

Kapitel 4

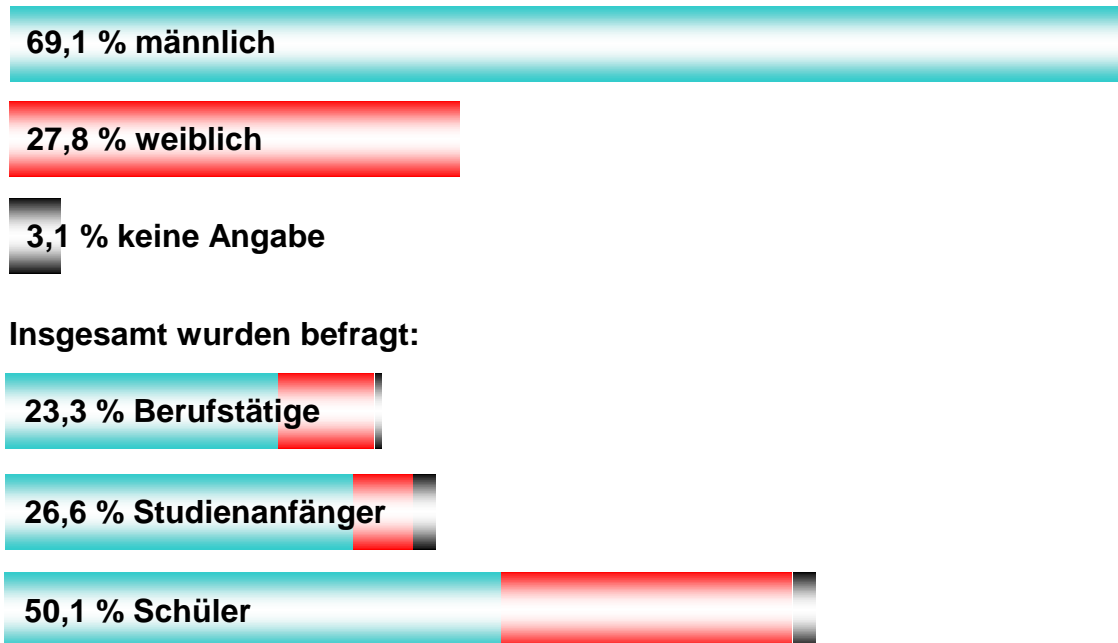
Eine empirische Untersuchung zur Fachsprache der Mechanik

4.1 Die Stichprobe

Neben Schülern der Sekundarstufen I und II aus verschiedenen Klassen und Schultypen sowie Studienanfängern sollten mit der Befragung auch ältere VPN mit möglichst unterschiedlichen Erfahrungen und Interessen, was physikalische Themen angeht, erreicht werden. Da das Ausfüllen des Fragebogens von den VPN relativ hohe Konzentration erfordert und ca. 20 bis 30 min Zeit in Anspruch nimmt, schied ein Ansprechen von Passanten an öffentlichen Plätzen aus. Gesucht wurden also VPN mit möglichst unterschiedlichen Berufen und Bildungsabschlüssen, bei denen die durch den Physikunterricht bewirkte Trennung zwischen Fach- und Alltagssprache schon lange zurückliegt oder nie stattgefunden hat. Insgesamt wurden 511 VPN befragt. Die grobe Aufteilung der Zielgruppen zeigt *Abbildung 4.1*.

Eine gute Möglichkeit einen relativ breiten Bereich der Bevölkerung abzudecken, wenn auch keinen repräsentativen Querschnitt, war die Befragung im Umfeld eines größeren Unternehmens. Eine Befragung am Arbeitsplatz (mit Erlaubnis aber ohne Verpflichtung seitens des Arbeitgebers) bietet den berufstätigen VPN die Möglichkeit den Fragebogen in Ruhe und unter ähnlichen Bedingungen wie die befragten Schüler und Studenten zu bearbeiten.

Ein Großteil der Befragung berufstätiger VPN wurde in einem mittelständigen Unternehmen, dessen Personalstruktur o. g. Anforderungen sehr gut entspricht und das überdies der Universität freundschaftlich verbunden ist, durchgeführt.

Gesamtstichprobenumfang: N = 511 VPN**Abbildung 4.1**

Zusammensetzung der Gesamtstichprobe.

Der Fragebogen wurde im Unternehmen auf verschiedenen Ebenen (z.B. im Verwaltungsbereich, in der Produktion oder auf zum Unternehmen gehörenden Baustellen) von verschiedenen unabhängigen Personen verteilt. Die Erhebung erfolgte für alle VPN anonym. Zwischen den mit der Auswertung befassten Personen und den Befragten bestand zu keinem Zeitpunkt Kontakt. Die Zusammensetzung dieser Teilstichprobe zeigt *Abbildung 4.2*.

Bei den befragten Studierenden (N = 136 VPN) handelt es sich überwiegend (71,3 %) um Studienanfänger naturwissenschaftlicher und technischer Fachrichtungen, die im Rahmen ihres Studiums noch nicht mit Themen aus der Mechanik in Berührung kamen. 39 Studierende (28,7 %) beantworteten den Fragebogen nachdem im sog. Brückenkurs Physik bereits einige Aspekte des Impulsbegriffes besprochen wurden. Deshalb wird diese bereits mit der Hochschulphysik in Berührung gekommene Gruppe später bei der detaillierteren Betrachtung der Ergebnisse weggelassen. Bei o. g. Blockveranstaltung handelt es sich um eine Experimentalphysikvorlesung und Übung, die Studierenden ohne allgemeine Hochschulreife den Zugang zu Diplom-II-Studiengängen bestimmter mathematischer, technischer und naturwissenschaftlicher Fächer ermöglicht. Daneben wird die Veranstaltung von Abiturienten zur Vorbereitung besucht.

Stichprobe „Berufstätige“: N =119 VP

Schulabschluss:

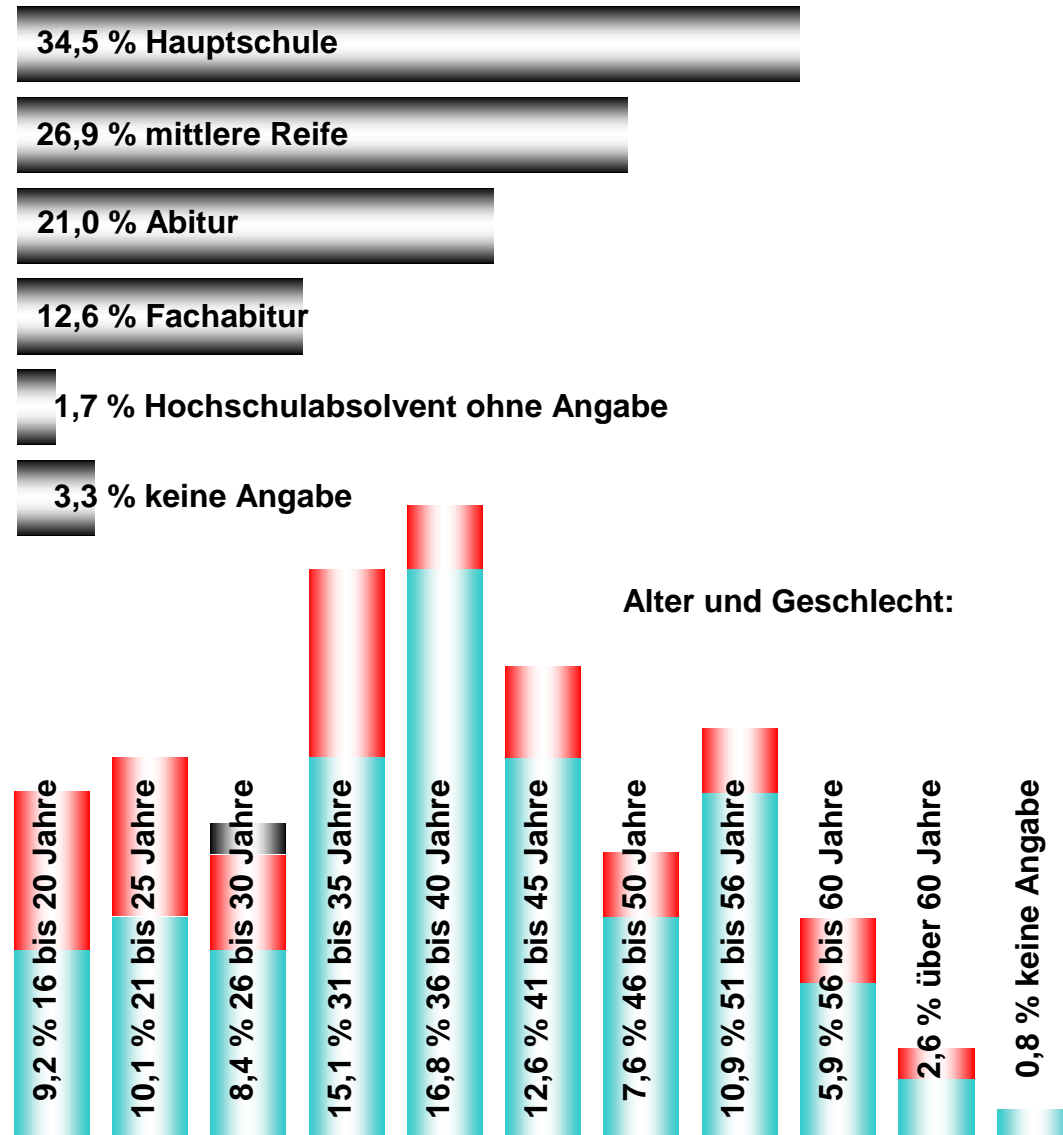


Abbildung 4.2

Zusammensetzung der Teilstichprobe „Berufstätige“.

Die Zusammensetzung der Stichprobe „Studierende“ hinsichtlich der Merkmale Geschlecht, Studienziel, Schulbildung und Studienfach zeigt die folgende *Abbildung 4.3*. Falls mehr als ein Studienfach angegeben wurde, wurde die betreffende VP dem Fach zugeordnet, das stärker physikalisch geprägt ist (Physik und anderes Fach := Physik, naturwissenschaftliches Fach und Mathematik := naturwissenschaftliches Fach usw.). 77,2 % der Befragten streben nach eigener Angabe einen Diplomabschluß an, 8,1 % ein Lehramt.

Stichprobe „Studierende“: N =136 VPN

Studienfach:

33,1% Physik

50,0 % andere naturw. und techn. Fächer

3,7 % Mathematik, Informatik

13,2 % keine Angabe und sonstige

Schulabschluss, Studienziel und Geschlecht:

N = 136	Schulabschluss			N = 136	Studienziel		
	Fachhochschulreife	Abitur	keine Angabe		Lehramt	Diplom	keine Angabe
	36,8 %	56,6 %	6,6 %		8,1 %	77,2 %	14,7 %
Leistungskurs Physik	ja 23,5 %	22,8 %	0,7 %	Geschlecht	weibl. 14,0 %	3,7 %	10,3 %
	nein 70,6 %	36,8 %	33,1 %		männl. 80,9 %	4,4 %	66,2 %
k. Ang. 5,9 %		0,7 %	5,1 %	k. Ang. 5,1 %		0,7 %	4,4 %

Abbildung 4.3

Zusammensetzung der Teilstichprobe „Studierende“.

Die Gruppe der befragten Schüler umfasst 256 VPN. Die Verteilung der Fragebogen übernahmen mit der Universität verbundene Lehrer. Eine weitere Schülergruppe wurde während eines Ferienlagers befragt. Die Befragung erfolgte jeweils am Beginn des Schuljahres. Die Aufteilung der SI-Schüler (N = 90 VPN) nach einzelnen Klassenstufen und Schulformen ist angesichts der sehr unterschiedlichen Besetzung der entsprechenden Felder wenig aussagekräftig. Wird eine Klassenstufe hauptsächlich durch eine Klasse repräsentiert, wie das z.B. bei Klasse 11 (Gesamtschule) der Fall ist, wird das zu erwartende Ergebnis stark von der Vorgeschichte des Unterrichtsverlaufs dieser speziellen Gruppe abhängen. Damit kann das Merkmal Klassenstufe bei den befragten SI-Schülern nicht als Indikator dafür dienen, in welchem Umfang Mechanikunterricht stattfand. Eine im Hinblick auf das Untersuchungsziel sinnvolle Aufteilung, die zwar nicht repräsentativ ist, aber dennoch eine gewisse Streuung innerhalb der zusammengefassten Gruppen bietet, zeigt *Tabelle 4.1*.

Stichprobe „Schüler“ N = 256 VPN

Mechanikunterricht und Geschlecht:

Zusammenfassung			Geschlecht		
			männlich	weiblich	k. Ang.
Klasse	Mechanikunterricht		61,3 %	35,9 %	2,7 %
Keine Angabe		0,4 %	0,4 %		
Klasse 6	Kein	3,9 %	1,6 %	1,6 %	0,7 %
Klasse 8,9,10,11	Unbekannt bzw. SI-Niveau	37,5 %	23,0 %	13,7 %	0,8 %
Klasse 12 und 13 GK	GK SI-Niveau	14,5 %	9,8 %	4,3 %	0,4 %
Klasse 13 GK Karlsruhe	GK SI-Niveau + ab Kl. 11 nach KPK	5,1 %	0,8 %	4,3 %	
Klasse 12 und 13 LK	LK SI-Niveau	19,1 %	13,3 %	5,1 %	0,8 %
Klasse 13 LK Karlsruhe	LK SI-Niveau + ab Kl. 11 nach KPK	15,2 %	11,7 %	3,5 %	
Klasse 12 und 13 ohne Kursangabe	Mindest. GK SI-Niveau	4,3 %	0,8 %	3,5 %	

Tabelle 4.1

Zusammensetzung der Teilstichprobe „Schüler“.

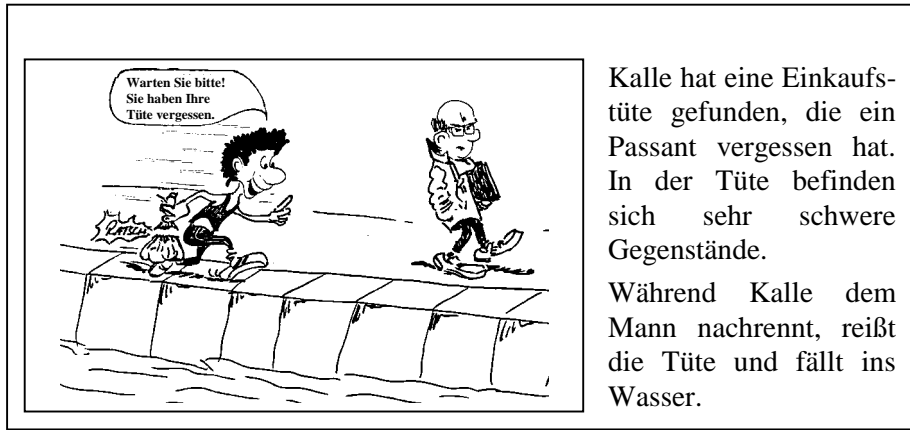
Da die Schüler aus Klasse 11 am Anfang des Schuljahres noch keinen Mechanikunterricht hatten, werden sie der SI-Gruppe zugeordnet. In dieser Aufteilung sind innerhalb der SI-Gruppe unterschiedliche Physikkenntnisse und damit unterschiedliche Voraussagekompetenz der VPN zu erwarten und beabsichtigt.

Bei den befragten Schülern der Sekundarstufe II (Klasse 12 und 13) handelt es durchweg um Grund- und Leistungskurschüler verschiedener Gymnasien. Unter den Schülern der Kl 13 (Grund- und Leistungskurs) befindet sich eine Gruppe (N = 52 VPN), die ab Klasse 11 nach dem sogenannten Karlsruher Physikkurs unterrichtet wurde. Die Befragung dieser Schüler, die eine andere „Sprache“ der Mechanik gelernt haben, bildet einen eigenständigen Teil der Untersuchung. Die Ergebnisse einer Vergleichsbefragung mit traditionell unterrichteten Schülern gleicher Klassenstufe werden in Kapitel 5 vorgestellt.

4.2 Die Rohdaten der Gesamtstichprobe

In diesem Abschnitt wird zunächst die direkte Auswertung der Rohdaten der Gesamtstichprobe (N = 511 VPN) vorgestellt. Sie dient als Basis für die weitere Auswertung und soll dem Leser hier lediglich einen groben Überblick über Fragestellung und Gesamtergebnis verschaffen. Die Ergebnisse sind als Histogramme jeweils farbig in die entsprechenden Originalfragen eingezeichnet (*Abbildungen 4.2.1 bis 4.2.17*). Das eigentliche Untersuchungsziel besteht jedoch darin, aus Zusammenhängen zwischen verschiedenen Fragen und Merkmalen Schlüsse zu ziehen. Die detaillierte Auswertung erfolgt aus diesem Grund später anhand homogenerer Teilstichproben. Dort (Abschnitt 4.4.ff) wird jeweils auch auf die Codierung der einzelnen Antwortalternativen eingegangen. Auf eine Interpretation der Ergebnisse wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

Frage 1



Hier sehen Sie Kalle von der Seite.
Markieren Sie bitte durch zwei Kreuze:

- 1.) An welcher Stelle erreicht die Tüte die Wasseroberfläche?
- 2.) Wo befindet sich Kalle zu diesem Zeitpunkt?

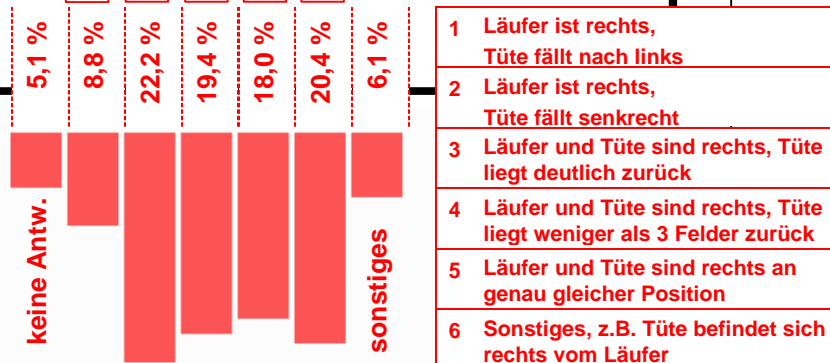
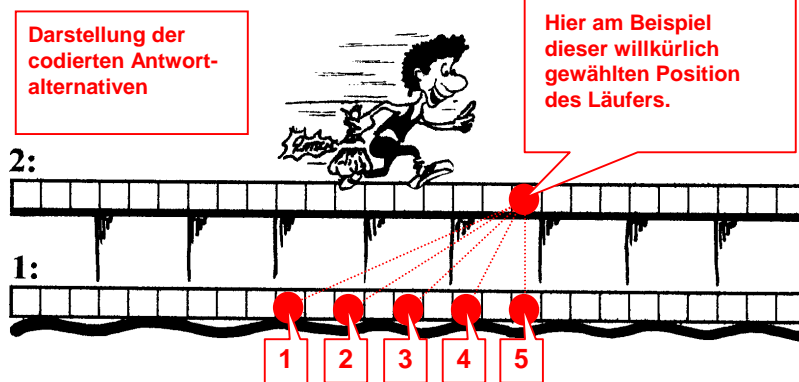


Abbildung 4.2.1

Ergebnis der Gesamtstichprobe (N = 511 VPn) für Frage 1.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.1 ab S 103.

Frage 2

Die Zwillinge Brummel und Bummel sitzen in völlig gleichen Booten. Bummel ist eingeschlafen. Zur Sicherheit hat er vorher ein Seil am Boot festgebunden. Das andere Ende hat er seinem Bruder gegeben. Brummel bemerkt die Gefahr und zieht so fest er kann.



Hier sehen Sie die beiden noch einmal von der Seite.

Markieren Sie bitte durch ein Kreuz wo sich die Boote treffen.

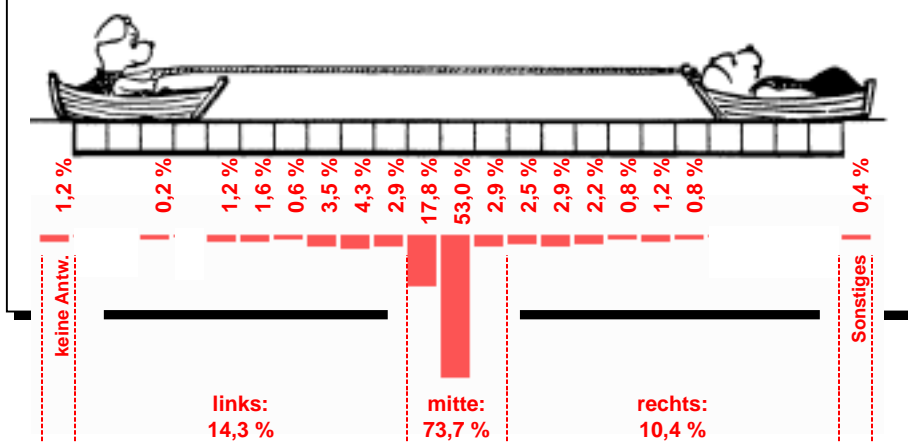


Abbildung 4.2.2

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VP) für Frage 2.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3 ab S 126.

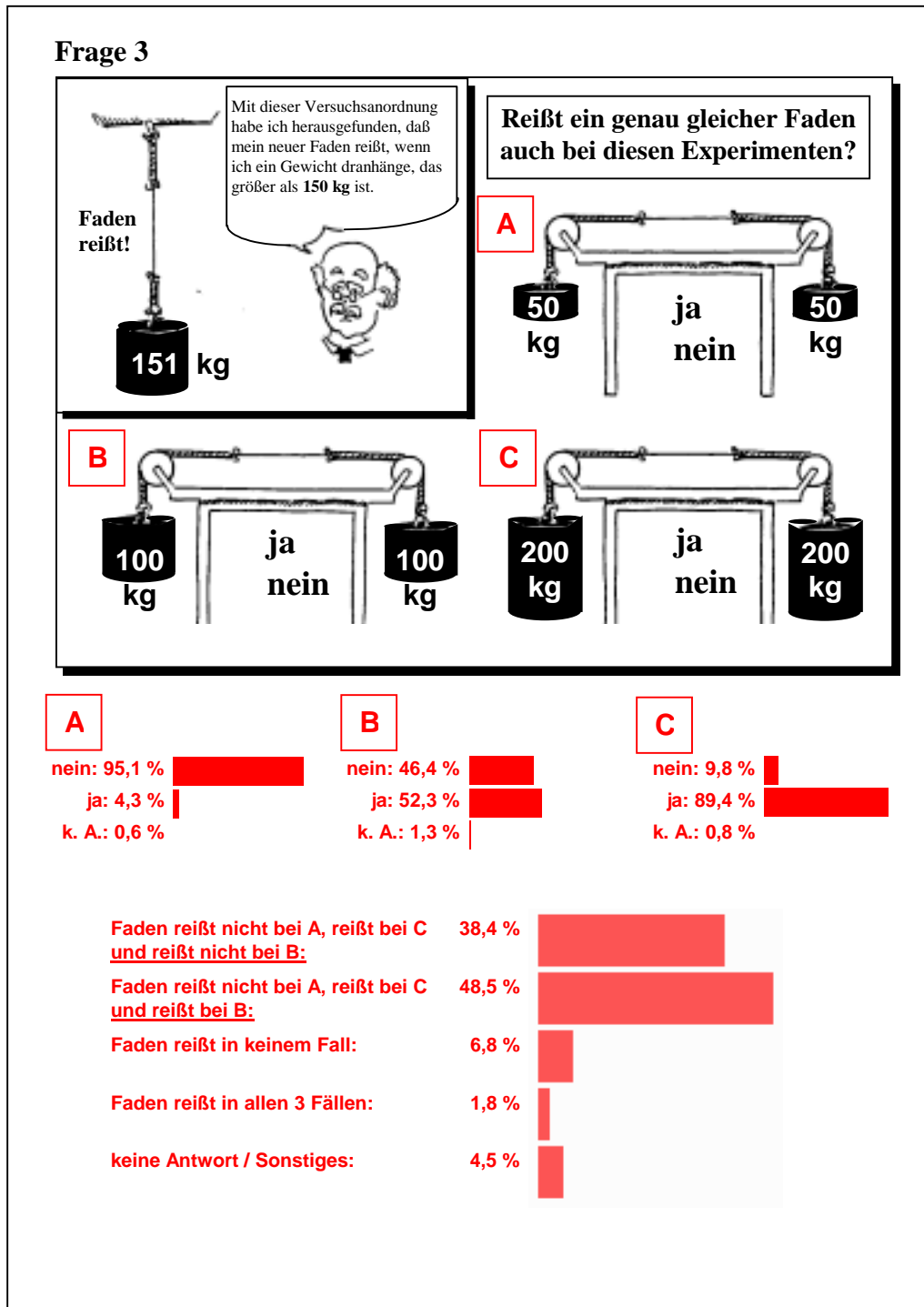


Abbildung 4.2.3

Ergebnis der Gesamtstichprobe (N = 511 VPn) für Frage 3.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.2 ab S 143.

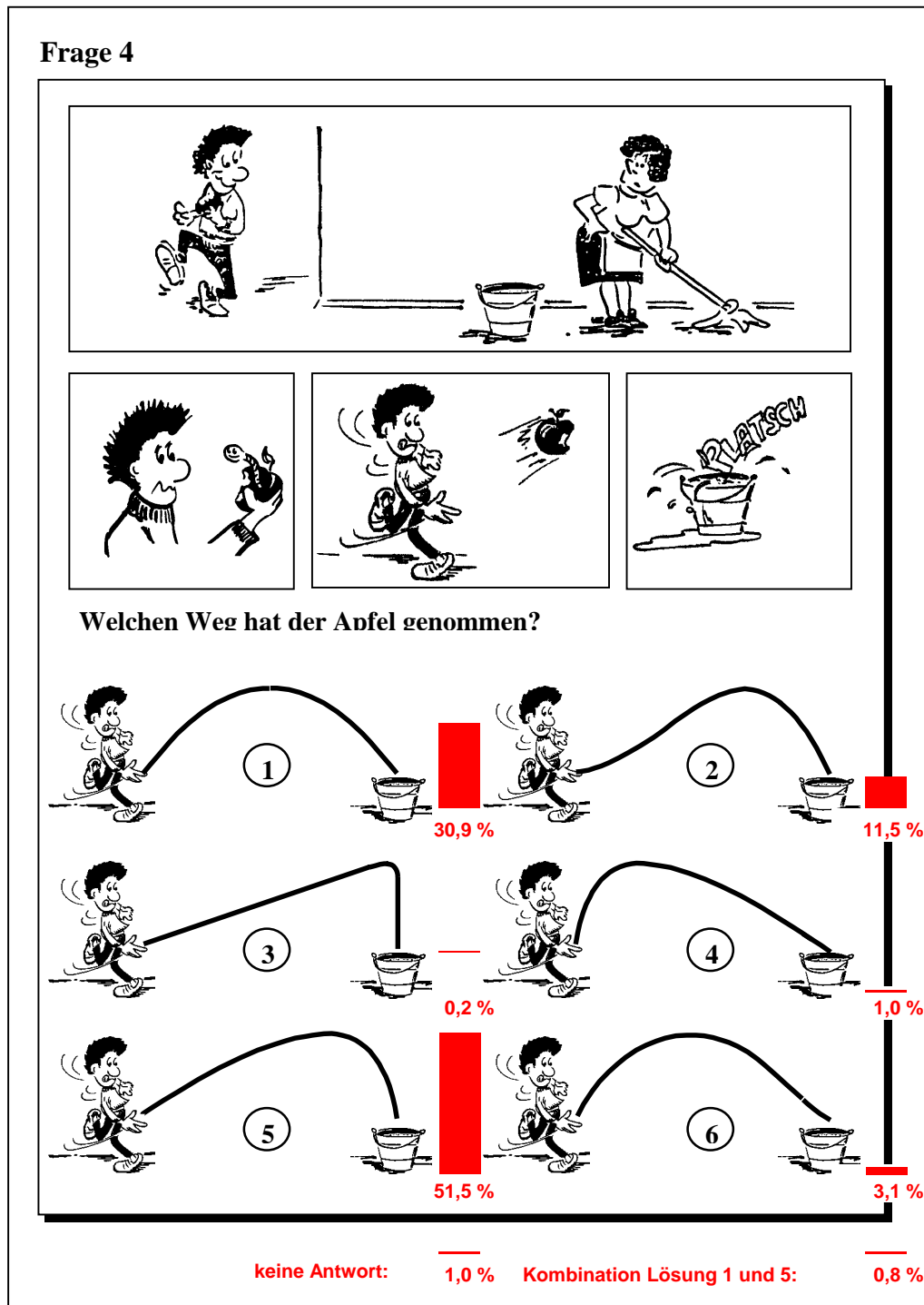
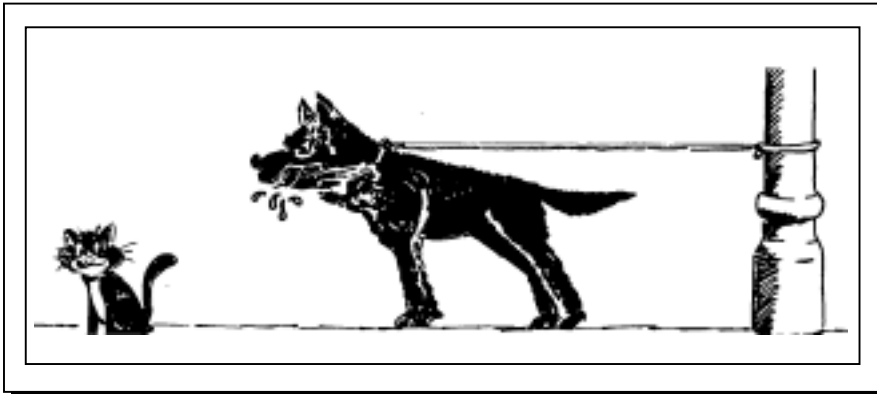


Abbildung 4.2.4

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 4.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.1 ab S 103.

Frage 5

Was ist die Ursache dafür, daß die Leine gespannt ist?

Frage beantwortet: 93,9 %

Abbildung 4.2.5

Antworthäufigkeit der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 5.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.2 ab S148.

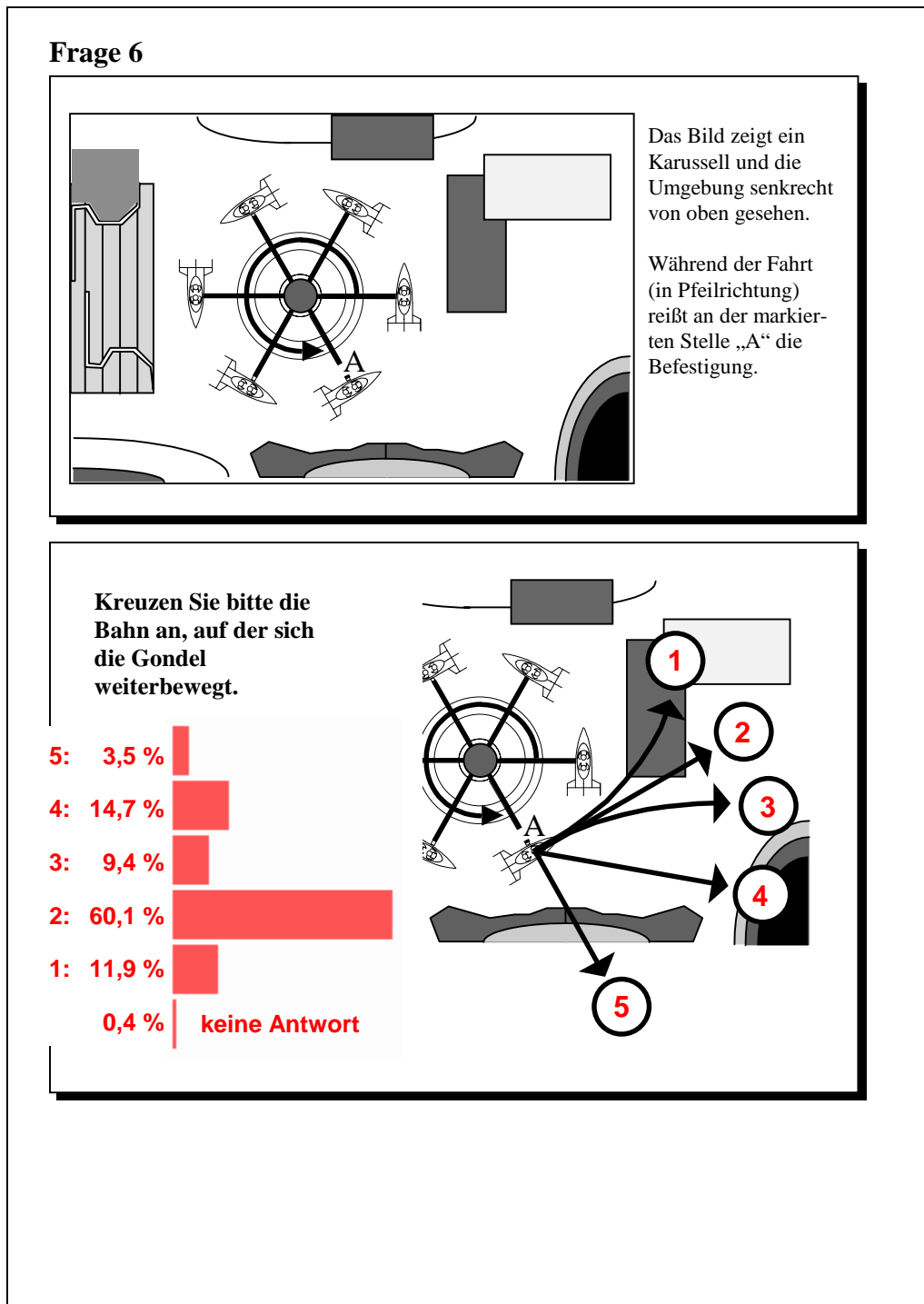


Abbildung 4.2.6

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 6.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.2 ab S 120.

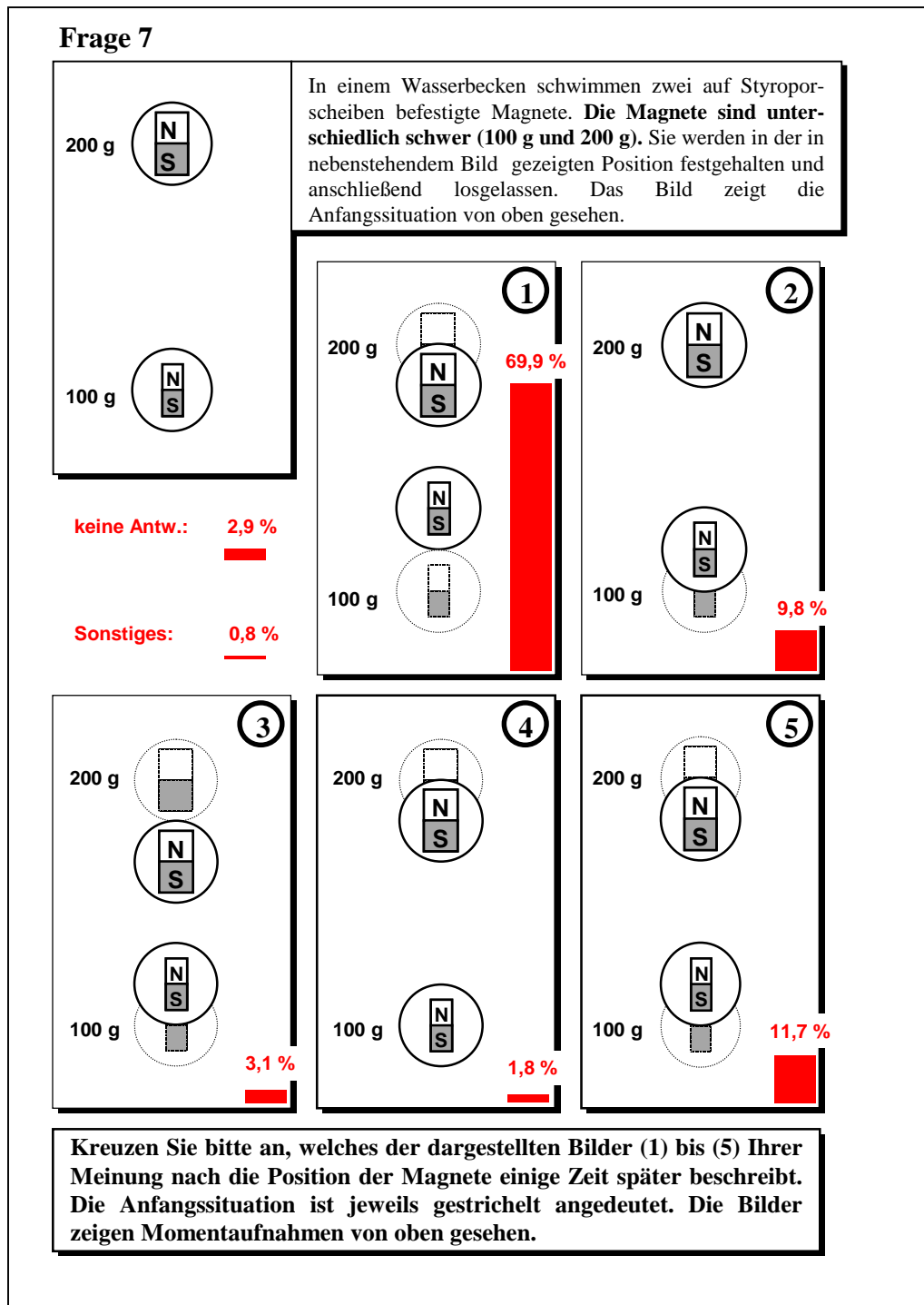


Abbildung 4.2.7

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 7.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3 ab S 128.

Frage 8

Hier sehen Sie ein ähnliches Experiment wie eben.
Im Unterschied zur vorherigen Frage wurde ein Magnet durch ein Eisenstück ersetzt. Außerdem sind Magnet und Eisenstück jetzt gleich schwer (100 g).
 Nebenstehendes Bild zeigt wieder die Anfangssituation vor dem Loslassen von oben gesehen.

keine Antw.: 4,1 %

1 6,1 %

2 5,7 %

3 9,6 %

4 13,9 %

5 60,7 %

Kreuzen Sie bitte an, welches der dargestellten Bilder (1) bis (5) Ihrer Meinung nach die Position der Gegenstände einige Zeit später beschreibt. Die Anfangssituation ist jeweils gestrichelt angedeutet. Die Bilder zeigen Momentaufnahmen von oben gesehen.

Abbildung 4.2.8

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 8.

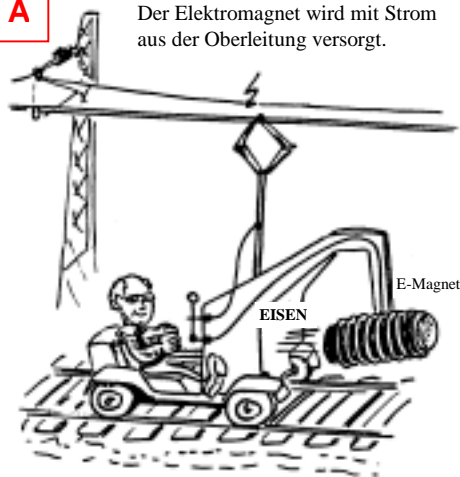
Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3 ab S 128.

Frage 9

Sind Sie der Meinung, daß die dargestellten Arten der Fortbewegung prinzipiell funktionieren?

A

Der Elektromagnet wird mit Strom aus der Oberleitung versorgt.



Die Rückleitung erfolgt über die Schienen.

ja
nein

B



ja
nein

A

k. Antw.: 1,4 %

ja: 15,1 %

nein: 83,5 %

B

k. Antw.: 0,6 %

ja: 86,9 %

nein: 12,5 %

Abbildung 4.2.9

Ergebnis der Gesamtstichprobe (N = 511 VP) für Frage 9.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3 ab S 126.

Frage 10

Was fällt Ihnen spontan zu

Kraft

ein?

Erstens: Frage beantwortet: 89,6 %

.....

Zweitens: Frage beantwortet: 84,1 %

.....

Drittens: Frage beantwortet: 72,0 %

.....

Bilden Sie 3 beliebige Sätze, die das Wort Kraft enthalten.

1.) Frage beantwortet: 71,2 %

.....

.....

2.) Frage beantwortet: 63,0 %

.....

.....

3.) Frage beantwortet: 50,1 %

.....

.....

Abbildung 4.2.10

Antworthäufigkeit der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 10.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.3 ab S 159.

Frage 11

Können Sie sich aus Ihrer Schulzeit an einen beliebigen Satz aus dem Physikunterricht erinnern, der das Wort Kraft enthält.

Habe ich oben schon aufgeschrieben. 27,8 %

Ja, und zwar 24,7 %

.....

.....

nein 35,0 %

Physiker stellen Kräfte in Abbildungen oft symbolisch durch Pfeile dar. Die Länge eines Pfeils gibt dabei die Größe der Kraft an.

Auf den nächsten Seiten werden einige Situationen, die Sie schon kennen, mit Hilfe von Kraftpfeilen beschrieben.

Bitte entscheiden Sie durch Ankreuzen, welche der dargestellten Pfeile (bzw. Pfeilkombinationen) Ihnen für die Beschreibung der jeweiligen Situation am vernünftigsten erscheinen.

Abbildung 4.2.11

Antworthäufigkeit der Gesamtstichprobe (N = 511 VPN) für Frage 11.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.3 ab S 159.

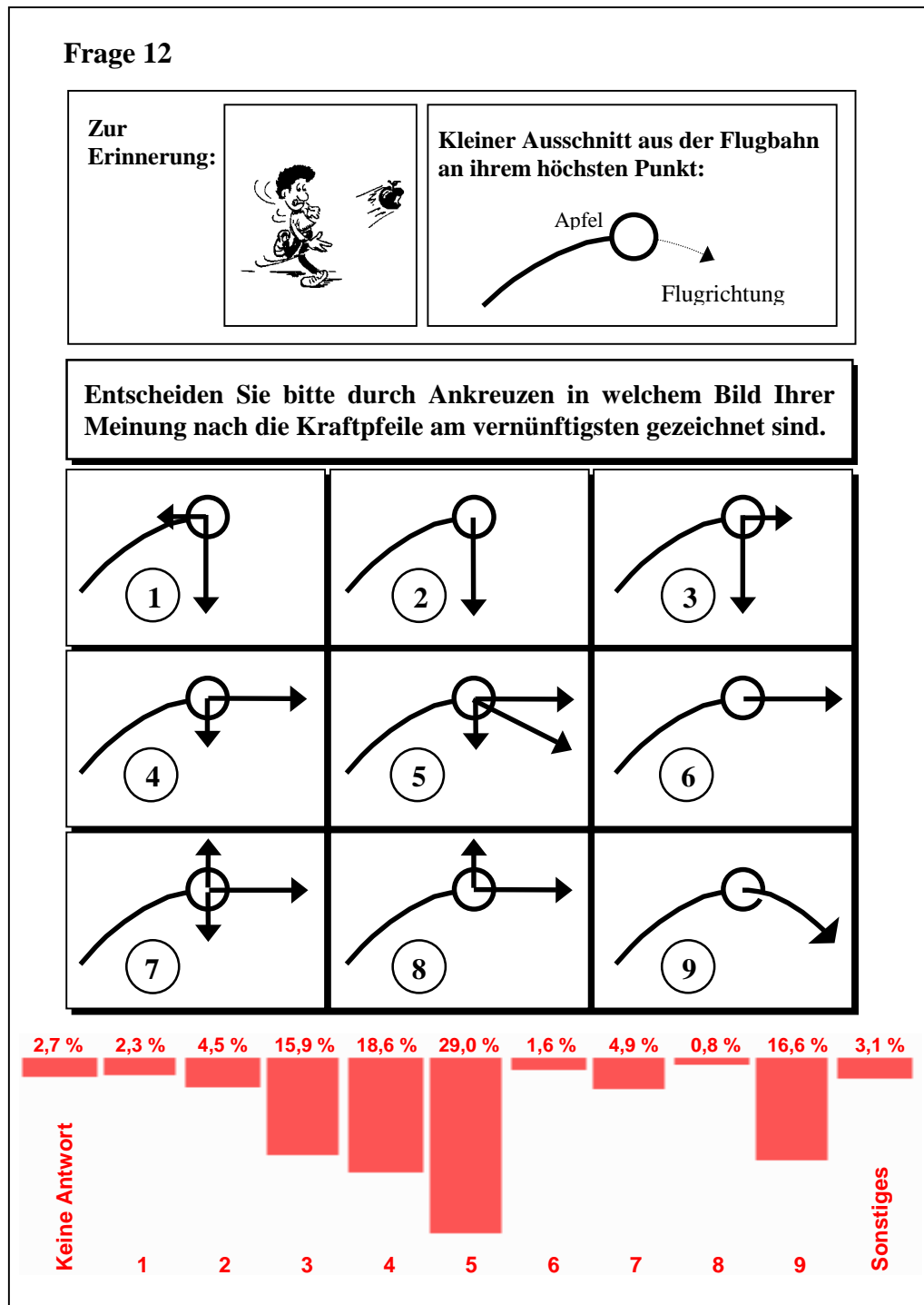


Abbildung 4.2.12

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 12.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.1 ab S 103.

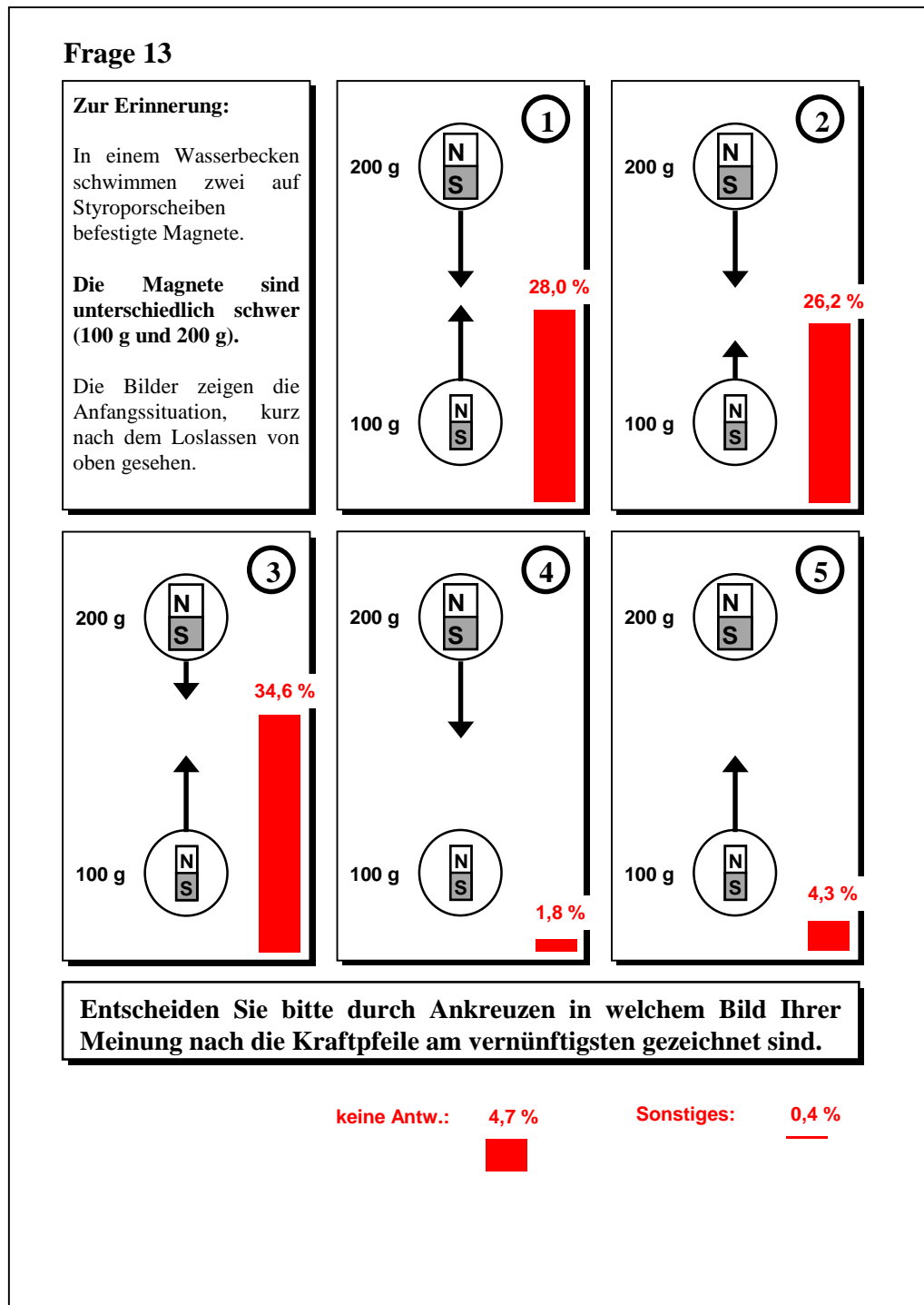


Abbildung 4.2.13

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPn) für Frage 13.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3 ab S 135.

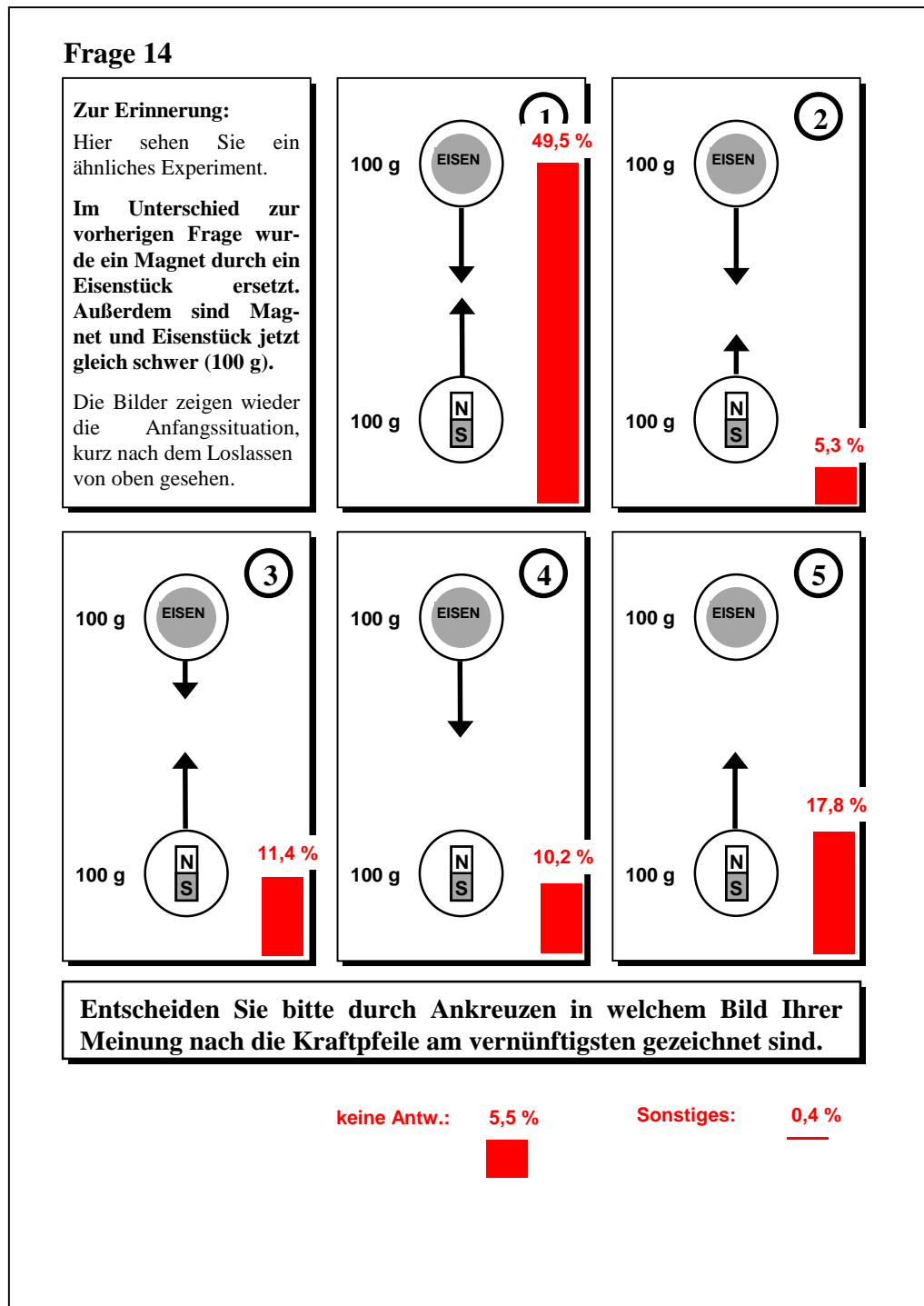


Abbildung 4.2.14

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 14.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3 ab S 135.

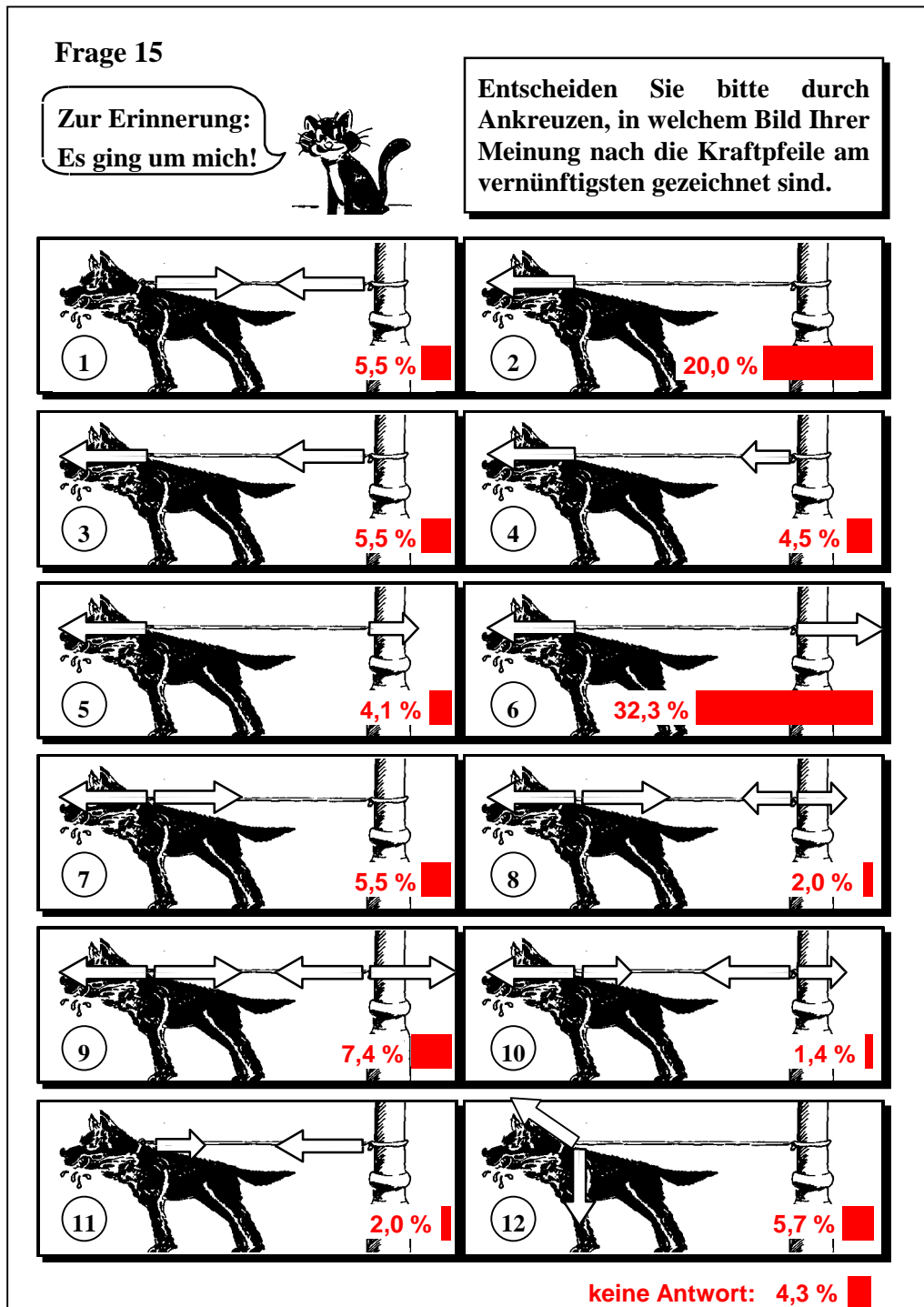


Abbildung 4.2.15

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VP) für Frage 15.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.2 ab S 154.

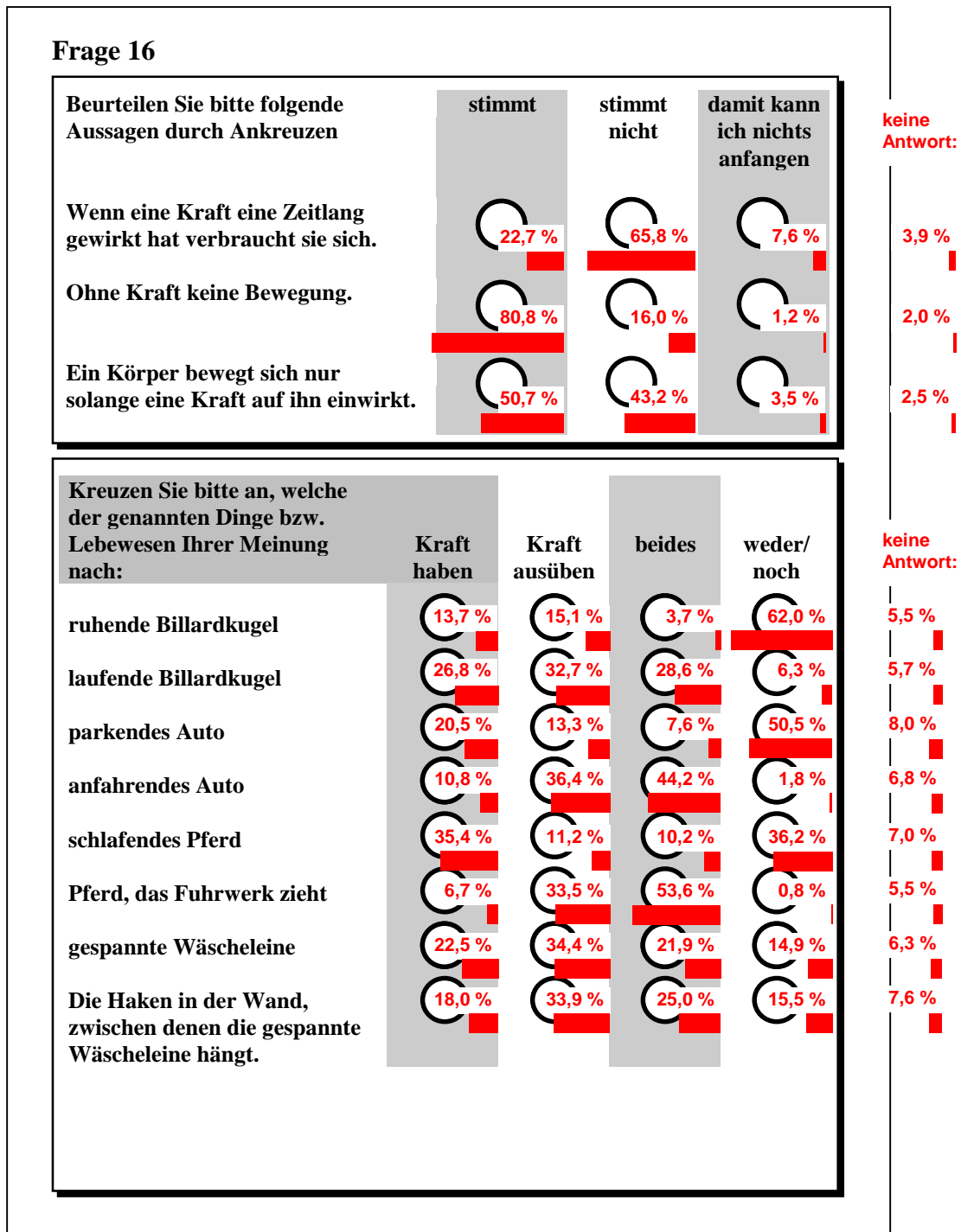


Abbildung 4.2.16

Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 511$ VPN) für Frage 16.

Zur detaillierten Auswertung dieser Frage vgl. Abschnitt 4.4.2.3 ab S 170.

4.3 Zur Statistik und Darstellung der Ergebnisse

Ein Ziel der Auswertung besteht beispielsweise darin, herauszufinden, inwieweit bestimmte formale bzw. sprachliche Lösungen mit nonverbalen Voraussagen assoziiert sind. Da es sich bei den vom Fragebogen erfassten Merkmalen (Merkmalsausprägung = Häufigkeit einer bestimmten Antwortalternative) um nominale d.h. nichtskalierbare Merkmale handelt, können Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen im Folgenden nur in Form von Assoziationstabellen dargestellt werden. Dies wären zunächst Mehrfeldertabellen, in denen sich z.B. die einzelnen Antworten auf zwei Fragen gegenüberstehen (vgl. *Tabelle 4.3.1 links*). Meist interessiert dabei, ob bestimmte Antwortalternativen miteinander assoziiert sind. D.h., ob es z.B. überwiegend die gleichen VPN sind, die einerseits in Frage A Ortsangaben korrekt vorhersagen (z.B. A3) und andererseits in Frage B dem Problem angemessene Kraftpfeile (z.B. B2) wählen. Bei dieser Fragestellung lassen sich die Mehrfeldertabellen, die alle Antwortalternativen enthalten, durch Zusammenfassen aller nicht interessierender Merkmale zu Vierfeldertabellen vereinfachen (*Tabelle 4.3.1 rechts*).

N = 100			Frage A			
			A1	A2	A3	A4
			10	20	40	30
Frage B	B3	10	8	2	0	0
	B2	40	0	10	20	10
	B1	50	2	8	20	20

N = 100			Frage A	
			Rest	A3
			60	40
Frage B	B2	40	20	20
	Rest	60	40	20

Tabelle 4.3.1

Zusammenfassung bestimmter Antworten aus einer Mehrfeldertafel zu einer Vierfeldertafel.

Der Vierfelder χ^2 -Test auf Unabhängigkeit

Ein Maß für den Zusammenhang der beiden Merkmale Frage A, Antwort A3 und Frage B, Antwort B2 lässt sich mit Hilfe des Vierfelder- χ^2 -Tests angeben.

Der Vierfelder χ^2 -Test auf Unabhängigkeit prüft die Nullhypothese H_0 : Stochastische Unabhängigkeit beider Merkmale. Die Alternativhypothese H_A lautet dann: Beide Merkmale sind voneinander stochastisch abhängig, also z.B. „Es sind überwiegend die gleichen VPN die auf beide Fragen die speziellen Antworten A3 bzw. B2 geben“.

Formal wird χ^2 für die nebenstehende Vierfeldertafel nach der Vorschrift:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)(ad-bc)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

berechnet.

		Frage A		
				Rest
n = n1+n2+n3+n4		n3= a+c	n4= b+d	
Frage B	B2	n1= a+b	a	b
	Rest	n2= c+d	c	d

Mit den 4 Besetzungszahlen a, b, c, d und den Randsummen n1, n2, n3 und n4 lässt sich die Nullhypothese H_0 z.B. auf dem 1 %-Niveau ablehnen, sobald das nach obiger Vorschrift berechnete χ^2 größer ist als der tabellierte Wert $\chi^2_{1;\alpha=0.01} = 6,6349$. Dabei bedeutet der Index: $1;\alpha=0.01$ Chi-Quadrat mit einem Freiheitsgrad und der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 1 \%$ [SACH93]. Aufgrund der Randsummen wird bei fester Randverteilung die entsprechende Vierfeldertafel durch eine der vier Besetzungszahlen festgelegt, d.h. das System besitzt nur einen Freiheitsgrad.

Da der Test die Nullhypothese prüft, bedeutet eine Ablehnung der Unabhängigkeitshypothese auf dem 1 %-Niveau, dass, falls 100 solche Vergleiche (d.h. mit 100 Stichproben) durchgeführt werden, dieses Ergebnis ein Mal durch Zufall zustandekommt. D.h. in einem von hundert Fällen wird eine auf den 1 %-Niveau signifikante Abhängigkeit vermutet, obwohl dieses Ergebnis durch eine zufällige Schwankung bei tatsächlicher statistischer Unabhängigkeit entsteht.

Anstatt einer strengen mathematischen Analyse soll im Folgenden mit Hilfe eines kleinen Pascal-Programms gezeigt werden, wie die tabellierten Schranken für die einzelnen Irrtumswahrscheinlichkeiten zustande kommen.

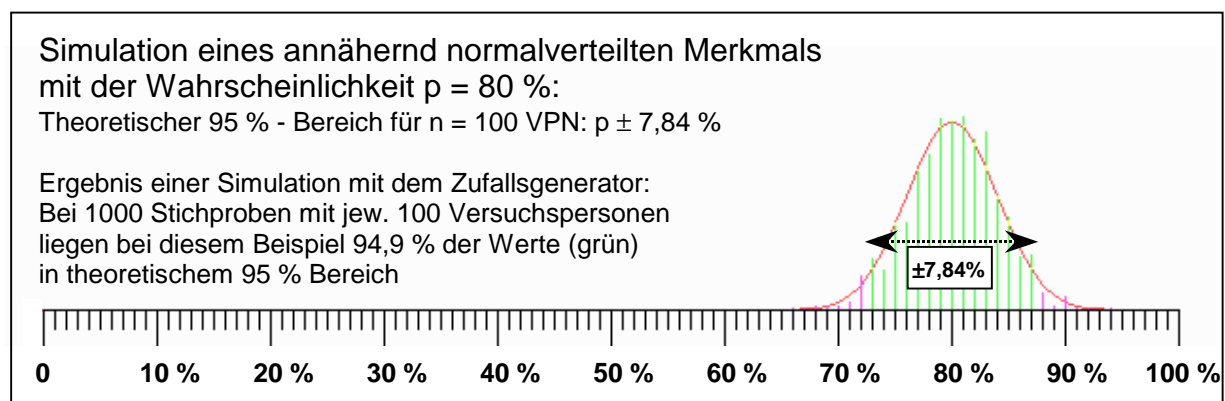


Abbildung 4.3.1

Simulation einer normalverteilten Merkmalsausprägung mit Hilfe des Zufallsgenerators.

Wichtig für eine sinnvolle Interpretation der χ^2 -Werte ist die dem Test zugrundeliegende Annahme, dass die Randverteilungen als binomial- bzw. bei großem N als normalverteilt angenommen werden können. D.h. wenn mit Hilfe des Zufallsgenerators des Computers Vierfeldertafeln gewürfelt werden sollen, muss sichergestellt sein, dass sich mit dem Programm näherungsweise normalverteilte Randverteilungen ergeben. *Abbildung 4.3.1* zeigt, dass dies am Beispiel einer Merkmalsausprägung mit der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit $p = 80\%$ gut erfüllt ist.

Würfelt man mit Hilfe des Zufallsgenerators Vierfeldertafeln mit annähernd normalverteilten, statistisch unabhängigen Randverteilungen, erkennt man, dass sich die in *Abbildung 4.3.2* dargestellten Ergebnisse der Simulation gut mit Hilfe der χ^2 -Verteilung für einen Freiheitsgrad beschreiben lassen. Im gezeigten Beispiel wurden die Wahrscheinlichkeiten: Merkmalsausprägung 1: $p = 80\%$ bzw. NICHT 1: $(1-p) = 20\%$, Merkmalsausprägung 2: $q = 60\%$ bzw. NICHT 2: $(1-q) = 40\%$ gewählt. Die Dichte der χ^2 -Verteilung $f(x)$ ist [RINN95]:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2^{f/2} \Gamma(f/2)} x^{(f/2)-1} e^{-x/2} & \text{für } x \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Mit f (= Zahl der Freiheitsgrade) = 1 ergibt sich für $x \geq 0$ die auf die Fläche 1 normierte Dichtefunktion (rote Kurve in *Abbildung 4.3.2*) $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{x}} e^{-\frac{x}{2}} \quad \text{für } x \geq 0$$

Die per Zufallsgenerator gefundenen Werte für χ^2 wurden in Intervalle der Breite 0,1 einsortiert (grüne Linien in *Abbildung 4.3.2*) und entsprechen gut den theoretischen Flächen, d.h. der analytisch nicht darstellbaren χ^2 -Verteilung. Z.B. liegen 90,58% der gewürfelten Werte im theoretischen 90%-Bereich.

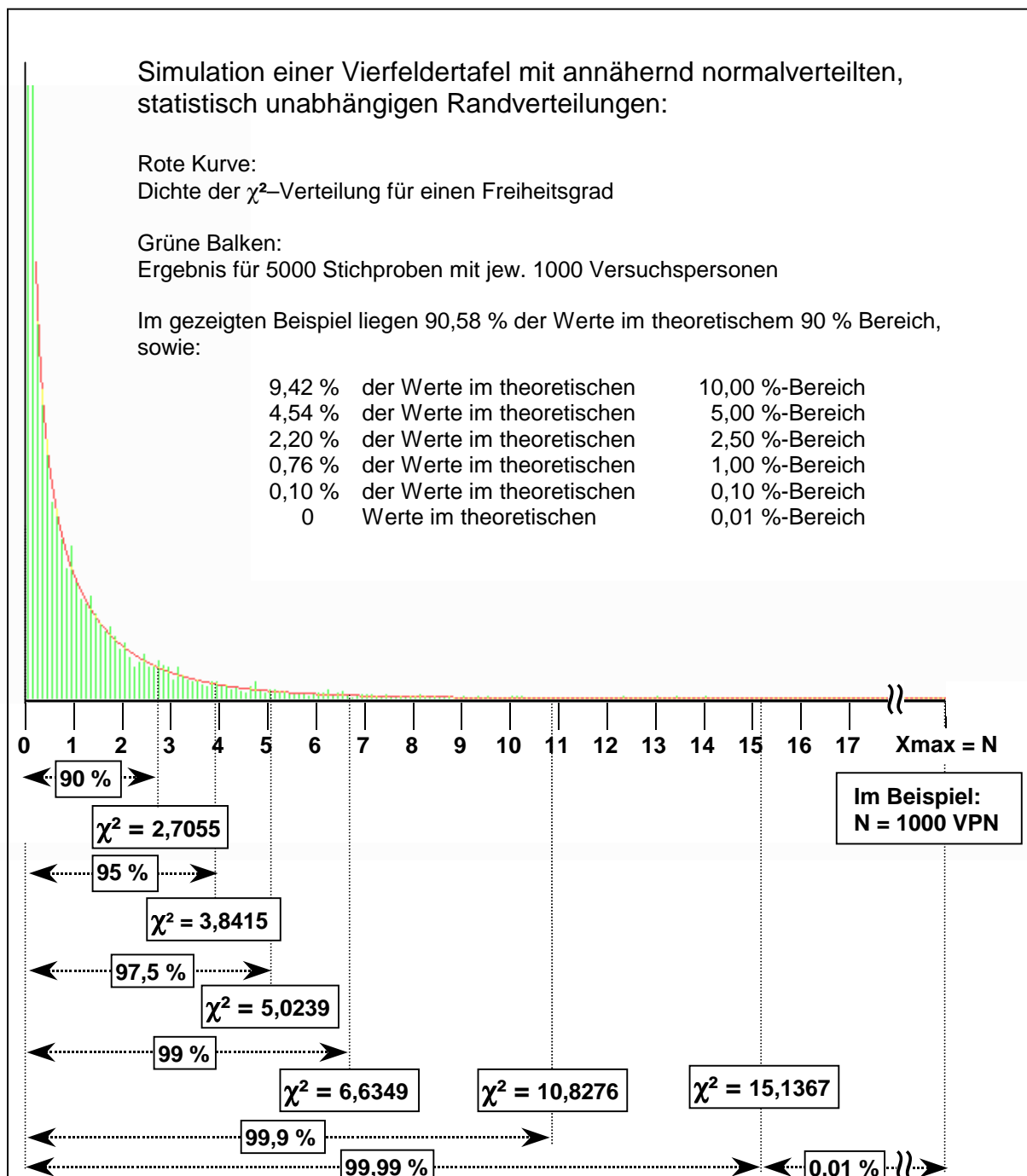


Abbildung 4.3.2

Computersimulation für eine Vierfeldertafel mit normalverteilter, d.h. statistisch unabhängiger Feldbesetzung sowie anschaulicher Darstellung der üblicherweise angegebenen Schranken für χ^2 .

Die tatsächlichen Wahrscheinlichkeiten p und q für die Randverteilung sind natürlich ebenfalls unbekannte Parameter der Grundgesamtheit. Sie werden durch das wirklich eingetretene Ereignis der vorliegenden Stichprobe geschätzt. Schätzt man den theoretischen Mittelwert für die Grundgesamtheit aus dem experimentell gefundenen Mittelwert eines Ergebnisses der vorliegenden Stichprobe, setzt das eine für die Grundgesamtheit repräsentative Stichprobe voraus. Da es sich bei der vorliegenden Stichprobe schon aus o. g. praktischen Gründen nicht um einen repräsentativen Querschnitt der Bevölkerung handeln kann, sind die angegebenen Signifikanzaussagen lediglich als formalisierte Datenbeschreibung zu verstehen. Bestimmte Scheinassoziationen, lassen sich jedoch, wie weiter unten anhand eines Beispiels gezeigt wird, bei der Interpretation der Daten aufklären.

Geometrische Darstellung von Vierfeldertafeln

Angenommen, es wird ein Zusammenhang zwischen zwei richtigen Antworten auf zwei verschiedene Fragen vermutet, z.B. weil für deren korrekte Beantwortung die Kenntnis eines bestimmten physikalischen Gesetzes (z.B. der Impulserhaltung) vorausgesetzt wird, lautet die zu testende Hypothese: Es sind überwiegend die gleichen VPn, die beide Fragen korrekt beantworten, weil diese über Aspekte des Impulsbegriffes verfügen. Die zu verwerfende Nullhypothese wäre dann: Beide Fragen haben nichts miteinander zu tun, d. h. sie werden unabhängig voneinander richtig gelöst. Ist letzteres der Fall, wird der Inhalt der entsprechenden Vierfeldertafel, abgesehen von statistischen Schwankungen aufgrund des Zufalls, nur von den beiden Randverteilungen bestimmt.

In der vorliegenden Arbeit wurde eingangs kritisiert, dass eine, ausschließlich an wissenschaftlicher Exaktheit ausgerichtete, Fachsprache die Auseinandersetzung mit komplexen Themen erschweren kann. Vielleicht gilt dies auch für die übliche, weitgehend tabellarische Darstellung und Beschreibung an sich recht „trockener“ Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Für die Darstellungen der Ergebnisse dieser Untersuchung wurden anschauliche grafische Verfahren gewählt, mit denen der Leser u. a. auf den ersten Blick die Sicherheit der gefundenen Abhängigkeiten abschätzen kann. Das folgende (künstlich generierte) Beispiel in *Abbildung 4.3.3* erfüllt hier zwei Aufgaben: Es soll den Leser zunächst mit der später häufig genutzten Darstellung von Vierfeldertafeln vertraut machen. Anschließend wird es noch einmal (und zwar in Verbindung mit den *Abbildungen 4.3.4a* und *4.3.4b*) dazu verwendet, um auf die generelle Problematik von nur scheinbar signifikanten Abhängigkeiten hinzuweisen.

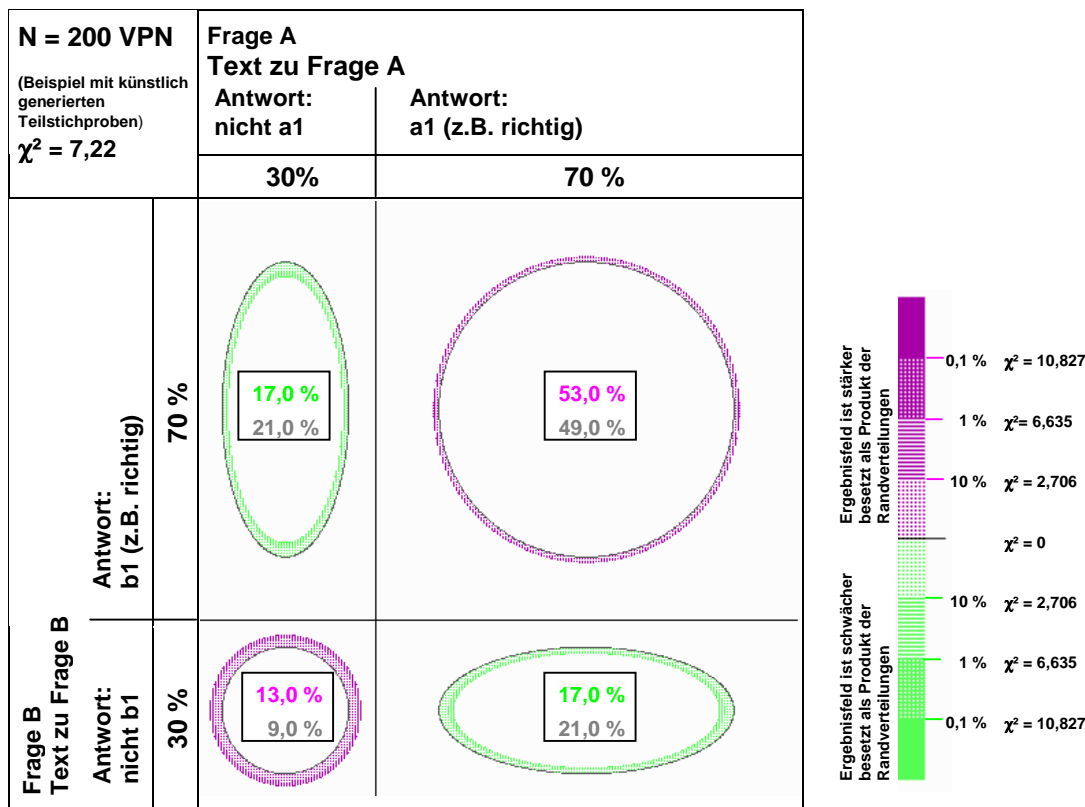


Abbildung 4.3.3 Geometrische Darstellung einer künstlich generierten Vierfeldertafel.

Höhe und Breite der vier dargestellten Rechtecke bzw. Längs- und Querachsen der eingezeichneten grauen Ellipsen entsprechen jeweils der gefundenen Randverteilung. Waagrecht oben rechts steht die Häufigkeit der betrachteten Antwort (a1) auf Frage A (im Beispiel haben 70 % der VPN Frage A richtig beantwortet) und links die Häufigkeit für die restlichen Antworten (nicht a1) auf Frage A (z.B. 30 %). Senkrecht stehen die Ergebnisse für Frage B. Oben steht die Häufigkeit der betrachteten (z.B. richtigen) Antwort (b1) (z.B. 70 %) und darunter die Häufigkeit der restlichen Antworten (nicht b1) auf Frage B (z.B. 30 %). Falls die beiden Fragen nichts miteinander zu tun haben, also statistisch unabhängig voneinander gelöst wurden, ergibt sich der Grenzfall, dass die Feldbesetzung nur durch die Randverteilung bestimmt wird. D.h. von den 70 % der VPN, die Frage A richtig gelöst haben, haben gemäß der Randverteilung für Frage B 70 % von 70 % = 49 % auch Frage B richtig gelöst. Diesem Wert entspricht die Fläche der hellgrauen Ellipse im Feld rechts oben, sowie die untere graue Prozentangabe in diesem Feld. Im gezeigten Beispiel ergibt sich ein Zusammenhang zwischen den beiden Antworten auf dem 1 %-Niveau ($\chi^2 \geq 6,635$). Das Feld rechts oben ist mit 53,0 % (entspricht der Fläche der äußeren violetten Ellipse) wesentlich stärker besetzt als dies bei statistischer Unabhängigkeit der Fall wäre. Eine Farbcodierung (violett bedeutet stärker-, grün bedeutet schwächer besetzt) erleichtert die schnelle Interpretation des Ergebnisses. Die Farbtiefe entspricht dabei der Sicherheit der gefundenen Abhängigkeit. Die Bedeutung der vorgesehenen Farbabstufungen gibt die rechts stehende Legende an. Die Besetzungen (und damit die Flächen) der restlichen 3 Felder ergeben sich aufgrund der festen Randverteilung (1 Freiheitsgrad) automatisch. Links oben finden sich Angaben zur jeweils betrachteten Stichprobe sowie der berechnete Wert für χ^2 .

Üblicherweise legt die mit der Auswertung befasste Person die Schranke, ab der eine Abhängigkeit als Bestätigung der Alternativhypothese angesehen wird, fest (meist 95 %, d.h. $\chi^2 \geq 3,8415$). Da χ^2 ein Maß für die Sicherheit der gefundenen Abhängigkeit darstellt, hat der Leser bei obiger Darstellung selbst die Möglichkeit anhand der Farbtiefe die Sicherheit festzulegen, ab der er eine Abhängigkeit vermutet. In einer Legende werden zu jedem Bild die entsprechenden Bereiche angegeben. Wer also nur Ergebnisse auf dem 1 %-Niveau „glaubt“ hat so die Möglichkeit diese schnell zu finden.

Wie oben bereits festgestellt, ist diese Interpretation von χ^2 nur sinnvoll, wenn man von normalverteilten Randverteilungen ausgehen kann. Man kann eine scheinbar signifikante Abhängigkeit also künstlich durch Addition zweier statistisch unabhängiger Vierfeldertafeln mit unterschiedlichen Randverteilungen erreichen. Auf diese Weise wurde die Vierfeldertafel in *Abbildung 4.3.3* erzeugt. Für das Beispiel wurden zwei unterschiedliche Teilstichproben generiert, die ein grundlegendes Problem bei derartigen Untersuchungen verdeutlichen:

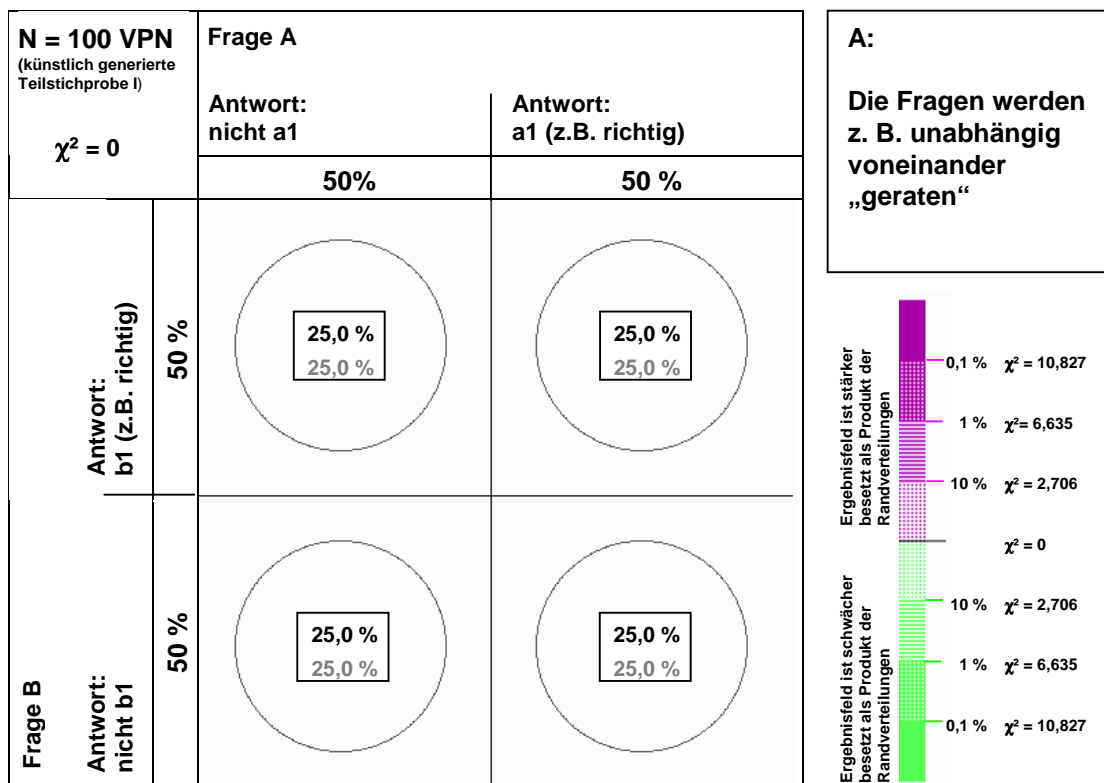


Abbildung 4.3.4a

Vierfeldertafel für die künstlich generierte Teilstichprobe I, die z.B. beide Fragen unabhängig voneinander rät.

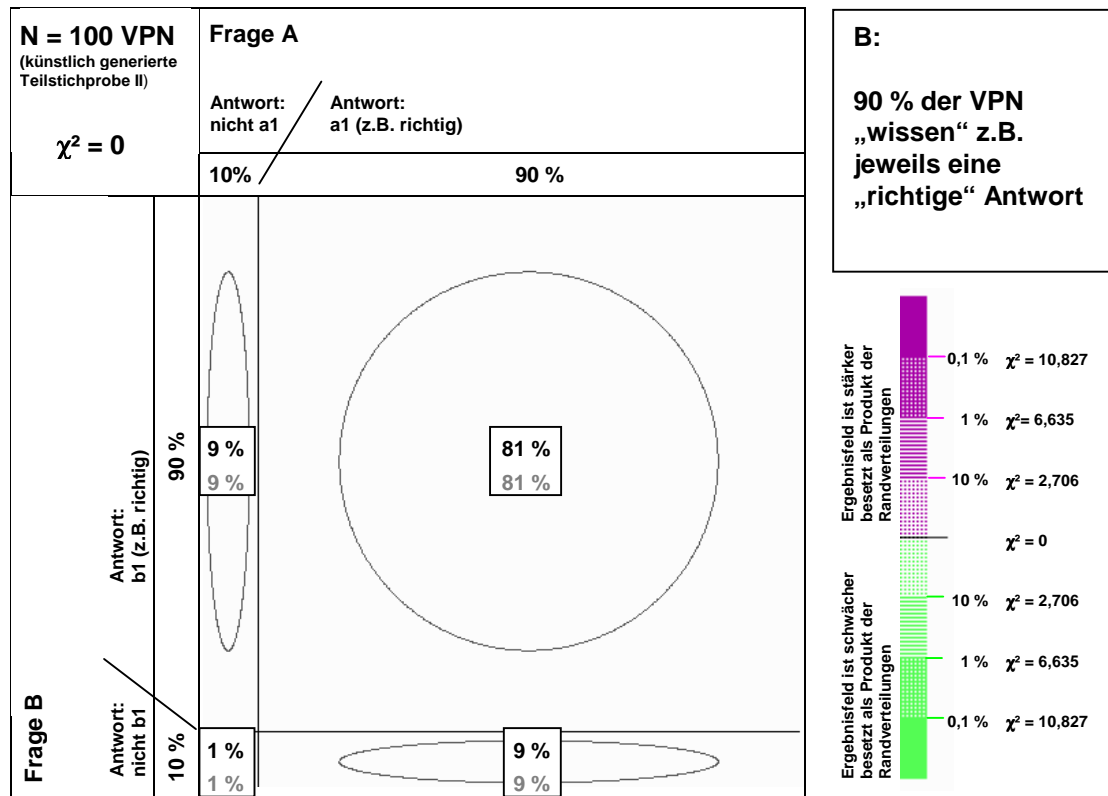


Abbildung 4.3.4b

Vierfeldertafel für die künstlich generierte Teilstichprobe II, bei der z. B. 90 % der Befragten jeweils eine der beiden Fragen unabhängig voneinander „richtig“ beantworten.

Addition der beiden Teilstichproben I und II ergibt das scheinbar signifikante Ergebnis von *Abbildung 4.3.3*.

Besteht die betrachtete Gesamtstichprobe z.B. zur Hälfte aus physikalischen „Laien“, die beide Fragen jeweils mit der Wahrscheinlichkeit 50 % raten (*Abbildung 4.3.4a*) und zur anderen Hälfte aus Experten, die jeweils eine richtige Antwort aus unbekanntem Gründen mit hoher Wahrscheinlichkeit (90 %) unabhängig von der anderen Antwort „weiß“ (*Abbildung 4.3.4b*), ergibt sich die in *Abbildung 4.3.3* gezeigte Scheinassoziation.

Um dies zumindest teilweise zu vermeiden, werden im Folgenden nur Ergebnisse für deutlich homogenere Teilstichproben angegeben. Da diese Stichproben kleiner sind als die Gesamtstichprobe, werden auch die Werte für χ^2 geringer ausfallen. Sie sind aber durch die teilweise Eliminierung der versteckten Variable „physikalische Vorbildung“ dennoch aussagekräftiger als die der Gesamtstichprobe.

Eine Grenze zwischen physikalisch vorgebildeten Personen und physikalischen „Laien“ (Im Folgenden als L-Gruppe bezeichnet) zu ziehen, ist natürlich willkürlich. Ein vernünftiges Merkmal dafür, dass sich Personen „professionell“ mit Physik auseinandersetzen wollen, ist

ihre freiwillige Entscheidung in der Oberstufe den Leistungskurs Physik zu wählen, sowie die Entscheidung für ein technisches bzw. naturwissenschaftliches Studium. Zusätzlich sollte diese so definierte P-Gruppe (P im Anklang an das Wort „Profi“ im Gegensatz zu „Laie“) bereits den Mechanikunterricht in Klasse 11 hinter sich haben. Der Rest der Befragten wird, soweit o.g. Daten bekannt sind, der L-Gruppe zugeordnet. In der folgenden Auswertung werden demnach nur Personen berücksichtigt, die sich der so definierten P- bzw. L-Gruppe zuordnen lassen.

Ferner werden im folgenden Teil der Auswertung (Abschnitt 4.4) Personen, die schon mit der Hochschulphysik in Berührung kamen und Oberstufenschüler, die den Karlsruher Physikkurs, und damit eine andere „Sprache der Mechanik“ kennen, weggelassen. Damit verbleiben als eingeschränkte Gesamtstichprobe, auf die sich die weitere Auswertung dieses Kapitels bezieht $N = 399$ VPN. Ihre Zusammensetzung zeigt *Abbildung 4.3.5*.

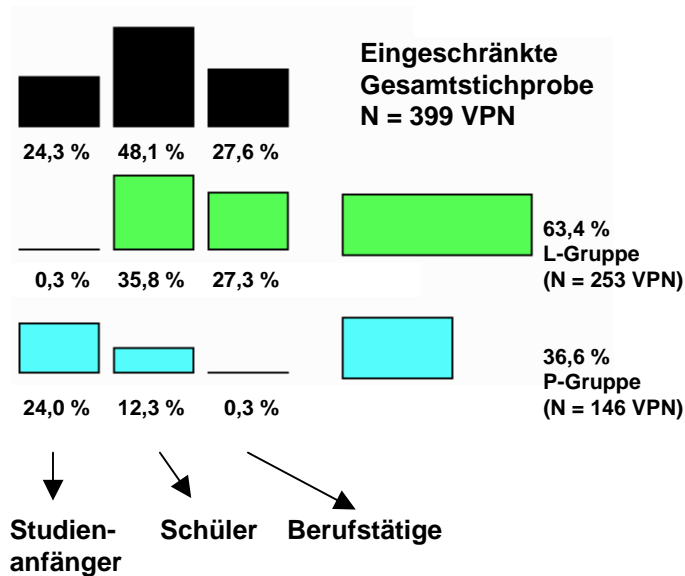


Abbildung 4.3.5

Zusammensetzung der eingeschränkten Gesamtstichprobe $N=399$ VPN für die weitere Auswertung in Kapitel 4.

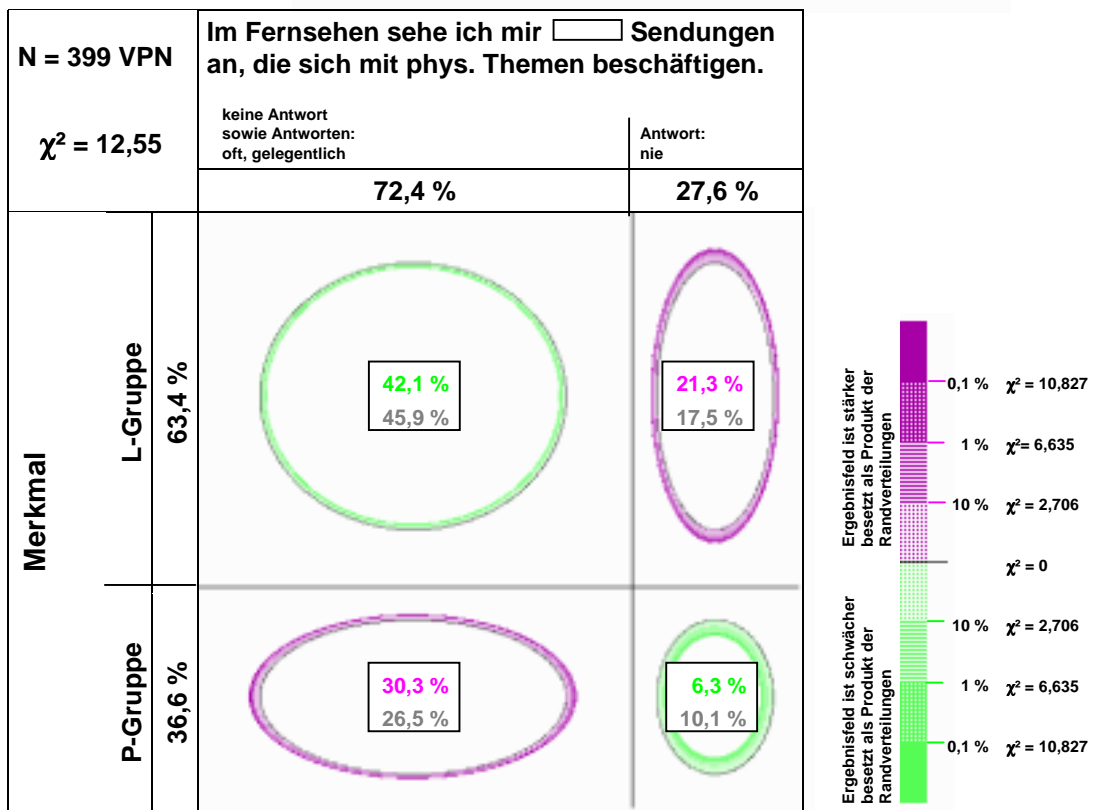
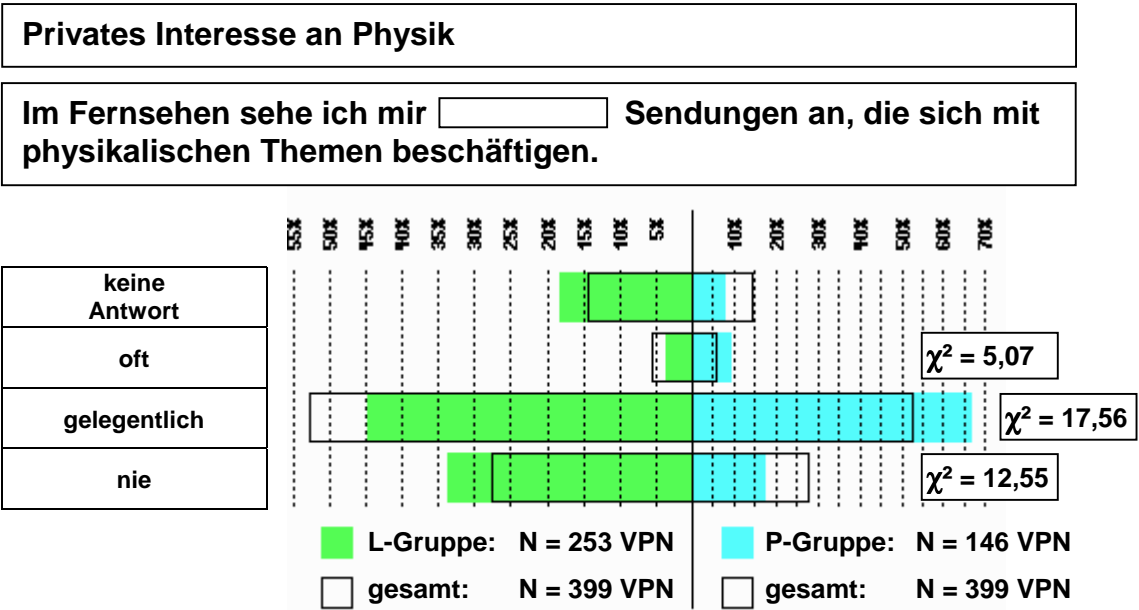
Darstellung bivariater Datensätze mit Alternativmerkmal in einer Dimension.

Immer wenn mehrere Merkmalsausprägungen mit einem Alternativmerkmal, wie z.B. Geschlecht oder Zugehörigkeit zur P- bzw. L-Gruppe, verglichen werden, wird eine Histogrammdarstellung entsprechend *Abbildung 4.3.6* verwendet, die aufgrund ihrer Flächentreue bereits auf den ersten Blick den tatsächlichen Umfang der zu vergleichenden Teilstichproben zeigt. Die Prozentskalierung wurde so gewählt, dass neben den Einzelergebnissen für die zu vergleichenden Teilstichproben (farbige, ausgefüllte Balken) auch jeweils zweimal das Ergebnis der Gesamtstichprobe (leere Rahmen) abzulesen ist. Der Leser kann also bereits anhand der freibleibenden Flächen abschätzen, ob deutliche Unterschiede bei bestimmten Antworten zwischen den beiden Teilstichproben bestehen. Da sich diese Mehrfeldertafeln durch Zusammenfassen einzelner Spalten auf Vierfeldertafeln vereinfachen lassen, wird hier auf eine zusätzliche Darstellung von Vierfeldertafeln verzichtet. Ergibt sich eine Abhängigkeit auf dem 5 %-Niveau (bei einer Feldbesetzung im statistisch unabhängigen Fall von mindestens 5 VPN), wird der entsprechende Wert für χ^2 bei dem entsprechendem Merkmal angegeben. In diesem Fall kann man das Ergebnis der Gesamtstichprobe (leere Rahmen) auch als Ergebnis bei statistischer Unabhängigkeit deuten. Damit sich der berechnete Wert für χ^2 auf die gleiche Gesamtstichprobe wie die dargestellten Histogramme bezieht, wurden die VPN, die die entsprechende Frage nicht beantwortet haben, nicht aus der Stichprobe entfernt. *Abbildung 4.3.6* soll das Prinzip verdeutlichen: Sie zeigt neben der Histogrammdarstellung (oben) eine der zugehörigen, im Folgenden nicht mehr dargestellten Vierfeldertafeln (unten). Bei dem Beispiel handelt es sich um ein echtes Ergebnis zu einer Frage aus dem Fragebogen, die als zusätzlicher Hinweis auf privates Interesse an physikalischen Themen gedacht war, jedoch im Verlauf der weiteren Auswertung nicht mehr verwendet wird. Man erkennt, dass die VPN der P-Gruppe, zumindest nach eigener Einschätzung auch privat stärker an Sendungen mit physikalischen Themen interessiert sind. Die Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu beurteilen, denn speziell die befragten Studienanfänger werden nicht unbedingt zugeben, wenn sie sich privat keine derartigen Sendungen anschauen.

Abbildung 4.3.6

Zusammenhang zwischen Histogrammdarstellung und Vierfeldertafel bei bivariaten Datensätzen mit einem Alternativmerkmal in einer Dimension am Beispiel „Interesse an Sendungen mit physikalischen Themen“.

Oben ist die im folgenden häufig verwendete flächentreue Histogrammdarstellung zum Vergleich mehrerer Merkmalsausprägungen mit einem Alternativmerkmal dargestellt. Die ausgefüllten Balken geben die Ergebnisse der beiden zu vergleichenden Teilstichproben wieder. Sie lassen sich an den beiden, jeweils auf die Teilstichproben (hier $N = 253$ VPN und $N = 146$ VPN) normierten Prozentskalen ablesen. Zusätzlich geben die leeren Balken jeweils zweimal das (gleiche) Ergebnis der Gesamtstichprobe ($N = 399$ VPN) an. Treten bei einzelnen Antworten Unterschiede auf, sind diese an den freibleibenden Flächen erkennbar.



weiter zu **Abbildung 4.3.6**

Sind diese Unterschiede signifikant (5 %-Niveau), wird der entsprechende Wert für χ^2 bei der jew. Antwort angegeben. In diesem Fall kann man das Ergebnis der Gesamtstichprobe (leere Rahmen) auch als Ergebnis bei statistischer Unabhängigkeit deuten.

Unten wird eine der künftig nicht mehr gesondert dargestellten Vierfeldertafeln, die sich durch Zusammenfassen der Antworten „keine Angabe“, „gelegentlich“ und „oft“ ergibt, gezeigt. Aus ihr geht hervor, dass die Antwort „nie“ signifikant häufiger (0,1 %-Niveau) von den Angehörigen der L-Gruppe gegeben wurde. Diese Information lässt sich jedoch auch aus der obigen Darstellung entnehmen.

Bivariate Datensätze mit kardinalen Merkmal.

Neben dem Vergleich einzelner Antwortalternativen wurden bestimmte Antworten mit Zahlen bewertet und zu Indizes zusammengefasst. Z.B. wurde für alle sachlich richtigen, nonverbalen Voraussagen in Teil I des Fragebogens ein Punkt vergeben und daraus ein entsprechender Index gebildet, der maximal 8 Punkte beträgt. Analoge Indizes wurden für formal richtige Antworten, für formal richtige Kraftpfeile oder für Antworten, die sich einem definierten Erklärungsmuster, wie z.B. „in einem bewegten Körper steckt Kraft“ zuordnen lassen, gebildet (vgl. Abschnitt 4.4.1).

Werden diese kardinalen Merkmale mit nominalen Merkmalen wie z.B. Geschlecht verglichen, wird die oben (*Abbildung 4.3.6*) gezeigte Histogrammdarstellung verwendet. In diesem Fall lediglich ergänzt durch Angaben für Mittelwert und Standardabweichung der jeweils betrachteten Teilstichproben.

Ein Vergleich bivariater, kardinaler Datensätze untereinander erlaubt die Angabe eines Stichprobenkorrelationskoeffizienten r . Dieser ist eine Realisation des unbekanntes Parameters Korrelationskoeffizient ρ . Letzterer ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zwischen zwei Zufallsvariablen. Für bivariat normalverteilte Zufallsvariable x, y folgt aus $\rho = 0$ die stochastische Unabhängigkeit von x und y .

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad \text{mit} \quad -1 \leq r \leq 1$$

Mit den Schätzwerten der konkreten Stichprobe:

$$\text{Schätzwert:} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{für den Mittelwert} \quad E(x) = \mu$$

$$\text{Schätzwert:} \quad s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{für die Varianz:} \quad \sigma^2 = \text{var}(x) = E(x - \mu)^2$$

bzw. s für die Standardabweichung $\sigma = \sqrt{\text{var}(x)}$

$$\text{sowie} \quad s_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} \quad \text{für die Kovarianz} \quad \text{cov}(x, y) = E((x - \mu_x)(y - \mu_y))$$

erkennt man, das r als normierte Stichprobenkovarianz aufzufassen ist.

Neben anderen Ursachen für Scheinkorrelationen z.B. eine dritte versteckte Variable, die die beiden betrachteten beeinflusst, ergibt sich auch hier eine mögliche Scheinkorrelation (Inhomogenitätskorrelation) [SACH93], wenn zwei Gruppen gemeinsam betrachtet werden, in denen beide Merkmale stochastisch unabhängig sind und unterschiedliche Mittelwerte aufweisen.

Ferner sei darauf hingewiesen, dass der Korrelationskoeffizient abhängig ist von der Länge des Messbereiches. D.h. je länger der Messbereich ist, umso größer ist bei gleichen Streuungsverhältnissen r . Er ist daher für Vergleiche zwischen verschiedenen Methoden ungeeignet.

Für die Abbildung entsprechender Ergebnisse wird ein grafisches Verfahren, angelehnt an die Darstellung von Treitz [TREI85], gewählt (als Beispiel vgl. *Abbildung 4.4.3* in Abschnitt 4.4). Die jeweilige Randverteilung wird durch Histogramme symbolisiert, während die tatsächlich aufgetretenen Kombinationen durch farbige Quadrate, deren Fläche der absoluten Häufigkeit entspricht, dargestellt werden. Um ggf. Veränderungen gegenüber einer stochastischen Unabhängigkeit der betrachteten Merkmale zu verdeutlichen, wird auch die Feldbesetzung im gedachten unabhängigen Vergleichsfall durch quadratische Rahmen symbolisiert. Für eine optimale Platzausnutzung werden die Quadrate bzw. Rahmen auf den größten auftretenden Wert normiert. Neben dem Stichprobenkorrelationskoeffizienten r wird, falls die Nullhypothese H_0 : Stochastische Unabhängigkeit beider Merkmale auf dem 0,01 %-Niveau abgelehnt wird, dieses rechts oben angegeben. Die entsprechenden Werte zur Prüfung von r stammen aus einer Tabelle von Sachs [SACH93].

Die Aufgaben der verwendeten Programme veranschaulicht schematisch *Abbildung 4.3.7*. Für jede Versuchsperson (anonym durchnummeriert) wurden die Rohdaten in jeweils zwei Dateien (eine Datei enthält einen 130 Zeichen String für sofort codierbare Angaben (avps1.dat bis avps511.dat), die andere die Texte für die freiformulierten Antworten (avpf1.dat bis avpf511.dat)) mit den Eingabehilfen (Programme ROHDAT1.PAS bis ROHDAT11.PAS) gespeichert. Das erleichtert bei ggf. fehlerhafter manueller Dateneingabe, eine spätere Korrektur. Ein Programm, das die Daten konvertiert (Programm KONVERT1.PAS) erzeugt daraus für jede VP eine neue Datei (avp1.dat bis avp511.dat, die Dateien enthalten jeweils 220 Integerzahlen, einige davon Leerstellen), die alle vom Auswerteprogramm benötigten Informationen enthält. Die Daten der freiformulierten Antworten werden (sofern codierbar) durch ein weiteres Programm (KONVFFAW.PAS) in die vorhandenen Leerstellen eingefügt. Die Bildung von Antwortklassen bei diesen Fragen erfolgte manuell mit Hilfe eines Texteditors. Die Codierung der einzelnen Merkmale (Zusammenfassung von Antworten, Indexpunkte, Zugehörigkeit zu einer bestimmten Teilstichprobe hinsichtlich persönlicher Daten oder bestimmter physikalischer Antwortkriterien usw.) ist damit abgeschlossen.

Für die eigentliche Auswertung kommen anschließend verschiedene Programme (z.B. AUSWCDA1.PAS, AUSWCDA2.PAS und AUSWFFA.PAS) bzw. Unterprogramme zum Einsatz, die einzelne Ergebnisse in den oben genannten Versionen (Balkendiagramme, Vierfeldertafeln, Korrelationsdiagramme, usw.) als Bilddatei ausgeben. Für einige Darstellungen im Grafikmodus wurde freundlicherweise ein von N. Treitz entwickeltes Unterprogramm zur Verfügung gestellt.

Mögliche Assoziationen zwischen zwei Merkmalen wurden mit Hilfe von weiteren (in *Abbildung 4.3.7* nicht dargestellten) Programmen, die alle sinnvollen Kombinationen zwischen zwei Antworten bzw. einer Antwort und einem persönlichem Merkmal durchgehen, untersucht.

Weitere Programme dienten zur Überprüfung der korrekten Funktion. Z. B. wurden die Auswerteprogramme mit künstlich vom Zufallsgenerator gewürfelten „Antworten“ getestet.

4.4 Die Ergebnisse der Haupterhebung

4.4.1. Durch Indexbildung zusammengefasste Fragenkomplexe

Vor der Betrachtung einzelner Fragen bzw. Fragenkombinationen in den folgenden Abschnitten, soll an dieser Stelle zunächst auf den allgemeinen Zusammenhang zwischen nonverbaler Voraussagekompetenz und der Fähigkeit zu sprachlich bzw. formal richtiger Beschreibung, wie er sich durch die Trennung des Fragebogens ergibt, eingegangen werden. Die beiden Merkmale werden durch die beiden Indizes *SRV*:= „*Sachlich richtige Voraussage*“ und *FRB*:= „*Formal/sprachlich richtige Beschreibung*“ erfasst. Sie entsprechen jeweils der Anzahl richtig beantworteter Items in den zugehörigen Teilen des Fragebogens. Erwartungsgemäß erreicht die L-Gruppe sowohl beim Index *SRV* (vgl. *Abbildung 4.4.1*) als auch beim Index *FRB* (vgl. *Abbildung 4.4.2*) etwas niedrigere mittlere Punktzahlen als die P-Gruppe.

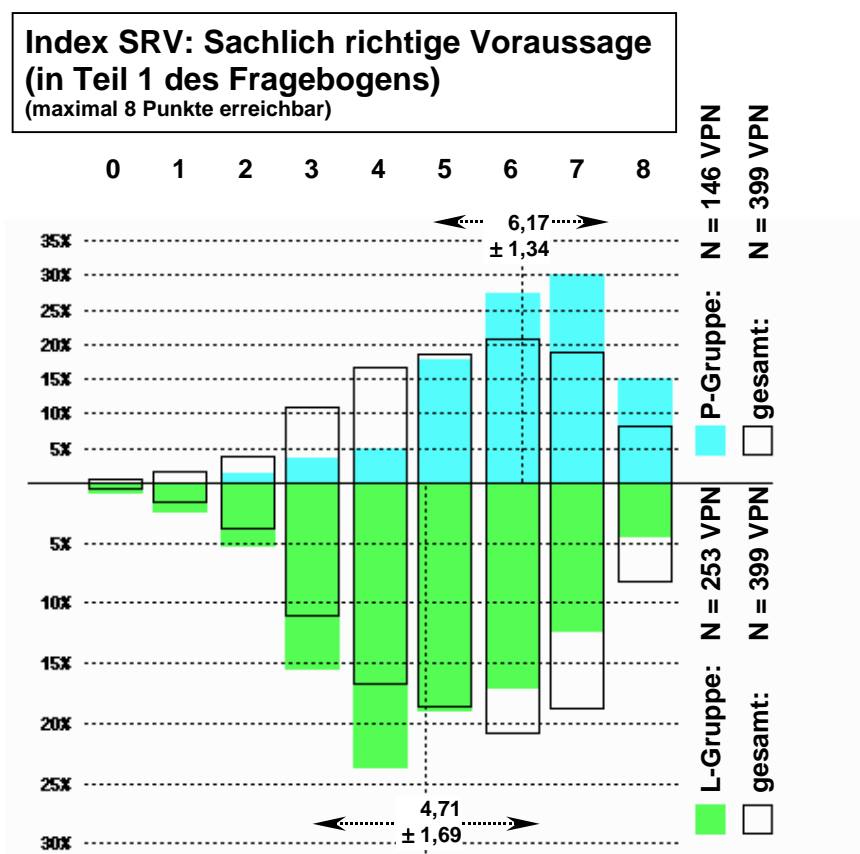


Abbildung 4.4.1

Die Abhängigkeit der im Index *SRV* erreichten Punktzahl von der phys. Vorbildung der VPn.

Da nicht alle Items in diesem Sinne eindeutig sachlich bzw. formal richtige Lösungen besitzen, können im ersten Teil des Fragebogens maximal 8 Punkte (Frage 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9a und 9b) sowie im zweiten Teil maximal 10 Punkte (Frage 12, 13, 14, 15, 16.1, 16.3, 16.7, 16.9, 16.10 und 16.11) erreicht werden. Bei einigen Unterpunkten (16.7, 16.9, 16.10, 16.11) von Frage 16 wurde die im Schulbuch übliche Formulierung „Kraft ausüben“ als formal richtige Beschreibung gewertet. Auf welchen Wechselwirkungspartner sich die Beschreibung dabei bezieht, muss offen bleiben. Somit erreichen VPN, die der Meinung sind, dass alle genannten Dinge „Gravitationskraft ausüben“ ebenfalls volle Punktzahl.

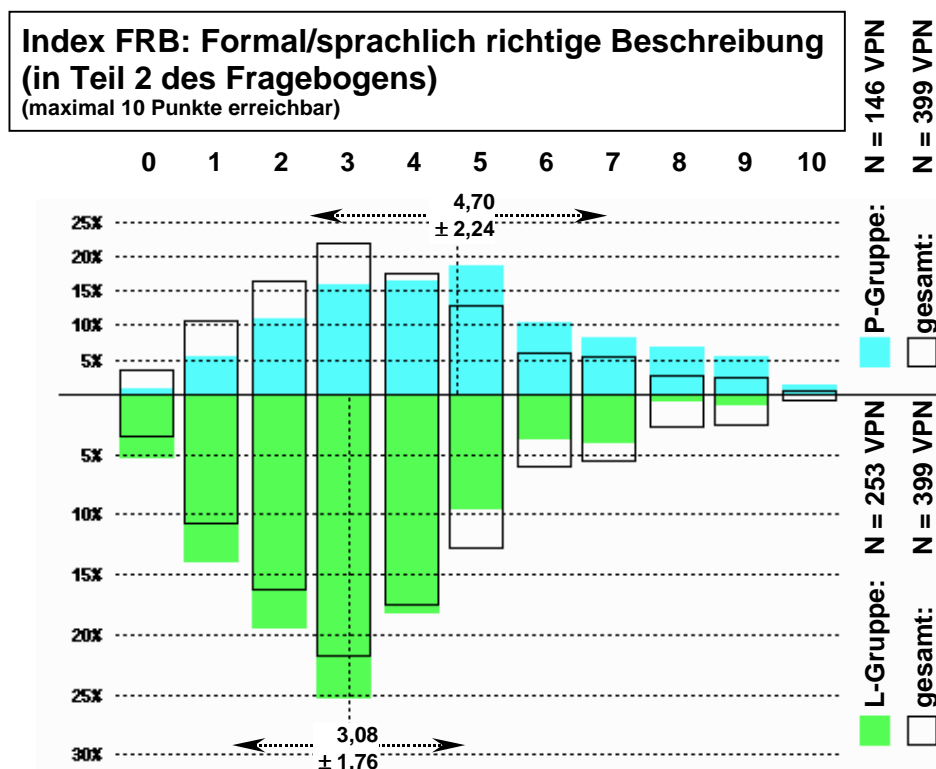


Abbildung 4.4.2

Die Abhängigkeit der im Index FRB erreichten Punktzahl von der phys. Vorbildung der VPN.

Ein direkter Vergleich, in welchem Maße die beiden Merkmale von der physikalischen Vorbildung der VPN abhängig sind, ist durch die unterschiedliche Skalierung nicht möglich, dennoch fällt auf, dass bei allen Teilstichproben der Mittelwert, bezogen auf die maximal mögliche Punktzahl, im formalen- bzw. sprachlichen Teil deutlich niedriger liegt als bei den nonverbalen Voraussagen. Es ist anzunehmen, dass die versteckte Variable: „Physikalische Vorbildung“ auch innerhalb der diesbezüglich homogeneren Teilstichproben P- und L-Gruppe eine Rolle spielt. Die zwei folgenden *Abbildungen* (4.4.3 und 4.4.4) zeigen, dass beide Indizes innerhalb der Teilstichproben auf dem 0,1%-Niveau miteinander korreliert sind.

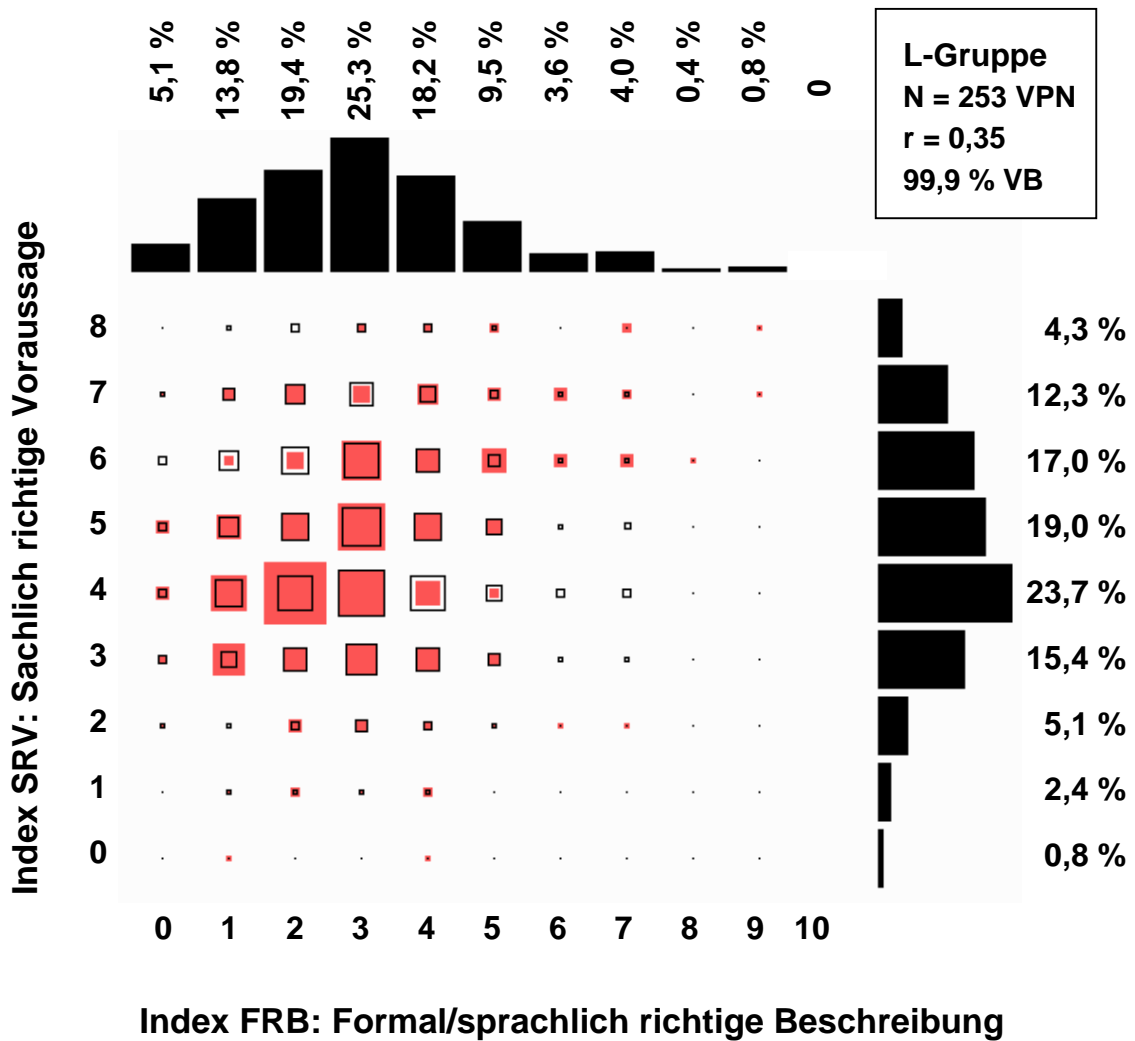


Abbildung 4.4.3

Der Zusammenhang zwischen den Indizes SRV und FRB für die L-Gruppe.

Wären die VPN auch ohne Kenntnis der Fachsprache in der Lage physikalische Sachverhalte korrekt vorherzusagen, sollte man eher eine statistische Unabhängigkeit beider Merkmale erwarten. D.h. die These, dass lediglich die Fachsprache missverstanden wird, lässt sich durch dieses Ergebnis nicht bestätigen. Etwas anderes ist der Einfluss der Fachsprache auf das Verstehen von Physik. Obwohl aus der Korrelation der beiden Indizes nicht auf einen kausalen Zusammenhang geschlossen werden darf, ist es durchaus denkbar, dass die Fachsprache Misskonzepte verursacht oder verstärkt, die sich dann in niedrigerer Voraussagekompetenz der VPN äußern.

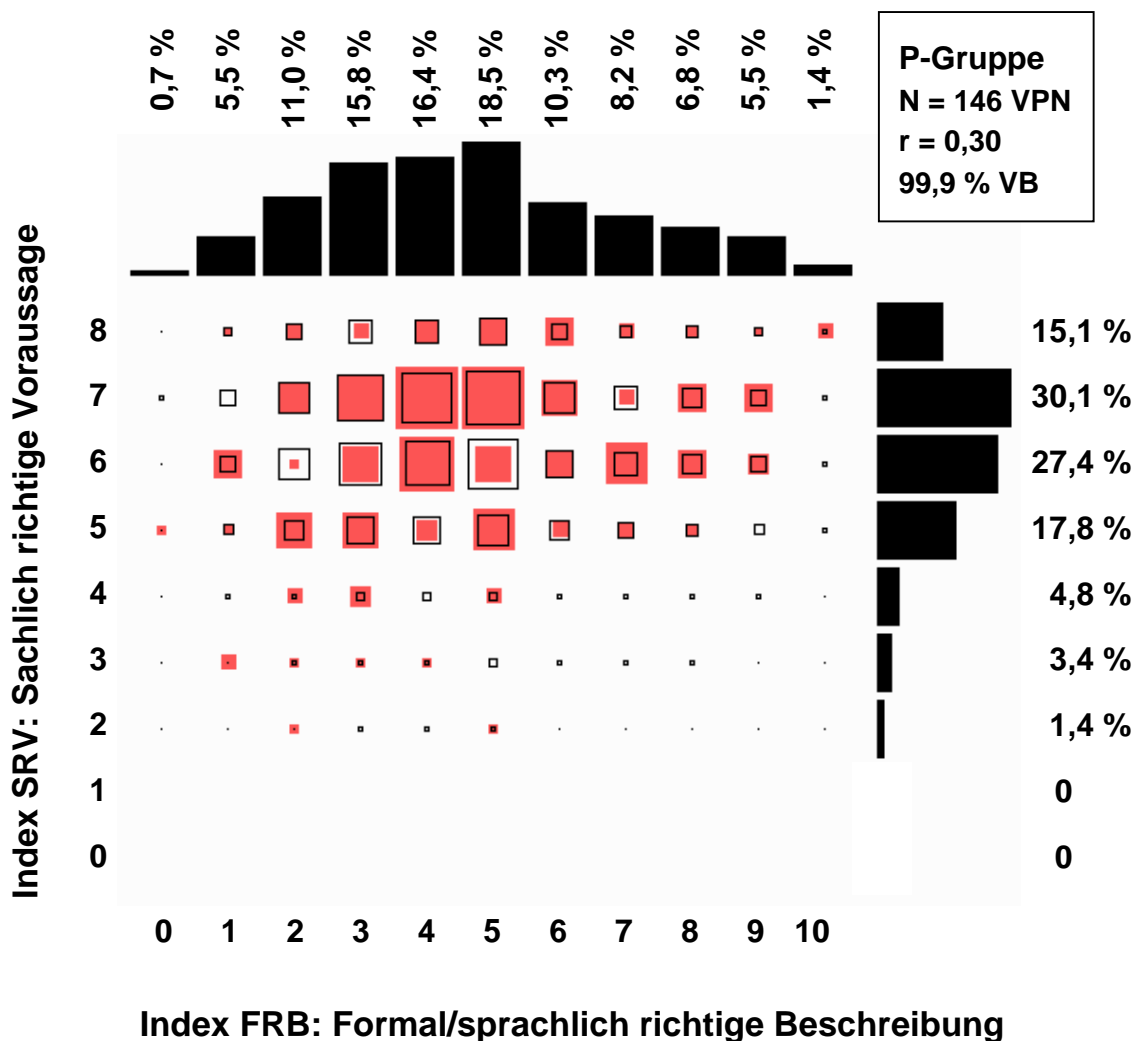


Abbildung 4.4.4

Der Zusammenhang zwischen den Indizes SRV und FRB für die P-Gruppe.

Mittlerweile sind eine Reihe spezieller Fehlvorstellungen zum Kraftbegriff aus vielen Schülerinterviews und Unterrichtsbeobachtungen bekannt. Die festgestellten einzelnen Vorstellungen wurden zu einigen übergeordneten Prinzipien „Fehlkonzepten“ geordnet und bereits Tests, wie beispielsweise der Force Concept Inventory (FCI) entwickelt (vgl. Abschnitt 2.3.1), die es dem Lehrer ermöglichen, auf entsprechende Konzepte einzugehen. Zwei wesentliche Kategorien der Alltagsvorstellung von Kraft werden im FCI unter den Oberbegriffen „Impetus“ und „Aktive Kraft“ zusammengefasst. Mit „Impetus“ wird die Nähe dieser Schülervorstellungen zur mittelalterlichen Impetustheorie (vgl. Abschnitt 2.3.2) beschrieben. Während sich „Aktive Kraft“ auf aktive, d.h. in der Hauptsache bewegte Körper bezieht, die die Fähigkeit haben, Impetus zu erzeugen bzw. auf andere Körper zu übertragen.

Schecker [SCHE85] unterscheidet das Präkonzept „Kraft als allgemeine Wirkfähigkeit“ (P3) mit den Unterpunkten „Bewegte Körper haben Kraft“ (P3-1), „In Richtung der Bewegung wirkt eine Kraft (P3-2)“ bzw. „Bewegung in Richtung der Resultierenden“ (P3-3) vom Präkonzept „Kraftausübung als Aktivität“ (P4) „Nur aktive, d.h. bewegte, gespannte und belebte Körper können Kraft ausüben, Passive Körper leisten Widerstand“.

Offensichtlich bereitet es ähnliche Schwierigkeiten diese beiden Arten des Kraftverständnisses bei bewegten Körpern gegeneinander abzugrenzen, wie der Versuch einer alltagstheoretischen Abgrenzung zwischen den Begriffen kinetische Energie und Impuls. Obwohl der Clusterbegriff „Kraft“ Aspekte der physikalischen Begriffe Druck, Impuls und Leistung enthält, ist seine Nähe zum Energiebegriff unbestritten. Die Befragten verwenden den Begriff bei ihren freiformulierten Sätzen (vgl. die Ergebnisse zu Frage 10 unter 4.4.2.3) häufig als Eigenschaft (Kraft „haben“, „kosten“, „geben“, „zufügen“) oder als selbständiges Ding („Kraft ist Bewegung“, „Mit Kraft wird etwas getan“). „Beide Kategorien liegen dem phys. Energiebegriff näher als dem Newtonschen Kraftbegriff“ [SCHE85]. In Abschnitt 2.3 wurden bereits Parallelen dieser Sichtweise zur historischen Genese der fachwissenschaftlichen Begriffe Kraft und Energie angesprochen. Schecker weist jedoch auch darauf hin, dass nicht einfach unterstellt werden darf, dass Schüler mit dem physikalischen Energiebegriff arbeiten und lediglich ein anderes Begriffswort verwenden.

„Es ist ein zentrales Ergebnis der Untersuchung von Präkonzepten zum Kraftbegriff, dass ein isoliertes Verständnis des Kraftbegriffs ebensowenig möglich ist wie des Energiebegriffs, da Elemente beider physikalischer Konzepte im Clusterbegriff „Kraft“ ineinander verwoben sind. Im Vorverständnis der Schüler werden bei Behandlung des Newtonschen Kraftbegriffs immer auch Elemente des Clusterbegriffs aktiviert, die eher zum Energiebegriff passen. Kraft und Energie werden als physikalische Begriffe nicht nacheinander sondern, wenn überhaupt, nur in einem längeren Prozess gegenseitiger Abgrenzung gebildet.“ [SCHE85, S282]

Da bei der vorliegenden Untersuchung die Bedeutung des Wortes „Kraft“ im Mittelpunkt steht, wurde eine etwas andere Kategorisierung der Bereiche „Aktivitätsschema“ sowie „Impetusschema“ gewählt. Obwohl Gemeinsamkeiten mit den o.g. Kategorien bestehen, entsprechen sie ihnen nicht völlig. Sie werden daher mit den neutralen Bezeichnungen A-Index bzw. I-Index versehen. Da ein bewegter Körper vom Standpunkt des ruhenden Beobachters aus kinetische Energie und Impuls „enthält“ und Impuls eine Erhaltungsgröße ist, wurde ein „I-Index“ definiert, der die in *Tabelle 4.4.1* genannten Aspekte umfasst. Der Aspekt des Impetusverbrauchs in der historischen Impetustheorie, der in Frage 16a angesprochen wird „Wenn eine Kraft eine Zeitlang gewirkt hat verbraucht sie sich“, wurde nicht in dieses Schema integriert, da er der Erhaltungseigenschaft widerspricht. Dass Frage 16a für die L-Gruppe offensichtlich nichts mit dem hier gebildeten I-Index zu tun hat, zeigt *Abbildung 4.4.5*.

Frage 12 Kraftpfeile beim schrägen Wurf	Lösung 3, sonstige	1 Punkt
	Lösung 4, 5, 7, 8	2 Punkte
	Lösung 6, 9	3 Punkte
Frage 16b Ohne Kraft keine Bewegung	Lösung „stimmt“	1 Punkt
Frage 16c Ein Körper bewegt sich nur solange eine Kraft auf ihn einwirkt	Lösung „stimmt“	2 Punkte
Frage, ob die genannten Dinge/Lebewesen Kraft „haben“, Kraft „ausüben“, „beides“, „weder/noch“ Frage 16d Ruhende Billardkugel <u>und</u> Frage 16e Laufende Billardkugel	Lösung „weder/noch“ <u>und</u> Lösungen „haben“, „beides“	2 Punkte
Maximal mögliche Punktzahl		8 Punkte

Tabelle 4.4.1

Lösungen, die Beiträge zum I-Index liefern, bei denen „Kraft“ im Sinne von Impuls oder kinetischer Energie verwendet wird.

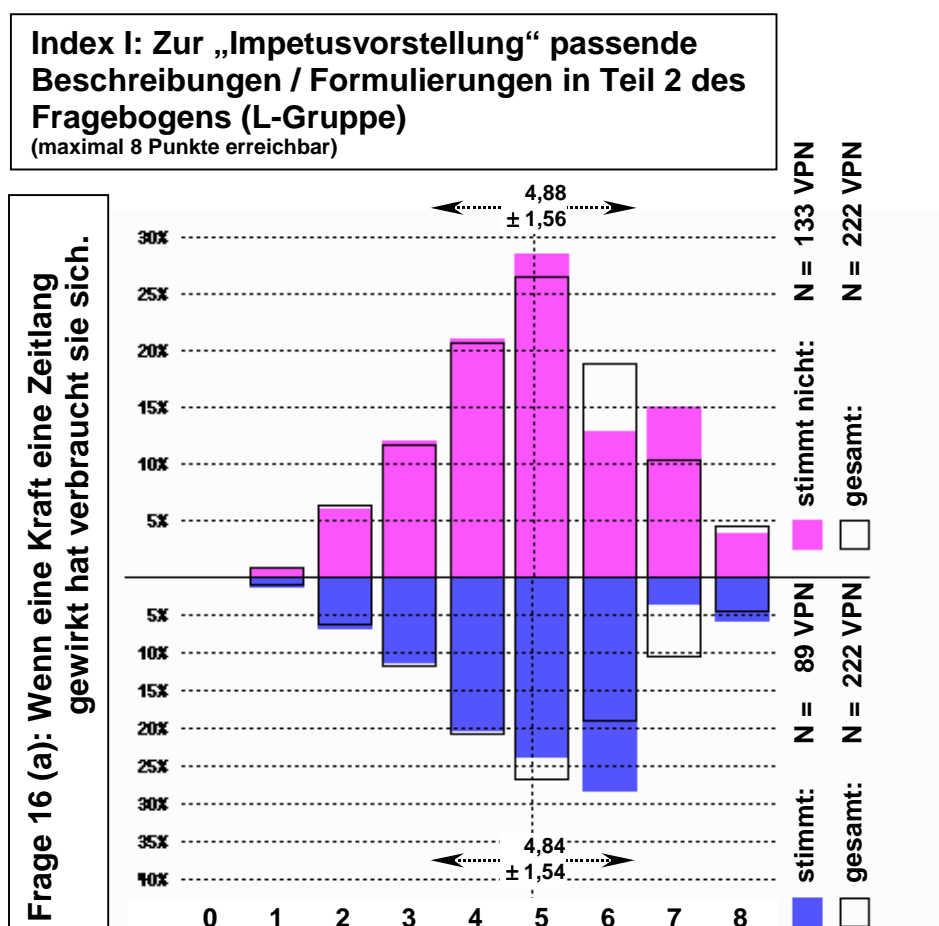


Abbildung 4.4.5

Zusammenhang zwischen I-Index und Frage 16a. Berücksichtigt sind nur VP der L-Gruppe, die auf Frage 16 a eine eindeutige Antwort gaben.

Damit beschreibt das Schema nur Lösungen, in denen das Wort „Kraft“ im Sinne von Impuls oder kinetischer Energie verwendet wird. Diese beiden Begriffe lassen sich qualitativ schwer trennen, da erst der Vektorcharakter des Impulses sowie die quadratische Geschwindigkeitsabhängigkeit der Energie dies ermöglicht. Mit umgangssprachlichen Begriffen wie Schwingung oder Wucht oder einer qualitativen je-desto-Beziehung (Je größer die Geschwindigkeit desto...) kann immer beides gemeint sein. Bei den formalen bzw. sprachlichen Beschreibungen verwendet die L-Gruppe häufiger dieses Schema, wie *Abbildung 4.4.6* zeigt.

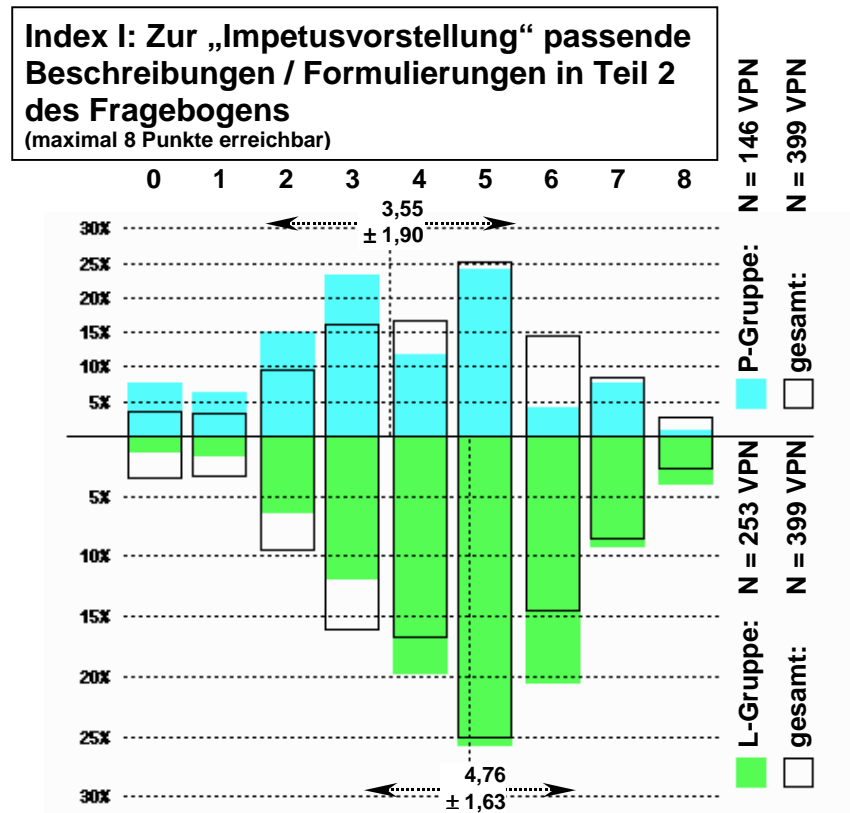


Abbildung 4.4.6

Die Abhängigkeit der im I-Index erreichten Punktzahl von der phys. Vorbildung der VPn.

Daraus ergeben sich für diese Gruppe jedoch kaum Nachteile, was ihre Voraussagekompetenz in Teil 1 des Fragebogens anbelangt, wie der schwache Zusammenhang zwischen dem SRV- und dem I-Index in *Abbildung 4.4.7* zeigt. Das negative Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten deutet zwar auf einen negativen Einfluss des im I-Index erfassten Schemas hin, die Streuung ist jedoch so breit, dass der Zusammenhang nicht signifikant ist. Die Streuung wird noch breiter ($r = -0.006$), wenn der Punkt für die korrekte Antwort auf Frage 6 aus dem SRV-Index entfernt wird. Eine häufige falsche Voraussage bei dieser Frage passt zur Vorstellung eines „Zirkular-Impetus“, d.h. der Beibehaltung einer Bahnkrümmung nach Wegfall der Zentripetalbeschleunigung (vgl. Kapitel 4.4.2.1.2).

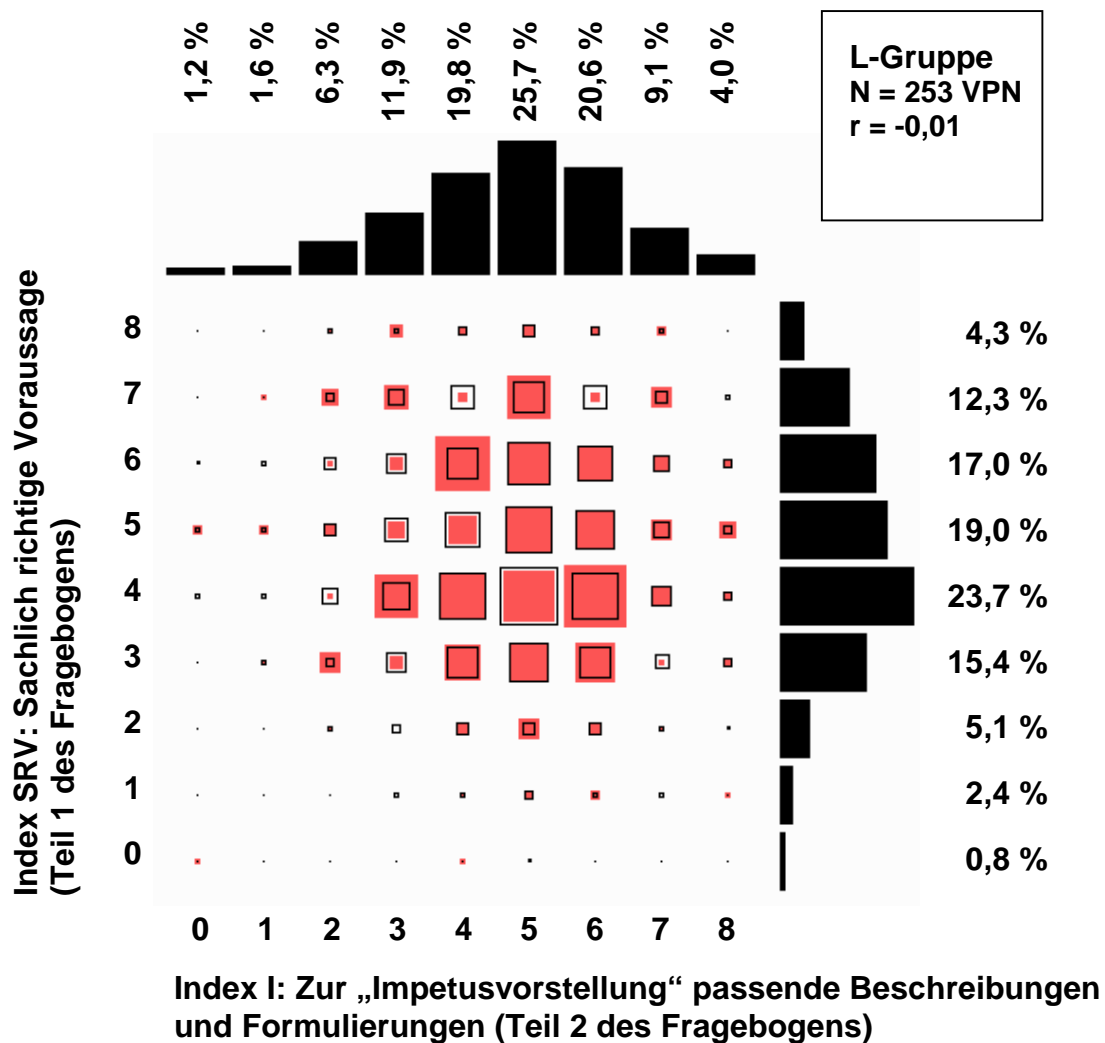


Abbildung 4.4.7

Der Zusammenhang zwischen dem SRV- und dem I-Index für die L-Gruppe.

Auf eine analoge Darstellung des Zusammenhangs für die P-Gruppe wird verzichtet. Bei ihr tritt ebenfalls ein (auf dem 5%-Niveau nicht signifikanter) negativer Korrelationskoeffizient auf, die Streuung ist jedoch etwas geringer ($r = -0,11$) als bei der L-Gruppe.

Werden aus der Fülle von Bedeutungen des Wortes „Kraft“ die durch den I-Index abgedeckten abgetrennt, bleiben u.a. die physikalischen Bedeutungen potentielle Energie (z.B. als gespeicherte Energie in Lebewesen) oder Leistung (z.B. als räumliche Zuordnung des Energietransports vom Energiespeicher zum „Verbraucher“) übrig. Aus entsprechenden Lösungen wurde der „A-Index“ definiert, der im Wesentlichen asymmetrische Kraftkonzepte zusammenfasst. Die Items in denen lediglich Kraftpfeile zuzuordnen sind, lassen für sich genommen keine Interpretation über die Richtung der Asymmetrie zu. Z.B. ist die Vorstellung denkbar, dass ein „aktiver“ Magnet ein „passives“ Eisenstück beschleunigt, also eine Kraft dominiert. Ob diese nun dem vermeintlich bewegten oder dem „bewegenden“ Objekt zugeordnet wird, müsste durch weitere Items geklärt werden (Vgl. Diskussion in Kapitel 4.4.2.1.3). Dem A-Index wurden Lösungen gemäß *Tabelle 4.4.2* zugeordnet:

Frage 13	Lösungen 2, 3	1 Punkt
Kraftpfeile bei Magneten verschiedener Masse	Lösungen 4, 5	2 Punkte
Frage 14	Lösungen 2, 3	1 Punkt
Kraftpfeile Eisenstück und Magnet	Lösungen 4, 5	2 Punkte
Frage 15	Lös. 2, 5, 10, 11	1 Punkt
Kraftpfeile bei angebundenem Hund	Lösungen 3, 4	2 Punkte
Frage, ob die genannten Dinge/Lebewesen Kraft „haben“, Kraft „ausüben“, „beides“, „weder/noch“		
Frage 16d Ruhende Billardkugel <u>und</u> Frage 16e Laufende Billardkugel	Lösung „weder/noch“ <u>und</u> Lösungen „ausüben“, „beides“	1 Punkt
Frage 16f parkendes Auto <u>und</u> Frage 16g anfahrendes Auto	Lösung „haben“ <u>und</u> Lösungen „ausüben“, „beides“	1 Punkt
Frage 16h schlafendes Pferd <u>und</u> Frage 16i Pferd, das Fuhrwerk zieht	Lösung „haben“ <u>und</u> Lösungen „ausüben“, „beides“	1 Punkt
Frage 16j gespannte Wäscheleine <u>und</u> Frage 16k Haken, zwischen denen ... hängt	Lösungen „haben“, „ausüben“, „beides“ <u>und</u> Lösung „weder/noch“	1 Punkt
Maximal mögliche Punktzahl		10 Punkte

Tabelle 4.4.2

Lösungen, die Beiträge zum A-Index liefern, bei denen „Kraft“ im Sinne von Leistung oder potentielle Energie verwendet wird.

Die *Abbildung 4.4.8* zeigt zunächst, dass bei einer Mehrheit der Befragten formal falsche Lösungen nach dem A-Index vorkommen. Physikalisch stärker vorgebildete Personen erreichen bei diesem Index jedoch im Mittel 1,4 Punkte weniger als die VPN der L-Gruppe.

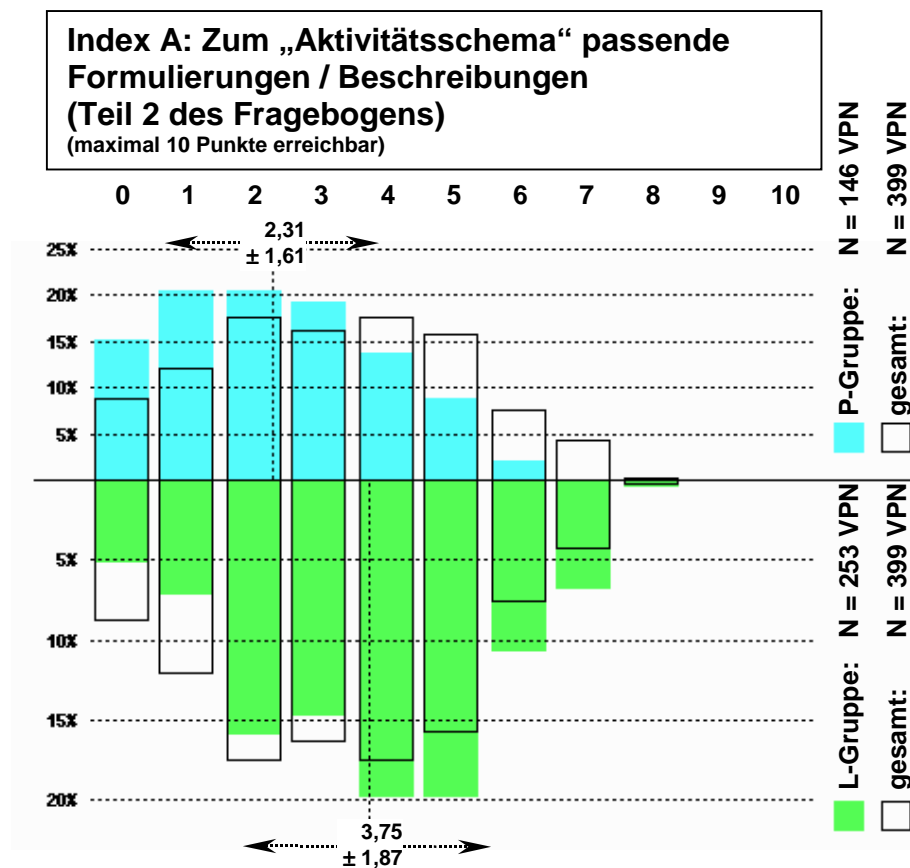


Abbildung 4.4.8

Die Abhängigkeit der im A-Index erreichten Punktzahl von der phys. Vorbildung der VPN.

Der Unterschied beruht hauptsächlich auf asymmetrischen Kraftpfeilen in Situationen (Frage 14 und 15), in denen ein „aktiver“ Wechselwirkungspartner (Magnet, Hund) vorkommt (vgl. Abschnitt 4.4.2.1.3). Solche Lösungen wurden besonders häufig von VPN der L-Gruppe gewählt. Eine asymmetrische Beschreibung auf der sprachlichen bzw. formalen Ebene (A-Index) korreliert bei beiden Teilstichproben signifikant (P-Gruppe: $r = -0,16$, L-Gruppe: $r = -0,26$) mit einer geringeren Voraussagekompetenz (SRV-Index). Für die L-Gruppe zeigt dies *Abbildung 4.4.9*.

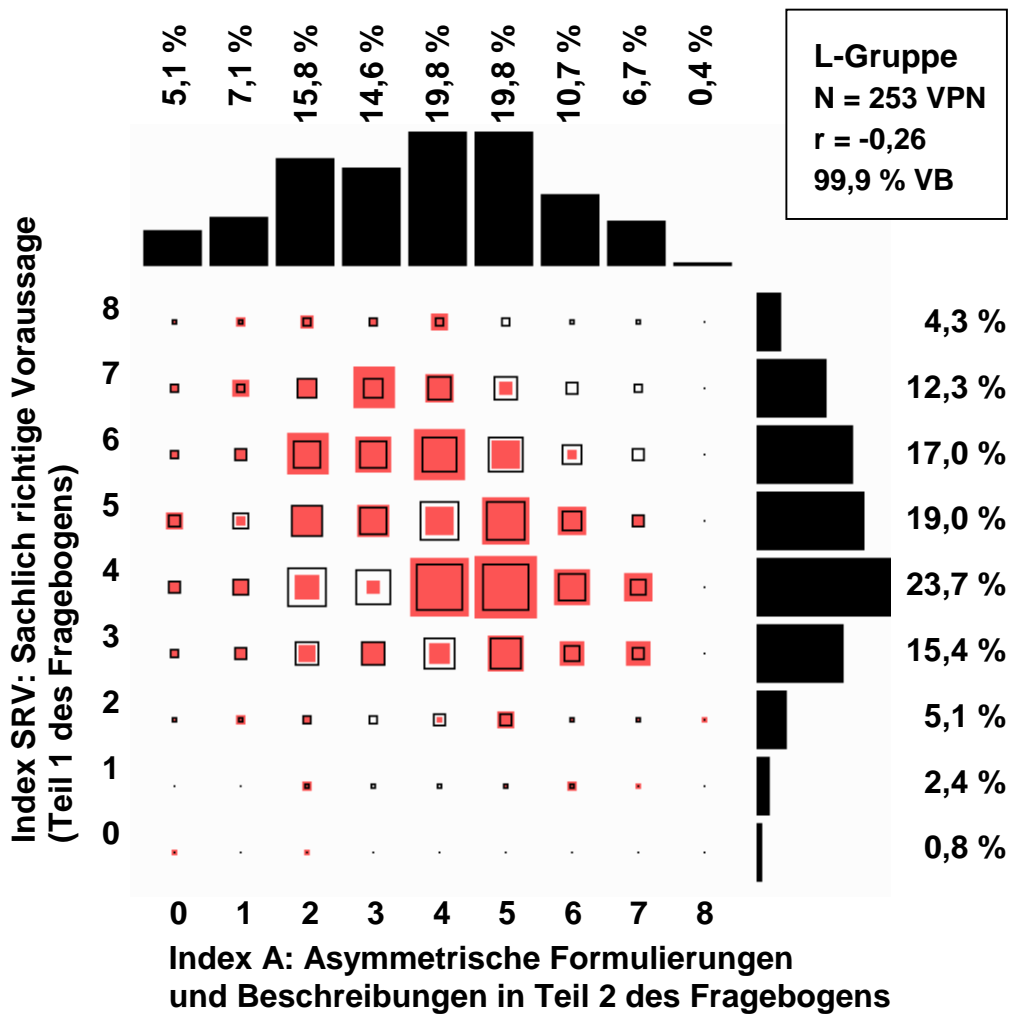


Abbildung 4.4.9

Der Zusammenhang zwischen dem SRV- und dem A-Index für die L-Gruppe.

4.4.2 Einzelergebnisse

4.4.2.1 Dynamik

4.4.2.1.1 Situationen in denen nur ein Partner der Wechselwirkung betrachtet wird.

A: Voraussage von beobachtbaren Sachverhalten zum Thema Wurf und Reibung:
Fragen 1 und 4

Es ist eine Alltagserfahrung, dass alle in unserer unmittelbaren Umwelt angestoßenen Bälle und Wagen irgendwann infolge von Reibung stehen bleiben. Andererseits ist aus dem Vorlauftest bekannt (vgl. Anhang B.2, S B12), dass dort fast alle (99%) befragten Studienanfänger eine teilweise vorgegebene Flugbahn ungefähr parabelförmig weiterzeichneten. Da die Symmetrie einer solchen Bahnkurve vom Zeichentalent der VPN abhängt, lässt sich nichts darüber aussagen, welchen Einfluss Reibungs- oder Impetusvorstellungen auf die genaue Kurvenform haben. Auch lässt sich damit nicht herausfinden, ob hier z. B. an die Überlagerung einer unbeschleunigten mit einer beschleunigten Bewegung gedacht wird. Dieser Aspekt wird durch Frage 1 abgedeckt. Im formalen Teil des Fragebogens sollen die VPN dann später eine entsprechende Situation mit Hilfe von Kraftpfeilen beschreiben. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten sind aus einer Vielzahl von Untersuchungen bekannt. Jüngstes Beispiel ist das schlechte Abschneiden von Schülern der Sekundarstufe II bei einer ähnlichen Aufgabe aus der TIMS-Studie [TIMS95]. Dort sollten Beschleunigungspfeile in eine vorgegebene Bahnkurve eingezeichnet werden. Die Fragen 1 und 4 bieten beobachtbare Sachverhalte zu dieser Thematik an. Weiterhin soll Frage 4 etwas darüber verraten, welche Rolle die Reibung bei der Voraussage entsprechender Bahnen spielt. In Kombination mit Frage 1 sollte herausgefunden werden, ob solche Voraussagen mit der Voraussage des Auftreffpunktes und der Relativgeschwindigkeit in einer anderen Situation konsistent sind.

Die bildliche Darstellung zwingt zu einem Kompromiss. Einerseits sollen die möglichen Lösungsalternativen klassifizierbar sein, um eine Auswertung zu ermöglichen, die über die bloße Feststellung eines Einzelergebnisses hinausgeht. Andererseits richtet sich der Fragebogen auch an „Laien“. Deshalb ist es sinnvoll, einige der zur formalen Lösung evtl. nötigen Abstraktionen in der Darstellung zu vermeiden, um einen gewissen Alltagsbezug aufrechtzuerhalten. Frage 1 ist in diesem Sinn unglücklicherweise etwas zu realitätsnah gestellt. Somit sind fast alle vorkommenden Voraussagen zum Auftreffpunkt der Tüte denkbar. Zumal die Zeichnung von „Kalle“ suggeriert, dass die Tüte, während er mit den Armen schaukelt, im hinteren Umkehrpunkt reißt. Deshalb ist für die Tüte auch eine Geschwindigkeitskomponente $V_x = 0$ nach rechts möglich, d.h. die Tüte fällt senkrecht. Falls das Reißen beim Schwungholen für das Loslaufen passiert, könnte sogar $V_x < 0$ vorkommen. Zudem besitzt die Figur „Kalle“ eine räumliche Ausdehnung in waagerechter x-Richtung von

3 bis 4 Feldern. Wenn man die Position von Kalle ungefähr in seinem Schwerpunkt ankreuzt, ist x_{Kalle} immer rechts von $x_{Tüte}$, da die Position der Tüte durch ein Feld genau zu bestimmen ist. D. h. Tüte und Kalle könnten an der gleichen x-Position angenommen werden, solange gilt $x_{Kalle} - x_{Tüte} = 3$ Felder. Aus diesem Grund wurde bei der Bildung der Antwortklassen eine „Unschärfe“ berücksichtigt. Sie trennt z.B. die Fälle, bei denen die Tüte deutlich hinter Kalle zurückbleibt von denen, die möglicherweise durch „unscharfes“ Ankreuzen zustande kamen. Selbst wenn man Schaukelbewegungen der Tüte vor dem Riss, Wind und Luftreibung vernachlässigt, wäre es immer noch denkbar, dass sich die Geschwindigkeit von Kalle erhöht, weil er jetzt weniger zu tragen hat. Man darf hier also entsprechende Lösungen, die Alltagserfahrungen nahe legen, nicht als falsch werten. In diesem Zusammenhang gehört die Voraussage Nr. 5: „Tüte und Kalle kommen *genau* gleich weit nach rechts“, aufgrund ihrer starken Abstraktion, eigentlich schon in den *formalen* Teil des Fragebogens. Aus diesem Grund wurde diese Frage bei der Bildung des Index für „Sachlich richtige Voraussage“ im vorangegangenen Abschnitt weggelassen.

Wie die *Abbildung 4.4.10* zeigt, gelingt es einem weitaus größeren Personenkreis innerhalb der P-Gruppe (40,4 %) die Situation durch die „physikalische Brille“ zu sehen, als das in der L-Gruppe (7,1 %) der Fall ist. Offensichtlich führt der Physikunterricht hier dazu bestimmte Abstraktionen und Näherungen durchzuführen, obwohl in der Fragestellung z.B. die Aufforderung von Reibung abzusehen gar nicht enthalten war. Das ist insofern bemerkenswert, weil es auf eine Sichtweise der „Fachleute“ hinweist, die u.U. auch eine symmetrische Wurfparabel annehmen, wenn die Bahnkurve aus ihrer Perspektive vielleicht ganz anders aussah.

„PhysikerInnen müssen das meiste übersehen und dürfen nur das sehen, was die physikalische Theorie zu sehen erlaubt. Hat man die physikalische Sehweise erst einmal angenommen, so ist es allerdings möglich, das so Ausgewählte mit mathematischer Präzision zu erfassen.“ [SCHL96]

Umso erstaunlicher ist es dann, dass die meisten VPN, die diesen Sachverhalt korrekt voraussagen, dennoch nicht in der Lage sind, dafür im späteren Teil des Fragebogens korrekte Kraftpfeile (Frage 12) anzugeben. Der Vergleich aller Antwortalternativen mit dem Merkmal „P-Status“ zeigt aber auch, dass bei der ebenfalls vernünftigen Antwort Nr.4: „Tüte und Kalle bewegen sich nach rechts, dabei bleibt die Tüte etwas hinter Kalle zurück“ praktisch kein Unterschied zwischen P- und L-Gruppe besteht. Obwohl letztere vermutlich kaum auf gelernte Modelle (Superposition von Geschwindigkeiten, Umgang mit Koordinatensystemen) zurückgreifen können.

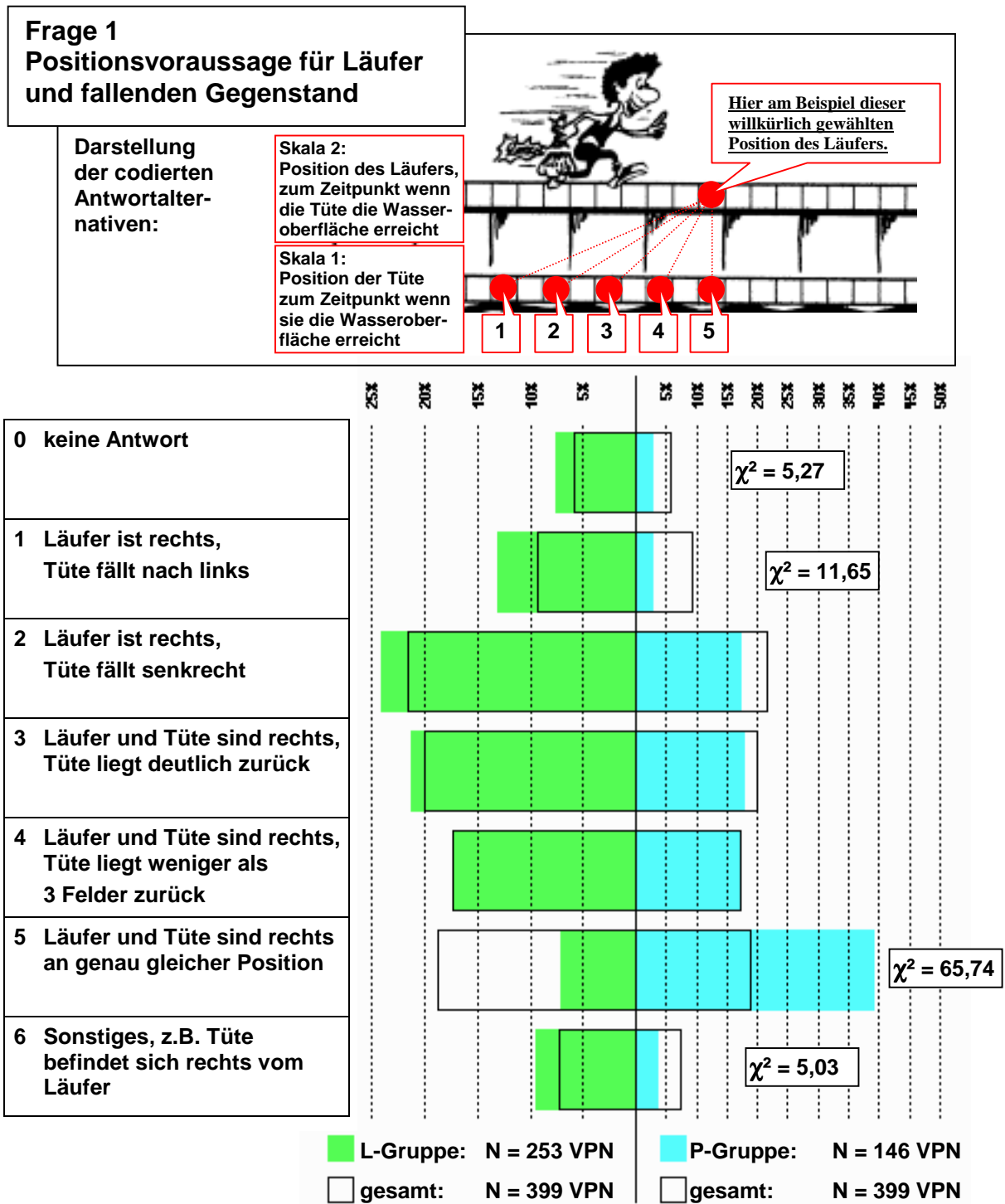


Abbildung 4.4.10

Die Antworten auf Frage 1 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Wie aus *Abbildung 4.4.11* ersichtlich, wählt ein Großteil der Befragten (93,1 % in der P-Gruppe, 77,1 % in der L-Gruppe) korrekte Bahnvoraussagen (Nr. 1, 5 und 7) in Frage 4. Dabei spielt es natürlich eine Rolle, ob die VPN diese Sachverhalte aus ihrer Alltagserfahrung kennen. Deshalb wurde vermutet, dass VPN, die entsprechende Sportarten betreiben oder viel Sportveranstaltungen sehen, bei der Beurteilung parabelförmiger Bahnkurven im Vorteil sind. Jemand, der bei der Betrachtung der Bahnen in Frage 4 über kein derartiges Konzept verfügt, muss sich die Bahnkurve aus den Informationen der Abbildung erschließen. Eine physikalisch sinnlose, aber gut zur Körperhaltung von „Kalle“ passende Bahnkurve ist die Bahn Nr. 2. Der exponentielle Bahnanfang ist die harmonische Fortsetzung seiner Armhaltung. Diese Lösung wurde dann auch als dritthäufigste Antwort gewählt (12,1 %) und zwar signifikant häufiger (5%-Niveau) von weiblichen VPN (vgl. *Abbildung 4.4.12*).

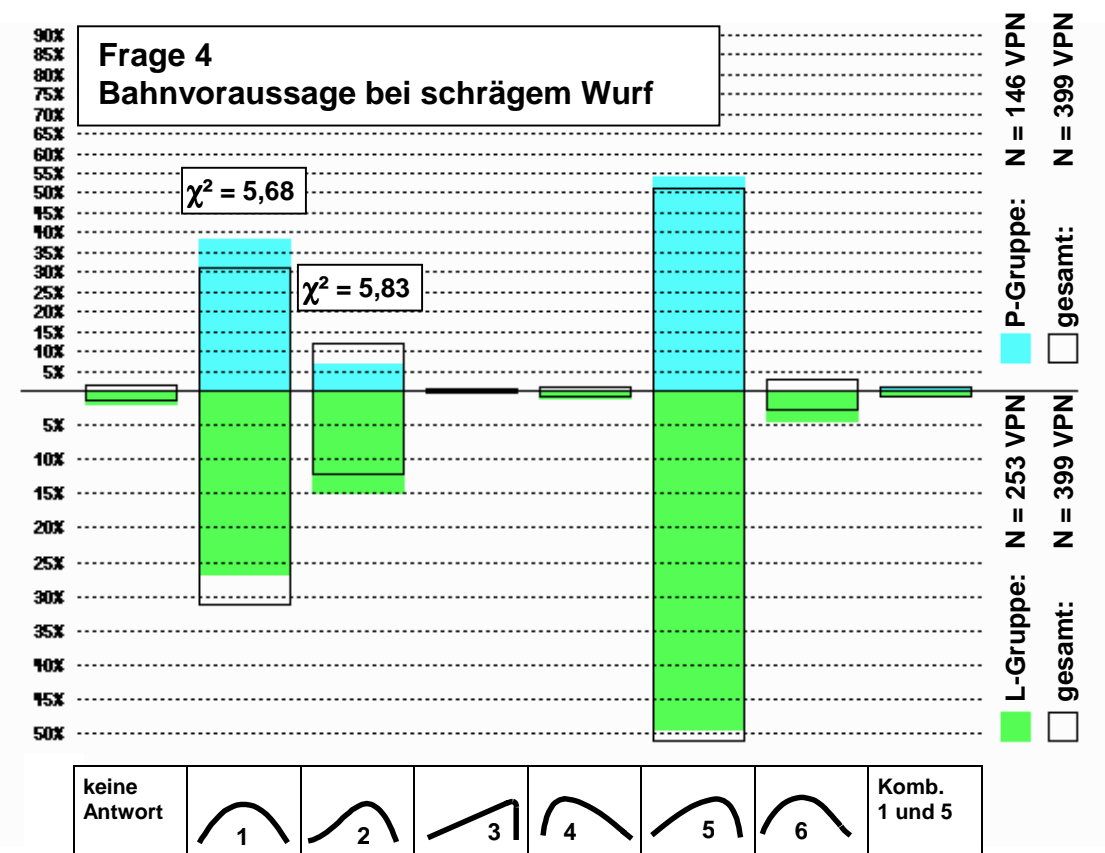


Abbildung 4.4.11

Die Antworten auf Frage 4 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Im Gegensatz dazu wählte nur eine VP die zur Impetustheorie passende [SCHE88] Bahn Nr. 3. Ähnliche Bahnen kommen auch häufig in Cartoons vor, wenn Dinge oder Lebewesen kurz im Flug verharren, um schließlich herunterzufallen und beabsichtigten Schaden anzurichten.

Übrigens sieht eine Flugbahn unter dem Einfluss von Reibung auf den ersten Blick ähnlich aus, wenn man den Reibungskoeffizienten sehr groß wählt. Aus den o. g. Gründen wurden geschlechtsspezifische Unterschiede bei den Antworten auf Frage 1 und Frage 4 erwartet. Diese Unterschiede fallen bei Frage 1 drastisch aus, wie aus *Abbildung 4.4.13 a* hervorgeht. Weibliche VPN assoziieren hier offenbar einen anderen Sachverhalt. Sie wählen signifikant (0,1 %) häufiger die Lösung Nr. 3 „Tüte fällt senkrecht“, die hier sogar die häufigste Antwort (33,3 %) darstellt, und signifikant (0,1%) seltener die Lösung Nr. 5: „Tüte und Kalle kommen genau gleich weit in x-Richtung“ (3,7 %). Wie die *Abbildung 4.4.13 a* ebenfalls zeigt, ergibt die Unterscheidung nach Geschlecht jedoch deutlich unterschiedliche Teilstichprobengrößen.

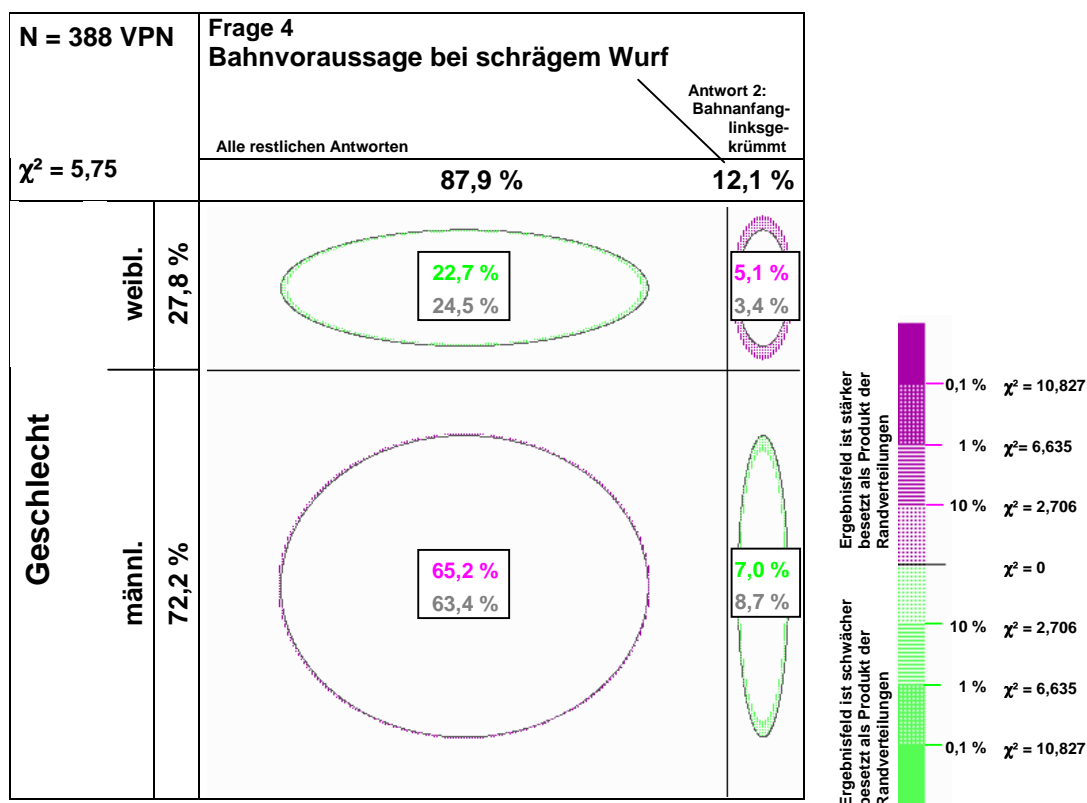
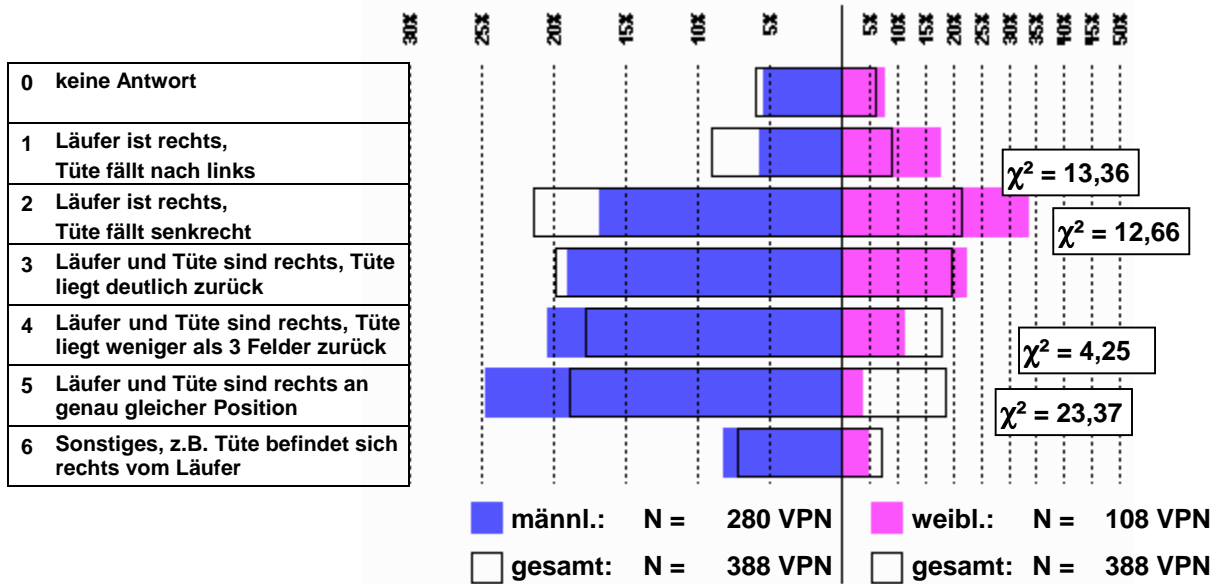


Abbildung 4.4.12

Zusammenhang zwischen Antwort Nr. 2 bei Frage 4 und Geschlecht.

Der Verdacht, dass hier versteckte unabhängige Variable wie Bildungsstand, oder technische Berufsausbildung die dominierende Rolle spielen, wird nicht bestätigt. Betrachtet man wie in *Abbildung 4.4.13 b* geschlechtsspezifisch unterschiedliches Antwortverhalten nur für die in dieser Hinsicht homogenere P-Gruppe (im Beispiel für Antwort Nr. 5), ergibt sich ebenfalls ein deutlicher Zusammenhang auf dem 1%-Niveau. Allerdings sind auch innerhalb der P-Gruppe weibliche VPN mit 20,8 % unterrepräsentiert.

Frage 1
Positionsvoraussage für Läufer und fallenden Gegenstand



N = 140 VPN (nur P-Gruppe)		Frage 1 Position von Läufer und fallender Tüte	
$\chi^2 = 10,39$		Alle restlichen Antworten 60,0 %	Antwort 5: Läufer und Tüte sind rechts an genau gleicher Position 40,0 %
Geschlecht	männl. 79,2 %		
	weibl. 20,8 %		

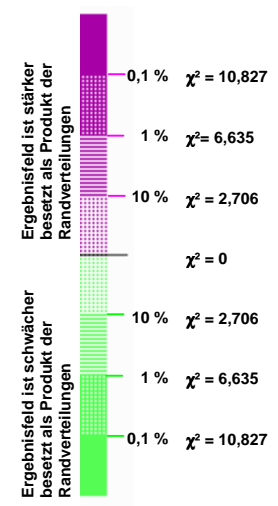


Abbildung 4.4.13

a) oben: Die Antworten auf Frage 1 in Abhängigkeit vom Geschlecht (Gesamtstichprobe).
b) unten: Der Zusammenhang zwischen Antwort Nr. 5 und Geschlecht (nur P-Gruppe).

Wie oben bereits erwähnt, gelingt es einem Teil der P-Gruppe bei Frage 1 bestimmte Abstraktionen durchzuführen. Betrachtet man nur diejenige Teilstichprobe innerhalb der P-Gruppe, die sowohl auf Frage 1 (Lösungen 3, 4 und 5) als auch auf Frage 4 (Lösungen 1, 5 und 7) physikalisch vernünftige Voraussagen abgeben (N = 102 VPN), zeigt sich, dass in dieser Personengruppe die beiden Fragen nicht unabhängig voneinander gelöst wurden. Die Vierfeldertafel in *Abbildung 4.4.14* zeigt, dass hier häufiger die gleichen VPN (1 %-Niveau) in Frage 1 (Lösung 5) und in Frage 4 (Lösung 1) von Reibung absehen.

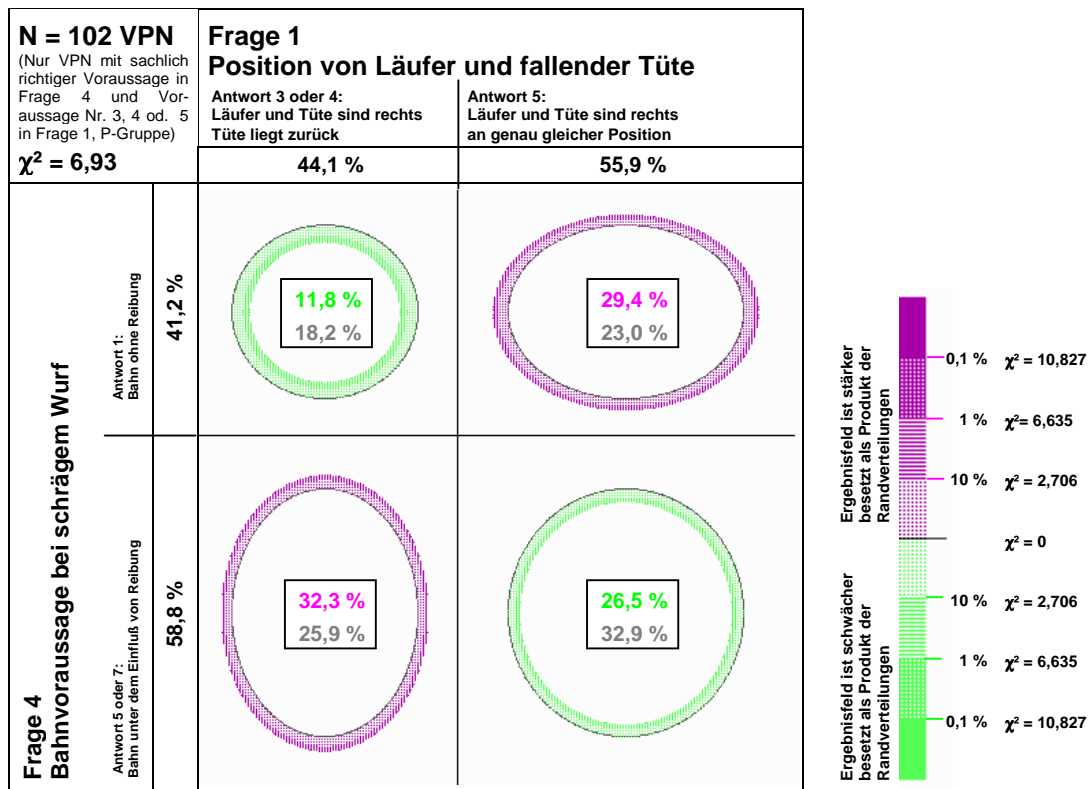


Abbildung 4.4.14

Zusammenhang zwischen Lösungen für Frage 1 und Frage 4, in denen Reibung vernachlässigt wurde. Es sind nur VPN der P-Gruppe berücksichtigt, die physikalisch vernünftige Voraussagen abgeben.

B: Beschreibung des Sachverhaltes mit Kraftpfeilen: Frage 12

Ein aus vielen Untersuchungen (z.B. [DRIV85, HILS89, RHÖN91]) bekanntes Ergebnis liefert die Frage nach Kraftpfeilen beim schrägen Wurf. Wie bei allen Fragen nach Kraftpfeilen stammen die in Frage 12 vorgegebenen Lösungsalternativen aus einem Vortest mit Studienanfängern (vgl. Anhang B.2, S B19). Dort sollten die VPN selbst entsprechende Kraftpfeile im Scheitelpunkt der Bahn einzeichnen. Die 9 am häufigsten vorkommenden Varianten wurden hier als Lösungsalternativen vorgegeben, um auch den VPN, die mit der Pfeildarstellung nichts anfangen können, ein Symbol für das Wort „Kraft“ anzubieten. Es wurde vermutet, dass VPN mit größeren Vorkenntnissen in Physik hier besser abschneiden als im Vortest, da die formal korrekten Antworten ebenfalls dargestellt sind. Wie die Ergebnisse in *Abbildung 4.4.15* zeigen, trifft das nicht zu. Nur ein kleiner Teil der VPN (6,8 %) wählt überhaupt formal richtige Kraftpfeile Nr.1 und Nr.2.

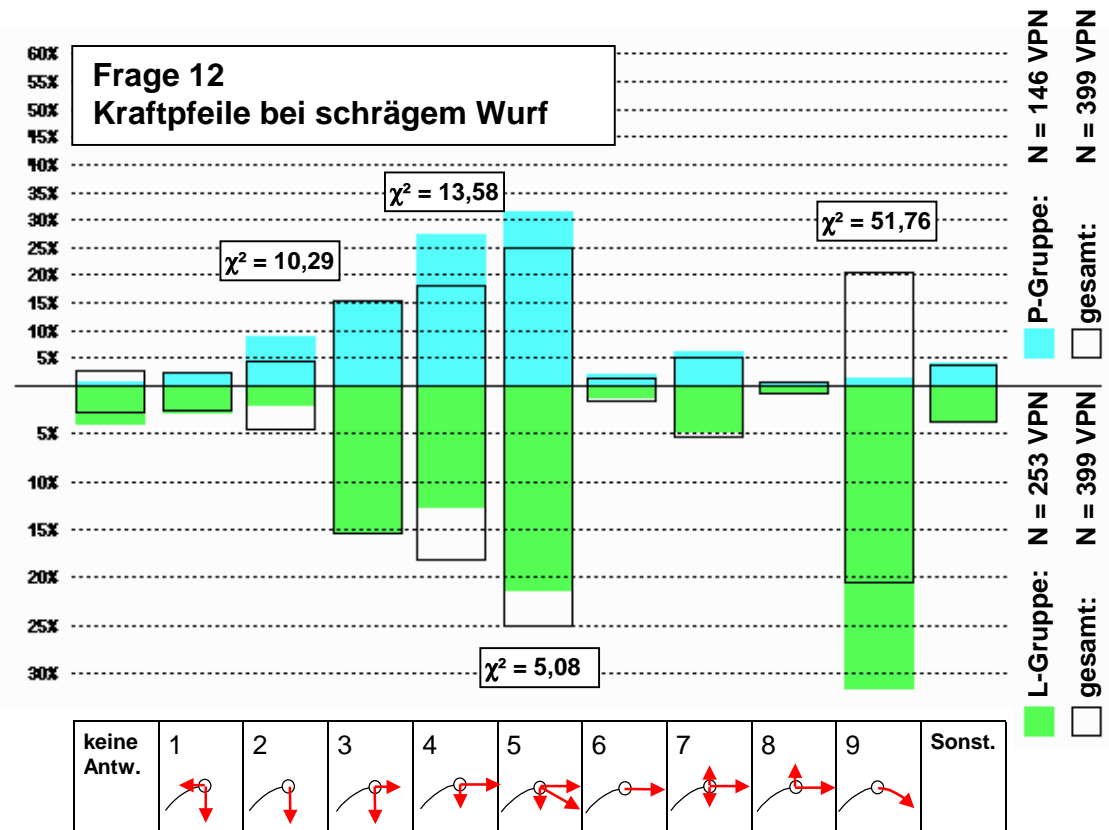


Abbildung 4.4.15

Die Antworten auf Frage 12 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Vergleicht man diese noch mit der jeweils passenden Bahnvoraussage in Frage 4 (vgl. *Abbildung 4.4.16*), erhält man die VPN, die sich (im günstigsten Fall, d.h. falls nicht beide Antworten zufällig richtig geraten sind) über die Bedeutung von Kraftpfeilen beim schrägen

Wurf im Klaren sind. Es verbleiben dann 3,3 % (6,2 % innerhalb der P-Gruppe, 1,6 % innerhalb der L-Gruppe) konsistente richtige Lösungen. Obwohl auch hier die formal richtige Lösung für den reibungsfreien Fall auf dem 1 %-Niveau mit dem P-Status assoziiert ist, zeigen sich die deutlichsten Unterschiede zwischen P- und L-Gruppe bei den Lösungen Nr. 4, 5 und 9.

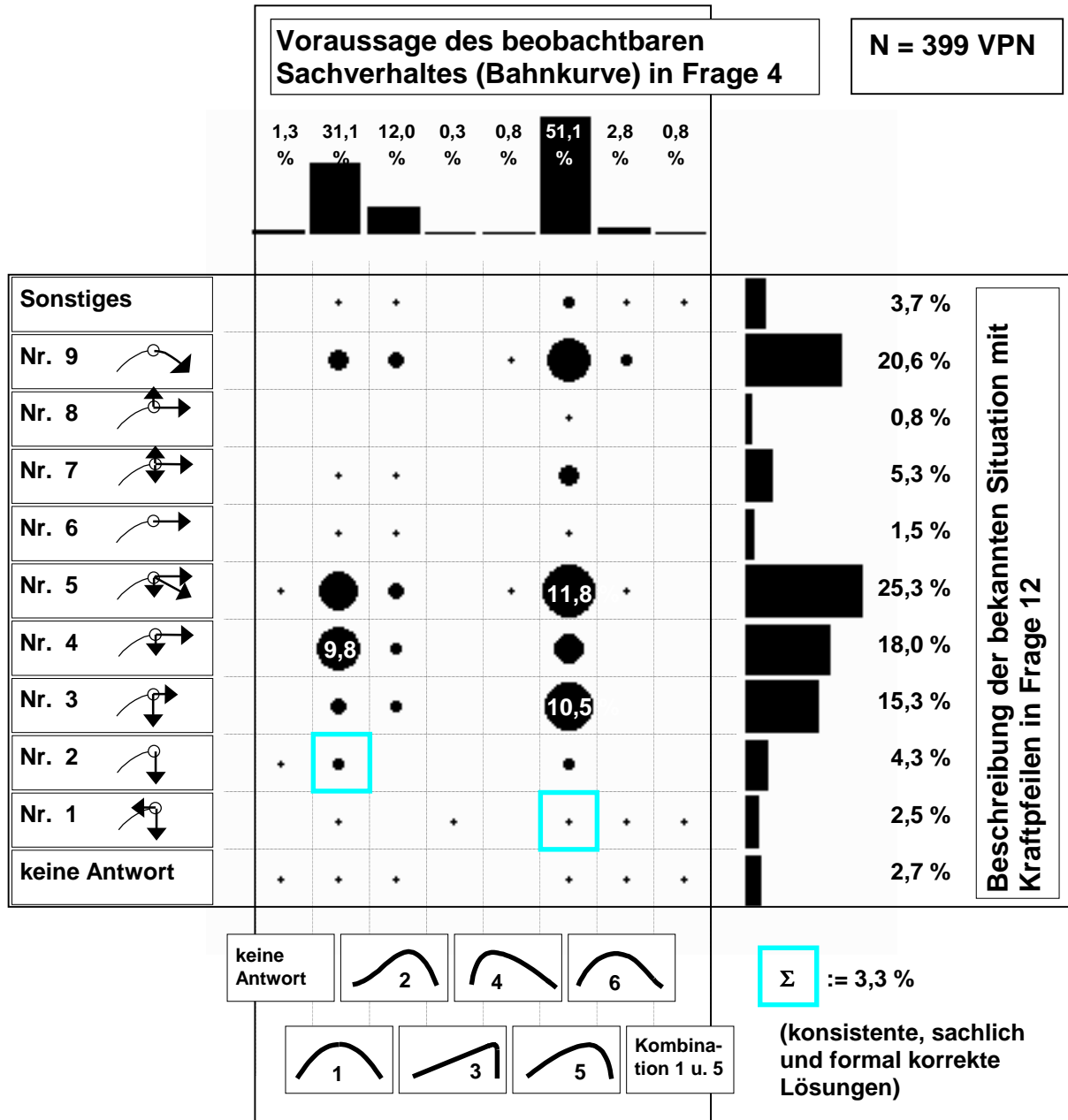


Abbildung 4.4.16

Zusammenhang zwischen der Voraussage des beobachtbaren Sachverhalts in Frage 4 und der formalen Beschreibung der gleichen Situation mit Kraftpfeilen in Frage 12. Die Kreisflächen entsprechen den aufgetretenen Antwortkombinationen. Sie wurden auf den größten vorkommenden Wert (Frage 4, Antwort 5 und Frage 12, Antwort 5: 11,8 %) normiert.

Während viele „Laien“ offenbar mit der Vektordarstellung nichts anfangen können und einen, wie die weitere Flugbahn gekrümmten, Pfeil wählen, werden bei physikalisch stärker vorgebildeten Personen neben der Gravitationskraft zusätzlich (längere!) Kraftpfeile in Bewegungsrichtung angenommen. Beiden Lösungen ist gemeinsam, dass die Spitze des (eingezeichneten bzw. gedachten) resultierenden Pfeils genau auf einem Punkt der weiteren Flugbahn liegt. Obwohl die Mehrheit der Befragten entweder eine symmetrische Wurfparabel (31,1 %) oder eine Wurfbahn unter dem Einfluss von Reibung (51,1 %) in Frage 4 voraussagen, gelingt es also nur einem kleinen Teil der VPN (3,3 %), die formal zu ihrer Vorhersage passenden Kraftpfeile anzugeben. Die Mehrheit wünscht sich zusätzlich zur Gravitation einen mehr oder weniger starken Kraftpfeil in Bewegungsrichtung. Dabei wählen VPN, die in Frage 4 eine Bahn mit Reibung vorhersagen, häufiger den kürzeren Kraftpfeil in Bewegungsrichtung als diejenigen, die dort eine symmetrische Wurfparabel wählten. *Abbildung 4.4.16* stellt die Ergebnisse von Frage 4 (die Bahnvorhersage) mit den im Scheitelpunkt gewählten Kraftpfeilen gegenüber.

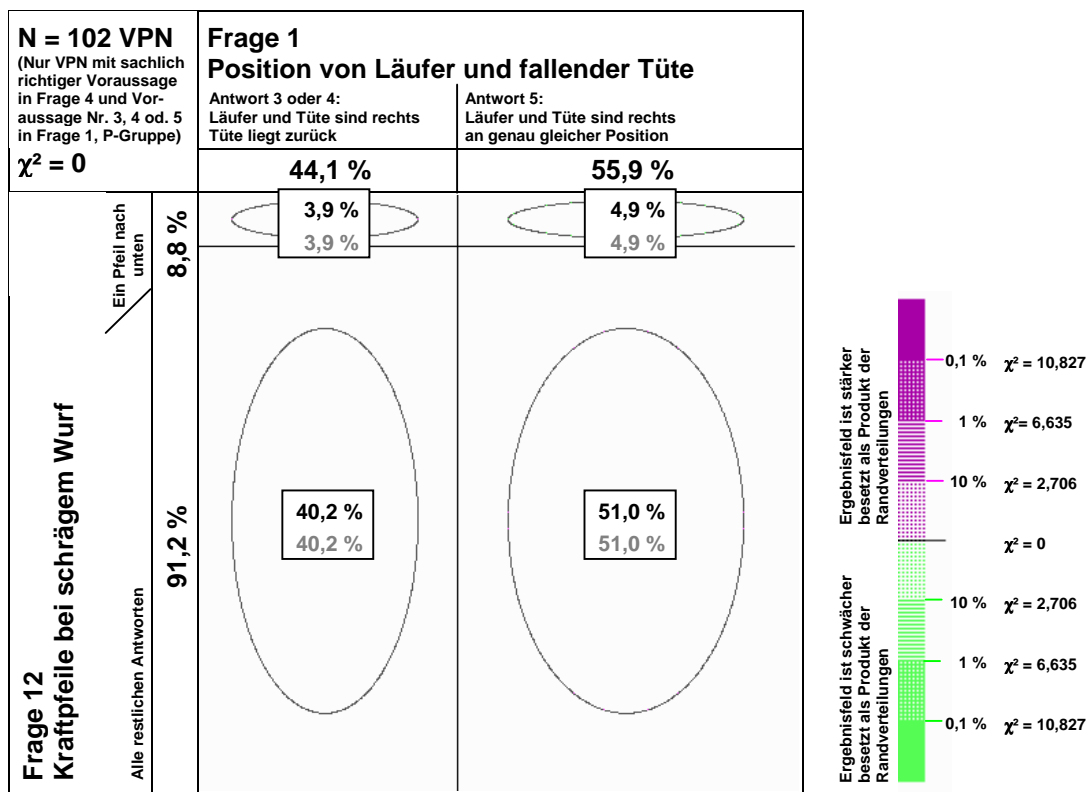


Abbildung 4.4.17

Zusammenhang zwischen sachlich korrekter Lösung in Frage 1 (ohne Reibung) und formal korrektem Kraftpfeil (ohne Reibung) in Frage 12. Es sind (wie in Abb. 4.4.14) nur VPN der P-Gruppe berücksichtigt, die physikalisch vernünftige Voraussagen zu Frage 1 und zu Frage 4 abgeben.

In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen (ref. in [JUNG81b]) zeigt sich, dass selbst innerhalb der P-Gruppe, die zu 65,7 % aus Studienanfängern besteht, große Unsicherheiten über Kraftpfeile bei diesem Sachverhalt bestehen. Interessant ist hierbei das Ergebnis für die Teilstichprobe (N = 102 VPN) innerhalb der P-Gruppe, die die Sachverhalte in Frage 1 und Frage 4 korrekt voraussagte.

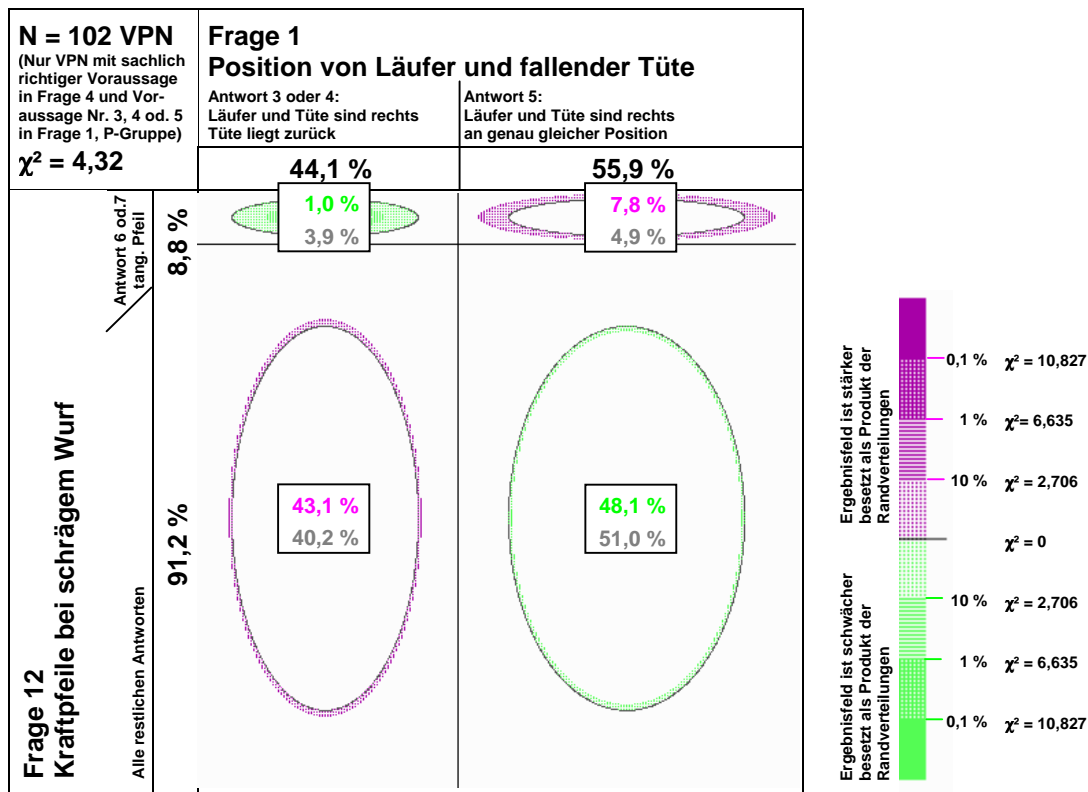


Abbildung 4.4.18

Zusammenhang zwischen sachlich korrekter Lösung in Frage 1 (ohne Reibung) und Lösungen in denen ein tangentialer Kraftpfeil (allein oder als Resultierender) in Frage 12 gewählt wurde. Es sind (wie in Abb. 4.4.14) nur VPN der P-Gruppe berücksichtigt, die physikalisch vernünftige Voraussagen zu Frage 1 und zu Frage 4 abgeben.

Der Vergleich ihrer Antworten auf Frage 1 und Frage 4 (vgl. *Abbildung 4.4.14*) ergab, dass überwiegend die gleichen VPN in beiden Fällen von Reibung absahen. Die reibungsfreie Beschreibung des schrägen Wurfes mit Kraftpfeilen in Frage 12 (Lösung 1) ist jedoch nicht mit der entsprechenden Voraussage in Frage 1 (Lösung 5) assoziiert, wie *Abbildung 4.4.17* zeigt. Im Gegenteil, selbst innerhalb dieser, physikalisch stärker vorgebildeten, Teilstichprobe ergibt sich eine Assoziation (10 %-Niveau) zwischen der korrekten, „reibungsfreien“ Antwort 5 in Frage 1 („Tüte und Kalle kommen genau gleich weit“) und Kraftpfeildarstellungen in Frage 12, die nur (Lösung 6) bzw. als resultierenden (Lösung 7) *einen* tangentialen Kraftpfeil in Bewegungsrichtung enthalten (*Abbildung 4.4.18*). Eventuell bringt eine formal falsche Vorstellung im Sinne von „Kraft proportional zur Geschwindigkeit“ in diesem Fall sogar

Vorteile. Sie könnte VPN, denen der Impulsbegriff fehlt, beim Wechsel in das Bezugssystem des Läufers, an die horizontale Geschwindigkeitskomponente von Tüte *und* Läufer erinnern. Denn es ist anzunehmen, dass die VPN, die dem geworfenen Objekt eine „Kraft in Bewegungsrichtung“ zuordnen, diese auch beim „sich selbst bewegenden“ Läufer vermuten.

Die Unsicherheiten, die über Kraftpfeile bestehen, treten nicht zu Tage, wenn, wie in Frage 16c, verbal nach dem Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung gefragt wird (vgl. *Abb. 4.4.54 in Abschnitt 4.4.2.3*). Die Mehrheit der P-Gruppe (65,1 %) lehnt die Aussage „Ein Körper bewegt sich nur solange eine Kraft auf ihn einwirkt.“ ab, während die Mehrheit der L-Gruppe (62,1 %) dem zustimmt. Möglicherweise bildet sich bei denjenigen, die sich später professionell mit Physik auseinandersetzen, eine Zweisprachigkeit heraus, die es ihnen ermöglicht, auch mit einem sehr eingeschränkten Kraftbegriff die für sie relevanten Problemstellungen zu lösen. D.h. bei der mathematischen Beschreibung wird zwar der Newtonsche Formalismus verwendet. Der Übergang von der Phänomen- zur Modell-Ebene wird aber weiterhin von einer Alltagstheorie wie „Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit bzw. zur Bewegung“ dominiert. Diese Alltagsvorstellung ist einerseits eine der Kernaussagen der Impetustheorie, passt aber genau so gut zum Alltagskonzept „Aktive (hier bewegte) Körper besitzen Kraft“ mit dem Wort „Kraft“ als Clusterbegriff der keine Abgrenzung zu den Begriffen Energie oder Impuls zulässt. Befragungen von Studierenden (Lehramt Physik) während eines Praktikums bestätigten diese These. Die Studierenden waren in der Lage die entsprechenden Bewegungsgleichungen aufzustellen und wussten auch, dass (in der Formel) die horizontale Beschleunigung beim reibungsfreien Wurf 0 ist, konnten dies jedoch oft nicht in obige Pfeildarstellung übersetzen. Vielleicht auch deshalb, weil hier in einen Ortsraum, der real beobachtbare Dinge enthält, abstrakte Symbole eingezeichnet werden sollen. Was bedeutet z.B. die Länge *eines* Beschleunigungs- oder Kraftpfeils im Ortsraum? Diese geometrische Eigenschaft des Pfeils macht als Symbol für den Betrag einer physikalischen Größe erst Sinn, wenn mindestens ein weiterer Pfeil bzw. ein Maßstab mit dargestellt wird.

Ein weiterer Grund für die Schwierigkeiten, die die Darstellung in Frage 12 offenbar für viele Studierende beinhaltet, könnte m. E. darin liegen, dass Wurfbewegungen innerhalb der Kinematik, also vor der Dynamik, behandelt werden. Gleichzeitig wird an dieser Stelle erstmals (wieder nach der Schulzeit) die Differential- und Integralrechnung geübt. Der Zusammenhang zwischen Kraft- und Beschleunigungsfeld wird dabei nicht (oder nicht ausreichend) thematisiert. Die Aufmerksamkeit erfordernde Haupttätigkeit liegt im formalen Umgang mit den entsprechenden Gleichungen. Es wird trainiert, Koordinatensysteme so zu wählen, dass die Beschleunigungsvektoren mit den Koordinatenachsen zusammenfallen. Beim anschließenden komponentenweisen Rechnen liegen somit nur Beschleunigungen in Bewegungsrichtung vor. Diese Schwerpunktsetzung suggeriert ferner, dass es möglich ist, eine Bewegung auf einer gekrümmten Bahn korrekt zu beschreiben, ohne den Einfluss der bestehenden Wechselwirkungen zu kennen. Im Buchstaben *g* „versteckt sich“ bei dieser Vorgehensweise eine Hälfte des Gravitationsgesetzes und die andere kommt gar nicht vor.

Während die Kraftpfeile in Bewegungsrichtung (Lösungen 4 und 5) bei den Voraussagen alltagsrelevanter Sachverhalte für die P-Gruppe eher „schaden“ (VPN mit diesen Lösungen machten im Mittel $6,1 \pm 1,3$ sachlich richtige Voraussagen, gegenüber $6,7 \pm 1,0$ bei denjenigen, mit formal korrekten Kraftpfeilen), erreichen VPN der L-Gruppe mit diesen Lösungen sogar im Mittel um einen Punkt höhere Trefferquoten wie *Abbildung 4.4.19* zeigt.

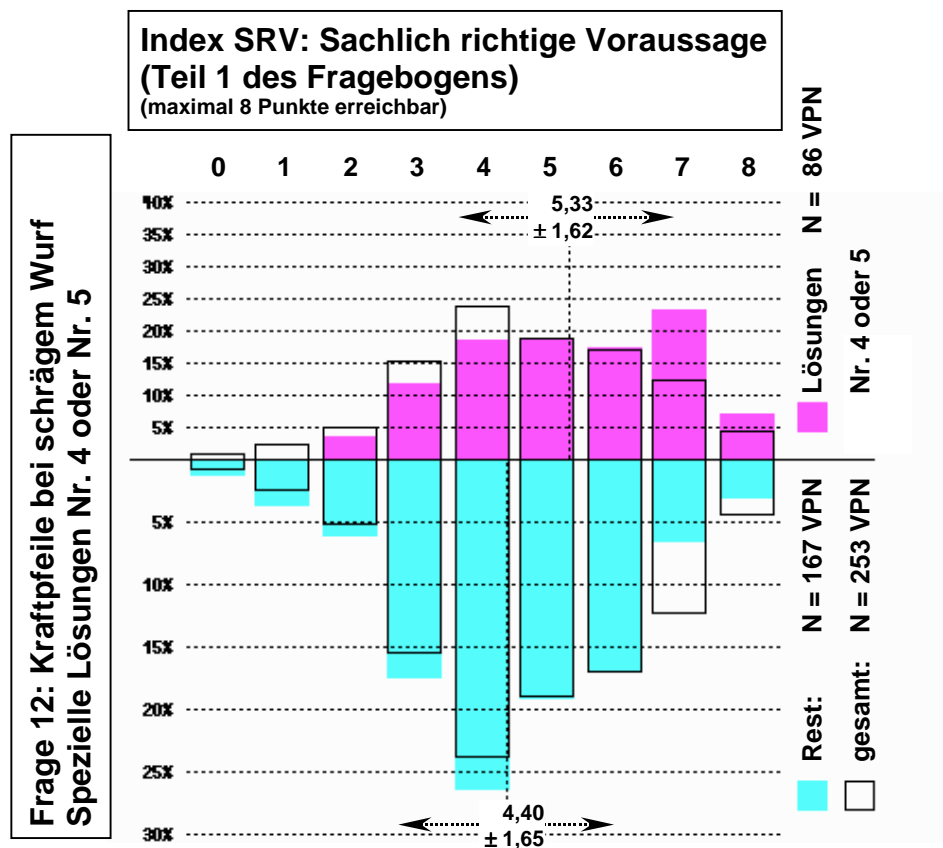


Abbildung 4.4.19

Zusammenhang zwischen speziellen (formal falsche Nr. 4 oder Nr. 5) Kraftpfeildarstellungen in Frage 12 und der Punktzahl im SRV-Index für die L-Gruppe.

Es lässt sich dagegen nicht zeigen (Abbildung 4.4.20a), dass die von der P-Gruppe gewählten Kraftpfeile der Lösungen 4 und 5 als „Einwirkung einer Kraft“ gedeutet werden. Lösungen 4 und 5 haben in dieser Gruppe zusammengenommen praktisch keinen Einfluss auf die Ablehnung der Aussage in Frage 16c „Ein Körper bewegt sich nur solange eine Kraft auf ihn einwirkt“. Die Ablehnung ist hier nur mit den formal korrekten Kraftpfeilen (2,5 % Niveau) assoziiert.

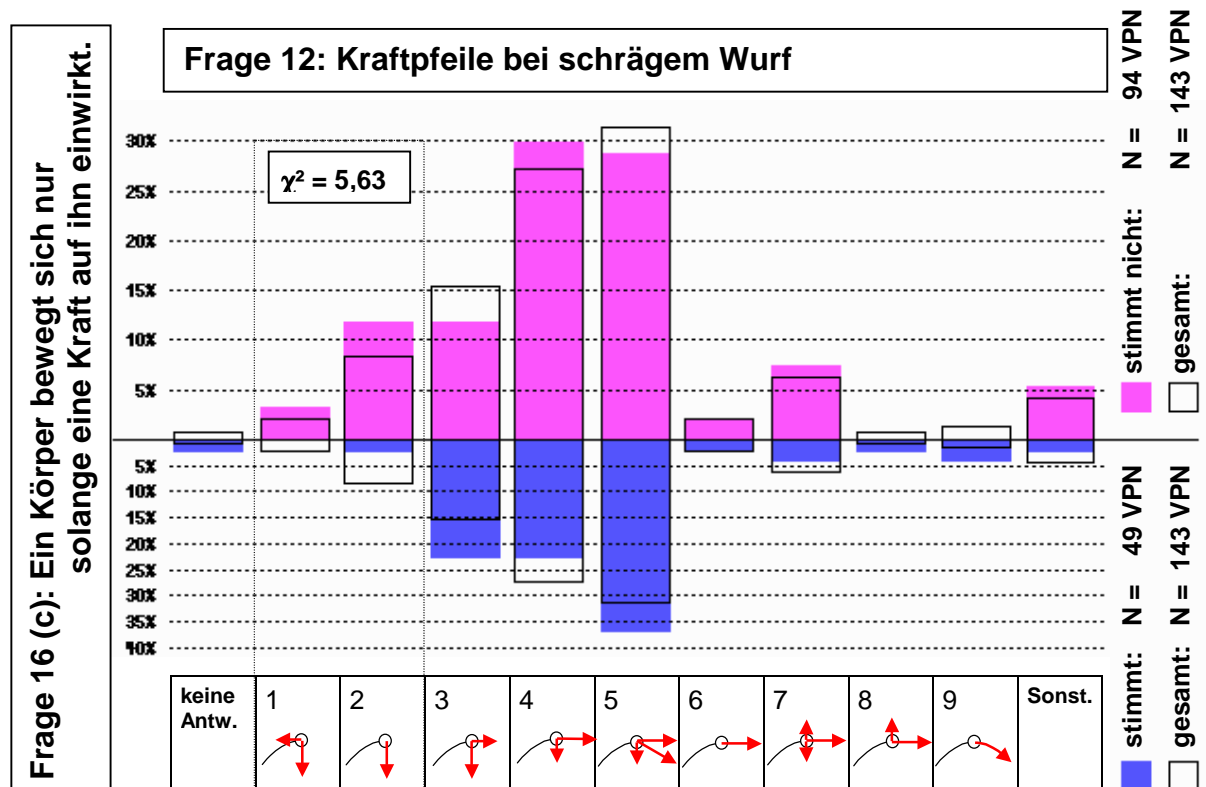


Abbildung 4.4.20a

Zusammenhang zwischen den Kraftpfeildarstellungen in Frage 12 und der Zustimmung bzw. Ablehnung der Formulierung in Frage 16c. Dargestellt sind nur die Ergebnisse für die P-Gruppe.

Was für die VPN der P-Gruppe möglicherweise einen Rückfall in eine Vor-Newtonsche Theorie bedeutet, könnte für die L-Gruppe ein Fortschritt auf dem Weg zu einer Alltagstheorie sein, die mehr als ein Phänomen erklärt. Dies zeigt ein Vergleich mit Frage 16a „Wenn eine Kraft eine Zeitlang gewirkt hat verbraucht sie sich“. Diese Aussage passt zur Vorstellung, dass ein Körper „Kraft“ besitzt, die sich während des Fluges verbraucht. Der Aussage stimmen 52,2 % der L-Gruppe, aber nur 11,0 % der P-Gruppe zu. *Abbildung 4.4.20b* zeigt, dass diese Zustimmung bei der L-Gruppe mit einem in weiterer Flugrichtung gekrümmten Pfeil assoziiert ist, während die Ablehnung der Aussage mit den Lösungen 4 und 5 assoziiert ist. Wie bereits oben gezeigt, erreichen VPN der L-Gruppe mit den formal

falschen Lösungen 4 und 5 auf Frage 12 im Vorhersageteil des Fragebogens im Mittel einen Punkt mehr.

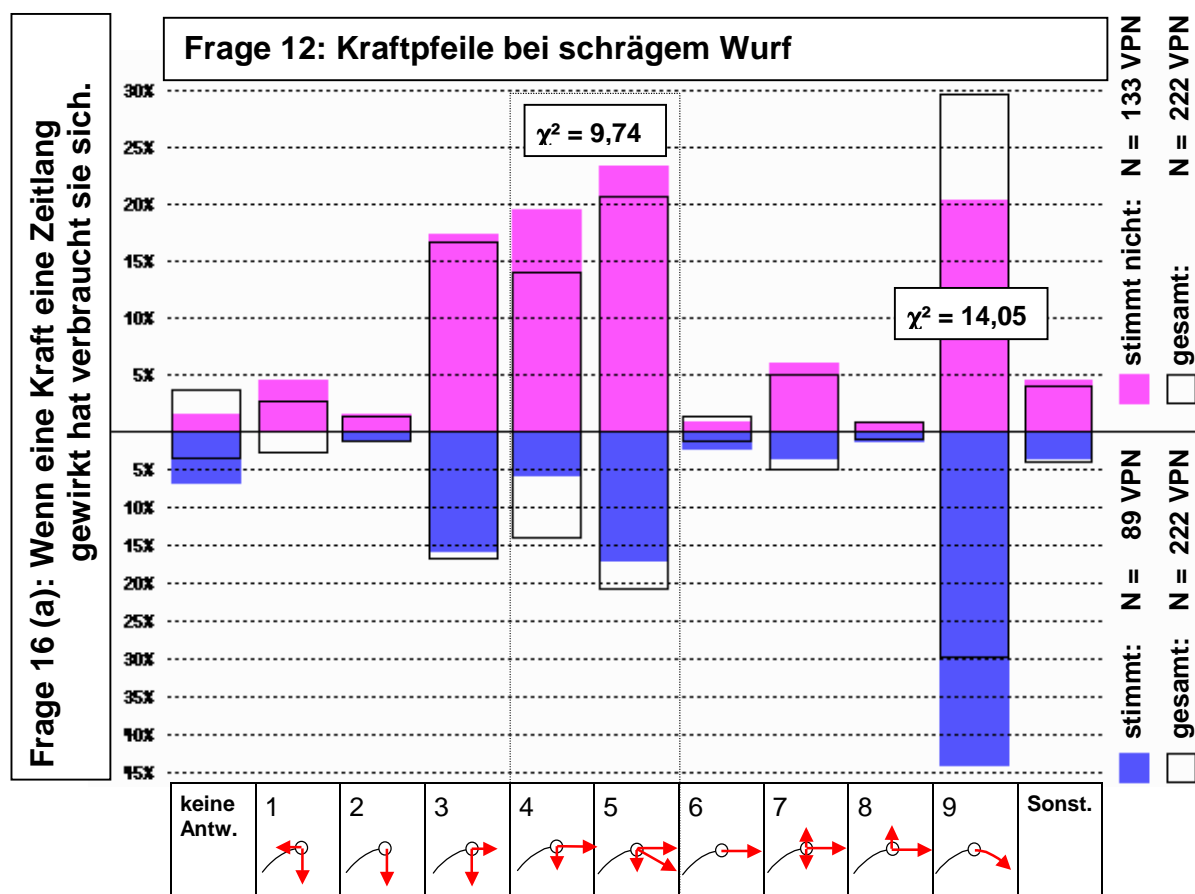


Abbildung 4.4.20b

Zusammenhang zwischen den Kraftpfeildarstellungen in Frage 12 und der Zustimmung bzw. Ablehnung der Formulierung in Frage 16a. Dargestellt sind nur die Ergebnisse für die L-Gruppe.

Hinweise darauf, dass hier nicht allein die Alltagstheorie „Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit“ entsprechende Fehler verursacht, gibt, neben älteren Untersuchungen zum Beschleunigungsbegriff (z.B. [NACH86]), auch das Ergebnis einer Testaufgabe der „Dritten internationalen Mathematik und Naturwissenschaftsstudie“ (TIMSS) [TIMS95]. Sie enthält in dem Teil, der sich an die sog. Population 3 (Schüler der Abschlussklassen der Sekundarstufe II an allgemeinbildenden und beruflichen Schulen) richtet, ein Item, das einen ähnlichen Sachverhalt beschreibt. In der Studie gehört dieses Item in den Bereich „Im letzten Schuljahr erreichte Fachleistung im voruniversitären Physikunterricht“. In der Testaufgabe sollten an verschiedenen Stellen Beschleunigungspfeile in eine vorgegebene Bahnkurve (hüpfender Ball) eingezeichnet werden, dabei sollte vom Luftwiderstand abgesehen werden. Tangentiale

Beschleunigungen (entweder als Einzelfeile oder als gedachte Resultierende zweier Pfeile) waren (nach einer Vorabveröffentlichung im Internet) auch hier sowohl im internationalen Durchschnitt (34,4 %) als auch in Deutschland (32,5 %) die häufigste Lösung (Coding Guide in [TIMS95]). Die korrekte Lösungswahrscheinlichkeit lag international bei 16 % und in Deutschland bei 7 % (hier: Grundkurse 2 %, Leistungskurse 14 %). Ein Hindernis bei der Lösung derartiger Fragestellungen dürfte m.E. die Tatsache sein, dass hier nicht beobachtbare Größen wie Kräfte und Beschleunigungen in eine reale Situation integriert werden sollen. Erschwerend kam bei diesem Item hinzu, dass einerseits bereits in der Aufgabenstellung tangential zur Bahn liegende Geschwindigkeitsvektoren eingezeichnet waren und andererseits die Bahn Punkte beinhaltet (nämlich dort wo der Ball am Boden verformt wird), an denen die Angabe eindeutiger Kraft- bzw. Beschleunigungspfeile gar nicht möglich ist. Darüber hinaus testet auch dieses Item natürlich die Beherrschung der Fachsprache. Wie eingangs (Abschnitt 2.2.4) erwähnt, ist das Wort „Beschleunigung“ ein Beispiel dafür, dass die Fachsprache die Alltagsbedeutung eines Wortes erweitert und sogar auf ihr Gegenteil ausdehnt. Ferner enthält das Wort keinen Hinweis auf die Zeitbezogenheit der Geschwindigkeitsänderung [TREI97]. Dass Bewegungsänderungen häufig zunächst auf den beobachtbaren Raum bezogen werden, ergaben z.B. Antworten von Studierenden (Lehramt Physik), anlässlich eines Versuchs im Praktikum mit der „Luftkissenfahrbahn“. Zunächst wurde bei gleichförmiger Beschleunigung mit zwei, relativ weit auseinanderstehenden auf „Start“ bzw. „Stop“ gestellten Lichtschranken die Durchschnittsgeschwindigkeit festgestellt. Dieser Aufbau suggeriert natürlich, dass hier etwas auf den Ort bezogenes gemessen wird. Der Übersichtlichkeit halber wurde aus der Ruhe heraus gestartet. Dann wurde gezeigt, dass mit einer kleinen am Gleiter befestigten Blende über die Dunkelzeit einer Lichtschranke näherungsweise die Momentangeschwindigkeit bestimmt werden kann. Auf die Frage, wo man ungefähr diese Lichtschranke positionieren müsste, um eine der Durchschnittsgeschwindigkeit entsprechende Momentangeschwindigkeit zu messen meinten alle Befragten „in der Mitte der Beschleunigungsstrecke“. Dabei waren die meisten Studierenden in der Lage (zumindest grafisch) anzugeben, dass die mittlere Geschwindigkeit hier gleich der Momentangeschwindigkeit nach der halben Zeit ist. (Merton-Regel). Die angesprochene Problematik fällt m. E. nicht unter die Kategorie „reine Denksportaufgabe“. Sie ist es Wert, im Unterricht ausführlich behandelt zu werden, da sie im Rahmen der Verkehrssicherheit (Abschätzung von Geschwindigkeiten bei Bremsvorgängen) einen (lebens)wichtigen Alltagsbezug hat. Es ist alarmierend wie viele Verkehrsteilnehmer, trotz umfangreicher Bemühungen zur Verkehrserziehung in Schule und Medien, falsche Vorstellungen von Bremswegen und Restgeschwindigkeiten (z.B. in Tempo 30 Zonen) besitzen. Dies zeigten z.B. erste Ergebnisse einer Untersuchung zum Einsatz von Verkehrssimulationsprogrammen im Unterricht [PHLI97].

Bilder und reale Situationen wie z.B. Versuchsaufbauten können offenbar formal überwundene Alltagsvorstellungen reaktivieren. Insbesondere wenn diese in speziellen Situationen zu richtigen Voraussagen führen. Das Konzept „Kraft bzw. Beschleunigung existiert nur in Richtung der Bewegung“ verträgt sich z.B. mit der Bewegung einzelner

Punktladungen in einfachen Feldern (Feld einer einzelnen Punktladung, Feld im Innern des Plattenkondensators), die aus der Ruhe heraus starten. Ferner wird dieses Konzept durch unglücklich gewählte Schulbuchdarstellungen zur Elektrostatik unterstützt. Dort werden z.B. Wattestückchen gezeigt, die sich zwischen aufgeladenen Kugeln in Richtung der Feldlinien bewegen [DORN93], [KUHN94]. Zwei Beispiele solcher Darstellungen zeigt *Abbildung 4.4.21a*.



Abbildung 4.4.21a

Beispiele für Schulbuchdarstellungen (links aus [KUHN94], rechts aus [DORN93]), die ungewollt zur Schülervorstellung „Kraft- bzw. Beschleunigung existiert nur in Bewegungsrichtung“ passen.

Mit der in *Abbildung 4.4.21b* gezeigten Testaufgabe von Jung [JUNG81b] lassen sich dann selbst fortgeschrittene Physikstudenten, denen die Kraftpfeildarstellung aus Frage 12 problemlos gelingt, wieder verunsichern. Auf die Frage nach dem weiteren Bahnverlauf wird i. d. R. angenommen, dass sich die Probeladung (wie die durch Reibung verzögerten Wattestücke) entlang der Feldlinien bewegt.

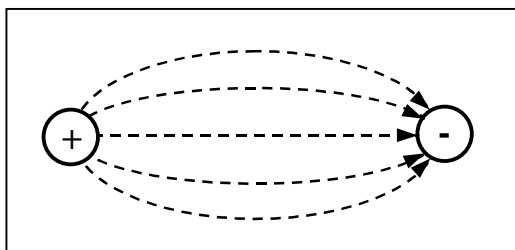


Abbildung 4.4.21b

Denkaufgabe von Jung [JUNG81b]. Vorgabe zweier ungleichnamiger Punktladungen mit den Feldlinien: Frage nach dem weiteren Bahnverlauf für eine weitere Punktladung, die irgendwo dazwischen auf einer gekrümmten Feldlinie sitzt.

4.4.2.1.2 Situation nach dem “Abschalten” einer Wechselwirkung.

Voraussage eines beobachtbaren Sachverhaltes zum Thema Drehbewegung: Frage 6

Obwohl im formal bzw. sprachlichen Teil des vorliegenden Fragebogens nicht mehr auf Kräfte im Zusammenhang mit Drehbewegungen eingegangen wird, wurde mit Frage 6 dennoch eine beobachtbare Voraussage zu dieser Thematik erfragt.

Eine Reihe von Fehlvorstellungen zur Dynamik der Drehbewegungen fasst Schecker in seiner Untersuchung unter dem Präkonzept „Bei Kreisbewegungen wirkt Kraft nach außen“ zusammen [SCHE85].

„Ein Körper, der sich auf einer Kreisbahn bewegt, erfährt eine Kraft, die ihn nach außen zu ziehen versucht.“

„Die Kraft nach außen („Fliehkraft“) wird unabhängig vom Standpunkt des Beobachters, bzw. vom angegebenen Bezugssystem angenommen (und zwar an hervorgehobener Stelle).“

„Die Kreisbewegung wird als Gleichgewichtszustand angesehen (konstanter Abstand vom Drehpunkt), Fliehkraft und Zentripetalkraft halten sich die Waage.“

„Das Präkonzept beruht auf sehr einprägsamen Erfahrungen bei schnellen Kurvenfahrten.“

„Das Präkonzept ist äußerst stabil gegen Argumentationen auf der Grundlage der Newtonschen Axiome.“ [SCHE85]

Im Vortest war bereits eine ähnliche Frage zur gleichen Situation enthalten. Dort sollten die VPN, die Bahn, auf der sich die Gondel nach dem Riss weiterbewegt, selbst skizzieren. Dabei stellte sich heraus, dass insbesondere Studienanfänger (N = 81 VPN) häufig (19,8 %) eine in Drehrichtung gekrümmte weitere Flugrichtung annahmen. Eine von Schülern (N = 20 VPN) bevorzugte (25 %) Lösung bestand aus einer Kombination aus Tangential- und Radialkomponente (vgl. Anhang B.2, S B13). Die Lösungen des Vortests wurden qualitativ alle mit den in Frage 6 vorgegebenen Lösungsalternativen erfasst. Bei dieser Thematik existiert offenbar bereits eine Reihe falscher Voraussagen ohne dass explizit nach Kräften gefragt wird (vgl. *Abbildung 4.4.22*). Dennoch ist die Mehrheit der Befragten (auch in der L-Gruppe) in der Lage, eine richtige Voraussage abzugeben. Bei den falschen Lösungen Nr.3, 4 und 5 ist - im Gegensatz zu Lösung 1 - kein signifikanter Unterschied zwischen P- und L-Gruppe erkennbar. Ungewöhnlich ist, dass die im Vortest bei den Studienanfängern zweithäufigste Lösung Nr. 1 hier in der P-Gruppe relativ selten gewählt wurde. Eventuell hat ein größerer Teil der hier betrachteten Stichprobe (P-Gruppe) das Thema Drehbewegungen zuvor im Unterricht behandelt. Lösung Nr. 1 könnte z.B. auf der Vorstellung einer dem Körper innewohnenden (Erhaltungs-) Eigenschaft der Drehung beruhen. Ein Vergleich dieser Voraussagen mit dem aus den formalen Voraussagen gebildeten I-Index (vgl. *Abbildung 4.4.23*) bestätigt tendenziell diesen Zusammenhang und somit das von den Autoren des FCI formulierte Alltagskonzept eines „Zirkulären Impetus“:

„A few students believe in circular impetus (commonsense concept ...) that tends to move objects in circles; they have been known to justify this by a “training metaphor”, which holds that objects tend to do what they have been “trained” to do in the past.” [HEST92]

Leider wurde auf eine entsprechende Frage nach „Kraftpfeilen“ vor und nach dem Wegfall der Zentripetalbeschleunigung verzichtet. Dennoch folgt aus den freiformulierten Antworten (vgl. Abschnitt 4.4.2.3 zu Frage 10), dass zum Wort „Kraft“ sehr häufig Zentrifugal-, Zentripetal- und Fliehkraft assoziiert wird. Von den 85 freiformulierten Sätzen, die „Kraft“ als Wortteil einer physikalischen Bezeichnung enthalten, geht es in 15 Fällen um Zentrifugal- (5x), Zentripetal- (7x) oder Fliehkraft (3x).

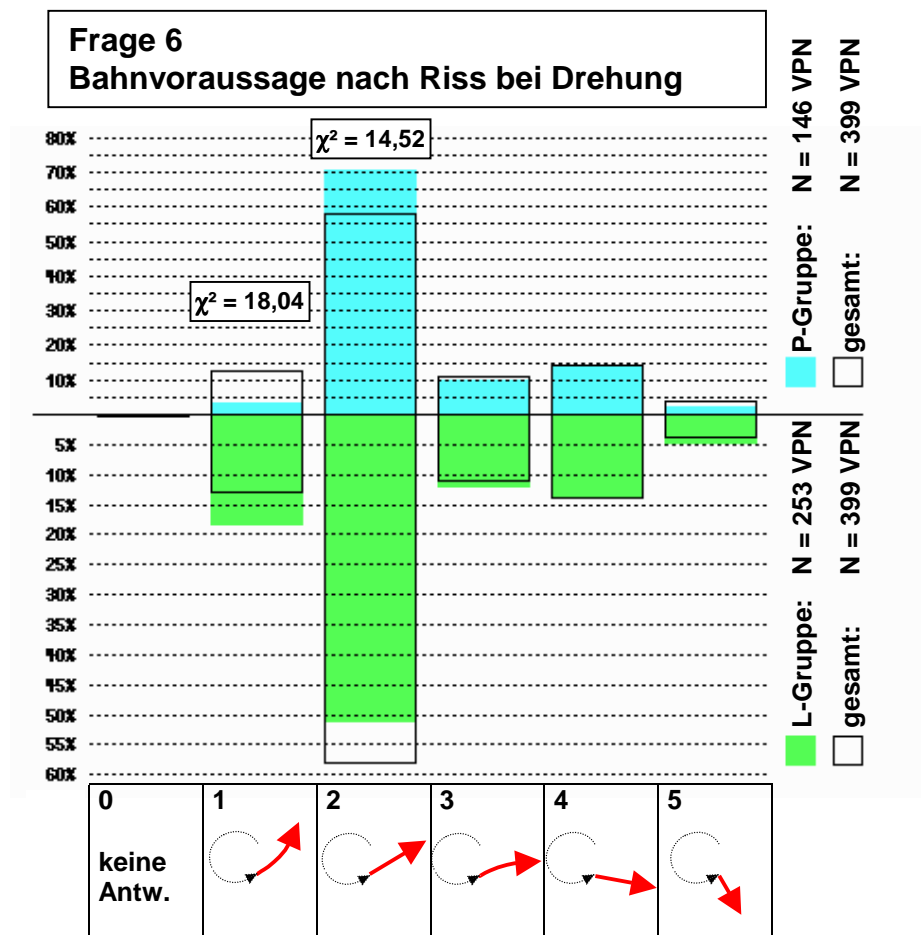


Abbildung 4.4.22

Die Antworten auf Frage 6 in Abhängigkeit von der physikalischen Vorbildung.

Neben den von Schecker genannten Präkonzepten gibt es m. E. einen weiteren Grund für die Schwierigkeiten, die im Zusammenhang mit Drehbewegungen auftreten. Kraft wird in der Fachsprache der Schulbücher als *Ursache* für Bewegungsänderung definiert. Fragt man Studierende (Lehramt Physik) bei einem Versuch zu Drehbewegungen (Drehpendel bzw. Kettenkarussell) welche Aspekte des beobachteten Sachverhaltes sie als erklärungsbedürftig (also physikalisch relevant) ansehen, so ist dies i. d. R. *nicht* die Beschreibung des Gleichgewichtszustandes mit dem üblichen „Kräfte-dreieck“ aus Seil-, Gewicht- und Zentripetalkraft (im Inertialsystem) bzw. Zentrifugalkraft (im rotierenden System), sondern der viel weiterreichende Aspekt *warum* sich dieses Gleichgewicht einstellt bzw. *wer* daran *schuld* ist.

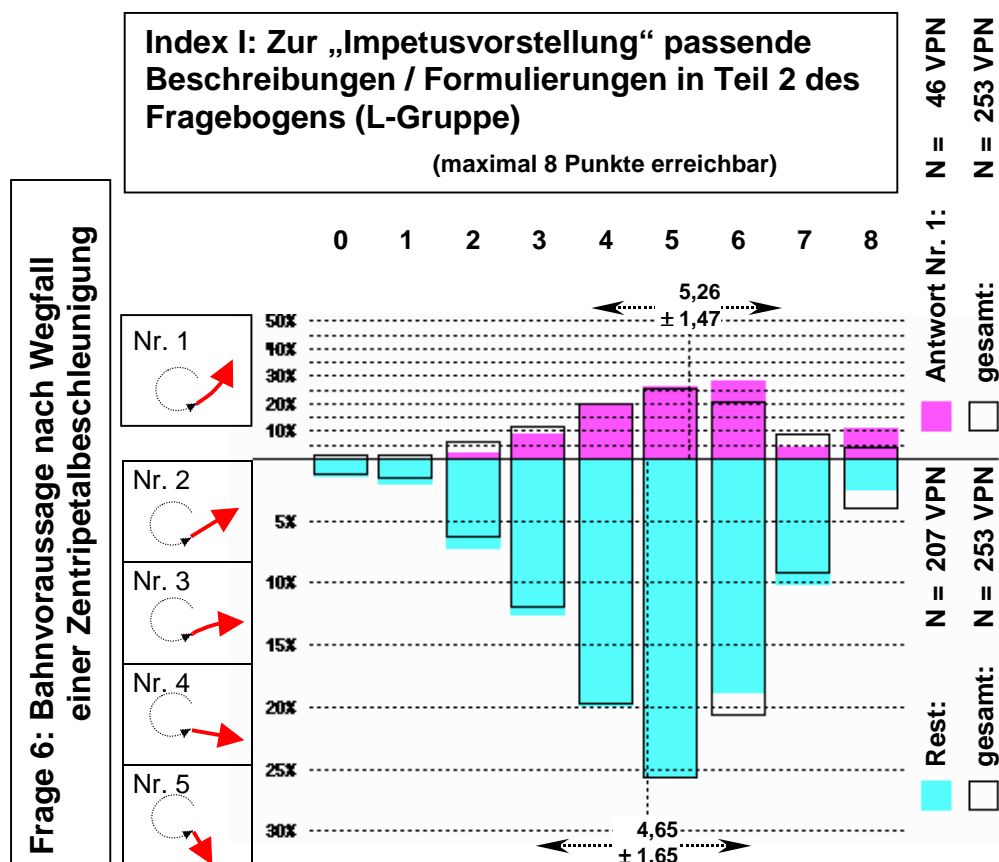


Abbildung 4.4.23

Zusammenhang zwischen der Voraussage einer „Erhaltung der Bahnkrümmung“ (Lösung Nr. 1 in Frage 6) und der Punktzahl im I-Index für die L-Gruppe.

Die körperliche Erfahrung, dass man sich in rotierenden Systemen festhalten muss, kennt jeder. Der Schuldige ist scheinbar schnell gefunden. Es ist die „nach außen ziehende“ Zentrifugalkraft. Treitz [TREI97] liefert eine plausible Erklärung dafür, dass unser Gefühl bei Kurvenfahrt aus Erfahrung von einer zusätzlichen Kraft in radialer Richtung nach außen - also zentrifugal - ausgeht (vgl. *Abbildung 4.4.24*):

Man kann zwei Arten unterscheiden auf welche Weise, die einen Körper beschleunigenden Impulse in diesen „einwandern“. Eine sog. Volumenkraft wie die Schwerkraft liefert den Impuls nicht an einen Punkt und auch nicht nur an die Oberfläche eines Körpers, sondern verteilt ihn gleichmäßig über alle Massen des Körpervolumens. Ein lediglich der Schwerkraft (im homogenen Feld) unterworfenen Körper ist also nicht elastisch verformt. In diesem Zusammenhang vom „Angriffspunkt“ der Kraft zu sprechen, ist folglich nur als erklärungsbedürftiger Formalismus gerechtfertigt (vgl. Abschnitt 2.2.5). Übliche Kraftfeldarstellungen in Schulbüchern suggerieren nun, dass dieser „Angriffspunkt“ im Falle der Schwerkraft der Schwerpunkt sei, was dem eigentlichen Vorgang, nämlich der Beschleunigung aller Teile des Körpers geradezu widerspricht.

Die meisten in der Mechanik vorkommenden Kräfte sind jedoch sog. Oberflächenkräfte. Bei ihnen wandern die Impulse an bestimmten Stellen der Oberfläche z. B. durch Federn, Seile, Stangen o. ä. ein.

„..., dass die Schwerkraft sich ganz allein in dieser Weise verteilt, ohne dazu elastische Strukturen zu benötigen, die anderen Kräfte, die in der Mechanik behandelt werden, können das aber nicht selbst, sondern liefern Impulse erst einmal an der Oberfläche ab, und der Körper muss nun selbst mit seinem elastischen inneren Aufbau dafür sorgen, dass er nicht zerrissen wird, ...“

„Alle Kräfte, die auf diese Weise erst einmal einen Teil der Oberfläche mit Impulsen beliefern, anders als die Schwerkraft es tut, nennt man (auch nicht besonders gut treffend) Oberflächenkräfte.“ [TREI97]

Für unser subjektives Empfinden werden nur Oberflächenkräfte erfassbar und zwar durch eine ungleichmäßige Stauchung des Körpers. Man denke sich dazu den Körper durch einen weichen Schaumstoffball ersetzt. Liegt der Ball im Schwerfeld auf dem Tisch, so nimmt die Stauchung von oben nach unten zu, wie bei einer durch Druck auf eine Seite beschleunigten Feder.

„Jemand liegt auf einer Matratze, und zwar auf dem Rücken. Er weiß ganz genau wo unten ist. Was macht ein Ball, der auf dem Boden liegt? Sozusagen nichts, aber trotzdem ist er ungleichmäßig elastisch verformt, nämlich unten zusammengedrückt und oben nicht. Wie wir gesehen haben ist dies die Folge der nach oben gerichteten Impulse, die vom Boden aus in den Ball wandern. Die Schwerkraft liefert genau so viel Impuls nach unten, aber ohne selbst (unmittelbar) eine Verformung zu verursachen.

Das Zusammenspiel beider Kräfte bringt also die Beschleunigung auf Null, die Verformung hängt aber allein von der elastischen (Oberflächen-) Kraft ab. Nur indirekt hat die Schwerkraft damit zu tun: Wenn der Boden (oder die Matratze) unter dem liegenden Menschen ortsfest ist, stellt sich dessen (bzw. deren) Verformung so ein, dass es ein Gleichgewicht gibt: Die unterschiedliche Ortsabhängigkeit der Kräfte macht es möglich

Der Mensch spürt mit seinen Nerven etwas, was objektiv der ungleichmäßigen elastischen

Verformung des Balles entspricht, das er aber in seinem Bewusstsein (und trotzdem naiv) nur mit der Schwerkraft in Verbindung bringt: Er spürt seine Orientierung relativ zu der Richtung, in die losgelassene Gegenstände fallen und die er „unten“ nennt.“ [TREI97]

An die ungleichmäßige Stauchung durch die in unseren Körper einwandernden Impulse sind wir gewöhnt. Sie ist für uns gleichbedeutend mit der nach unten wirkenden (für uns überhaupt nicht wahrnehmbaren Volumenkraft) Schwerkraft. In der Situation des Fallens, wenn also tatsächlich *nur* die Schwerkraft auf uns wirkt, empfinden wir gar keine Oberflächenkraft und nennen diese Situation dann physikalisch falsch aber folgerichtig „Freien Fall“ bzw. „Schwereelosigkeit“.


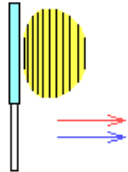
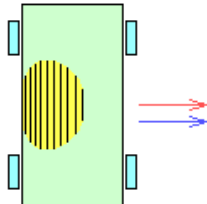

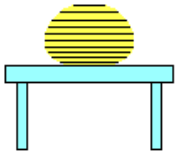
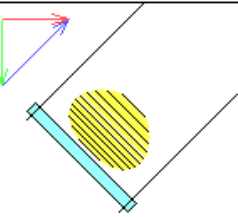
Beschl. →	Oberflächenkraft, Verformung, Sinneswahrnehmung	
	nein	ja →
homogenes Schwerfeld nein	 kräftefrei	 Tennisball  Auto in Kurve
homogenes Schwerfeld ja ↓	 "schwereelos"(!) Wurf oder Fall	 Ball auf Tisch  Kettenkarussell

Abbildung 4.4.24

Die Wirkung von Oberflächen- und Volumenkräften auf einen Schaumstoffball als Modell für einen Fahrgast bei Kurvenfahrt bzw. im Kettenkarussell, aus [TREI97].

Bei der Fahrt im Kettenkarussell wird der Körper radial (nach innen) beschleunigt. Diese Zentripetalkraft ergibt sich als Resultierende aus Schwer- und Seilkraft. Die durch die Sitzfläche vermittelte Oberflächenkraft (Seilkraft) bewirkt nun eine ähnliche Stauchung des Körpers, wie die Oberflächenkraft im oben betrachteten statischen Fall. Bei geschlossenen Augen würde der Fahrgast eine (lediglich betragsmäßig höhere) scheinbare Schwerkraft vermuten. Wenn er nun sieht, dass diese scheinbare Schwerkraft nach schräg unten weist, kann er diese naiv als Summe aus Schwerkraft und einer nach außen wirkenden Zentrifugalkraft deuten. Unterstützt wird diese Vorstellung sicherlich durch die Erfahrung in

Fahrzeugen, bei denen sich, im Gegensatz zu Motorrädern oder Zügen mit Neigetechnik, eine Stauchung abrupt durch Kontakt mit Fahrzeugteilen von der Seite einstellt. Besonders in diesen Fällen bietet sich die Zentrifugalkraft als scheinbar wesentliche *Ursache* an.

Wenn man behauptet, das es sich bei der Zentrifugalkraft um eine bequeme Rechengröße handelt, die nur im beschleunigten System Sinn macht, erntet man oft ungläubige Blicke. Zusammen mit der o. g. gegenteiligen Erfahrung ist die Zentripetalkraft eine „langweilige“ Kraft, die nur beschreibt, dass sich ein Körper z.B. auf einer Kreisbahn bewegt, während die Zentrifugalkraft scheinbar vieles erklärt, sie „gewinnt als aktive Ursache“ den „Kampf“ mit der „passiven“ Seilkraft und der stets vorhandenen Gewichtskraft.

Frage 6 beschreibt eine Situation nach dem Fortfall der Wechselwirkung, die den Körper radial beschleunigte. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass keine signifikanten Assoziationen falscher Lösungen zu dieser Frage mit falschen Lösungen zu anderen Fragen, bei denen eine Asymmetrie aufgrund „aktiver“ und „passiver“ Wechselwirkungspartner vermutet wird, auftreten. Vergleicht man nur die falschen Lösungen von Frage 6, bei denen die abgerissene Gondel noch eine radiale Geschwindigkeitskomponente nach außen (Nr. 3, 4 und 5) besitzt (115 VPN), mit der erreichten Punktzahl im A-Index, so ergibt sich, dass die 15 VPN mit Lösung 5 im Mittel bei diesem Index 1,4 Punkte mehr erreichen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Dominanz der Zentrifugalkraft gut zum Präkonzept einer „aktiven“ Kraft passt.