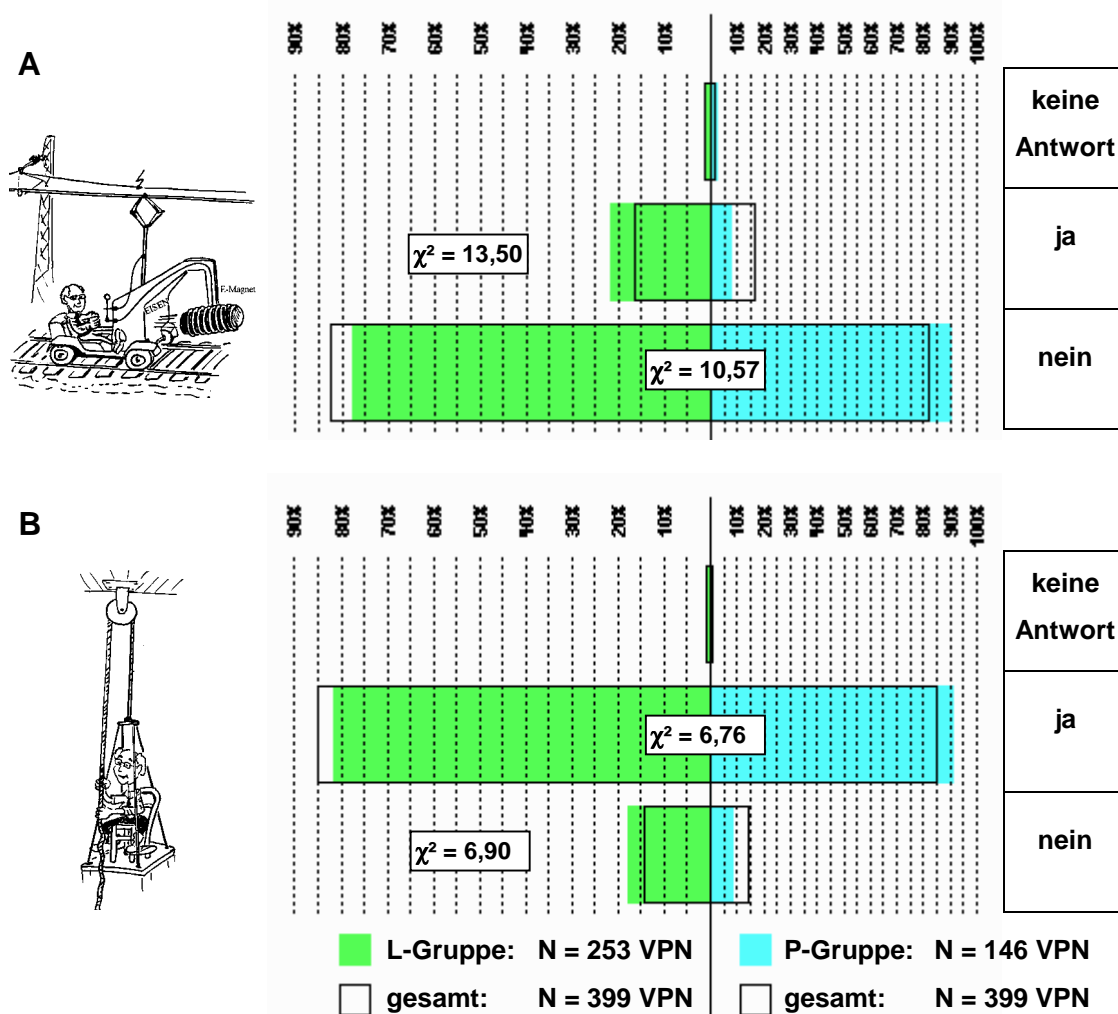


Abbildung 4.4.25

Die Antworten auf Frage 9 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Die Ergebnisse in *Abbildung 4.4.25* zeigen, dass ein Großteil der Befragten (auch innerhalb der L-Gruppe) zumindest eine intuitive Vorstellung davon besitzt, was funktioniert und was nicht. Vom didaktischen Standpunkt aus bietet sich hier der Impulssatz als physikalische Beschreibung *bereits vorhandenen* Wissens geradezu an. In Kapitel 5 wird in diesem Zusammenhang ausführlich auf Struktur und Sprache des Karlsruher Physikkurses eingegangen, der wesentliche Teilgebiete der Schulphysik neu strukturiert. Neben der Energie wird jedes Teilgebiet jeweils durch eine zweite mengenartige Größe systematisiert. In dieser Struktur spielt der Impuls für die Mechanik die Rolle, die in der Elektrizitätslehre der elektrischen Ladung und in der Wärmelehre der Entropie zukommt.

A.2 Fragen 2, 7 und 8

Wirken mit dem Kraftbegriff verknüpfte Vorstellungen wie z. B. „der stärkere (aktive) übt die größere Kraft aus“ oder „...hat mehr Kraft“ bereits bei der Voraussage eines asymmetrischen Sachverhalts, bei dessen Beschreibung das Wort nicht vorkommt? Nach dieser Vorstellung sollte in Frage 2 Brummel, der versucht seinen passiven (schlafenden) Bruder aus der Gefahrenzone zu ziehen, erfolgreich sein. In Frage 7 sollte der größere (und schwerere) Magnet den kleineren Magneten stärker „zu sich herüberziehen“ und in Frage 8 sollte schließlich der „aktive“ Magnet das „passive“ Eisenstück stärker beeinflussen, auch wenn dieses die gleiche Masse wie der Magnet besitzt.

Bei den Fragen 7 und 8 würden entsprechende Experimente, wie sie bereits Newton durchführte, zu eindeutigen Lösungen führen. Hier steht also eine objektiv richtige Antwortalternative einer oder mehreren falschen gegenüber. Bei Frage 2 wurden die zur Eindeutigkeit nötigen Zusatzinformationen: kein Wind, keine Strömung, Zwillinge haben gleiche Masse bzw. Seil kann als masselos angenommen werden nicht gegeben, um die in der Fachsprache üblichen Nebenbedingungen in der Fragestellung zu vermeiden. Die Ergebnisse (*Abbildung 4.4.26*) zeigen, dass ein Großteil der Befragten (insgesamt: 72,4 %, L-Gruppe: 63,7 %, P-Gruppe: 87,7 %) den Treffpunkt der Boote ungefähr (d.h. auf 3 Felder genau) in der Mitte voraussagt. Bei der Betrachtung der drei mittleren Felder fällt auf, dass das Feld links von der Mitte (Nr. 11) deutlich stärker besetzt ist als das Feld rechts (Nr. 13). Das könnte mit der energetischen Asymmetrie der gezeigten Situation zu tun haben, aber bei genauerer Betrachtung der Situation erkennt man, das Feld 11 ziemlich genau die „Mitte“ des Seils beschreibt. D.h. VPN, die dieses Feld wählten, machten vermutlich ebenfalls eine symmetrische Voraussage. Nur war evtl. einem Teil von ihnen der Grund für die Symmetrie, d.h. der Zusammenhang zwischen Impulserhaltung und Schwerpunktschwindigkeit nicht bewusst. Die gezeigten Situationen sind realitätsnah dargestellt, damit haben die VPN Gelegenheit, sie mit ihren alltagsnahen Erfahrungen zu vergleichen.

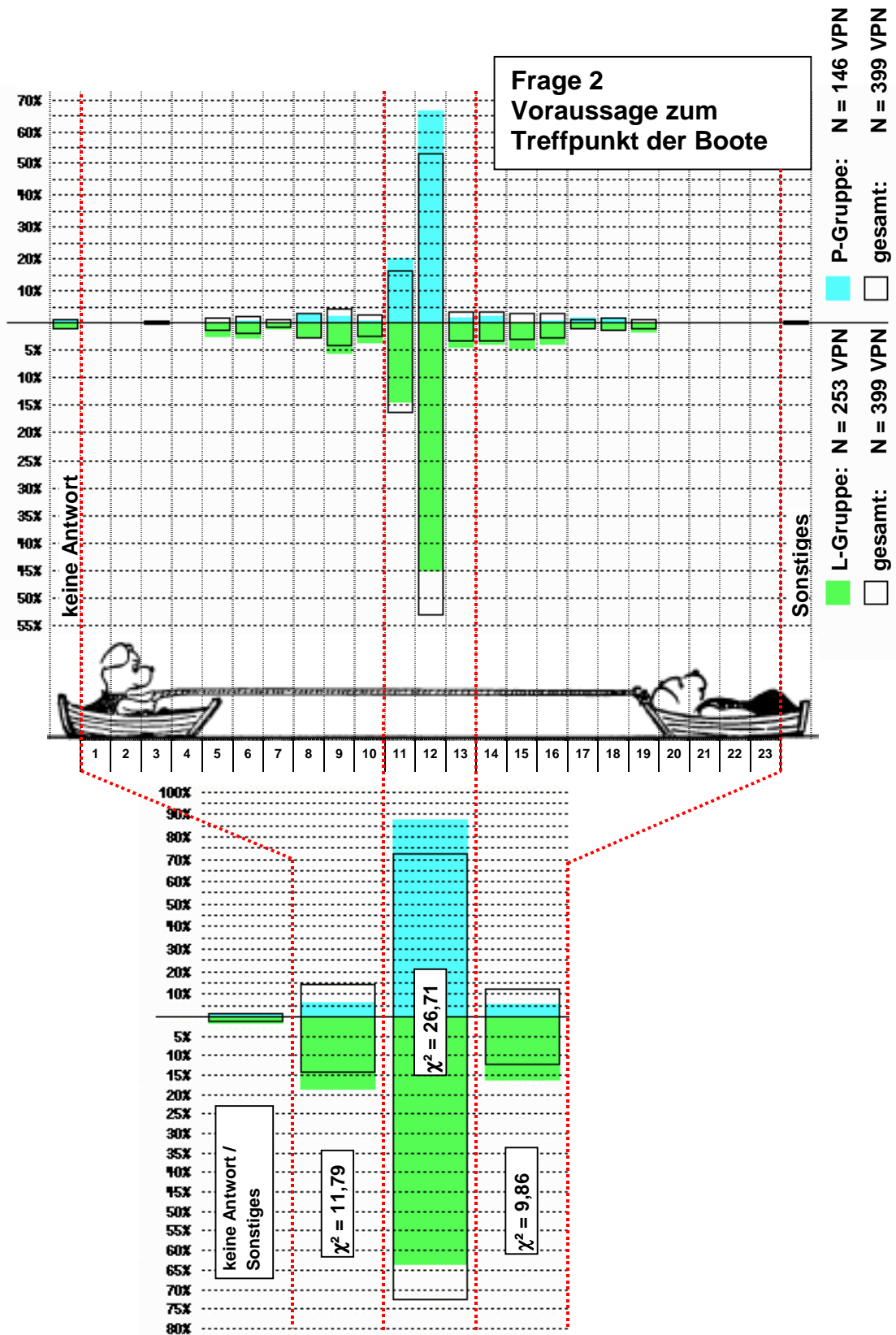


Abbildung 4.4.26

Die Antworten auf Frage 2 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Das begünstigt eine bei vielen Schülern vorhandene Problemlösungsstrategie, die Schecker als Denkrahmen 1 „Realisationsdenken“ bezeichnet:

„Durchdenken von Gedankenexperimenten oder von Aufgaben, für deren Bearbeitung bestimmte Abstraktionen vorausgesetzt sind, in vorgestellten alltagsnahen Realisierungen des Prozessverlaufs:

Uminterpretation von Aufgabenstellungen, Einbeziehung von eigentlich zu vernachlässigenden Randbedingungen, insbesondere von Reibungseffekten.

Unterschwellig fungierender oder direkt geäußelter Widerstand gegen die Vornahme von Abstraktionen, die im Gegensatz zu Realitätserfahrungen stehen.

Realisationsdenken wird besonders bei qualitativen Problemstellungen aktiviert („Denkaufgaben“) weniger bei „Rechenaufgaben“ bei denen die Ermittlung von Zahlenwerten im Vordergrund steht.“ [SCHE85]

Diese Denkstrategie behindert m. E. nicht unbedingt den Zugang zu physikalischer Erkenntnis. Gerade die moderne Physik beschreibt auch die Details der Natur. Die Schulphysik hat zwangsläufig nur einen geringen und unvollständigen mathematischen „Formelvorrat“ zur Verfügung. Der Versuch möglichst viele Phänomene damit zu „erklären“ führt zu einer „reibungsfreien“ Mechanik und zu entsprechenden Übungsaufgaben, in denen nur die zur Verfügung stehenden Formeln vorkommen können. Das hat zwar strukturelle Gemeinsamkeiten mit dem Ziel der Physik, nämlich dem Versuch möglichst viele spezielle Probleme mit wenigen allgemeinen Prinzipien zu beschreiben und dabei bestimmte Abstraktionen und Näherungen in Kauf zu nehmen. Eine Reduktion der Welt auf Phänomene, die mit der Schulmathematik beschreibbar sind, kann damit jedoch nicht gemeint sein. Deshalb sollten die behandelten Situationen so gewählt sein, dass dem Schüler der Nutzen einer Strategie, die von ihm den Verzicht auf reale Erfahrungen fordert, klar wird. Es ist eine Aufgabe der Fachdidaktik, dem Lehrer konkrete Sachverhalte (z.B. Übungsaufgaben) zur Verfügung zu stellen, bei denen bestimmte Näherungen für den Schüler einsichtig sind. Im Falle der Newtonschen Mechanik könnten das z. B. Fragestellungen aus Astronomie und Raumfahrt sein.

„Die Informationen über Voyager 2 – Worte, Bilder, Berechnungen – machen die kräftefreie Bewegung vorstellbar. Wenn im späteren Unterricht immer wieder die scheinbare Erfahrung durchbricht, das kräftefreie Körper „von sich aus“ zur Ruhe kommen, hat sich das Beispiel der Raumsonde bisher glänzend bewährt“ (Hervorhebung im Original) [MUCK88]

Näherungsweise richtige Voraussagen über die Bewegungen von Planeten und Raumsonden, obwohl diese ausgedehnten Objekte als Massenpunkte beschrieben werden, können Vertrauen in die Methoden der Physik schaffen und sind an der Realität überprüfbar. Da sie speziell im Physikunterricht der Sekundarstufe I nicht vorkommen, wurden, mit Blick auf die L-Gruppe, keine derartigen Fragen in den Fragebogen übernommen. Diese Einschränkung auf „alltagsnahe“ Sachverhalte erscheint im Nachhinein ungerechtfertigt, da z. B. das für diese

Zielgruppe gedachte TV-Programm bzw. Angebot an Computerspielen eine Vielzahl von entsprechenden (Science-Fiction- und Fantasy-) Themen enthält.

Im Vortest war zum Thema „Impulserhaltung“ zusätzlich eine Frage im Voraussageteil enthalten, die ein auf einer Fähre anfährendes Auto zeigte (vgl. Anhang B.2, S B2 und S B12). Die Fragestellung war offen: „Jemand hat es eilig und fährt los, obwohl die Fähre noch nicht festgemacht hat – Was könnte passieren?“ In der Zeichnung war (als Hinweis auf die Massenverhältnisse) die Fähre nur geringfügig größer als das Auto dargestellt. Während 46,9 % der befragten Studierenden den Hinweis aufnahmen und die Impulsänderung der Fähre berücksichtigten, trat bei den befragten Schülern häufig (30 %) die bei realistischen Größenverhältnissen vernünftige Lösung „Es passiert nichts, weil das Gewicht der Fähre im Vergleich zum Gewicht des Autos viel zu groß ist“ auf. Bei der Gestaltung der Items musste aufgrund des Realisationsdenkens ein Mittelweg gefunden werden. Sie dürfen einerseits nicht zu stark idealisiert sein, um nicht in Konflikt mit der Realität zu geraten. Andererseits sollten sie Hinweise enthalten, die gezielt bestimmte Fehlvorstellungen zulassen. In Frage 2 sollte z.B. deutlich werden, von welcher Seite die Energie für den Vorgang aufgebracht wird. Dies verdeutlicht auch die Befestigung des Seils. Wer die Größenverhältnisse in Frage 2 zu ernst nimmt, kann das dargestellte Seil nicht als masselos annehmen (Aufgewickelt entspricht es fast der Seitenfläche eines der Boote). Beim Ziehen von links nimmt dann die Masse des linken Bootes (um die des aufgewickelten Seiles) zu und die Boote treffen sich tatsächlich eher links. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass keine Seite (Treffpunkt links 14,0 %, rechts 12,3 %) deutlich bevorzugt wird.

Bei den Fragen 7 und 8 sind Interpretationsschwierigkeiten aufgrund der Darstellung kaum zu erwarten. Bei einer Testbefragung von Laien mit der Vortest-Version des Fragebogens wurde klar, dass diese VPN mit der Pfeildarstellung von Geschwindigkeiten überfordert sind. Auch die Wirkung von unterschiedlichen Magnetpolen, d.h. dass die Bewegung im gezeigten Fall entlang der Verbindungslinie stattfindet, konnte nicht als bekannt vorausgesetzt werden. Die Beschränkung auf 5 vorgegebenen Lösungsalternativen, die als Positionsvoraussagen nun indirekt die Beurteilung von Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen testen, sollten die genannten Probleme minimieren. Die *Abbildungen 4.4.27* und *4.4.28* zeigen zunächst die Ergebnisse für die einzelnen Fragen.

Offenbar gelingt es der Mehrheit der P-Gruppe sowohl bei den unterschiedlich schweren Magneten (Frage 7) (86,3 %) als auch bei Magnet und Eisen gleicher Masse (Frage 8) (77,3 %) die Bewegung beider Körper korrekt vorherzusagen. Aus den Abbildungen wird ebenfalls deutlich, dass die physikalische Vorbildung der P-Gruppe mit den jeweils richtigen Voraussagen auf dem 0,1 %-Niveau assoziiert ist.

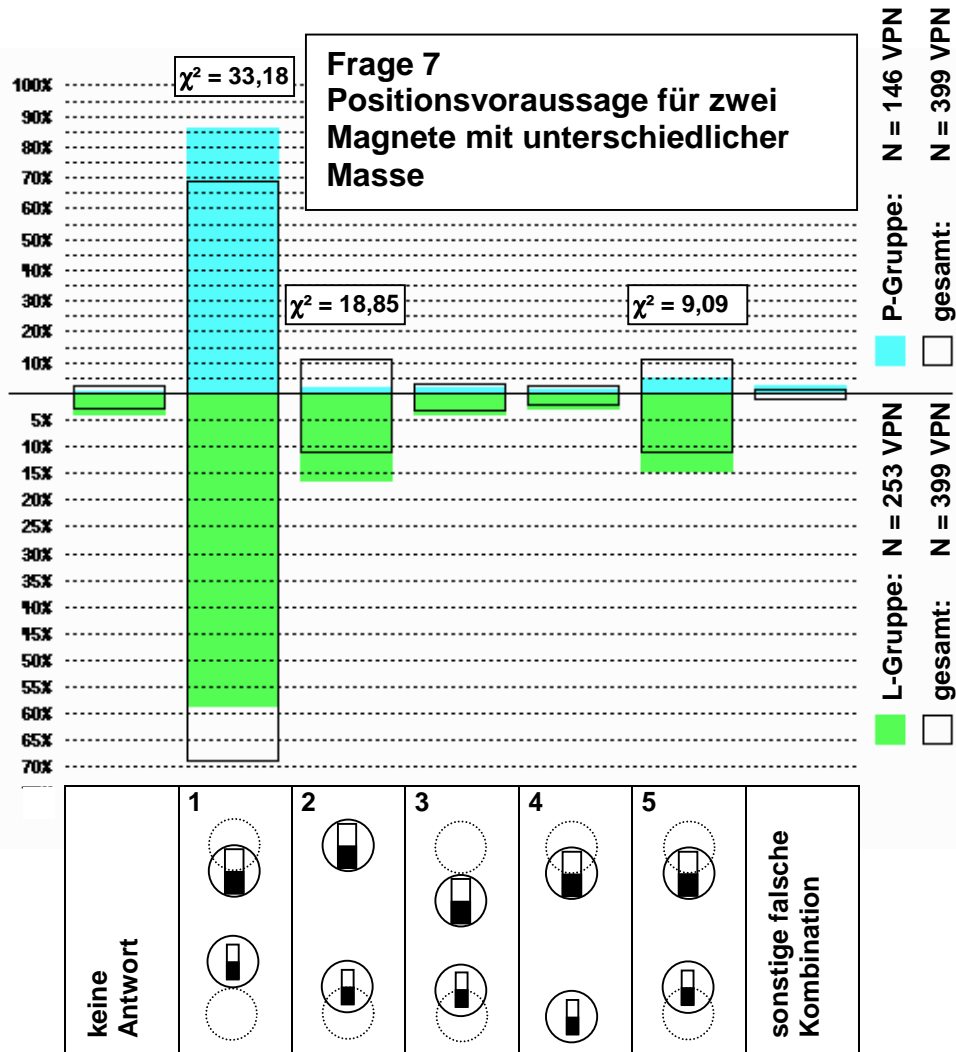


Abbildung 4.4.27

Die Antworten auf Frage 7 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Frage 7 wird dennoch sowohl von der P-Gruppe (86,3 %) als auch von der L-Gruppe (58,5 %) häufiger richtig gelöst als Frage 8. Dort liegen die richtigen Lösungen bei 77,3 % (P-Gruppe) und 45,4 % (L-Gruppe). Das dürfte, unabhängig von einer asymmetrischen Kraftvorstellung (vgl. Fragen 13 und 14), damit zusammenhängen, dass bei Frage 7 die durch den Massenunterschied gegebene Asymmetrie der Situation die richtige Antwort begünstigt, während die bei Frage 8 durch den Materialunterschied gegebene Asymmetrie zu falschen Annahmen führt. In beiden Fragen wird häufiger davon ausgegangen, dass sich der „schwächere“ Wechselwirkungspartner (Eisenstück bzw. kleinerer Magnet) schneller (oder als einziger) bewegt als der „stärkere“. In diesem Sinne (Lösungen 1 (richtig) und 2 (falsch)) antworten bei Frage 7 74,8 % der L-Gruppe bzw. 88,5 % der P-Gruppe. Bei Frage 8 entfallen auf diese Antworten (falsche Lösungen 3 und 4) 36,3 % der L-Gruppe bzw. 10,9 % der P-Gruppe.

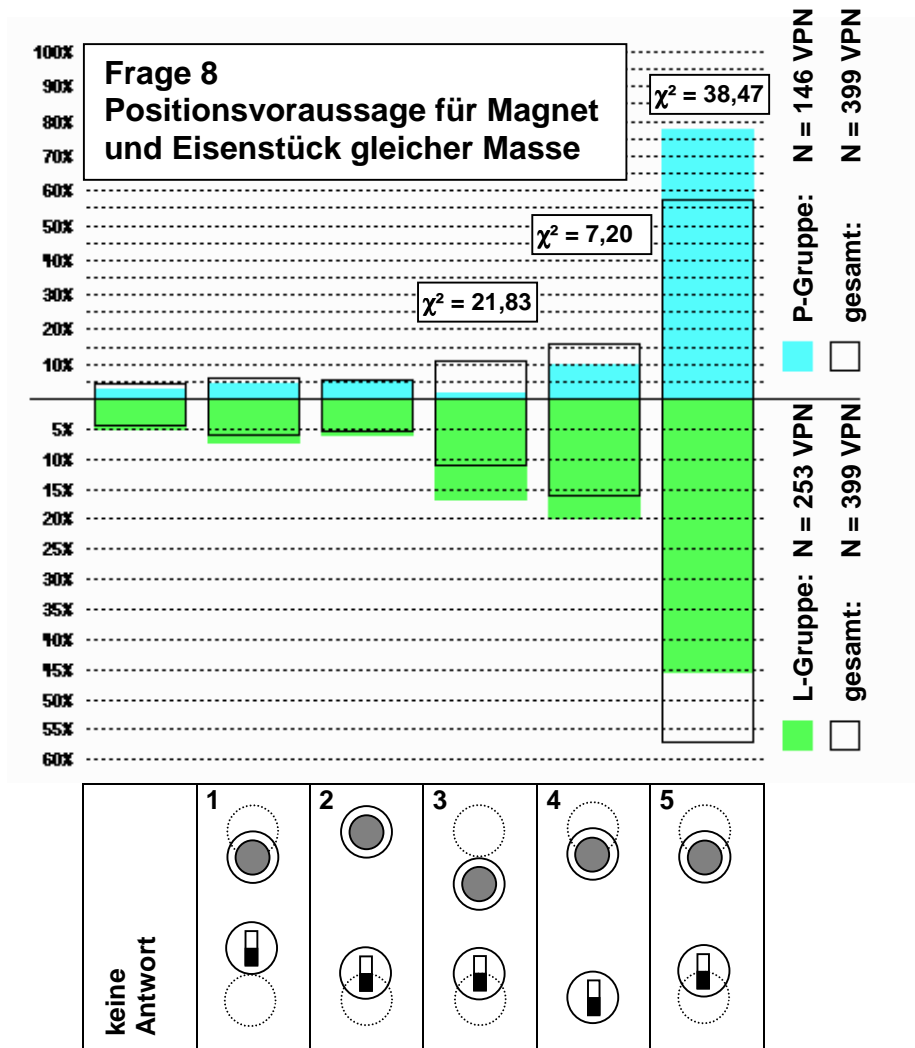


Abbildung 4.4.28

Die Antworten auf Frage 8 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Bei den Fragen 2, 7, 8, 9a und 9b geht es um Situationen aus der Dynamik, in denen jeweils beide Wechselwirkungspartner dargestellt sind. Falls die VPN bei den genannten Items ähnliche Lösungsstrategien entwickeln, könnte sich das durch eine Assoziation von richtigen Antworten auf jeweils 2 Items dieser Fragengruppe zeigen. Tatsächlich sind die sachlich richtigen Antworten bei den Fragenpaaren (Nr.2 und Nr.7), (Nr.2 und Nr.8), (Nr.7 und Nr.8), (Nr.7 und Nr.9a), (Nr.8 und Nr.9b) sowie (Nr.9a und Nr.9b) bei der L-Gruppe auf dem 5%-Niveau miteinander assoziiert. Die Vierfeldertafel in *Abbildung 4.4.29* zeigt stellvertretend den Zusammenhang zwischen richtigen Antworten für Frage Nr.2 und Nr.8.

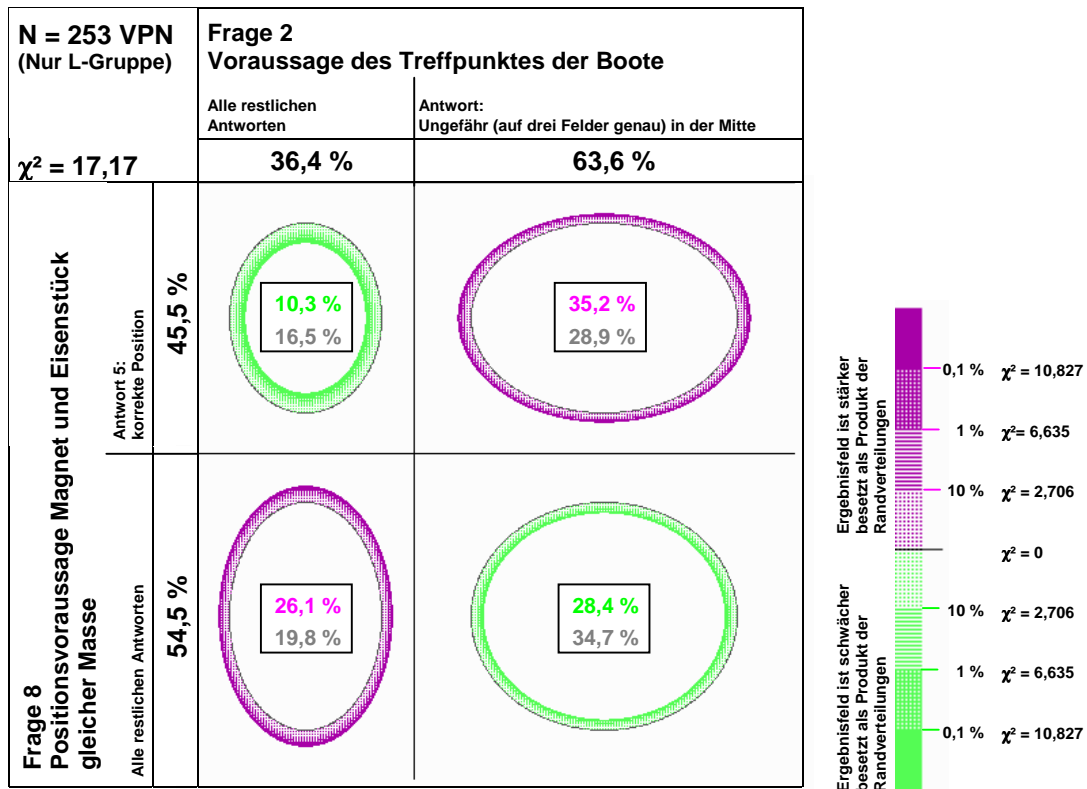


Abbildung 4.4.29

Zusammenhang zwischen sachlich korrekten Voraussagen in Frage 2 und Frage 8. Es sind nur VPN der L-Gruppe berücksichtigt.

Zwischen speziellen falschen Lösungsstrategien wären ebenfalls Ähnlichkeiten denkbar. Z.B. könnte die Wirkung des Magneten auf das Eisenstück in Frage 8 von den VPN ähnlich gesehen werden, wie die Wirkung der „ziehenden“ Figur in Frage 2 auf ihren „schlafenden“ Bruder. Vergleicht man nur die Antworten von VPN (N = 60), die sowohl in Frage 2 als auch in Frage 8 (falsche) asymmetrische Voraussagen abgegeben haben (Abbildung 4.4.30), lässt sich jedoch keine Assoziation ($\chi^2 = 0,01$), die einen Hinweis auf eine bevorzugte Richtung gibt, feststellen. Das deutet darauf hin, dass bei diesen sachlich falschen Antworten kein konsistentes Lösungsschema im Sinne einer bestimmten Alltagstheorie benutzt wurde.

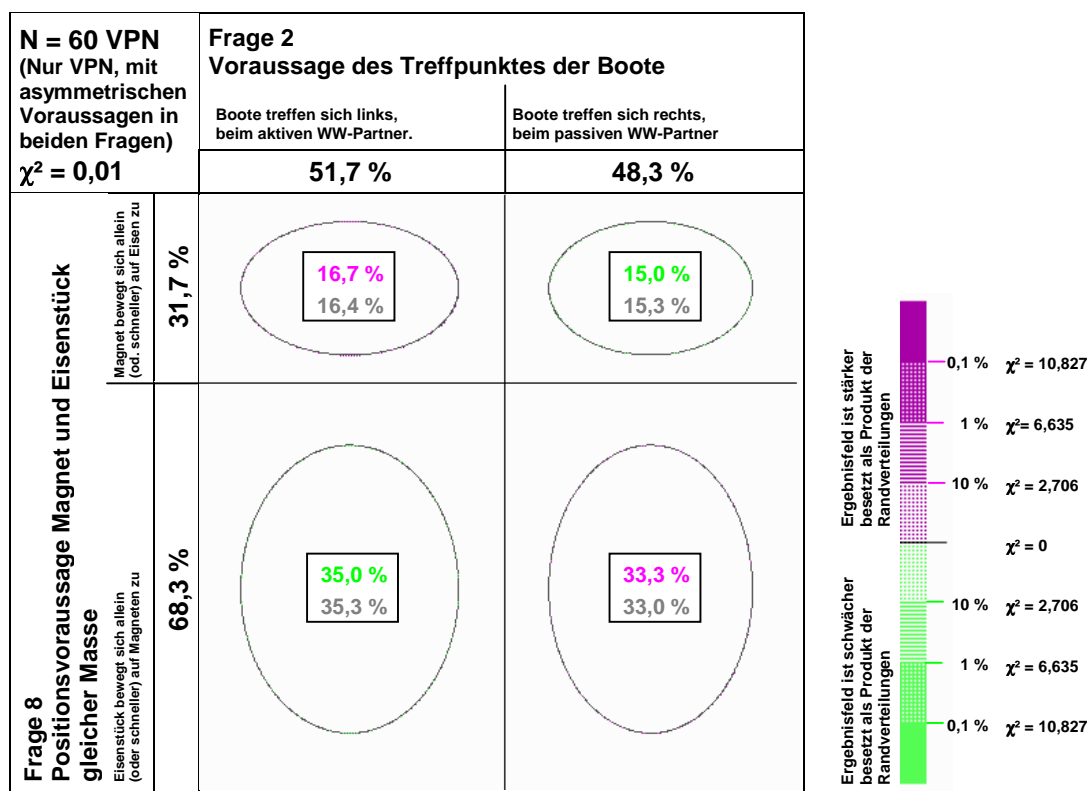


Abbildung 4.4.30

Fehlender Zusammenhang zwischen vermeintlich ähnlich erscheinenden (falschen) Voraussagen auf Frage 2 und Frage 8. Es wurden nur VPN berücksichtigt, die in beiden Fragen asymmetrische Voraussagen abgaben.

B Beschreibung dieser Sachverhalte mit Kraftpfeilen: Fragen 13 und 14

In den Items 13 und 14 wurden die Situationen aus Item 7 und Item 8 den VPN noch einmal gezeigt und gezielt nach dem Wort „Kraft“ gefragt. Die VPN sollten nun die Situationen mit Kraftpfeilen beschreiben. *Abbildung 4.4.31* zeigt die Ergebnisse für Frage 13. Auf den ersten Blick erkennt man, dass formal falsche, asymmetrische Lösungen (zusammen: 69,2 %, L-Gruppe: 68,9 %, P-Gruppe: 69,9 %) dominieren. Weiterhin wird deutlich, dass die formal richtige Beschreibung hier nicht mit dem P-Status assoziiert ist. Es ist die formal falsche Lösung Nr. 3, die signifikant (1 %-Niveau) häufiger von den VPN mit physikalischer Vorbildung gewählt wird. 8 % der L-Gruppe wählen Lösung Nr. 5, die in der P-Gruppe nicht vorkommt.

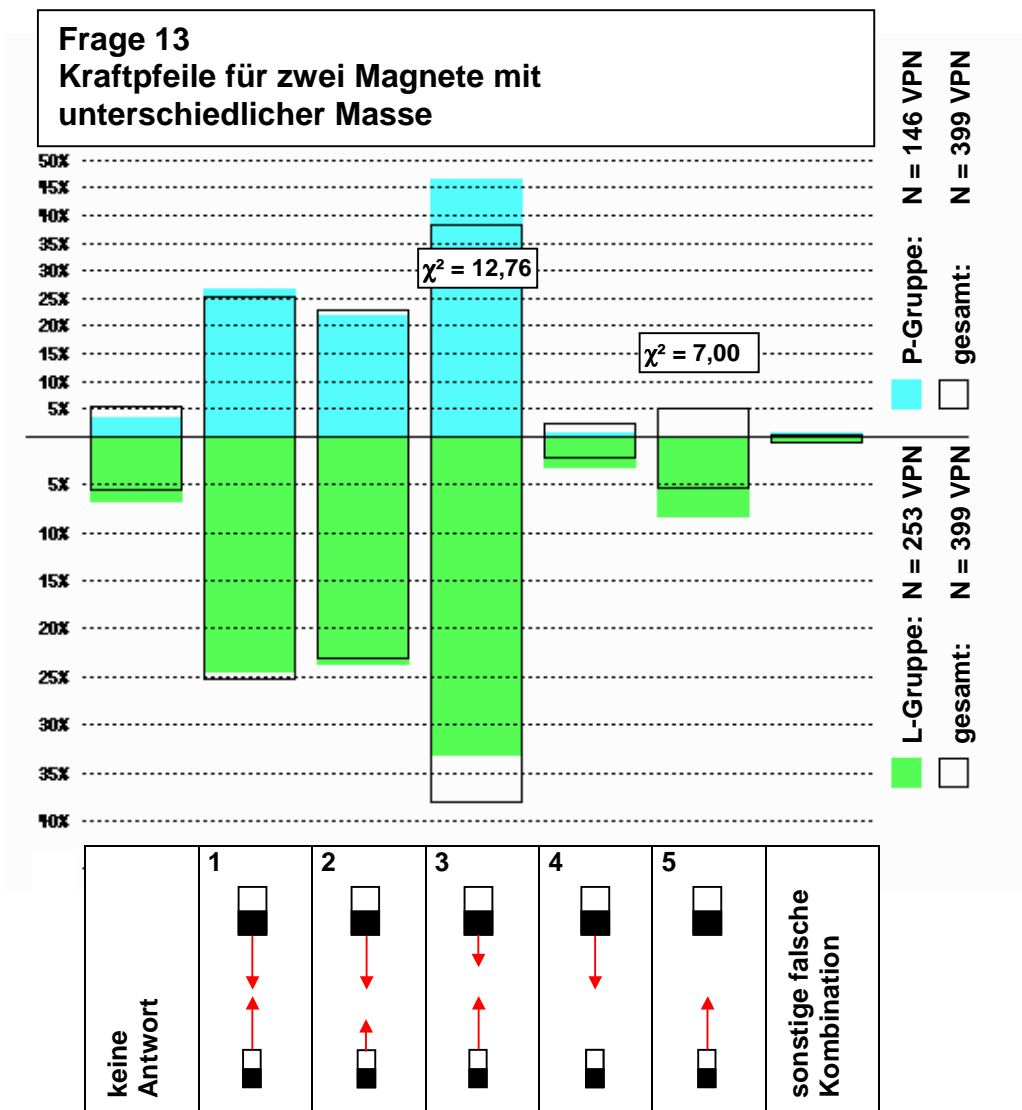


Abbildung 4.4.31

Die Antworten auf Frage 13 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Die Mehrfeldertafel in *Abbildung 4.4.33* auf der übernächsten Seite stellt die Antworten der Gesamtstichprobe auf die zur gleichen Situation gehörenden Fragen 7 und 13 gegenüber. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt deutlich, dass sich die Gruppe derjenigen VPN, die die Positionen und damit die Geschwindigkeiten der unterschiedlich schweren Magnete richtig voraussagen in drei Gruppen aufspaltet. Es dominiert auch hier das Konzept: „Kraft proportional zur Bewegung“ (32,1 %), gefolgt von der ebenfalls asymmetrischen Lösung: „Der größere Kraftfeil befindet sich am schwereren Magneten“ (17,0 %). Gerade diese Lösung, die im Vortest bei den Studienanfängern als dritthäufigste Variante (7,4 %) vorkam, könnte auf der Vorstellung beruhen, dass die größere Kraft vom größeren Magneten „ausgeht“ (vgl. Frage 14). Sie ist jedoch schwer zu testen, da sie häufig bei Fragestellungen

deutlich wird, bei denen sich die Körper auch unterschiedlich schnell bewegen. Dann konkurriert sie aber mit dem gegenteiligen Konzept: „Kraft proportional zur Bewegung“. 77 VPN (19,3 %) ordnen dennoch den ihrer Meinung nach langsameren bzw. ruhenden Magneten den größeren Kraftpfeil zu. Lediglich 15,8 % der Befragten geben neben einem korrekten Sachverhalt auch formal richtige Kraftpfeile an.

Die korrespondierenden Fragen 7 und 13 wurden von der L-Gruppe nicht statistisch unabhängig voneinander gelöst. Das zeigt die Vierfeldertafel in *Abbildung 4.4.32*. Es sind überwiegend die VPN, die zur Geschwindigkeit bzw. zur Beschleunigung proportionale Kraftpfeile wählten, die den Sachverhalt richtig voraussagen.

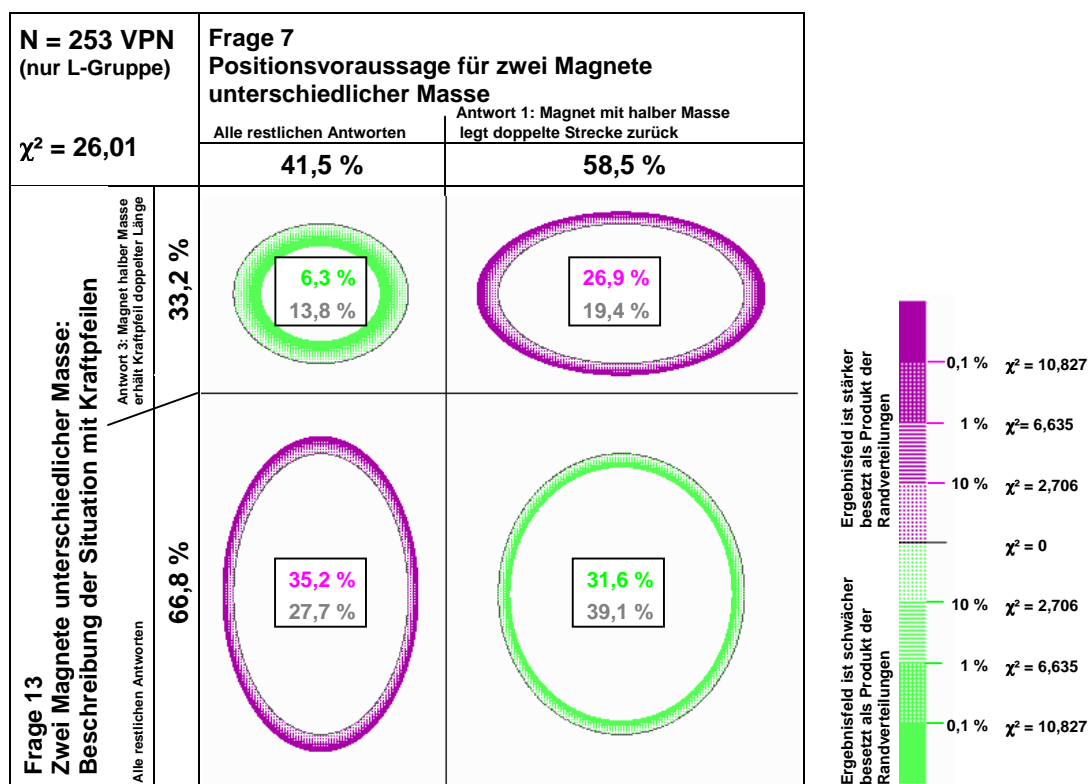
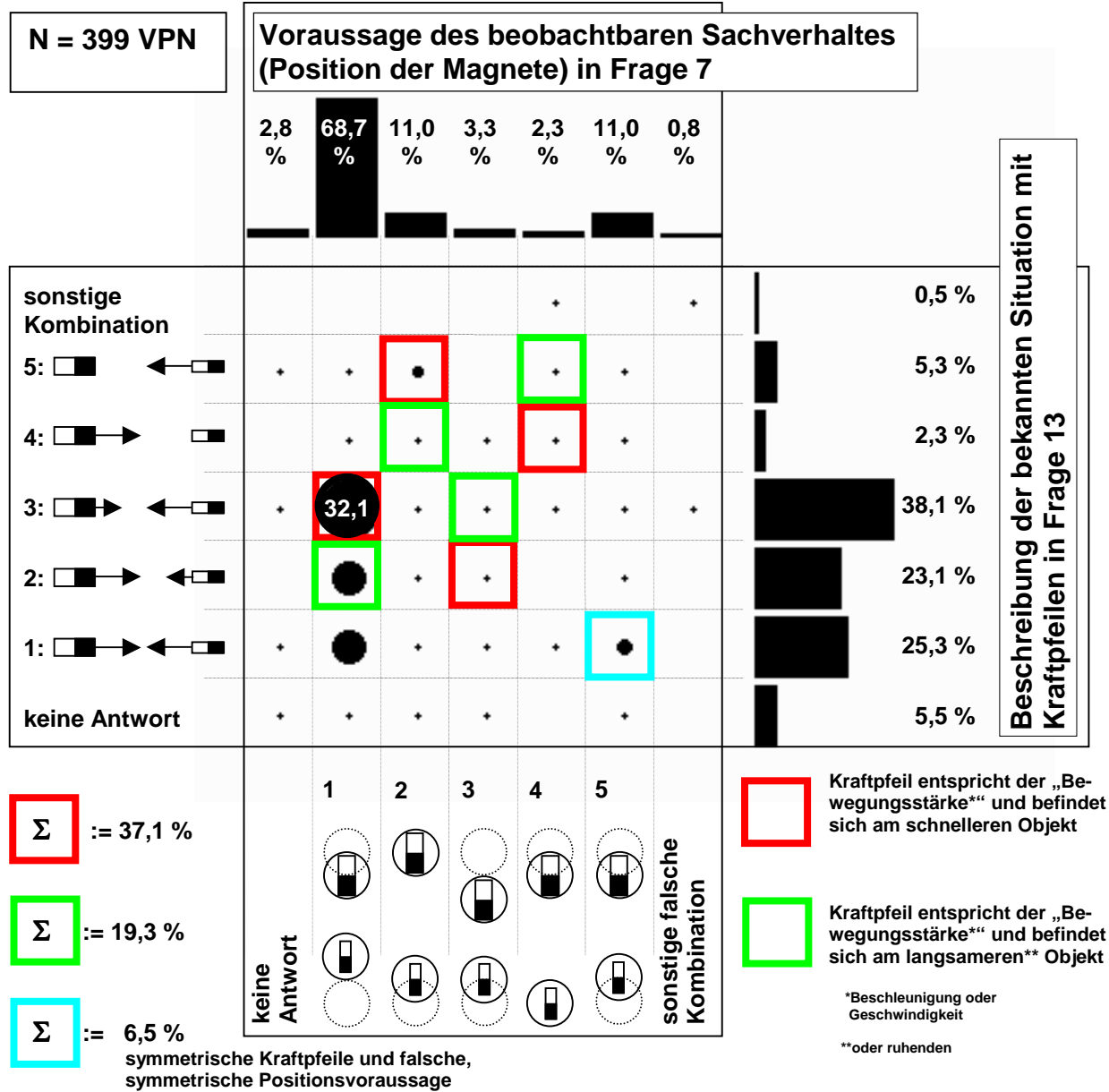


Abbildung 4.4.32

Zusammenhang zwischen sachlich korrekter Lösung (Nr. 1) in Frage 7 und formal falschem Kraftpfeil (Lösung Nr. 3) in Frage 13. Es wurden nur VPN der L-Gruppe berücksichtigt.

Die hier nicht dargestellte, umgekehrte Variante, nämlich formal korrekte Kraftpfeile und falsche Voraussage kommt ebenfalls innerhalb der L-Gruppe vor (0,1 %-Niveau). 21 VPN sagen falsche, entgegengesetzt gleiche Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen in Frage 7 voraus und beschreiben die Situation in Frage 13 formal korrekt mit entgegengesetzt gleichen Kraftpfeilen ($\chi^2 = 24,01$). Das hat sicher nichts damit zu tun, dass hier eine formal richtige Anwendung des Kraftbegriffes zu falschen Vorhersagen führt. Es zeigt lediglich das es

Situationen gibt, bei denen aus dem scheinbar korrekten Gebrauch des Kraftbegriffes nicht auf das physikalische Verständnis der Sachverhalts geschlossen werden kann.



Wie oben bereits angedeutet könnten die beiden Konzepte „Kraft proportional zur Geschwindigkeit“ und „Kraft als potentielle Wirkfähigkeit“ in der dargestellten Situation zu genau entgegengesetzten, asymmetrischen Beschreibungen mit Kraftpfeilen führen. Aus diesem Grund ist durchaus denkbar, dass ein Teil der formal korrekten Lösungen sich aus der Kombination dieser beiden Überlegungen und nicht aufgrund eines Wechselwirkungskonzeptes ergibt.

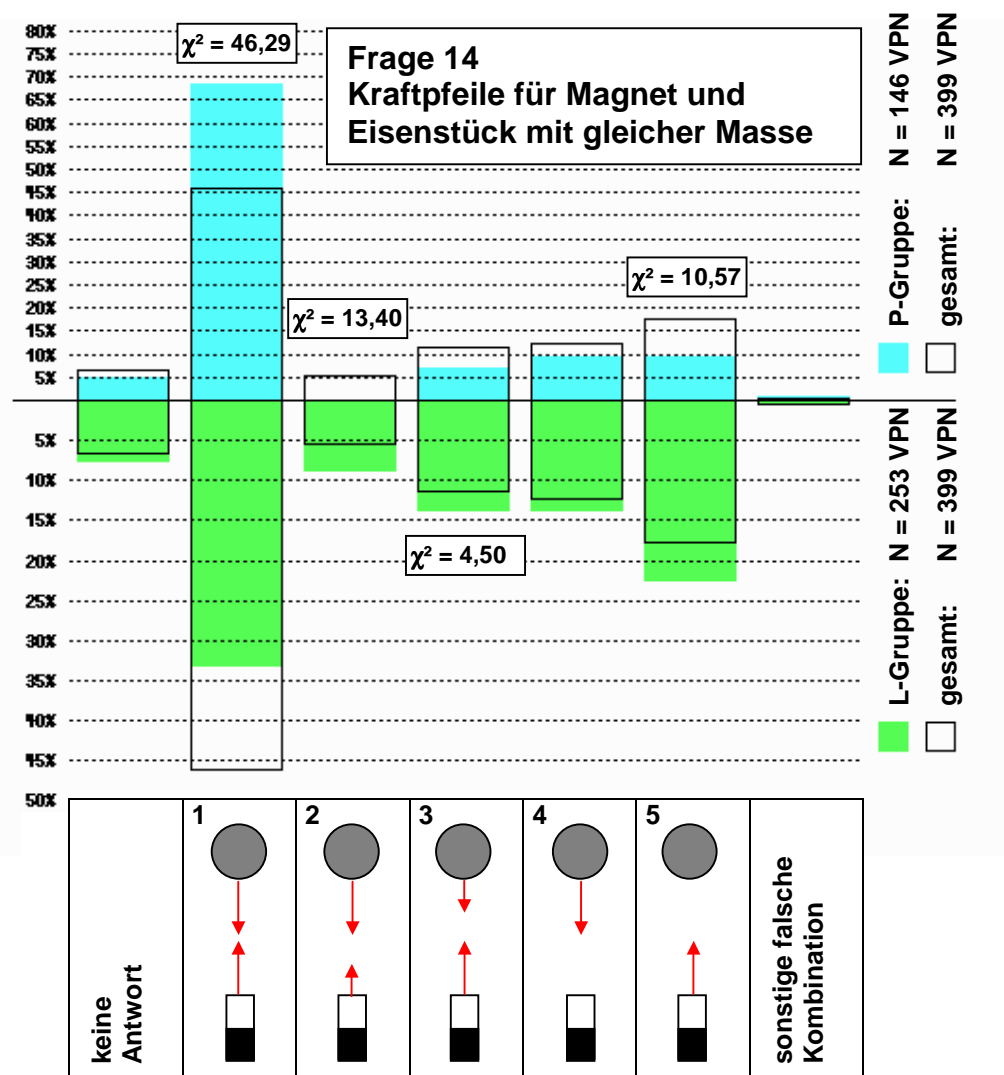


Abbildung 4.4.34

Die Antworten auf Frage 14 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Für die Situation in Frage 14 führt die vorherrschende Vorstellung „Kraft proportional zur Bewegung“ zur formal richtigen Lösung. Damit tritt die formal richtige Beschreibung erwartungsgemäß als häufigste Einzellösung auf (Abbildung 4.4.34). Signifikant häufiger ($\chi^2 = 46,29$) bei der P-Gruppe (68,6 %). Obwohl dies auch für die L-Gruppe zutrifft (33,3 %),

entscheiden sich dennoch mehr VPN (36,4 %) aus dieser Gruppe für die Lösungen 3 und 5 zusammen. D.h. sie ordnen dem Magneten den größeren bzw. überhaupt einen Kraftpfeil zu.

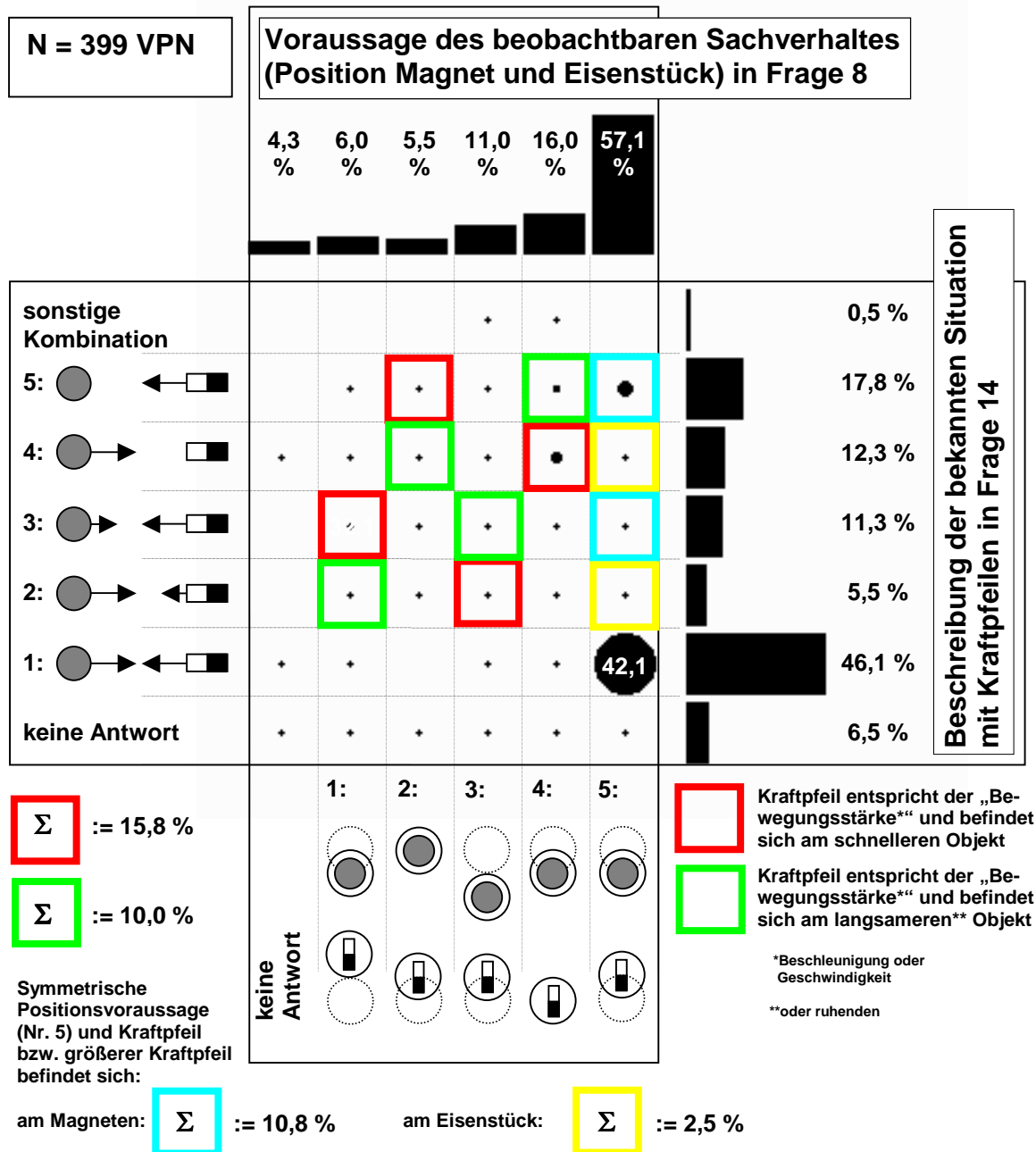


Abbildung 4.4.35

Zusammenhang zwischen der Voraussage des beobachtbaren Sachverhalts in Frage 8 und der formalen Beschreibung der gleichen Situation mit Kraftpfeilen in Frage 14.

Die Kreisflächen entsprechen den aufgetretenen Antwortkombinationen. Sie wurden auf den größten vorkommenden Wert (Frage 8, (korrekte) Antwort Nr. 5 und Frage 14, (korrekte) Antwort Nr. 1: 42,1 %) normiert.

Ziel der Frage war es herauszufinden, ob es VPN gibt, bei denen eine Potenzvorstellung von Kraft dominiert, die sich sowohl gegen die im I-Index erfasste Vorstellung als auch gegen ein „Aktivitätsprinzip“, das Bewegung einschließt, abgrenzen lässt. D.h. Interessant ist hier die kleine Gruppe (N = 53) derjenigen VPN, die sachlich richtige, entgegengesetzt gleiche Geschwindigkeiten voraussagen und der Situation dennoch asymmetrische Kraftpfeile zuordnen. Wie *Abbildung 4.4.35* zeigt, vermutet eine deutliche Mehrheit (N = 43 VPN) unter ihnen den größeren Kraftpfeil am Magneten.

Mit der Zuordnung des größeren Kraftpfeils zum Magneten könnte eine im Magneten gespeicherte „Kraft“ gemeint sein. Diese Vorstellung würde zum o. g. „Aktivitätsschema“ passen, in dem belebte oder gespannte Körper sowie Magnete Kraft besitzen. Falls ein solcher Zusammenhang besteht, sollte sich dieser in Assoziationen mit anderen Fragen zeigen. Demnach sollten VPN, mit dieser Kraftvorstellung auch z.B. als Energiespeicher dienenden Lebewesen oder Gegenständen „Kraft“ bzw. die größere Kraft zuordnen.

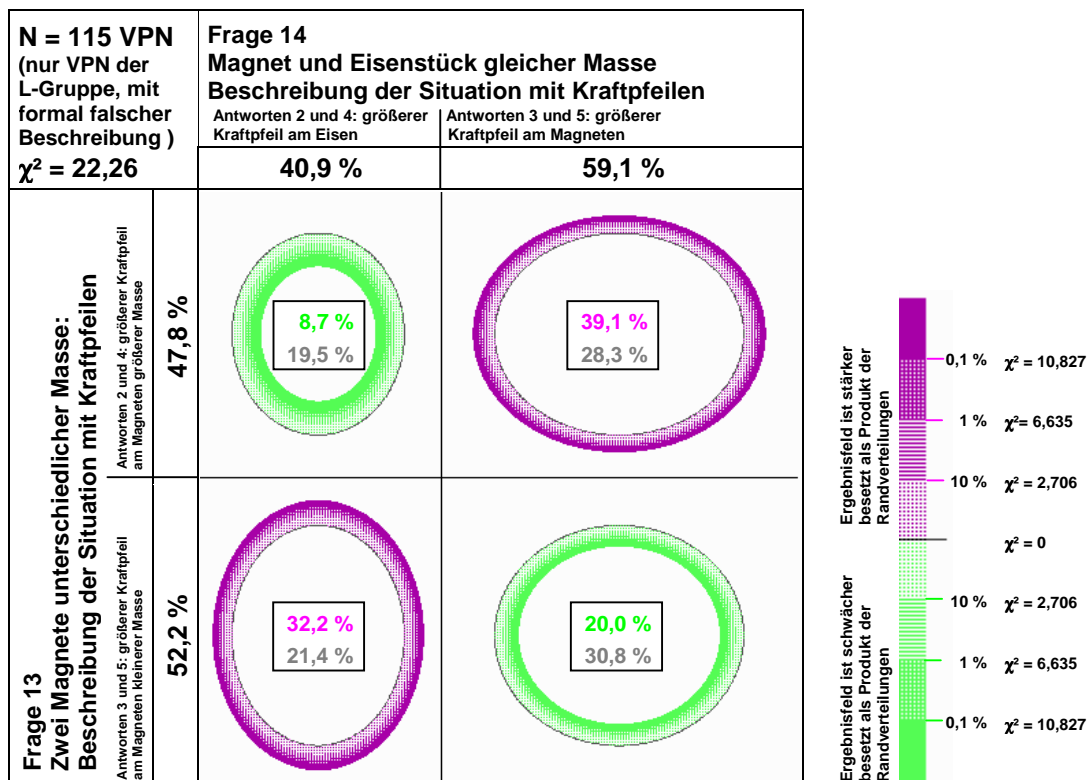


Abbildung 4.4.36

Zusammenhang zwischen ähnlichen (d.h. der Magnet kleinerer Masse in Frage 13 entspricht dem Eisenstück in Frage 14) formal falschen Lösungen in Frage 13 und Frage 14. Es wurden nur VPN der L-Gruppe berücksichtigt, die in beiden Fragen (falsche) asymmetrische Beschreibungen wählten.

Beim Vergleich entsprechender Antworten auf Frage 5 (freiformulierte asymmetrische Beschreibung der Situation), Frage 15 (Zuordnung der Kraftpfeile zum „ziehenden Hund“), bzw. Frage 16 (schlafendes Pferd, parkendes Auto und gespannte Wäscheleine „haben“ Kraft) ergaben sich jedoch keine signifikante Assoziationen mit Frage 14 (Kraftpfeil am Magneten), die diese These bestätigen. Lediglich die beiden ähnlichen Situationen in Frage 13 und Frage 14 wurden von den VPN in ähnlicher Weise gelöst. So sind z.B. bei der P-Gruppe die formal richtigen Lösungen auf dem 1 %-Niveau ($\chi^2 = 8,55$) miteinander assoziiert.

Noch deutlicher wird das bei der Betrachtung der falschen Lösungen (L-Gruppe, N = 115 VPN, P-Gruppe, N = 33 VPN). Dort scheint die Rolle, die der Magnet kleinerer Masse in Frage 13 spielt, in Frage 14 das Eisenstück zu übernehmen. Die Assoziationstafel (*Abbildung 4.4.36*) zeigt den Zusammenhang für die L-Gruppe. Bei der P-Gruppe tritt der gleiche Zusammenhang (nicht dargestellt) ebenfalls auf dem 1 %-Niveau ($\chi^2 = 8,70$) auf.

4.4.2.2 Statik

A Voraussage eines beobachtbaren Sachverhaltes: Frage 3

Die Ergebnisse des letzten Abschnittes haben gezeigt, dass erhebliche Unsicherheiten bei der formalen Beschreibung von Wechselwirkungen in der Dynamik bestehen. Eine der vielfältigen Ursachen könnte die früher übliche Einführung des Kraftbegriffes über die Statik sein. In neueren Schulbüchern der Sekundarstufe I steht der Aspekt der Bewegungsänderung in der verbalen Definition von „Kraft“ jeweils auf der ersten Seite des einführenden Kapitels: „Werden Körper verformt oder wird ihr Bewegungszustand geändert, so greifen Kräfte an ihnen an“ [DORN93], „Die Ursache von Verformungen oder Bewegungsänderungen nennt man Kraft“ [KUHN94]. Danach wird üblicherweise die Messung von Kräften mit Federkraftmessern ausführlich behandelt. Dies geschieht zwangsläufig mit vielen Beispielen aus der Statik. Beispielsweise zeigt in einem Schulbuch [KUHN94] nur ein Bild (von 88 im Kapitel über Kräfte vorkommenden) beide Kraftpfeile (Wechselwirkungspaar bei fallendem Apfel) bei zwei beschleunigten Körpern. Es ist bei Fotos natürlich schwierig, beschleunigte Bewegungen „einzufrieren“ und dennoch deutlich zu machen, dass es sich nicht um einen Zustand im Kräftegleichgewicht handelt. Der Einsatz von Lern- und Simulationsprogrammen bietet hier wesentlich bessere Möglichkeiten. Aber selbst bei der Behandlung der schiefen Ebene wird eine Anordnung gezeigt, in der ein Wagen durch einen fest montierten Kraftmesser (der dann die „Hangabtriebskraft“ anzeigt) festgehalten wird [DORN93]. Dem Schüler werden zur Vermittlung des Zusammenhanges zwischen Kraft und Bewegungsänderung zunächst Gleichgewichtssituationen angeboten, in denen sich die Gegenstände in Ruhe befinden. In Darstellungen zur Statik sind sie das natürlich zwangsläufig. Fälle, in denen Geschwindigkeit und resultierende Kraft beide null sind, bestätigen jedoch unfreiwillig die Alltagstheorie „Kraft proportional zur Bewegung“ und erschweren so den späteren Zugang zur Dynamik. Die Behandlung von einfachen Maschinen hat zwar einen gewissen Realitätsbezug, jedoch üben Flaschenzüge im Alltag heute kaum noch eine starke Faszination aus. Die wesentlichen Eigenschaften dieser Systeme lassen sich überdies leichter mit dem Energiebegriff vermitteln [TREI97]. Auf der anderen Seite dürften Stabilitätsbetrachtungen von Bauwerken den Rahmen des in der Sekundarstufe I machbaren sprengen.

Es bleibt die Möglichkeit, dass die Statik deshalb in der Sekundarstufe I angeboten wird, weil sie gegenüber der Dynamik formal einfacher ist. Sie erlaubt quantitative Aussagen über Systeme unter Vermeidung der Differentialrechnung. Bei der schulüblichen (d. h. koordinatenfreien) Vektoraddition werden meist kleine Teilsysteme betrachtet und dabei übersehen, dass jedes statische Problem schon allein deshalb schwieriger zu überblicken ist, weil hier normalerweise mehrere Körper beteiligt sind. In den einführenden Beispielen (Tauziehen, Ziehen an einem an der Wand befestigten Expander) wird oft die Rolle des

Fußbodens außer Acht gelassen. Wenn ein Gegenstand in einem System unter Zugspannung steht, seine Enden jedoch nicht beschleunigt werden, ist mindestens ein zweiter Gegenstand vorhanden, der sich unter Druckspannung befindet. Das einfachste, nichttriviale statische System besteht also z.B. aus einem längs eines Stabes gespannten Gummibandes. Zu dessen Beschreibung sind mindestens vier Kräfte nötig. In der Sprache des Karlsruher Physikkurses werden diese Aspekte durch das (bei mehrdimensionalen Anwendungen allerdings relativ unhandliche) Modell geschlossener Impulskreisläufe thematisiert (Vgl. Kapitel 5, Abschnitt 5.3.2.2).

Gegeben:

In diesem Experiment reißt der Faden bei $m > 150 \text{ kg}$



Frage 3

Voraussage, ob ein genau gleicher Faden auch bei den Experimenten A, B oder C reißt

0	keine Antwort / Sonstiges
1	Faden reißt in allen 3 Fällen
2	Faden reißt in keinem Fall
3	Faden reißt nicht bei A, reißt bei C und <u>reißt bei B</u>
4	Faden reißt nicht bei A, reißt bei C und <u>reißt nicht bei B</u>

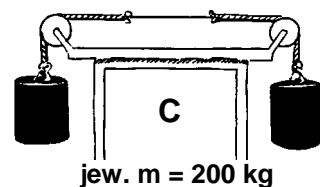
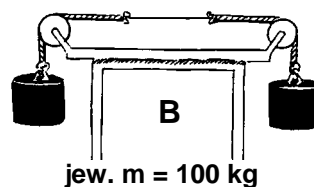
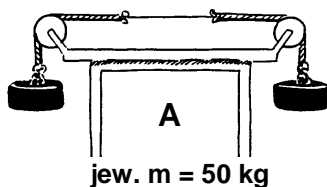
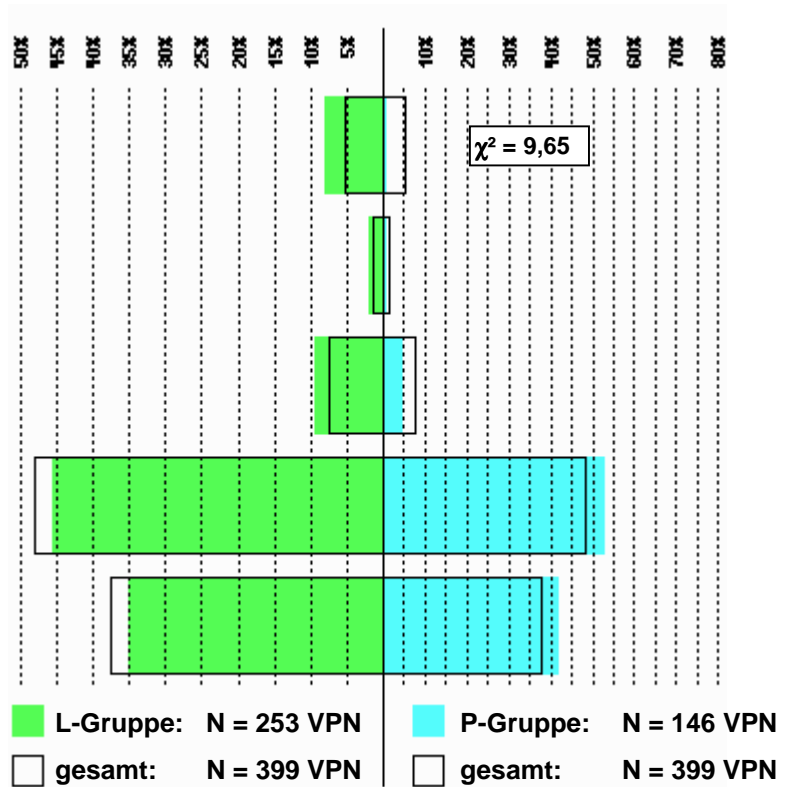


Abbildung 4.4.37

Die Antworten auf Frage 3 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Gemessen an der relativen Häufigkeit der richtigen Antwort ist Frage 3 (nach Frage 1) die zweitschwierigste Frage im ersten Teil des Fragebogens. Sowohl für die L- als auch für die P-Gruppe. Die Testversion des Fragebogens enthielt nur die interessante Teilfrage B mit den mittleren (2x100 kg) Gewichten. Zusätzlich wurde dort eine freiformulierte Begründung verlangt. Obwohl 63% der Studienanfänger im Vortest die richtige Antwort „nein“ wählten, waren nur 16% in der Lage, eine korrekte Begründung für ihre Wahl anzugeben (vgl. Anhang B.2, S B11). Um die VPN nicht zu demotivieren, wurde bei der neuen Befragung auf eine Begründung verzichtet. Der Informationsverlust wird teilweise durch die Hilfsfragen A (2x50 kg) und C (2x100 kg) ausgeglichen. Sie sollen einerseits VPN, die wahllos ankreuzen (Kombination (2x50 kg reißt, 2x200 kg reißt nicht) unter die Antwortklasse „Frage nicht beantwortet“ einreihen und andererseits VPN, bei denen eventuell Vorstellungen wie „Kräfte heben sich auf“, „Kräfte gleichen sich aus“ usw. dominieren, in eine eigene Klasse (2x50 kg, 2x100 kg und 2x200 kg jew. reißt nicht) einordnen (Lösung 2). Dabei wird in Kauf genommen, dass einige VPN, die zu dieser Antwort neigen, eventuell nicht erfasst werden, weil es unwahrscheinlich erscheint, dass bei einem Test die korrekte Lösung dreimal „Nein“ lautet. Die Ergebnisse zeigt *Abbildung 4.4.37*.

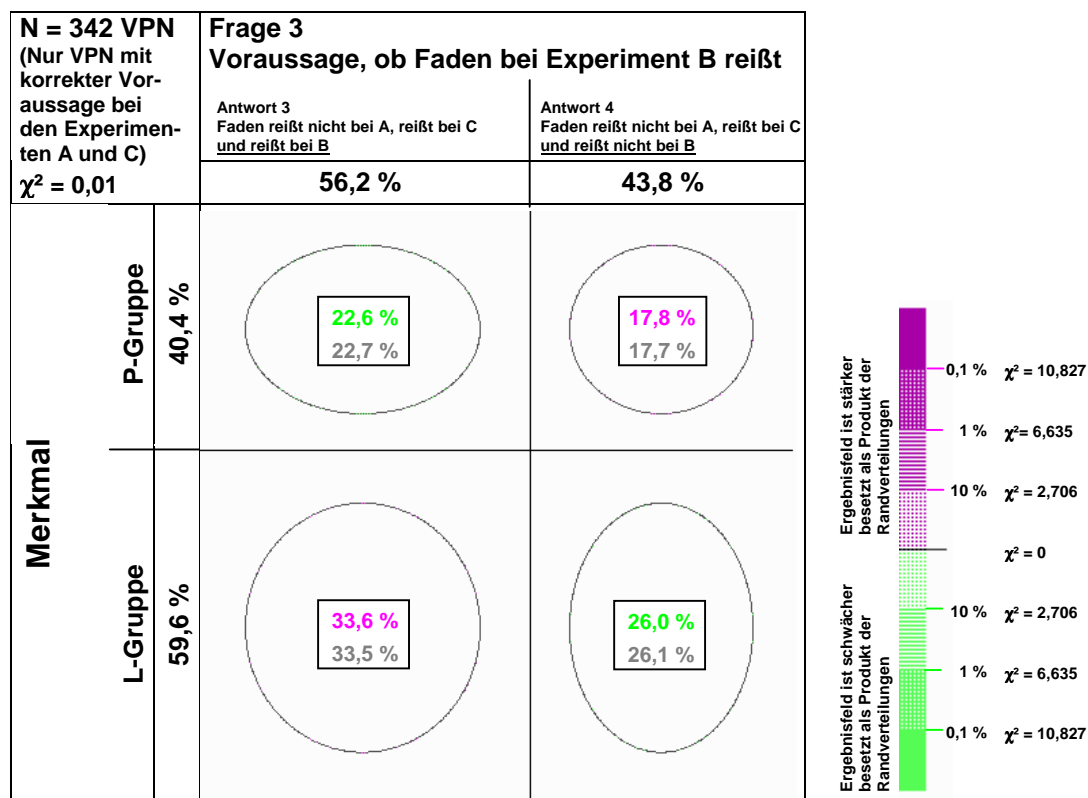


Abbildung 4.4.38

Fehlender Zusammenhang zwischen korrekter Voraussage in Frage 3b und physikalischer Vorbildung der VPN. Es wurden nur VPN (N = 342) berücksichtigt, die bei den Teilfragen 3a und 3c korrekte Voraussagen abgaben.

Im Gegensatz zu Frage 1 nutzt den VPN der P-Gruppe ihre physikalische Vorbildung nichts bei der Voraussage von Frage 3. Lediglich die exotischen Antworten „Seil reißt in allen drei Fällen“ bzw. „Seil reißt nie“ kommen bei der P-Gruppe seltener vor. In einer Teilstichprobe, aus der VPN mit diesen Antworten sowie die Nichtbeantworter entfernt wurden, lässt sich, wie die Vierfeldertafel in *Abbildung 4.4.38* zeigt, keine Assoziation der richtigen Antwort mit dem P-Status feststellen.

Haben nun die VPN, die in Frage 3 die richtige Voraussage machten, eventuell Kenntnisse aus der Statik, die ihnen Voraussagen oder die formale Beschreibung mit Kraftpfeilen in anderen Situationen erleichtern? Die *Abbildungen 4.4.39* und *4.4.40* zeigen, dass kein derartiger Zusammenhang für die P-Gruppe, bei der am ehesten strukturiertes Wissen vermutet wird, nachweisbar ist. Im Gegenteil: VPN, die in Frage 3 die falsche Antwort Nr. 3 wählen, erreichen bei den formal richtigen Beschreibungen (Index FRB) im Mittel 0,45 Punkte mehr.

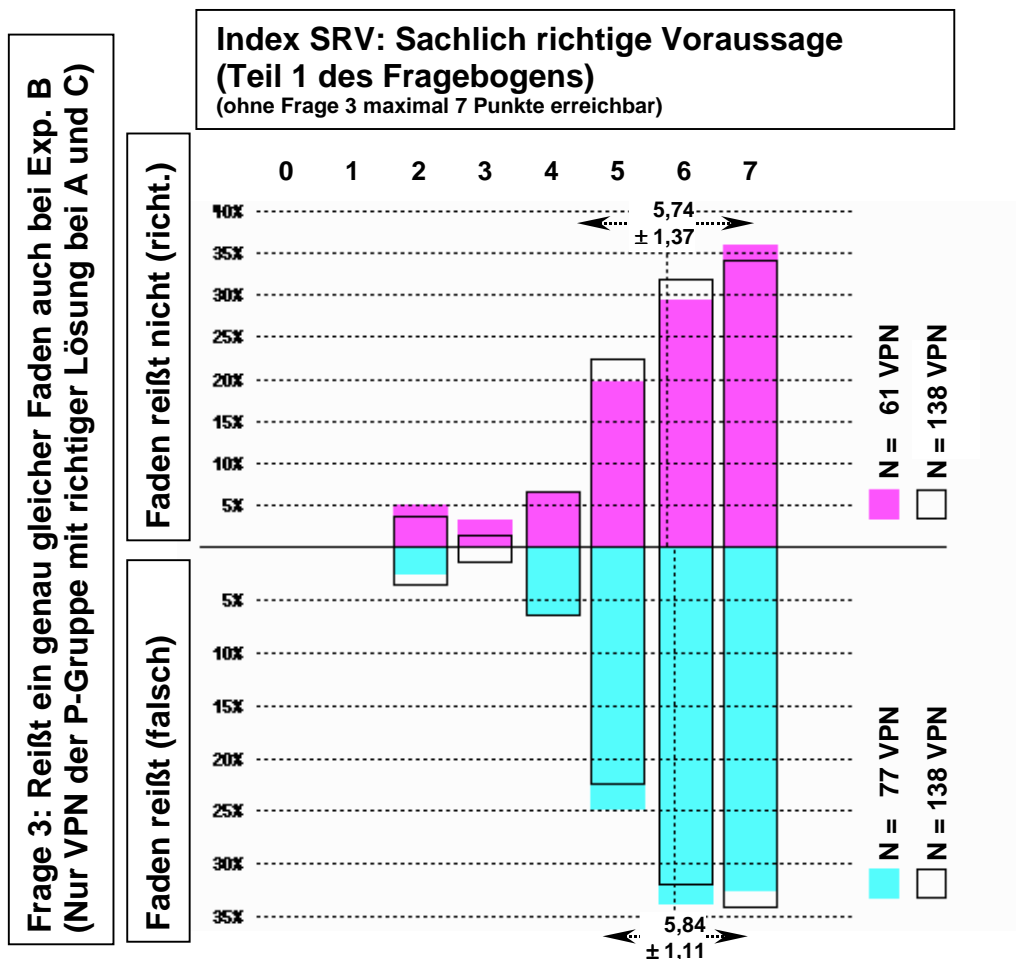


Abbildung 4.4.39

Die Abhängigkeit der im Index SRV (hier ohne Frage 3) erreichten Punktzahl von der korrekten Lösung in Frage 3b. Es wurden nur VPN der P-Gruppe berücksichtigt (N = 138), die bei den Teilfragen 3a und 3c korrekte Voraussagen abgaben.

Diskussionen mit Studierenden und die Ergebnisse der Voruntersuchung ergaben, dass hier oft VPN die falsche Voraussage treffen, die bei den restlichen Vorhersagen besonders gute Ergebnisse erzielten.

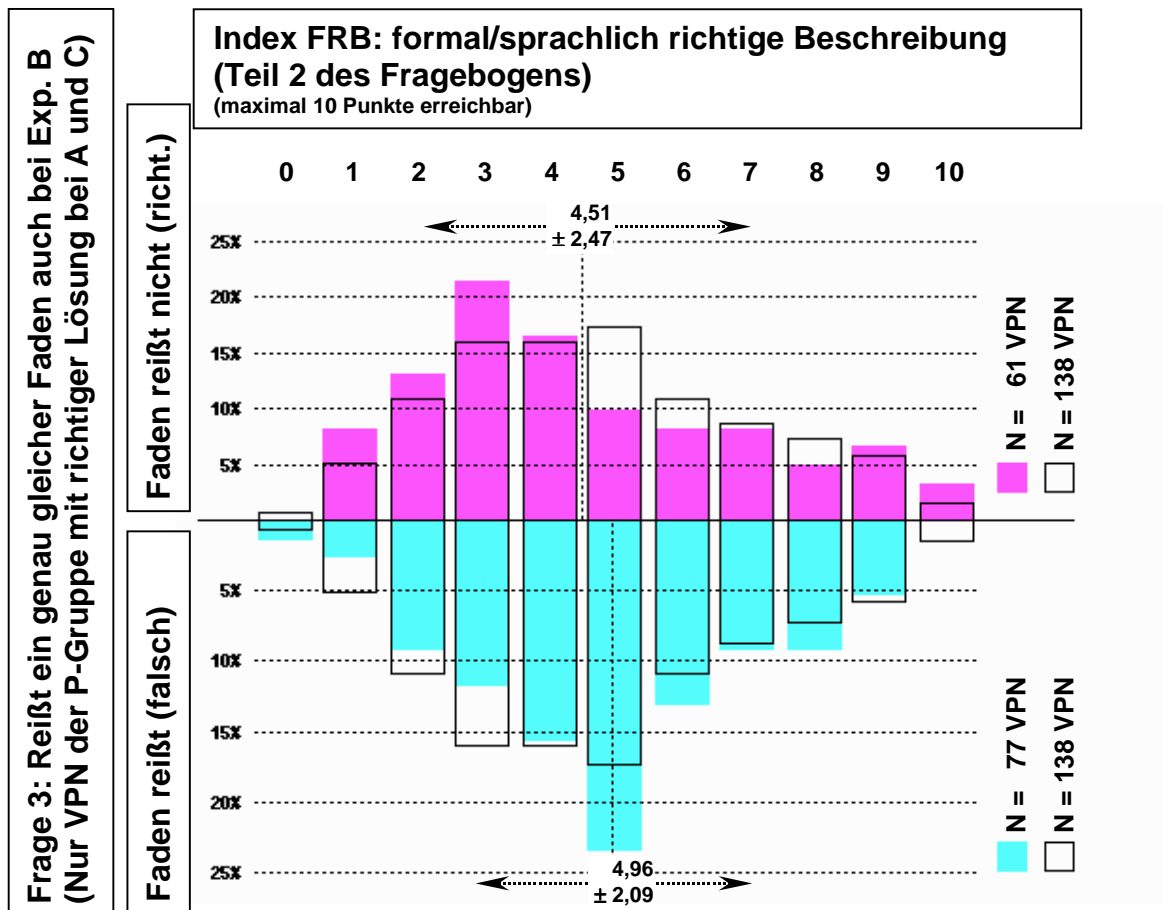


Abbildung 4.4.40

Die Abhängigkeit der im Index SRV (hier ohne Frage 3) erreichten Punktzahl von der korrekten Lösung in Frage 3b. Es wurden nur VPN der P-Gruppe berücksichtigt (N = 138), die bei den Teilfragen 3a und 3c korrekte Voraussagen abgaben.

Als eine Ursache hierfür wurde vermutet, dass gerade VPN, die über eine Theorie (Interpretation von Gleichgewichtspaaren als Summe von zwei Kräften) verfügen, zur falschen Schlussfolgerung kommen, weil sie die Kraft doppelt zählen. Eine entsprechende Frage nach Kraftpfeilen wurde nicht in den Fragebogen aufgenommen. In gewisser Weise ähnlich ist die Situation in Frage 15 (vgl. Abb. 4.4.44). Sie besitzt jedoch nicht die Symmetrie von Frage 3, da hier ein „ziehendes“ Lebewesen dargestellt ist, das ursprünglich die Energie für den Vorgang geliefert hat. Als häufigste Lösung wurde von den VPN (P- bzw. L-Gruppe) die Lösung Nr. 6 (Gleichgewichtskräftepaar) gewählt. Nach obiger These sollten VPN mit dieser Lösung, eher zur falschen Voraussage in Frage 3 tendieren. Es wurde jedoch keine entsprechende signifikante Assoziation zwischen beiden Fragen gefunden.

B Sprachliche und formale Beschreibung einer ähnlichen Situation: Fragen 5 und 15

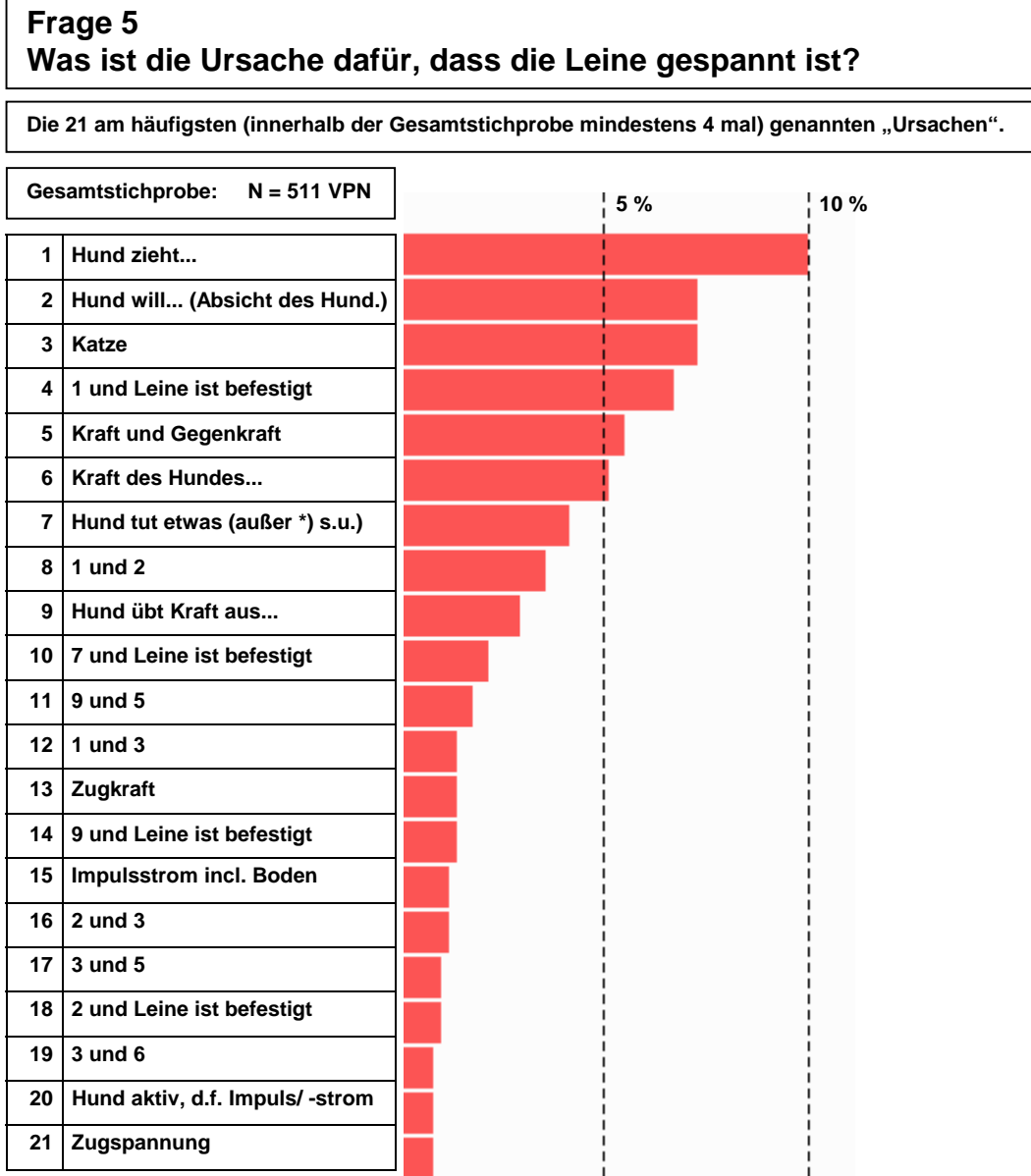
Bei den Fragen 5 bzw. 15 ist ebenfalls eine Situation aus der Statik dargestellt, es geht hier aber primär darum, wie (bzw. ob) das Wort „Kraft“ verwendet wird, wenn nach der Ursache für einen Sachverhalt gefragt wird (Frage 5). Freiformulierte, schriftliche Antworten stellen erfahrungsgemäß für VPN eine Hürde dar. Sie sind zeitaufwendig und die VPN legen sich durch ihre persönliche Ansicht fest. Erfreulich ist daher, dass die Gruppe der Nichtbeantworter bei dieser Frage in der gleichen Größenordnung wie bei den weniger aufwendigen Multiple Choice Items liegt. Mit der Frage nach der Ursache eines Vorganges gerät man leicht in Bereiche, die nicht mit physikalischen Begriffen beschreibbar sind. Deshalb wurde in Frage 5 den VPN, die z. B. nach dem Anfang einer Kausalkette von Ereignissen suchen, (etwas suggestiv) die Katze angeboten. Die Antworten wurden auf vier verschiedene Arten codiert, wobei hier natürlich ein Interpretationsspielraum bei der Auswertung besteht.

VPN, die sich genauer mit der Situation auseinandersetzen, könnten mehrere „Ursachen“ für die Spannung der Leine entdecken. Entsprechende „Ursachen“ wurden nach dem in *Tabelle 4.4.3* dargestellten Schema codiert. So lassen sich z. B. in der Antwort „Der Hund zieht an der Leine, die Leine ist jedoch fest an der Laterne“ die beiden „Ursachen“ Nr. 3 und Nr. 8 identifizieren. In *Abbildung 4.4.41*, in der die 21 häufigsten „Ursachen“ berücksichtigt wurden, findet sich diese Lösung an 4. Stelle.

Die Codierung der freiformulierten Antworten wurde anhand der Gesamtstichprobe (N = 511 VPN) durchgeführt. Diese enthält neben 39 Studienanfängern und 21 VPN, bei denen die Zuordnung zur L- bzw. P-Gruppe nicht möglich war, auch die 52 nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichteten Schüler. Aus den 13 Codezahlen ergaben sich 21 mindestens viermal (*Abbildung 4.4.41*), 39 mindestens zweimal, 34 einmal auftretende Kombinationen sowie 65 mal das Ergebnis „Sonstiges“. Eine Tabelle mit den Originalantworten aller VPN befindet sich im Anhang A.2 (S A20). In *Abbildung 4.4.42* sind dagegen die 14 häufigsten Lösungen für die P- bzw. L-Gruppe dargestellt. Bei der Reihenfolge der häufigsten Nennungen ergeben sich gegenüber der Gesamtstichprobe kaum Veränderungen. Die in der Gesamtstichprobe (insbesondere durch die Formulierungen der Karlsruher Schüler) auftretenden Antworten, die Kombinationen der Begriffe Impuls (*Tabelle 4.4.3*, Nr. 6), Impulsstrom- bzw. -kreislauf (*Tabelle 4.4.3*, Nr. 10) und Zugspannung (*Tabelle 4.4.3*, Nr. 11) enthalten, treten erst an 15. Stelle auf.

A) Antworten, die keiner physikalischen Beschreibung zugänglich sind	
Nr. 1	Die Ursache kann z.B. der (eigentlich nicht festzulegende) Anfang einer Kausalkette sein. Da Menschen Ursachen aus Erfahrung zu kennen glauben, bietet sich hier die Anwesenheit der Katze an. Beispiel: „Die Katze“
Nr. 2	Eine über die bloße Anwesenheit der Katze hinausgehende Ursache ist der Wille (die Absicht) des Hundes. Hier ist nicht gemeint, dass der Hund aktiv wird. Sondern zunächst, dass der Hund etwas will. Beispiel: „Der Hund möchte die Katze fressen“
B) Antworten, die einer physikalischen Beschreibung zugänglich sind	
Nr. 3	Wenn der Hund nun einer Tätigkeit nachgeht, kann man versuchen, diese Tätigkeit Ursache zu nennen und physikalisch zu beschreiben. Ursache ist hier, dass der Hund zieht und zwar ohne die explizite Verwendung des Wortes Kraft. Die Beschreibung geht immer noch über die Möglichkeiten des Kraftbegriffes hinaus, weil der Hund Täter ist. Physikalisch könnte man dies z. B. als eine Antwort auf die Frage ansehen, welches Objekt als Energiespeicher diente, bevor die Leine gespannt wurde. Beispiel: „Weil der Hund dran zieht“
Nr. 4	Hier ist ebenfalls der Hund aktiv, er „tut“ nur etwas anderes als ziehen. Beispiel: „Der Hund bewegt sich auf die Katze zu“
Nr. 5	Hund ist aktiv, aber zur Beschreibung wird das Wort „Kraft“ verwendet. Beispiel: „Hund übt Kraft auf Leine aus“
Nr. 6	Hund ist aktiv, aber das Wort „Impuls“ kommt vor. Beispiel: „Der Hund versucht seinen Impuls in Richtung Katze zu ändern“
Nr. 7	Im Unterschied zu Nr. 5 ist nicht der Hund, der eine Kraft ausübt Subjekt (Ursache), sondern die Kraft (bzw. die Zugkraft) selbst. Sie wird aber dennoch eindeutig dem Hund zugeordnet. Beispiel: „Die Kraft des Hundes spannt das Seil“
Nr. 8	Hier steht der Aspekt im Vordergrund, dass die Leine an der Laterne befestigt ist. Dieser Aspekt wird immer in Verbindung mit anderen „Ursachen“ genannt. Beispiel: „Der Hund zieht ... und die Leine ist am ... befestigt“
Nr. 9	Es wird von zwei Kräften gesprochen. Die Formulierungen sind relativ symmetrisch. Auch dieser Aspekt wird häufig an späterer Stelle zusammen mit anderen „Ursachen“ genannt. Beispiel: „Zwei entgegen wirkende Kräfte. Hund und Laterne.“
Nr. 10	Hier ist von einem Impulskreislauf die Rede, oder - falls der Hund „schuld“ ist (Impulspumpe) - wird der Boden bzw. die Erde in die Antwort mit einbezogen. Beispiel: „Der Hund pumpt Impuls aus der Erde (über Laternenpfahl).“
Nr. 11	Zugspannung Beispiel: „Leine steht unter Zugspannung“
Nr. 12	Zugkraft (das Wort allein)
Nr. 13	Sonstiges

Tabelle 4.4.3 Codetabelle für freiformulierte Antworten auf Frage 5.



*) Hund zieht, pumpt Impuls, übt Kraft aus

Abbildung 4.4.41

Die 21 innerhalb der Gesamtstichprobe (N = 511 VPN) am häufigsten (mindestens 4 mal) genannten Antworten auf Frage 5. Dargestellt sind nur die Antworten von 342 VPN. Zur Codierung der Antwortklassen vgl. Tabelle 4.4.3 auf vorheriger Seite.

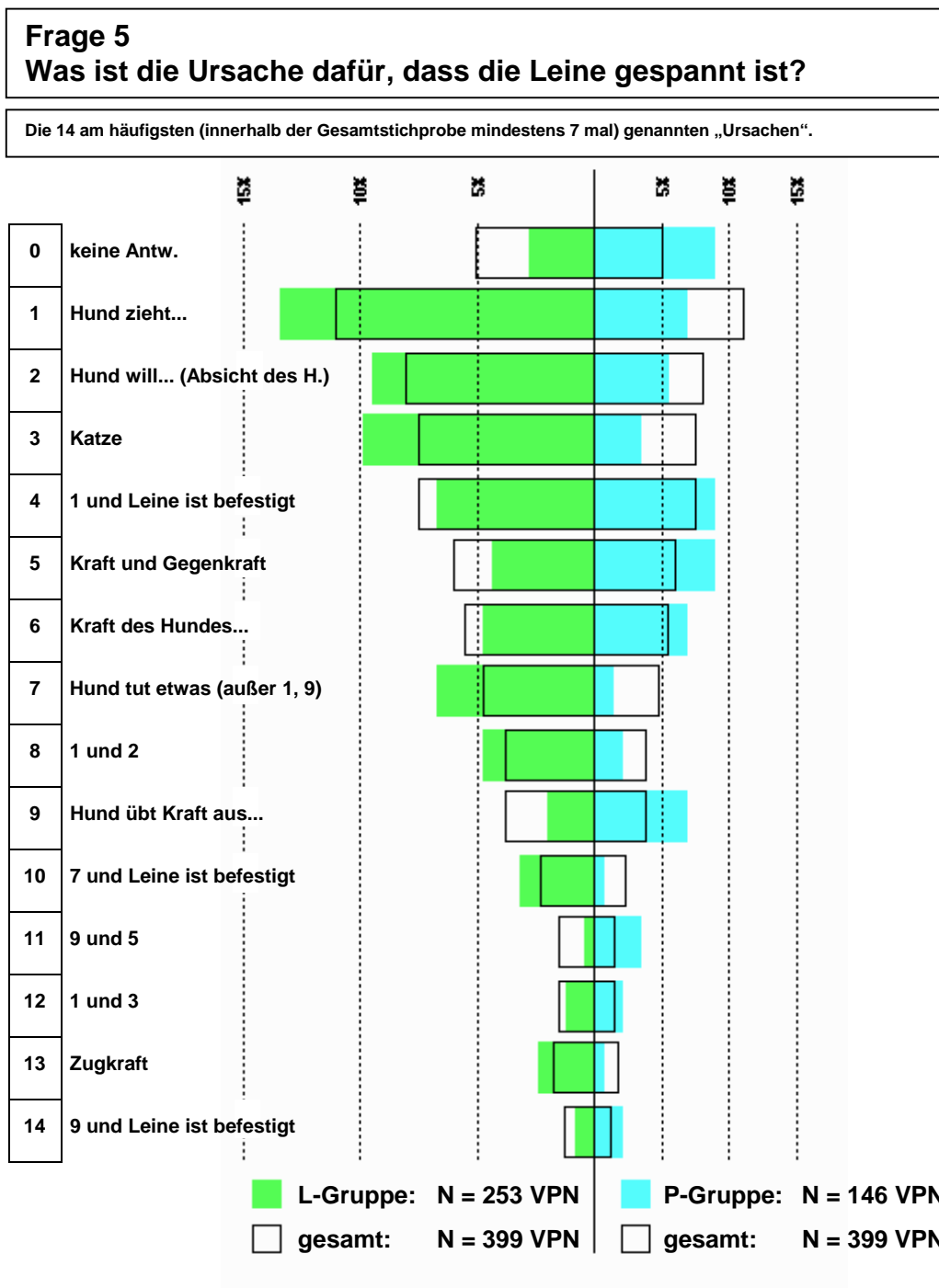


Abbildung 4.4.42

Die 14 innerhalb der Gesamtstichprobe (N = 511 VP) am häufigsten (mindestens 7 mal) genannten Antworten auf Frage 5 in Abhängigkeit von der phys. Vorbildung. Betrachtet wird die Teilstichprobe, bestehend aus P- und L-Gruppe (N = 399 VP). Dargestellt sind nur die Antworten von 284 VP. Zur Codierung der Antwortklassen vgl. Tabelle 4.4.3.

Man erkennt, dass Antworten, die das Wort „Kraft“ enthalten, häufiger von der P-Gruppe gegeben werden. Das muss nicht unbedingt mit der dargestellten Situation zusammenhängen. Es könnte auch sein, dass diese VPN vielleicht eher den Kraftbegriff als „Kern“ der Befragung erkannt haben und sich bemühten, die Situationen mit ihm zu beschreiben. Durch die detaillierte Codierung werden in *Abbildung 4.4.42* nur 284 VPN erfasst. Aus diesem Grund wird auf eine Betrachtung einer einzelnen (häufig schwach besetzten) Antwortklasse gegenüber allen restlichen in Form einer Vierfeldertafel verzichtet und kein entsprechender Wert für χ^2 angegeben. Diese Nachteile lassen sich durch weitere, unschärfere Zusammenfassungen der Antworten vermeiden.

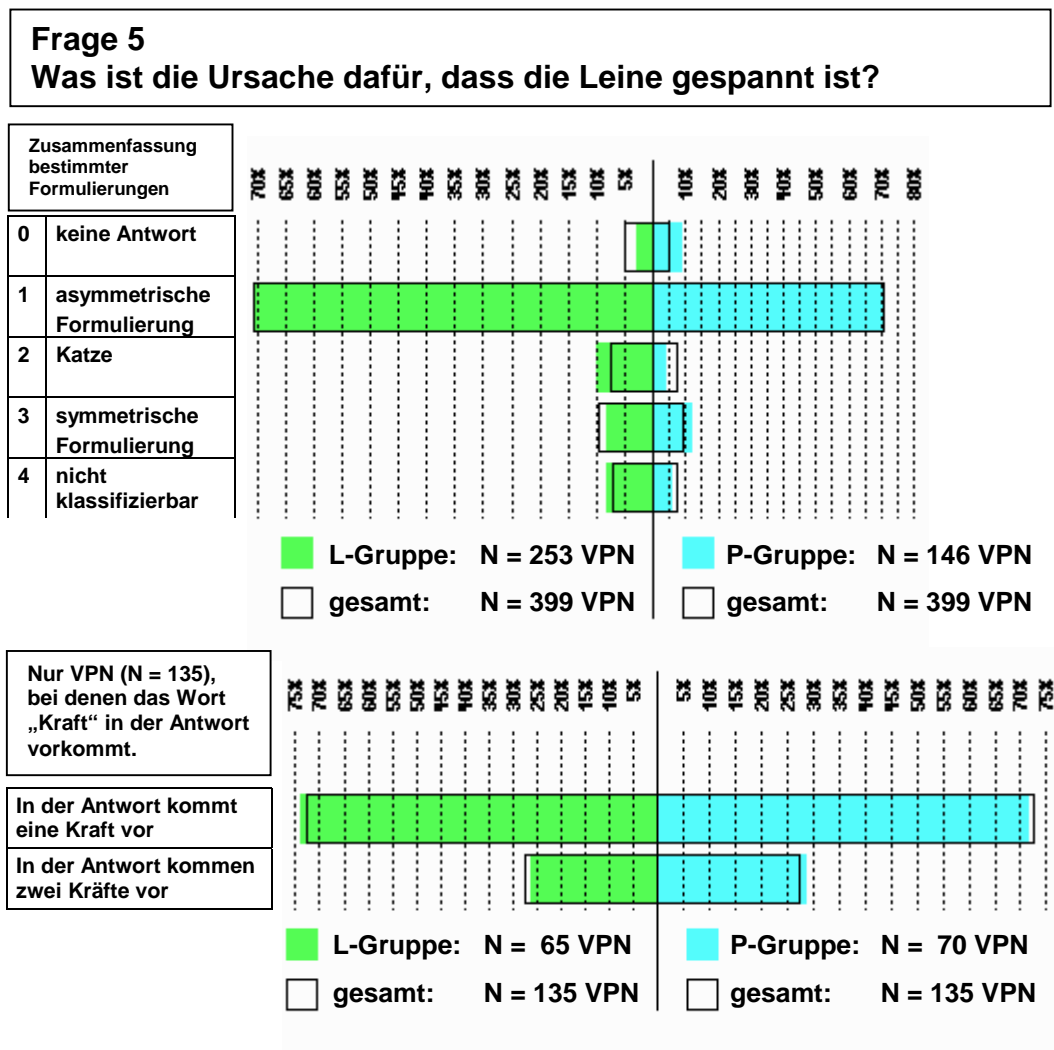


Abbildung 4.4.43

Zusammenfassungen bestimmter Antworten auf Frage 5 in Abhängigkeit von der phys. Vorbildung. Für den unteren Teil der Abbildung wurden nur Antworten berücksichtigt, in denen das Wort „Kraft“ vorkommt (N = 135 VPN).

Zwei dieser Zusammenfassungen zeigt *Abbildung 4.4.43*. In einer weiteren, hier nicht dargestellten Zusammenfassung geht es darum, ob die VPN bei ihrer Antwort die Rolle des Bodens berücksichtigen. Dies tun häufig die nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichteten Schüler (vgl. Kapitel 5). Von den hier betrachteten 399 VPN erwähnen nur 2,3 % in ihrer Antwort, dass der Boden eine Rolle spielt (2 % bei der P-Gruppe und 2,4 % bei der L-Gruppe). Lediglich 2 VPN verwenden das Wort „Energie“, sie sagen, dass der Hund „Energie aufwendet“.

Im oberen Teil von *Abbildung 4.4.43* wurden die genannten Ursachen grob nach der Symmetrie der sprachlichen Beschreibung klassifiziert. In Antwortklasse 1 „asymmetrische Formulierung“ fallen alle Beschreibungen, die die Rolle des Hundes in den Vordergrund stellen. Z. B. „Der Hund will...“, „Der Hund zieht...“ aber auch „Der Hund übt Kraft aus...“. In diese Klasse fallen ebenfalls asymmetrische Formulierungen, die im Sinne des Karlsruher Physikkurses fachsprachlich korrekt sind, wie z. B. „Der Hund pumpt Impuls aus dem Boden...“. Die Antwortklasse 3 „symmetrische Formulierung“ enthält sowohl neutrale Formulierungen wie z. B. „zwei entgegen wirkende Kräfte...“ als auch Formulierungen, die das Wort „Kraft“ nicht enthalten wie „Der Hund zieht in die eine Richtung, der Pfahl zieht in die andere“. Auch die Antwort „Zugspannung“ fällt darunter. In Klasse 2 fallen die Antworten, die allein die Katze erwähnen und in Klasse 4 schließlich alle restlichen, nach diesem System nicht zuzuordnenden Antworten.

Die in *Abbildung 4.4.43* unten dargestellte Zusammenfassung ergibt sich allein aus der Verwendung des Wortes „Kraft“. Es wurden dafür nur Antworten von VPN (N = 135) berücksichtigt, die das Wort „Kraft“ enthalten und unterschieden, ob in den Antworten von einer bzw. von zwei Kräften die Rede ist. Das Wort „Kraft“ kommt überwiegend in den Antworten der P-Gruppe (47,9 %) vor (L-Gruppe: 25,7 %).

Sowohl bei den beiden betrachteten Antworten dieser (nicht das Gesamtergebnis widerspiegelnden) Teilstichprobe als auch bei der Beurteilung der asymmetrischen Antworten für die Gesamtstichprobe fällt auf, dass kaum Unterschiede zwischen P- und L-Gruppe bestehen. Das lässt den Schluss zu, dass eine deutliche Mehrheit der Befragten, unabhängig von ihrer physikalischen Vorbildung, auf die Frage nach der *Ursache* in dieser Situation eine *asymmetrische Antwort* erwartet. Demnach dürfte auch die schulübliche „Definition“ von „Kraft“ als Ursache von Bewegungs- und insbesondere Formänderungen ähnliche Erwartungen begünstigen und somit einem symmetrischen Kraftkonzept eher im Wege stehen.

Formale Beschreibung der gleichen Situation mit Kraftpfeilen: Frage 15

Für die Situation aus Frage 5 sollten die VPN in Frage 15 vorgegebene Kraftpfeile auswählen. Als häufigste Einzellösung (siehe *Abbildung 4.4.44*) wurden formal korrekte Kraftpfeile, die das am Seil angreifende Gleichgewichtspaar darstellen, gewählt. Von der P-Gruppe (42,3 %) signifikant häufiger als von der L-Gruppe (24,1 %). Zweithäufigste Lösung ist, ebenfalls bei beiden Gruppen, die Wahl eines Kraftpfeils in Richtung Hund (P-Gruppe: 17,2 %, L-Gruppe: 21,0 %). Lösungen mit zwei Kraftpfeilen in Richtung Hund (Nr. 3, Nr. 4), die andeuten, dass der Hund sowohl an der Leine als auch am Mast „zieht“, wurden fast ausschließlich (17,7 %) von der L-Gruppe gewählt. Das gespannte Seil könnte formal auch als Vermittler einer attraktiven Wechselwirkung zwischen den Körpern „Hund“ und „Mast“ angesehen werden. Diese Sichtweise hätte den Vorteil, die oben angedeuteten Schwierigkeiten der üblichen Beschreibung durch Gleichgewichtspaare beim Übergang zur Dynamik zu vermeiden. Die Lösungen Nr. 1 und Nr. 9 entsprechen diesem Modell. Sie werden von den VPN jedoch insgesamt selten (12,8 %) gewählt, etwas häufiger innerhalb der P-Gruppe (19,9 %). Werden die einzelnen Antworten, wie im unteren Teil von *Abbildung 4.4.44*, zu Gruppen zusammengefasst, wird offensichtlich, dass die VPN der L-Gruppe asymmetrische Lösungen deutlich bevorzugen.

Aus dem Vergleich mit Frage 5 ergibt sich ein weiterer Unterschied zwischen P- und L-Gruppe: Während VPN der L-Gruppe, die in ihrer freiformulierten Antwort (Frage 5) das Wort „Kraft“ verwenden, signifikant (0,1 %-Niveau) häufiger auch in Frage 15 formal korrekte Kraftpfeile wählen, lässt sich ein derartiger Zusammenhang für die P-Gruppe nicht feststellen (Auf eine Abbildung entsprechender Vierfeldertafeln wird verzichtet). Bei letzteren zeigt sich dieser Zusammenhang erst, wenn bereits in Frage 5 mit zwei Kräften argumentiert wurde (vgl. *Abbildung 4.4.47*). Obwohl viele physikalisch vorgebildete VPN keine symmetrische sprachliche Beschreibung der dargestellten Situation vornehmen, verwenden sie die angebotenen Pfeilsymbole dennoch häufig korrekt. Möglicherweise liegt ein Grund in der bereits oben (Abschnitt 4.4.2.1) erwähnten Zweisprachigkeit dieser Gruppe: Eine verbale „Erklärung“ kann somit auf der Ebene der Alltagssprache erfolgen, einschließlich der alltagstheoretischen Bedeutung des Wortes „Kraft“. Die symbolische Beschreibung durch Pfeile wird jedoch auf fachsprachliche Aspekte (z. B. Gleichgewichtspaar) bezogen. Das dürfte bei dem hier betrachteten statischen Problem leichter fallen, da keine Assoziationen zur Geschwindigkeit vorkommen. In den *Abbildungen 4.4.45* und *4.4.46* werden einige freiformulierte Antworten auf Frage 5 den formal korrekten Antworten auf Frage 15 gegenübergestellt.

Frage 15
Kraftpfeile bei angebundenem Hund

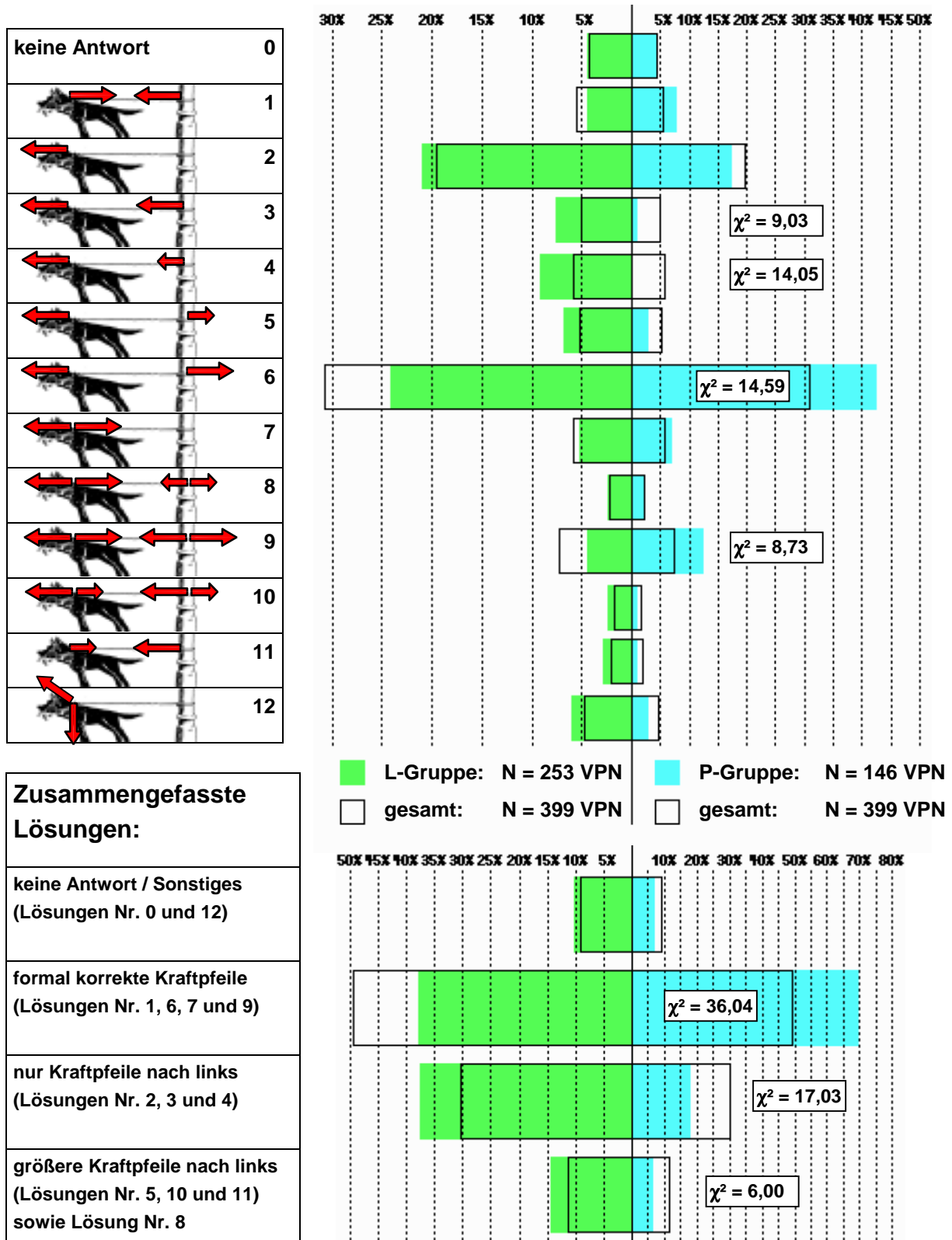


Abbildung 4.4.44

Die Antworten auf Frage 15 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

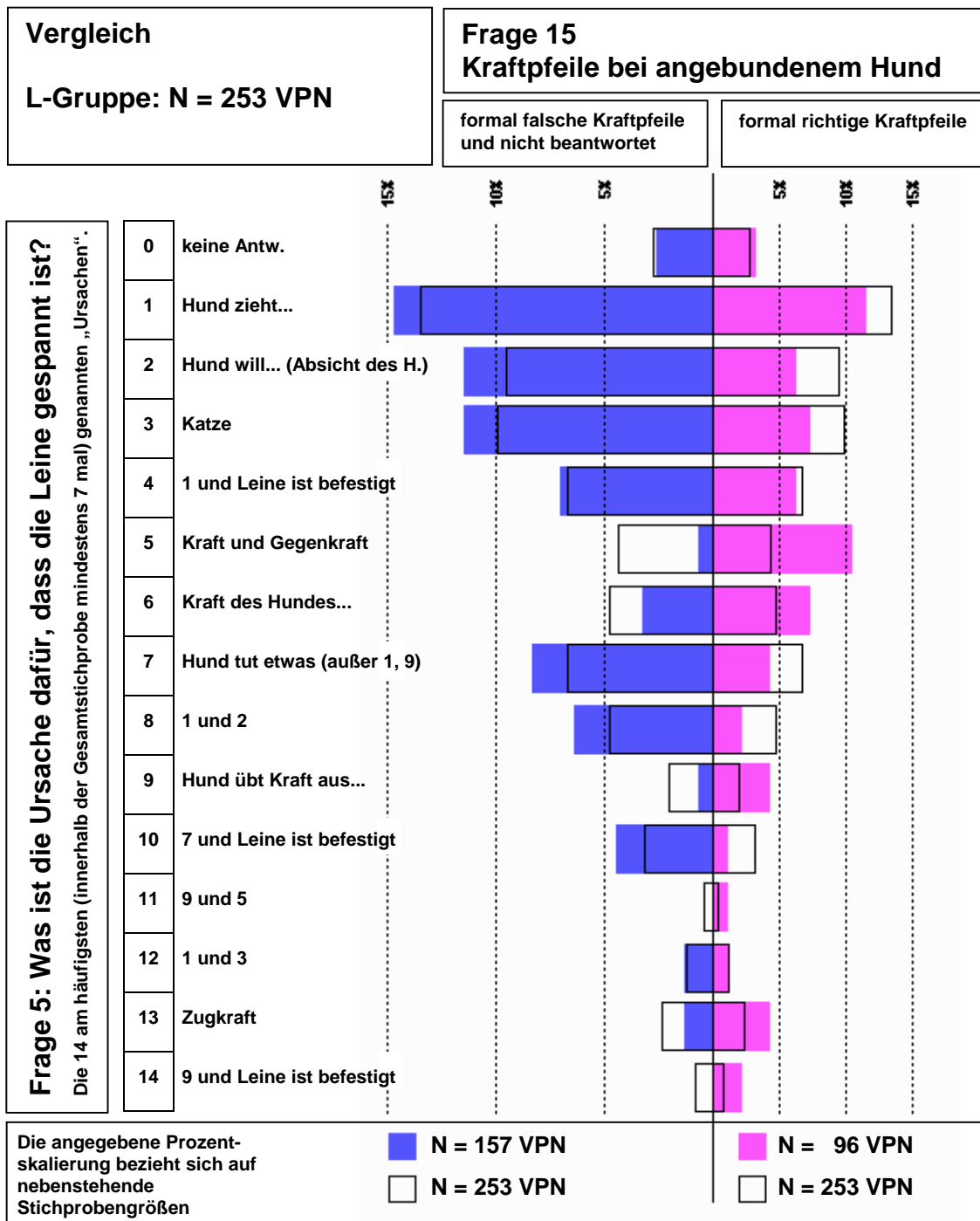


Abbildung 4.4.45

Vergleich der häufigsten (innerhalb der Gesamtstichprobe $N = 511$ VPN mindestens 7 mal genannt) Antworten auf Frage 5 mit den Ergebnissen von Frage 15 für die L-Gruppe ($N = 253$ VPN). Dargestellt sind nur die Antworten von 184 VPN. Zur Codierung der Antwortklassen vgl. Tabelle 4.4.3.

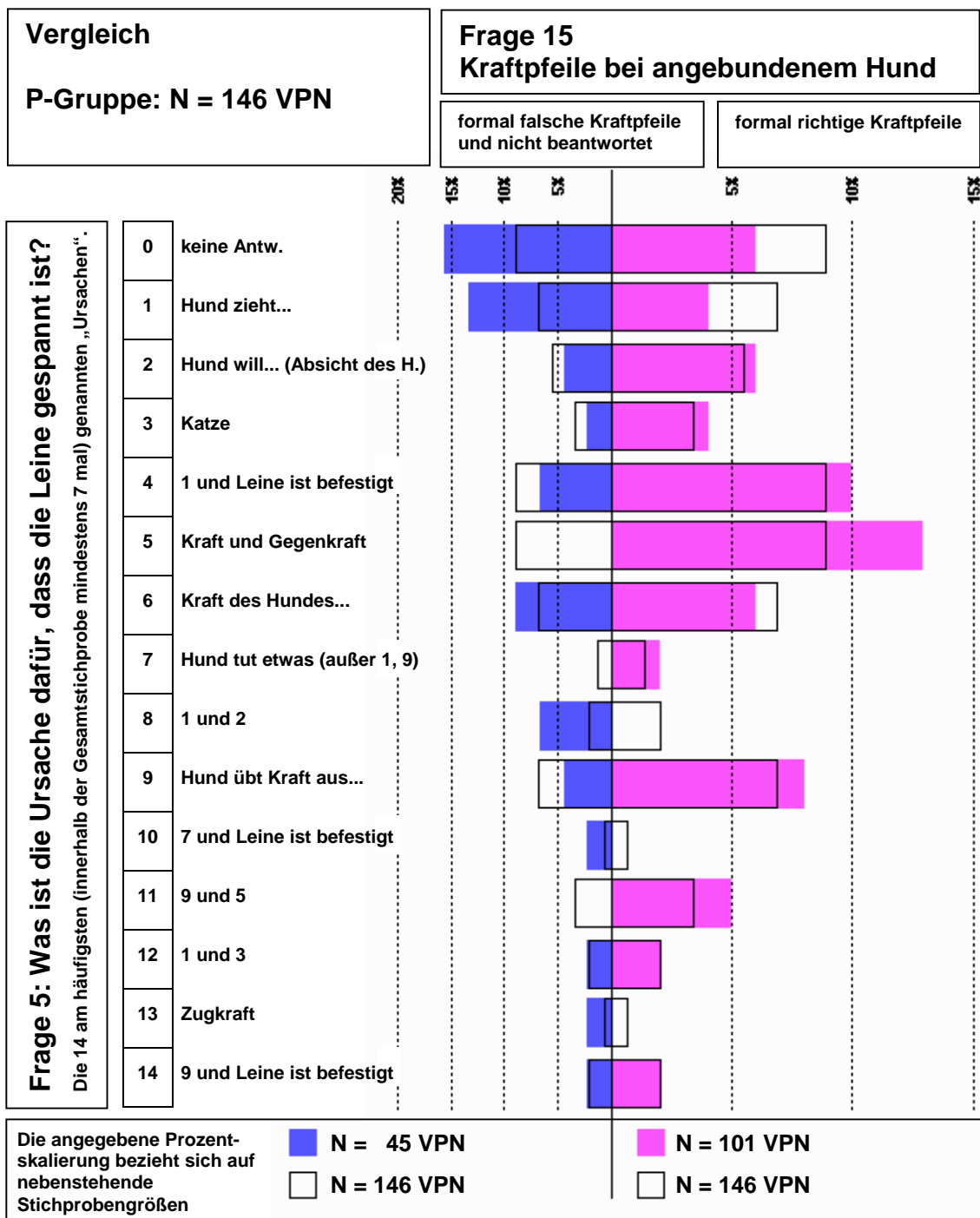


Abbildung 4.4.46

Vergleich der häufigsten (innerhalb der Gesamtstichprobe N = 511 VPN mindestens 7 mal genannt) Antworten auf Frage 5 mit den Ergebnissen von Frage 15 für die P-Gruppe (N = 146 VPN). Dargestellt sind nur die Antworten von 100 VPN. Zur Codierung der Antwortklassen vgl. Tabelle 4.4.3.

Innerhalb der Teilstichprobe, die bereits in Frage 5 mit „Kräften“ argumentiert, ist der Zusammenhang zwischen Formulierung und Kraftfeldarstellung offensichtlich. Diejenigen VPN, die von zwei „Kräften“ sprechen, wählen auch signifikant häufiger richtige Kraftpfeile. Die Vierfeldertafel (Abbildung 4.4.47) zeigt den Zusammenhang (1 %-Niveau) für die (auf 65 VPN eingeschränkte) L-Gruppe. Für die (in gleicher Weise auf 70 VPN eingeschränkte) P-Gruppe ergibt sich die (nicht dargestellte) gleiche Assoziation auf dem 2,5 %-Niveau.

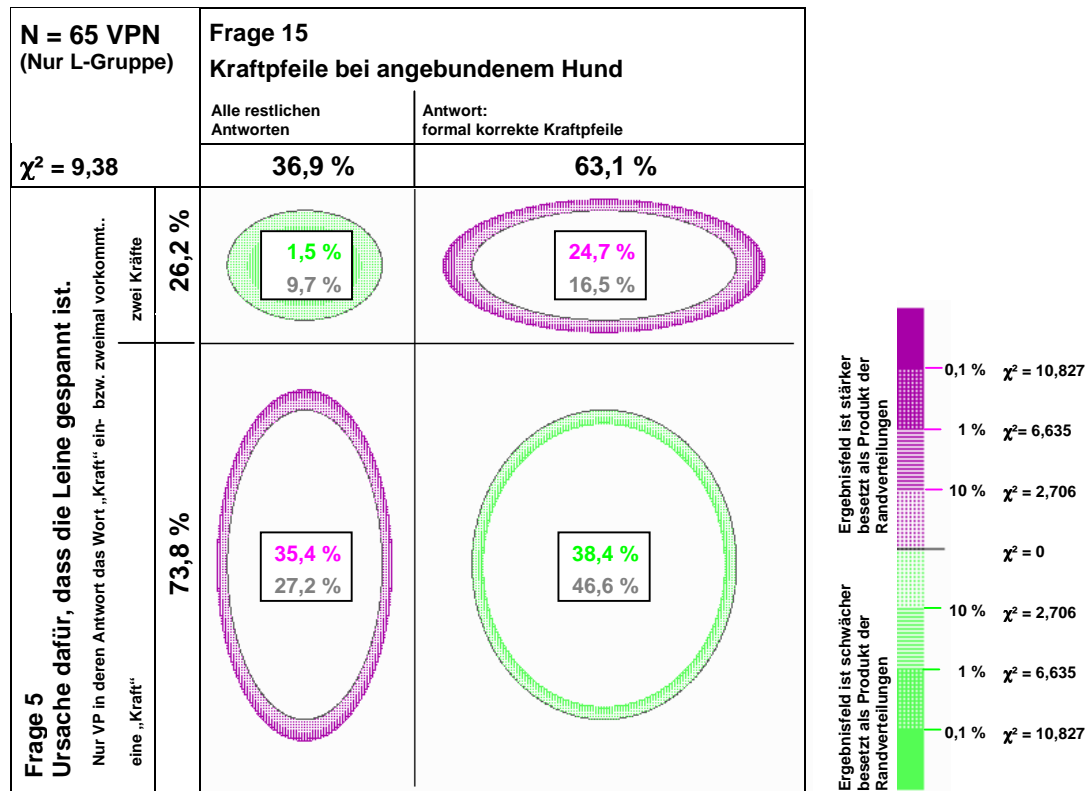


Abbildung 4.4.47

Zusammenhang zwischen korrekter Beschreibung mit Kraftpfeilen in Frage 15 und freiformulierter Antwort in Frage 5. Es wurden nur VPN der L-Gruppe berücksichtigt, in deren Antwort auf Frage 5 von „Kraft“ bzw. „Kräften“ die Rede war ($N = 65$ VPN).

4.4.2.3. Assoziationen und Kontext zum Wort „Kraft“

Wortassoziationen: Frage 10 Teil 1

Assoziationstests zum Stichwort „Kraft“ wurden bereits in anderen Untersuchungen [SCHE85], [DUIT85] durchgeführt (vgl. Kapitel 2, Abschnitt 2.3.1). Zielgruppe waren dort Schüler vor- bzw. nach der Behandlung der Newtonschen Mechanik. Durch den hohen Anteil berufstätiger Erwachsener wird in der vorliegenden Stichprobe ein wesentlich breiterer, wenn auch nicht repräsentativer, Teil der Bevölkerung abgedeckt. Frage 10 (Teil 1) lautete: „Was fällt Ihnen spontan zu „Kraft“ ein? – 1.), 2.), 3.)“. Es wurde absichtlich keine Einschränkung auf physikalische Bedeutungen gemacht, da speziell die umgangssprachliche Bedeutung des Wortes „Kraft“ interessant erschien. 511 VPN machten Insgesamt 1246 verwertbare Äußerungen (von 1533 theoretisch möglichen). Dabei traten 431 unterschiedliche Assoziationen auf. *Abbildung 4.4.48* zeigt die 50 häufigsten Nennungen (in der Gesamtstichprobe $N = 511$ VPN mindestens 5 mal genannt). Sie umfasst 730 Nennungen. Damit decken 11,6 % der genannten Begriffe 58,6 % aller auftretenden Assoziationen ab. Da in der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) die Karlsruher Schüler enthalten sind, tauchen in den Nennungen auch für den Karlsruher Physikkurs typische Begriffe wie z.B. „Impulsstromstärke“ auf. Auch den Studienanfängern, die bereits mit der Hochschulphysik in Berührung kamen, könnte Kraft als zeitliche Änderung des Impulses vertraut sein. Für einen Überblick über die häufigsten Assoziationen wird daher, wie in den vorangegangenen Abschnitten auch, die Teilstichprobe ($N = 399$ VPN) ohne diese Gruppen verwendet (*Abbildung 4.4.49*). Die Reihenfolge der dargestellten Antworten entspricht jedoch weiterhin der der Gesamtstichprobe und enthält daher bei einigen Begriffen Lücken. Innerhalb der eingeschränkten Stichprobe ($N = 399$ VPN) wurden (von 1197 möglichen) 991 Assoziationen genannt. Den in *Abbildung 4.4.49* gezeigten Assoziationen entsprechen 579 Nennungen (58,4 %).

Aufgrund der schwachen Felddbesetzung einzelner freiformulierter Antworten bzw. daraus gebildeter Antwortklassen wird im Folgenden bei allen Abbildungen, die Frage 10 betreffen, auf die Angabe des Wertes für χ^2 verzichtet. Ferner beziehen sich die in den Abbildungen angegebenen Prozentskalierungen immer auf die jeweilige Stichprobengröße und nicht auf die (jeweils dreifache) Anzahl möglicher Antworten. Diese Skalierung ist insofern vernünftig, weil der Fall, dass die gleiche Assoziation mehrfach von einer VP genannt wird, nicht vorkommt.

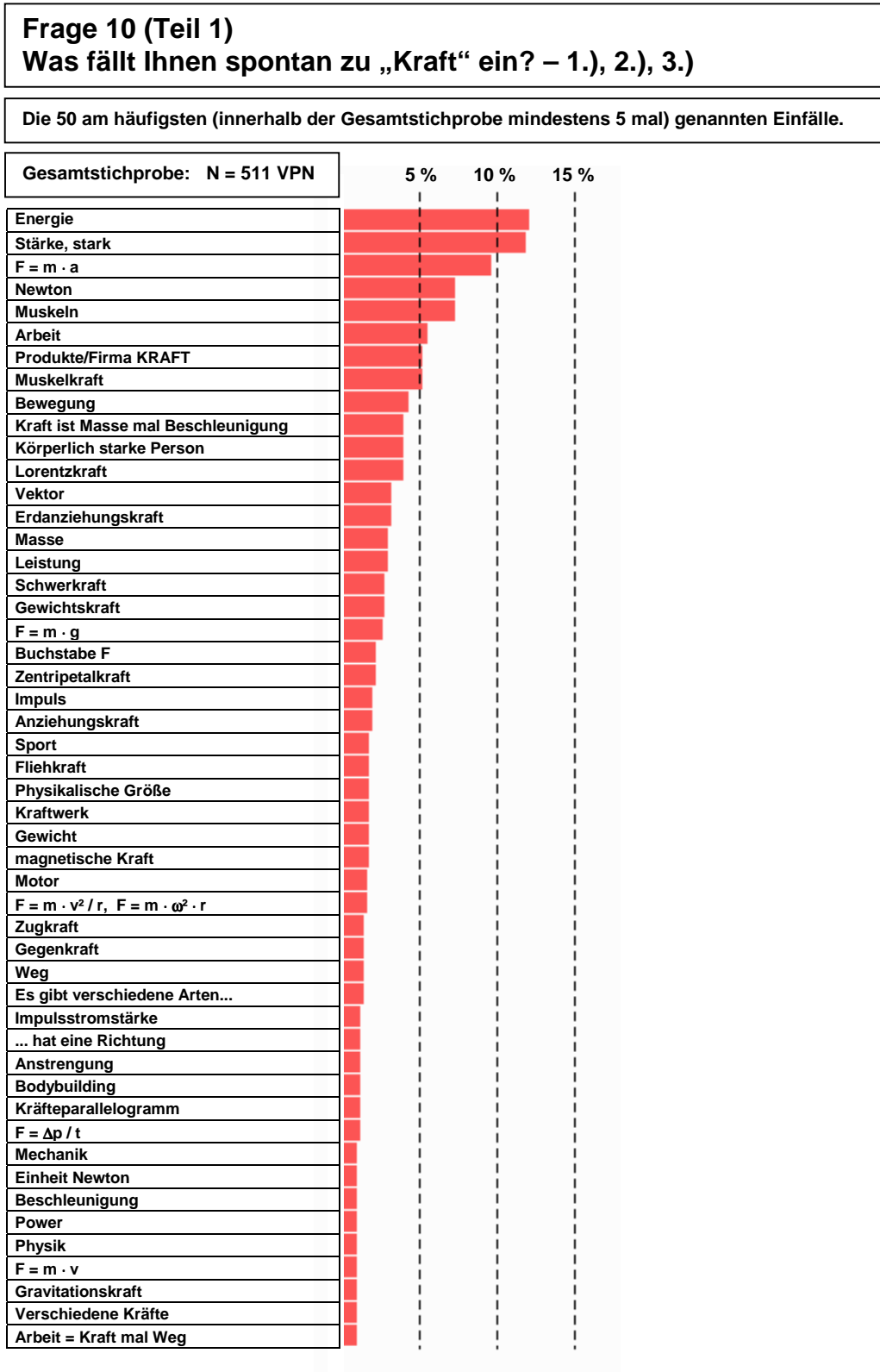


Abbildung 4.4.48

Die 50 innerhalb der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) am häufigsten (mindestens 5 mal) genannten Assoziationen auf Frage 10 (Teil 1). Insgesamt wurden 431 unterschiedliche Assoziationen genannt. Dargestellt sind 530 Nennungen von insgesamt 1246.

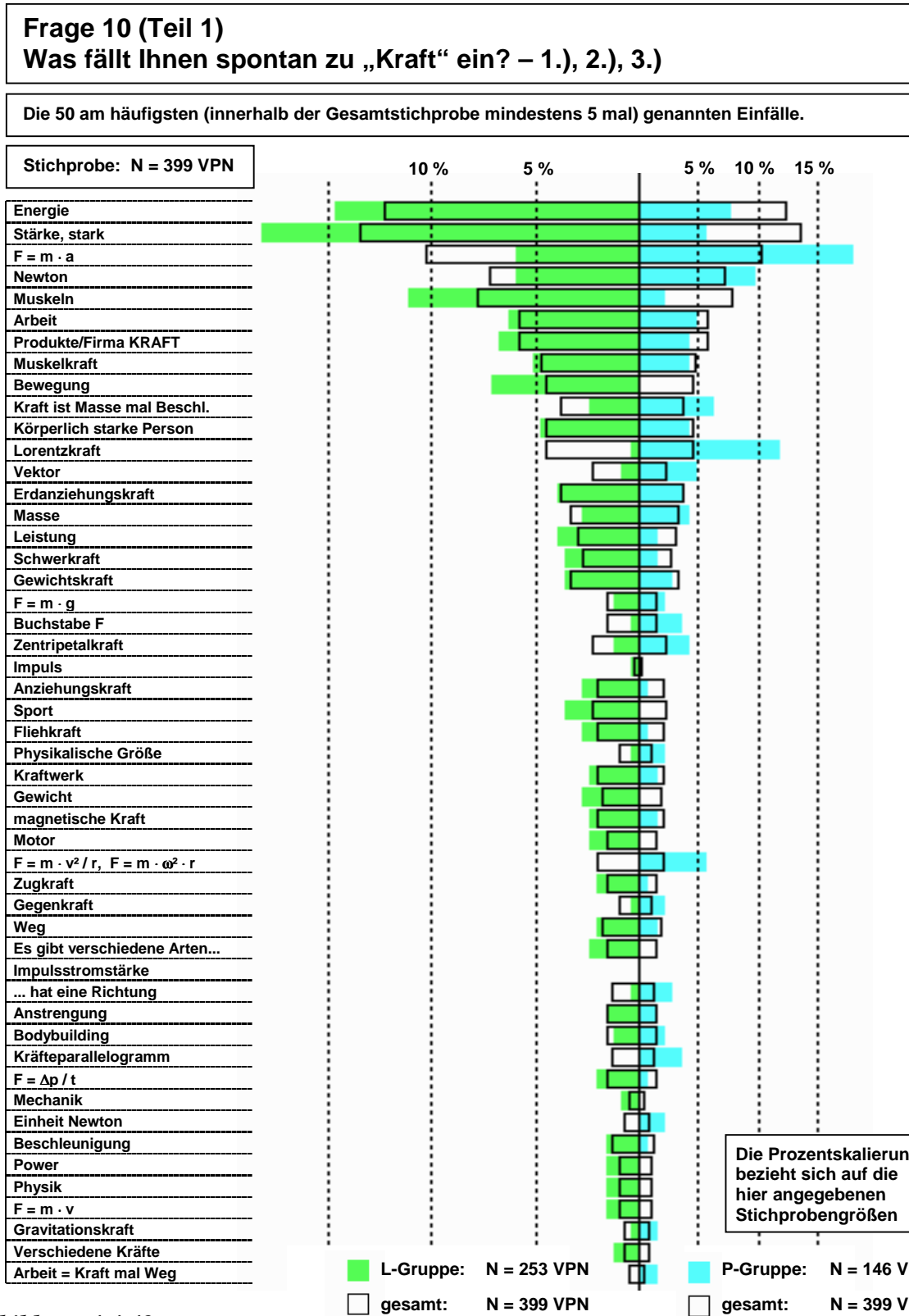


Abbildung 4.4.49

Die 50 innerhalb der Gesamtstichprobe (N = 511 VPn) am häufigsten (mindestens 5 mal) genannten Assoziationen auf Frage 10 (Teil1) in Abhängigkeit von der phys. Vorbildung. Betrachtet wird die Teilstichprobe, bestehend aus P- und L-Gruppe (N = 399 VPn). Den dargestellten Assoziationen entsprechen 579 Nennungen (von 991 Nennungen, die insgesamt innerhalb dieser Teilstichprobe vorkamen).

Von der P-Gruppe werden in wesentlich stärkerem Maße Assoziationen aus dem Physikunterricht (insbesondere bestimmte Kräfte, Einheiten und Formeln) genannt. Allen voran die Formel $F = m \cdot a$ symbolisch oder verbal. Die häufige Nennung von Lorentzkraft, Zentripetalkraft bzw. den entsprechenden Formeln dürfte nicht typisch für eine bleibende Bedeutung des Wortes „Kraft“ innerhalb der P-Gruppe sein. Sie hängt sicher mit dem zum Zeitpunkt der Befragung aktuellen Gegenstand des Physikunterrichtes zusammen. Interessanter ist, dass bei den Worten „Muskelkraft“, „körperlich starke Person“, „Gewichtskraft“ und „Erdbziehungskraft“ kaum Unterschiede zwischen P- und L-Gruppe bestehen. Neben den erwartungsgemäß bei der L-Gruppe dominierenden Assoziationen die mit körperlicher Stärke („Stärke“, „Muskel“, starke Person: „Arnold Schwarzenegger“, „Boxer“, usw.) zu tun haben, fällt die häufige Nennung des Wortes „Energie“ auf. Das Wort ist bei der L-Gruppe die zweithäufigste-, bei der P-Gruppe immerhin noch die vierthäufigste Nennung. Es tritt damit in der vorliegenden Stichprobe (4,8 % aller Nennungen) etwas häufiger auf, als z.B. in der Untersuchung von Schecker. Bei einer ähnlichen Befragung von 132 Schülern (Grund- und Leistungskurs, Klasse 11 nach Mechanikunterricht) wurde „Energie“ 25 mal genannt (4 % von 629 Nennungen, $N = 132$) [SCHE85, S190]. In *Abbildung 4.4.49* fällt auf, dass z.B. das Wort „Bewegung“ von der P-Gruppe nicht assoziiert wurde. Für die L-Gruppe ist es dagegen nach „Stärke“, „Energie“ und „Muskel“ die vierthäufigste Assoziation. Die vorangegangenen Ergebnisse zum schrägen Wurf zeigten aber, dass dort Kraftpfeile insbesondere für die VPN der P-Gruppe häufig als proportional zur „Bewegung“ angenommen wurden. Das könnte ein weiterer Hinweis darauf sein, dass das Wort „Kraft“ weniger mit der Bewegung an sich, sondern eher mit einer Eigenschaft der Bewegung z. B. mit der „Energie der Bewegung“ zu tun hat. Falsche Beschreibungen zum schrägen Wurf äußern sich, wie oben angesprochen, bereits bei Fragen nach der Beschleunigung.

Ein Teil der Antworten (780 von insgesamt 991 in der hier betrachteten Stichprobe $N = 399$ VPN) wurde in 19 Klassen zusammengefasst. *Abbildung 4.4.50* zeigt die gebildeten Klassen sowie die Ergebnisse für die P- bzw. L-Gruppe. Beispielsweise ergeben sich durch die Zusammenfassung der Nennungen „Bewegung“, „Bewegungszustand“ und „Geschwindigkeit“ auch für die P-Gruppe Antworten in der Klasse Nr. 6 : = „Bewegung“. Die Nennungen „Bewegungsänderung“, „Änderung des Bewegungszustandes“, wurden dagegen zusammen mit der häufig auftretenden verbalen Kraftdefinition „Masse mal Beschleunigung“ in Klasse Nr. 7 eingeordnet.

Wie aus *Abbildung 4.4.50* ersichtlich, assoziieren physikalisch vorgebildete VPN häufiger formal korrekte Formeln sowie Vektoreigenschaften zum Wort „Kraft“. Die bei der L-Gruppe dominierende Assoziation „Stärke“ tritt weniger häufig auf. Anders ist das bei den Begriffen Energie, Arbeit und Leistung. Dort fallen die Unterschiede zwischen P- und L-Gruppe weniger drastisch aus.

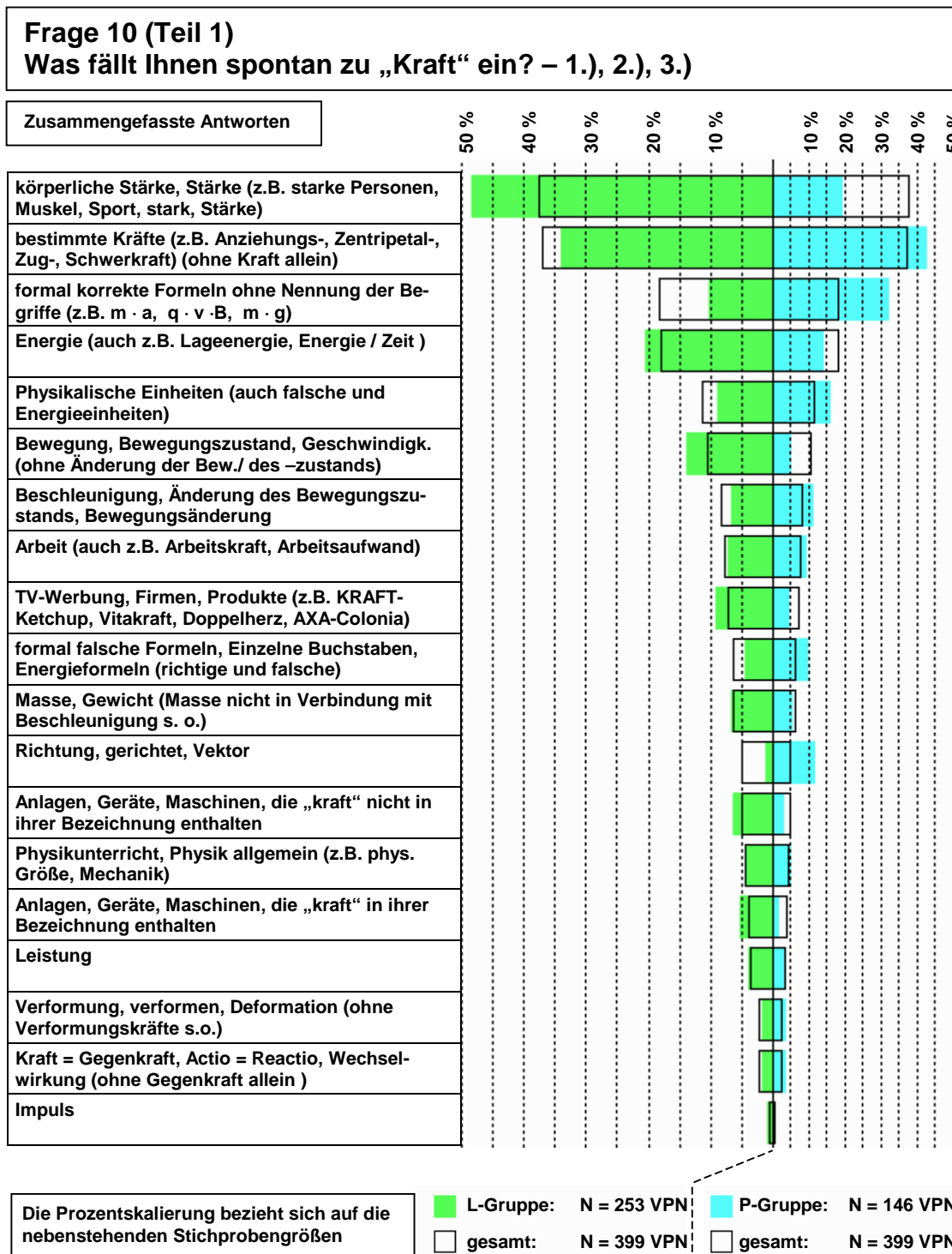


Abbildung 4.4.50

Zusammengefasste Assoziationen auf Frage 10 (Teil1) in Abhängigkeit von der phys. Vorbildung. Betrachtet wird die Teilstichprobe, bestehend aus P- und L-Gruppe (N = 399 VPn). Die 19 Antwortklassen enthalten 780 der 991 Nennungen, die insgesamt innerhalb dieser Teilstichprobe vorkamen.

Die bei Assoziationstests nicht auszuschließende Assoziation von Gegensatzpaaren dürfte kaum eine Rolle spielen. So wurde das Wort „Schwäche“ als Gegensatz zum 60 mal auftretenden Wort „Stärke“ nur einmal genannt. In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen ist davon auszugehen, dass „Energie“ hier als ein mit „Kraft“ verwandter Begriff gesehen wird. „Bei einer Differenzierung von Kraft und Energie wird Kraft meist als aktualisierte Wirkungsfähigkeit verstanden und Energie als gespeicherte Wirkungsfähigkeit.“ [SCHE85]. 59,1 % der 631 insgesamt von der L-Gruppe genannten Assoziationen lassen sich dem Bereich der Physik zuordnen. Worte der Alltagssprache, die auch in der physikalischen Fachsprache üblich sind (z. B. Bewegung), wurden dabei ebenfalls zum physikalischen Bereich gezählt, da nicht bekannt ist, wie diese gemeint sind. In der P-Gruppe ist dieser Anteil mit 81,4 % (von 360 Assoziationen) erwartungsgemäß deutlich höher.

Kontext zum Wort „Kraft“: Frage10 (Teil 2), Frage 11 und Frage 16

Für eine ausführliche Untersuchung über die umgangssprachliche Bedeutung des Begriffes „Kraft“ ist eine Erhebung per Fragebogen, selbst wenn wie in Frage 10 freiformulierte Antworten vorgesehen sind, nur bedingt geeignet. Eine genauere Analyse von Vorstellungen zum Kraftbegriff erfordert weitergehende Informationen über die persönlichen Ansichten der VPN. Entsprechende Daten sind, wenn überhaupt, nur durch ausführliche Interviews zu gewinnen. Solche Interviews können Belege für Denkprozesse liefern, die auf andere Weise schwerlich zu erhalten sind [JUNG81b]. Obwohl der Informationsgehalt freiformulierter Sätze (Frage 10 Teil 2) größer ist, als bei den (i. d. R. aus einem Wort bestehenden) Assoziationen (Frage 10 Teil 1), ist dennoch ohne Nachfrage meist nicht zu entscheiden was die VPN mit ihren Aussagen gemeint haben. Bei Sätzen wie z.B. „xy braucht Kraft, um etwas zu tun“ ist nicht klar, wie das Verb „brauchen“ gemeint ist. Es kann sich um eine physikalische Beschreibung einer Situation („brauchen“ im Sinne von „xy übt Kraft aus um...“) handeln, wie bei einer Aussage in [DORN93] „Um einen schweren Schrank zur Seite zu rücken, braucht man eine große Kraft“. Es kann auch die (wahrscheinlichere) Alltagsbedeutung „xy benötigt Kraft“ im Sinne von „gespeicherter Energie“ oder „Leistungsfähigkeit“ gemeint sein. Im zweiten Teil von Frage 10 steht demnach nicht der Sinn der gemachten Aussagen, sondern der Kontext, in dem das Wort „Kraft“ verwendet wird, im Mittelpunkt. Sätze, die das Wort „Kraft“ in Verbindung mit Verben enthalten, bilden daher bei der Codierung der einzelnen Antworten (vgl. *Tabelle 4.4.4*) die interessantesten Klassen (1 und 4). Es wurde beispielsweise unterschieden, ob „Kraft“ allein oder als Wortteil einer „physikalischen Kraft“ wie z.B. „Anziehungskraft“ oder „Zentrifugalkraft“ vorkommt. Die gebildeten Klassen zeigt die folgende *Tabelle 4.4.4*:

Antworten auf Frage 10 (Teil 2): Bilden Sie drei beliebige Sätze, die das Wort „Kraft“ enthalten.		
Nr.	Anzahl	Bedeutung:
1	327	Sätze, die das Wort „Kraft“ in Verbindung mit Verben enthalten, auch implizit in den Hauptworten Kraftausüben, Kraftaufwenden, Kraftaufwand. Zusätzlich werden unter die Antwortklasse 1, 1 „Kraft haben“ die Aussagen „kräftig sein“ und „kraftlos sein“ aufgenommen. (ohne 4) Es entfallen auf die Verben: 1. „haben“ 142 Nennungen 2. „brauchen, benötigen, erfordern“ 59 Nennungen 3. „ausüben“ auch „Kraftausübung“ 26 Nennungen 4. „wirken, auswirken, einwirken“ 23 Nennungen 5. „an-, aufwenden, einsetzen, aufbringen“ auch „Kraftaufwand“ 18 Nennungen 6. „kosten, verbrauchen, zehren, nachlassen, sich erschöpfen“ 16 Nennungen 7. „hervorrufen, erzeugen“ 2 Nennungen 8. Sonstige incl. „nutzen“ (3x), „übertragen“ (2x) 26 Nennungen
2	67	Produkte oder Werbesprüche bestimmter Firmen: KRAFT: „Ketchup“ (44x), DOPPELHERZ: „Die Kraft der zwei Herzen“ (10x), ZAHNPASTA: „...kraftvoll zubeißen“ (7x), Rest: (6x)
3	71	Sätze, die „Kraft“ als Wortteil von technischen (z.B. Kraftwerk, Kraftstoff, Kraftfahrzeug) oder umgangssprachlichen Bezeichnungen (z.B. Kraftprotz, Krafttraining, Kraftausdruck) enthalten. (ohne 4)
4	85	Sätze und Definitionen, die „Kraft“ als Wortteil physikalischer Bezeichnungen enthalten, davon: Gravitations-, (Erd)Anziehungs-, Gewichts- bzw. Schwerkraft (44x), Gegenkraft (17x), Flieh-, Zentripetal- bzw. Zentrifugalkraft (15x), Sonstige z.B. Beschleunigungskraft (9x) Es entfallen auf die Verben: 1. „haben“ 2 Nennungen 2. „wirken, auswirken, einwirken“ 14 Nennungen 3. „geben“ im Sinne von „existieren, größer, kleiner, vorhanden sein“ 28 Nennungen 4. „hervorrufen, erzeugen“ 8 Nennungen 5. Sonstige incl. „Durch, Mit, Ohne ...kraft ...“ 33 Nennungen
5	71	Sprüche und Redewendungen ohne physikalischen Inhalt, hauptsächlich: „Kraft ... Amtes“ (27 mal), „In der Ruhe liegt die K.“ (17x), „Kraft durch Freude“ (6x)
6	53	Verbal ausgedrückte Formel: Kraft = Masse · Beschleunigung. (22x), Arbeit = Kraft · Weg (7x), Hebelgesetze (6x), falsche Formeln z.B. Kraft = Masse · Geschwindigkeit (9x), Sonstiges (9x)
7	77	Definitive Beschreibung (i.d.R. bestimmter Aspekte) von Kraft mit phys. Hintergrund. Davon 12 Nennungen in Verbindung mit der Einheit Newton z.B. „Kräfte haben die Einheit Newton.“, 15 Nennungen in Verbindung mit Vektorcharakter z.B. „K. hat eine Richtung“ sowie 7 Nennungen in Verbindung mit Ursache: 4 mal: „Kraft ist Ursache einer Bewegung“, 3 mal: „Kraft ist Ursache einer Wirkung“
8	14	Formulierungen wie z.B. „Mit (bzw. Durch) Kraft (kann man) werden Dinge beweg(en)t.“ (13 Nennungen in Verbindung mit „Bewegung“), „Mit Kraft können Gegenstände beschleunigt werden“ (1 Nennung)
9	14	Formulierungen wie „Mit / Durch Kraft kann man etwas tun / wird etwas getan“ (z.B. gezogen, gedrückt, Arbeit verrichtet)
10	49	10 Sätze, die vermutlich aus anderer Stelle des Fragebogens abgeschrieben wurden (davon 6x „Ohne Kraft keine Bewegung“) und 39 Antworten, die keinen Satz darstellen, bzw. sich nicht zu einem Satz ergänzen lassen.
11	11	Aussagen, die aufgrund ihres Inhaltes in die Antwortklasse 1, 1 (Kraft haben) gehören in denen das Verb aber nicht vorkommt. (z.B. „Er strotzt vor Kraft“)
12	92	Sonstiges
	934	

Tabelle 4.4.4 Für Frage 10 (Teil2) gebildete Antwortklassen. Die angegebenen Häufigkeiten beziehen sich auf die Gesamtstichprobe (N = 511 VP).

Von den insgesamt gemachten 934 Aussagen der Gesamtstichprobe (N = 511 VPN) entfallen 42,4 % auf Sätze in denen „Kraft“ in Verbindung mit eindeutig zuzuordnenden Verben vorkommt. Die *Abbildungen 4.4.51* und *4.4.52* zeigen die Ergebnisse für die in den vorangegangenen Abschnitten betrachteten 399 VPN der P- bzw. L-Gruppe getrennt. In der Besetzung der Klassen 2 (Werbung) und 6 (Verbal ausgedrückte Formel) gibt es kaum Unterschiede zwischen P- und L-Gruppe. Erwartungsgemäß verwendet die P-Gruppe häufiger „physikalische Kräfte“ in ihren Satzkonstruktionen als die L-Gruppe. Ein Vergleich der dabei verwendeten Verben (*Abbildung 4.4.52*) zeigt, dass den VPN der L-Gruppe häufiger Sätze mit „Kraft“ als Eigenschaft, die jemand „hat“, „benötigt“, „braucht“ oder „bekommt“ einfallen. Bei der P-Gruppe treten im Vergleich zur L-Gruppe häufiger die auf eine selbständige Existenz von „Kraft“ hindeutenden Verben „ausüben“ und „wirken“ auf. Dennoch fallen auch in der P-Gruppe die meisten Sätze in die Kategorie „Kraft haben“. Interessant ist dass „ausüben“ nicht häufiger als „wirken“ vorkommt, obwohl die Formulierung „Kraft ausüben“ an späterer Stelle im Fragebogen (Frage 16) erscheint. Daneben ist diese Formulierung in Schulbuchtexten, wenn von „Kraft“ allein die Rede ist, durchaus üblich. Im Zusammenhang mit „speziellen Kräften“ wurde sie von den VPN überhaupt nicht verwendet. Am häufigsten (12 mal) wird hier, ausschließlich von der P-Gruppe, das Verb „wirken“ benutzt. Das entspricht auch der häufigsten, neutralen Formulierung in SI-Schulbüchern [DORN93], [KUHN94], [LICH95]. Die in [DORN93] häufige Formulierung „Ein Körper erfährt eine Gewichtskraft“ kommt bei den VPN nicht vor. Die 44 Sätze, in denen es um Gewicht(s)- (Erd)Anziehungs-, Gravitations- und Schwerkraft geht, besagen, dass diese Kraft „wirkt“ oder „vorhanden ist“. Im Zusammenhang mit „Gegenkraft“ (17 Sätze) wird diese in 5 Fällen erst durch eine „Kraft“ erzeugt „Kraft erzeugt Gegenkraft“. Diese Formulierung passt zu einem Aspekt des von Jung klassifizierten Konzeptes „Kraft als Aktivität“ [JUNG81a]: „Gegenkraft wird situativ (episodisch) verstanden als etwas, was hervorgerufen wird und nicht von sich aus eine Aktivität darstellt.“ In 10 Fällen (8 mal P-Gruppe) wird gesagt, dass zu „Kraft“ immer eine „Gegenkraft“ existiert. Eine VP der P-Gruppe erklärte „Kraft und Gegenkraft sind gleich groß und wirken auf unterschiedlichen Körpern“. Eine weitere VP (Student) zitierte das Wechselwirkungsgesetz „Übt Körper A auf Körper B eine Kraft F_1 aus, so übt B auf A eine gleich große, aber entgegengesetzte Kraft aus.“ Auf einer einfacheren sprachlichen Ebene formulierte eine weitere VP (Schülerin Kl. 11) das Wechselwirkungsprinzip „Zwei Körper, die aufeinander stoßen wirken gegenseitig Kräfte aufeinander aus“. Das Wort „Wechselwirkung“ wurde kein einziges Mal (Frage 10 Teil 1) zum Wort „Kraft“ assoziiert. Aus den Antworten wird deutlich, dass Formulierungen, die zur Potenzvorstellung („haben“, „brauchen“) passen, mit zunehmenden Physikkenntnissen zugunsten von Formulierungen, die „Kraft“ eine selbständige Existenz zugestehen, abnehmen („wirkt“, „wird ausgeübt“). Es werden, wenn von „physikalischen Kräften“ (Antwortklasse 4) die Rede ist, von den VPN, genau wie von Schulbuchautoren, neutralere Formulierungen benutzt. Z.B. fanden sich in den durchgesehenen Schulbüchern der Sekundarstufe I ([DORN93], [KUHN94], [LICH95]) keine Formulierungen in denen etwa die Erde auf den Mond Anziehungskraft „ausübt“, während dagegen Personen auf andere Gegenstände bzw. Lebewesen Kraft „ausüben“. Interessant

wäre in diesem Zusammenhang eine weitergehende Untersuchung im Rahmen einer Unterrichtsreihe, in der das Wort „Kraft“ vollständig durch ein neutrales Wort wie z. B. „Newtonzahl“ ersetzt wird.

Frage 10 (Teil 2)
Bilden Sie drei beliebige Sätze, die das Wort „Kraft“ enthalten.

Zusammengefasste Antworten

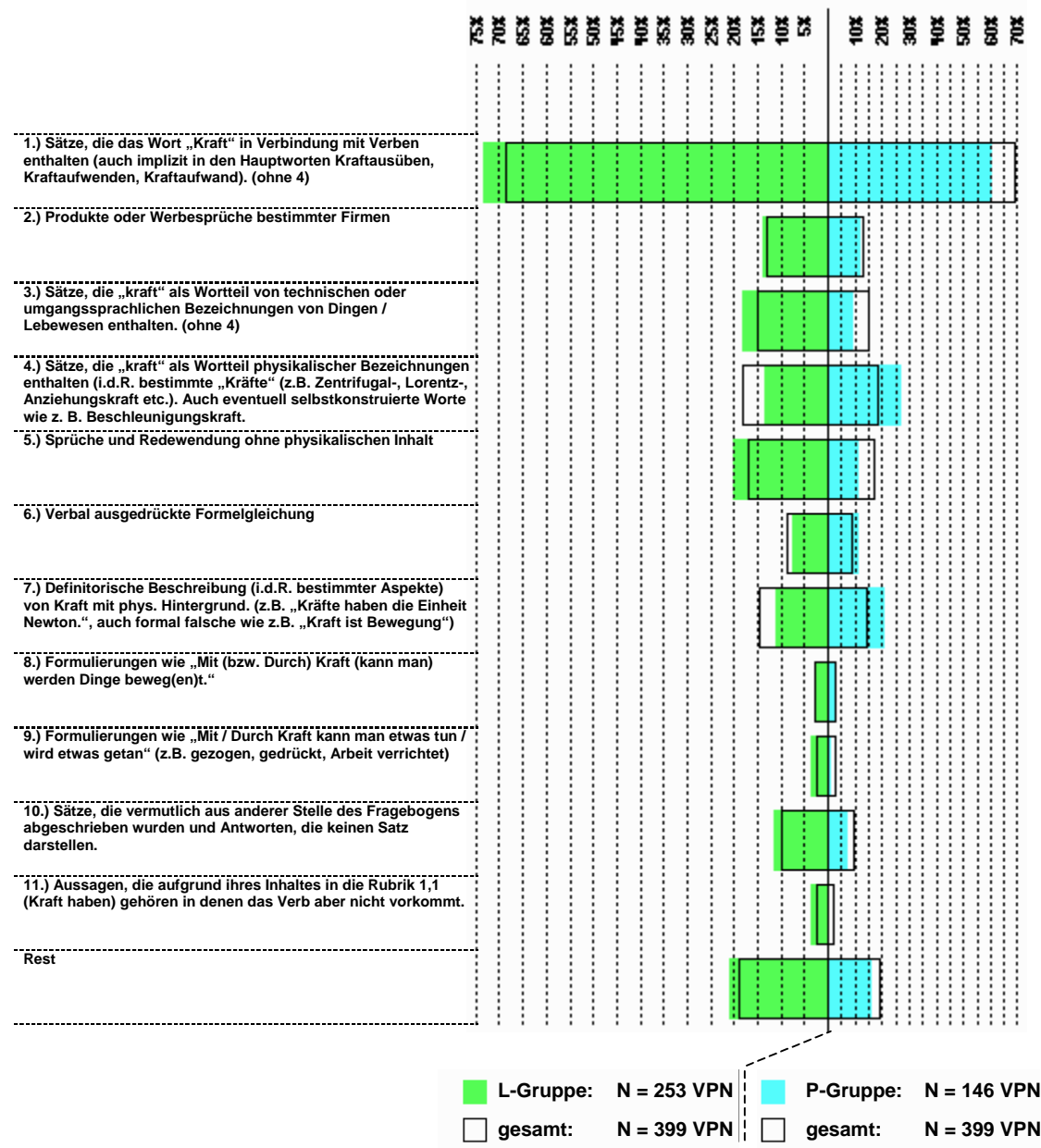


Abbildung 4.4.51

Die nach Tabelle 4.4.4 klassifizierten Antworten auf Frage 10 (Teil 2) in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung der VPN. Dargestellt sind alle Nennungen der Teilstichprobe, bestehend aus P- und L-Gruppe.

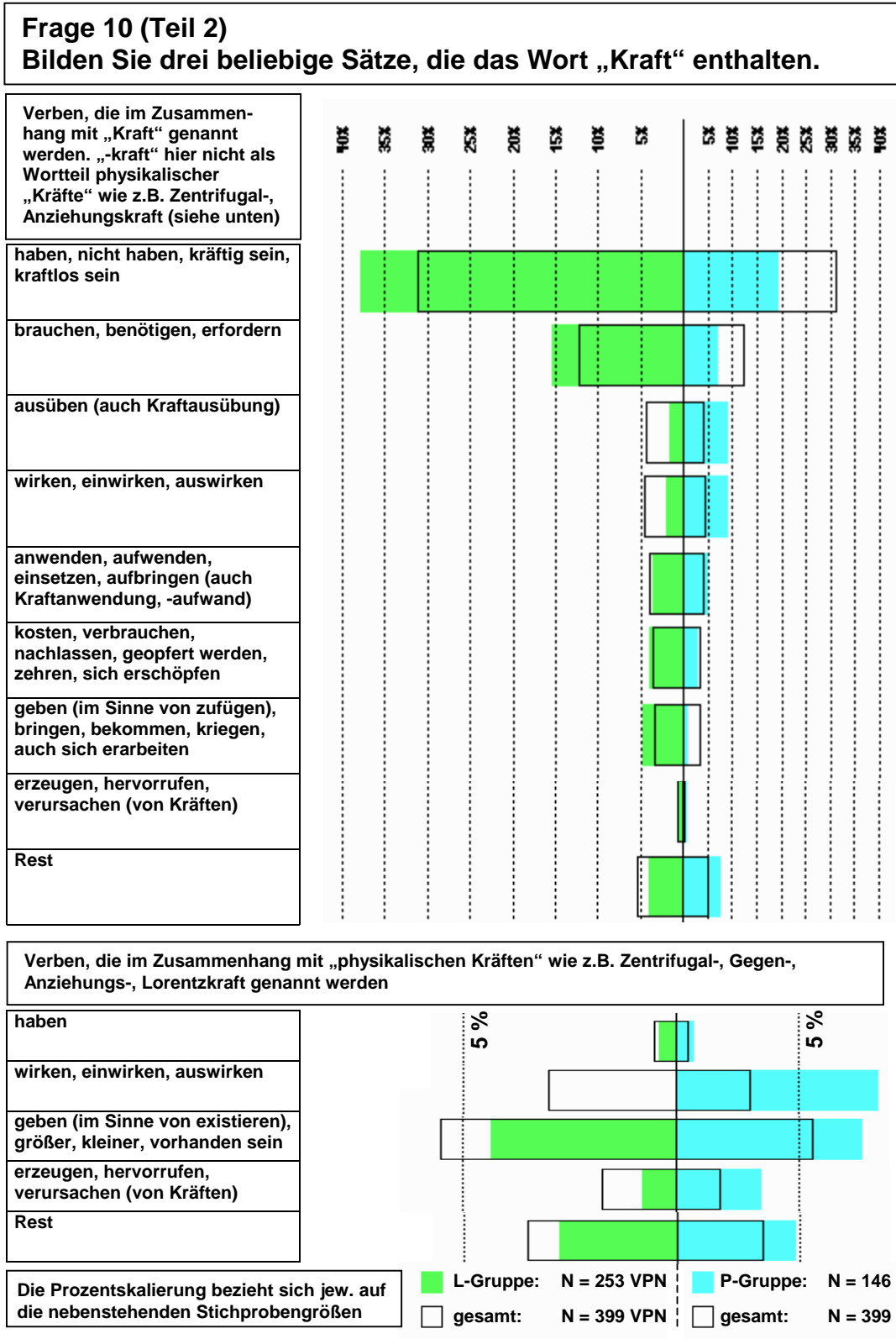


Abbildung 4.4.52

Die in Verbindung mit dem Wort „Kraft“ in Frage 10 (Teil 2) genannten Verben in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung der VPN. Dargestellt sind entsprechende Nennungen der Teilstichprobe, bestehend aus P- und L-Gruppe (oben: 274 Nennungen, unten: 73 Nennungen).

Da viele der in Frage 10 (Teil 2) gemachten Äußerungen Bezüge zum Physikunterricht aufweisen (Antwortkategorien 1, 4, 6, 7, 8, 9), ist der ursprüngliche Sinn von Frage 11, nämlich Unterschiede im Kontext zwischen eher schulrelevanten- und Alltagsaussagen aufzuzeigen, nicht erfüllt. Auf die Frage 11 „Können Sie sich an einen beliebigen Satz aus Ihrer Schulzeit erinnern, der das Wort „Kraft“ enthält?“ antworteten 27,3 % der Befragten (35,6 % P-Gruppe, 22,5 % L-Gruppe) mit „habe ich oben (Frage 10) schon aufgeschrieben“. Von den VPN (25,6 %), denen zu Frage 11 eine Formulierung einfiel, gaben knapp die Hälfte (11%) eine Formel an (vgl. *Abbildung 4.4.53*). Die Kategorisierung der Antworten erfolgte in gleicher Weise wie bei Frage 10 (Teil 2). Auf eine weitere Unterteilung der Antwortklassen wurde aufgrund der schwachen Feldbesetzung verzichtet.

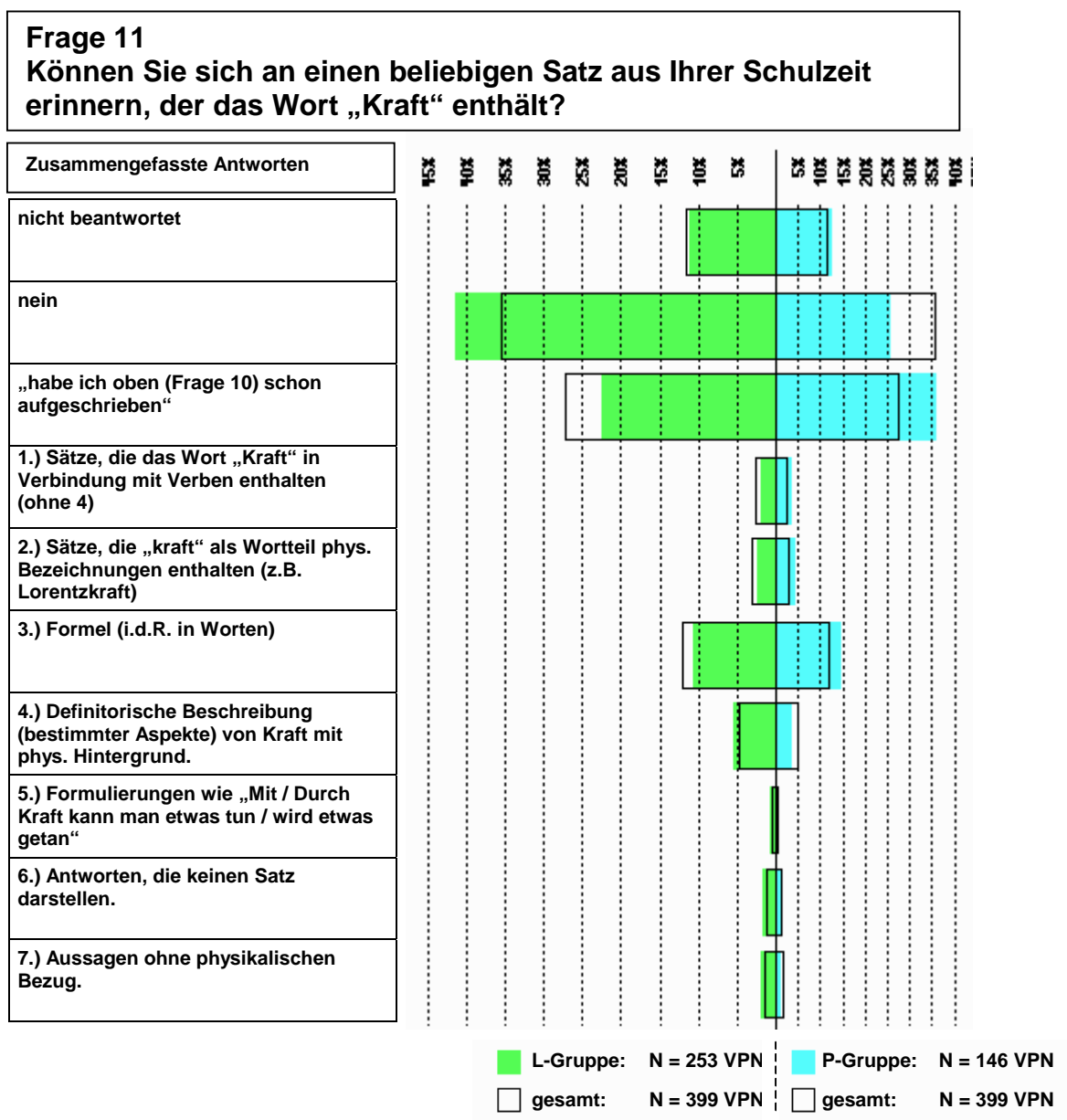


Abbildung 4.4.53

Die Antworten auf Frage 11 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung der VPN. Dargestellt sind alle Nennungen der Teilstichprobe, bestehend aus P- und L-Gruppe.

Im Rahmen von Befragungen bei Vorverständnisuntersuchungen ist Formelwissen eher unerwünscht, da es wenig über das Physikverständnis der Schüler verrät.

„Sprachliche Umschreibungen physikalischer Begriffe sind schwierig – schwieriger als das memorieren von formalen Definitionen oder von Gesetzen. Aus dem Antwortverhalten lässt sich also zunächst ablesen, in welchem Maße die Schüler überhaupt eigene Beschreibungen des Begriffs Kraft versuchen, die über Floskeln wie „*Kraft ist Masse mal Beschleunigung*“ hinausgehen.“ (Hervorhebung im Original) [SCHE85, S111]

Die Ergebnisse von Frage 10 zeigen, dass stärker phys. vorgebildete VPN häufiger korrekte Formeln zum Wort „Kraft assoziieren. Trivialerweise besitzt die P-Gruppe hierfür die Voraussetzungen, da diesen VPN entsprechende Formeln im Physikunterricht begegnet sind. Dieser Personenkreis erreicht, wie in den letzten Abschnitten gezeigt, auch höhere Punktzahlen bei den Denkaufgaben (Ausnahme Statik – Frage 3). Innerhalb der P-Gruppe erreichen die VPN, die zum Wort „Kraft“ formal korrekte Formeln, physikalische Einheiten, Beschleunigung sowie bestimmte physikalische Kräfte assoziieren, etwas höhere Trefferquoten (bis um ca. 0,7 Punkte höherer Durchschnittswert im Index SRV) bei ihren Voraussetzungen in Teil 1 des Fragebogens. Damit steht Formelwissen einer höheren Voraussagekompetenz zumindest nicht entgegen.

In Frage 16 (Teil1) sollten die VPN vorgegebene Aussagen zum Kraftbegriff beurteilen. Einige Ergebnisse wurden bereits am Anfang dieses Kapitels im Zusammenhang mit der Frage zum „schrägem Wurf“ sowie dem „I-Index“ diskutiert. *Abbildung 4.4.54* zeigt, dass die Aussagen 16a „Wenn eine Kraft eine Zeitlang gewirkt hat verbraucht sie sich“ und 16c „Ein Körper bewegt sich nur solange eine Kraft auf ihn einwirkt“ von der P-Gruppe signifikant (0,01 %-Niveau) häufiger formal korrekt beurteilt werden. Unerwartet ist jedoch, dass VPN der P-Gruppe, die der „Verbrauchsaussage“ in 16a zustimmen sich bei der Trefferquote in Teil 1 des Fragebogens (SRV-Index im Mittel 6,5 Punkte) kaum von denen unterscheiden, die die Aussage ablehnen (SRV-Index im Mittel 6,1 Punkte). Bei der L-Gruppe erreichen dagegen VPN mit der formal korrekten Beurteilung von Frage 16a im Mittel 0,9 Punkte (SRV-Index) mehr. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei Frage 16c. Die falsche Beurteilung dieser Aussage korrespondiert bei der L-Gruppe kaum mit der erreichten Punktzahl im SVR-Index. Während VPN der P-Gruppe mit der korrekten Lösung im SVR-Index 0,6 Punkte mehr erreichen. Eine mögliche Interpretation dieses Unterschiedes wäre auch hier durch die „Zweisprachigkeit“ eines Teils der P-Gruppe möglich. Physikalisch vorgebildete Personen könnten die in Frage 16a genannte Aussage als unphysikalische Aussage ansehen und im Rahmen der Alltagssprache bejahen, ohne dass dies einen Einfluss auf ihre Lösungsstrategien bei physikalischen Problemen hat, während die L-Gruppe die Aussage auf ihren physikalischen Kraftbegriff bezieht. Bei Frage 16c wird dagegen deutlicher, dass es sich um eine (falsche) *physikalische* Aussage handelt. Eine begründete Ablehnung der Aussage verlangt jedoch recht weitreichende Physikkenntnisse (Trägheit). Für Personen der L-Gruppe, denen vermutlich mehrheitlich der Trägheitsbegriff fehlt, hat dies kaum Auswirkungen auf

ihre Vorhersagen. Schüler (bis Klasse 11) verstehen unter dem Wort „Trägheit“ nach einer Untersuchung von Jung jedenfalls nicht den physikalischen Begriff [JUNG81a].

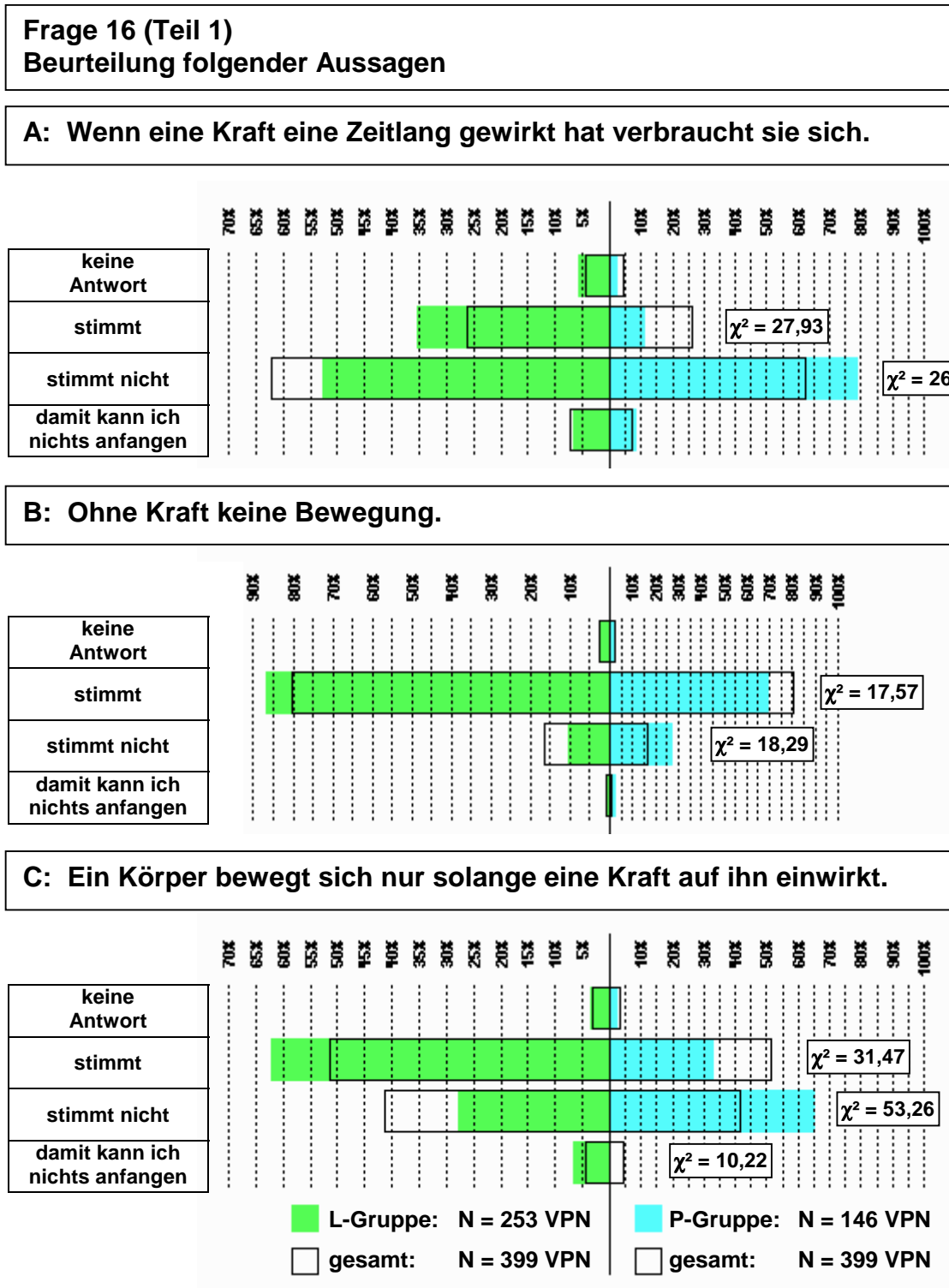


Abbildung 4.4.54

Die Antworten auf Frage 16 (Teil 1) in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

VPN der P-Gruppe könnten dagegen mit Kenntnis des ersten Newtonschen Axioms ihre Voraussagefähigkeit erhöhen. Einen weiteren Hinweis darauf liefert die Beurteilung der Aussage 16b „Ohne Kraft keine Bewegung“. Sie wird offensichtlich von einem Teil der L-Gruppe im Sinne von Frage 16c verstanden. Die Ablehnung beider Aussagen ist innerhalb der L-Gruppe auf dem 5 %-Niveau miteinander assoziiert. Vermutlich denken dagegen viele VPN der P-Gruppe, die Aussage 16c verneinen und Aussage 16b bejahen, an eine in ihrem Bezugssystem aus der „Ruhe“ heraus entstandene „Bewegung“ und verknüpfen hier das Wort Bewegung mit einer bereits stattgefundenen Beschleunigung. Offensichtlich scheint diese unscharfe Aussage Teile des Clusterbegriffes „Kraft“ für beide Teilstichproben sehr gut zu treffen. Sie ist auch in fachphysikalischer Hinsicht nicht falsch, da jeder sich bewegende Körper in der real existierenden Umwelt (mindestens gravitativen) Wechselwirkungen mit anderen Körpern unterliegt.

Die restlichen Items in Frage 16 sollten zeigen, wie die Formulierungen „Kraft haben“ und „Kraft ausüben“ in bestimmten Situationen verwendet werden und ob damit bestimmte Lösungen in anderen Teilen des Fragebogens verknüpft sind. Als Zielgruppe war dabei eher an die L-Gruppe gedacht. Bei dieser wurde vermutet, dass viele VPN „Kraft“ als Potenz verstehen, die man „hat“ und „ausüben kann“, aber nicht „ausüben muss“ [JUNG81a, S15]. Bereits in der Untersuchung von Jung wurde deutlich, dass eine Zustimmung zur Formulierung „Man kann Kraft haben, ohne dass man sie ausübt.“ sehr hoch ist und nicht durch den Mechanikunterricht abgebaut wird. Weitere Items seiner Untersuchung zeigten aber, dass ältere Schüler mit dieser Zustimmung (im Gegensatz zu jüngeren) keine anthropozentrische „Behaltensvorstellung“ verbinden. Sie gehen häufiger von einer selbständig existierenden, speicher- und übertragbaren „Kraft“ aus.

Bei der Betrachtung der relativen Häufigkeiten (*Abbildung 4.4.55*) fällt zunächst auf, dass beide Teilstichproben ein ähnliches Antwortverhalten zeigen. Die physikalische Vorbildung der VPN hat demnach wenig Einfluss auf das Lösungsverhalten. Lediglich die im Physikunterricht übliche Formulierung „Kraft ausüben“ wird etwas häufiger von der P-Gruppe verwendet. VPN der P-Gruppe, die diese Formulierung (in den Situationen „ruhende Billardkugel“, „parkendes Auto“ und „Haken ...“) wählten, lösten häufiger auch andere Items des Fragebogens korrekt. Auf dem 1 %-Niveau gibt es entsprechende Assoziationen zu Items, in denen nach Kraftpfeilen gefragt wurde (Fragen 13, 14, und 15). Für VPN der L-Gruppe, die bei bestimmten Situationen die Formulierung „Kraft ausüben“ bevorzugten, gibt es solche Assoziationen (1 %-Niveau) zu den Fragen 7, 8 und 15. So wählten z.B. VPN mit der Aussage „die ruhende Billardkugel übt Kraft aus“ häufiger formal korrekte Kraftpfeile bei Frage 15 (angebundener Hund). Korrekte Voraussagen des Sachverhaltes in Frage 7 (Position Magnete verschiedener Masse) und korrekte Kraftpfeile in Frage 15 sind mit der Verwendung von „Kraft ausüben“ bei „den Haken, zwischen denen die gespannte Wäscheleine hängt“ assoziiert. Es dürfte kein Zufall sein, dass die gefundenen Assoziationen nur Fragen (7, 8, 13, 14, 15) betreffen, in denen jeweils beide Wechselwirkungspartner dargestellt sind.

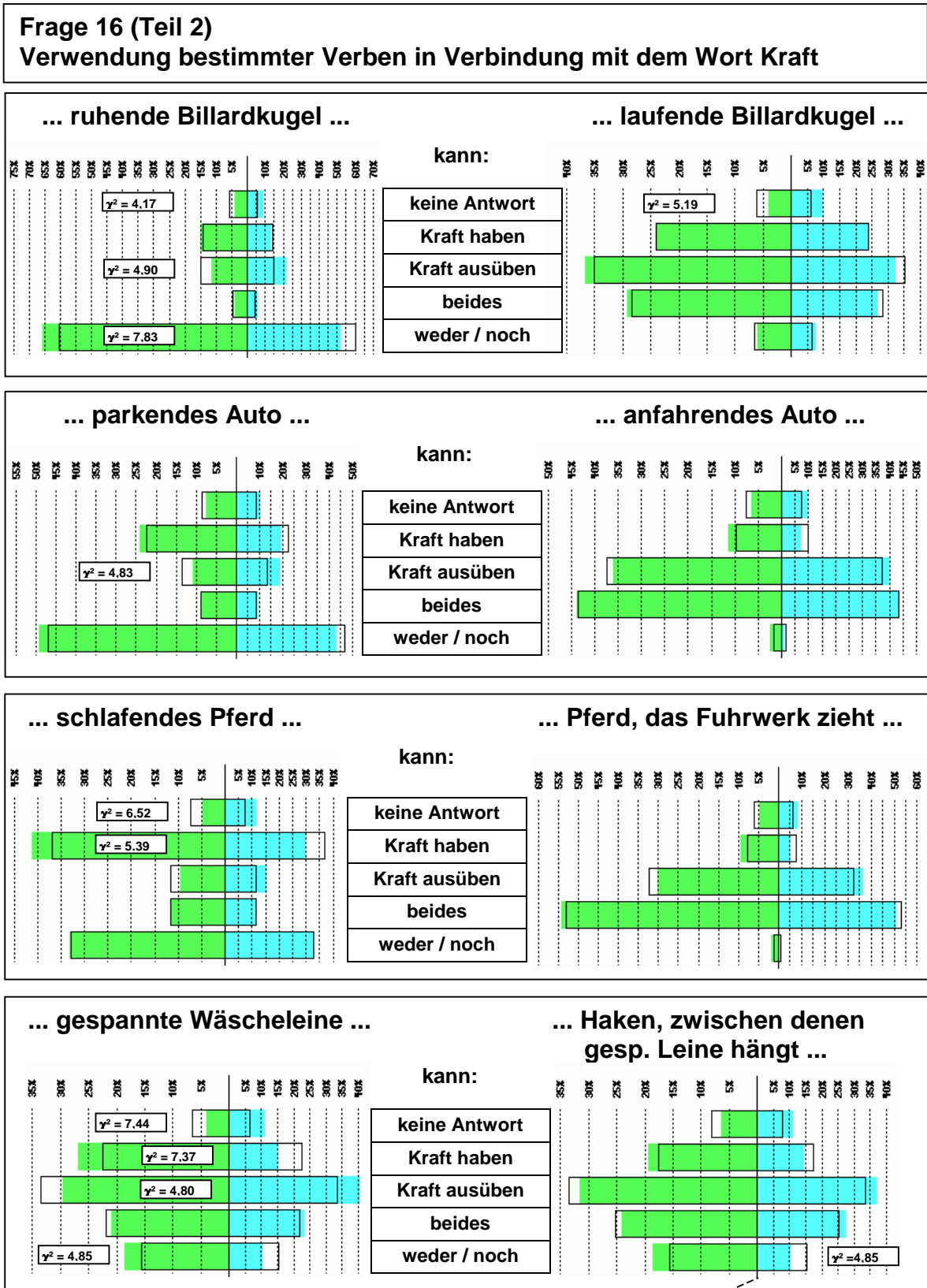


Abbildung 4.4.55

Die Antworten auf Frage 16 (Teil 2) in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Das deutet darauf hin, dass zumindest ein Teil der VPN „Kraft ausüben“ sprachlich korrekt in genau diesen Situationen verwendet. Diese VPN dürften bei der Unterscheidung zwischen ruhenden und sich bewegenden Dingen durch die eingeschränkte Antwortvorgabe in ein Dilemma geraten. Einige von ihnen nutzten dann auch den im Fragebogen vorgesehenen Raum für persönliche Anmerkungen und beklagten sich über die Inkonsistenz der Fragestellung. Eine VP merkte an „...eigentlich haben alle der genannte Dinge Gravitation“. Falsche Kraftpfeile (Frage 14 und 15) sind dagegen mit der Aussage „die laufende Billardkugel übt Kraft aus“ (L-Gruppe) assoziiert, während bei der P-Gruppe die Formulierung „die laufenden Billardkugel hat Kraft“ mit den richtigen Kraftpfeilen in Frage 15 assoziiert ist. Wie direkt aus den relativen Häufigkeiten (*Abbildung 4.4.55*) ersichtlich ist, verwendet die Mehrzahl der VPN unterschiedliche Formulierungen für ruhende bzw. bewegte Körper. Dass bei den bewegten Dingen/Lebewesen mit den Aussagen „Kraft haben“, „ausüben“ bzw. „beides“ in vielen Fällen nicht die Schwerkraft gemeint sein kann, zeigt die Häufigkeit der Antwort „weder/noch“ bei den ruhenden Dingen/Lebewesen.

Die Items von Frage 16 (Teil 2) wurden nicht unabhängig voneinander gelöst. Es bestehen viele Zusammenhänge, die, jeder für sich, eine entsprechende Vierfeldertafel ergeben. Auf dem 1 %-Niveau gibt es für die P-Gruppe 37, für die L-Gruppe 18 solcher Itempaare. Diese könnten natürlich auch dadurch zustande kommen, dass gelangweilte oder erschöpfte VPN (immerhin war dies die letzte Frage im Fragebogen) bei den untereinanderstehenden Items einfach bestimmte Muster ankreuzen. Die *Abbildung 4.4.56* zeigt die gefundenen Kombinationen für P- und L-Gruppe getrennt. Zunächst bestätigt sich obige Vermutung, dass für ruhende bzw. bewegte Körper unterschiedliche Formulierungen gewählt werden. Die rot hervorgehobenen Buchstaben bezeichnen Kombinationen, in denen die gleichen Formulierungen sowohl von der L- als auch von der P-Gruppe gewählt wurden. Interessanterweise treten die erwarteten Kombinationen für verschiedene Situationen (schlafendes Pferd: H := „haben“ / ziehendes Pferd: A := „ausüben“) und (parkendes Auto: H := „haben“ / anfahrendes Auto: A := „ausüben“) in der hier betrachteten Deutlichkeit (1 %-Niveau) nicht auf. Lediglich für zwei ähnliche Situationen („schlafendes Pferd, parkendes Auto, ruhende Kugel“) wird häufig die gleiche Beschreibung (L-Gruppe: „haben“ und „weder/noch“, P-Gruppe: zusätzlich „ausüben“) verwendet. Analoges ergibt sich für die Situationen („anfahrendes Auto“, „ziehendes Pferd“). Kraft „haben“ wird hier von beiden Teilstichproben zusammen mit „ausüben“ (= Lösung „beides“) verwendet. Die häufige Verwendung der Lösung „beides“, speziell bei der P-Gruppe, ist ein weiterer Hinweis darauf, dass die angebotenen Formulierungen nicht dazu geeignet sind, verschiedene situationsbezogene Aspekte des Kraftbegriffes zu trennen. Sie scheinen weiterhin auch nicht das zu treffen, was den VPN selbst zu „Kraft“ einfällt. Denn, obwohl die freiformulierten Sätze (Frage 10) für die VPN sicherlich die größte Hürde bei der Bearbeitung des Fragebogens darstellten, wurde nicht auf sie zurückgegriffen. Z.B. wählten VPN, die in Frage 10 Sätze mit dem Verb „haben“ bildeten, die Formulierung „Kraft haben“ hier (Frage 16) nicht häufiger als andere.

Frage 16 (Teil 2):
Kreuzen Sie bitte an, welche der genannten Dinge bzw. Lebewesen Ihrer Meinung nach:

H:= Kraft haben A:= Kraft ausüben B:= beides W:= weder/ noch	ruhende Billardkugel	laufende Billardkugel	parkendes Auto	anfahrendes Auto	schlafendes Pferd	Pferd, das Fuhrwerk zieht	gespannte Wäscheleine	Die Haken ... zw. ... Leine hängt
ruhende Billardkugel			H W		H W			
laufende Billardkugel	A W ruh.: W lauf.: H		Auto: W Kugel: H	H B W	Pferd: W Kugel: H	A B	A	
parkendes Auto	A W				H W			A
anfahrendes Auto		A B	B			A B		
schlafendes Pferd	A H W	B Kugel: H Pferd: W	H W				Leine: A Pferd: B	
Pferd, das Fuhrwerk zieht		A B		A B	B			
gespannte Wäscheleine	A	H A B *)	A W	A B				
Die Haken ..., zwischen denen ... Leine hängt	A	A B		A B		A	A B	

*) laufende Kugel: A
 gesp. Leine: W
 rot: Assoziation tritt bei beiden Teilstichproben auf

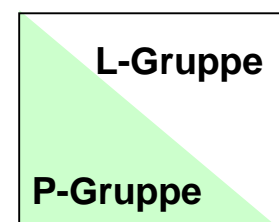


Abbildung 4.4.56

Assoziationen auf dem 1 %-Niveau zwischen jew. 2 Items innerhalb von Frage 16 (Teil 2).

4.4.3 Zusammenfassung:

Die Ergebnisse der vorangegangenen Abschnitte zeigten, dass viele VPN nicht in der Lage sind, Vorgänge in konkreten Situationen mit dem Kraftbegriff zu beschreiben, obwohl ihr Verständnis der gleichen Situation offensichtlich ausreicht, um richtige Voraussagen über Orte, und damit indirekt über Geschwindigkeiten zu treffen. Diese Diskrepanz zwischen Beherrschung der Fachsprache und Voraussagekompetenz, soweit sie durch die Items des Fragebogens erfasst wird, besteht unabhängig von der phys. Vorbildung der VPN und gilt zumindest für die gezeigten Sachverhalte aus der Dynamik.

Die Schlussfolgerung, dass korrekte physikalische Begriffe ohne Kenntnis der Fachsprache gebildet werden, lässt sich daraus jedoch nicht ableiten. Sachlich richtige Voraussagen ergeben sich vermutlich häufig durch untereinander inkonsistente Alltagstheorien. Werden nicht einzelne, sondern mehrere Situationen zum gleichen Themenkreis betrachtet (z. B. nur Situationen aus der Dynamik), zeigt sich wie bei den Indizes SRV und FRB (vgl. Abschnitt 4.4.1) eine deutliche Korrelation (L-Gruppe: $r = 0,30$, P-Gruppe: $r = 0,40$, jew. 0,1 %-Niveau) zwischen Beherrschung der Fachsprache und Voraussagekompetenz. Daraus darf nicht auf einen Kausalzusammenhang geschlossen werden. Es zeigt lediglich, dass vermutlich für einen Teil der VPN die korrekte Verwendung der Fachsprache mit der Beherrschung physikalischer Theorien einhergeht. „Die Muttersprache ist die Sprache des Verstehens, die Fachsprache besiegelt es als Sprache des Verstandenen.“ [WAGE70].

Ein interessantes Einzelergebnis, das in dieser Deutlichkeit nicht vermutet wurde, sind die großen Schwierigkeiten, die speziell physikalisch vorgebildete VPN bei ihrer Voraussage zu dem statischen Problem in Frage 3 hatten. Es liefert ein weiteres Argument für die schon früher [SPIL88] geäußerte Kritik an der Einführung des Kraftbegriffes über die Statik in der Sekundarstufe I.

Viele der gewählten falschen Lösungen decken sich mit dem, was bereits aus anderen Untersuchungen zu Schülervorstellungen zum Kraftbegriff bekannt ist. Sie zeigen ferner, dass auch Erwachsene VPN über ähnliche Konzepte „Alltagsvorstellungen“, insbesondere die grundsätzliche Vorstellung „Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit/Bewegung“ verfügen. Es gibt Hinweise darauf, dass VPN mit geringerer physikalischer Vorbildung durch eine Alltagstheorie, die viele Gemeinsamkeiten zur mittelalterlichen Impetustheorie aufweist, ihre Voraussagekompetenz in alltagsrelevanten Situationen strukturieren und damit erhöhen.

Die Ergebnisse der L-Gruppe weisen darauf hin, dass innerhalb dieser Teilstichprobe keine klare Unterscheidung zwischen „Kraft“ und „Energie“ vorgenommen wird. Zieht man in Betracht, dass dieser Gruppe Vektordarstellungen überwiegend fremd sind, dürften die Bedeutung der gewählten Kraftpfeile (Dynamik) näher beim physikalischen Begriff „kinetische Energie“ liegen. Dazu passt der Kontext in dem das Wort „Kraft“ bei den offenen

Antworten vorkommt. Die verwendeten Verben deuten auf eine mengenartige Größe hin, die man „haben“, „brauchen“ bzw. „einsetzen“ kann. Sie kann „erzeugt“, „verbraucht“ und „übertragen“ werden. Aus den Antworten wird ebenfalls deutlich, wie sich die Vielfalt der alltagssprachlichen Ausdrucksmöglichkeiten eingrenzt, wenn „Kraft“ fachsprachlich als Wortteil einer physikalischen Kraft verwendet wird. Dann werden häufig (insbesondere von der P-Gruppe) neutrale Formulierungen wie „Gravitationskraft existiert“, „Zentrifugalkraft wirkt“ bevorzugt. Auch an anderen Stellen der Befragung deutet sich bei phys. vorgebildeten VPN der Beginn einer Zweisprachigkeit an, wobei die Fachsprache in Form von Formeln, Symbolen und definatorischen Aussagen z. B.: „Kraft hat eine Richtung“ vorkommt. Während auf die Frage nach der „Ursache“ eines Vorgangs von allen Befragten eine asymmetrische Antwort, häufig unter Vermeidung des Wortes „Kraft“, bevorzugt wird, sind VPN der P-Gruppe eher in der Lage zur Beschreibung des gleichen Sachverhaltes symmetrische Symbole für „Kraft“ zu verwenden. Die durch Schulbuchdefinitionen nahegelegte Bedeutung von „Kraft als (einziger) Ursache für Bewegungs- bzw. Formänderungen“ wird von den VPN kaum memoriert. Die von den VPN gewählten Formulierungen „Mit/Durch Kraft wird etwas getan/bewegt“ lassen Spielraum für zusätzliche Gründe, warum z.B. eine Verformung zustande kommt. Für die Begriffsbildung dürfte es sich eher günstig auswirken, dass o. g. Schulbuchdefinitionen von den VPN nicht übernommen werden. Denn einerseits wird als Ursache für einen Vorgang oft ein „Täter“ bzw. „Schuldiger“ gesucht und andererseits ist für einige im Alltag erklärungsbedürftige Phänomene (unbeschleunigte Bewegung) gerade keine Kraft verantwortlich.

Die Frage, ob die VPN bei ihren nonverbalen Voraussagen physikalische Konzepte (z. B. Impuls- oder Energieerhaltung), die als Fragmente eines korrekten Kraftbegriffes gedeutet werden könnten, verwenden, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Ein Hinweis darauf wäre, dass ähnliche Situationen überwiegend von den VPN, die über diese Begriffsaspekte verfügen, korrekt vorhergesagt werden. *Abbildung 4.4.57* zeigt die gefundenen Assoziationen zwischen jeweils zwei richtigen Voraussagen aus Teil I des Fragebogens. Jedes Feld entspricht dabei einer Vierfeldertafel, in der sich richtige bzw. falsche Antworten auf zwei Fragen gegenüberstehen. Farblich markiert sind diejenigen Felder in denen Assoziationen (Feld Frage A richtig und Frage B richtig) aufgrund ähnlicher Situationen erwartet würden. Die Ergebnisse zeigen, dass sie auf dem 5 %-Niveau nur bei Situationen aus der Dynamik auftreten. Für die P-Gruppe ist aufgrund der großen Anzahl richtiger Lösungen das Feld (Frage A falsch und Frage B falsch) oft nur schwach (Unabhängigkeitszahl kleiner 5 VPN) besetzt. Bei der L-Gruppe tritt dies nur in Verbindung mit Frage 1 (als „richtig“ gewertete Lösung kommt selten vor) auf.

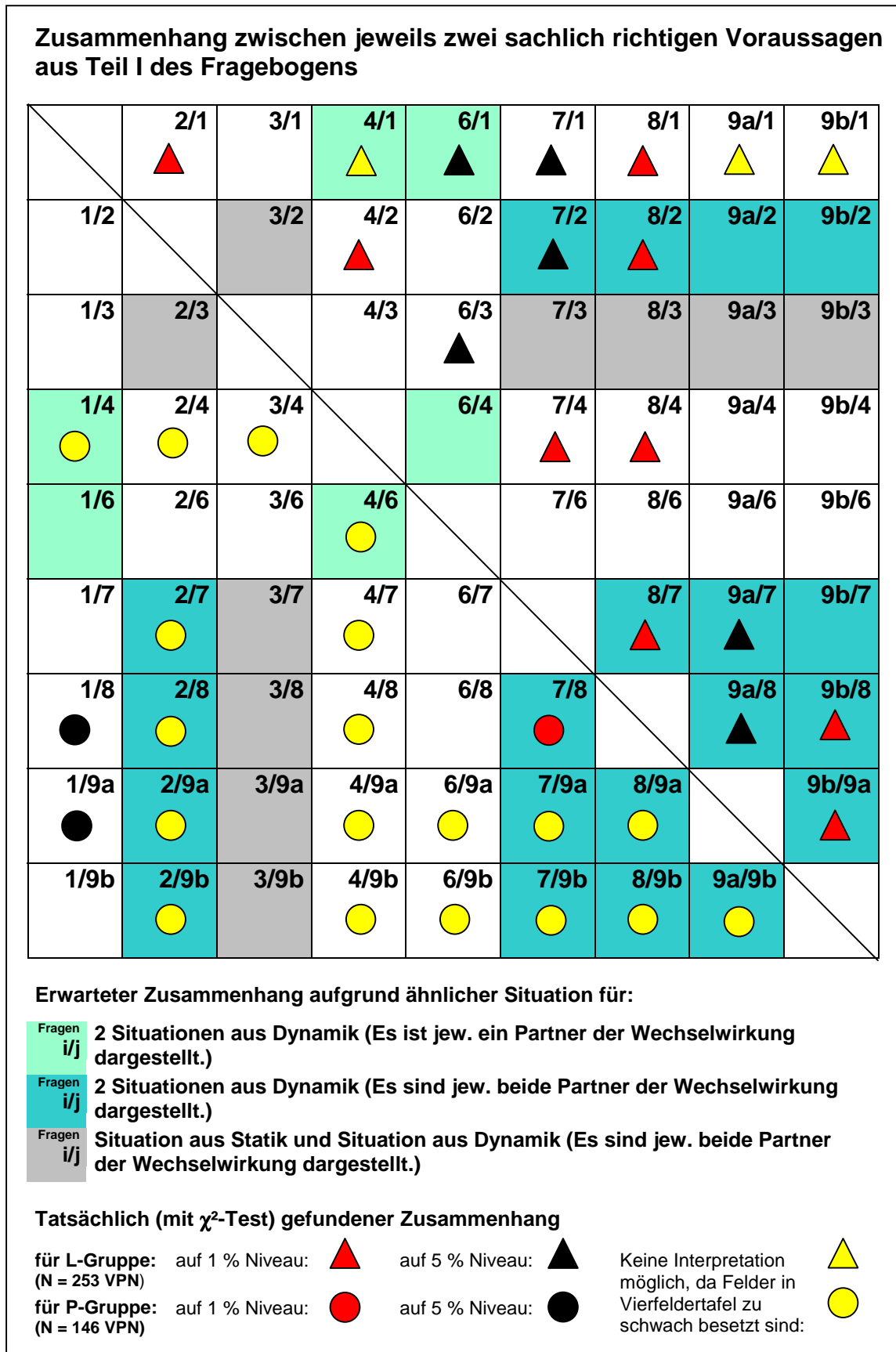


Abbildung 4.4.57

Assoziationen zwischen jeweils zwei richtigen Voraussagen aus Teil I des Fragebogens.