

Wissenschaftsbereich Sportmedizin/Naturwissenschaften (Leiter: Prof. Dr. med. habil. K. Tittel) der Sektion II der Deutschen Hochschule für Körperkultur Leipzig/DDR

Die Heritabilitäten sportlicher Tests, berechnet aus den Leistungen zehnjähriger Zwillingspaare

V. Weiss

Zusammenfassung. Aus einem für die DDR repräsentativen Gesamtmaterial von rund 3000 Zwillingspaaren 10jähriger Normalschüler wurden 480 Paare näher analysiert, davon 153 verschiedengeschlechtige und 327 gleichgeschlechtige Paare. Es wurden folgende Heritabilitäten ermittelt: Körperhöhe 0,89; Körpergewicht 0,88; 60-m-Lauf 0,85; Weitsprung 0,74; Schlagballwurf 0,54; Liegestütze 0,85; Dreierhop 0,66; Ausdauerlauf 0,93; Kugelschodkwurf 0,71. Die Bedeutung der Heritabilitäten für die Eignungsdiagnostik wird diskutiert.

Schlüsselwörter: Heritabilitätskoeffizient – Zwillingsforschung – sportliche Tests – Eignungsdiagnose – Schulsport.

The Heritabilities of Tests of Physical Fitness, Calculated from the Performances of Ten Years Old Twin Pairs

Abstract. In the German Democratic Republic a representative sample of 3000 twin pairs of normal 10 years old school children was measured and tested. From a subset of 480 pairs (153 pairs of opposite sex and 327 of the same sex) the heritabilities are calculated: stature 0,89; weight 0,88; 60 meters run 0,85; long jump 0,74; cricket-ball throw 0,54; push up 0,85; hop jump 0,66; endurance run 0,93; shot throw 0,71. The use of heritabilities as weighting factors in the construction of selection indices for purposes of personnel selection is discussed.

Key words: Coefficient of heritability – twin research – tests of physical fitness – personnel selection – school sport

Einleitung

Auch bei den Variablen bzw. Merkmalen, mit denen Körpermaße und körperliche Leistungen erfaßt werden, ist es das eigentliche Ziel der genetischen Forschung, die zugrundeliegenden Hauptgene nach der Größe ihrer Einzelwirkung zu bestimmen. Die dafür notwendigen Familienuntersuchungen sind aber derart aufwendig, daß Zwischenschritte gefunden und gegangen werden müssen, die von unmittelbarem praktischem Nutzen sind, so daß mit diesen Zwischenergebnissen zugleich das Interesse an tiefergehenden Forschungsansätzen geweckt wird. Die vorliegende Arbeit soll als derartiger Zwischenschritt betrachtet werden.

Mit Zwillingspaaren zu arbeiten ist ökonomischer als mit kompletten Familien. Da es jedoch möglich ist, durch den Einsatz von Maximum-Likelihood-Verfahren (Weiss 1976 a) auch Material von Geschwisterpaaren und damit auch von

dizygoten Zwillingen auf Hauptgene (Weiss 1973) zu analysieren, ist es auch möglich, weitere Auswertungsschritte am selben Material anzuschließen. — In den letzten Jahren sind mehrere Arbeiten über sportliche Leistungstests erschienen (Schwarz 1972, Sergienko 1975, Kovař 1976, Howald 1976), in denen Zwillingspaare untersucht und Heritabilitäten berechnet worden sind, und damit in Zusammenhang sind weitere Arbeiten erschienen, aus denen der Nutzen der ermittelten Heritabilitäten für die Eignungsprognose, vor allem im Sport, erkennbar wird (Zaciorskij et al. 1973, Ifrim 1975, Weiss 1976 b).

Material und Methoden

Aus Unterlagen, die ursprünglich zu anderen Zwecken erhoben worden waren, wurden die Zwillingspaare herausgesucht¹. Da die Daten mit elektronischen Rechnern verarbeitet und ausgedruckt worden waren, war es naturgemäß im Laufe der Datenverarbeitung, vor allem beim Übertragen und Ablochen der Daten, zu einer Reihe von Fehlern gekommen, die, sofern sie zu offensichtlich unsinnigen Zahlen führten, mit der Hand aus den Datenlisten wieder gestrichen werden konnten, in Zweifelsfällen aber in die Rechnung eingegangen sind und in der Regel zu einer Verminderung der berechneten gegenüber der tatsächlichen Heritabilität geführt haben dürften. Ungünstig wirkte sich ferner aus, daß von den Probanden nicht das Geburtsdatum, Name und Schule erfaßt worden waren, sondern nur der Geburtsmonat, so daß in dem ausgedruckten Zwillingmaterial ein Teil davon „Pseudozwillinge“ sind, d. h. Personen, die im selben Monat geboren sind, dieselbe Schule besuchen und denselben Familiennamen haben, aber nicht einmal Geschwister sind. In Orten, in denen einzelne, auch sonst seltene, Familiennamen (Weiss 1974) besonders häufig sind, das sind vor allem Dörfer, treten deshalb „Pseudozwillinge“ ebenfalls gehäuft auf. Aus dem Vergleich mit dem Statistischen Jahrbuch der DDR war zu ersehen, daß, abzüglich der „Pseudozwillinge“, das vorliegende Gesamtmaterial rund 3000 Zwillingspaare (aus der gesamten DDR ohne den Bezirk Leipzig) umfaßt, d. h. alle Zwillinge aus allgemeinbildenden Oberschulen zweier Schuljahrgänge bei einem Anteil von rund 1000 monozygoten Paaren, 1000 dizygoten verschiedengeschlechtigen und 1000 dizygoten gleichgeschlechtigen Paaren. Um den Fehler durch „Pseudozwillinge“ auf ein Minimum zu beschränken, wurde beschlossen, die Auswertung des in dieser Größenordnung in der Welt wohl einmaligen Materials vorerst auf die Großstädte der DDR (ohne Leipzig) und Berlin zu beschränken und alle Probanden mit häufig vorkommenden Familiennamen (Müller, Schulze, Meier usw.) zu streichen, so daß der Anteil der „Pseudozwillinge“ an der Stichprobe weniger als 1 % betragen muß. Es blieb ein Rest von 480 Zwillingspaaren, davon 153 verschiedengeschlechtige (Junge — Mädchen) Paare und 327 gleichgeschlechtige, die aber hinsichtlich des erhobenen Sachverhalts als repräsentativ für die gesamte DDR angesehen werden können. Bei den gleichgeschlechtigen Paaren konnten monozygote und dizygoten Paare nicht unterschieden werden. Für diese Paare wurde nach dem Weinberg-Verfahren von einem Verhältnis von rund 55 : 45 zwischen Monozygoten und Dizygoten für die weitere Rechnung ausgegangen.

Die anthropometrischen Messungen und sportlichen Tests (siehe Tab. 1) waren nach einheitlichen Richtlinien entsprechend den Lehrplänen der Schulen von den örtlichen Sportlehrern durchgeführt worden, der Geburtsjahrgang 1. 6. 1963 bis 31. 5. 1964 war im Mai 1974, der Jahrgang vom 1. 6. 1964 bis 31. 5. 1965 im Mai 1975 gemessen und getestet worden. Es ist unvermeidbar, daß bei einem so großen Personenkreis in der konkreten Durchführung und der Genauigkeit und Sorgfalt bei den Messungen und Tests von Ort zu Ort beträchtliche Unterschiede auftreten, abgesehen von der Verschiedenheit der zur Verfügung stehenden Sportanlagen (Weitsprunganlagen, Laufbahnen usw.). Es ist aber gerade das Ziel dieser Analyse, die Heritabilitäten unter

¹ Ich danke Herrn U. Kaus, Berlin, für die Programmierung und Unterstützung.

diesen Bedingungen eines Massentests zu ermitteln, da die Heritabilitäten auch indirekt ein Maß für die Reliabilitäten der durchgeführten Messungen sind und an eine weitergehende Standardisierung der Tests in der Praxis bei einer so großen Probandenzahl nicht zu denken ist.

Für die Berechnung der Korrelationen wurden die Absolutwerte in Dezilwerte verwandelt, wobei beim 60-m-Lauf, Weitsprung, Schlagballweitwurf, Liegestütz, Dreierhop und Ausdauerlauf der Dezilskala jeweils unterschiedliche Absolutwerte bei Jungen und Mädchen zugrunde lagen, wogegen bei Körperhöhe, Körpergewicht und Kugelschodkwurf die Geschlechtsunterschiede in diesem Alter nicht vorhanden bzw. nicht signifikant waren. Die Erwartungswerte der genetischen Korrelationen betragen bei monozygoten Zwillingspaaren 1,00, bei dizygoten 0,50, bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 1 demzufolge 0,75, im vorliegenden Mischungsverhältnis von 55 : 45 bei den gleichgeschlechtigen Paaren rund 0,78.

Der Heritabilitätskoeffizient wird heute meist nach der Formel von *Falconer* berechnet:

$$h^2 = 2(r_{mz} - r_{dz})$$

Die Formel erscheint aber vor allem durch die Differenzenbildung strittig, da sich zufällige Fehler so oft verstärken können, was zu großen Schwankungen der errechneten Heritabilitäten führt. Worauf *Kovař* (1976) hingewiesen hat. Im Einzelfall führt dies zu unlogisch erscheinenden Ergebnissen. Z. B. ergibt sich nach *Falconers* Formel aus $r_{mz} = 0,80$ und $r_{dz} = 0,40$ eine Heritabilität von 0,80. Sinkt in diesem Fall die DZ-Korrelation noch stärker unter den theoretischen Erwartungswert 0,50 ab, etwa auf 0,30, so steigt die errechnete Heritabilität dann auf 1,00, steigt dagegen die DZ-Korrelation über 0,40 an – und das kann ja rein zufällig durch die Stichprobe bedingt sein –, dann sinkt die Heritabilität. Und das ist wohl unlogisch. Zufällige Schwankungen der Ausgangskorrelationen führen in einem Teil der Fälle zu Heritabilitäten, die sich den theoretischen Erwartungen entgegengesetzt verhalten.

In dieser Arbeit wurde deshalb gerechnet:

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

Damit werden gleichzeitig die Korrelationen entsprechend den unterschiedlichen Stichprobengrößen für Monozygote (n_{mz}) und Dizygote (n_{dz}) gewichtet und das Problem der Sicherheitsgrenzen der Heritabilitäten bearbeitbar.

Im vorliegenden Fall, bei dem nur zwischen gleichgeschlechtigen (ss) und verschieden-geschlechtigen (os) Zwillingspaaren unterschieden wird, modifiziert sich die Formel bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 1 auf:

$$h = \frac{\frac{4}{3}n_{ss}r_{ss} + 2n_{os}r_{os}}{n_{ss} + n_{os}}$$

Bei einem Mischungsverhältnis von 55 : 45 verändert sich der reziproke Wert der erwarteten Korrelation von $4/3$ bzw. 1,33 auf 1,28, wenn $r_{os} = 0,78$ als Maximum der genetischen Korrelation erwartet wird.

Ergebnisse und Diskussion

Die Interpretation der Ergebnisse wird dadurch erschwert, daß für die durchgeführten Tests noch keine Retest-Reliabilitäten bekannt sind. Da Reliabilität und Heritabilität in einem Zusammenhang stehen, ist zu vermuten, daß die niedrigeren Heritabilitäten, für Weitsprung und Dreierhop etwa, auch durch die niedrigen Reliabilitäten dieser Tests mit bedingt sind.

Tabelle 1 Korrelationen gleichgeschlechtiger (r_{ss}) und ungleichgeschlechtiger (r_{os}) Zwillingspaare und daraus berechnete Heritabilitäten (h) bei Körperhöhe, Körpergewicht und sieben sportlichen Tests

	r_{ss}	r_{os}	h
Körperhöhe	0,70	0,43	0,89
Körpergewicht	0,69	0,43	0,88
60-m-Lauf	0,69	0,38	0,85
Weitsprung	0,60	0,34	0,74
Schlagballwurf	0,54	0,11	0,54
Liegestütze	0,65	0,44	0,85
Dreierhop	0,60	0,21	0,66
Ausdauerlauf	0,71	0,48	0,93
Kugelschockwurf	0,57	0,33	0,71

Unabhängig von dieser Feststellung gibt es aber im Vergleich mit der Literatur (*Susanne* und *Defrise* 1971) zwei sehr auffällige Resultate: Die Heritabilitäten von Körpergewicht und Körperhöhe sind praktisch identisch und sehr hoch. Was hier für die repräsentative Stichprobe gilt, gilt also auch für die Gesamtheit der 10- bis 11jährigen Kinder in der DDR. Die richtige Interpretation ist vermutlich, daß durch die allgemeine Hebung und Angleichung des Lebensniveaus, vor allem was eine ausreichende Ernährung betrifft, die umweltbedingten Unterschiede zurückgegangen sind und damit auch der umweltbedingte Varianzanteil kleiner geworden ist. Während ein derartiges Ergebnis bei der Körperhöhe auch schon von anderen Autoren gefunden worden ist, ist die hier ermittelte Heritabilität des Körpergewichts ungewöhnlich hoch.

Das Ergebnis, daß Schnelligkeitsleistungen (60-m-Lauf) eine höhere Heritabilität aufweisen als Kraftleistungen (Wurf), ist allgemein bekannt (*Schwarz* 1972, *Sergienko* 1975, *Kovař* 1976). Das bedeutet aber für die Praxis, daß stärker auf Schnelligkeit beruhende Sportarten, z. B. die Sprintdisziplinen, früher und erfolgreicher, mit geringeren Ausfallquoten, Geeignete finden werden als stärker auf Kraftleistungen orientierte Disziplinen. — Am überraschendsten ist die extrem hohe Heritabilität des Ausdauerlaufs, obwohl es bei den genannten Autoren Hinweise dafür gibt, daß die aerobe Leistungsfähigkeit sehr hohe Heritabilitäten aufweist. Es muß aber hier auch an einen möglichen methodischen Fehler gedacht werden: Die Schüler einer Klasse starten gemeinsam und beenden gemeinsam nach 420 s den Lauf, wobei die zurückgelegte Strecke gemessen wird. Damit laufen in der Regel auch die Zwillinge gemeinsam und können sich gegenseitig in ihren Leistungen beeinflussen, ihre Korrelation wird sehr hoch. Gegen diese Interpretation spricht aber die sehr hohe Korrelation der verschiedengeschlechtigen Zwillinge, denn obwohl Jungen und Mädchen deutlich unterschiedliche Ausdauerlauf-Leistungen haben, korrelieren sie auf der standardisierten Skala mit $r_{os} = 0,48$. Um aber diese hohen Werte des Ausdauerlaufes weiter zu sichern, scheint es unerlässlich, eine Kontrolluntersuchung durchzuführen, bei der die Zwillinge getrennt werden und in verschiedenen Läufen starten.

Heritabilitäten sind Mittelwerte und gelten nur für die Population, für die sie berechnet wurden, für die erhobenen Variablen, einschließlich der Reliabilitäten eben dieser Untersuchung, und für den gegebenen Zeitpunkt, für eine

abstrakte mittlere Umwelt (*Feldman* und *Lewontin* 1975). Sie haben nur dann prognostische Bedeutung, wenn sich die Umweltbedingungen, unter denen sie berechnet wurden, nicht nennenswert ändern. Für die sportlichen Tests hat es in den letzten 20 Jahren für die Grundgesamtheit keine umwälzenden Änderungen gegeben (im Gegensatz zum Hochleistungssport), und sie sind in den nächsten 20 Jahren auch kaum zu erwarten. Heritabilitäten liefern keine Aussagen über die zukünftige Trainierbarkeit von Individuen oder Einzelleistungen. Dazu müßte man Heritabilitäten des Trainingszuwachses berechnen, und das ist bisher kaum versucht worden, wofür sich aber die Kontrollzwillingsmethode hervorragend eignet (der eine Partner eines monozygoten Paares trainiert, der andere nicht).

Der Heritabilitätskoeffizient gibt für eine gegebene mittlere Umwelt das mittlere Verhältnis zwischen einem relativ konstanten genetischen Varianzanteil h und einem relativ variablen Varianzanteil an. Besteht die Aufgabe, für einen bestimmten Sachverhalt (z. B. für die Eignung zu einem musikalischen oder tänzerischen Beruf) eine möglichst langfristige Eignungsaussage auf Grund von Tests und Messungen zu machen (*Albert* 1938), so steht man vor dem praktisch schwerwiegenden Problem, daß die verwendeten Tests und Messungen – abgesehen von der Validität – eine verschiedene prognostische Bedeutung haben, was im variablen Varianzanteil und der Reliabilität begründet liegt (*Rygula* 1975). Als relativ konstant kann über den gesamten Prognosezeitraum nur der genetische Varianzanteil angesehen werden. Durch die Bestimmung des Heritabilitätskoeffizienten ist es dadurch statistisch möglich, die unsicheren Effekte aller Art von den prognostisch entscheidenden festen Effekten zu trennen. Das aber legt die Verwendung der Heritabilitäten als Wichtungskoeffizienten in der Eignungsdiagnose (*Weiss* 1976 b), nahe, d. h., die gemessenen (phänotypischen) Werte werden mit den Heritabilitäten h multipliziert und zu einem Eignungsindex zusammengefaßt, was eine multivariate Bearbeitung der Daten als selbstverständlich voraussetzt (*Tittel* und *Enke* 1965).

Schrifttum

1. *Albert, R.*: Über die Vererbung der Handgeschicklichkeit. Eine erbpsychologische Experimentaluntersuchung durch drei Generationen auf dem Gebiete der motorischen Begabung. *Arch. ges. Psychol.* **102** (1938) 1–63.
2. *Feldman, M. W.* und *R. C. Lewontin*: The heritability hang-up. *Science* **190** (1975) 1163–1168.
3. *Howald, H.*: Ultrastructure and biochemical function of skeletal muscle in twins. *Ann. Hum. Biol.* **3** (1976) 455–462.
4. *Ifrim, M.*: Investigatia genetică, criteriu esențial în dirijarea obiectivă a antrenamentului sportiv. *Educ. fiz. și sport* **28** (1975) 8–11.
5. *Kovář, R.*: Příspěvek ke studiu genetické podmíněnosti lidské motoriky. Diss., Prag 1976.
6. *Rygula, I.*: Wartość prognostyczna wybranych testów stosowanych przy doborze chłopców do skoku wzwyż. *Sport Wyczynowy* **8** (1975) 24–29.
7. *Schwarz, V. B.*: O roli nasledstvennych i sredovych faktorov v razvitii fizičeskoj rabotosposobnosti u detej i podrostkov. Diss., Tartu 1972.
8. *Sergienko, L. P.*: Issledovanie vlijanija nasledstvennych i sredovych faktorov na razvitie dvigatel'nych kačestv čeloveka. Diss., Moskau 1975.
9. *Susanne, Ch., E. Defrise*: Recherches concernant l'héritabilité des caractères anthropologiques mesurables. *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris* **7** (1971) 191–224.

10. *Tittel, K., H. Enke*: Die Bedeutung der multiplen Faktoren- und Regressionsanalyse für die Sportanthropometrie. *Wiss. Z. dt. Hochsch. Körperkultur. Leipzig* **7** (1965) 91–112.
11. *Weiss, V.*: Die Prüfung von Hypothesen bei den synchron zum Probanden lebenden Seitenverwandten als Methode der Humangenetik. *Biom. Z.* **15** (1973) 259–270.
12. *Weiss, V.*: Die Verwendung von Familiennamenhäufigkeiten zur Schätzung der genetischen Verwandtschaft. Ein Beitrag zur Populationsgenetik des Vogtlandes. *Ethnogr.-Archäol. Z.* **15** (1974) 433–451.
13. *Weiss, V.*: Die Erkennung von Hauptgenen quantitativer morphologischer Merkmale mit Familienmaterial, Geschwisterpaaren und Eltern-Kind-Paaren am Beispiel der Kopflänge des Menschen. *Gegenbaurs morphol. Jahrb.* **122** (1976 a) 875–881.
14. *Weiss, V.*: Der Heritabilitätskoeffizient als prognostische Wichtung in der Eignungsdiagnose. *Biol. Rdsch.* **14** (1976 b) 376–377.
15. *Zaciorskij, V. M., N. Ž. Bulgakova, R. M. Ragimov, L. P. Sergienko*: Problema sportivnoj odarennosti i otbor v sporte: napravlenija i metodologija issledovanij. *Teor. i Prakt. fiz. Kult. Nr. 7* (1973) 54–66.

Anschr. d. Verf.: Dr. V. Weiss, Deutsche Hochschule für Körperkultur,
Sektion II, Wissenschaftsbereich Sportmedizin / Naturwissenschaften,
DDR – 701 Leipzig, Friedrich-Ludwig-Jahn-Allee 59