

**Konzeption und Evaluation
eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs
zur Veränderung von Schülervorstellungen
mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen
und graphischer Modellbildung**

Thomas Wilhelm

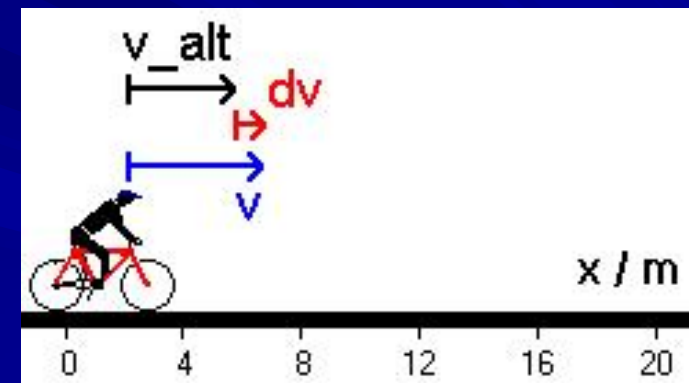
Teil A: Überblick Konzeption

1 Unbefriedigende Unterrichtsergebnisse in der Mechanik

- Newtonscher Kraftbegriff und Beschleunigungsbegriff werden nicht verstanden.
- Deshalb: Neues Unterrichtskonzept für den Kinematik-/Dynamikunterricht
- Vorstellung weniger ausgewählter Gesichtspunkte

2 Leitidee: Nutzung anderer Codierungen

- Animationen erleichtern das Erinnern.
- Piktogrammartige Darstellungen der Größen, z.B. mit Vektoren, sind leicht erfassbar.

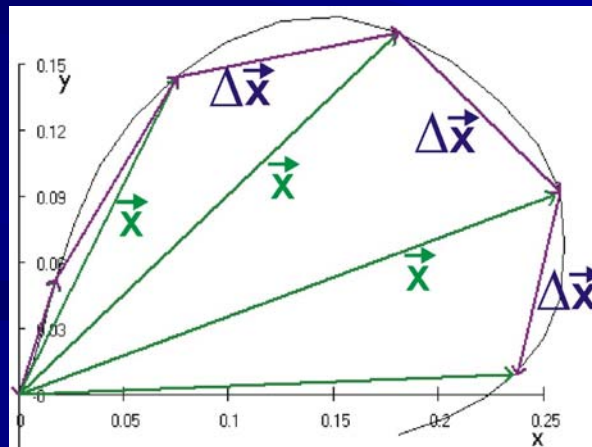


- Wir nennen sie:
dynamisch ikonische Repräsentationen.
- Graphen lesen ist dagegen schwierig.

3 Beispiel: Der Begriff Geschwindigkeit

Problem: Wird nur als Betragsgröße gesehen (=Schnelligkeit)

- Lösung:
- Bei der Einführung von allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen ausgehen
 - Aufnahme der Bewegung der Computermaus mit PAKMA
 - Zeichnen von Bahnkurve, Zeitmarken, Ortsvektoren



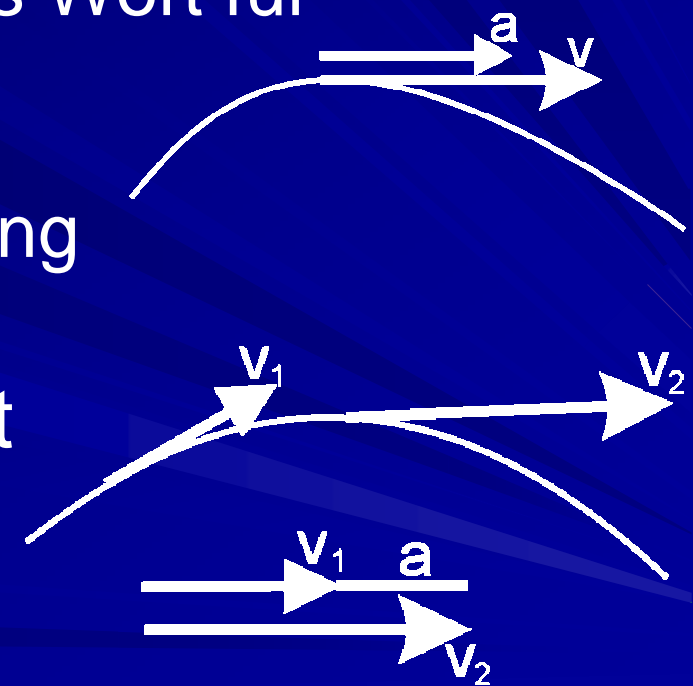
- Ortsänderungsvektor ergibt Geschwindigkeit

4 Beispiel: Der Begriff Beschleunigung

Bekannte Schülervorstellungen:

1. Beschleunigung ist ein anderes Wort für
Geschwindigkeit $\vec{a} \sim \vec{v}$

2. Beschleunigung ist die Änderung
des Geschwindigkeitsbetrages
 $a = \Delta|\vec{v}|$ oder $a = \Delta|\vec{v}| / \Delta t$
(positive = Schnellerwerden,
negative = Langsamerwerden)



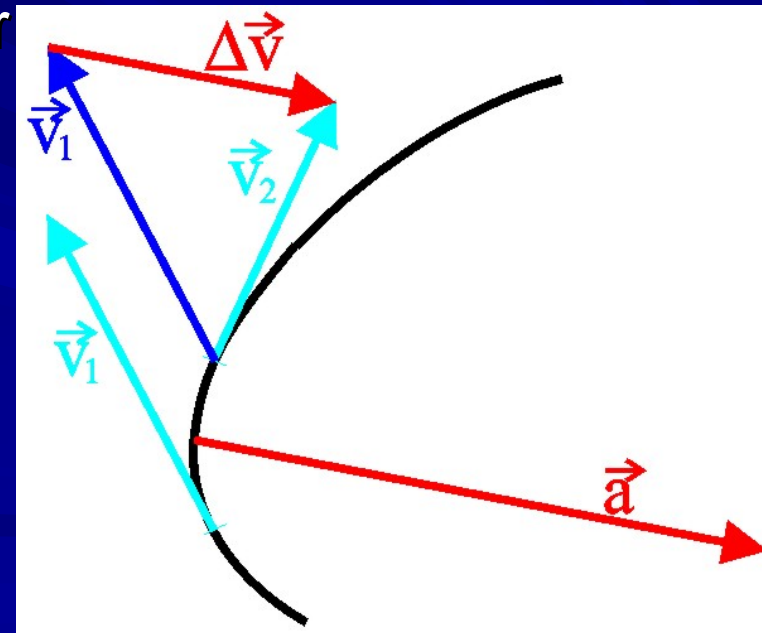
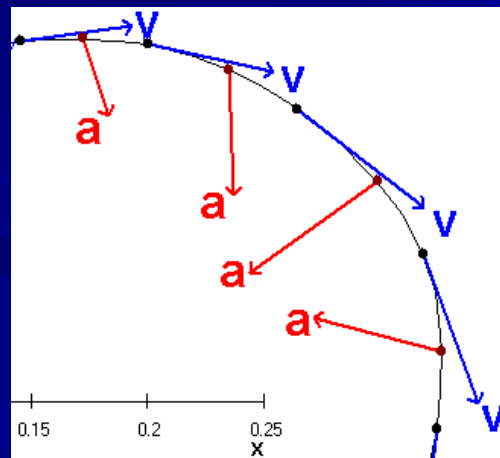
Führt zu Problemen!!

4 Beispiel: Der Begriff Beschleunigung

Lösung:

- Bei der Einführung von allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen ausgehen
- Geschwindigkeitsänderungsvektor ergibt Beschleunigung.

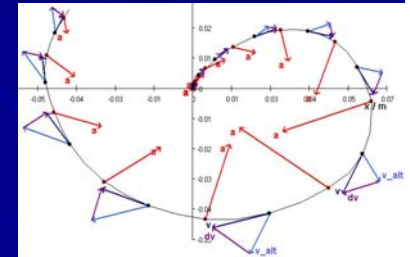
- Größen werden als Vektoren erkannt.



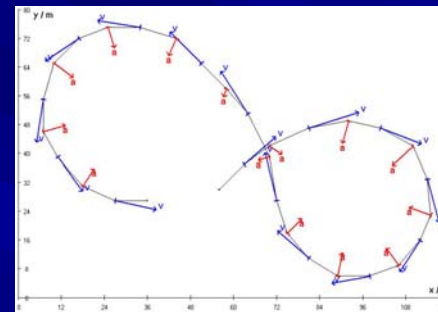
4 Beispiel: Der Begriff Beschleunigung

Alternativen zur Mausmessung:

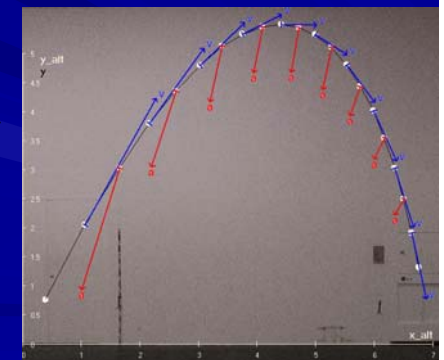
■ Messung mit dem Graphiktableau



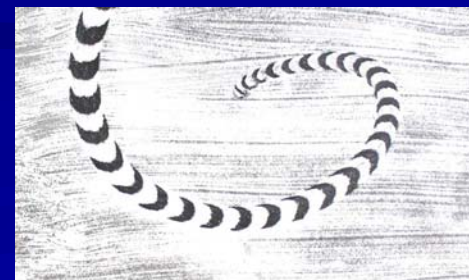
■ Messung mit GPS



■ Videoanalyse zweidimensionaler Bewegungen



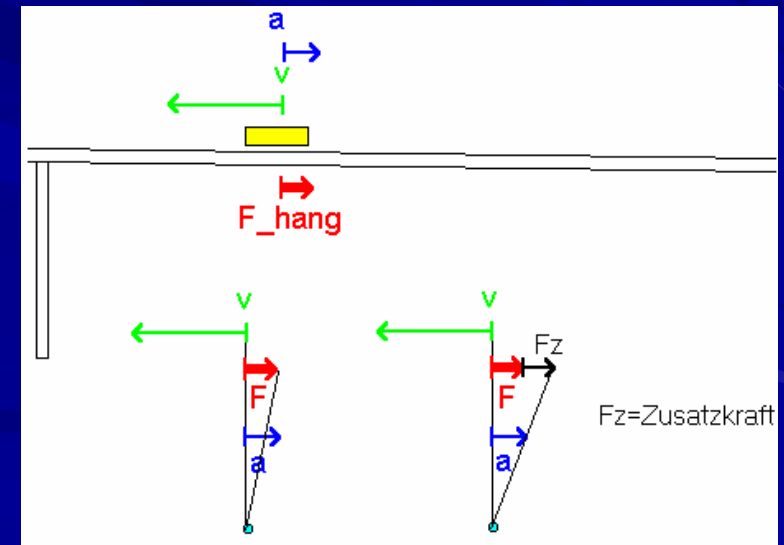
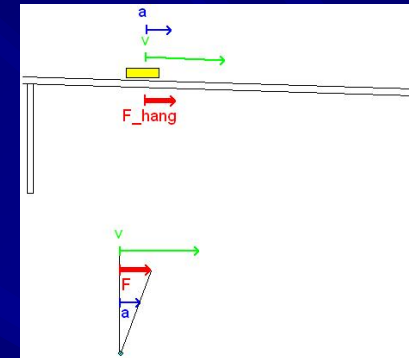
■ Die Spurenplatte



5 Beispiel: Der Begriff Kraft

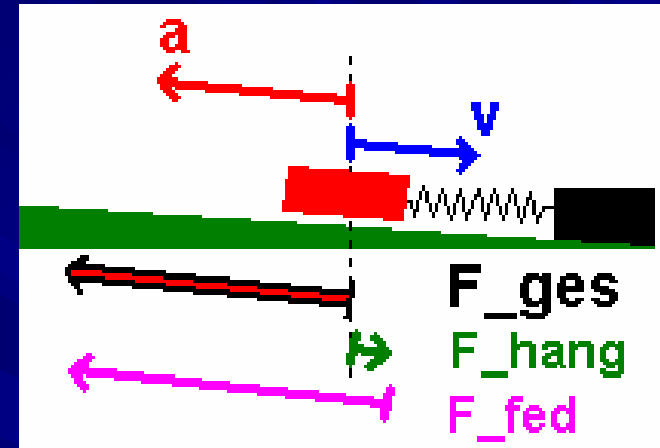
Kontinuierliche Messung mit dem Computer:

- $a = F / m$ gilt in jedem Augenblick – auch bei veränderlicher Kraft.
- Mehrere Kräfte wirken.
Es gilt: $\vec{a} \sim \Sigma \vec{F}$



6 Möglichkeit: Vorhersagen

- über relevante Größen / Pfeile
- fördern Eigenaktivität
- werden nicht bewertet

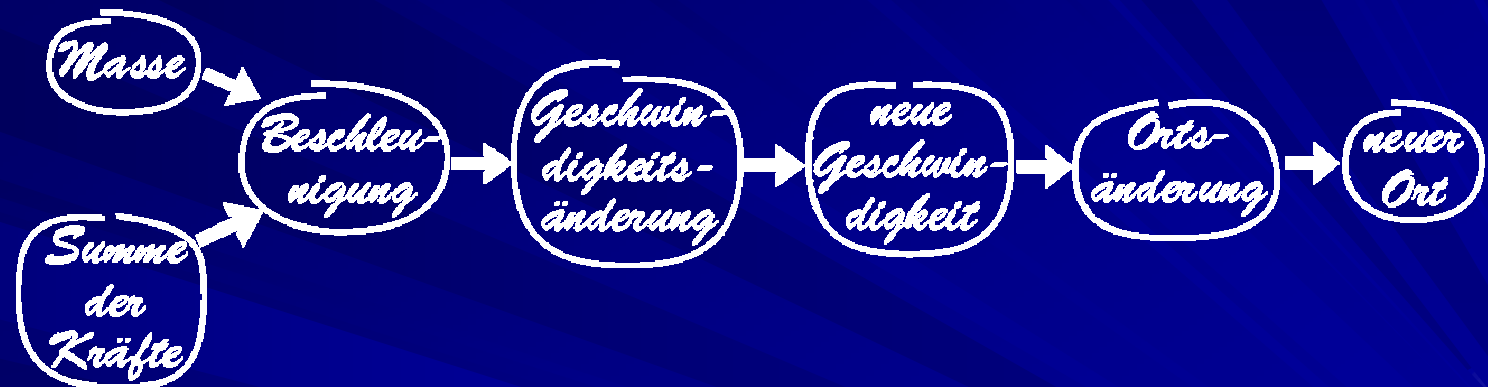


7 Möglichkeit: Verwendung qualitativer Aufgaben

- Einsetzaufgaben helfen nicht zum Verständnis
- Qualitative Aufgaben mit ikonischen Darstellungen möglich

8 Weitere Codierung: Einsatz graphischer Modellbildung

- Wirkungszusammenhänge visualisieren



- Graphische Modellbildungssysteme berechnen daraus den Ablauf



8 Weitere Codierung: Einsatz graphischer Modellbildung

Vorteile:

- Lernprozesse beim Erstellen helfen, Vorstellungen zu klären
- Hilfreich: Überprüfen an Animationen
- Reale und komplexe Situationen
- Keine Überbetonung von Rechen- und Einsetzaufgaben
- Eigene Untersuchung zeigte: Verständnis wird gefördert

Teil B: Überblick Evaluation

Zielsetzung der summativen Evaluation:

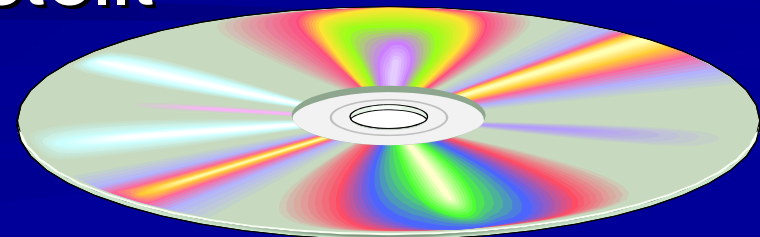
- Einschätzung des Konzepts von Lehrern
- Veränderungen in Schülervorstellungen feststellen

Teil B: Überblick Evaluation

- Während der Evaluation von 13 Lehrern in 17 Klassen durchgeführt (mittlerweile mehr)
- Dazu vorbereitende und begleitende Lehrerfortbildung

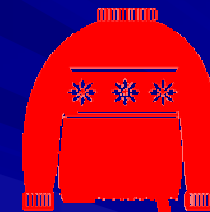
1 Unterrichtsmaterialien

- Viele Materialien auf CD und in einem Ordner
- Ausführliche Beschreibungen als Vorschlag
- Nach Lehrerwünschen erstellt



2 Erfahrungen der Lehrer im Kinematik-Unterricht

- In 14 Unterrichtsstunden durchführbar
- Einige entwickelten neue Ideen zum Konzept
- Ein Konzept mit rotem Faden



- Mehr Verständnis bei den Schülern

3 Erfahrungen der Lehrer im Dynamik-Unterricht

- Dynamik wurde unterschiedlich unterrichtet.
- Konzept ist schlüssiger (z.B.: $\vec{a} = \Sigma \vec{F} / m$).
- Schüler verstehen Zusammenhang von Kraft und Beschleunigung besser.
- Darstellungen von Größen und ihrer Änderungen:
 - tragen zum Verständnis bei
 - leuchten sofort ein
- Gute Erfahrungen mit: Vorhersagen machen lassen

4 Erfahrungen der Lehrer mit Modellbildung mit Animationen

- Lehrer, die es einsetzen, waren begeistert.
- Schüler finden selbst Fehler in ihren Modellen.
- Interessante Probleme können behandelt werden.



5 Testergebnisse Kinematik

Beschleunigungs- pfeile:



*: Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,001$

	2 Items geradeaus ($\alpha = 0,82$)	3 Items Kurve ($\alpha = 0,81$)
Kontrollgruppe am Jahresende (kurz nach U.), N = 217, 12 Klassen	90 %	9 %
Treatmentgruppe am Jahresende (8 Monate nach U.), N = 35, 2 Klassen	97 %	77 %*
Effektstärke	0,26	2,95

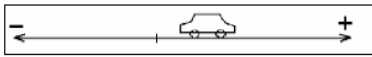
5 Testergebnisse Kinematik

Testaufgaben zur eindimensionalen Kinematik mit Grapheninterpretation:

FRAGEN ZU KRAFT UND BEWEGUNG

Anleitung zu allen Aufgaben: Beantworte alle Fragen nur in den Lücken auf dem Antwortblatt.

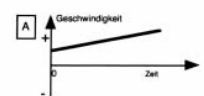
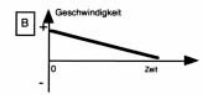


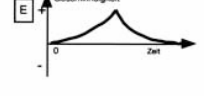
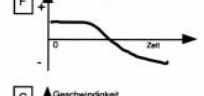
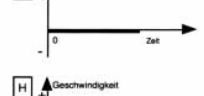
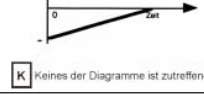
Situation: Die Fragen 1 - 9 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



Aufgabe: Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den Buchstaben (A bis H) des Geschwindigkeit-Zeit-Graphen, der zu der Bewegung des Autos paßt, die in jeder Angabe beschrieben ist.


Hinweis: Du darfst jeden Graphen mehrmals auswählen oder auch gar nicht. Wenn Du meinst, dass keiner richtig ist, antworte mit K.

- ☞ 1. Das Auto bewegt sich nach rechts mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.
- ☞ 2. Das Auto steht.
- ☞ 3. Das Auto bewegt sich nach links mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.
- ☞ 4. Das Auto ändert seine Bewegungsrichtung.
- ☞ 5. Die Geschwindigkeit des Autos nimmt gleichmäßig zu.
- ☞ 6. Das Auto bewegt sich mit konstanter Beschleunigung nach rechts.
- ☞ 7. Die Geschwindigkeit nach rechts nimmt gleichmäßig ab.
- ☞ 8. Die Entfernung des Autos zum Start nimmt bei einer Bewegung nach rechts gleichmäßig zu.
- ☞ 9. Nenne alle Zeit-Geschwindigkeitsdiagramme, die zeigen, dass das Auto sich beschleunigt bewegt.

K Keines der Diagramme ist zutreffend



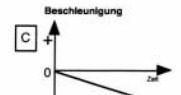
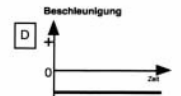

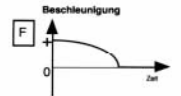


Situation: Die Fragen 10-17 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



Aufgabe: Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den Buchstaben (A bis H) des Beschleunigung-Zeit-Graphen, der zu der Bewegung des Autos paßt, die in jeder Angabe beschrieben ist.

Hinweis: Du darfst jeden Graphen mehrmals auswählen oder auch gar nicht. Wenn Du meinst, dass keiner richtig ist, antworte mit K.

- ☞ 10. Das Auto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit.
- ☞ 11. Das Auto bewegt sich nach rechts (in positive Richtung) und wird gleichmäßig immer schneller.
- ☞ 12. Das Auto bewegt sich nach rechts und wird gleichmäßig immer langsamer.
- ☞ 13. Das Auto bewegt sich nach links (in negative Richtung) mit einer konstanten Geschwindigkeit.
- ☞ 14. Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer schneller.
- ☞ 15. Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer langsamer.
- ☞ 16. Nenne alle Zeit-Beschleunigungs-Diagramme, die zeigen, dass das Auto sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt.
- ☞ 17. Nenne alle Zeit-Beschleunigungs-Diagramme, die zeigen, dass das Auto seine Geschwindigkeit gleichmäßig erhöht oder erniedrigt.

K Keines der Diagramme ist zutreffend

5 Testergebnisse Kinematik

Testaufgaben zur eindimensionalen Kinematik mit Grapheninterpretation:

	Vor Unterricht 373 Schüler	Nach U. Kontroll- gruppe 188 Schüler	Nach U. Treatment- gruppe 211 Schüler
6 Items zu Beschleunigungs- Graphen ($\alpha = 0,84$)	richtig: 12 % nach v: 71 %	richtig: 47 % nach v: 37 %	richtig: 47 % nach v: 41 %

- Nicht schlechter, obwohl dies weniger geübt!
- Treatmentgruppe nicht besser, obwohl mehr Verständnis erwartet wurde.

Beschleunigung beim Münzwurf:

Nach dem Unterricht		Kontroll- gruppe in % (N=188)	Treatment- gruppe in % (N=151)
<u>Aufgabe 1: Vorzeichen</u>			
Richtig	- - -	7	39 *
Fast-Richtig	- 0 -	10	10
Schneller/langsamer	- 0 +	36	14 *
\vec{v} statt \vec{a}	+ 0 -	41	25 *
<u>Aufgabe 2: Pfeile</u>			
Richtig	↓↓↓	9	42 *
Fast-Richtig	↓0↓	19	18
Nach + / -	↓0↑	4	7
\vec{v} statt \vec{a}	↑0↓	62	27 *

*: χ^2 -Test, $p=0,01$

■ In Treatmentgruppe mehr Richtungsverständnis

6 Testergebnisse Dynamik

- International bekannter Test „Force Concept Inventory“
- Denkaufgaben zur newtonschen Mechanik
- Multiple-Choice-Aufgaben
- In Deutschland im Gegensatz zu USA wenig eingesetzt
- 13 herkömmlich unterrichtete bayerische Klassen vor und nach Unterricht beantwortet

FCI-Ergebnisse Gymnasiasten

258 herkömmlich unterrichtete Schüler:

- Beginn der 11. Jahrgangsstufe: 28 % richtig
- Nach Mechanikunterricht: 41 % richtig
- Relativer Zugewinn: 18 %
(Relativer Zugewinn = absoluter Zugewinn dividiert durch möglichen Zugewinn)
- Besonders geringe relative Zugewinne bei „2. newtonsches Axiom“ und „Superposition“
- Korrelationen, Faktorenanalyse, Reliabilitäten sprechen gegen die Einteilung in Subskalen

Die Treatmentgruppe beim FCI

138 Schüler aus sieben Klassen:

- Nachtest: 53 %* richtig (Vergleich: 41 %) *: p=0,001
- Effektstärke beim Nachtestergebnis: 0,77
- Relativer Zugewinn: 31 %* (Vergleich: 18 %)
- Anteil Schüler mit über 60 % richtig:
 - 42 % im Nachtest (Vergleich: 16 %)
 - Anteil hat rel. Zugewinn von 38 % (Vergleich: 13 %)
- Größte relative Zugewinne bei „3. newtonsches Axiom“, größte Effektstärke bei „Kraftverständnis“

Die Treatmentgruppe beim FCI



- Items mit mehr relativem Zugewinn sind Items zu:
 3. Newton, Kinematik, zweidimensionale Bewegungen, vektorielle Summe von Kräften, Wurfbewegungen
- Unterschiede auf Unterrichtskonzept rückführbar

6 Testergebnisse Dynamik

Kraftverständnis eindimensionale Bewegung nach dem Unterricht:

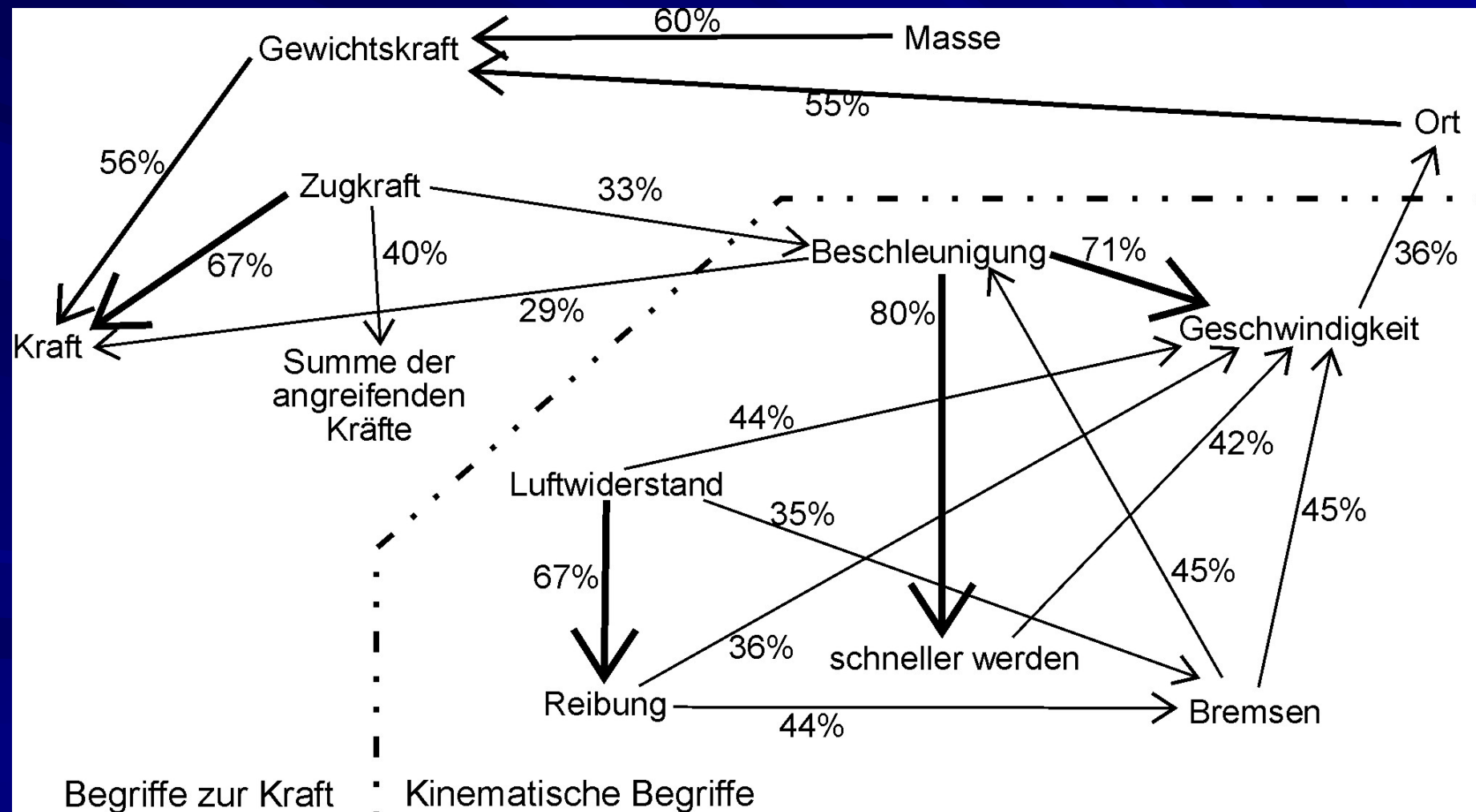
*: Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,05$

Aufgabengruppe	Kontrolle, 188 Schüler	Treatment, 211 Schüler	Effektstärke
7 Items zu Kräfte (Text) ($\alpha = 0,9$)	richtig: 32 % F wie v: 51 %	richtig: 39 %* F wie v: 29 %	0,20
7 Items zu Kräfte (Graphen) ($\alpha = 0,9$)	richtig: 21 % F wie v: 65 %	richtig: 34 %* F wie v: 51 %	0,34

Kombination von Grapheninterpretation und Kraftaufgaben ist schwerer als jedes allein.

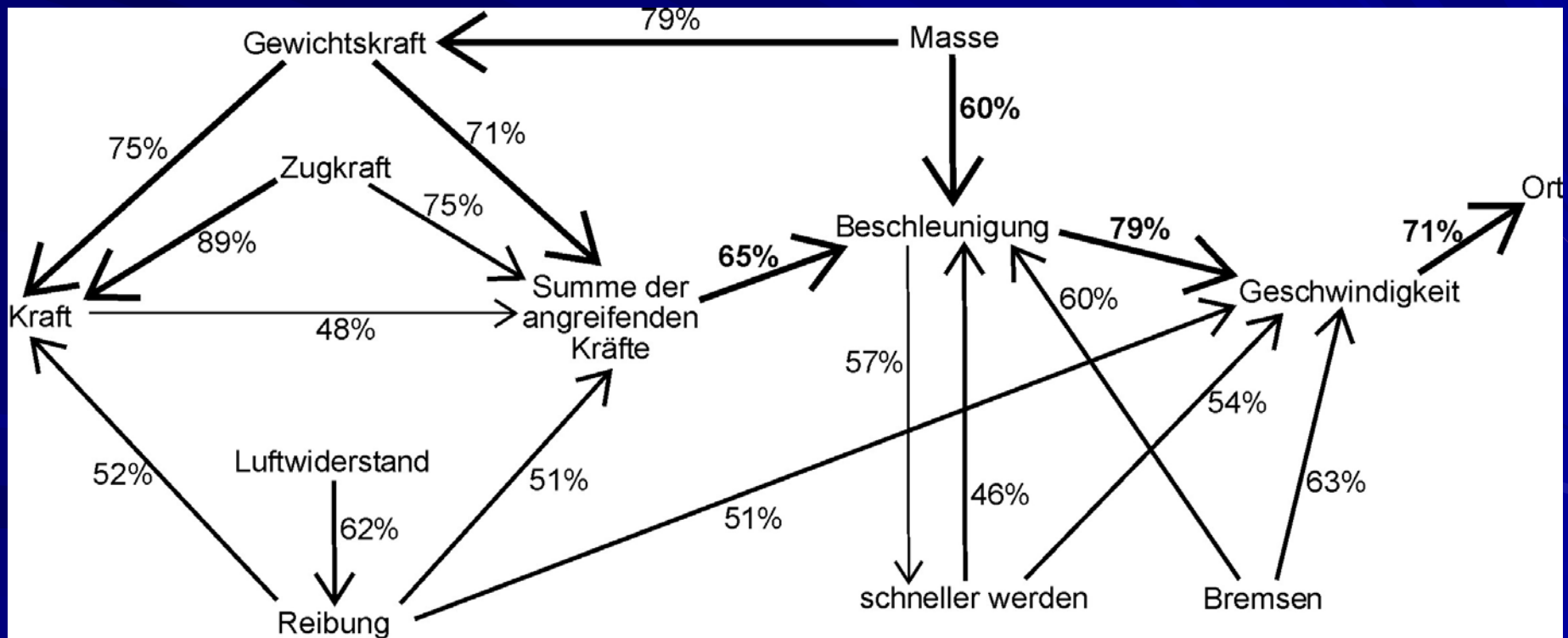
Concept Maps

Modelmap nach traditionellem Unterricht (3 Klassen):



Concept Maps

Modelmap nach dem Konzept mit Modellbildung
(3 Klassen, 63 Schüler):



Concept Maps

Häufigkeit ausgewählter Verbindungen:

	$\Sigma F \rightarrow a$	$m \rightarrow a$	$a \rightarrow v$	$v \rightarrow x$	$\Sigma F \rightarrow a \rightarrow v \rightarrow x$	$\Sigma F \rightarrow a \rightarrow v \rightarrow x + m \rightarrow a$
Direkt nach <i>traditionellem Unterricht</i> <u>ohne Modellbildung</u> (3 Klassen, 55 Schüler)	9%	22%	71%	36%	4 %	0 %
Lange Zeit nach <i>dem Konzept</i> <u>mit Modellbildung</u> (3 Klassen, 63 Schüler)	65%	60%	79%	71%	46 %	38 %

In Treatmentgruppe mehr strukturelles Verständnis

7 Weitere Tests

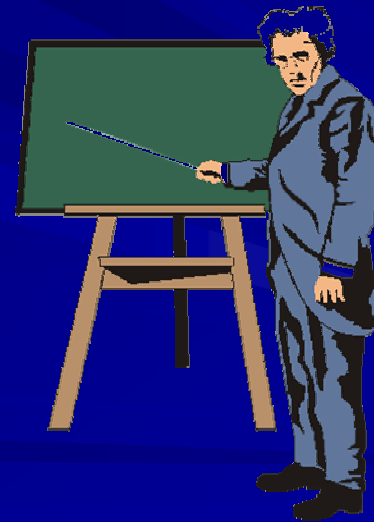
- Fragebogen Modellbildung:
Schüler schätzen Modellbildung sehr positiv ein.
- MPEX-Test:
Schüler mit Modellbildung sind eher der Meinung, Physik habe etwas mit der Realität zu tun.

Teil C: Zusammenfassung

Dynamisch ikonische Repräsentationen ermöglichen:

- neue Elementarisierungen
- neue Unterrichtsstrategien

Lehrer beurteilen das Gesamtkonzept sehr positiv.



Bei den Schülern wird das Verständnis gefördert.

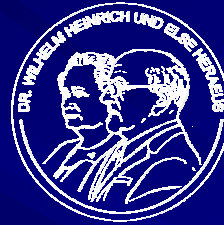
Danksagung

Betreuung:

- Dieter Heuer

Finanzielle Unterstützung:

- Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung



Tests:

- viele Schüler, die ca. 5000 Testbögen bearbeiteten
- viele Lehrer, die dafür Unterrichtszeit bereit stellten

Lehrer der Evaluation:

- Franz Balzer, Sebastian Berger, Ulrich Böhm, Susanne Geßner, Jürgen Hack, Gunther Hickisch, Rüdiger Horn, Christian Koch, Heiko Pauthner, Michael Prautzsch, Sabine Theismann, Andreas Zwicknagel
- Thomas Poth, Sebastian Gröber

Kollegen und Mitarbeiter:

- Wolfgang Reusch, Ernst Kircher, Stefan Braun, Thomas Geßner, Oliver Gößwein und weitere Mitarbeiter des Lehrstuhls für Didaktik der Physik

Und viele weitere Unterstützer:

- meine Frau Angelika
- alle, die etwas Korrektur gelesen haben