

*Aus dem Zentralinstitut für Jugendforschung Leipzig
(Leiter: Prof. Dr. phil. W. Friedrich)*

Der Heritabilitätsindex in der Begabungs- und Eignungsdiagnose bei Kindern und Jugendlichen

Von **Volkmar Weiss**

Mit 1 Tabelle

(Eingegangen am 7. Dezember 1979)

Bei einer Reihe von praktischen Fragestellungen haben wir die Aufgabe, den wahrscheinlichen Erfolg eines Individuums über einen Zeitraum von 5, 10 oder mehr Jahren vorauszusagen. Die Prognose erscheint besonders schwierig, wenn es sich um Kinder und Jugendliche handelt, deren körperliche und geistige Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist und die in einem Alter von 5 oder 10 Jahren für eine Spezialausbildung im Eiskunstlauf, in der Leichtathletik oder in musikalischer, tänzerischer oder anderer Richtung ausgewählt werden sollen, die eine Vorhersage von finaler Körperhöhe, Armlänge, Körpergewicht oder von bestimmten psychischen Variablen wünschenswert macht. Im Idealfall sollten wir eine einzige Batterie von Messungen und Tests haben, die es uns ermöglicht, durch unterschiedliche Wichtung – entsprechend der multiplen Korrelation (bzw. Validität) zwischen Kriterium und Prädiktor – den wahrscheinlichen Erfolg in einer Reihe von Disziplinen vorherzusagen.

In einer Reihe von empirischen und theoretischen Arbeiten (WEISS 1977, 1978, 1979) hat der Autor dargelegt, daß die verwendeten Tests und Messungen eine unterschiedliche prognostische Bedeutung haben, was (jetzt abgesehen von der Validität) im variablen Varianzanteil und der Reliabilität begründet liegt. Als relativ konstant kann über den gesamten Prognosezeitraum nur der genetische Varianzanteil angesehen werden, der durch den Heritabilitätskoeffizient h beschrieben wird. Durch die Bestimmung des Heritabilitätskoeffizienten ist es damit statistisch möglich, die unsicheren Effekte aller Art (Meßfehler, Umwelteinflüsse) von den prognostisch entscheidenden festen Effekten zu trennen.

Die psychometrische Meßtheorie (HORST 1971) geht bekanntlich von folgendem linearen Modell aus:

$$X = T + E,$$

wobei X der beobachtete Wert eines Individuums ist, T der wahre Wert und E der Meßfehler.

Die Quantitative Genetik geht von einem sehr ähnlichen Modell aus:

$$P = G + E,$$

wobei P der beobachtete (phänotypische) Meßwert ist, G der genotypische (wahre) Wert und E die Umweltabweichung. Die Umweltabweichung besteht aus einem systematischen und einem zufälligen Anteil und schließt damit Meßfehler mit ein.

In der Psychologie gelten 2 Tests als parallel, wenn sie identische wahre Werte liefern und die Meßfehler unkorreliert sind. Den analogen Fall haben wir theoretisch in der Genetik, wenn wir monozygote Zwillinge betrachten, deren Umweltbedingungen zufallsverteilt sind.

Aus dem obengenannten Modell der Testtheorie ergibt sich für die Varianzen:

$$V_X = V_T + V_e$$

Die statistische Beziehung zwischen zwei parallelen Formen eines Tests wird als Reliabilität bezeichnet. Sie ist definiert als:

$$\text{Reliabilität} = V_T/V_X = r_{xt}^2 = b_{tx} = r_{xx},$$

wobei r_{xt} die Korrelation zwischen wahren und beobachtetem Wert ist, b_{tx} die Regression des wahren Werts auf den gemessenen und r_{xx} die Korrelation zwischen parallelen Tests ist.

In der Quantitativen Genetik gilt für die Varianzen:

$$V_p = V_g + V_e,$$

wenn G und E nicht korrelieren.

Die Heritabilität ist definiert als:

$$\text{Heritabilität} = V_g/V_p = r_{gp}^2 = b_{gp} = r_{pp'},$$

wobei p und p' Meßwerte monozygoter Zwillinge sind.

Daraus folgt (HANCOCK 1952, WEISS 1977) für die Berechnung der Heritabilität h :

$$h = \frac{n_{mz}r_{mz} + 2n_{dz}r_{dz}}{n_{mz} + n_{dz}},$$

wobei n_{mz} und n_{dz} die Stichprobenumfänge bei monozygoten und dizygoten Zwillingspaaren sind.

Liegt ein Zeitraum von 1, 2 oder gar 10 Jahren zwischen Messung und Wiederholung der Messung am selben Individuum, so sprechen wir nicht mehr von Test-Retest-Reliabilität, sondern von der Längsschnittkorrelation zwischen 2 Messungen. Der Unterschied zwischen Längsschnittuntersuchungen und Heritabilitätschätzungen besteht darin, daß bei Längsschnitten die Längsschnittkorrelation (d. h. die

Reliabilität auf lange Sicht) als Maß der statistischen Beziehung zweier Messungen direkt gemessen und errechnet wird, mit der Heritabilität auf Grund theoretischer Vorleistungen der gleiche Sachverhalt mit Messungen an Zwillingen oder Verwandten indirekt erschlossen wird. Empirisch bedeutet dies, daß Heritabilitäten und Längsschnittkorrelationen von bestimmten Variablen gleiche Rangordnung und Größe (BLOOM 1971) aufweisen, Heritabilitäten aber jederzeit sofort ermittelt werden können, Längsschnittkorrelationen über 10 Jahre hinweg dahingegen eben Längsschnittuntersuchungen von 10 Jahren Dauer voraussetzen.

So selbstverständlich der Einsatz von Heritabilitätskoeffizienten und des Heritabilitätsindex (als eine effektive Form der Indexselektion: HEIDHUES und HENDERSON [1962]) für bestimmte prognostische Probleme der Angewandten Genetik seit Jahrzehnten ist, so neu ist die Problematik für Humangenetik und Psychologie bzw. für die Anwendung in der Begabtenauslese. Von Kollegen wurde deshalb in Gesprächen wiederholt um eine mehr explizite Darlegung gebeten, bis hin zum Rechenbeispiel, und wir möchten dieser Bitte mit der hier vorgelegten Arbeit nachkommen.

Problemstellung

Wir gehen aus von der Grundgesamtheit, der Menge aller Schüler N . In dieser Menge N ist die prospektive Menge E' der späteren Spitzenkömmer echt enthalten, d. h. E' ist eine Teilmenge von N .

$$E' \subset N$$

Zum Zeitpunkt, an dem die Entscheidung über die Eignung oder Nichteignung zu treffen ist, ist die prospektive Menge E' jedoch unbekannt. Es muß deshalb innerhalb der Grundgesamtheit N eine Menge E , die Menge der Geeignetsten, im ersten Auswahlschritt bestimmt werden, die selbst wiederum die prospektive Menge E' echt enthält.

$$E' \subset E \subset N$$

Der Prozeß der Zuordnung zur Menge E wird operational als Auswahl (Auslese) definiert, die Zugehörigkeit eines Individuums zur Menge E als seine Eignung.

Die Entscheidung über die Eignung kann ein- oder mehrstufig (CUNNINGHAM 1975) erfolgen, d. h. es existieren mehrere Mengen E_1, E_2, \dots, E_k , wobei jede der später aufgeführten Mengen Teilmenge der vorhergehenden ist.

$$E' = E_k \subset \dots \subset E_2 \subset E_1 \subset N$$

Die mehrstufige Eignungsentscheidung stellt nur eine logische Erweiterung der einstufigen Entscheidung dar.

Die Auswahl ist optimal, wenn E' Teilmenge von E ist. Sie ist nicht optimal, wenn später - außerhalb des organisierten Auswahlprozesses - noch Elemente der Grundgesamtheit N zu Elementen von E' werden.

Unter dem Blickwinkel der Minimierung der von der Gesellschaft zu tragenden Kosten ist die Auswahl optimal, wenn E im Verhältnis zu E' möglichst klein ist, im Idealfalle $E = E'$. Der Idealfall ist auch theoretisch nicht erreichbar, da - allein

schon durch natürliche Abgänge, E immer größer sein muß als E' .

$$\text{card}(E) > \text{card}(E')$$

Die prospektive Menge E' , die Menge der späteren Spitzenkömmer, besteht wiederum aus mehreren Teilmengen $E'_{11}, E'_{12}, \dots, E'_{1n}$, die den Disziplinen entsprechen. Folglich besteht auch die Menge E , die Menge aller Geeignetsten, aus den entsprechenden Teilmengen $E_{11}, E_{12}, \dots, E_{1n}$, die den Disziplinen entsprechen.

Das eigentliche Problem der Auswahl und Eignung besteht jedoch in der Auffindung und der optimalen Wichtung der Eignungsvariablen. Wir müssen davon ausgehen, daß es keine Menge V (oder V') von Variablen bzw. von Ausprägungsstufen dieser Variablen gibt, die die Mengen E (und E') von N mit Sicherheit trennt. Ebenso gibt es keine bestimmmbaren Mengen V_1, V_2, \dots, V_n von Variablen, die die Disziplinen mit absoluter Sicherheit voneinander trennen.

Der Menge E' , der prospektiven Menge der Spitzenkömmer, entspricht statistisch die Menge S' der gegenwärtigen Spitzenkömmer. Diese unterscheidet sich in der Ausprägung von bestimmten Variablen von der Grundgesamtheit, und analoge Unterschiede gibt es zwischen den Disziplinen S'_1, S'_2, \dots, S'_n .

Die Ausprägung dieser Unterschiede ist statistisches Resultat einer spezifischen Leistungsvoraussetzung (Summe von Anlagen bzw. Genen) und der Ausbildung. In der Menge S' und ihren Teilmengen gemessene Unterschiede entsprechen nicht völlig Unterschieden in der prospektiven Menge E' und deren Teilmengen, da sowohl der Ausbildungsprozeß, die Leistungsanforderungen als auch die prozentualen Anteile der Auszuwählenden stets Veränderungen in der Zeit unterliegen. Bei den Spitzenkömmern kommt es durch spezielle Ausbildung und Training zu gerichteten phänotypischen Veränderungen, die zum Zeitpunkt der Entscheidung über ihre Eignung noch nicht vorhanden waren.

Da manche Eigenschaften (auch genetische) erst nach Belastung, als Reaktionsrelation der Individuen auf eine Veränderung der Umwelt, also auch auf Training, wirksam oder mit den derzeitigen Methoden meßbar werden, gibt es grundsätzlich die Möglichkeit, die Eignungsdiagnose als Prozeßdiagnose (d. h. mehrstufig) in Zusammenhang mit Training und Ausbildung zu betrachten. In diesen Fällen müssen die Heritabilitäten von Differenzwerten (vor und nach dem Training) ermittelt werden (WEISS 1979).

Der Heritabilitätsindex

Optimale Eignungsdiagnose strebt die Berechnung eines Index an, als statistische Vorleistung für eine Entscheidungsfindung, die dann selbstverständlich auch andere Dinge noch zu berücksichtigen hat, als den errechneten Indexwert, dem immer nur eine beratende Funktion zukommen soll in den Fällen, wo aus einer sehr großen Anzahl von Bewerbern durch eine Institution eine erste Vorauswahl getroffen werden soll.

Da die bestimmmbare Menge der Eignungsvariablen V (anthropometrische, psychische, biochemische, ...) im Prinzip so groß ist, daß die optimalen Mengen der Eignungs-

variablen V_1, V_2, \dots, V_n , d. h. die Mengen, die die disziplinspezifischen Leistungen am besten vorhersagen, praktisch nicht zu erfassen sind, so muß aus praktischen Gründen (Kosten und Organisation) eine Beschränkung auf eine nicht optimale Menge V erfolgen, die sich als Kompromiß zwischen idealen theoretischen Forderungen und praktisch Möglichem ergibt.

Als Beispiel soll im folgenden die Eignung für bestimmte leichtathletische Disziplinen untersucht werden. Die Daten sind im Rahmen des Schulsports in den Jahren 1974 bis 1975 erhoben worden, und Einzelheiten über diese Untersuchung bereits an anderer Stelle (WEISS 1977) veröffentlicht worden. Der folgenden Korrelationsmatrix (Tab. 1) liegen die Leistungen von 190 zufällig ausgewählten 10jährigen Jungen aus 95 Schulen in den Südbezirken der DDR zugrunde.

Tabelle 1. Korrelationsmatrix von Körpergewicht, Körperhöhe und 7 sportlichen Tests bei einer Zufallsstichprobe 10jähriger Jungen (in der Diagonalen, die Heritabilitäten, vergleiche WEISS [1977])

	Gewicht	Höhe	Lauf	Spr	Hop	ALF	WRF	Lie	Kug
Gewicht	0,88	,67	,09	,02	,17	,02	,00	,07	,51
Höhe	,67	0,89	,14	,03	,05	,02	,13	,13	,27
Lauf	,09	,14	0,85	,63	,46	,27	,34	,21	,24
Spr	,02	,03	,63	0,74	,43	,30	,33	,33	,30
Hop	,17	,05	,46	,43	0,66	,30	,36	,37	,28
ALF	,02	,02	,27	,30	,30	0,93	,21	,36	,04
WRF	,00	,13	,34	,33	,36	,21	0,71	,30	,18
Lie	,07	,13	,21	,33	,37	,36	,30	0,85	,01
Kug	,51	,27	,24	,30	,28	,04	,18	,01	0,71

Gewicht = Körpergewicht; Höhe = Körperhöhe; Lauf = 60 m-Lauf; Spr = Weitsprung; Hop = Dreierhop; ALF = Ausdauerlauf 7 min; WRF = Schlagballwurf; Lie = Liegestütze; Kug = Kugelschockwurf.

Für den Spezialisten der Sportanthropometrie dürfte diese Korrelationsmatrix an und für sich schon sehr interessant sein. (Die Nullkorrelationen zwischen Schlagballwurf und Körpergewicht und zwischen Liegestützen und Kugelschockwurf, wer hätte das erwartet!) Für uns ist sie jedoch hier ein Mittel zum Zweck.

Wir stellen uns die Aufgabe, für die Sprintdisziplin 100 m und das Kugelstoßen je einen Heritabilitätsindex zu berechnen, wofür die in Tab. 1 enthaltene Information ausreicht. Wir beschränken uns deshalb hier auf jeweils die 3 Variablen (Prädikatoren bzw. Eignungsvariable), die zu den Kriterien 60 m-Lauf und dem Kugelschockwurf die höchste Korrelation (höchste prädikative Validität) aufweisen.

Das sind für den 60 m-Lauf (y_1): der Weitsprung (x_1) mit 0,63, der Dreierhop (x_2) mit 0,46, der Schlagballwurf (x_3) mit 0,34. Für den Kugelschockwurf (y_2): das Körpergewicht (x_1) mit 0,51, der Weitsprung (x_2) mit 0,30, der Dreierhop (x_3) mit 0,28.

Wir berechnen zwischen den 3 Eignungsvariablen x_1, x_2 und x_3 und den Kriterien y die folgenden multiplen Regressionen:

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

Das ergibt (ausführliches Rechenbeispiel siehe WEBER [1972]):

$$\begin{aligned} y_{1(\text{Lauf})} &= 0,31x_1 + 0,91x_2 + 0,77x_3 \\ y_{2(\text{Kugel})} &= 0,63x_1 + 0,58x_2 + 0,60x_3 \end{aligned}$$

Im Heritabilitätsindex I (HEIDHUES und HENDERSON 1962) werden die Eignungsvariablen, zusätzlich zu den Wichtungen b_1, b_2, \dots, b_n der Regression, noch mit den Heritabilitäten h_1, h_2, \dots, h_n gewichtet, d. h. multipliziert (die theoretische Begründung hierfür war in der Einleitung gegeben worden):

$$I = b_1h_1x_1 + b_2h_2x_2 + \dots + b_nh_nx_n$$

Das ergibt für den Heritabilitätsindex des 60 m-Laufes:

$$I_{1(\text{Lauf})} = (0,31 \times 0,74)x_1 + (0,91 \times 0,66)x_2 + (0,77 \times 0,54)x_3$$

Gerundet ergibt sich als Lösung:

$$I_{1(\text{Lauf})} = 0,2x_1 + 0,6x_2 + 0,4x_3$$

Für den Kugelschockwurf bzw. das Kugelstoßen als angezieltes Kriterium ergibt sich analog:

$$I_{2(\text{Kugel})} = 0,5x_1 + 0,4x_2 + 0,4x_3$$

Nehmen wir die 60 m-Laufzeit als direkte Eignungsvariable (x_1) der späteren 100 m-Laufzeit an, gewichtet durch die Heritabilität (h_1), so können wir den Heritabilitätsindex I_1 ergänzen auf:

$$I_{1(\text{Sprint})} = 0,2x_1 + 0,6x_2 + 0,4x_3 + 0,9x_4$$

Das Verfahren hier stellt insofern eine Vereinfachung dar, als die Probleme der optimalen Trennung der Disziplinen untereinander (die im allgemeinen mit der Diskriminanzanalyse bearbeitet werden) hier nicht beachtet wurden. Die multiplen Regressionen bzw. Korrelationen können selbstverständlich auch von mehr als 3 Variablen berechnet werden.

Im weiteren werden die Standardwerte der Individuen mit den Wichtungen des Eignungsindex (Heritabilitätsindex) multipliziert. Als Resultat werden jedem Schüler mehrere Indexwerte I_{11}, I_{12}, I_{1n} zugeordnet.

Betrachten wir z. B. die Schüler *Bernd G.* und *Maik K.* Sie erreichten die folgenden Leistungen:

		Standardwerte (hier Dezile)		Standardwerte (Dezile)	
<i>Bernd G.</i>	$x_{1(\text{Sprint})}$	3,10 m	8	<i>Maik K.</i>	3,10 m 8
	$x_{2(\text{Höhe})}$	4,82 m	8		4,55 m 6
	$x_{3(\text{WRE})}$	37 m	10		40 m 10
	$x_{4(\text{Lauf})}$	9,2 s	10		10,5 s 8

Wir berechnen für *Bernd G.*:

Bernd G.

$$I_{1(\text{Sprint})} = 0,2 \times 8 + 0,6 \times 8 + 0,4 \times 10 + 0,9 \times 10 = 1,94$$

Für *Maik K.*:

Maik K.

$$I_{1(\text{Sprint})} = 0,2 \times 8 + 0,6 \times 6 + 0,4 \times 10 + 0,9 \times 8 = 1,64$$

Maik K. hat damit einen niedrigeren Index-Wert als *Bernd G.*; seine Eignung als Sprinter ist wahrscheinlich deutlich geringer als die von *Bernd G.* Die errechneten Index-Werte (hier 1,94 bzw. 1,64) lassen sich selbstverständlich wieder standardisieren (d. h. auf die Normalverteilung der Population beziehen). Dadurch werden verschiedene Indices I_1, I_2, \dots, I_n untereinander vergleichbar.

Die Index-Werte selbst haben wieder eine Heritabilität (als Korrelationen monozygoter Zwillinge hinsichtlich ihrer Index-Werte; LIN und ALLAIRE [1977]).

In der Praxis ergeben sich noch weitere Probleme dadurch, daß die einzelnen Disziplinen bei unterschiedlichen Altersgruppen um die geeignetsten Bewerber konkurrieren. Es kann effektiv sein – vom Gesichtspunkt der Optimierung des Systems aus – einzelne Individuen in Disziplinen einzusetzen, obwohl sie für andere Disziplinen noch geeigneter sind, für die bestimmte Disziplin aber dennoch kein besserer da ist. Dieses „Plazierungsproblem“ ist ein klassisches Problem der Personalauslese (JÄGER 1961) und wird in allen Lehrbüchern dazu abgehandelt.

Statistische Berechnungen wie hier sind nur eine Vorleistung für die Entscheidungsfindung (RYGULA 1975) und können niemals eine umfassende Einschätzung der Persönlichkeit ersetzen. Wir würden es sehr bedauern, wenn unsere Arbeit anders als auf diesem Hintergrund verstanden würde.

Zusammenfassung

Längsschnittkorrelationen und Heritabilitäten sind äquivalente Maße für die Reliabilität von Messungen auf lange Sicht. Da Langzeitprognose das Ziel der Eignungsdiagnose im Sport und in anderen angewandten Gebieten ist, empfehlen wir, Heritabilitäten als Wichtungen für gemessene Werte zu verwenden, um dadurch den Meßfehler zu eliminieren und die wahren Werte zu berechnen. Auf der Grundlage der Interkorrelationsmatrix von 7 sportlichen Tests, der Körperhöhe und des Körpergewichts und ihren Heritabilitäten wird die Berechnung des Heritabilitätsindex am Beispiel der Sprintleistung demonstriert.

Summary

Longitudinal correlation and heritability in the broad sense are equivalent expressions for the reliability in the long run. Since long-range prediction is the aim of personnel selection in athletics, education and other applied fields, we recommend to use heritability as a weighting factor for phenotypic scores of adolescents in order to calculate true scores and to eliminate error variance. On the basis of the matrix of correlations of 7 tests of physical fitness, body height and weight, and their heritabilities the calculation of the heritability index is demonstrated.

Schrifttum

- BLOOM, B. S.: Stabilität und Veränderung menschlicher Merkmale. Basel: Beltz 1971.
 CUNNINGHAM, E. P.: Multi-stage index selection. Theor. Appl. Genet. **46** (1975) 55–61.
 HANCOCK, J.: Studies in monozygotie twins. New Zealand J. Sci. Tech. **34** (1952) 131–135.
 HEIDHUES, T., und C. R. HENDERSON: Beitrag zum Problem des Basisindex. Z. Tierz. Züchtungsbiol. **77** (1962) 297–311.

- HORST, P.: Messung und Vorhersage. Basel: Beltz 1971.
- JÄGER, A. O.: Personalauslese. In: Handbuch der Psychologie. Bd. 9. Hsg.: A. MAVER und B. HERWIG. Göttingen: Hogrefe 1961, 569-613.
- LIN, C. Y., and F. R. ALLAIRE: Heritability of a linear combination of traits. Theor. Appl. Genet. **51** (1977) 1-3.
- RYGULA, I.: Wartość prognostyczna wybranych testów stosowanych przy doborze kłosek do skoku wzwyż. Sport Wyczynowy **8**, Nr. 11 (1975) 24-29.
- WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. 7. Aufl. Jena: VEB Gustav Fischer 1972.
- WEISS, V.: Die Heritabilitäten sportlicher Tests, berechnet aus den Leistungen zehnjähriger Zwillingspaare. Ärztl. Jugendkd. **68** (1977) 167-172. *Nachdruck*: Leistungssport **9** (1979) 58-61.
- Reliabilität, Heritabilität, Längsschnittkorrelation. Ärztl. Jugendkd. **69** (1978) 314-319.
- Genetische Forschung für den Sport - Entwicklungsstand und -perspektiven in der Sowjetunion. Biol. Rdseh. **16** (1978) 320-323.
- The use of heritabilities of anthropometric measures and performance tests in personnel selection. Gegenbaurs morph. Jahrb. **125** (1979) 174-177.
- The heritability of difference scores when environments are correlated. Biometrical J. **21** (1979) 171-177.

Dr. VOLKMAR WEISS,
Zentralinstitut für Jugendforschung,
DDR - 7022 Leipzig,
Stallbaumstraße 9