

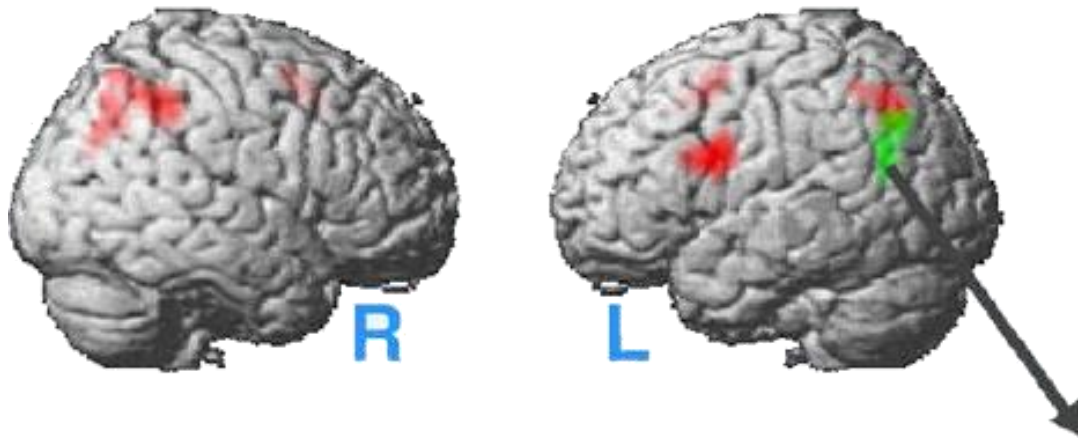
# Lernen macht intelligent

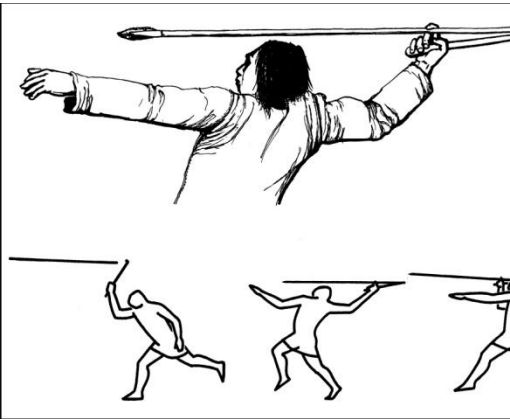
**Elsbeth Stern**

**Professur für Lehr- und Lernforschung**

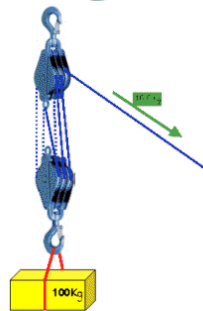
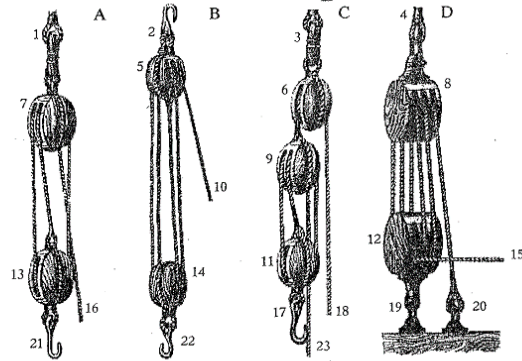


# Es geschah vor mindestens 40'000 Jahren: genetischer Bauplan des menschlichen Gehirns

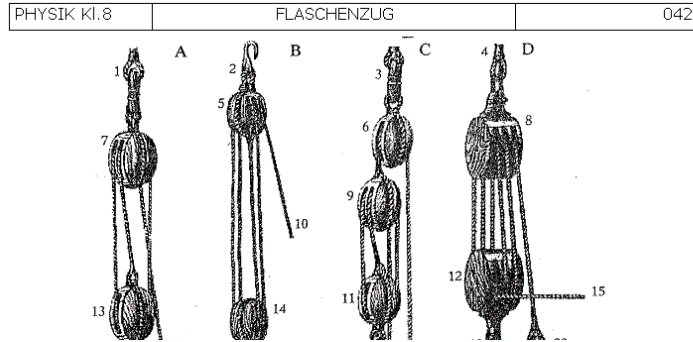
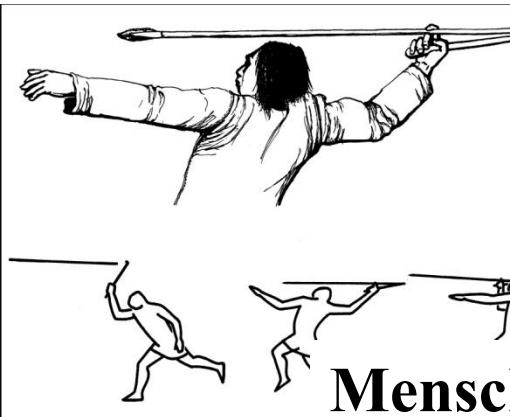




PHYSIK KI.8 FLASCHENZUG 042

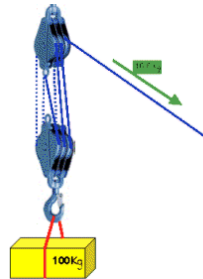






**Menschen haben ihre Umwelt gezielt verändert**

**... obwohl sie mit einem Gehirn ausgestattet sind, dessen genetischer Bauplan mindestens 40 000 Jahre alt ist**



## Jahre, seitdem .....

- **40.000: menschliches Genom und damit auch die Funktionsweise des Gehirns unverändert**
- **5.000: Schrift in Gebrauch**
- **3.000: mathematische Symbolsysteme in Gebrauch**
- **2.200: Konzept der Dichte (Archimedes)**
- **800: Arabisches Zahlensystem in Europa gängig**
- **400: Analytische Geometrie entwickelt (Descartes)**
- **300: Mechanik (Newton)**
- **50: Struktur der DNA bekannt**

# Was macht Menschen (manchmal) so schlau?

## Womit uns die Natur ausgestattet hat

- **Social minds (Sprache, joint attention, mind-reading)**
- **Fähigkeit zur symbolischen Wissensrepräsentation**
- **Fähigkeit zur langfristigen Planung und Flexibilität in der Zielbildung (exekutive Funktionen im Frontalhirn)**

## Was Kultur daraus gemacht hat

- **Gruppen (Gesellschaften), die von gemeinsamen Zielen und von Arbeitsteilung profitieren**
- **Symbolsysteme, die sich auch als Denkinstrumente eignen**
- **Kondensiertes Lernen durch schulische Instruktion**

$$\text{CIV} : \text{XXVI} =$$

$$104 : 26 =$$

# Die Bedeutung kultureller Werkzeuge für das Verständnis physikalischer Grundkonzepte

Dissertation Katja Boedeker

(gemeinsames Projekt mit dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte)

- **Trobriand:**
  - illiterate Erwachsene
  - 11-jährige Schüler
- **Berlin: 11-jährige Schüler**

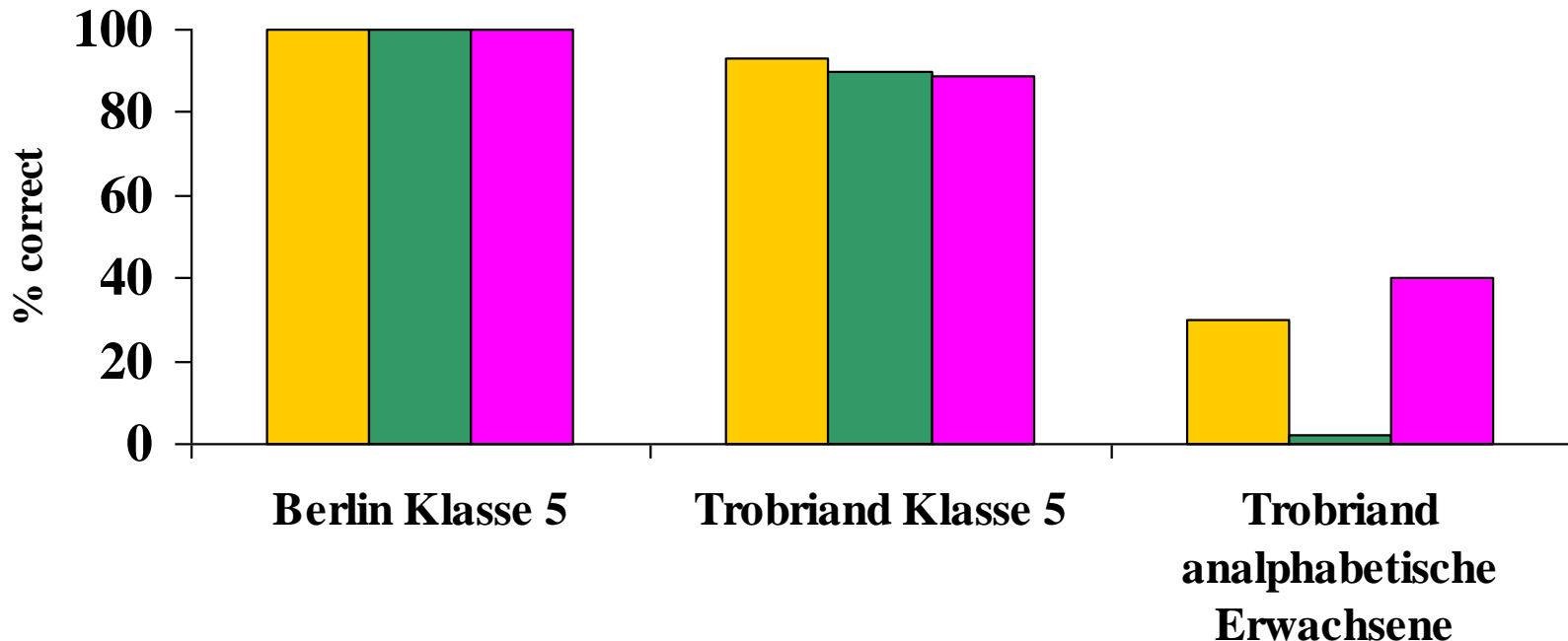




Kann man so viel Watte aufhäufen, dass diese genauso viel wiegt wie diese Eisenkugel?

Ändert sich das Gewicht der Knetmasse, wenn sich die Form ändert?

Kann man eine Holzkugel herstellen, die genauso viel wiegt, wie diese Eisenkugel?



# Intelligenz und Schule



**Richard Snow (1926-1997)**

School of Education, Stanford University

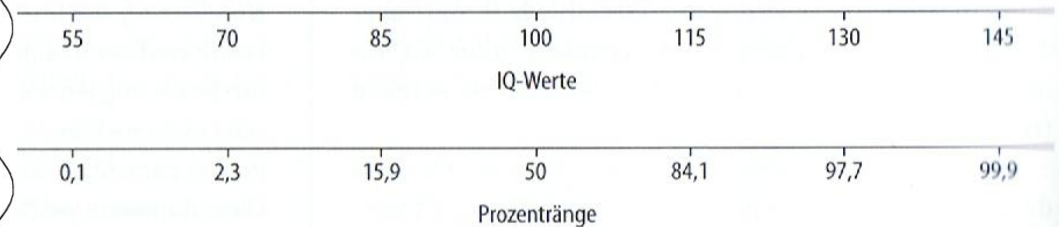
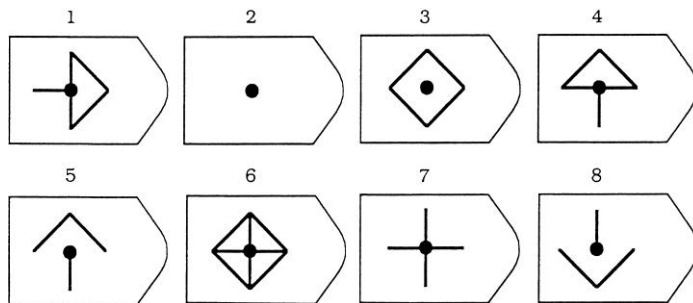
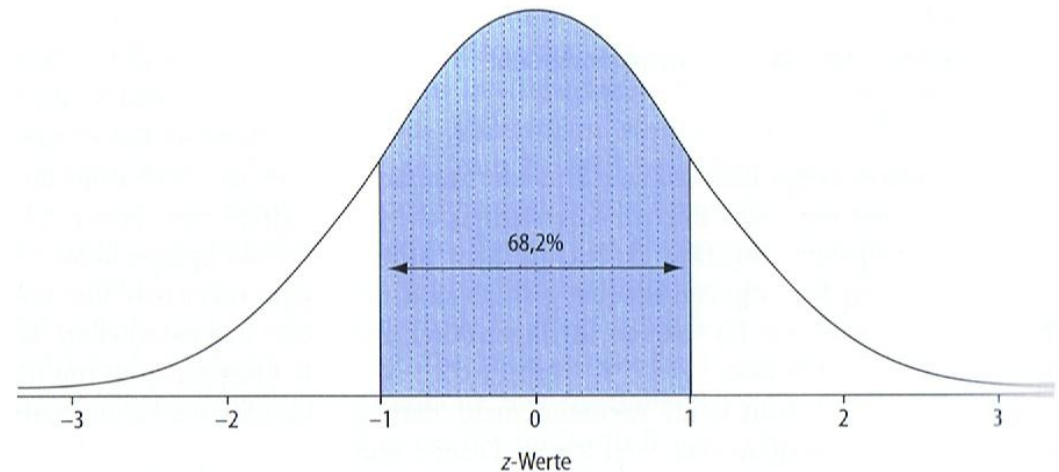
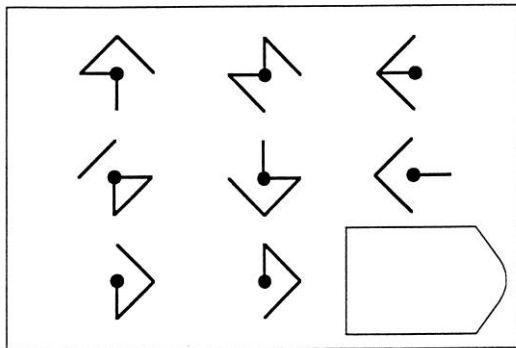
*The psychology of human differences is fundamental to education.*

*Psychology now recognizes intelligence as education's most important **product**, as well as its most important **raw material**.*

# **Menschen innerhalb eines Kulturkreises unterscheiden sich vehement in ihrer akademischen Lernfähigkeit: Differentielle Perspektive der Intelligenzforschung**

# Intelligenztests und IQ

- **Zahlenreihen:** 57 60 30 34 17 22 11 ?
- **Analogien:** Gramm : Gewicht = Stunde : ?





# Was sagt der IQ aus?

- Je höher der IQ, um so wahrscheinlicher sind akademischer Lernerfolg sowie Berufs- und Lebenserfolg
- IQ-Unterschiede offenbaren sich erst durch den Schulbesuch

# Ursachen für Intelligenzunterschiede

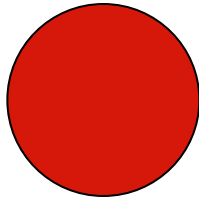
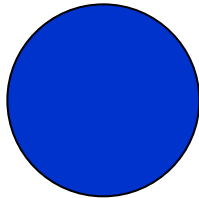
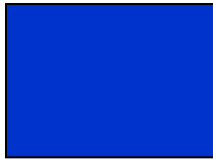
- Gene versus Umwelt
- Ergebnisse aus Zwillings- und Adoptionsstudien
- Nicht Nature *versus* Nurture, sondern Nature **via** Nurture
- Je grösser die Chancengerechtigkeit in einer Gesellschaft ist, um so grösser ist der auf Gene zurückzuführende Anteil der Intelligenzunterschiede
- Es gibt nicht DAS Intelligenzgen
- Keine Pillen, keine teuren Extras in den ersten drei Lebensjahren, kein Gehirnjogging, kein Mozarteffekt
- Standardernährung, emotionale Geborgenheit, natürliche Sprachförderung, Zugang zu Symbolsystemen

# Welche kognitiven Funktionen liegen Intelligenzunterschieden zugrunde?

- Exekutive Funktionen: Ziel nicht aus den Augen verlieren
- Irrelevante Information hemmen (Inhibition)
- Symbole müssen durch die Aktivierung von Wissen mit Bedeutung versehen werden

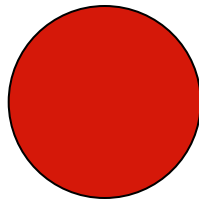
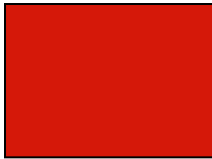
$$p(H_1 | D) = \frac{p(H_1)p(D | H_1)}{p(H_1)p(D | H_1) + p(H_2)p(D | H_2)}$$

# Task Switch-Aufgaben

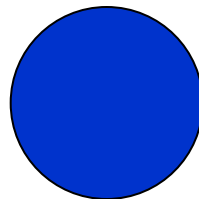




# Wenn rot: Taste drücken

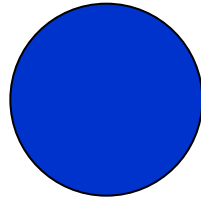
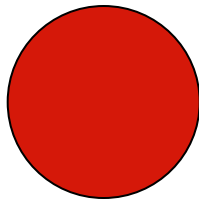


**ja**



**nein**

# Wenn Kreis: Taste drücken



**ja**



**nein**

# Fehler oder Verzögerung nach Task-Switch

Wenn rot: Taste drücken

ja

nein

Wenn Kreis: Taste drücken

nein

ja

# Und was machen wir mit der Intelligenz?



# Wovon hängt es ab, was und wieviel wir uns merken können?

- Hans baute ein Boot.
- Urs liess einen Drachen steigen.
- Lutz ass einen Apfel.
- Beat ging über das Dach.
- Jochen versteckte ein Ei.
- Dominik setzte das Segel.
- Peter schrieb ein Drama.
- Viktor drückte den Schalter.

- Wer ass einen Apfel?
- Wer versteckte ein Ei?
- Wer liess einen Drachen steigen?
- Wer ging über das Dach?
- Wer drückte den Schalter?
- Wer setzte das Segel?
- Wer baute ein Boot?
- Wer schrieb das Drama?

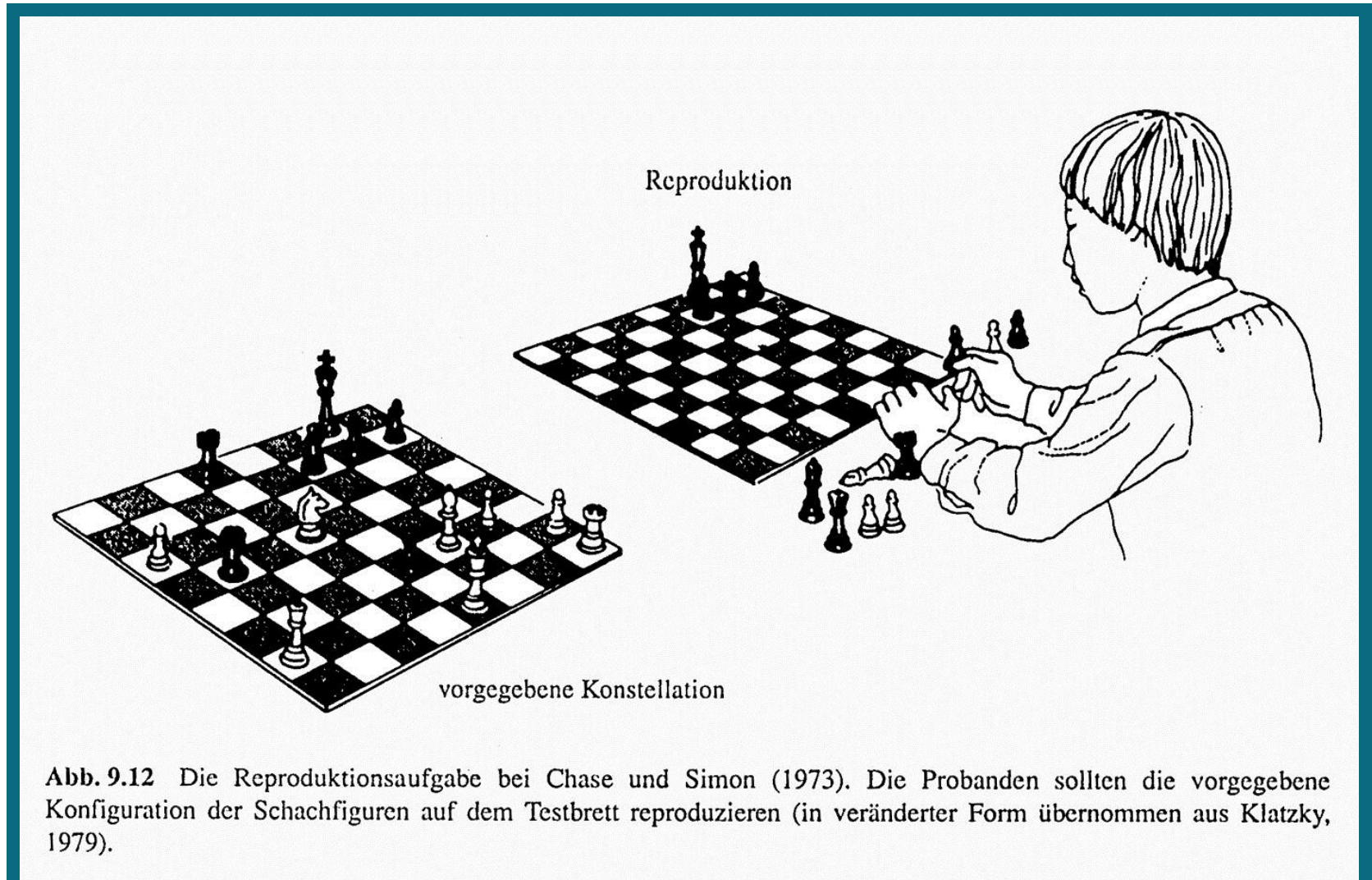
- Noah baute ein Boot.
- Benjamin Franklin liess einen Drachen steigen.
- Adam ass einen Apfel.
- Der Weihnachtsmann ging über das Dach.
- Der Osterhase versteckte ein Ei.
- Christoph Kolumbus setzte das Segel.
- William Shakespeare schrieb ein Drama.
- Thomas Edison drückte den Schalter.



- Wer ass einen Apfel?
- Wer versteckte ein Ei?
- Wer liess einen Drachen steigen?
- Wer ging über das Dach?
- Wer drückte den Schalter?
- Wer setzte das Segel?
- Wer baute ein Boot?
- Wer schrieb das Drama?

Jede/r Lehrende muss sich bewusst sein: Was wir uns an eingehender Information merken können, hängt ganz entscheidend von unserem bereits verfügbaren Wissen ab.

# Expertise im Schachspiel

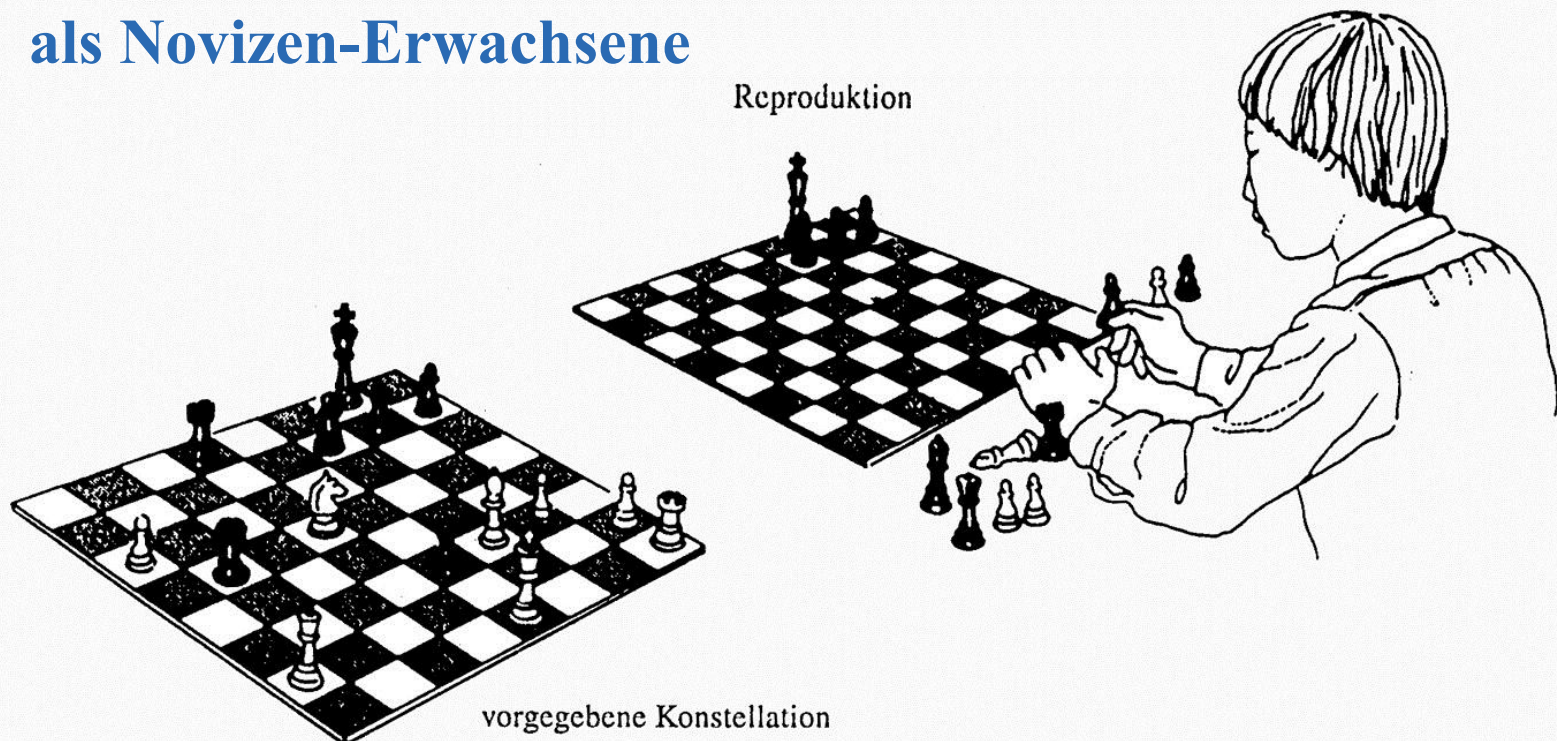


**Abb. 9.12** Die Reproduktionsaufgabe bei Chase und Simon (1973). Die Probanden sollten die vorgegebene Konfiguration der Schachfiguren auf dem Testbrett reproduzieren (in veränderter Form übernommen aus Klatzky, 1979).



# Expertise im Schachspiel

## Kinderstudie Schach: Expertenkinder besser als Novizen-Erwachsene



**Abb. 9.12** Die Reproduktionsaufgabe bei Chase und Simon (1973). Die Probanden sollten die vorgegebene Konfiguration der Schachfiguren auf dem Testbrett reproduzieren (in veränderter Form übernommen aus Klatzky, 1979).

- Die Gedächtnisleistung hängt (fast) ausschliesslich von der Wissensorganisation ab: Neue Information muss an bestehendes Wissen angebunden werden.
- Geringer Einfluss von Strategiewissen, starker Einfluss von Alzheimer und anderen Gehirnerkrankheiten.
- Es gibt keinen unspezifischen Transfer (weder durch Latein, noch durch Schach oder Musik)
- Nicht fehlende Motivation sondern fehlendes Wissen als Ursache für schlechte Merkleistung sein (Information geht durch die Maschen)



# Wie sieht intelligentes Lernen aus?



# Wissen als der Schlüssel zum Können

- Wissen DASS
- Deklatives Wissen (Fakten und Begriffe)
- Wissen WIE
- Prozedurales Wissen (automatisierte Handlungen)
- Wie muss Wissen im Gedächtnis einer Person organisiert sein, damit es bei der Bewältigung einer Anforderung zum richtigen Zeitpunkt aktiviert und genutzt wird?

# Kompetenzen: Setzen sich aus prozeduralem und konzeptuellen Wissen zusammen



**TIMS/III Aufgabe:** Die Beschleunigung eines sich geradlinig bewegenden Objektes kann bestimmt werden aus

- Der Steigung des Weg-Zeit-Graphen
- Der Fläche unter dem Weg-Zeit-Graphen
- Der Steigung des Geschwindigkeits-Zeit-Graphen
- Der Fläche unter dem Geschwindigkeits-Zeit-Graphen

**Prozent korrekte Lösung bei deutschen Abiturienten**

- Deutschland: mit Leistungskurs Mathematik: 50%
- Deutschland: mit Grundkurs Mathematik: 44%
- Schweiz: 60%
- International 67%




## Warum können Maturanden die Aufgabe nicht lösen?

- Beschleunigung wurde als Definition in der Physik gelernt und längst wieder vergessen
- Der Graph wurde nicht als Denkinstrument verstanden, sondern als Darstellungsmöglichkeiten
- Weg-Zeit-Graph ist bekannt, mit Bekanntem fährt man besser
- Konzeptuelles Verständnis wie "Rate der Veränderung" wurde nicht erarbeitet
- Graphen werden VIEL zu wenig in der Schule eingesetzt

A blue-tinted photograph of a large, classical-style building with a prominent dome and arched windows, likely a part of the ETH Zurich campus. The image is positioned at the top of the slide, behind the header text.

# Prozedurales Wissen



Ehct kstras! Das ghet wicklirh!  
Luat eneir Sutide eneir elgnihcesn  
Uvinisterät ist es nchit witihcg, in  
wlecehr Rneflogheie die  
Bstachuebn in eneim Wrot  
vrommkeon. Das enizig Wcthieig  
ist, dsas der estre und der leztte  
Bstabchue an der ritihcegn  
Pstoiion setehn. Der Rset knan  
ein ttoaerl Bsinöldn sien,  
tedztorm knan man ihn onhe  
Pemoblre lseen. Das ist so, wiel  
wir nciht jeedn Bstachuebn  
enzelin leesn, snderon das Wrot  
als gseatems.  
Und jzett veil Sapsß biem Rltsäen!



# Welche Lernvorgänge erzeugen automatisiertes prozedurales Wissen?

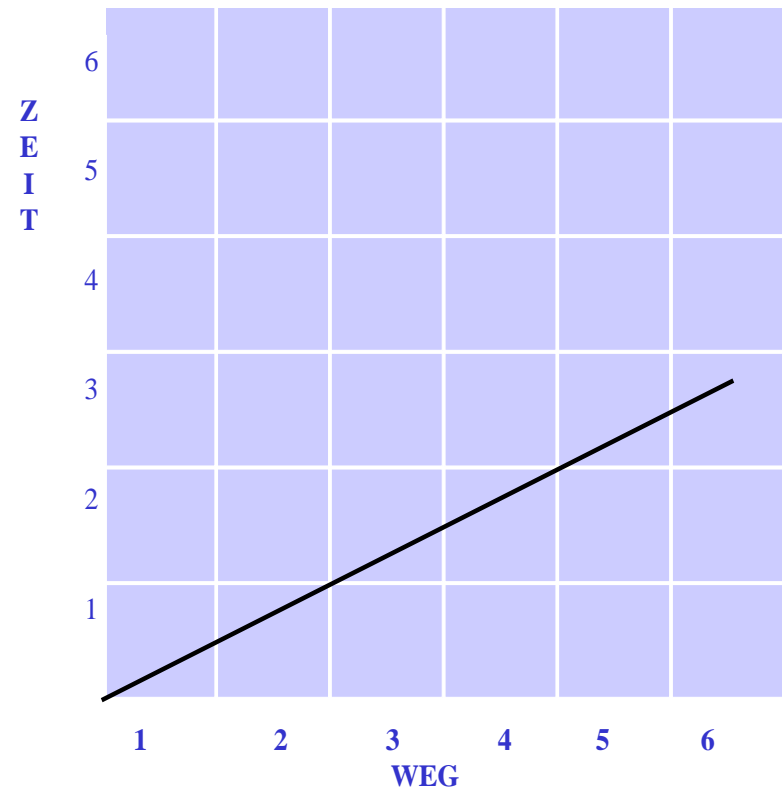
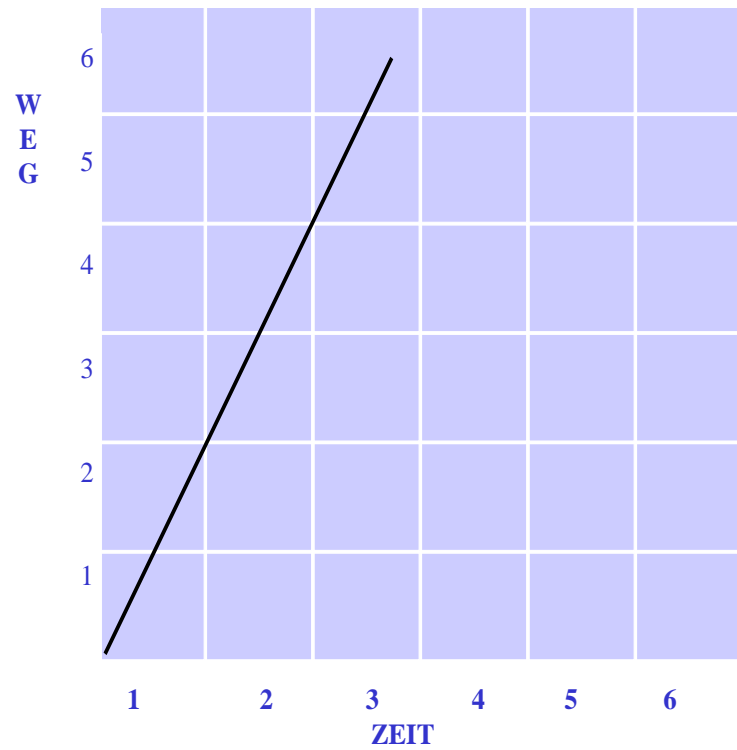
- Wiederholung
- Lernen am Erfolg
- Eventuell durch externe Steuerung (operantes Konditionieren)
- Fehler können den Lernprozess verzögern



# Weitere Beispiele für prozedurales Wissen

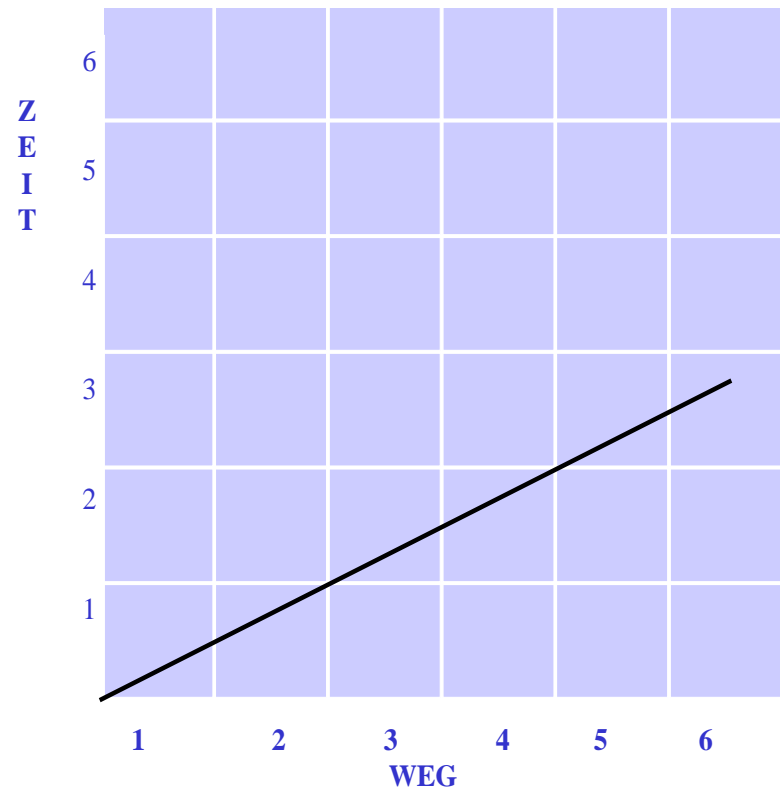
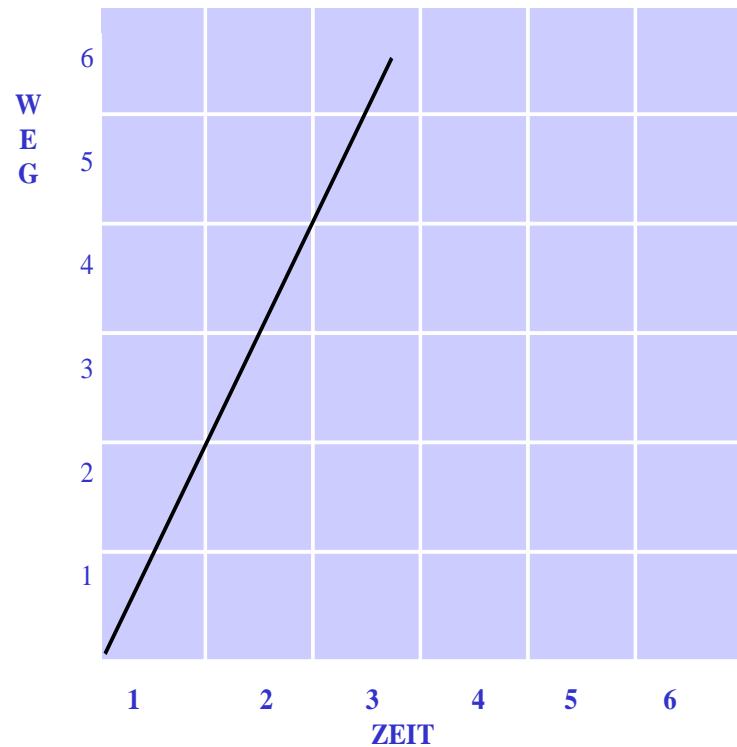
- Welche Zahl ist grösser?
- 9356 oder 10324
- Automatisierung der Blickbewegung

# Welches Auto fährt schneller?



# Welches Auto fährt schneller?

Prozeduralisierung beim Lesen von Graphen: Erster Blick gilt der Achsenbeschriftung





# Konzeptuelles Wissen



# Veränderung auf psychologischer Ebene: Nicht besser denken, sondern besser wissen.

- Säugetier
- Gewicht
- Von charakteristischen zu definatorischen Merkmalen
- Gleichheitszeichen Aufforderung zum Rechnen:  
 $1+2=3+3=6+4=$
- **Kinder sind universelle Novizen**

# Was ist eine Maschine?



PLATE NO. 101 "LAMP" ENGINE, 1860  
Copyright © 1999, The American Museum of Natural History





Unter einer **Maschine** versteht man in der Physik Vorrichtungen, welche Ansatzpunkt, Richtung oder GröÙe einer Kraft verändern, um die vorhandene Kraft möglichst zweckmäßig zur Verrichtung von Arbeit einzusetzen.





# Wie sieht eine intelligente Schule aus?

# Lerngelegenheiten, die den Aufbau von intelligenten Begriffsnetzwerken unterstützen

## **NICHT**

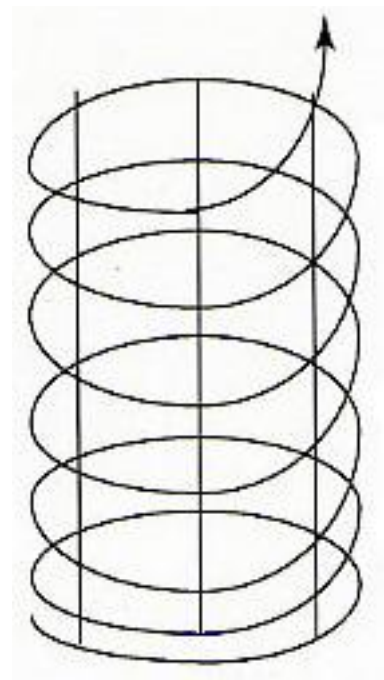
- **Lernen von Merksätzen, Definitionen und Formeln**
- **probieren, Versuch und Irrtum: Gefahr von Hands-on-minds-off**

## **Sondern**

- **Verstehen, wozu man einen Begriff braucht (Anregung zur Konzeptuellen Umstrukturierung)**
- **Früher Beginn beim Konzeptaufbau: Spiralcurriculum**

# Zeitperspektive

- Vom Ende denken
- Spiralcurriculum: Wissen anlegen, das später umstrukturiert werden kann
- Schweizer MINT-Studie (SMS): Physik in der Primarschule





## DIE SCHWEIZER MINT-STUDIE





**Wie kommt es, dass ein kleines Stück Stahl untergeht,  
aber ein grosses, schweres Schiff aus Stahl schwimmt?**



Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Why does a large ship of iron float? Conceptual change in elementary school children. *Journal of Educational Psychology*.



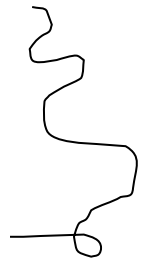
**Ein Metalldraht wird ins Wasser getaucht.**

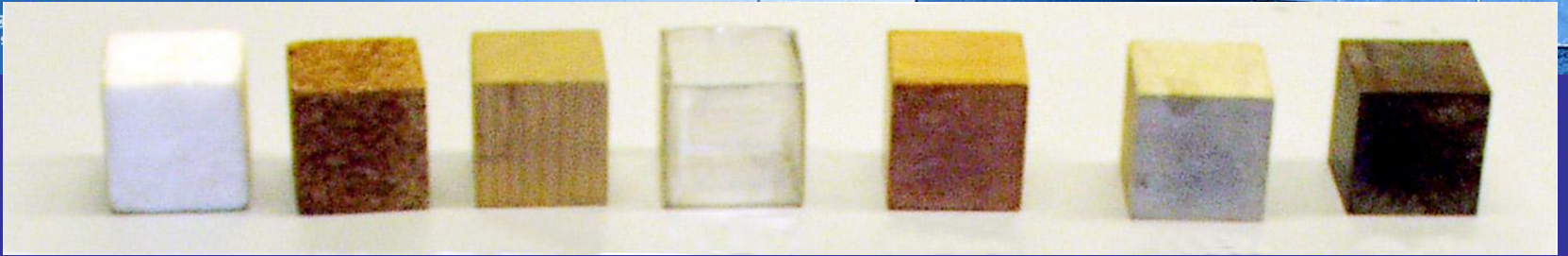
**Was passiert?**

geht unter

steigt nach oben

- weil er sich festhält.
- weil das weggedrängte Wasser weniger wiegt als der Metalldraht.
- weil er so lang und dünn ist.
- weil das weggedrängte Wasser mehr wiegt als der Metalldraht.
- weil er aus Metall ist.
- weil er vom Wasser nicht stark genug nach oben gedrückt wird.
- weil er so leicht ist.





Styropor

Kork

Holz

Wasser

Ton

Stein

Eisen



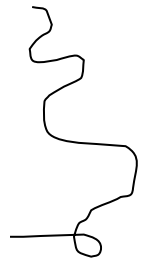
Ein Metalldraht wird ins Wasser getaucht.

Was passiert?

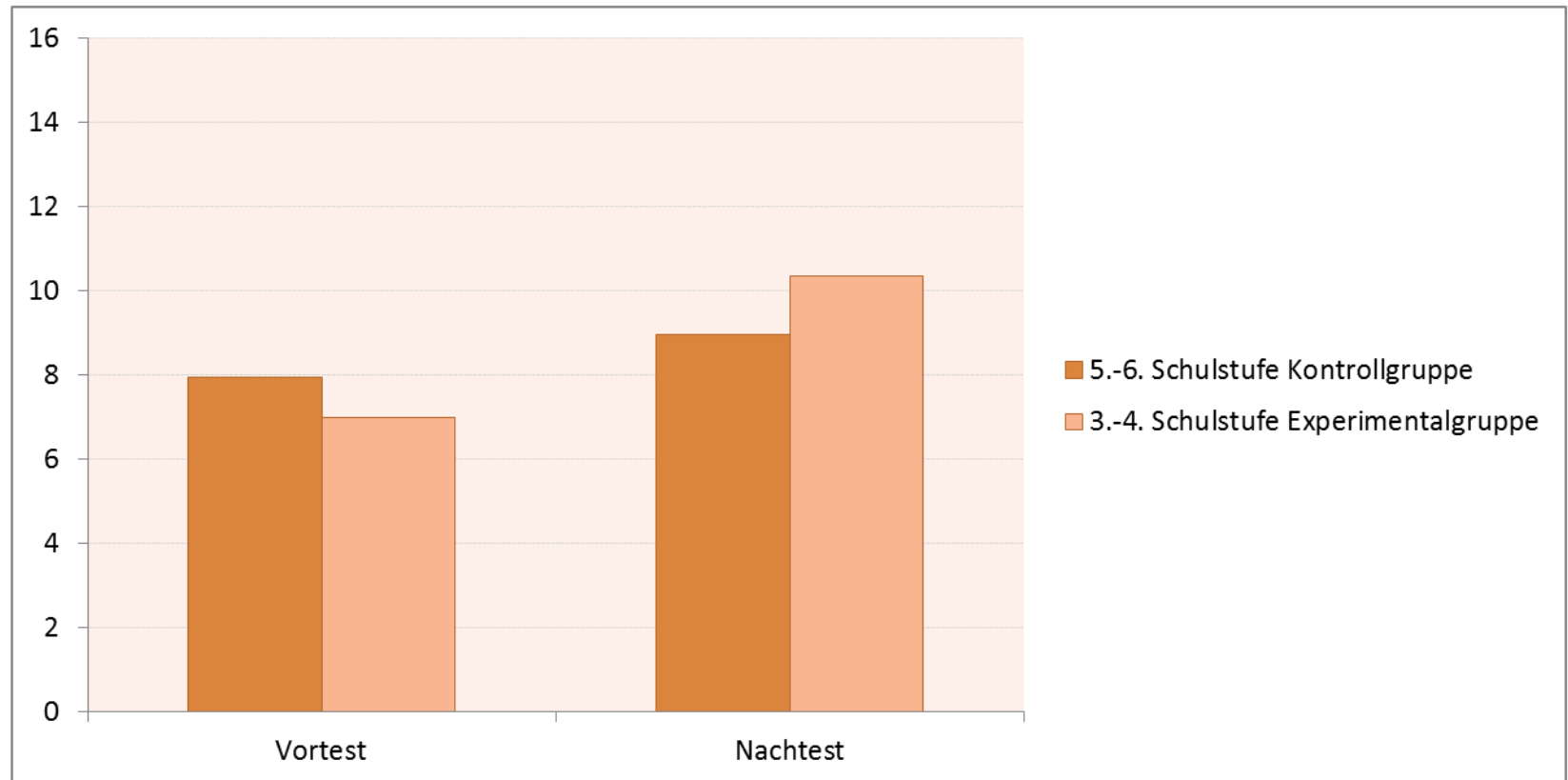
geht unter

steigt nach oben

- weil er sich festhält.
- weil das weggedrängte Wasser weniger wiegt als der Metalldraht.**
- weil er so lang und dünn ist.
- weil das weggedrängte Wasser mehr wiegt als der Metalldraht.
- weil er aus Metall ist.
- weil er vom Wasser nicht stark genug nach oben gedrückt wird.**
- weil er so leicht ist.

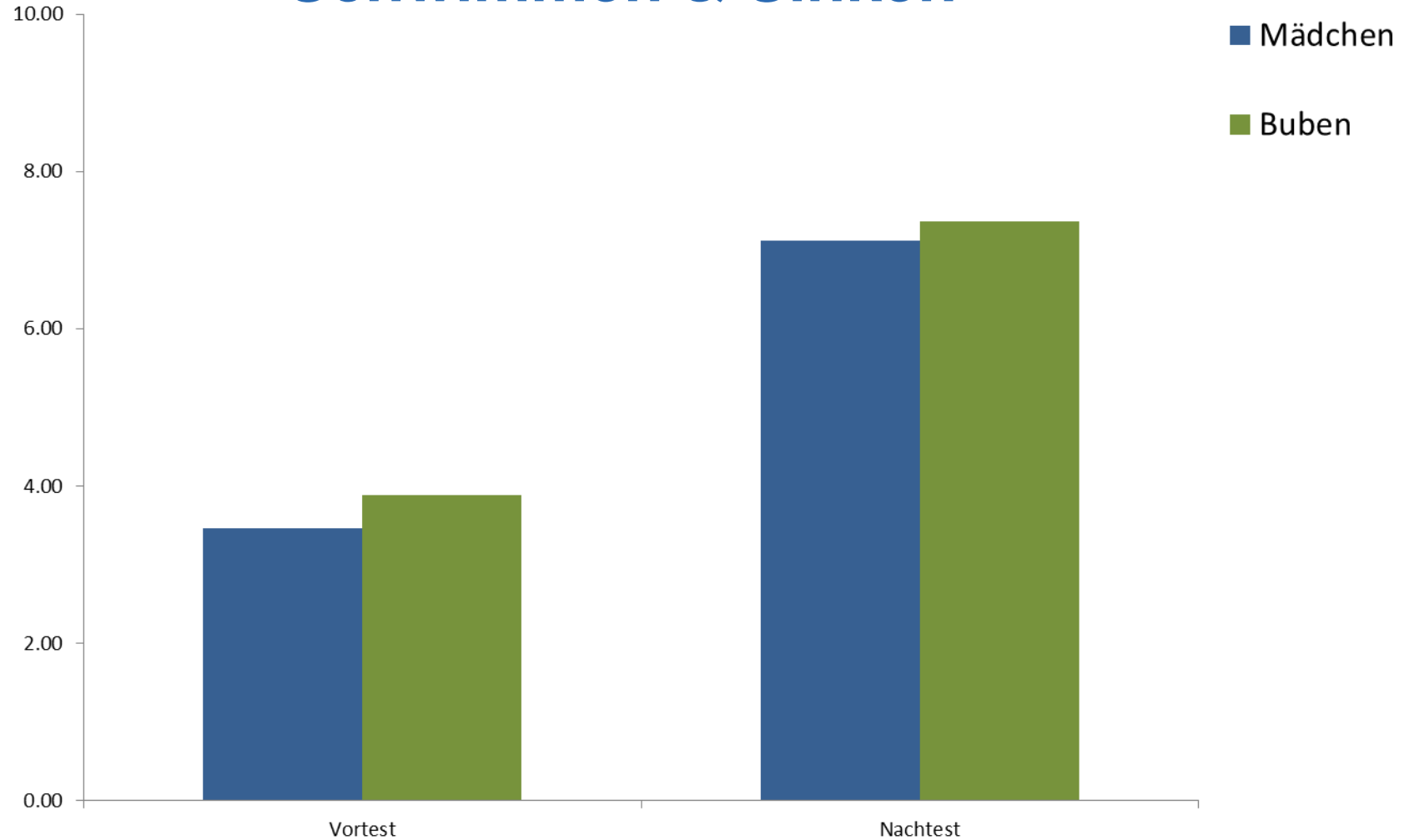


# Luft und Luftdruck: Vergleich von Kindern mit und ohne Unterricht



# Geschlecht

## Schwimmen & Sinken



## Zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen und noch differenzieren

- Automatisierung und die Bildung konzeptueller Grundlagen können gleichzeitig gefördert werden
- $1 \cdot 2 = 2$ ,  $2 \cdot 1 = 2$ ,  $1 \cdot 3 = 3$ ,  $3 \cdot 1 = 3$ ,  $1 \cdot 4 = 4$ ,  $4 \cdot 1 = 4$ ,  $2 \cdot 2 = 4$ ,  $1 \cdot 8 = 8$ ,  $8 \cdot 1 = 8$ ,  $2 \cdot 4 = 8$ ,  $4 \cdot 2 = 8$ ,  $1 \cdot 9 = 9$ ,  $9 \cdot 1 = 9$ ,  $3 \cdot 3 = 9$

# Welche Multiplikationsaufgaben führen zu einem bestimmten Ergebnis?

- 2  $1 \cdot 2 = 2, 2 \cdot 1 = 2$
- 3  $1 \cdot 3 = 3, 3 \cdot 1 = 3$
- 4:  $1 \cdot 4 = 4, 4 \cdot 1 = 4, 2 \cdot 2 = 4$
- 5  $1 \cdot 5 = 5, 5 \cdot 1 = 5$
- 6  $1 \cdot 6 = 6, 6 \cdot 1 = 6, 2 \cdot 3 = 6, 3 \cdot 2 = 6$
- 7  $1 \cdot 7 = 7, 7 \cdot 1 = 7$
- 8  $1 \cdot 8 = 8, 8 \cdot 1 = 8, 2 \cdot 4 = 8, 4 \cdot 2 = 8, 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$
- 9  $1 \cdot 9 = 9, 9 \cdot 1 = 9, 3 \cdot 3 = 9$

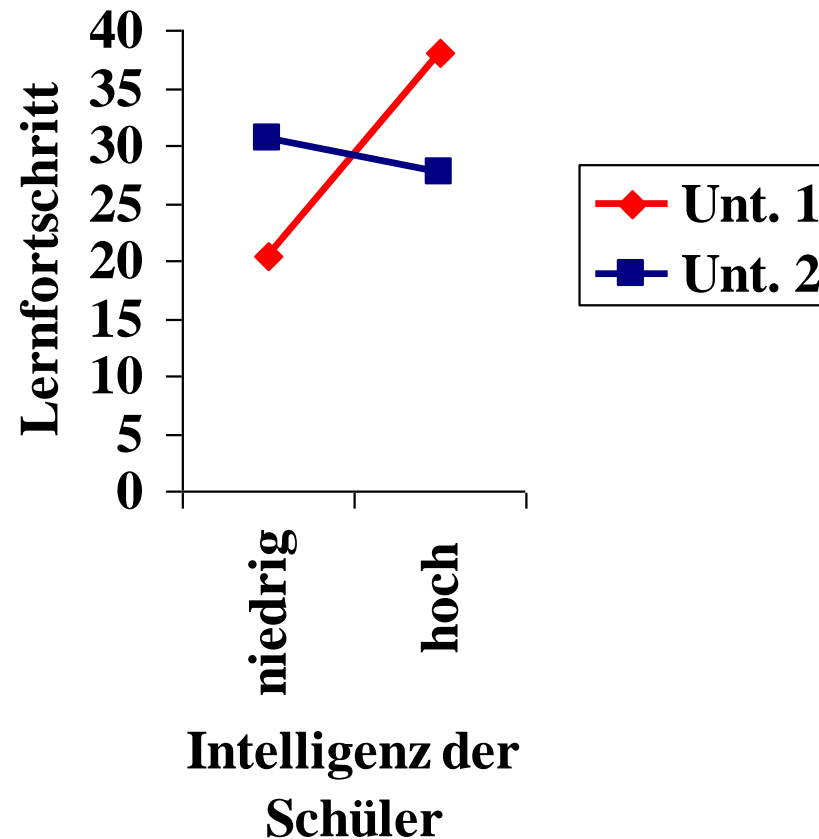


- Basis für das viel später zu erwerbende Konzepte wie Primzahl, Quadratzahl.... wird gelegt
- Direkte Instruktion (Erklärung) ist nur lernwirksam, wenn bereits eine Wissensbasis besteht
- 2 5  $1 \cdot 5 = 5, 5 \cdot 1 = 5$
- 6  $1 \cdot 6 = 6, 6 \cdot 1 = 6, 2 \cdot 3 = 6, 3 \cdot 2 = 6$
- 7  $1 \cdot 7 = 7, 7 \cdot 1 = 7$
- 8  $1 \cdot 8 = 8, 8 \cdot 1 = 8, 2 \cdot 4 = 8, 4 \cdot 2 = 8, 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$
- 9  $1 \cdot 9 = 9, 9 \cdot 1 = 9, 3 \cdot 3 = 9$

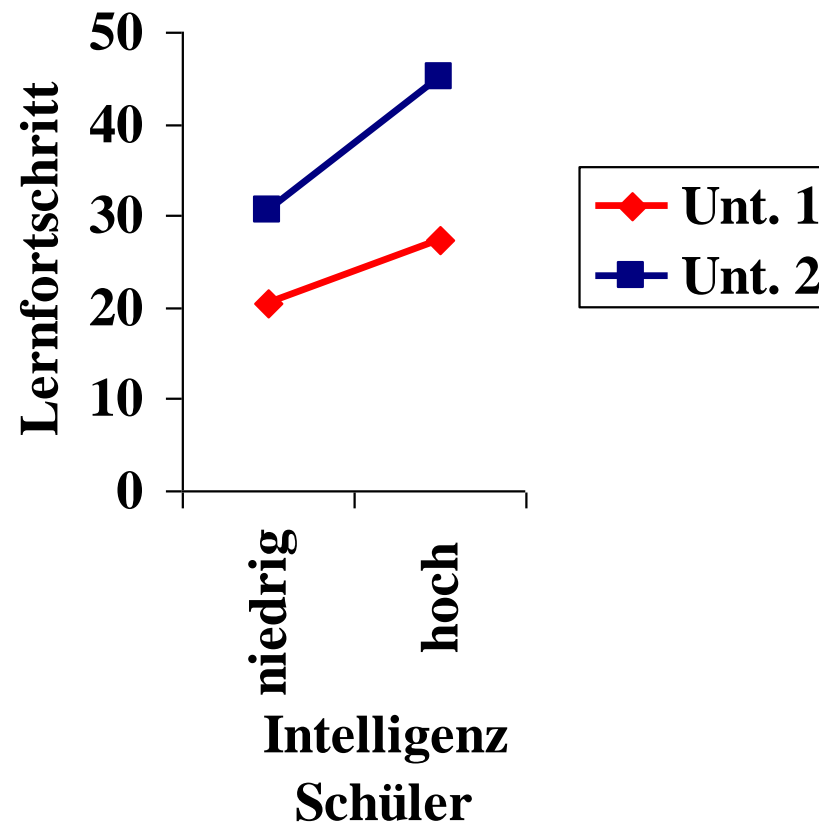
## Worin genau unterscheidet sich das Lernen von intelligenten und weniger intelligenten Menschen?

- Geschwindigkeit
- Tiefe und damit Abstraktionsgrad des Inhaltsgebiets
- Weniger, aber keine prinzipiell anderen Fehler
- Qualitative Unterschiede im Lernweg konnten NICHT gefunden werden
- **Zur Kompensierbarkeit von Intelligenzunterschieden:  
Wissen schlägt Intelligenz**

# Problematischer ATI-Effekt: Unterricht 1 hilft intelligenten und Unterricht 2 weniger intelligenten Schülern



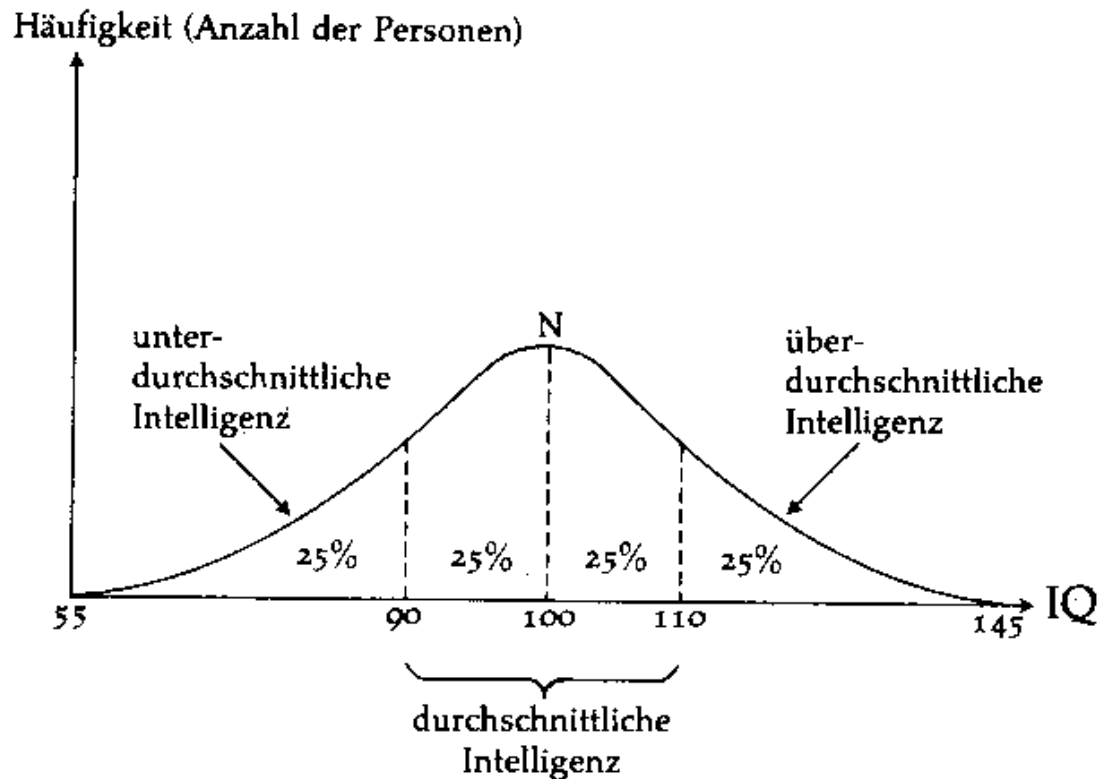
## ATI-Effekt: Die Schere geht auf, aber Unterricht 2 für alle besser





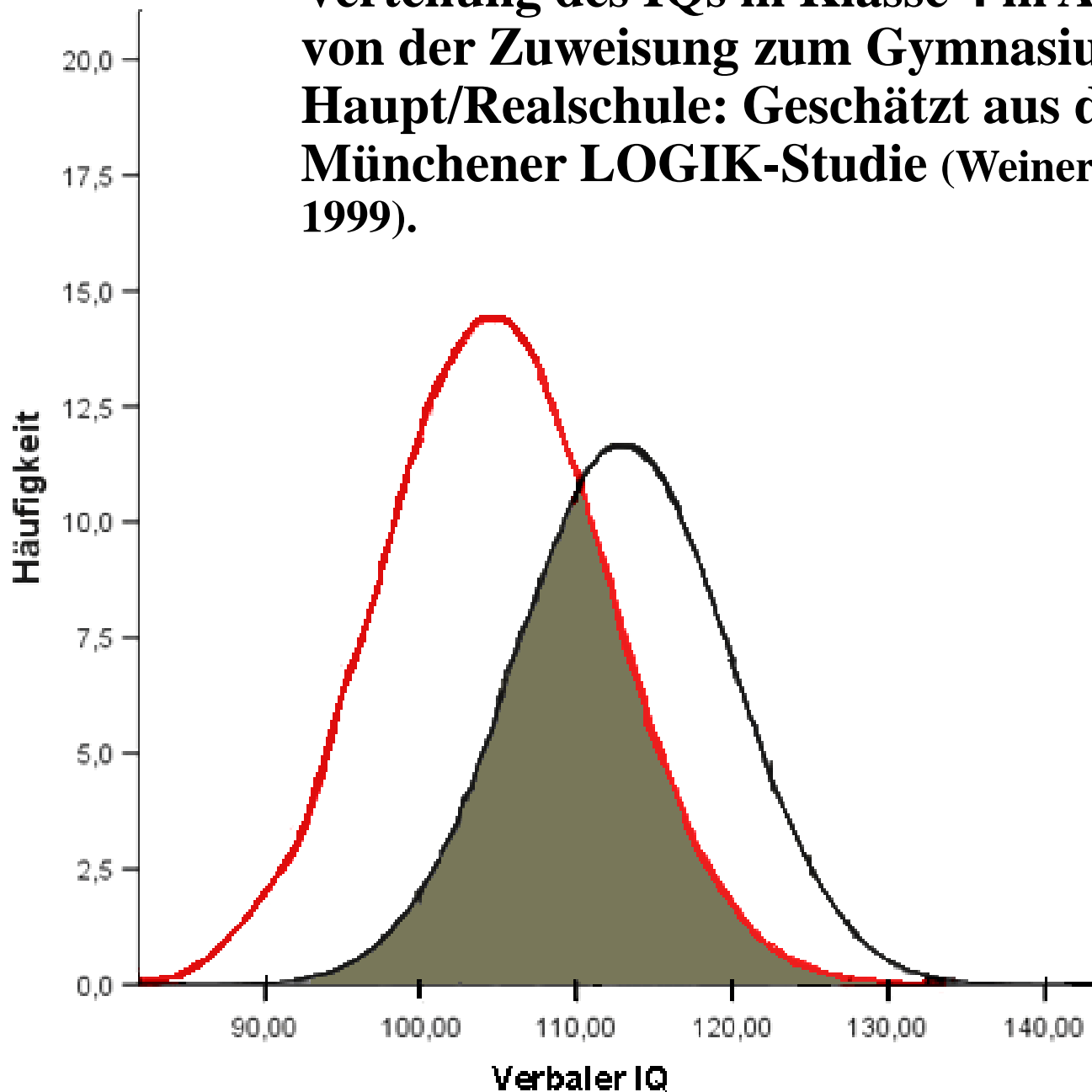
# Zurück zu den Begabungsunterschieden

# Intelligenzunterschiede und Schule: Das homogene Gymnasium.....





# Verteilung des IQs in Klasse 4 in Abhängigkeit von der Zuweisung zum Gymnasium bzw. zur Haupt/Realschule: Geschätzt aus den Daten der Münchener LOGIK-Studie (Weinert & Schneider, 1999).



---

Nicht-Gymnasiasten:  
Mittelwert = 102,96  
Std.-Abw. = 7,28  
N = 106

---

Gymnasiasten:  
Mittelwert = 112,96  
Std.-Abw. = 6,89  
N = 81



## Und 20 Jahre später?

- Bedeutung von IQ und sozialer Herkunft bei der Gymnasialempfehlung
- Frage: Verliert bei sehr hoher Intelligenz (+1 SD) die soziale Herkunft an Bedeutung?
- **IGLU-Studie** (Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung)
- Technische Universität Dortmund: Institut für Schulentwicklungsforschung
- Prof. Dr. Wilfried Bos, Benjamin Euen, Irmela Tarelli und Heike Wendt

# Wahrscheinlichkeit einer Gymnasialempfehlung

Soziale Herkunft	IQ<100	IQ 100-115	IQ > 115
hoch	.50	.70	.80
mittel	.20	.40	.70
niedrig	.10	.30	.50

# Wahrscheinlichkeit einer Gymnasialempfehlung

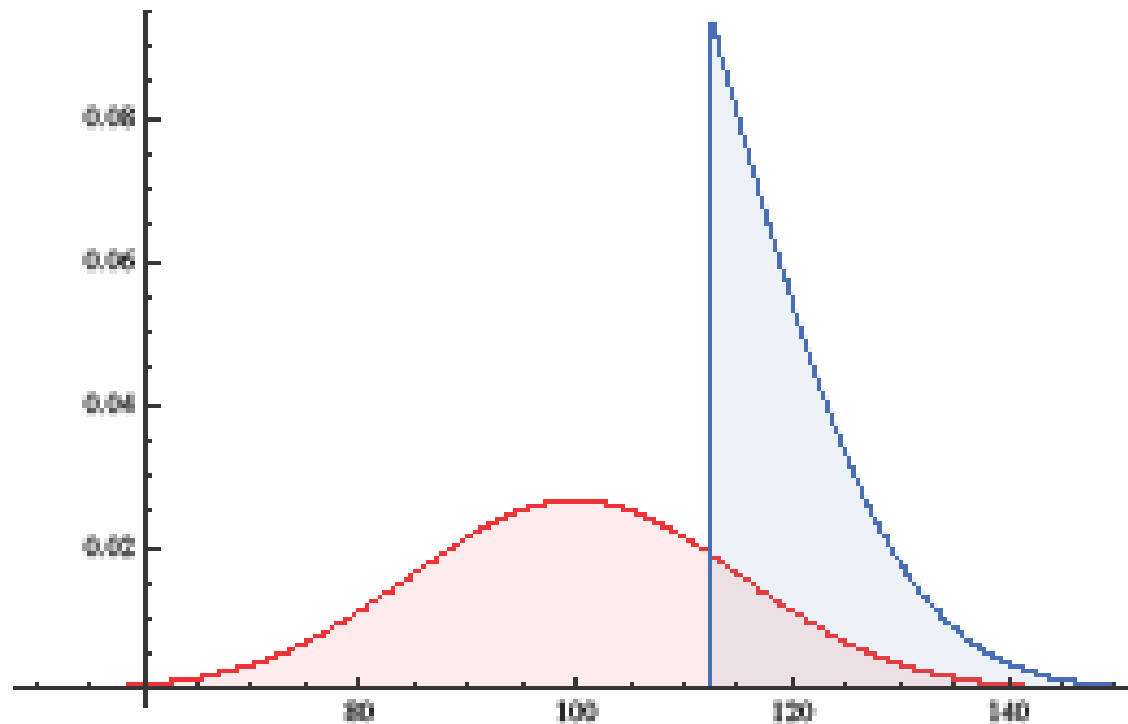
Soziale Herkunft	IQ < 100	IQ 100-115	IQ > 115
hoch	<b>.50</b>	.70	.80
mittel	.20	.40	.70
niedrig	.10	.30	<b>.50</b>

# Intelligenz bei Schweizer Gymnasiasten

# Theoretische Verteilungen

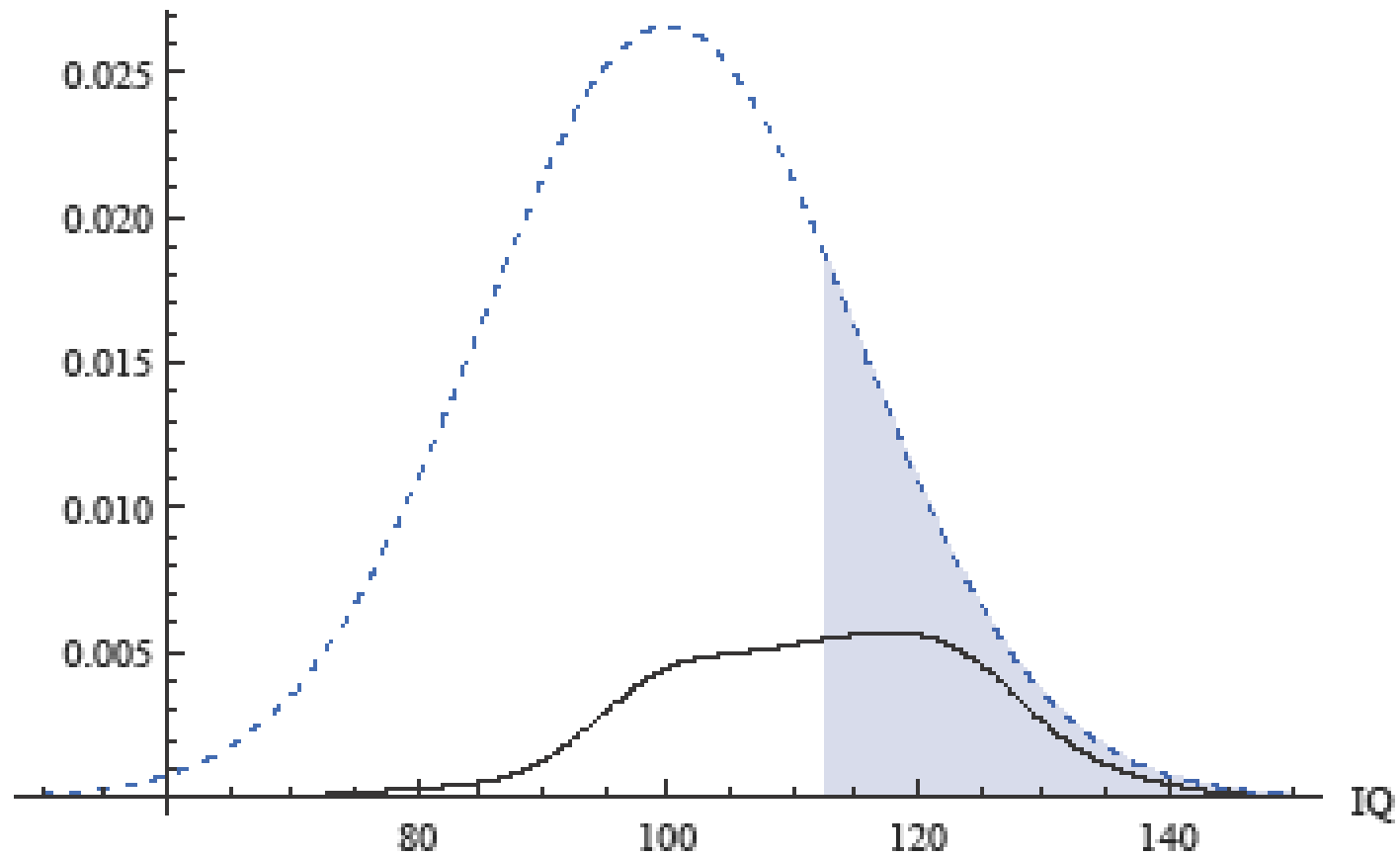
Die obersten 20% haben einen IQ zwischen 112.6 und (theoretisch) Unendlich.

- der Median (halbe Fläche) ist bei 119.2
- der Mittelwert ist bei 121.





## Wahrscheinlichkeitsdichte



# Fragen

1. Lassen sich mit Intelligenzunterschieden mehrgliedrige Schulsysteme rechtfertigen?
2. Entwicklung der Intelligenz: Ab welchem Alter (oder mit dem Alter einhergehenden Merkmalen) lassen sich unterschiedliche Lernumgebungen rechtfertigen?
3. Gehen die Intelligentesten auf das Gymnasium?
4. Sollte man den Zugang zum Gymnasium über Intelligenztests regeln?

# 1. Lassen sich mit Intelligenzunterschieden mehrgliedrige Schulsysteme rechtfertigen?

- Ja und nein
- Ja: Es gibt stabile Begabungsunterschiede, die bei guten Lerngelegenheiten hoch mit Intelligenz korrelieren sollten.
- Jein: Mehr oder weniger intelligente Lerner unterscheiden sich vorwiegend in der benötigten Zeit: Innere Differenzierung und jahrgangsübergreifender Unterricht
- Nein: Normalverteilung des IQs ist unvereinbar mit dem Schubladensystem: Fehler bei der Umwandlung einer kontinuierlichen Variablen (IQ) in diskrete Merkmale (Schulformen)

## 2. Entwicklung der Intelligenz: Ab welchem Alter (oder mit dem Alter einhergehenden Merkmalen) lassen sich unterschiedliche Lernumgebungen rechtfertigen

- IQ stabilisiert sich weitgehend nach vier Primarschuljahren
- Für eine **frühe** Aufteilung spricht: Defizite aufgrund sozialer Herkunft können rechtzeitig kompensiert werden
- Für eine **späte** Aufteilung spricht: Wissen und Motivation können den Ausschlag geben
- Welche Voraussetzung muss erfüllt sein, damit man sich eine späte Aufteilung leisten kann?
- **Gute Lehrpersonen in den Primar- und Sek1-Schulen**



### 3. Gehen die Intelligentesten auf das Gymnasium?

- Nein, weder in der Schweiz noch in Deutschland
- Eine geringe Maturitätsquote (20%) garantiert per se noch keine positive Auswahl
- Eine höhere Maturitätsquote (40%) macht immerhin die Ausschöpfung des Intelligenzpotenzials wahrscheinlicher
- Deutschland und die Schweiz: Pest und Cholera

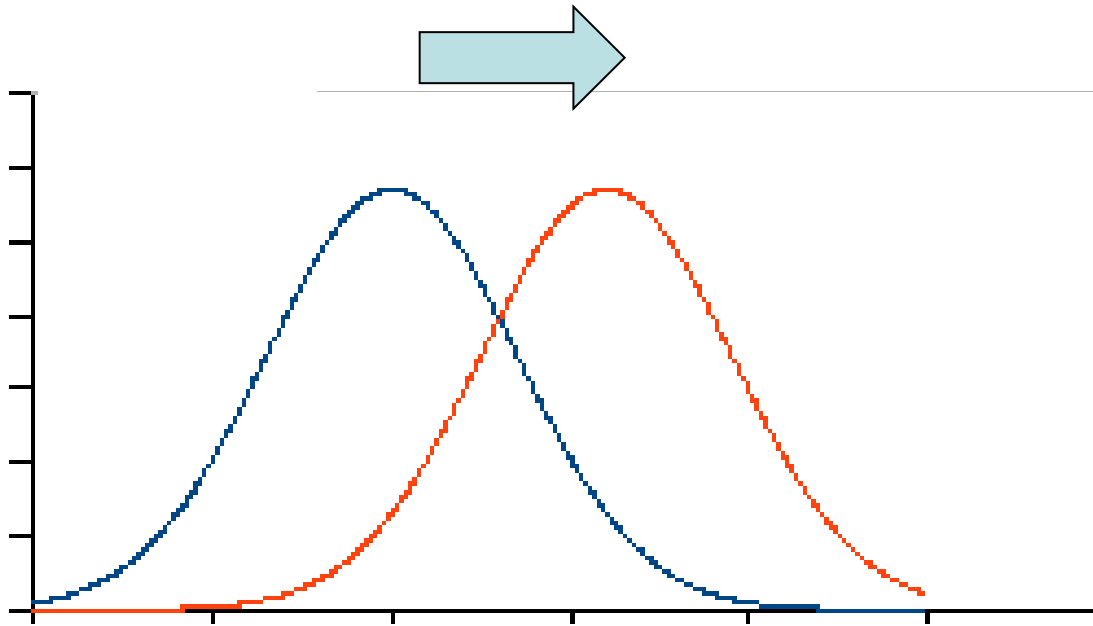


## 4. Sollte man den Zugang zum Gymnasium über Intelligenztests regeln?

- Intelligenztests können bei der Identifikation überdurchschnittlich begabter Kinder aus bildungsfernen Milieus hilfreich sein
- Identifikation von leistungsschwachen Akademikerkindern
- Problem: Intelligenztests kann man üben (ist wie Geld drucken ohne Wirtschaftswachstum)
- Psychologen werden sich eine goldene Nase verdienen....



# Was heisst Bildungsgerechtigkeit?



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

