

MAGISTRAT DER LANDESHAUPTSTADT LINZ
Amt für Umweltschutz

Bericht Nr. 2/93

**Referenzwerte der Lungenfunktion
(Fluß-Volumen-Messung)
von Linzer Schulkindern als
Gesundheitsindikator und Basis
umweltmedizinischer Untersuchungen**

Autoren: M. Neuberger et al.



Endbericht

Referenzwerte der Lungenfunktion (Fluß-Volumen-Messung) von Linzer Schulkindern als Gesundheitsindikator und Basis umweltmedizinischer Untersuchungen

Auftraggeber: Stadt senat der Landeshauptstadt Linz
(Stadtrat J. Ackerl)
Amt für Umweltschutz des Magistrates Linz
(SR Dr. G. Glötzl, Dr. W. Medinger)

Auftragnehmer: Inst. f. Umwelthygiene d. Univ. Wien
(Vorst. Univ. Prof. DDr. M. Haider)

Projektleiter: Univ. Prof. Dr. M. Neuberger
Leiter der Abt. f. Präventivmedizin am
Inst. f. Umwelthygiene, Facharzt f. Innere
Medizin, Hygiene u. Präventivmedizin

Statistik: Univ. Doz. Dr. M. Kundi
Stabstelle f. Methodik u. Epidemiologie am
Inst. f. Umwelthygiene

Klinik: Dr. W. Wiesenberger
vormals Abt. f. Pneumologie, Allgemeines
Krankenhaus Linz, Lungenfacharzt in Linz

Mitarbeiter: Dr. W. Krejci u. Mitarb. (Schulärztlicher Dienst
des Jugendamtes d. Stadt Linz)
Dr. W. Frank (Inst. f. Statistik u. Informatik d.
Univ. Wien)
Mag. K. Hollega, Dr. Th. Zidek (Inst. f.
Umwelthygiene Wien)
Dr. P. Groß, Dr. R. Steinbach (Büro f.
Umweltschutzang., BM f. Landesverteidigung)
R. Ellerböck u. Mitarb. (EDV des Allgemeinen
Krankenhauses Linz)
F. Hurka u. Mitarb. (EDV-Zentrum d. Univ. Wien)

Autoren: M. Neuberger, M. Kundi, W. Wiesenberger,
W. Frank, K. Hollega, R. Steinbach, Th. Zidek

Wien, im Februar 1993

Vorwort:

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Lungenfunktionsbefunde von Kindern aus Oberösterreich, Tirol, Niederösterreich, Steiermark, Burgenland und Wien geprüft. Dabei erwiesen sich die Untersuchungsbefunde der Stadt Linz von Umfang und Qualität als die bestgeeigneten für eine Analyse des normalen Lungenfunktionswachstums im Schulalter. Nach dieser Analyse wurden nicht nur Vergleiche mit anderen Gruppen durchgeführt (siehe Diskussion), sondern auch innerhalb des Linzer Kollektivs geprüft, ob Umweltfaktoren Einflüsse auf die Lungenfunktion haben, die eine Übertragung der Ergebnisse auf andere österreichische Gemeinden in Frage stellen die Folgestudie zur Luftqualität im Auftrag des Landes Oberösterreich, die sich vor dem Abschluß befindet, ergab keine wesentlichen Einflüsse der Linzer Luftverschmutzung auf das Lungenfunktionswachstum der Pflichtschüler, die in dieser Studie analysiert wurden. Somit können die im folgenden beschriebenen Referenzwerte der Lungenfunktion für Kinder in ganz Österreich als Bezugsbasis empfohlen werden.

Lungenfunktionsbefunde der österreichischen Gesamtbevölkerung gibt es nur für die Gruppe der 18-jährigen Männer (Stellungsuntersuchungen). Wir haben deshalb auch die spirometrischen Ergebnisse der Stellungsstraße Linz überprüft, die sich aber aus methodischen Gründen als nicht verwertbar für die Referenzwertstudie erwiesen. Die Ergebnisse von 71.184 oberösterreichischen Stellungspflichtigen, die 1981-90 in Linz untersucht wurden, sind analysiert und dokumentiert und können auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden. Abb.4 im Anhang zeigt als Beispiel aus dieser Auswertung die Verteilung der FVC-Werte von 68.905 18-jährigen oberösterreichischen Männern, die eindeutige Artefakte erkennen läßt. Die Ursache dieser Artefakte (falsche Mitarbeitsskriterien bzw. größtenunabhängige Eignungskriterien) wurden aufgedeckt (Groß, Neuberger u. Steinbach 1989). Kontrollmessungen mit entsprechenden Mitarbeitsskriterien und einem verbesserten und geechten Gerät an der Diagnosestraße Linz an 166 Stellungspflichtigen ergaben eine andere Verteilung der Werte und folgende Regressionsgleichung:

$FVC = 0,054 \times \text{Größe (cm)} - 4,459$. Auf Grund der geringen Probandenzahl konnte diese Gleichung aber nicht als "Referenzwert"

für 18-jährige Männer verwendet werden und wir mußten die Ergebnisse anderer Diagnosestraßen auf ihre methodische Akzeptanz prüfen (Steinbach u. Neuberger 1990). In einer Zusammenfassung (31) von Ergebnissen der 584.558 Stellungsuntersuchungen aus ganz Österreich empfahlen wir vereinfachte spirometrische Referenzwerte für 18-jährige Männer, die aus der methodisch akzeptablen Untersuchung von 72.728 Tiroler, Vorarlberger und Salzburger Stellungspflichtigen abgeleitet wurden und verglichen sie mit Referenzwerten aus Österreich (14,35), Tschechien (51), der EG (33) und den USA (24). Die beste Übereinstimmung ergab sich mit Ergebnissen über das normale Lungenfunktionswachstum aus dieser Linzer Untersuchung (29), deren vorläufige Ergebnisse bereits beim letzten Workshop "Lunge-Umwelt-Arbeitsmedizin" in Linz der österr. Gesellschaft für Lungenerkrankungen und Tuberkulose vorgestellt wurde und deren Endergebnis im Folgenden zusammengefaßt wird.

Zusammenfassung

(Hintergrund): Für die Diagnose von Lungenfunktionsstörungen im Kindesalter wurden bisher unterschiedliche Referenzwerte verwendet, sodaß die Beurteilung der Lungenfunktion und ihres "normalen" Wachstums in Pädiatrie und Umweltmedizin uneinheitlich war. Flußvolumenmessungen, denen in der Frühdiagnostik von Erkrankungen der kleinen Atemwege eine große Bedeutung zukommt, konnten in Europa bisher nur mit Referenzwerten verglichen werden, die an kleinen, hochselektierten Gruppen erhoben wurden.

(Methoden): Wir untersuchten mit standardisierter Methodik 18106 Kinder und Jugendliche im Alter von 6 bis 16 Jahren während des Schulbesuches. Nach Ausschluß von Schülern mit schlechter Mitarbeit, klinischer respiratorischer Symptomatik oder aktivem Tabakrauchen wurden die Lungenfunktionsparameter FVC, FEV1, PEF, MEF₇₅, MEF₅₀, MEF₂₅ und MMEF mittels multipler linearer Regressionsanalyse ausgewertet und Modellformeln entwickelt, um die individuellen Erwartungswerte aus Geschlecht, Körpergröße, Alter und Körpergewicht voraussagen zu können.

(Ergebnisse): Mittelwerte und Standardabweichungen der Lungenfunktion gesunder österreichischer Pflichtschüler werden als Bezugsbasis angegeben, um dem Kinderarzt zu ermöglichen, individuelle Abweichungen zu erkennen und in Standardeinheiten zu quantifizieren. Flußwerte, die die Funktion kleiner Atemwege

anzeigen, sind bei Mädchen in der Adoleszenz höher als bei gleichgroßen Knaben. MEF25 zeigt den höchsten Anteil anthropometrisch unerklärter Variabilität.

(Schlußfolgerung): Die neuen Bezugswerte erweitern das Instrumentarium zur Früherfassung respiratorischer Erkrankungen und Dysfunktionen im Pflichtschulalter und sollen dem Kinderarzt helfen, in Zukunft auch subklinische Funktionsstörungen durch Umwelteinflüsse besser beurteilen zu können.

Schlüsselwörter: Referenzwerte, Lungenfunktion, Fluß-Volumen, Schulkinder, Jugendliche.

Einleitung

In der Diagnostik von Atemwegserkrankungen spielt die Spirometrie eine zunehmende Rolle, wobei dem niedergelassenen Arzt heute auch schon die Flußvolumenmessung für die Frühdiagnostik von Funktionsstörungen im Bereich der kleinen Atemwege zur Verfügung steht (36). Der klinische Wert dieser Lungenfunktionsuntersuchungen steht und fällt aber mit der Relevanz der Referenzwerte an Hand derer Funktionsbeeinträchtigungen beurteilt und quantifiziert werden (12). Zahlreiche Studien an Kindern und Jugendlichen liegen bereits über folgende Lungenfunktionsmeßgrößen vor: Forcierte Vitalkapazität (FVC) - nach tiefstmöglicher Einatmung forciert maximal ausatembares Luftvolumen, Indikator des Lungenwachstums und restriktiver Ventilationsstörungen; Forciertes Exspirationsvolumen in 1 sec (FEV1) - bei einem FVC-Manöver in der 1. Sekunde der Ausatmung maximal erreichbares Luftvolumen, Indikator obstruktiver Ventilationsstörungen; Höchste (Peak) Exspiratorische Flußrate (PEF) - größte Ausatemgeschwindigkeit während eines FVC-Manövers, Indikator für Strömungsbehinderungen in den größeren Atemwegen. Diese Meßgrößen sind aber insensitive Indikatoren für Veränderungen an den kleinen, peripheren Atemwegen, die auch durch eine Atemwegswiderstandsmessung mit dem teuren Ganzkörperplethysmographen nicht befriedigend erfaßt werden, weil der periphere Atemwegswiderstand nur 10% des gesamten Atemwegswiderstandes ausmacht (44). Deshalb wurde als wichtige diagnostische Ergänzung die Flußvolumenmessung standardisiert (2) bei der die Ausatemgeschwindigkeit gegen das forciert ausgeatmete Luftvolumen aufgezeichnet und die maximalen exspiratorischen Flußraten bei 75 % (MEF₇₅), 50 % (MEF₅₀) und 25 % (MEF₂₅) der FVC bestimmt werden. Als mittlere maximalexspiratorische Flußrate (MMEF) wurde die entsprechende Ausatemgeschwindigkeit zwischen 75 und 25 % der FVC definiert.

Da die Flußvolumenmessung ein sensitiver Test zur Erfassung obstruktiver Atemwegserkrankungen ist (17) und ihre Ergebnisse (z.B. MEF₂₅, MEF₅₀, MMEF) eine Früherkennung von Funktionsstörungen im Bereich kleiner Atemwege mit viel geringerem Aufwand ermöglichen als andere Untersuchungen (z.B. frequenzabhängige Compliance, Closing Volume, Single Breath Nj Test) wird sie bei

umweltmedizinischen Studien gerne als Screeningmethode verwendet (1, 6, 8, 15, 28, 37, 53). Dabei wird versucht, chronische Atemwegserkrankungen durch Luftschadstoffe, denen Kinder und Jugendliche ausgesetzt sind, schon im Anfangsstadium zu erfassen (6, 9). Erschwert wurden diese Bemühungen bisher durch das Fehlen geeigneter Referenzwerte zur Standardisierung nach anthropometrischen Daten. Quanjer et al. (33) haben in ihrer umfangreichen Dokumentation auf Seite 236-2A2 die großen Unterschiede der bis 1989 publizierten Referenzwerte für die Flußvolumenmessung dargestellt. Diese Diskrepanzen hängen nicht nur mit methodischen Differenzen bei der Untersuchung und Auswertung sondern auch mit der Probandenauswahl zusammen (30, 31) und stellen die Verwendung dieser Referenzgleichungen als Bezugswerte in Frage. Wir haben deshalb in einer großangelegten Studie unselektierte Pflichtschüler mit standardisierten Methoden untersucht, um neue Referenzwerte zu erarbeiten. Diese Bezugswerte sollen erstens dem Kliniker ermöglichen, das normale Lungenfunktionswachstum im Pflichtschulalter aus anthropometrischen Daten besser als bisher vorauszusagen, Abweichungen von der Norm im Einzelfall zu erkennen und in vergleichbaren Einheiten zu quantifizieren und sie sollen zweitens dem Epidemiologen ermöglichen, negative Auswirkungen von Umwelteinflüssen wie Luftverunreinigungen verlässlicher und früher zu erfassen.

Methodik;

Zielgruppe waren alle Pflichtschüler der Stadt Linz, die anamnestisch und klinisch lungengesund und nach eigenen Angaben Nichtraucher waren. Über einen Zeitraum von 5 Jahren wurden regelmäßig über das ganze Schuljahr in allen Volks- und Hauptschulen (vormittags) Untersuchungen (einschließlich Lungenauskultation) durch 2 mobile Teams mit abwechselnd 2 von insgesamt 9 besonders geschulten Ärzten durchgeführt. Die Beteiligung einschließlich Fragebogenbeantwortung durch Erziehungsberechtigte betrug über 85 % (50). Schüler, die zum Zeitpunkt der Untersuchung erkrankt waren, wurden nach Möglichkeit zu einem späteren Zeitpunkt nachuntersucht. 1171 Schüler mußten aber auf Grund ihrer respiratorischen Symptomatik nach den Standardisierungsempfehlungen (45) von der Referenzstudie ausgeschlossen werden

und 1733 Schüler wurden von der Auswertung deshalb ausgeschlossen, weil sie die in Anlehnung an die Kriterien der American Thoracic Society (3,4) entwickelten Empfehlungen der österreichischen Standardisierungskommission (2) bei der Mitarbeit nicht erfüllten. Von mindestens 3 und durchschnittlich 5 forcierteren Ausatemmanövern wurde das mit der höchsten. Summe von FVC und FEV1 ausgewertet, wenn sich weder FVC noch FEV1 des zweitbesten Versuches um mehr als 10 % unterschieden (22,48). Die Lungenfunktionsmessung erfolgte im Stehen, mit Nasenklemme, unter Verwendung von regelmäßig geeichten Geräten der Type Vicatest 5. (Der Nullpunkt des Volumens wird bei diesem Spirometer durch Rückextrapolation vom Spitzenfluß bei einer Abtastrate von 10 msec bestimmt; der Endpunkt bei der Unterschreitung eines Flusses von 30 ml in 2 sec und einer Maximalmeßzeit von 16 sec). Die Körperlänge im Stehen und das Körpergewicht der Schüler wurden ohne Schuhe gemessen. Andere Untersuchungsdetails wurden zusammen mit vorläufigen Ergebnissen früher berichtet (50,29). Eine Analyse der Schüler mit nicht verwertbaren spirometrischen Daten ergab keine signifikanten Unterschiede für Alter, Geschlecht und Anamnese. Für die Regressionsanalyse wurden Daten von 7484 Mädchen und 7561 Knaben verwendet die vom 6. bis zum 16. Lebensjahr (6. Geburtstag bis vor dem 7. Geburtstag, usw., 16. Geburtstag bis vor dem 17. Geburtstag) folgende Altersverteilung hatten: Mädchen 1274, 1912, 1129, 689, 563, 441, 453, 491, 356, 222, 31; Knaben 1432, 1856, 993, 697, 604, 404, 454, 473, 370, 178, 23. Die Untersuchungen erfolgten gleichmäßig verteilt über das Schuljahr, um saisonale Einflüsse (21) auszuschließen.

Nach den Standardisierungskriterien (2,22,45) wurden 15045 Kinder (7484 Mädchen und 7561 Knaben) in die Analyse eingeschlossen, wobei zur Untersuchung der Beziehung zwischen anthropometrischen Größen einerseits und Lungenfunktionsparametern andererseits Standardtechniken der Regressionsanalyse eingesetzt wurden. Für die Volumswerte (FVC und FEV_j) wurden Potenzfunktionen und für die Flußwerte (PEF, MEF₅₋₁₀ und MMEF) Exponentialfunktionen gewählt. Sofern man den Altersbereich einschränkt (auf 6-10 und 11-16-Jährige) liefert die lineare Regression fast ebensogute Anpassungen. Als Beurteilungskriterium für die Auswahl des Funktionstyps wurde die residuale Standardabweichung (RSD) herangezogen. Es zeigte sich, daß die Unterschiede zwischen der Exponential- und der Potenzfunktion äußerst gering sind, dennoch war die Anpassung der Potenzfunktion für die Volumswerte und die

der Exponentialfunktion für die Flußwerte in allen Untergruppen jeweils die beste, sodaß wir uns dafür entschieden, unterschiedliche Funktionstypen für die Referenzgleichungen heranzuziehen.

Die stufenweise Regressionsanalyse ergab für alle Lungenfunktionsparameter Größe, Alter und Gewicht als signifikante Prädiktoren.

Gruppiert man die Lungenfunktionswerte nach den unabhängigen Variablen Alter, Größe oder Gewicht, so ergeben sich durchwegs lineare Zusammenhänge (Korrelationen > 0.9) zwischen den mittleren Referenzwerten und den Streuungen innerhalb der Gruppen. Es läßt sich daher die Angabe der Abweichung vom Referenzwert in Standardeinheiten auf einfache Weise als Funktion des Referenzwertes allein darstellen. Die für Lungenfunktionswerte verbreitete Methode eine untere "Normgrenze" als Anteil des Referenzwertes zu definieren, erhält dadurch ebenfalls eine quantitative Bestätigung.

Ergebnisse

Tabelle. 1 zeigt- die Referenzgleichungen zur Berechnung der Lungenfunktionssollwerte von Mädchen und Knaben im Altersbereich von 6 bis 16 Jahren aus Körpergröße, Alter und Körpergewicht. Der Varianzanteil von FVC, FEV1, PEF, MEF₂₅, MEF₅₀, MEF₇₅ und MMEF, der aus Körpergröße, Alter und Körpergewicht erklärt werden konnte, ist aus dem Bestimmtheitsmaß R abzulesen (Quadrat der multiplen Korrelationskoeffizienten, adjustiert nach Stichprobengröße und Anzahl der Regressoren). Als Streuungsmaß ist RSD, die Standardabweichung der Residuen angegeben (Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadraten vom Referenzwert). Abb.1-3 veranschaulichen den Zusammenhang zwischen der Körpergröße, die durchwegs den höchsten Varianzanteil der Spirometerwerte erklärt, und den Lungenfunktionsparametern (für Alter und Gewicht wurden dabei die körpergrößenbezogenen Erwartungswerte in die Referenzgleichung eingesetzt).

Die durch die unabhängigen Variablen (Größe, Alter und Gewicht) in Linearkombination erklärten Varianzanteile der Lungenfunktionsparameter liegen zwischen ca. 40 % (MEF₂₅) und ca. 90 % (FVC). Sämtliche Regressionskoeffizienten mit Ausnahme der Koeffizienten für das Alter bei MEF₂₅ ($p < 0.05$) waren statistisch

hoch signifikant ($p<0.01$). Die Unterschiede zwischen Knaben und Mädchen sind zwar absolut genommen relativ gering, dennoch waren sie in allen Fällen statistisch signifikant. Bei den Volumsgrößen (FVC und FEV1) sowie beim Spaltenfluß (PEF) hatten Mädchen durchwegs niedrigere Werte als Knaben gleicher Körpergröße. Bei den Flußwerten MEF₂₅ 50 75 und MMEF waren die Anstiege mit zunehmender Körpergröße bei den Mädchen stärker ausgeprägt als bei den Knaben, was dazu führt, daß ab einer Körpergröße von ca. 1,5 m die Mädchen bessere Flußwerte aufweisen.

Für eine rasche Beurteilung der Lungenfunktion kann man auch die in Tabelle 2 angeführten linearen Gleichungen benutzen, wobei es für diesen Zweck ausreicht, die Körpergröße als Prädiktor heranzuziehen. Der Vollständigkeit halber und zu Vergleichszwecken mit anderen Veröffentlichungen sind jedoch auch Gleichungen mit Alter und Gewicht als zusätzliche Prädiktoren angeführt. Obwohl auch die Koeffizienten für Alter und Gewicht (mit Ausnahme der Koeffizienten für das Alter beim MEF₂₅ bei den 6-10-jährigen) statistisch signifikant waren, liegt ihr zusätzlicher Anteil erklärter Varianz in fast allen Fällen unter 1 %. Das Bestimmtheitsmaß und die Residualstreuung lassen sich nicht direkt zwischen den linearen Funktionen und den Potenz- bzw. Exponentialfunktionen vergleichen. Ein Vergleich bei mittleren Funktionswerten zeigt jedoch, daß in diesem Bereich der Anteil der Residualvarianz bei den linearen und den Exponential- bzw. Potenzfunktionen praktisch identisch sind. Die Überlegenheit der Potenz- bzw. Exponentialfunktion zeigt sich erst bei extremeren Werten der unabhängigen Variablen z.B. bei besonders großen Kindern.

Abb. 1 und 2 zeigen als Beispiel den Verlauf der mittleren Lungenfunktionswerte und die Standardabweichungen bei Mädchen in Körpergrößenintervallen von 5 cm. Zusätzlich sind die auf Tabelle 1 basierenden Referenzfunktionen sowie Funktionen anderer Autoren eingetragen wobei aus Vergleichsgründen diese Funktionen nicht als Mittelwerte der Erwartungswerte sondern als Erwartungswerte

auf Basis der Mittelwerte der unabhängigen Variablen berechnet wurden.

In Tabelle 3 sind die unteren Normgrenzen (definiert als 2a-Abweichung vom Normwert) angegeben, die sich als Prozentwert des Referenzwertes ausdrücken lassen. Da sich diese Werte nur geringfügig zwischen Knaben und Mädchen unterscheiden, werden aus praktischen Gründen (und auch wegen bereits bestehender Empfehlungen der österreichischen Standardisierungskommission für FVC und FEV1) gerundete Werte einheitlich für Knaben und Mädchen vorgeschlagen. Zusätzlich ist es oft wünschenswert, die Abweichung eines gemessenen Wertes vom Referenzwert in Standard-einheiten anzugehen. Die dazu notwendigen Faktoren sind der letzten Spalte der Tabelle 3 zu entnehmen. Diese Faktoren werden mit dem um 1 reduzierten Verhältnis des gemessenen Wertes zum Referenzwert multipliziert (Beispiel: angenommen die gemessene FVC beträgt 3.4, der aufgrund von Alter, Größe und Gewicht erwartete Wert beträgt 4.1; das Verhältnis 3.4/4.1 ergibt 0.829, davon wird der Wert 1 abgezogen und das Ergebnis gemäß Tabelle 3 mit 10 multipliziert; man erhält dann einen Wert von -1,7, d.h. daß der Meßwert 1.7 Standardabweichungen unter dem Referenzwert liegt; die untere 2o-Grenze wäre $3.28=80\%$ von 4.1).

Diskussion

Auswirkungen der Luftverunreinigung auf Kinder wurden bisher vor allem bei akuten Episoden untersucht, während der es zu flüchtigen Erhöhungen des Atemwegswiderstandes kommt (19) und nach denen spirometrische Parameter noch tagelang beeinträchtigt sein können (8). Im Gegensatz zu diesen reversiblen Kurzzeiteffekten könnten für chronische Wirkungen vieler inhalativer Schadstoffe (z.B. Ozon, Stickoxide, Passivrauchen) die terminalen Bronchien die vulnerabelste Stelle des Respirationstraktes sein, und es gibt Indizien dafür, daß viele umweltbedingte Atemwegserkrankungen in den kleinen, peripheren Atemwegen beginnen (1, 6, 15, 16, 24, 27, 28, 34, 36, 37, 43). Daher sollte die Kranheitsfrüh-erkennung hier ansetzen. Umso bedauerlicher ist es, daß bisher derart unterschiedliche Referenzwerte (33) für diejenigen Parameter der Flußvolumenkurve vorlagen, die eine Funktionsstörung im Bereich der kleinen Atemwege anzeigen.

Die vorliegende Referenzstudie gehört weltweit zu den größten – nach der Zahl der untersuchten Kinder nur der 6-Städte-Studie in den U.S.A. von Dockery et al. (10) vergleichbar, bei welcher allerdings nur FVC und FEV₁ und keine Flußwerte analysiert wurden. Dockery et al. untersuchten 5958 weibliche und 6300 männliche weiße 6-11-jährige Kinder mit einem Stead-Wells-Spirometer im Sitzen (ohne Nasenklemme) bei sonst ähnlicher Methodik. Eine Referenzstudie mit Flußvolumenmessung, die von einer repräsentativen Stichprobe von U.S.Bürgern ausging, wurde von Schwartz et al. (AI) berichtet. Dabei wurden 1680 Weiße und 283 Schwarze (951 Mädchen und 1012 Knaben) im Alter von 6-24 Jahren untersucht, die anamnestisch lungengesund waren und weniger als 100 Zigaretten in ihrem Leben geraucht hatten. Die Lungenfunktionsprüfung mit einem elektronischen Spirometer erfolgte dabei im Stehen (Nasenklemmenverwendung "bei Bedarf").

Abb.1 und 2 zeigen die von uns gemessenen Lungenfunktionswerte nach der Körpergröße als wichtigstem Prädiktor, wobei die Größe der Standardabweichung u.a. das unterschiedliche Alter und Gewicht in dieser Größenklasse widerspiegelt. Die eingezeichneten Kurven sind prognostizierte Lungenfunktionswerte nach verschiedenen Referenzgleichungen, wobei für jede Größenklasse das entsprechende mittlere Alter und Körpergewicht unserer Untersuchungspopulation in die Formeln eingesetzt wurde. Dargestellt ist das Lungenfunktionswachstum für Mädchen, das nach Quanjer et al. (33: Seite 236) bisher besonders unterschiedlich prognostiziert wurde, wobei speziell die Zunahme der Flußwerte mit der Größe nicht verlässlich angegeben werden konnte bzw. eine Übertragung auf andere Gruppen aus methodischen und ethnischen Gründen problematisch erschien. Dagegen sind die Lungenvolumina von weißen Kindern aus den USA mit den Lungenvolumina österreichischer Kinder nach Abb.1 durchaus vergleichbar, wenn man bei diesem Vergleich berücksichtigt, daß Dockery et al. nur den Größenbereich bis 1,5 m verlässlich angeben können (dariüber fanden sie selbst größere Lungenvolumina als ihr Modell für Mädchen prognostiziert) und Schwartz et al. eine andere Nullzeitdefinition bei der FEV₁-Bestimmung wählten und die Lungenvolumina der größeren Kinder vorwiegend aus der Untersuchung von Erwachsenen ableiten. Abb.1 zeigt auch die von Forche (12)

prognostizierten Werte, die als "uneingeschränkt anwendbar" bezeichnet (12) und nach Empfehlungen der Standardisierungskommission (13,14) als "österreichische Bezugswerte" bereits in gesetzliche Verordnungen aufgenommen wurden (5). Im Gegensatz zu anderen Referenzwerten (10,31,33) prognostizieren die Formeln von Forche eine etwas steilere Zunahme der Lungenvolumina mit der Körpergröße, was mit der Selektion (30,31) der 585 steirischen Mädchen im Alter von 7-18 Jahren und kaum mit methodischen Unterschieden (halboffenes Trockenspirometer, keine Nasenklemme) zu unserer Untersuchung zusammenhängen dürfte. Die Abweichungen liegen aber bei FVC mit Ausnahme der beiden extremen Körpergrößenklassen innerhalb von +/- 1 Standardabweichung. Bei FEV1 weichen lediglich die Werte in jenen Körpergrößenklassen stärker ab, in denen Forche nur einzelne oder gar keine Mädchen untersucht und sein Modell extrapoliert hat (12).

Bei den in Abb.2 dargestellten Flußwerten, die den Zustand der kleinen Atemwege anzeigen sollen, ist die intra- und inter-individuelle Variabilität auch bei Verwendung standardisierter Methoden größer (7,20,24,33,38,39) und die verschiedenen Prognosen weichen zum Teil erheblich voneinander ab. Die nach dem Modell von Schwartz et al. (41) berechneten Flußwerte von Kindern und Jugendlichen aus den USA sind durchwegs kleiner, bei gleichem Anstieg mit der Körpergröße. Da die verwendeten Untersuchungs- und Auswertemethoden (2,3) sehr ähnlich waren und ethnische Unterschiede (18) in der Atemwegsgeometrie kaum so groß sind, sollte die Konstante in der Formel von Schwartz et al. für die Flußwerte überprüft werden, zumal Diskrepanzen zwischen den angegebenen Formeln und den dargestellten Abbildungen (41) bestehen. Die Formeln von Schindl und Aigner (35) stimmen mit unseren Ergebnissen und denen anderer Autoren besser überein als die in ihrer Arbeit (35) angegebenen Nomogramme. Die Sollwertformeln von Schindl u. Aigner gelten für 10-18-Jährige und prognostizieren im entsprechenden Größenbereich die von uns gemessenen MEF₅₀-Werte recht gut (Abb.2a). Beim MEF₂₅ würden sich für Jugendliche nach den Formeln von Schindl u. Aigner aber doch deutlich höhere Werte ergeben (Abb.2b). Ursache ist vermutlich die Selektion von 293 Mädchen und 327 Knaben aus insgesamt 3482 untersuchten Schülern, weil Zielgruppe und Untersuchungsmethodik mit denen der

vorliegenden Studie gut vergleichbar waren, wenn man davon absieht, daß Schindl und Aigner auch in Landgemeinden untersuchten und die Hüllkurvenmethode (11) verwendeten.

Überraschend gut war die Übereinstimmung unserer Ergebnisse mit denen von Zapletal et al. (51), die in einem Zeitraum von 2 Jahren eine randomisiert aus lungengesunden Kindern ausgewählte Gruppe von 51 Mädchen und 60 Knaben im Alter von 6-17 Jahren mit verschiedenen Pneumotachographen im Sitzen untersucht hatten (52). Die geringen Streuungen, die diese Autoren (z.B. für PEF) angeben, sprechen für eine gute Mitarbeit der von ihnen untersuchten Kinder. Ethnisch waren diese Kinder den von uns untersuchten österreichischen Kindern vergleichbar und offenbar unterschieden sie sich auch nicht wesentlich in anderen die Lungenfunktion beeinflussenden Faktoren wie z.B. dem Trainingszustand. Doch konnten Zapletal et al. an Hand ihrer kleinen Stichprobe noch keine Geschlechtsunterschiede der Flußvolumenkurve nachweisen und gaben daher für Kinder und Jugendliche Referenzgleichungen an, die zwischen Mädchen und Knaben nicht unterscheiden. Abb. 3 zeigt, daß nicht nur die Volumina (Abb.3a), sondern auch die Flußwerte (Abb.3b) Geschlechtsunterschiede beim Wachstum aufweisen: Bei gleicher Körpergröße haben Knaben zwar ein größeres Lungenvolumen (FVC, FEV1) und erreichen höhere Ausatemgeschwindigkeiten (PEF) als Mädchen, doch kann das Wachstum ihrer Atemwege offenbar nicht so gut mit dem Lungenwachstum Schritt halten, sodaß ihr FEV₁/FVC-Quotient rascher abnimmt (Abb. 3a) und sie in der Adoleszenz bei den MEF-Werten von Mädchen gleicher Größe übertroffen werden (Abb.3b). Von den Flußwerten liegt nur der PEF bei Knaben durchwegs höher, was eher Ausdruck einer besseren sportlichen Motivierbarkeit als einer besseren Lungenfunktion sein dürfte. Schrader et al. (40) diskutieren in diesem Zusammenhang auch die bei Knaben durch größere Muskelkraft erzeugten höheren Drucke. In den weniger mitarbeitsabhängigen endexspiratorischen Flußwerten zeigen dagegen die weiblichen Jugendlichen eindeutig die besseren Werte (Abb.3b). Diese Ergebnisse bestätigen anatomische und atemphysiologischen Beobachtungen (25,26,A2,46 , 47) eines im Verhältnis zum Lungenvolumen langsameren Wachstums der Atemwege, das bei Knaben stärker ausgeprägt ist als bei Mädchen.

Im Gegensatz zu Zapletal et al. (51) wurden entsprechende Geschlechtsunterschiede auch von anderen Autoren (13, 23, 40, 42) diskutiert: Schon Dockery et al. (10) vermuteten wegen der größeren FEV1/FVC-Quotienten bei Mädchen größere Atemwegsquerschnitte in Relation zur Lungengröße, konnten aber die Bedeutung der kleinen Atemwege für diesen Geschlechtsunterschied noch nicht differenzieren. Während FVC bei 6-18-Jährigen parallel mit der Totalkapazität der Lunge zunimmt (32), wächst FEV1 nicht im gleichen Ausmaß (Abb.3a) sodaß der FEV1/FVC-Quotient abnimmt. Insbesondere bei Knaben können in der Phase des pubertären Lungenwachstums die Atemwege mit der Alveolenzunahme nicht Schritt halten, sodaß dann relativ mehr Alveolen über einen geringeren Atemwegsquerschnitt belüftet werden. Die in Abb.3b dargestellten Ergebnisse sprechen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Schwartz et al. (42) dafür, daß die kleinen peripheren Atemwege für diese Geschlechtsunterschiede eine Rolle spielen, was in Zukunft bei umweltmedizinischen Studien über die Wirkung von Luftsabdstoffen mitberücksichtigt werden müßte. Während die Streuungen der FVC- und FEV1Werte (Abb.1) im Wesentlichen durch unterschiedliche Mitarbeit und Muskelkraft bedingt sein dürften, erscheint der hohe Anteil anthropometrisch unerklärter Variabilität bei den endexspiratorischen Flußwerten in Hinblick auf die Empfindlichkeit kleiner Atemwege für Luftsabdstoffe umweltmedizinisch interessant.

Leider liegen für die Phase des pubertären Lungenwachstums schubes, in der sich das Lungenfunktionsmaximum des späteren Erwachsenen entscheidet, bisher keine größeren Längsschnittstudien mit standardisierter Flußvolumenmessung vor. Im Querschnitt sind systematische Fehler durch Selektion (30) selbst bei Untersuchung von Totalpopulationen wie in unserer Studie oder von repräsentativen Stichproben wie in der Studie von Schwartz et al. (41) nicht sicher auszuschließen (49). Dockery et al. (10) berichten zwar eine gute Übereinstimmung ihrer im Querschnitt erhobenen Daten mit der Lungenfunktionsentwicklung im Längsschnitt, doch gibt es dzt. keine vergleichbare Studie mit Flußvolumenmessung. Auch können wir nur im Volksschulalter einen Selektionsfehler durch den Schultyp verlässlich ausschließen und nicht für die Altersgruppe der 11-16-Jährigen (Hauptschüler). Wir

haben deshalb schon vor Präsentation der vorläufigen Ergebnisse (29) überprüft, ob diese mit Ergebnissen unselektierter Studien (31) kompatibel sind und dafür das Prognosemodell für den MEF_{Fr} der Jugendlichen bis zum 18. Lebensjahr extrapoliert. Dabei ergab sich eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit Ergebnissen von 72 728 österreichischen Männern, die einen nahezu kompletten Bevölkerungsquerschnitt aller sozialen Schichten und Berufe dieser Altersgruppe darstellen (31). Daraus glauben wir ableiten zu dürfen, daß unser Modell des Lungenfunktionswachstums - jedenfalls für MEF₅₀ männlicher Jugendlicher - keine gravierenden systematischen Fehler durch Selektion enthält.

Literatur;

- 1) Adams L, Lonsdale D, Robinson M, Räwbone R, Guz A (1984): Respiratory impairment induced by smoking in children in secondary schools. *Brit.Med.J.*288, 891-895.
- 2) Aigner K, Schindl R (1986): Empfehlungen zur standardisierten Routinemethode der Fluß-Volumen-Kurve-PraxKlinPneumol 40, 1986, 261-265.
- 3) American Thoracic Society (1979): ATS Statement - Snowbird Workshop on Standardization of Spirometry. *AmRevRespirDis* 119, 831-838.
- 4) American Thoracic Society (1987): Standardization of Spirometry -1987 Update. *AmRevRespirDis* 136, 1285-1298.
- 5) Bundesministerium für Arbeit- und Soziales: Beilage zum Erlaß vom 15.11.1991 nach der Verordnung BGB1 358/1988.
- 6) Casale R, Colantonio D, Cialente M, Colorizio V, Barnabei R, Pasqualetti P (1991): Impaired pulmonary function in school children exposed to passive smoking - *Respiration* 58, 198-203.
- 7) Cherniack RM, Raber MB (1972): Normal Standard for ventilatory function using an automated wedge spirometer. *AmRevRespirDis* 106, 38-46.
- 8) Dassen W, Brunekreef B, Hoek G, Hofschreuder P, Staatsen B, de Groot H, Schouten E, Biersteker KV (1986): Decline in children's pulmonary function during an air pollution episode. *J.AirPollContrAss* 36, 11, 1223-1227. •
- 9) Detels R, Tashkin DP, Sayre JW, Rokaw SN, Coulson AH, Massey FJ, Wegman DH (1987): The UCLA population studies of chronic obstructive respiratory disease 9. Lung function changes associated with chronic exposure to photochemical oxidants; a cohort study among never smokers. *Chest* 92, 594-603.

- 10) Dockery DW, Berkery CS, Ware JH, Speizer FE, Ferris BG (1983): Distribution of forced vital capacity and forced expiratory volume in one second in children 6 to 11 years of age. AmRevRespirDis 128, 405-412.
- 11) Ferris BG Jr. (Ed.) (1978): Epidemiological standardization project. AmRevRespirDis 118, 1-119.
- 12) Forche G (1986): Erste umfassende spirometrische Untersuchungen für neue uneingeschränkt anwendbare Bezugswerte. Wr.Med.Wschr.136, Suppl.99.
- 13) Forche G, Harnoncourt K, Stadiober E (1982): Die Grundlagen für die neuen spirometrischen Bezugswerte. Ost. Ärztezeitung 37, 1635-1639.
- 14) Forche G, Stadiober E, Harnoncourt K (1988): Neue spirometrische Bezugswerte für Kinder, Jugendliche und Erwachsene. Ost. Ärztezeitung 43, 15/16, 40-42.
- 15) Frischer Th, Studnicka M, Beer E, Neumann M (1993): Effect of low level NO₂ on children's lung function. Environmental Research (im Druck).
- 16) Götz M (1982): Die bronchiale Reaktivität asthmatischer Kinder als Antwort auf unspezifische und spezifische Stimuli. WrKlinWschr.94/23: 138, 1-46.
- 17) Hoffarth HP, Piontek K, Liedtke M, Reichel G, Ulmer WT (1990): Zum Stellenwert der Fluß-Volumen-Kurve bei der Diagnostik chronisch obstruktiver Atemwegserkrankungen. Atemw.-Lungenkrkh. 16, 7, 314-315.
- 18) Islam MS (1989): Eine vergleichende Untersuchung zur Frage des ethnischen und klimatischen Einflusses auf die ventilatorische Lungenfunktion bei gesunden Jugendlichen. Wissenschaft und Umwelt 3, 125-128.

- 19) Islam MS, Schlipkötter HW (1989): Reversible fraction of airway resistance in healthy children of areas with different levels of atmospheric pollutants. *Exp Pathol* 37, 23-26.
- 20) Islam MS, Ulmer WT (1983): Referenzwerte der ventilatorischen Lungenfunktion. *Prax Klin Pneumol* 37, 9-14.
- 21) Kagawa J, Toyonay T, Nakaza M (1976): Pulmonary function test in children exposed to air pollution. In: Finkel AJ, Dule WC. (Ed.): *Clinical Implications of Air Pollution Research*, American Medical Association, Publishing Sciences Group, CHC, Acton.
- 22) Kanner RE, Schenker MB, Munoz A, Speizer FE (1983): Spirometry in children: methodology for obtaining optimal results for clinical and epidemiological studies. *Am Rev Respir Dis* 127, 720-724.
- 23) Knudson R J, Lebowitz MD, Holberg C J, Burrows B (1983): Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis* 127, 725-734.
- 24) Knudson RJ, Slatin RC, Lebowitz MD, Burrows B (1976): The maximal expiratory flow-volume curve. *Am Rev Respir Dis* 113, 587-600.
- 25) Matsuba K, Thurlbeck WM (1971): The number and dimensions of small airways in nonemphysematous lungs. *Am Rev Respir Dis* 104, 516-524.
- 26) Mead J (1980): Dyspnoea in normal lungs assessed by the relationship between maximal flow, static recoil and vital capacity. *Am Rev Respir Dis* 121, 329-342.
- 27) Morris JF, Koski A, Breese JD (1975): Normal values and evaluation of forced end-expiratory flow. *Am Rev Respir Dis* 111, 755-762.

- 28) Mose JR, Wilfinger G, Gränz A, Pfeiffer K (1987): Zur Feststellung von gesundheitsgefährdenden Belastungen durch Luftverunreinigungen. *Zbl.Bakt.Hyg.*13, 183, 530-548.
- 29) Neuberger M, Kundi M, Wiesenberger W, Zidek Th (1993): Fluß-Volumen-Referenzwerte für Pflichtschüler. *Atemw.Lungenkrkh.*19, Suppl.1 (im Druck).
- 30) Neuberger M, Raber A (1983): Unterschiedliche Selektionsraten - falsche Schlüsse bei epidemiologischen Untersuchungen. *ZblBaktHyg* 1B, 177, 539-561.
- 31) Neuberger M, Steinbach R (1991): Auswertung spiroraeetrischer Untersuchungen ' von 72.728 18-jährigen Männern. *Atemw.Lungenkrkh.*17 , Suppl.1, B 52-54.
- 32) Polgar G, Weng TR (1979): The functional development of the respiratory System. *AmRevRespirDis* 120, 625-695.
- 33) Quanjer Ph.H, Stocks J, Polgar G, Wise M, Karlberg J, Borsboom G. (1989): Compilation of reference values for lung function measurements in children. *EurRespirJ* 2, Suppl.4, 184s-261s.
- 34) Samet JM, Marbury MC, Spengler JD (1988): Analysis of spirometric data from a national sample of healthy 6 to 24 year olds. *AmRevRespirDis* 138, 1405-1414.
- 35) Schindl R, Aigner K (1985): Atemfunktionsscreening und Sollwertbezug bei Kindern und Jugendlichen. In: Muhar F, Schindl R (Hrsg.) *Inhalative Noxe, inhalative Therapie*, Universitätsverlag Linz S.35-54.
- 36) Schindl R, Aigner K, Würtz J, Aumayr R (1982): Atemfunktion und Umwelt bei Schülern. *WrMedWschr* 132, Suppl.71, 9-25.
- 37) Schmitzberger R, Rhomberg K, Büchele H, Puchegger R, Kemmler G, Panosch B (1990): Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Atemwege von Schulkindern. *Atemw.Lungenkrkh.*16, 46-49.

- 38) Schoenberg JB, Beck GJ, Bouhuys A (1978): Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and whites. *Respir Physiol* 33, 367-393.
- 39) Schrader PC, Quanjer PH, v.Zomeren BC, de Groot EG, Wever AMJ, Wise ME (1983): Selection of variables from maximum expiratory flow-volume curves. *Bull Eur Physiopathol Respir* 19, 43-49.
- 40) Schrader PC, Quanjer PH, Olievier IC (1988): Respiratory muscle force and ventilatory function in adolescents.
- 41) Schwartz JD, Katz SA, Fegley RW, Tockman MS (1988): Analysis of spirometric data from a national sample of healthy 6- to 24-year olds. *Am Rev Respir Dis* 138, 1405-1414.
- 42) Schwartz J, Katz SA, Fegley RW, Tockman MS (1988): Sex and race differences in the development of lung function. *Am Rev Respir Dis* 138, 1415-1421.
- 43) Steppert C, Habich G (1990): Variabilität morphometrischer Meßgrößen der Fluß-Volumen-Kurve. *Atemw Lungenkrkh.* 16, 7, 312-313.
- 44) Tammeling GJ, Quanjer PH (1980): Physiologie der Atmung I. C.H. Boehringer Sohn, Ingelheim. K. Thomae GmbH Biberach/Riss.
- 45) Taussig LM, Chernick V, Wood R, Farrell Ph, Mellinis RB et al. (1980): Standardization of lung function testing in children. Proceedings and recommendations of the GAP conference committee. *J. Pedriiatrics* 97, 4, 668-676.
- 46) Thurlbeck WM (1975): Postnatal growth and development of the lung. *Am Rev Respir Dis* III, 803-844.
- 47) Thurlbeck WM (1982): Postnatal human lung growth. *Thorax* 37, 564-571.
- 48) Vedral S, Schenker MB, Munoz A, Speizer FE (1983): Risk factors for childhood respiratory disease. *Am Rev Respir Dis* 130, 187-192.

- 49) Ware JH, Dockery DW, Louis ThA, Xu X, Ferris BG, Speizer FE (1990): Longitudinal and cross-sectional estimates of pulmonary function decline in never-smoking adults. Am J Epidemiol 132, 4, 685-700.
- 50) Wiesenberger W, Krejci W (1987): Einflüsse der häuslichen Luftverschmutzung auf den Respirationstrakt von Kindern und Jugendlichen. AtemwLungenkrkh.13, 4, 141-145.
- 51) Zapletal A, Paul T, Samanek M (1977): Die Bedeutung heutiger Methoden der Lungenfunktionsdiagnostik zur Feststellung einer Obstruktion der Atemwege bei Kindern und Jugendlichen. Z.Erkrank.Atm.Org.149, 343-371.
- 52) Zapletal A, Samanek M, Paul T (1987): Lung function in children and adolescents. In: Herzog H (Hrsg): Progress in Respiration Research, Karger, Basel, 32-52.
- 53) Zwick H, Rauscher H, Vollmann A, Schenz G, Neuberger, M, Frischer H (1988): Häufigkeit bronchialer Hyperreakтивität von Grundschulkindern. PraxKlinPneumol 42, 459-464.

Korrespondenz:

Univ.Prof.Dr. M. Neuberger, Leiter d. Abteilung f. Präventivmedizin, Inst. f. Umwelthygiene der Universität Wien, Kinderspitalgasse 15, A-1095 Wien.

Legende der Abbildungen:

- Abb.1: Zunahme der forcierten Vitalkapazität=FVC (Abb.1a) und des forcierten Exspirationsvolumens in einer Sekunde=FEV, (Abb.1b) bei 6-16-jährigen Mädchen mit der Körpergröße: berechnet nach den Referenzgleichungen von Dockery et al. (10), Forche (13), Schwartz et al. (41) und Neuberger et al. (Tab.1); Mittelwerte und Standardabweichungen nach Größenklassen.
- Abb.2: Zunahme der maximalen exspiratorischen Flußrate bei 50 % der FVC=MEF₅₀ (Abb. 2a) und bei 25 % der FVC=MEF₂₅ (Abb.2b) bei 6-16-jährigen Mädchen mit der Körpergröße: berechnet nach den Referenzgleichungen von Schindl et al. (35), Schwartz et al. (41), Zapletal et al. (51) und Neuberger et al. (Tab.1); Mittelwerte und Standardabweichungen nach Größenklassen.
- Abb.3: Zunahme der forcierten Vitalkapazität=FVC und des forcierten Exspirationsvolumens in einer Sekunde= FEV1 (Abb. 3a) sowie der maximalen exspiratorischen Flußraten= PEF, MMEF, MEF_{75/50/25} (Abb.3b) bei 6-16-jährigen Mädchen und Knaben mit der Körpergröße, berechnet nach Tab.1.
- Abb.4: Verteilung der FVC-Werte von 68 905 oberösterreichischen Männern bei der Stellungsuntersuchung in der Diagnosestraße Linz.

Tab.1.; Referenzgleichungen zur Ermittlung spirometrischer Referenzwerte für Schüler im Alter von 6-16 Jahren. Forcierte Vitalkapazität (FVC) und forciertes Expirationsvolumen in 1 sec (FEV_x) in Liter; höchste (peak) expiratorische Flußrate (PEF) und maximale expiratorische Flußraten bei 75% (MEF₇₅), 50% (MEF₅₀), 25% (MEF₂₅) und 25 bis 75% (MMEF) der FVC in Abhängigkeit von Größe (H) in Meter, Alter (A) in Jahren (als Dezimalzahl) und Gewicht (G) in kg; Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten (R²) als Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung der Residuen (RSD) als Streuungsmaß; ln = natürlicher Logarithmus.

Mädchen 9 6-16a

| | R* | RSD |
|--|-------|-------|
| ln(PVC) » -1.025483 + 1.828757 lnH + 0.140814 lnA + 0.244016 lnG | 0.886 | 0.110 |
| ln(FE7 ₁) = -0.968640 + 1.834038 lnH + 0.139407 lnA + 0.207466 lnG | 0.880 | 0.108 |
| ln(PEP) = -0.579212 + 1.192257 H + 0.025249 A + 0.002512 G | 0.698 | 0.176 |
| ln(HEF ₇₅) = -0.600041 + 1.188763 H + 0.015031 A + 0.003185 G | 0.651 | 0.182 |
| ln(ffffF ₅₀) = -0.870672 f 1.165100 H + 0.018018 A + 0.002696 G | 0.550 | 0.223 |
| ln(ffffT ₂₅) = -1.605457 + 1.203042 H + 0.018896 k + 0.002579 G | 0.418 | 0.299 |
| ln(KHET) = -0.975860 + 1.127982 H + 0.022270 k + 0.002926 G | 0.575 | 0.219 |

Knaben c f 6 - 16 a

| | R* | RSD |
|--|-------|-------|
| ln(FVC) = -0.882518 + 1.918464 lnH + 0.112446 lnA + 0.231418 lnG | 0.885 | 0.109 |
| ln(FE7 ₁) = -0.802587 + 1.861811 lnA + 0.099387 lnA + 0.194992 lnG | 0.872 | 0.108 |
| ln(PZ?) » -0.462075 + 1.150826 H + 0.027398 k + 0.002020 G | 0.698 | 0.173 |
| ln(HEF ₇₅) = -0.402285 + 1.069081 H + 0.012955 k + 0.003422 G | 0.597 | 0.188 |
| ln(HEF ₅₀) = -0.665631 + 0.981706 H + 0.016151 k + 0.003879 G | 0.504 | 0.227 |
| ln(HEP ₂₅) = -1.435806 + 1.112786 H + 0.009633 k + 0.002587 G | 0.363 | 0.290 |
| ln(ffffEF) = -0.834220 + 1.028240 H + 0.018126 A + 0.003197 G | 0.530 | 0.222 |

Tab.2.: Lineare Referenzgleichungen zur Ermittlung spiro-
raetrischer Referenzwerte für Schüler aus der Größe (H) in Meter,
aus Größe⁴ und: Alter- (Ä) in Jahren (als Dezimalzahl), oder aus
Größe, Alter und Gewicht (G) in kg.

Mädchen 6-10 a¹

| | | R² | RS |
|-------|--|----------------------|--------------|
| FVC | = -2.603572 + 3.353187 H | 0.649 | 0.188 |
| FVC | = -2.524682 + 3.139853 H + 0.025094 A | 0.652 | 0.187 |
| FVC | = -1.958574 + 2.426258 H + 0.026848 A + 0.012468 G | 0.670 | 0.182 |
| FEV1 | = -2.104590 + 2.877268 H | 0.627 | 0.169 |
| FEV1 | = -2.058540 + 2.752740 H + 0.014648 A | 0.629 | 0.168 |
| FEV1 | = -1.651173 + 2.239243 H + 0.015910 A + 0.008972 G | 0.641 | 0.166 |
| PEF | = -3.578591 + 5.469635 H | 0.325 | 0.600 |
| PEF | = -3.258694 + 4.604556 H + 0.101759 A | 0.336 | 0.594 |
| PEF | = -2.752493 + 3.966486 H + 0.103325 A + 0.011149 G | 0.339 | 0.593 |
| MEF75 | = -2.582911 + 4.471461 H | 0.261 | 0.555 |
| MEF75 | = -2.492991 + 4.200104 H + 0.033482 A | 0.263 | 0.555 |
| MEF75 | = -2.084466 + 3.684865 H + 0.034566 A + 0.009041 G | 0.265 | 0.554 |
| MEF50 | = -1.671813 + 3.152391 H | 0.171 | 0.513 |
| MEF50 | = -1.622876 + 3.004712 H + 0.018222 A | 0.171 | 0.513 |
| MEF50 | = -1.558904 + 2.924030 H + 0.018392 A + 0.001416 G | 0.171 | 0.513 |
| MMEF | = -0.469538 + 1.313341 H | 0.069 | 0.357 |
| MMEF | = -0.510749 + 1.437706 H - 0.015345 A | 0.070 | 0.357 |
| MMEF | = -0.459674 + 1.373290 H - 0.015210 A + 0.001130 G | 0.070 | 0.357 |
| HHEF | = -1.508907 + 2.825501 H | 0.185 | 0.451 |
| HHEF | = -1.437433 + 2.632100 H + 0.022756 A | 0.186 | 0.451 |
| HHEF | = -1.334458 + 2.502288 H + 0.023076 A + 0.002268 G | 0.186 | 0.451 |

Mädchen 10-16a²

| | | R² | RS |
|-------|---|----------------------|--------------|
| FVC | = -5.239782 + 5.287817 H | 0.727 | 0.339 |
| FVC | = -4.978955 + 4.625913 H + 0.060333 A | 0.738 | 0.332 |
| FVC | = -3.540429 + 3.286531 H + 0.047114 A + 0.017386 G | 0.772 | 0.310 |
| FEV1 | = -4.863073 + 4.896115 H | 0.737 | 0.306 |
| FEV1 | = -4.567019 + 4.144816 S + 0.068481 A | 0.754 | 0.296 |
| FEV1 | = -3.500038 + 3.151372 H + 0.05867fr A + 0.012895 G | 0.776 | 0.282 |
| PEF | = -6.976622 + 8.158342 H | 0.420 | 1.003 |
| PEF | = -6.448431 + 6.817942 H + 0.122178 A | 0.431 | 0.994 |
| PEF | = -4.894469 + 5.371081 H + 0.107898 A + 0.018781 G | 0.441 | 0.985 |
| MEF75 | = -7.139793 + 7.839922 H | 0.484 | 0.854 |
| MEF75 | = -6.498950 + 6.368768 H + 0.128479 A | 0.500 | 0.841 |
| MEF75 | = "5.045618 + 5.015371 H + 0.115192 A + 0.017549 G | 0.510 | 0.833 |
| MEF50 | = -5.796936 + 6.186203 I | | |
| MEF50 | = -5.283781 + 5.008212 H + 0.102880 A | 0.393 | 0.812 |
| MEF50 | = 5.283781 + 5.008212 H + 0.102880 A | 0.406 | 0.804 |
| MEF50 | = -4.253512 + 4.048977 H + 0.093427 A + 0.012443 G | 0.413 | 0.799 |
| MEF25 | = -4.038578 + 3.890304 H | 0.338 | 0.575 |
| MEF25 | = -3.636350 + 2.966952 H + 0.080641 A | 0.355 | 0.568 |
| MEF25 | = -3.699747 + 3.025979 H + 0.081223 A - 0.000766 G | 0.355 | 0.568 |
| MMEF | = -5.206284 + 5.570097 H | 0.399 | 0.714 |
| MMEF | = -4.745906 + 4.405438 H + 0.106048 A | 0.416 | 0.704 |
| MMEF | = -3.894121 + 3.612440 H + 0.098241 A + 0.010287 G | 0.422 | 0.700 |

¹vom 6. bis vor dem 11. Geburtstag

²vom 11. bis vor dem 17. Geburtstag

Tab.2 (Fortsetzung)

| Knaben | | 6-10a ³ | R ¹ | RSD |
|--------|---|---------------------|----------------|-----|
| FVC | = -2.948932 + 3.716271 H | 0.648 | 0.207 | |
| FVC | = -2.868348 + 3.477197 H + 0.029224 A | 0.652 | 0.206 | |
| FVC | = -2.217126 + 2.641838 E + 0.032407 A + 0.014720 G | 0.670 | 0.200 | |
| FEV1 | = -2.242351 + 3.053195 H | 0.620 | 0.180 | |
| FEV1 | = -2.193139 + 2.907193 S + 0.017847 A | 0.622 | 0.180 | |
| FEV1 | = -1.719518 + 2.299654 H + 0.020162 A + 0.010705 G | 0.636 | 0.176 | |
| PEF | * -3.791567 + 5.817615 H | 0.323 | 0.635 | |
| PEF | = -3.521174 + 5.015418 H + 0.098059 k | 0.332 | 0.631 | |
| PEF | = -2.527654 + 3.740975 H + 0.102915 k + 0.022456 G | 0.341 | 0.627 | |
| MEF75 | = -2.482379 + 4.485964 H | 0.228 | 0.597 | |
| MEF75 | = -2.385169 + 4.149807 H + 0.043490 k | 0.230 | 0.597 | |
| MEF75 | = -1.622319 + 3.166427 H + 0.046914 k + 0.017522 G | 0.237 | 0.594 | |
| MEF50 | = -1.268653 + 2.816934 S | 0.134 | 0.519 | |
| MEF50 | = -1.218571 + 2.643745 H + 0.022406 k | 0.134 | 0.519 | |
| MEF50 | = -0.821939 + 2.132453 H + 0.024186 k + 0.009110 G | 0.137 | 0.518 | |
| MEF25 | = -0.459929 + 1.293667 H | 0.063 | 0.361 | |
| MEF25 | = -0.473637 + 1.341070 H - 0.006133 k | 0.063 | 0.362 | |
| MEF25 | = -0.353694 + 1.186454 H - 0.005594 k + 0.002755 G | 0.064 | 0.361 | |
| MHEP | = -1.283539 + 2.636458 H | 0.160 | 0.456 | |
| MKEF | = -1.215288 + 2.433973 H + 0.024751 k | 0.161 | 0.456 | |
| MHEF | = -0.978633 + 2.130402 H + 0.025908 k + 0.005349 G | 0.162 | 0.456 | |
| Knaben | | 10-16a ⁴ | R ¹ | RSD |
| FVC | = -5.886146 + 5.820500 H | 0.787 | 0.357 | |
| FVC | = -5.714445 + 5.343991 I + 0.044746 A | 0.791 | 0.354 | |
| FVC | = -4.449578 + 4.095504 H + 0.043615 A + 0.014989 G, | 0.807 | 0.340 | |
| FEV1 | = -5.106287 + 5.095568 H | 0.774 | 0.325 | |
| FEV1 | = -4.894154 + 4.506851 H + 0.055283 A | 0.781 | 0.320 | |
| FEV1 | = -3.972534 + 3.597166 H + 0.054459 A + 0.010921 G | 0.792 | 0.312 | |
| PEF | = -7.873726 + 8.960848 H | 0.491 | 1.075 | |
| PEF | = -7.233415 + 7.183839 H + 0.166868 A | 0.505 | 1.061 | |
| PEF | = -6.399184 + 6.360412 H + 0.166122 A + 0.009886 G | 0.506 | 1.060 | |
| MEF75 | = -7.145440 + 7.825858 H | 0.516 | 0.923 | |
| MEF75 | = -6.538346 + 6.331229 H + 0.134198 A | 0.528 | 0.912 | |
| MEF75 | = -5.369114 + 5.189128 H + 0.131954 A + 0.013751 G | 0.533 | 0.908 | |
| MEF50 | = -5.674180 + 5.984539 H | 0.439 | 0.825 | |
| MEF50 | = -5.222377 + 4.872227 I + 0.099871 A | 0.448 | 0.818 | |
| MEF50 | = -4.285580 + 3.957168 H + 0.098073 A + 0.011017 G | 0.452 | 0.815 | |
| MEF25 | = -3.167873 + 3.205689 H | 0.347 | 0.536 | |
| MEF25 | = -2.921759 + 2.599771 H + 0.054404 A | 0.355 | 0.533 | |
| MEF25 | = -2.847642 + 2.527374 H + 0.054261 A + 0.000872 G | 0.355 | 0.533 | |
| MHEF | = -4.917507 + 5.262382 H | 0.433 | 0.711 | |
| MHEF | = -4.565562 + 4.285656 H + 0.091718 A | 0.443 | 0.704 | |
| MHEF | = -3.688805 + 3.420253 H + 0.090934 A + 0.010390 G | 0.448 | 0.701 | |

³vom 6. bis vor dem 11. Geburtstag⁴vom 11. bis vor dem 17. Geburtstag

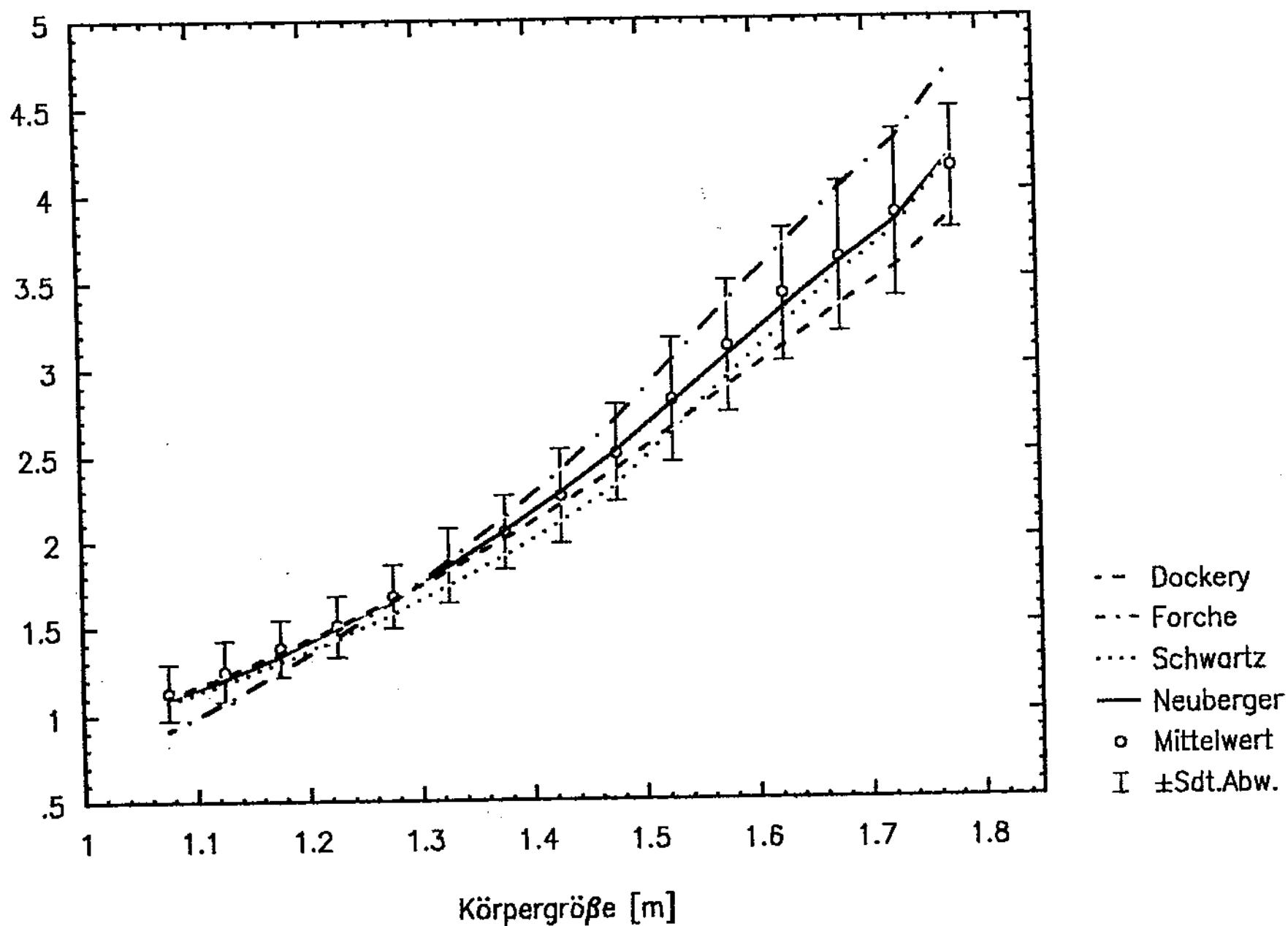
Tab.3.: Untere Normgrenze in Prozent des Referenzwerts für 6-16-jährige Schüler für die einzelnen Lungenfunktionswerte, Rundungsvorschlag für Mädchen und Knaben.

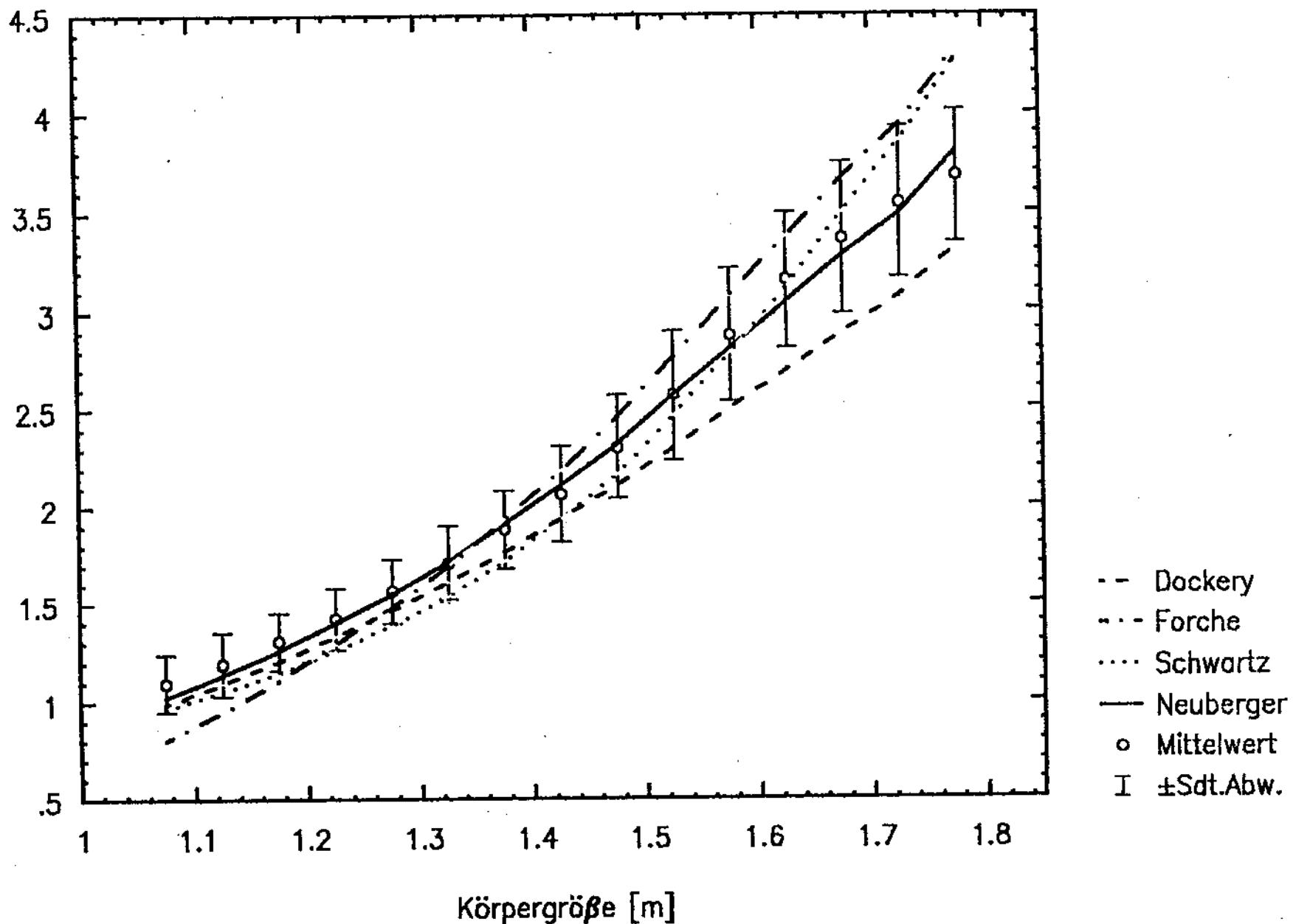
Faktor f zur Berechnung des Ausmaßes der Abweichung des Meßwertes vom Referenzwert in Einheiten der Standardabweichung nach der Formel

$$z \text{ [SD]} = f \cdot \left(\frac{\text{Meßwert}}{\text{Referenzwert}} - 1 \right)$$

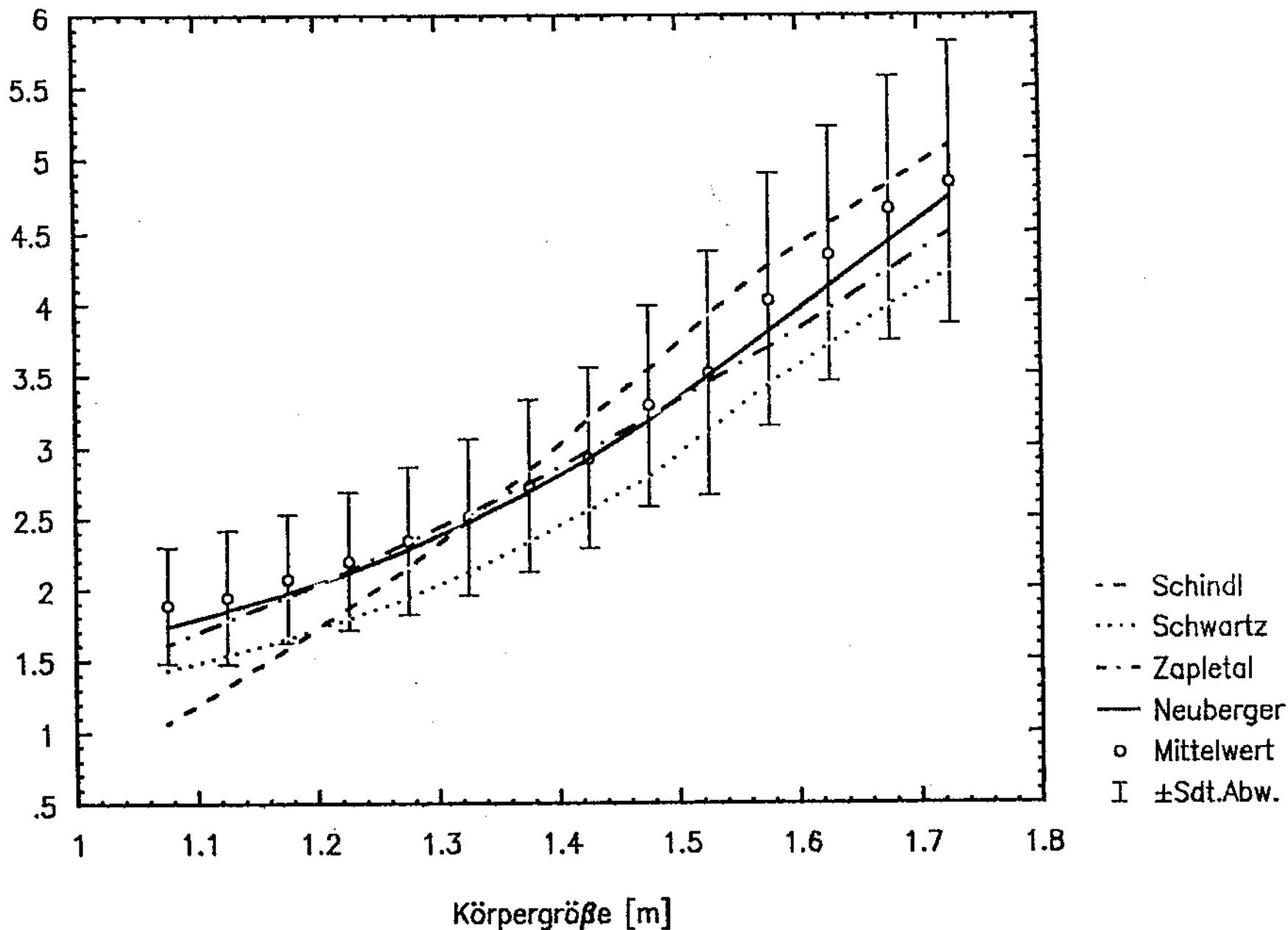
| | Prozent vom Referenzwert | | | Faktor f w/m |
|------------------------|--------------------------|-------------|------------|------------------------|
| | m | w | w/m | |
| FVC | 76.1 | 76.2 | | |
| | | | { 80 | 10.0 |
| FEV₁ | 77.2 | 77.0 | | |
| | | | { 65 | 5.7 |
| PEF | 64.5 | 64.4 | | |
| | | | { 55 | 4.4 |
| MEF75 | 65.6 | 63.5 | | |
| | | | 40 | 3.3 |
| MEF50 | 57.3 | 55.3 | | |
| | | | | |
| MMEF | 55.3 | 56.2 | | |
| | | | | |
| MEF25 | 43.1 | 41.2 | | |

FVC [l] ♀

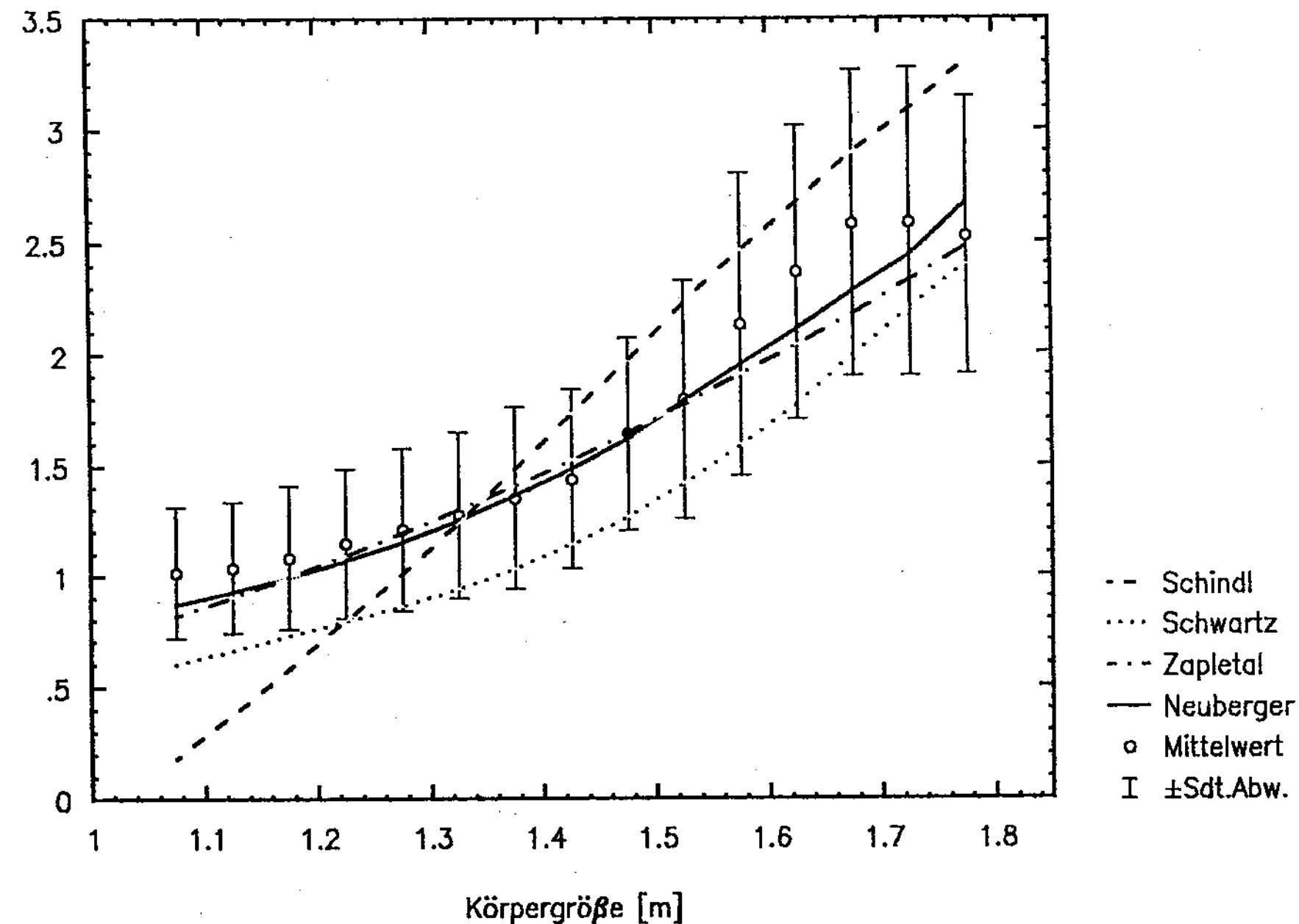




MEF50 [l/s] ♀



MEF25 [l/s] ♀



[l]

5

4.5

4

3.5

3

2.5

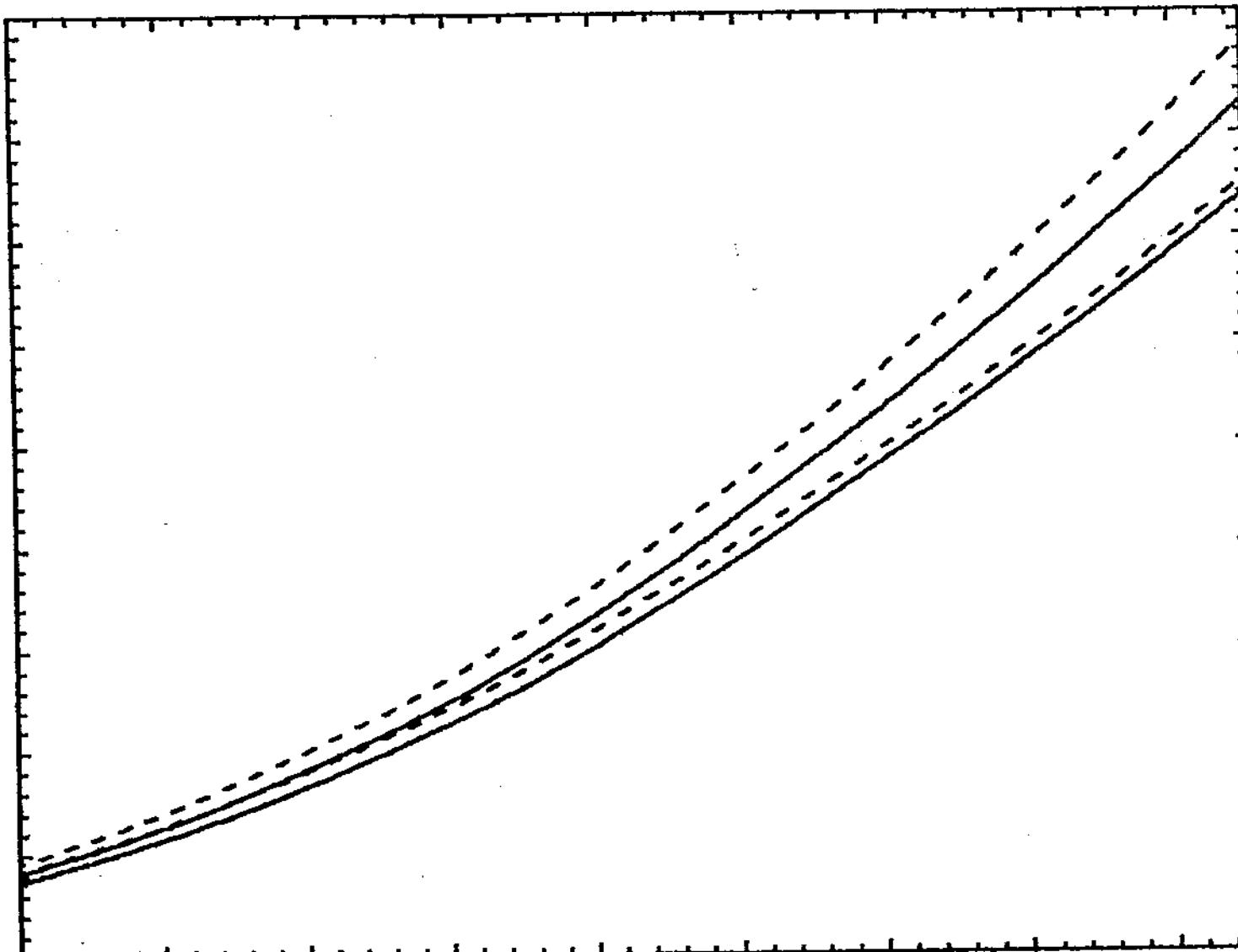
2

1.5

1

0.5

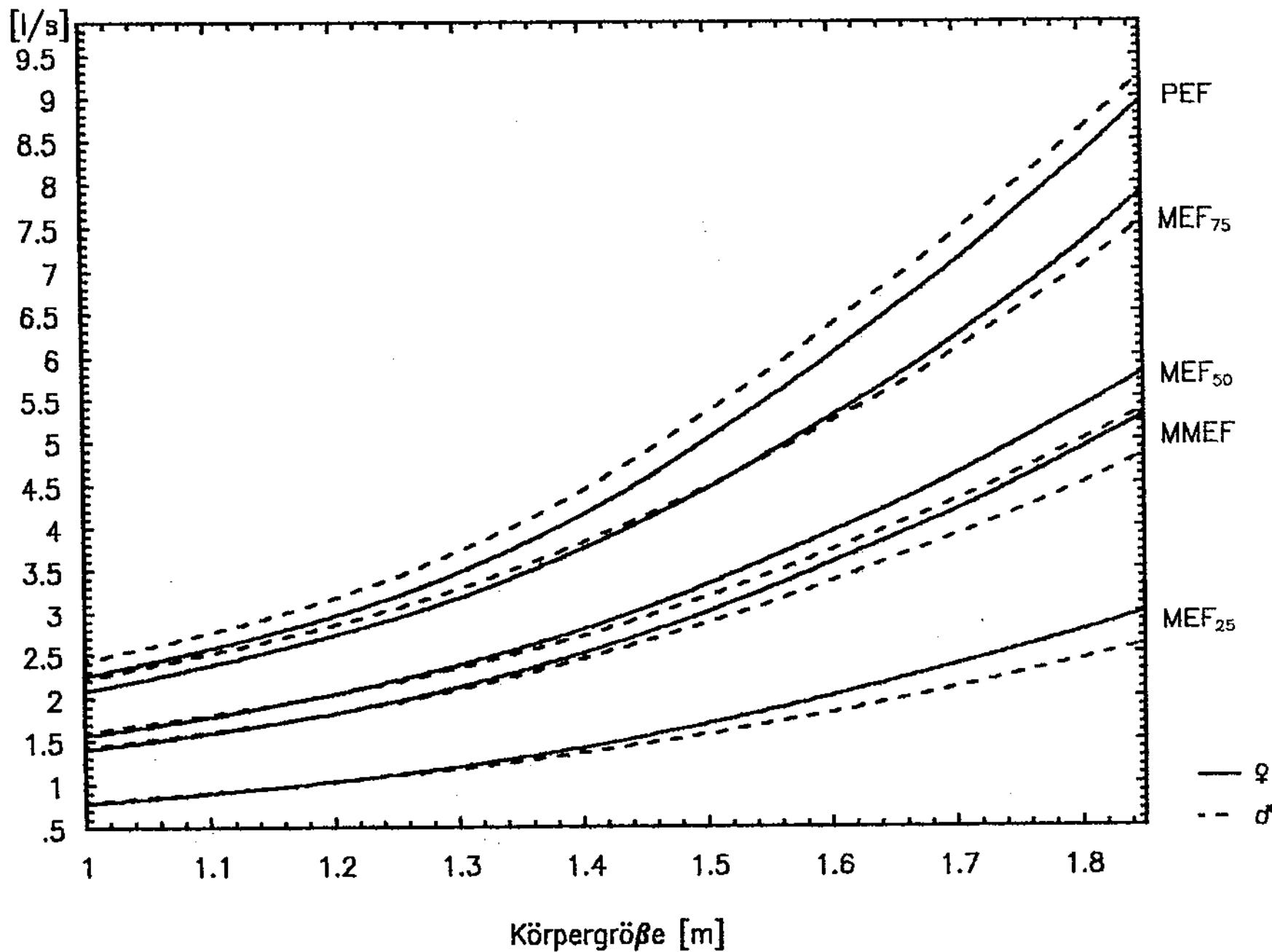
FVC

FEV₁

Körpergröße [m]

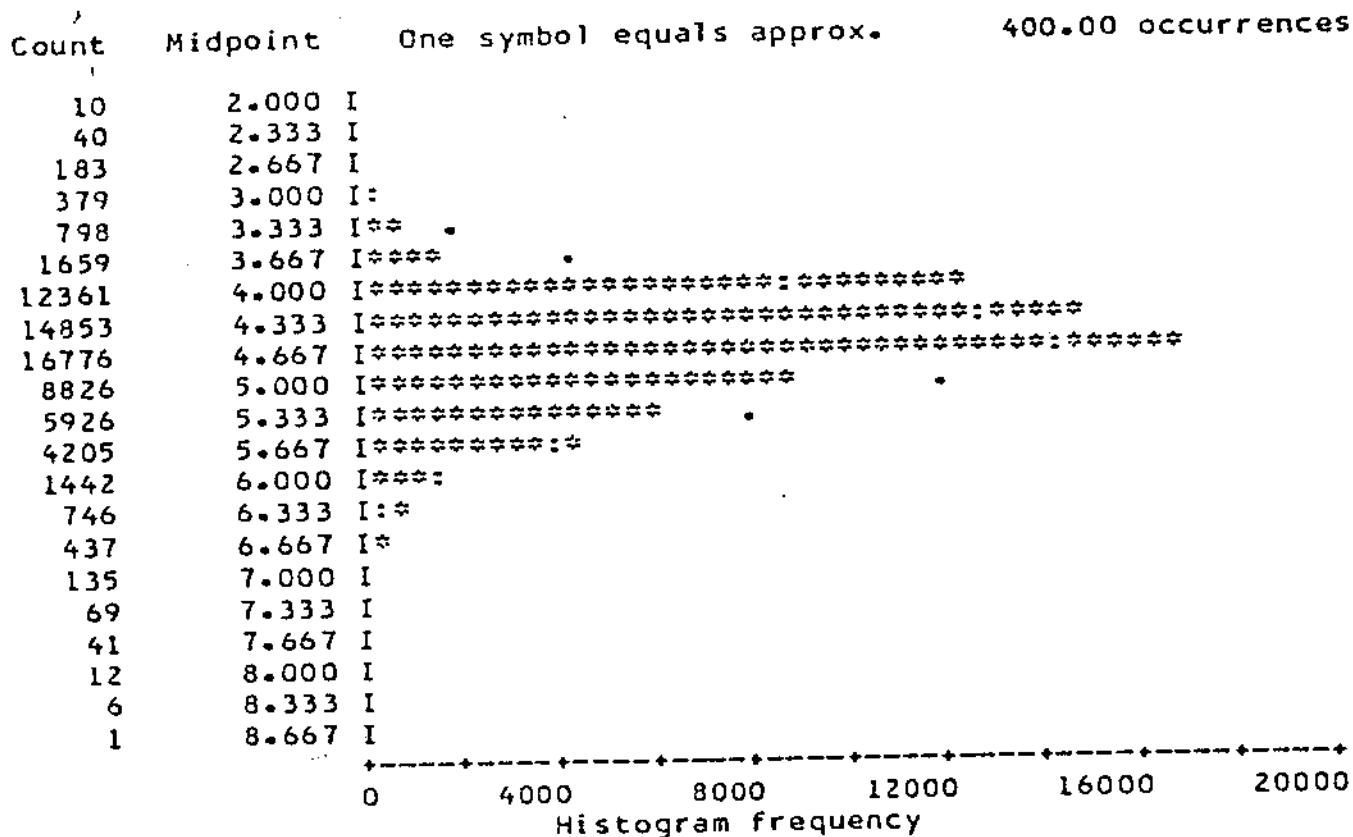
♀

♂



17-Oct-90 : SPIROMETRIE *** LINZ ***
16:06:12 : STATISTIK UEBER ALLE JAHRE

VK VITALKAPAZITAET IN LITER



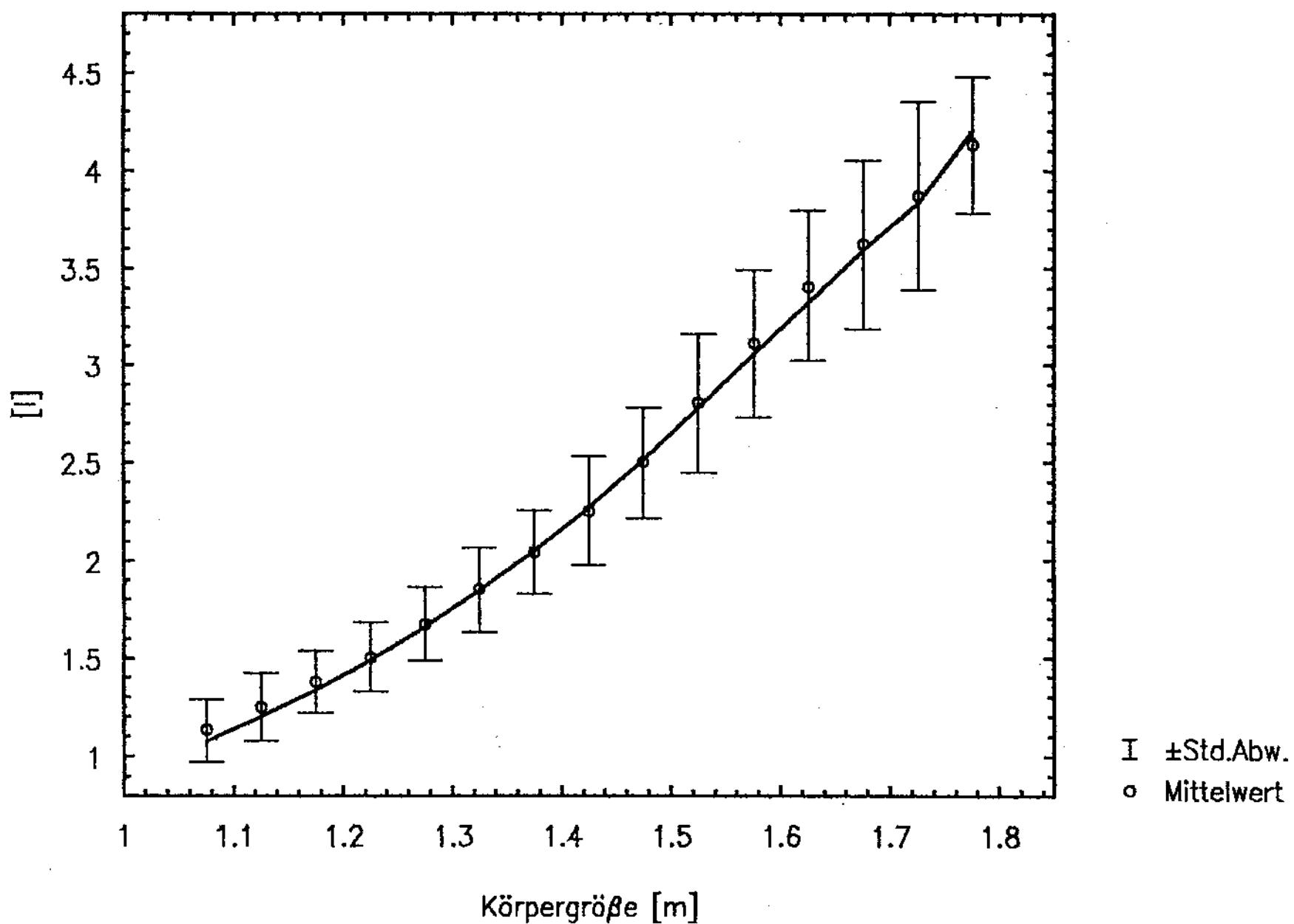
| | | | | | |
|----------|-------|----------|------------|----------|-------|
| Mean | 4.633 | Std err | .002 | Median | 4.500 |
| Mode | 4.000 | Std dev | .632 | Variance | .400 |
| Kurtosis | 1.537 | S E Kurt | .019 | Skewness | .658 |
| S E Skew | .009 | Range | 6.700 | Minimum | 2.000 |
| Maximum | 8.700 | Sum | 319223.500 | | |

Valid cases 68905 Missing cases 0

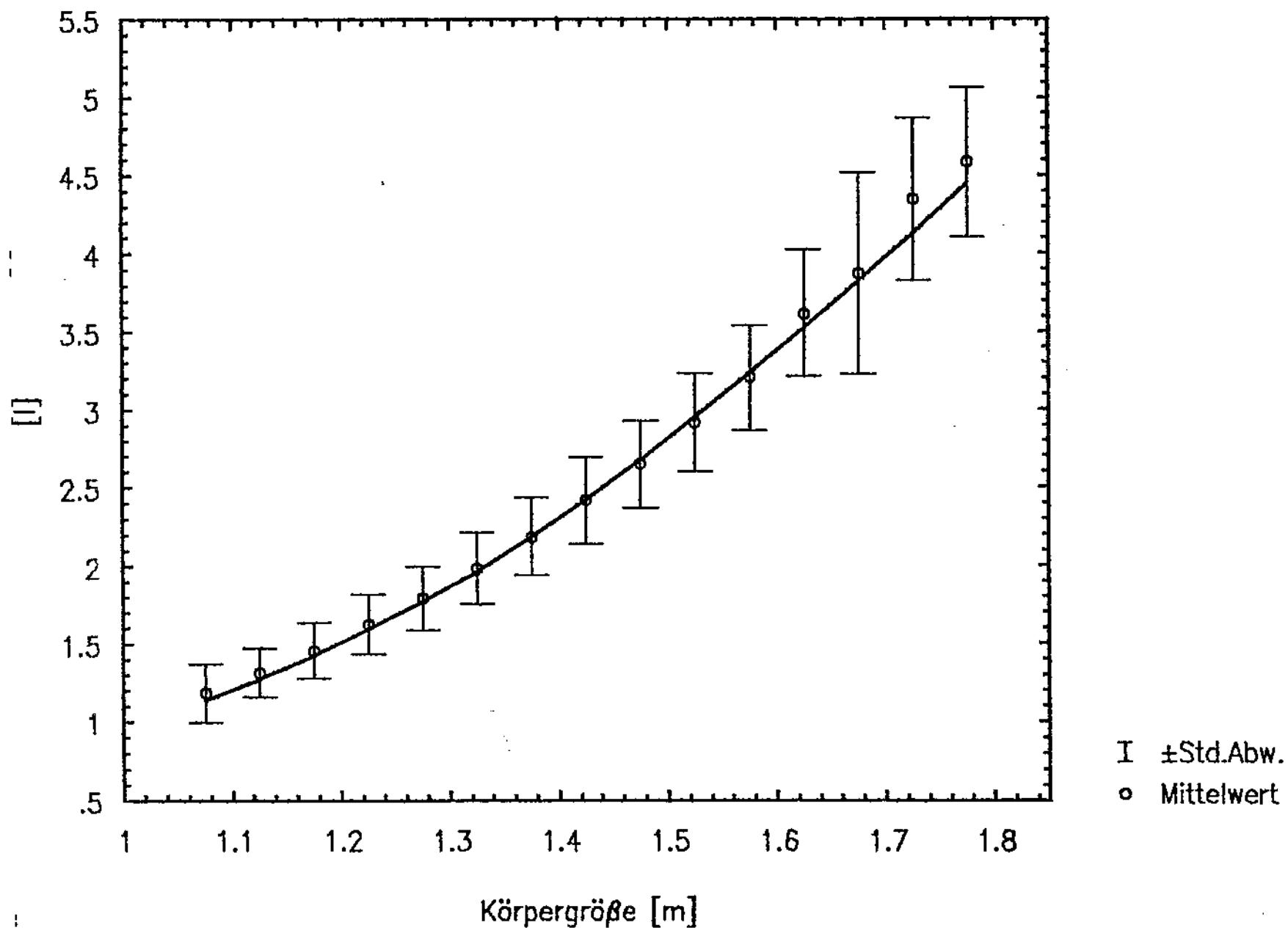
Abb. 4

Die folgenden Abbildungen zeigen die Lungenfunktionsparameter FVC, FEV₁, PEF, MEF₇₅, MEF₅₀, MMEF und MEF₇₅ bei Mädchen und Knaben in Abhängigkeit von der Körpergröße. Eingezeichnet sind jeweils die errechneten Mittelwerte \pm Standardabweichung sowie die auf den Referenzgleichungen (Tabelle 1) basierenden Erwartungswerte. Die Berechnung dieser Erwartungswerte erfolgte anhand der mittleren Körpergröße, dem mittleren Gewicht und dem mittleren Alter der jeweiligen Gruppe, weshalb die teilweise zu beobachtenden Abweichungen der Erwartungswerte von den Mittelwerten auch auf die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert der unabhängigen Variablen (Körpergröße, Gewicht, Alter) zurückgehen können. Dies betrifft insbesondere die extremen Größenklassen (sehr kleine und sehr große Kinder).

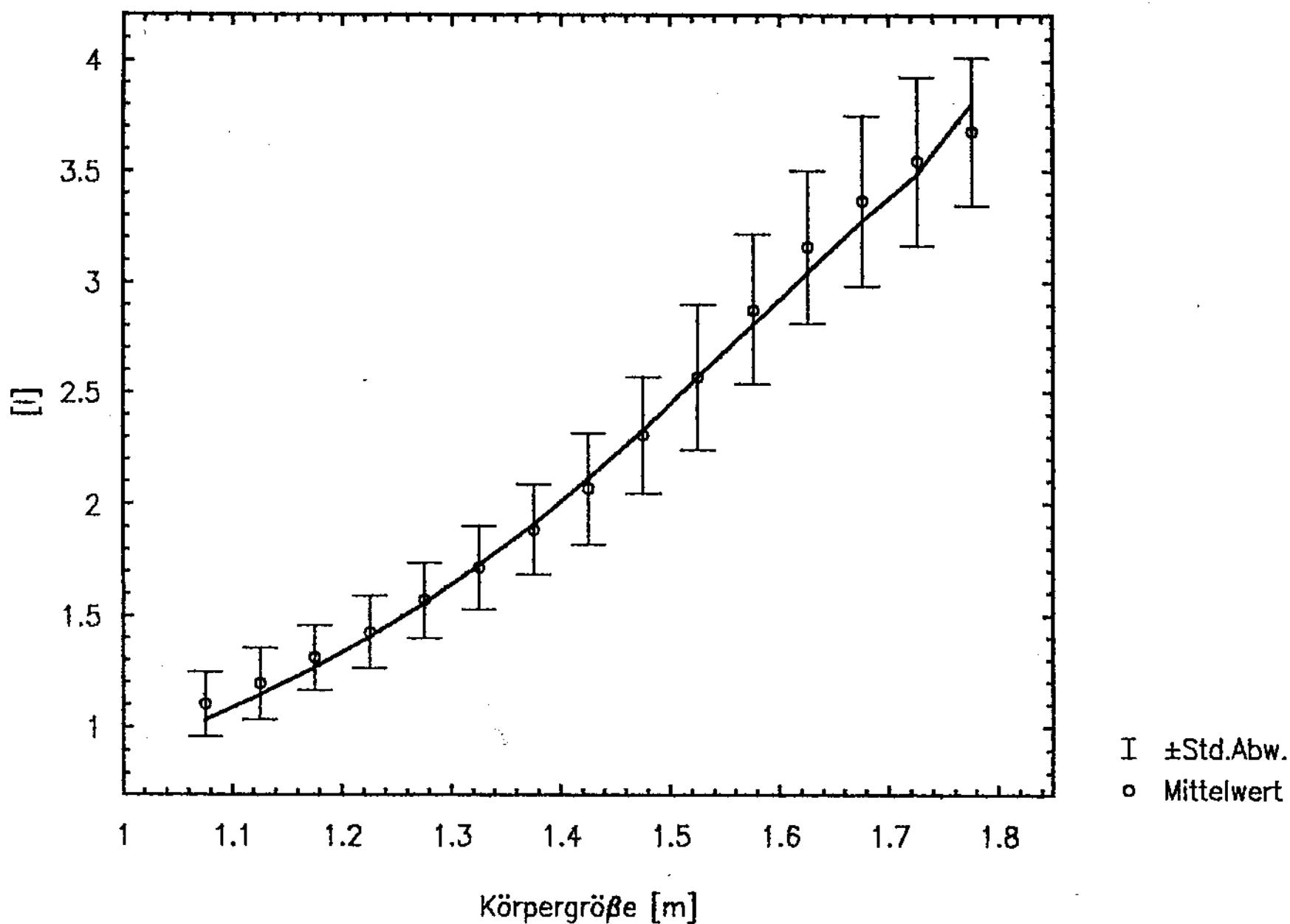
FVC ♀ 6-16a



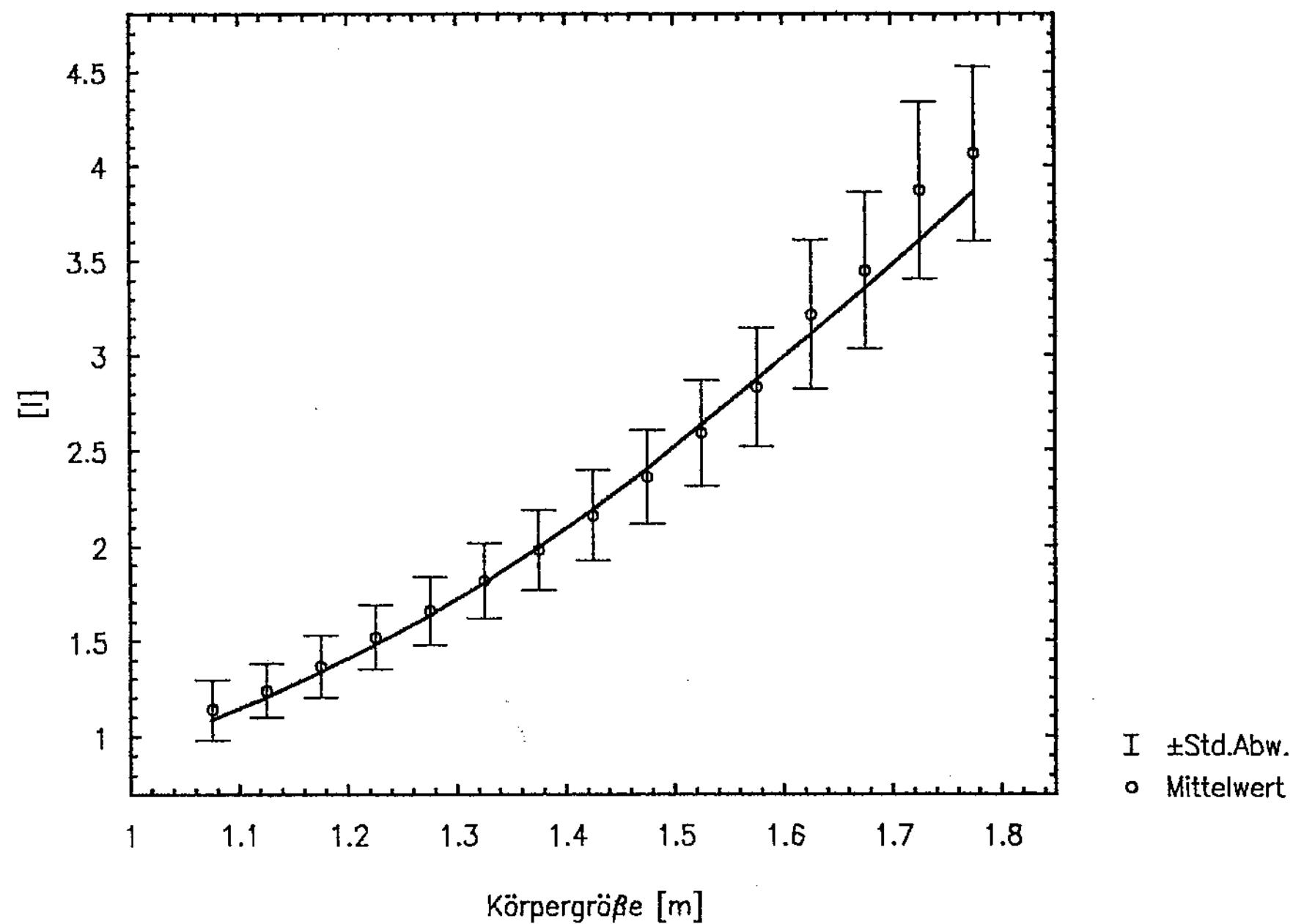
FVC ♂ 6-16a



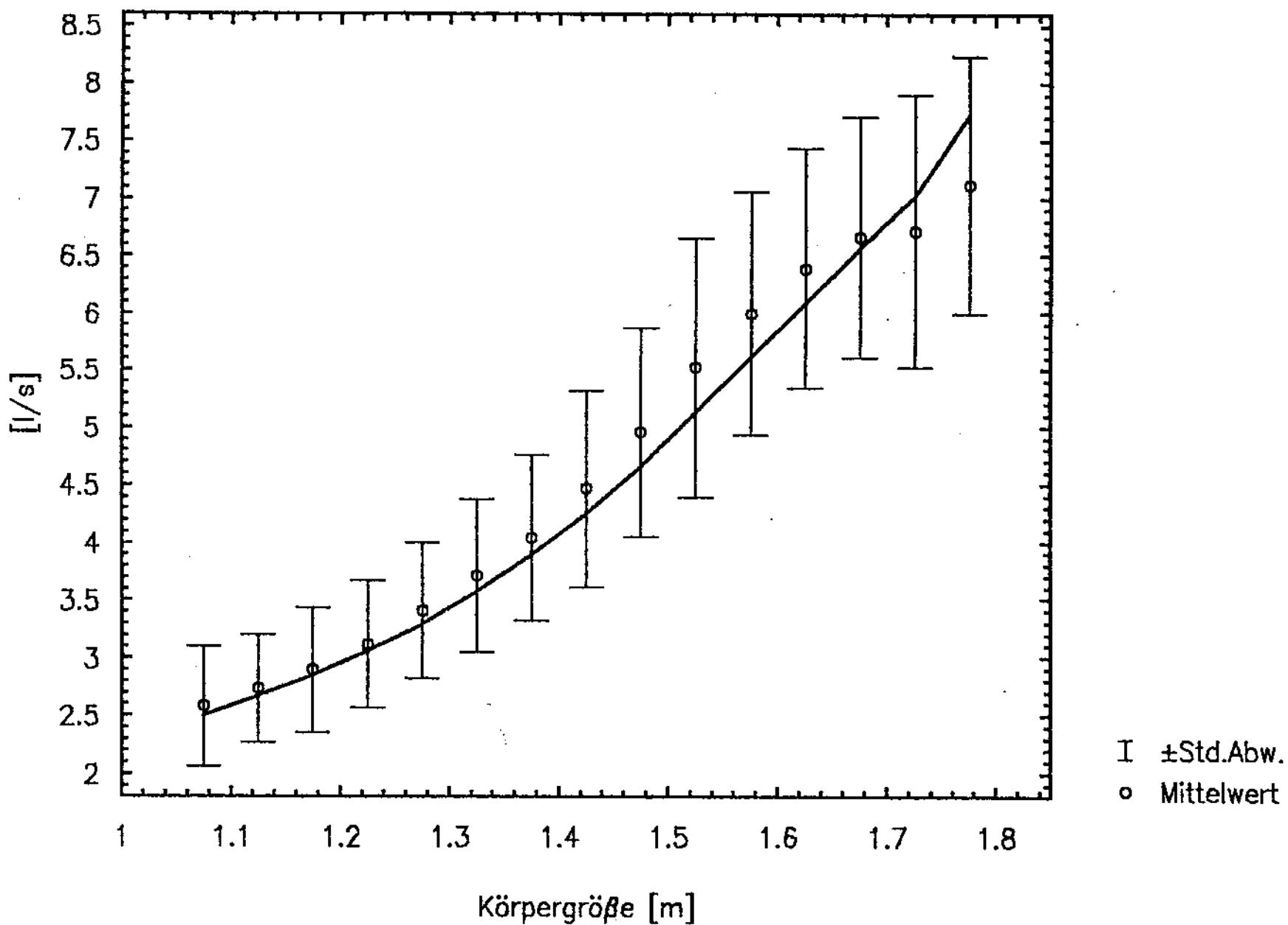
FEV1 ♀ 6-16a



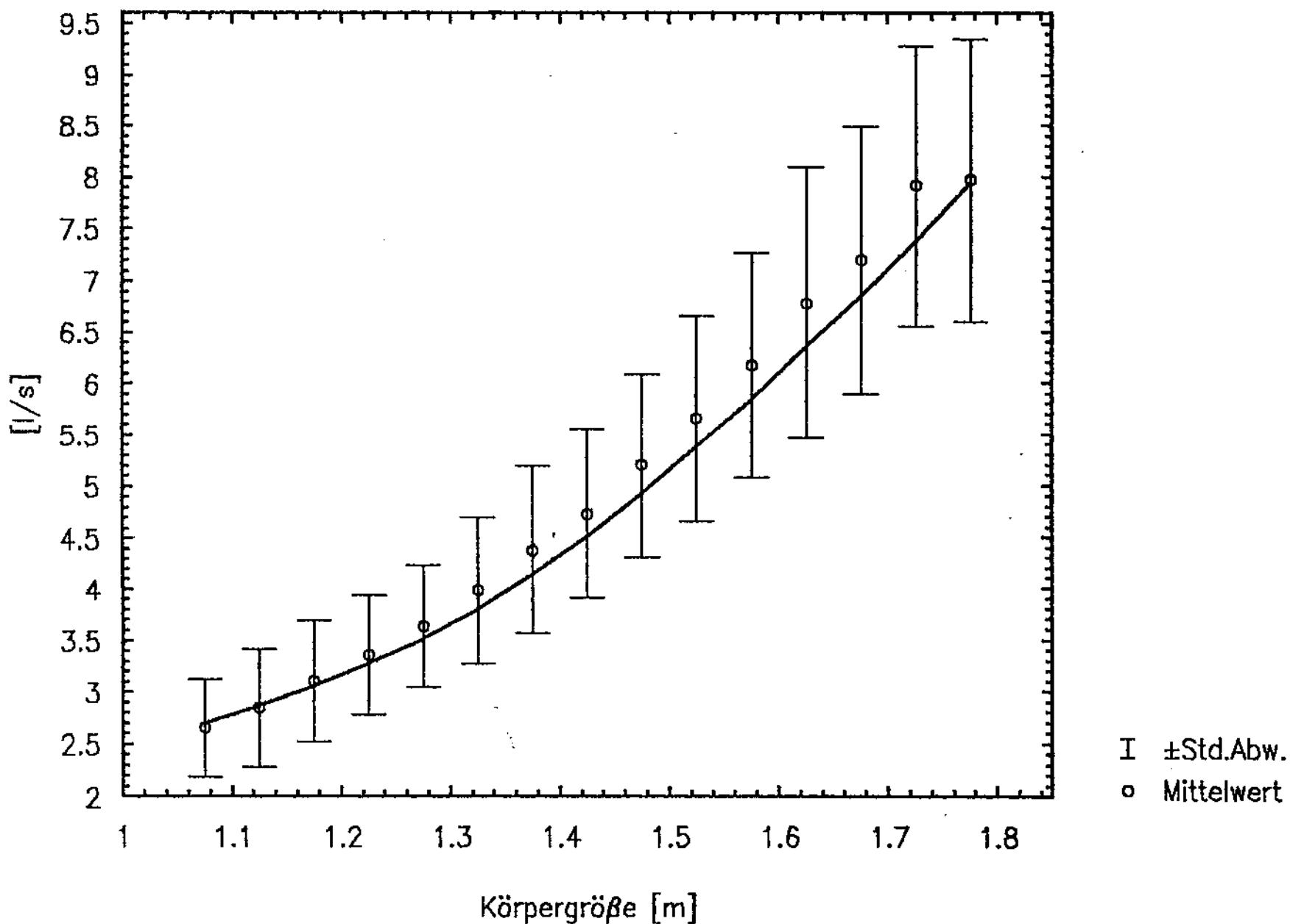
FEV1 ♂ 6-16a



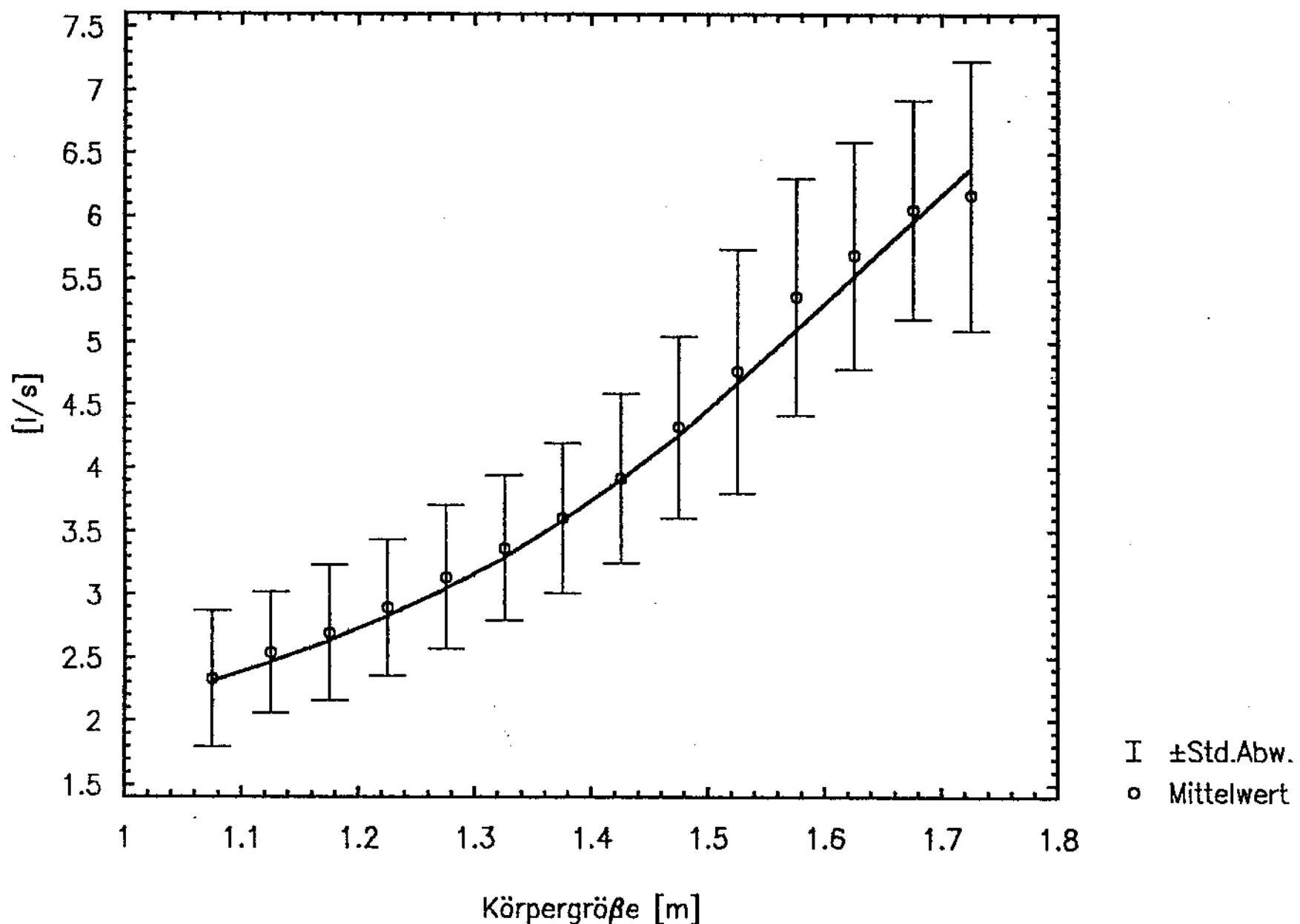
PEF ♀ 6-16a



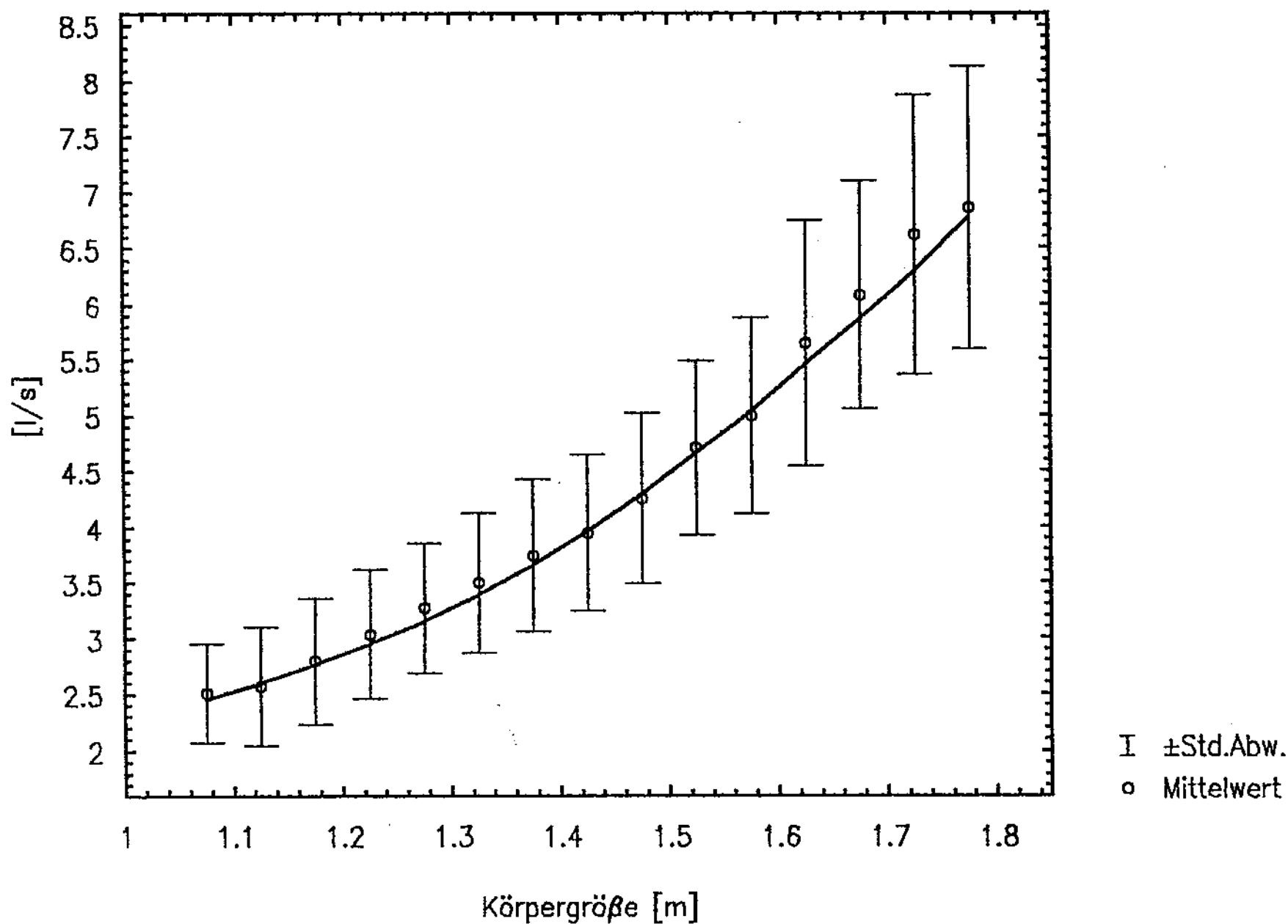
PEF σ 6-16a



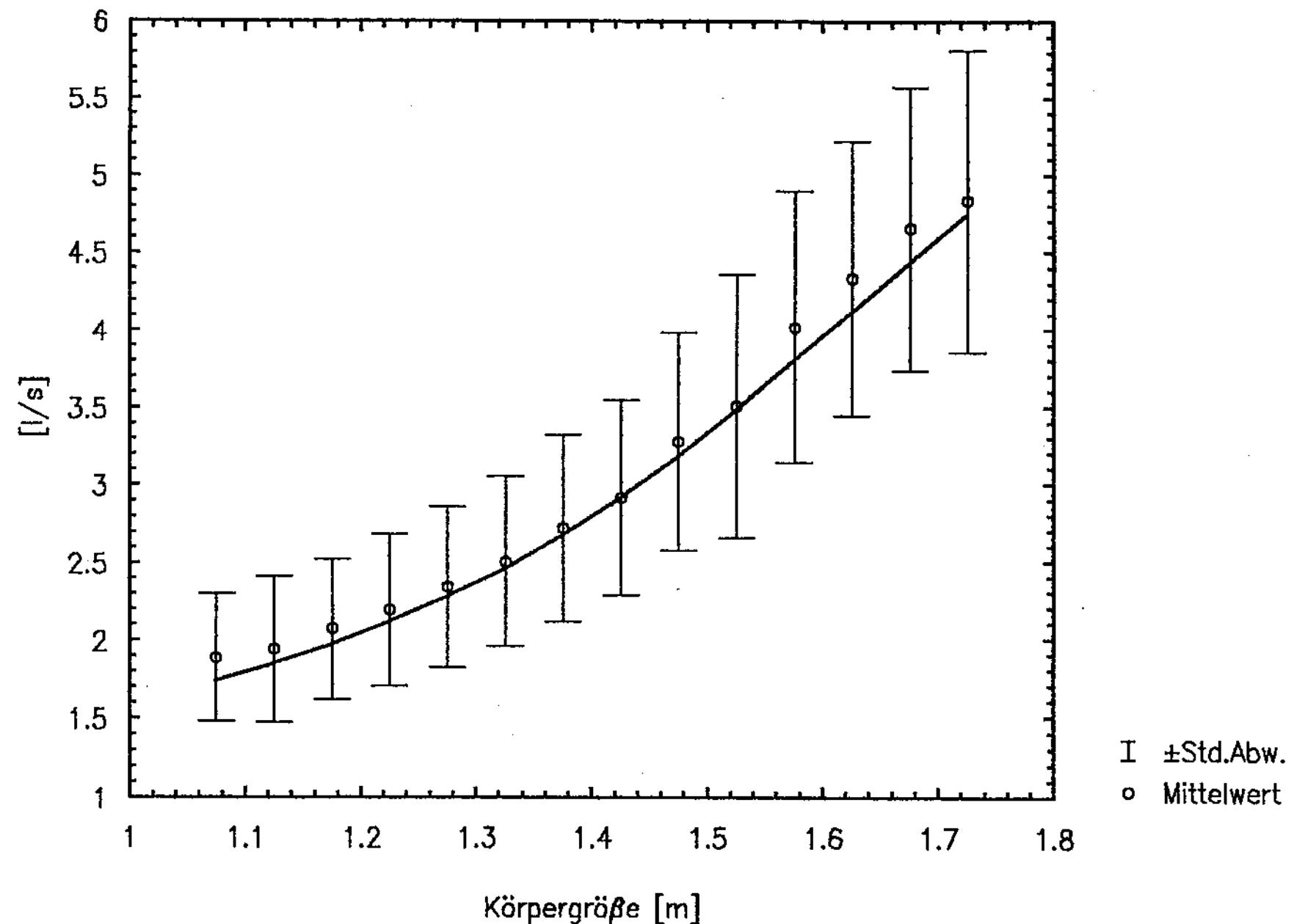
MEF75 ♀ 6-16a



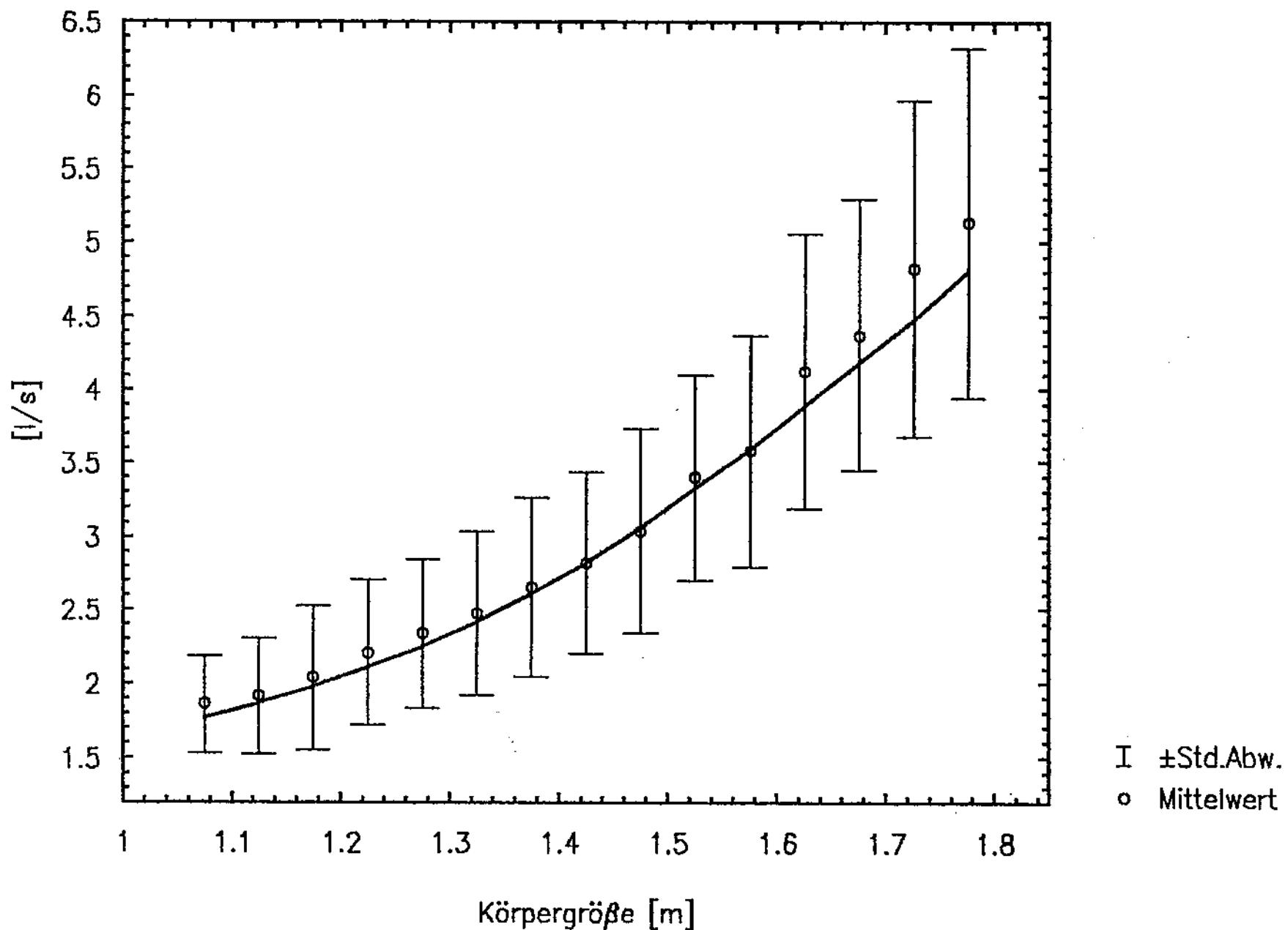
MEF75 ♂ 6-16a



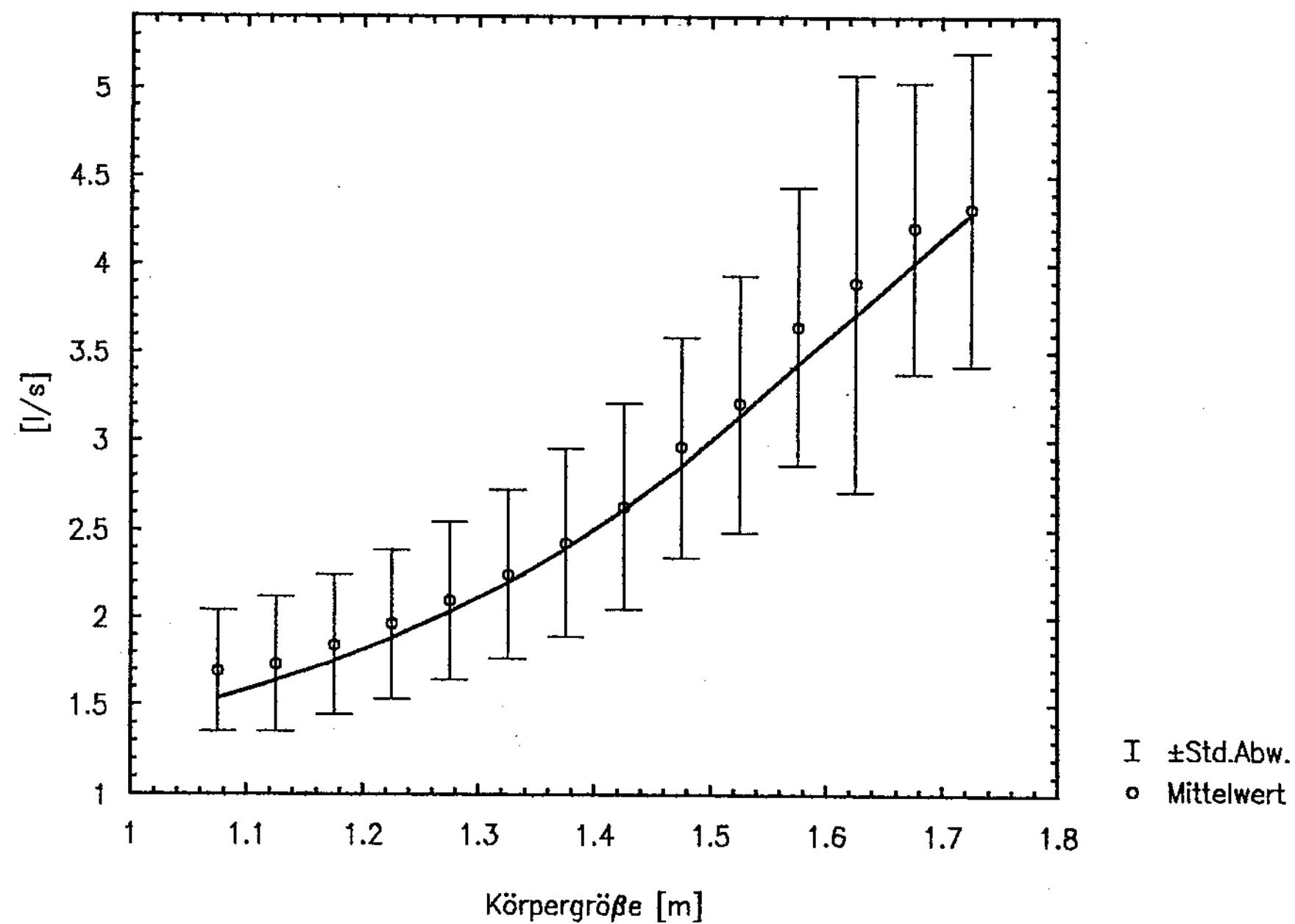
MEF50 ♀ 6-16a



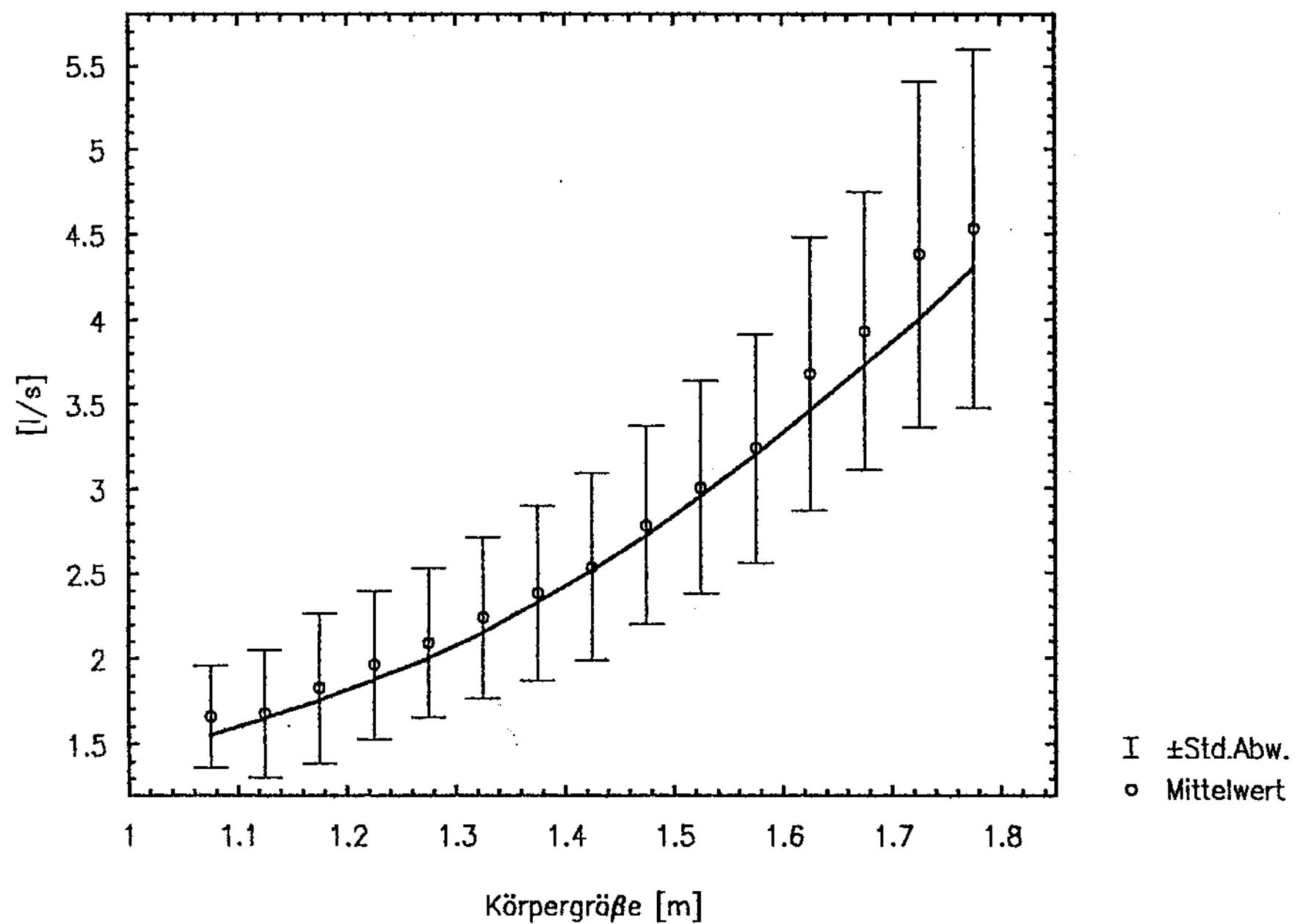
MEF50 ♂ 6-16a



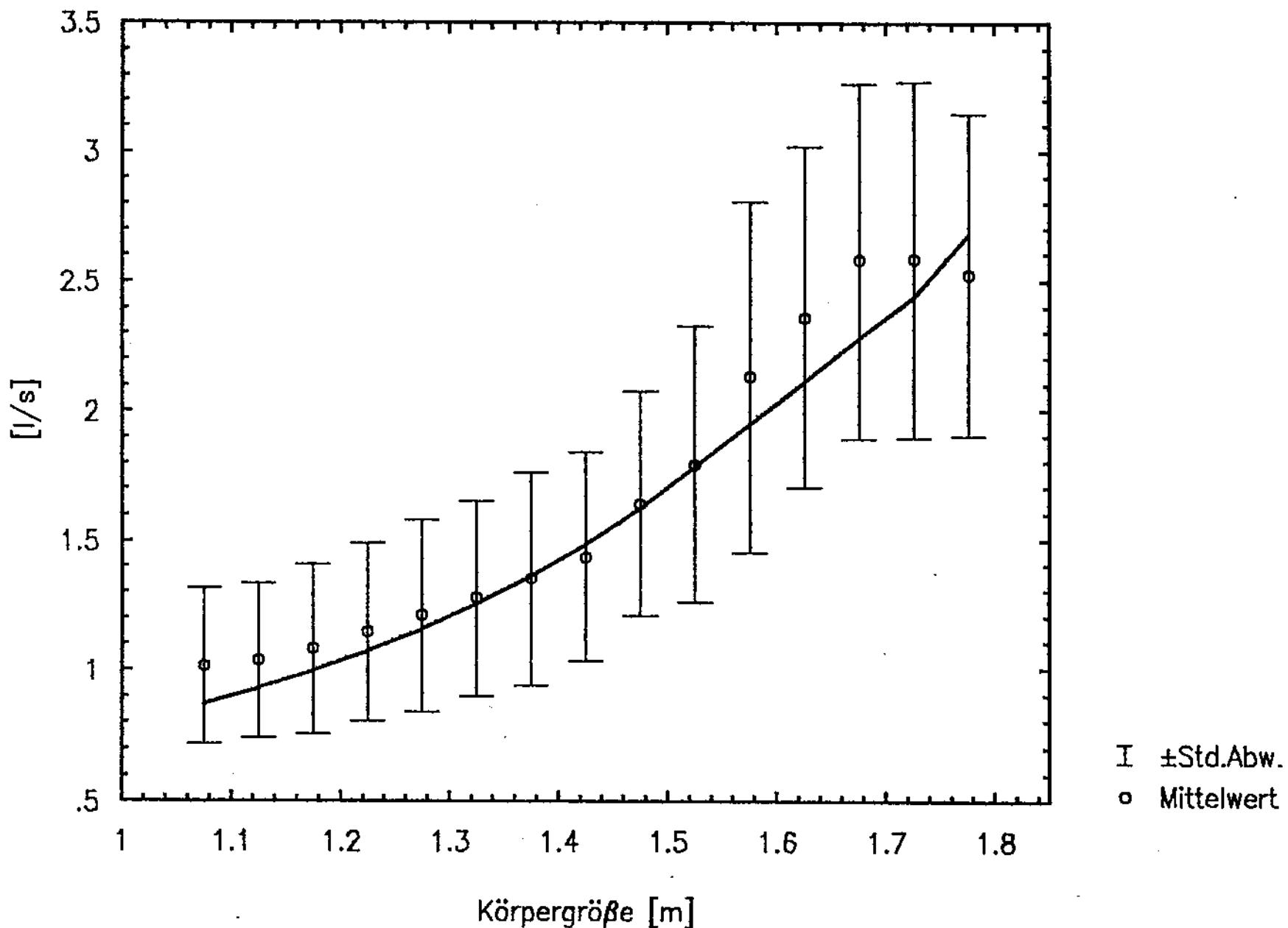
MMEF ♀ 6-16a



MMEF ♂ 6-16a



MEF25 ♀ 6-16a



MEF25 ♂ 6-16a

