

**Aus der Kinderklinik und Poliklinik der Universität Würzburg**

**Direktor: Professor Dr. med. Ch. P. Speer**

**Erstellung von Normwerten im unilateralen Wingate-Test**

**im Kinder- und Jugendalter**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von

Julia Anna Eppel

aus Hamburg

Würzburg, März 2004

**Referent: Priv.-Doz. Dr. Helge Hebestreit**

**Koreferent: Prof. Dr. Niels Sörensen**

**Dekan: Prof. Dr. Stefan Silbernagl**

**Tag der mündlichen Prüfung: 19. Januar 2005**

**Die Promovendin ist Ärztin**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung in die Thematik . . . . .	1
1.1.1	Kraftmessung . . . . .	1
1.1.2	Einflussgrößen auf die Kurzzeitleistung der Beine . . . . .	4
1.1.3	Seitendominanz als Einflussgröße . . . . .	4
1.2	Datenreduktion: Entwicklung von Prädiktorgleichungen . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Problemstellung</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Methodik</b>	<b>8</b>
4.1	Rahmenbedingungen . . . . .	8
4.2	Probanden . . . . .	8
4.3	Ausrüstung . . . . .	10
4.4	Versuchsablauf . . . . .	10
4.4.1	Ablauf im Überblick . . . . .	11
4.4.2	Prozeduren im Einzelnen . . . . .	11
4.4.3	Unberücksichtigte Merkmale . . . . .	14
4.5	Unilateraler Wingate Anaerobic Test . . . . .	14
4.5.1	Durchführung des unilateralen WAnT . . . . .	15
4.6	Datenmaterial und Dokumentation . . . . .	16
4.7	Allgemeines Vorgehen und Festlegungen zur Auswertung . . . . .	19
4.8	Voraussetzungen für die weitere Auswertung . . . . .	20

4.8.1	Überprüfung der Grundvoraussetzungen im Einzelnen . . . . .	21
4.9	Eigener Ansatz: Datensplitting . . . . .	24
4.9.1	Daten-Splitting . . . . .	24
4.9.2	Kriteriumsvariable . . . . .	26
4.9.3	Kriteriumsvariable: Auswahl der geeignetsten Transformation	27
4.9.4	Prädiktorvariablen . . . . .	28
4.9.5	Prädiktorvariablen und ihre Transformationen . . . . .	29
4.9.6	Multiple Regression . . . . .	32
4.10	Ansatz der Literatur: Anwendung nur logarithmierter Daten . . . . .	35
4.11	Vergleich der beiden Ansätze: Datensplitting vs. Logarithmierung . .	36
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>39</b>
5.1	Grafische Darstellung der Leistungsdaten . . . . .	39
5.2	Endformeln der Jungen . . . . .	44
5.3	Endformeln der Mädchen . . . . .	46
5.4	Berechnung der Konfidenzintervalle . . . . .	47
5.5	Validierung der Endformeln . . . . .	52
5.6	Anwendung der Endformeln auf zu schwere Probanden . . . . .	55
5.7	Modifikation der Endformeln für zu schwere Probanden . . . . .	59
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>64</b>
6.1	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	64
6.2	Methodenkritik . . . . .	68
6.2.1	Messungen / erhobene Parameter . . . . .	68
6.2.2	Auswertung . . . . .	70

<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>72</b>
<b>Literatur</b>	<b>74</b>
<b>8 Anhang</b>	<b>82</b>
8.1 Formular für die Einverständniserklärung . . . . .	82
8.2 Rückseite der Einverständniserklärung . . . . .	83
8.3 Liste für den Händigkeitstest . . . . .	84
8.4 Praktische Anwendung der Formeln . . . . .	85

# Abkürzungen

A	Alter (Age)
ANOVA	Analysis of Variance
BMI	Body Mass Index
L.Q.	Lateralitätsquotient
MP	mean power
MRT	Magnetresonanztomogramm
OS	Oberschenkel
PP	peak power (Spitzenleistung im Wingate Test)
$R_w$	optimaler Widerstand
S	Körpergröße (Size)
$\overline{TMW}$	total mechanical work (Mittelwert aus $TMW_l$ und $TMW_r$ im Wingate Test)
$TMW_l$	total mechanical work (linkes Bein)
$TMW_r$	total mechanical work (rechtes Bein)
uWAnT	unilateraler (einbeiniger) Wingate Anaerobic Test
W	Körpergewicht (Weight)
WAnT	Wingate Anaerobic Test
$\Delta TMW$	Unterschied in der mittleren Leistung zwischen dem rechten und dem linken Bein in Prozent bezogen auf den Mittelwert zwischen beiden Beinen
$\sigma$	Standardabweichung

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

Zur Verlaufsbeurteilung neuromuskulärer Erkrankungen wie peripherer Muskelerkrankungen und der infantilen Cerebralparese ist es wichtig, muskuläre Kraft und Leistungsfähigkeit beurteilen zu können (BRETT, 1991). Bei einigen Krankheitsbildern wie z.B. dem Tethered Cord Syndrom spielt u.a. die Verminderung der Kraft eine Rolle, ob und wann eine Operation notwendig ist (RASCHER & OLBING, 1997).

### 1.1.1 Kraftmessung

In der Klinik wird zur Beurteilung der muskulären Leistungsfähigkeit üblicherweise eine Methode angewandt, die das Ausmaß der Muskelkraft in 5 Kraftgraden angibt:

Kraftgrad 0: keine Muskelaktivität

Kraftgrad 1: sichtbare Muskelkontraktion ohne Bewegungseffekt

Kraftgrad 2: Bewegung bei Ausschaltung der Schwerkraft

Kraftgrad 3: Bewegung gegen die Schwerkraft

Kraftgrad 4: Bewegung gegen Widerstand

Kraftgrad 5: normale Muskelkraft

Zum einen enthält diese Skala keine quantifizierbare Information, ein anderes Problem dieser Einteilung ist, dass eine isometrische Muskelkraft und nicht die dynamische muskuläre Leistungsfähigkeit, die zur Bewältigung des Alltages erforderlich ist, beurteilt wird. Auch erlaubt die obige Skala keine für die Diagnose genauere Diskriminierung vieler Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen, die aufgrund ihrer Kraftentwicklung dem Kraftgrad 4 zugeordnet werden. Die Kraft dieser Patienten ist eingeschränkt, aber sie können Bewegungen gegen Widerstand ausführen.

Eine schleichende Verschlechterung der Symptomatik, z.B. beim Tethered Cord Syndrom, kann dabei übersehen werden, solange Ausgangskraft und aktuelle Kraft dem Kraftgrad 4 entsprechen. Ebenso können Therapieerfolge oder Verbesserungen im Rahmen einer Rehabilitation schlecht erkannt und abgeschätzt werden.

Es gibt andere Untersuchungstechniken, um die Leistungsfähigkeit und Funktion bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen zu testen; diese verlangen aber einen hohen Aufwand an Zeit und Personal, wie der krankengymnastische Test 'Gross Motor Function Measure' für Patienten mit Zerebralparese oder die Ganganalysen und isokinetischen Leistungsmessungen, welche spezielle und teure Messapparaturen erfordern (DAMIANO & ABEL, 1996, PARKER *et al.*, 1993).

Die Fahrradergometrie ist ein einfacherer Weg, um die dynamische Leistungsfähigkeit bei Patienten mit zentralen und peripheren Bewegungsstörungen zu ermitteln. Ein Test, der sich für alle relevanten Fragestellungen bewährt hat, ist der Wingate Anaerobic Test (WAnT) (BAR-OR, 1996). Hier tritt der Patient 30 s lang so schnell wie möglich gegen einen hohen Widerstand. Der Widerstand wird dabei so gewählt, dass die mittlere Leistung während der 30 s möglichst hoch liegt. Die optimalen Widerstände können für gesunde Kinder einer Tabelle entnommen werden (DOTAN & BAR-OR, 1983), bei Kindern mit Bewegungsstörungen oder Muskelerkrankungen wird der Widerstand durch einige kurze Belastungen von 3-5 s bestimmt. Testergebnis beim WAnT ist vor allem die mittlere Leistung über die 30 s, es wird jedoch auch die Spitzenleistung während der 30 s beurteilt.

Bei einer Untersuchung von 49 Kindern mit Zerebralparese aller Schweregrade im Alter von 6-14 Jahren konnten 76% einen WAnT erfolgreich beenden (PARKER *et al.*, 1992). Die mit dem WAnT bestimmte 'Sprintleistungsfähigkeit' ist bei gesunden Kindern wie auch bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen sehr gut reproduzierbar, Test-zu-Test Korrelationskoeffizienten liegen um 0,95 (VAN DEN BERG-EMONS *et al.*, 1996, HEBESTREIT *et al.*, 1993, TIROSH *et al.*, 1990). Bei gesunden Kindern korrelieren die Testergebnisse sehr gut mit Sprintleistungen in Laufen und Schwimmen sowie Springen (BAR-OR, 1987). Bei Kindern mit neuromuskulären Erkrankungen konnte ein enger Zusammenhang mit Fähigkeiten des täglichen Le-

bens, insbesondere mit Gehen, Rennen und Springen gezeigt werden (PARKER *et al.*, 1993). Die Vorteile des WAnT sind zum einen, dass er bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen zuverlässige und gültige Ergebnisse liefert, und zum anderen ist er auch schnell und preiswert durchzuführen (es bestehen nach Anschaffung des Fahrradergometers keine weiteren Gerätekosten und geringer Personalbedarf), daher ist der WAnT gerade zur Verlaufskontrolle von Patienten empfehlenswert (BAR-OR, 1993 und BAR-OR, 1996).

Ein Nachteil des WAnT ist jedoch, dass Leistungsasymmetrien zwischen den Beinen nicht diagnostiziert werden. Bei manchen neuromuskulären Erkrankungen, wie der infantilen Zerebralparese, Meningomyelozelen und dem Tethered Cord Syndrom, kann eine Körperseite stärker betroffen sein als die andere. So besteht z.B. bei ca. der Hälfte der Patienten mit infantiler Zerebralparese, also etwa 0,5 - 1 von 1000 Kindern, eine seitenbetonte Form (BRETT, 1991, HAGBERG *et al.*, 1975, UVEBRAND, 1988). Es wäre darum wichtig bei den genannten Krankheiten beide Beine getrennt testen zu können, um die Verlaufsbeobachtung und Therapiebeurteilung zu erleichtern. Der Vorteil wäre, dass die Kraftentwicklung in einem Bein mit der im anderen Bein verglichen werden könnte und damit der Effekt der Leistungs Zunahme im Rahmen der körperlichen Entwicklung von negativen Auswirkungen der Krankheit unterschieden werden könnten.

Da der WAnT schnell und einfach durchzuführen ist, läge es nahe, einen modifizierten Test für die seitengetrennte Beurteilung der Kraftentwicklung anzuwenden, bei dem in zwei getrennten Untersuchungen jeweils erst die Leistung des einen und dann die Leistung des anderen Beines bestimmt wird. BAR-OR, 1993 hat ein entsprechendes Beispiel bereits vorgestellt: ein 9-jähriger Junge mit Lipomeningomyelozele wurde über 13 Monate mehrfach untersucht. Die Leistungen des rechten und des linken Beines wurden bei jedem Termin getrennt mittels einseitiger Fahrradergometrie (WAnT) bestimmt. Die Leistung des linken Beines lag immer niedriger als die des rechten Beines und nahm während der 13 Monate kaum zu, während sich die Leistung des rechten Beines im selben Zeitraum deutlich steigerte. Dies wurde als Progression des Defizits auf der linken Seite gedeutet und veranlasste weitere

Untersuchungen zur Klärung der Operationsindikation bei Verdacht auf Tethered Cord Syndrom.

Eine Studie ermittelte bereits die optimalen Widerstände für den unilateralen WAnT (uWAnT) und dessen Reliabilität. Es konnte gezeigt werden, dass die gemessene Gesamtleistung TMW (Total Mechanical Work) über 30 Sekunden mit einem Test-Retest Korrelations-Koeffizienten zwischen 0,93 und 0,98 vergleichbar zuverlässig ist, wie isokinetische Messungen der Kurzzeit-Kraft über einzelne Gelenke (HEBESTREIT *et al.*, 1999).

### 1.1.2 Einflussgrößen auf die Kurzzeitleistung der Beine

Alter, Körpergröße, Gewicht, Reife und Geschlecht haben Einfluss auf die Kurzzeitleistungsfähigkeit (ARMSTRONG *et al.*, 1997, BAXTER-JONES *et al.*, 1993, BLIMKIE, 1989, BLIMKIE *et al.*, 1988, FOWLER JR. & GARDNER, 1967, GAUL, 1996, HANSEN *et al.*, 1997, MALINA & BOUCHARD, 1991, MOLNAR *et al.*, 1979). Weiterhin könnte der Körperfettgehalt des Probanden, auf den man mittels Berechnung des Body Mass Index aus der Körpergröße und dem Gewicht Rückschlüsse ziehen kann (ZWIAUER & WABITSCH, 1997, ROLLAND-CACHERA *et al.*, 1982), eine Rolle spielen. Von Nutzen könnte dieses bei der Beurteilung von beleibteren Probanden sein, da der Tretwiderstand nach Körpergewicht eingestellt wird.

Weiter wird beschrieben, dass die Muskelmasse (bzw. die Zunahme der Muskelmasse im Laufe der Entwicklung) einen Einfluss auf die Leistung hat (BLIMKIE, 1989, SARGEANT & DAVIES, 1977, ROWLAND, 1996, SUNNEGARDH *et al.*, 1988, ZAHARIEVA, 1981). Diese können durch Vermessung der Oberschenkel erfasst werden.

HILL & SMITH, 1991 zeigen, dass die Tageszeit, zu der der Test durchgeführt wird, die Leistung beeinflusst, und dass dieses bei Mehrfach-Testungen berücksichtigt werden müsste.

### 1.1.3 Seitendominanz als Einflussgröße

Die Seitenpräferenz kann ebenfalls Einfluss auf die Leistung der einzelnen Beine, bzw. den Leistungsunterschied zwischen den Beinen haben (SARGEANT & DAVIES, 1977). Sie lässt sich z.B. durch Ermittlung des Schussbeines bei gezieltem Schuss eines Fußballs oder der Beinpräferenz des Absprungbeines beim Weitsprung bestimmen (SARGEANT & DAVIES, 1977, HEBESTREIT *et al.*, 1997). SPRINGER & DEUTSCH, 1995 beschreiben weiterhin eine signifikante Korrelation zwischen Hand- und Fußpräferenz.

## 1.2 Datenreduktion: Entwicklung von Prädiktorgleichungen

Um in einer großen Zahl statistischer Daten Gesetzmäßigkeiten zu finden, die durch Gleichungen mit wenigen Parametern beschrieben werden können, wird angenommen, dass die vorherzusagenden Parameter (Kriteriumsvariablen) linear von den Einflussgrößen (Prädiktorvariablen) abhängen. Die Größen, welche diesen Zusammenhang optimal beschreiben, werden über multiple Regressionsanalysen bestimmt.

Die Beschreibung von Leistungsdaten bei Kindern ist nicht einfach. In der Literatur (NEVILL *et al.*, 1992, NEVILL & HOLDER, 1995, NEVILL *et al.*, 1998, WELSMAN, 1997) gibt es Ansätze, die mit logarithmierten Daten arbeiten. Dieses erweist sich als vorteilhaft bei den Auswertungen von Leistungsdaten, weil so formale Probleme der Leistungsdaten umgangen werden, z.B. dass die Daten keinen linearen Zusammenhang aufweisen, Zunahme der Streuung mit zunehmenden Messwerten (multiplikativer Fehler) oder dass der lineare Zusammenhang z.B. zwischen Gewicht und Leistung mit dem y-Achsenabschnitt nicht den Nullpunkt schneidet (TANNER, 1949).

## 2 Problemstellung

Der Wingate Anaerobic Test hat sich auch als einbeinig durchgeführter Test bewährt. Es fehlen aber noch Normalwerte, die es erlauben, die Messwerte in Bezug zu Alter, Körpergröße, Gewicht, Geschlecht etc. zu setzen und damit den Test zur Verlaufskontrolle über den Zeitraum des Wachstums bei Kindern anwenden zu können.

Es könnte sein, dass der in der Literatur vorgeschlagene Ansatz, mit logarithmierten Daten zu arbeiten, nicht zufriedenstellend ist, weil er die Daten der Kinder nicht ausreichend beschreibt. Falls es die Verteilung der Daten zulässt, könnte man versuchen, in einem Ansatz ein eigenes Modell zu entwickeln, indem man die Daten in Untergruppen splittet, die jede für sich gesehen, den Anforderungen an Linearität besser genügen würden.

### 3 Zielsetzung

Man benötigt Normwerte, um den modifizierten WAnT zur seitengetrennten Untersuchung der dynamischen Kraft in der Verlaufsbeurteilung bei Patienten einsetzen zu können. Ziel dieser Arbeit war es daher, gesunde Kinder und Jugendliche mit dem modifizierten WAnT zu untersuchen und altersgemäße Durchschnittswerte zu ermitteln. Wünschenswert wäre es, eine Formel zur Vorhersage der mittleren Leistung und des Unterschieds zwischen den beiden Beinen zu erstellen, in der mögliche Einflussgrößen auf die Kraft berücksichtigt werden. Aus ökonomischen Gründen wäre ein 'Minimalsatz' von Einflussgrößen erwünscht, bei dem Abhängigkeiten (Redundanzen unter den Einflussgrößen) weitgehend eliminiert sind. Dieses würde den Aufwand der Datenaufnahme in der Praxisanwendung reduzieren.

## 4 Methodik

### 4.1 Rahmenbedingungen

Die Untersuchungen fanden im Zeitraum von Oktober 1997 bis Mai 1998 an der Grundschule Lengfeld, am Friedrich-Koenig-Gymnasium, am St. Ursula Gymnasium und in der Universitäts-Kinderklinik in Würzburg statt. Das Einzugsgebiet der Schulen umfasst die Stadt Würzburg und den umliegenden Landkreis. An den Schulen wurde die Untersuchung im Rahmen des Sportunterrichts durchgeführt. Die Durchführung war zuvor von der Ethik-Kommission der Universität Würzburg, der Bezirksregierung Unterfranken und dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst genehmigt worden. Ferner hatten die Direktoren der Schulen und die Sportlehrer ihre Zustimmung gegeben. Die Eltern hatten (sofern die Probanden noch minderjährig waren), nach Aufklärung ihr schriftliches Einverständnis erklärt, ebenso gaben die schon volljährigen Probanden nach Aufklärung ihre schriftliche Zusage zur Teilnahme am Test. Auf dem Einverständnisbogen wurden auch Fragen zur Belastbarkeit, dem Gesundheitszustand und zur motorischen Entwicklung des Kindes gestellt (siehe Anhang). Es wurden nur Kinder rekrutiert, bei denen kein Einwand gegen eine hohe körperliche Belastung bestand.

### 4.2 Probanden

Insgesamt haben 229 Jungen und 233 Mädchen an dem Test teilgenommen, davon wurden aber nur die Kinder und Jugendlichen in die Auswertung aufgenommen, die bezüglich ihrer Körpergröße und ihres Körpergewichtes innerhalb der 3. bis 97. Altersperzentile lagen (GEORGI *et al.*, 1996). Ein weiteres Auswahlkriterium für die Rekrutierung war, möglichst 15 Jungen und 15 Mädchen in jeder Altersgruppe von 6-jährigen angefangen bis zu 18-20-jährigen hin zu untersuchen, die älter als 18-jährigen wurden wie 18-jährige behandelt. Letztendlich gingen die Daten von 186 Jungen und 187 Mädchen in die Auswertung ein. Tabelle 4.2.1 und 4.2.2 zeigen die anthropometrischen Charakteristika der ausgewählten Probanden.

**Tabelle 4.2.1** - Anthropometrische Charakteristika der Mädchen (Mittelwerte  $\pm\sigma$ )

Altersgruppe	n	Alter [Jahre]	Körpergröße [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
6-jährige	14	6,5 $\pm$ 0,3	120,7 $\pm$ 4,6	21,8 $\pm$ 2,7	14,9 $\pm$ 1,1
7-jährige	11	7,6 $\pm$ 0,3	125,0 $\pm$ 4,0	26,4 $\pm$ 2,7	16,8 $\pm$ 1,1
8-jährige	13	8,5 $\pm$ 0,3	133,2 $\pm$ 4,1	29,0 $\pm$ 1,1	16,4 $\pm$ 0,8
9-jährige	14	9,4 $\pm$ 0,3	137,5 $\pm$ 6,5	30,8 $\pm$ 4,2	16,2 $\pm$ 1,2
10-jährige	15	10,6 $\pm$ 0,3	144,7 $\pm$ 7,2	34,4 $\pm$ 3,6	16,4 $\pm$ 1,0
11-jährige	15	11,4 $\pm$ 0,3	147,7 $\pm$ 6,4	37,6 $\pm$ 3,2	17,3 $\pm$ 1,4
12-jährige	15	12,6 $\pm$ 0,3	157,0 $\pm$ 7,0	47,5 $\pm$ 7,6	19,2 $\pm$ 2,3
13-jährige	15	13,5 $\pm$ 0,3	161,0 $\pm$ 6,3	50,0 $\pm$ 7,2	19,2 $\pm$ 2,3
14-jährige	15	14,5 $\pm$ 0,3	165,1 $\pm$ 6,5	55,0 $\pm$ 7,1	20,1 $\pm$ 1,7
15-jährige	15	15,4 $\pm$ 0,2	164,8 $\pm$ 5,7	54,2 $\pm$ 5,4	20,0 $\pm$ 2,0
16-jährige	15	16,3 $\pm$ 0,3	166,5 $\pm$ 5,8	57,6 $\pm$ 7,3	20,7 $\pm$ 2,0
17-jährige	15	17,5 $\pm$ 0,3	169,3 $\pm$ 5,1	60,9 $\pm$ 7,1	21,2 $\pm$ 2,1
18-20-jährige	15	19,0 $\pm$ 0,5	165,3 $\pm$ 5,6	56,3 $\pm$ 5,1	20,6 $\pm$ 1,9

**Tabelle 4.2.2** - Anthropometrische Charakteristika der Jungen (Mittelwerte  $\pm\sigma$ )

Altersgruppe	n	Alter [Jahre]	Körpergröße [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
6-jährige	15	6,7 $\pm$ 0,2	123,6 $\pm$ 4,2	23,1 $\pm$ 1,8	15,1 $\pm$ 0,5
7-jährige	15	7,5 $\pm$ 0,3	128,7 $\pm$ 4,4	26,0 $\pm$ 2,5	15,7 $\pm$ 0,9
8-jährige	11	8,6 $\pm$ 0,2	133,1 $\pm$ 5,0	27,4 $\pm$ 3,8	15,4 $\pm$ 1,6
9-jährige	13	9,6 $\pm$ 0,3	141,3 $\pm$ 6,0	33,6 $\pm$ 4,4	16,8 $\pm$ 1,4
10-jährige	14	10,5 $\pm$ 0,3	144,7 $\pm$ 5,3	36,5 $\pm$ 4,5	17,4 $\pm$ 1,4
11-jährige	14	11,5 $\pm$ 0,3	149,9 $\pm$ 5,6	39,9 $\pm$ 6,8	17,6 $\pm$ 2,1
12-jährige	15	12,5 $\pm$ 0,2	152,6 $\pm$ 5,2	42,4 $\pm$ 6,4	18,1 $\pm$ 2,0
13-jährige	15	13,5 $\pm$ 0,3	163,7 $\pm$ 8,8	50,6 $\pm$ 8,8	18,7 $\pm$ 1,7
14-jährige	15	14,4 $\pm$ 0,3	168,0 $\pm$ 7,5	53,9 $\pm$ 9,0	19,0 $\pm$ 2,0
15-jährige	15	15,7 $\pm$ 0,2	176,7 $\pm$ 7,8	63,7 $\pm$ 9,0	20,3 $\pm$ 2,0
16-jährige	15	16,5 $\pm$ 0,3	179,4 $\pm$ 7,2	69,2 $\pm$ 9,1	21,4 $\pm$ 1,6
17-jährige	14	17,4 $\pm$ 0,2	179,4 $\pm$ 6,5	68,2 $\pm$ 9,2	21,2 $\pm$ 2,1
18-20-jährige	15	18,8 $\pm$ 0,5	178,2 $\pm$ 5,3	68,5 $\pm$ 7,4	21,6 $\pm$ 1,9

### 4.3 Ausrüstung

Für die Durchführung der Versuche wurden folgende Geräte und Gegenstände verwendet:

- für den WAnT: Computer, Drucker, Fahrradergometer, Tritt (Stufe für den ruhenden Fuß), klebendes Tapeband (um den Fuß an der Pedale zu befestigen)
- für die Erhebung der Beinigkeit: Tritt (mobile Treppe mit zwei Stufen), Ball
- für die Erhebung der Händigkeit: Telefon mit Wählscheibe, Papier, Stifte, Ball, Schere, Zahnbürste, Messer, Löffel, Besen, Streichholzschachtel mit Streichhölzern, Schachtel mit abhebbarem Deckel
- für die Erhebung des Körpergewichts: eine digitale Personenwaage
- für die Erhebung der Körpergröße: eine Messlatte und ein rechter Winkel
- für die Vermessung der Oberschenkel: ein Maßband

### 4.4 Versuchsablauf

Die Versuche wurden in einem Raum in der Nähe der jeweiligen Schulsporthalle durchgeführt. Anhand eines Stundenplans, den die Schulen zur Verfügung gestellt hatten, konnte ersehen werden, welche Klassen zu welcher Zeit Sportunterricht hatten. Anhand der vorliegenden Einverständniserklärungen wurden pro Doppelstunde Unterricht 2-3 Schüler/innen zufällig ausgewählt und mit ihnen der unilaterale Wingate Anaerobic Test und die weiteren Erhebungen durchgeführt. Gegen Ende der Untersuchungen wurden bevorzugt Probanden nach Alter und Geschlecht ausgewählt, um möglichst die gewünschten Probandenzahlen in den einzelnen Altersgruppen zu erhalten.

#### **4.4.1 Ablauf im Überblick**

Für eine komplette Datenerhebung bei einem Probanden mit Erholungspause wurden in etwa 40 Minuten Zeit benötigt. Um zeitsparend zu arbeiten, wurden immer zwei bis drei Probanden gleichen Geschlechts aus dem Sportunterricht geholt und die Tests so ineinander geschachtelt ausgeführt, dass die nötigen Ruhepausen zwischen den Testungen der einzelnen Beine effektiv für die Testung der anderen Probanden genutzt werden konnte. Auf diese Weise konnten innerhalb einer Sportdoppelstunde 2-3 Probanden getestet werden.

Zu Anfang wurden die folgenden Parameter erhoben: Alter, Geschlecht, Körpergröße und Gewicht, sowie der daraus berechnete BMI, Länge und Umfänge der beiden Oberschenkel, Händigkeit und Beinigkeit (s.u.). Dann erfolgte der unilaterale WANt mit jedem Bein nur jeweils einmal, unter Einhaltung der Pausen und mit randomisierter Auswahl des beginnenden Beines.

#### **4.4.2 Prozeduren im Einzelnen**

Für jeden Probanden wurden die Daten auf einem Bogen protokolliert. Die Geschlechtszugehörigkeit sowie das Geburtsdatum wurden neben dem Namen protokolliert.

##### **Körpergröße**

Die Erhebung der Körpergröße erfolgte einmalig, ohne Schuhe, aufrecht stehend an der Wand, wo eine Messlatte befestigt war und von oben ein rechter Winkel bis auf den Kopf herabgelassen wurde.

Maßeinheit: cm, Genauigkeit: einige mm

Im weiteren Verlauf wird die Körpergröße nur als Größe bezeichnet.

##### **Gewicht**

Das Gewicht wurde ebenfalls einmalig auf einer digitalen Personenwaage erhoben, die Probanden trugen bei der Messung nur leichte Sportbekleidung und keine Schuhe, die Grundschulkinder wurden grundsätzlich nur in Unterwäsche gewogen.

Maßeinheit: kg, Genauigkeit: 100 g

### **Oberschenkelvermessung**

Die Oberschenkelgröße wurde vom Trochanter major bis zum lateralen Kniegelenkspalt gemessen. Linkes und rechtes Bein wurden einmalig jeweils von demselben Versuchsleiter vermessen. Die so ermittelte Länge wurde in drei gleiche Teile unterteilt. Der Umfang des Oberschenkels wurde an der Stelle zwischen dem proximalen und mittleren Drittel gemessen. Aus dem Umfang wurde der Durchmesser jeweils für das rechte und linke Bein separat berechnet. Weiterhin wurde der Mittelwert des Oberschenkeldurchmessers beider Beine berechnet.

Maßeinheit: cm, Genauigkeit: einige mm

### **Händigkeit**

Die Händigkeit wurde anhand eines übersetzten Edinburgh Inventory Händigkeits-test (OLDFIELD, 1971) bestimmt. Dieser Test beinhaltet die folgenden Tätigkeiten (Tabelle 8.3.1 im Anhang): Telefonieren (Wählscheibe), Schreiben, Zeichnen, Werfen, Schere, Zahnbürste, Messer (ohne Gabel), Löffel, Besen (obere Hand), Streichholz anzünden (Streichholz), Deckel einer Schachtel öffnen (Deckel). Die Seitenpräferenz wurde entweder erfragt oder bei jüngeren Probanden durch ausprobieren der einzelnen Aufgaben (z.B. etwas schreiben oder malen lassen etc.) untersucht. Die Händigkeit wurde auf einem separaten Bogen für jeden Probanden dokumentiert. Um einen Lateralitätsquotienten errechnen zu können, wurden pro Aufgabe maximal zwei '+' vergeben: wurde eine Tätigkeit ausschließlich mit rechts ausgeführt, wurden bei dieser Aufgabe unter rechts beide '+' vermerkt, wurde rechts bevorzugt, wurde ein '+' eingetragen, wurde die Aufgabe mit rechts und mit links ausgeführt, so wurden für diese Tätigkeit unter rechts und links je ein '+' vermerkt. Am Schluss wurde die Summe der '+' rechts und der '+' links jeweils als Punktzahl addiert und der Lateralitätsquotient (L.Q.) wie folgt berechnet:  $(\text{Punkte rechts} - \text{Punkte links}) / (\text{Punkte rechts} + \text{Punkte links}) \cdot 100$ .

So erhielt jeder Proband einen L.Q., der zwischen -100 (reiner Linkshänder) bis +100 (reiner Rechtshänder) variierte.

### **Kodierung der Händigkeit**

Die Händigkeit wurde nach dem L.Q. in drei Untergruppen eingeteilt. Alle Pro-

banden mit L.Q. Werten  $> 0$  bis  $+ 100$  Punkten wurden mit '1' kodiert und als Rechtshänder eingestuft, alle Probanden mit L.Q. Werten  $< 0$  bis zusammen  $- 100$  Punkten wurden mit '2' kodiert und als Linkshänder eingestuft, und alle Probanden mit genau 0 Punkten als L.Q. Wert wurden mit '3' kodiert und als Beidhänder eingestuft.

### **Beinigkei**

Der Begriff der Beinigkeit wird hier synonym zur Beinpräferenz gebraucht (siehe Einleitung). Die Beinigkeit wurde bei allen Probanden wie folgt untersucht:

**Steigbein:** der Proband wurde durch kleine Rechenaufgaben abgelenkt und musste dabei dreimal eine Stufe hinaufsteigen. Das Bein, welches zuerst die Stufe betrat wurde als Steigbein festgelegt, wenn dieses aus den drei Versuchen nicht deutlich hervorging, wurde insgesamt fünfmal probiert und das Bein als Steigbein ausgewählt, das am häufigsten zuerst die Stufe betrat.

**Sprungbein:** ebenso wurde bei der Ermittlung des Sprungbeines vorgegangen, der Proband sollte drei- bzw. fünfmal einen Weitsprung mit Anlauf ausführen, gewertet wurde das Bein, das als Absprungbein diente.

**Schussbein:** als Schussbein wurde das Bein dokumentiert, das der Proband bevorzugt benutzte, nachdem er aufgefordert wurde, drei bzw. fünfmal einen gezielten Schuss mit einem Schaumstoffball abzugeben.

**Hüpfbein:** als Hüpfbein wurde das Bein bezeichnet, auf dem der Proband bevorzugt hüpfte, unter der Vorstellung, dass er lange auf einem Bein hüpfen müsste.

### **Kodierung der Beinigkeit**

Jeweils nach Untersuchung eines der genannten Beinigkeitsmerkmale wurden die Probanden gefragt, ob sie das Ergebnis für repräsentativ halten. Entsprechend wurde dann jeweils das Ergebnis des Steig-, Sprung-, Schuss- und Hüpfbeintests wie folgt dokumentiert: 2 = immer rechts, 1 = meist rechts, 0 = egal, -1 = meist links, -2 = immer links.

### 4.4.3 Unberücksichtigte Merkmale

Das Reifestadium der Pubertätsentwicklung, das man nach der Tanner-Einteilung hätte erheben können, wurde nicht mit untersucht, weil die Versuchsdurchführung im Rahmen des Sportunterrichts stattfand. Hier hätten Probleme vor allem mit den älteren Kindern und Jugendlichen auftreten können (Schamgefühl) oder es hätte aufgrund des stärkeren Eingriffs in die Intimsphäre des Einzelnen eventuell auch zur Folge haben können, dass die Studie nicht erlaubt worden wäre, bzw. nur wenige Kinder/Jugendliche die Teilnahme erlaubt bekommen hätten.

Aus praktischen Gründen konnte die Erhebung nicht für alle Kinder zur gleichen Uhrzeit geschehen, weil die Kinder zu unterschiedlichen Zeiten ihren Sportunterricht hatten und die Untersuchung im Rahmen dieser Veranstaltung stattfand. Dieses dürfte aber eher als unproblematisch anzusehen sein, weil dieser Faktor vor allem bei Mehrfachtestungen des gleichen Probanden zu berücksichtigen sei und in dieser Untersuchung jedes Kind nur einmal getestet wurde. Weiterhin wurden fast alle Untersuchungen vormittags durchgeführt, keine fand nach 17 Uhr statt.

## 4.5 Unilateraler Wingate Anaerobic Test

Der unilaterale WAnT folgte den Richtlinien des beidbeinigen WAnT (nach den Richtlinien von BAR-OR, 1987 und INBAR *et al.*, 1996). Verwendet wurde ein elektronisch gebremstes Ergometer mit der zugehörigen Software (CardiO2-Cycle und Software, Ergometrxx, Saint Paul, USA), das zu Beginn eines jeden Testtages kalibriert wurde. Der Computer zeichnete on-line ein Protokoll über die Trittschwindigkeit und Leistung während der gesamten 30 Sekunden auf und berechnete die höchste mechanische, während des Tests erbrachte Leistung, die typischerweise während der ersten Sekunden auftritt (Peak Power) und die Gesamtarbeit während der 30 s (Total Mechanical Work). Die Leistungs- und Arbeitsvariablen sind folgendermaßen definiert:

'Peak Power' (PP): die höchste mechanische, während des Tests erbrachte Leistung, die typischerweise während der ersten Sekunden auftritt.

'Mean Power' (MP): die mittlere Leistung, die über die 30 Sekunden Testzeit erbracht wird.

'Total Mechanical Work' (TMW): das Produkt aus MP und dem Zeitintervall (30 s).

#### **4.5.1 Durchführung des unilateralen WAnT**

Die Probanden begannen die Testung jeweils abwechselnd mit dem rechten bzw. linken Bein, um durch diese Randomisierung einen möglichen Einfluss des beginnenden Beines auf das Ergebnis weitestgehend auszuschliessen. Der Proband wurde auf das Ergometer gesetzt und das Bein, welches als erstes getestet werden sollte, wurde durch Riemen und Pflaster so an der Pedale befestigt, dass einbeiniges Fahren (Treten und Ziehen) möglich war. Der andere Fuß wurde auf einem Tritt abgestellt. Die Kurbelarmlänge sowie die Sattelposition des Fahrradergometers wurden (in horizontaler und vertikaler Ebene) so justiert, dass die Knie beim Treten nicht mehr als 90 Grad gebeugt und maximal zwischen 160 und 170 Grad gestreckt wurden. Der Proband erhielt eine 'Gewöhnungs- und Aufwärmphase', in der er mit dem zu testenden Bein 2 Min. lang gegen 15 % des späteren Widerstandes trat. Er sollte mit einer für ihn komfortablen Trittschwindigkeit fahren, um sich an die ungewohnte Bewegung zu gewöhnen. Zwischendurch sollte der Proband zweimal für 3-5 s auf maximale Trittschwindigkeit beschleunigen. Nach dem Einfahren folgten zwei Probestarts, bei denen für 5 s gegen den eigentlichen Widerstand getreten wurde. Für die Probestarts wurde der ruhende Fuß des Probanden von dem Versuchsleiter auf dem Tritt fixiert. Da für den Test ein 'fliegender Start' vorgesehen ist, um die größtmögliche Leistung zu erhalten, gab es einen Countdown von 5 Sekunden, in denen der Proband seine maximale Geschwindigkeit gegen den Widerstand aus der 'Einfahrphase' erreichen musste, in die dann der eigentliche Widerstand geschaltet wurde. Sobald der hohe Widerstand einsetzte und die Probanden wenige Sekunden dagegen getreten hatten, wurde die Belastung abgebrochen. Anschließend hatte der Proband 4 Minuten Pause vor dem eigentlichen Test.

Der optimale Widerstand für den einbeinigen WAnT bemisst sich am Körpergewicht

und lässt sich nach der Formel:

$$R_w = 0,4052 \cdot W^{1,4662}$$

berechnen.  $R_w$  = Widerstand,  $W$  = Körpergewicht (s. HEBESTREIT *et al.*, 1999).

Der Widerstand ist ziemlich hoch, ihn zu bewältigen erforderte die volle Kooperation und Motivation der Probanden. Nach den Probestarts konnte der Widerstand für den eigentlichen Test noch um  $\pm 10\%$  modifiziert werden, je nachdem, ob der Eindruck entstand, dass der reguläre Widerstand für den Probanden zu hoch oder zu niedrig war. Nach Einhaltung der Pause begann dann der eigentliche Test. Der Start wurde wie bei den Probestarts durchgeführt, die Belastung dann aber nicht abgebrochen. Während der 30 s musste der Proband bei gleichbleibendem Widerstand so viele Umdrehungen wie möglich vorwärts ausführen, das 'Aufstehen' vom Sattel war verboten. Der nicht genutzte Fuß auf dem Tritt wurde für die 30 s Testdauer vom Versuchsleiter fixiert. Der Versuchsleiter 'feuerte' den Probanden an, sein Bestes zu geben. Nach dem ersten uWAnT hatte der Proband mindestens 20 Minuten Zeit, sich vollständig zu erholen (HEBESTREIT *et al.*, 1993). Dann erfolgte der gleiche Testablauf wie zuvor geschildert mit Einfahren, Probestarts, etc. mit dem anderen Bein. Die Tests, bei denen ersichtlich war, dass der Proband wenig kooperativ war bzw. sich nicht absolut anstrengte, wurden von der Auswertung ausgeschlossen, ebenso die Fahrten, welche technisch nicht einwandfrei waren (z.B. der Proband hatte Koordinationsprobleme mit dem einbeinigen Treten, trat rückwärts oder hatte keinen optimalen Start).

Im Anschluss an den Test erhielt der Proband eine Urkunde, die die erbrachten Leistungen der beiden Beine enthielt.

## 4.6 Datenmaterial und Dokumentation

Die erhobenen Daten wurden von den einzelnen Bögen ausgehend in ein Spreadsheet (Microsoft Excel 97) eingegeben, um weitere Variablen abzuleiten, erste Berechnungen vorzunehmen und sie zur Auswertung in das Statistik Programm MACANOVA

(<http://www.umn.edu/macanova>) überführen zu können. Das Spreadsheet umfasste folgende Spalten:

**Tabelle 4.6.1** - Spreadsheet

Variablenname	Einheit / Kodierung	Beschreibung
Alter	[Jahre]	Alter des Probanden = (Untersuchungsdatum - Geburtsdatum des Probanden)/365,25
Altgr	[Jahre]	Altersgruppe abgerundet (z.B. 6,00 - 6,99 wurde als 6-jährig eingestuft)
Geschlecht	1 = männlich 2 = weiblich	Geschlecht des Probanden
Körpergröße	[cm]	Körpergröße
Grperz		Körpergrößenperzentilen zur Auswahl der Probanden
Gewicht	[kg]	Gewicht
Gewperz		Gewichtperzentilen zur Auswahl der Probanden
Bmi	[kg/m] <sup>2</sup>	Body Mass Index Berechnung aus: Gewicht/(Körpergröße) <sup>2</sup>
Oslilae	[cm]	Oberschenkellänge links
Oslium	[cm]	Oberschenkelumfang links
Oslidu	[cm]	Oberschenkeldurchmesser links, berechnet aus: oslium/ $\pi$
Osrelae	[cm]	Oberschenkellänge rechts
Osreum	[cm]	Oberschenkelumfang rechts
Osredu	[cm]	Oberschenkeldurchmesser rechts, berechnet aus: osreum/ $\pi$
Osdumi	[cm]	Oberschenkeldurchmesser Mittelwert berechnet aus: (osredu+oslidu)/2
Pktre		erreichte Punktzahl im Händigkeitstest rechts
Pktli		erreichte Punktzahl im Händigkeitstest links
Lq		Lateralitätsquotient, errechnet aus den Punkten rechts und links (siehe unter 4.4.2 Händigkeit)
Beist	2 = immer rechts 1 = meist rechts 0 = egal	Steigbein

	-1 = meist links -2 = immer links	
Beisp	Kodierung siehe Beist	Sprungbein
Beisch	Kodierung siehe Beist	Schussbein
Beihue	Kodierung siehe Beist	Hüpfbein
Beginn	1 = links 2 = rechts	Erster unilateraler WANt mit Bein
Brforce	Joule/Revolution	tatsächlich eingestellte Braking force (= eingestellter Widerstand)
Optimal	Joule/Revolution	optimale Braking force mit der Gleichung: $R_w = 0,4052 \cdot W^{1,4662}$ geschätzter Widerstand
Deltabr	Joule/Revolution	Delta Braking force (Differenz zwischen tatsächlicher und optimaler Braking force)
Ppli	[Watt]	Peak Power (PP) links
Ppre	[Watt]	Peak Power (PP) rechts
Tmwli	[Joule]	Total Mechanical Work links in Joule gemittelt über 30s
Tmwre	[Joule]	Total Mechanical Work rechts in Joule gemittelt über 30s
Dpppro	[%]	Differenz zwischen PP rechts und links in Prozent, bezogen auf den PP-Mittelwert = $200 \cdot (Ppre - Ppli) / (Ppre + Ppli)$
Dtmwab	[Joule]	$\Delta TMW = Tmwre - Tmwli$
Dtmwpro	[%]	Differenz zwischen TMW rechts und links in %, bezogen auf den TMW-Mittelwert = $200 \cdot (Tmwre - Tmwli) / (Tmwre + Tmwli)$
Tmwmitt	[Joule]	Mittelwert aus TMW rechts und links = $(Tmwre + Tmwli) / 2$
Haend	1 = L.Q. > 0 bis 100 2 = L.Q. < 0 bis -100 3 = L.Q. = 0	Rechtshänder Linkshänder Beidhänder

## 4.7 Allgemeines Vorgehen und Festlegungen zur Auswertung

Es wurden zwei Ansätze bei der Auswertung verfolgt. Unabhängig vom Ansatz galten die im weiteren aufgeführten Festlegungen:

1. Für die Begrenzung des Vertrauensbereiches wurde jeweils vom Mittelwert ausgehend plus zwei und minus zwei (von 1,96 aufgerundet) (BORTZ, 1999) Standardabweichungen angegeben, um so das in der Statistik übliche 95%-Intervall zu umfassen.
2. Für angewendete t-Tests galt ein Signifikanzniveau von  $p \leq 5\%$ . Dieses Signifikanzniveau wurde auch bei weiteren statistischen Tests zugrunde gelegt.
3. Um die Variablen miteinander vergleichbar zu machen, mussten sie zuvor an der Unterschiedlichkeit aller Werte im jeweiligen Kollektiv relativiert werden. Hierfür wurden die Abweichung durch die Standardabweichung ( $\sigma$ ) dividiert. Solche Werte werden als z-Werte bezeichnet. Wenn im folgenden von standardisierten Variablen die Rede ist, sind die z-Werte gemeint. Sie werden erzeugt durch die Formel (BORTZ, 1999):

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

$x_i$  ist der jeweilige individuelle Messwert,  $\bar{x}$  ist der Mittelwert der Gruppe. Es wurde soweit wie möglich mit standardisierten Variablen gearbeitet (nur die kontinuierlichen Variablen sind standardisierbar (BORTZ, 1999)).

4. Die diskreten Variablen, im weiteren Faktoren genannt, waren nicht standardisierbar, aber weil sie kodiert waren, wurde eine Einbeziehung in z.B. ein Regressionsmodell möglich (BORTZ, 1999). Sie fanden nur Berücksichtigung, wenn sie den Bestimmungskoeffizienten  $R^2$  der Regression um mindestens 5% verbesserten.
5. Der Bestimmungskoeffizient einer Regression ( $R^2$ ) zeigt an, wie gut die Regressionsgerade die Daten beschreibt. Er kann Werte von 0 bis 1 annehmen und

beschreibt, wieviel Prozent der beobachteten Streuung durch das vorliegende Regressionsmodell beschrieben werden.  $R^2$  ist wie folgt definiert (DRAPER & SMITH, 1998):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$Y_i$  ist der individuelle Messwert,  $\hat{Y}$  ist der aus dem Regressionsmodell berechnete Wert, und  $\bar{Y}$  bezeichnet den Mittelwert. Der Bestimmungskoeffizient der Regression  $R^2$  wurde zur Auswahl der Modelle herangezogen. Im weiteren Verlauf erfolgen die Angaben des  $R^2$  in %.

6. Verschlechterung des Bestimmungskoeffizienten  $R^2$  um bis zu 1% wurden toleriert, wenn dadurch die Anzahl der nötigen Variablen / Faktoren gesenkt werden konnte oder möglichst einheitliche Variablen ausgewählt wurden.
7. Für die Erstellung der Endformeln wurde mit allen in Frage kommenden kontinuierlichen Variablen und diskreten Variablen eine multiple Regression bzw. ANOVA ('analysis of variance') durchgeführt und anhand einer 'screen'-Funktion des Statistik - Programmes die wichtigsten Prädiktorvariablen und Faktoren für die Kriteriumsvariable ausgewählt. Um aus ANOVA interpretierbare Werte entnehmen zu können, war allerdings Voraussetzung, dass die Faktoren balanciert waren (Manual zu MACANOVA, Version 4.11, 12/2000), d.h. jede Ausprägung des Faktors musste in etwa gleich häufig vorkommen.

## 4.8 Voraussetzungen für die weitere Auswertung

Um mit den beiden Auswertungswegen beginnen zu können, mussten vorab noch folgende Punkte abgeklärt werden:

1. Die meisten der statistischen Verfahren machen die Annahme, dass die involvierten stochastischen Größen normalverteilt sind, d.h. die Verteilung der Messwerte streuen gemäß einer Gaußfunktion um den Mittelwert. Darum wurden die gemessenen Daten auf Normalverteilung überprüft.

2. Ein einfacher Ansatz wäre die gemeinsame Betrachtung von Mädchen und Jungen. Studien zeigen, dass Kinder bis zu einem gewissen Alter (um die Pubertät) keine signifikanten Unterschiede in Körpergröße, Gewicht (SAAVEDRA *et al.*, 1991) und ihren Leistungen aufweisen (MALINA & BOUCHARD, 1991, SUNNEGARDH *et al.*, 1988). Die Daten der Jungen und Mädchen wurden mittels t-Test miteinander verglichen, um zu entscheiden, ob sie gemeinsam oder getrennt ausgewertet werden können.

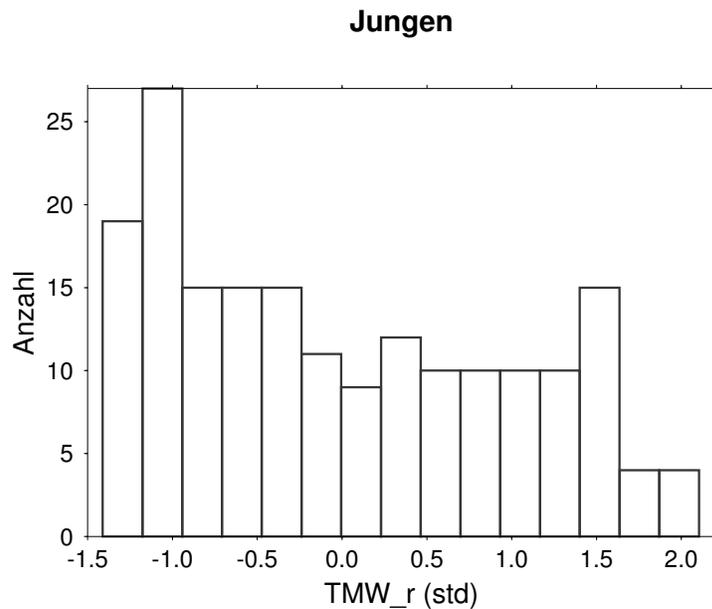
#### 4.8.1 Überprüfung der Grundvoraussetzungen im Einzelnen

##### Normalverteilung

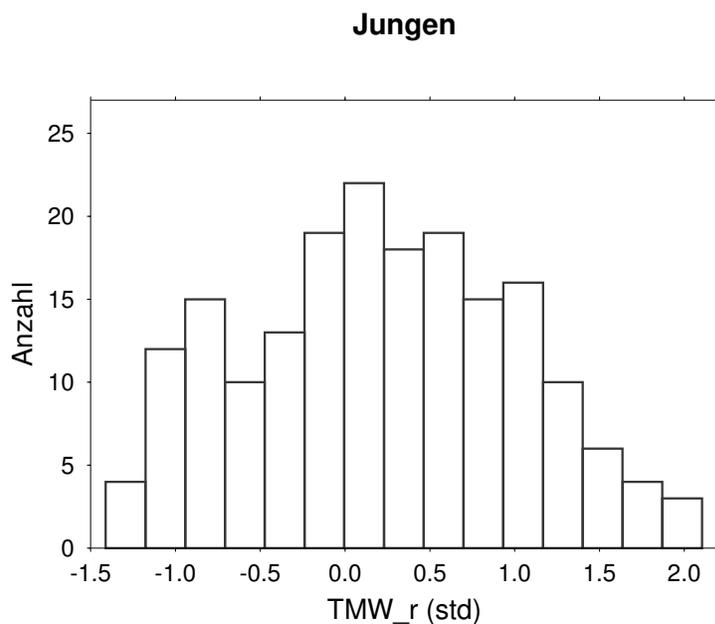
Um festzustellen, ob die Daten Normalverteilungen entsprechen, wurden die Variablen standardisiert, und im Statistik-Programm über einen t-Test für ungepaarte Stichproben mit einer normalen Zufallsverteilung gleicher Größe verglichen.

Es zeigte sich, dass keine der Variablen, weder bei den Mädchen noch bei den Jungen, normalverteilt waren. Dennoch konnten t-Tests angewandt werden, weil ab bestimmter Stichprobengröße der Test relativ robust auf Verletzungen der Normalverteilung reagiert, wenn hohe Messungen der einen Stichprobe mit hohen Messungen der anderen Stichprobe einhergehen (BORTZ, 1999). Ein f-Test der die Varianzen der verschiedenen Gruppen analog zu dem t-Test auf signifikante Unterschiede hin testet, kann nicht angewendet werden, weil für dessen Durchführung die Normalverteilung der Daten unerlässlich ist (DRAPER & SMITH, 1998).

Es gäbe auch Tests (z.B. Levene Test) für nicht normalverteilte Stichproben. Dieser Umstand ginge jedoch zu Lasten der Güte der Tests, weshalb man sie nur in unbedingt erforderlichen Fällen anwenden sollte. Stattdessen könne man auch die Inspektion grafischer Darstellungen durchführen, schlagen DRAPER & SMITH, 1998 vor.



**Abbildung 1-a:**  
Gemessene Häufigkeitsverteilung von  $TMW_r$  (standardisierte Variable) der Jungen



**Abbildung 1-b:**  
Gaußverteilung der gleichen Anzahl von Stichproben wie in Abb. 1-a

Das Erscheinungsbild von Abb. 1-a und Abb. 1-b zeigt, dass die  $TMW_r$  der Jungen keiner Normalverteilung folgt. Ähnliches wurde auch bei den anderen Variablen festgestellt.

Für die Anwendbarkeit von Regressionsmodellen waren die nicht normalverteilten Daten kein Hindernis, weil es sich bei den Regressionsmodellen um Lösungen von Minimierungsproblemen handelt, d.h. eine Gerade durch die Punktwolke der Daten gelegt wird, deren Summe der Abweichungsquadrate möglichst gering ist, unabhängig

von der Verteilung der Daten. Die Fehlerwerte sind jedoch weniger aussagekräftig, da für deren Interpretation normalverteilte Daten angenommen werden.

### Separate Behandlung von Mädchen und Jungen

Die Daten der Jungen und Mädchen wurden bezüglich ihrer kontinuierlichen Variablen in den einzelnen Altersgruppen durch t-Tests überprüft.

**Tabelle 4.8.1** - Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  bei Vergleich zwischen Mädchen und Jungen innerhalb der Altersgruppen mittels t-Test

Altersgruppe	$\overline{TMW}$	$\Delta TMW$	$TMW_r$	$TMW_l$
	Mäd - Jun	Mäd - Jun	Mäd - Jun	Mäd - Jun
6	<b>0,043</b>	0,067	<b>0,023</b>	0,131
7	<b>0,028</b>	0,473	<b>0,044</b>	<b>0,050</b>
8	0,642	0,273	0,384	0,904
9	0,131	0,692	0,145	0,155
10	0,012	0,229	<b>0,024</b>	<b>0,010</b>
11	0,259	0,113	0,136	0,458
12	0,383	0,777	0,403	0,374
13	<b>0,032</b>	0,426	<b>0,019</b>	0,053
14	<b>0,045</b>	<b>0,032</b>	<b>0,020</b>	0,117
15	<b>5,60497E-06</b>	0,818	<b>4,34329E-06</b>	<b>1,06332E-05</b>
16	<b>3,23151E-08</b>	0,562	<b>4,8223E-08</b>	<b>5,85762E-08</b>
17	<b>2,52708E-05</b>	0,830	<b>4,97231E-05</b>	<b>3,86011E-05</b>
18	<b>1,40657E-11</b>	0,204	<b>2,75869E-11</b>	<b>1,20968E-10</b>

Altersgruppe	Größe	Gewicht	BMI	OS $\emptyset$
	Mäd - Jun	Mäd - Jun	Mäd - Jun	Mittelwert Mäd - Jun
6	0,088	0,142	0,614	0,778
7	<b>0,035</b>	0,764	<b>0,010</b>	0,005
8	0,960	0,209	0,106	0,013
9	0,087	0,094	0,377	0,728

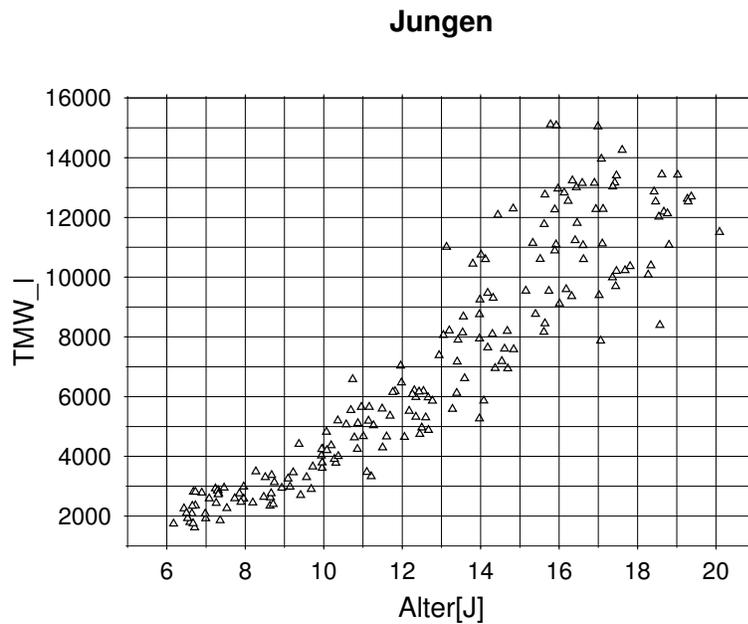
10	0,697	0,233	<b>0,021</b>	0,817
11	0,336	0,269	0,570	0,567
12	0,059	0,061	0,198	<b>0,014</b>
13	0,348	0,837	0,494	0,091
14	0,261	0,729	0,111	0,328
15	<b>6,14993E-05</b>	<b>0,002</b>	0,634	0,543
16	<b>1,07051E-05</b>	<b>0,001</b>	0,313	0,838
17	<b>9,72805E-05</b>	<b>0,024</b>	0,943	0,334
18	<b>5,86185E-07</b>	<b>1,84338E-05</b>	0,172	0,335

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass bei den Jungen und Mädchen in verschiedenen Altersgruppen und verschiedenen Merkmalen die Nullhypothese abzulehnen war, also angenommen werden konnte, dass signifikante Unterschiede vorliegen (fettgedruckte Zahlen). Sowohl im logarithmischen, als auch im eigenen Ansatz (Daten-Splitting) wurden daher die Daten der Jungen und Mädchen getrennt ausgewertet.

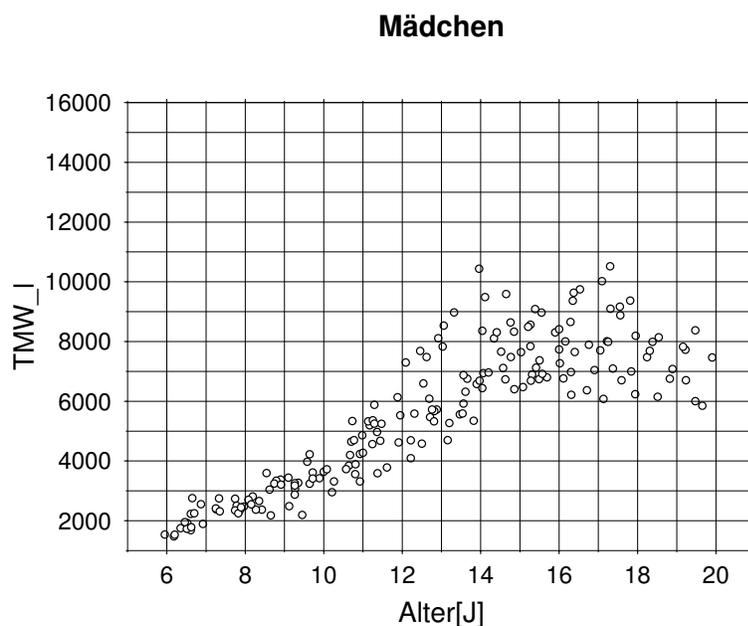
## 4.9 Eigener Ansatz: Datensplitting

### 4.9.1 Daten-Splitting

Zur Begründung des eigenen Ansatzes wurden zunächst die Scatterplots der Jungen und Mädchen Daten begutachtet, beispielhaft hier für die  $TMW_l$  über das Alter dargestellt (Abb. 2-a und 2-b).



**Abbildung 2-a:**  
Gemessene  $TMW_I$  der Jungen  
als Funktion des Alters



**Abbildung 2-b:**  
Gemessene  $TMW_I$  der  
Mädchen als Funktion des  
Alters

Aus den Abbildungen 2-a und 2-b der Scatterplots  $TMW_I$  vs. Alter für Jungen und für Mädchen ist deutlich die unterschiedliche Entwicklung zu ersehen.

Bis etwa zum 14. Lebensjahr kann man sowohl für Jungen (Abb. 2-a), als auch für Mädchen (Abb. 2-b) einen linearen Zusammenhang zwischen Alter und TMW annehmen. Die Kurvenverläufe ab etwa dem 14. Lebensjahr streuen bei den Jungen stärker unter Zunahme der Leistung, während sie bei den Mädchen eher stagnieren bei geringerer Streubreite. Da die angewandten statistischen Diagnosen und Vor-

hersagetechniken auf linearen Theorien beruhen, wurde durch Variablentransformationen versucht, lineare Verhältnisse für den gesamten Altersbereich herzustellen. Da dies nicht gelang, wurden die Kurven jeweils ab dem 15. Lebensjahr abgetrennt und unabhängig betrachtet. Es ergaben sich also vier Datenblöcke, die jeder für sich gesehen besser den Anforderungen an Linearität genügten:

Jungen bis inklusive 14. Lebensjahr

Jungen ab 15. Lebensjahr

Mädchen bis inklusive 14. Lebensjahr

Mädchen ab dem 15. Lebensjahr,

alle vier Datenblöcke wurden auf die gleiche Weise bearbeitet.

#### 4.9.2 Kriteriumsvariable

Da sich die TMW als gültige und zuverlässige Größe bewährt hat (siehe Einleitung), ist sie gut als Kriteriumsvariable geeignet. Die Kriteriumsvariable ist die Variable, die über eine zu entwickelnde Formel vorhergesagt werden soll.

Zwischen der TMW des linken und des rechten Beines bestanden bei der Mehrzahl der Altersgruppen signifikante Unterschiede, wie die Prüfung mittels t-Test für verbundene Stichproben für die verschiedenen Altersgruppen bei den Jungen und den Mädchen, ergab (siehe Tabelle 4.9.1). Daher war es sinnvoll, sowohl die  $TMW_r$  und die  $TMW_l$ , als auch den Unterschied zwischen den beiden Größen zu betrachten.

**Tabelle 4.9.1** - p-Werte der t-Tests zwischen  $TMW_l$  und  $TMW_r$  jeweils für Jungen und Mädchen

Altersgruppe	t-Tests Jungen	t-Tests Mädchen
	TMW links-rechts	TMW links-rechts
6	<b>0,016</b>	0,754
7	<b>0,002</b>	<b>0,014</b>
8	<b>0,014</b>	<b>0,021</b>
9	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>
10	0,164	<b>0,009</b>

11	<b>0,009</b>	0,268
12	<b>0,004</b>	<b>0,013</b>
13	<b>0,016</b>	0,136
14	<b>0,046</b>	0,451
15	0,734	0,257
16	<b>0,031</b>	0,164
17	0,451	0,598
18	0,745	<b>0,014</b>

### 4.9.3 Kriteriumsvariable: Auswahl der geeignetsten Transformation

Um zu überprüfen, ob man die Regressionen zur Vorhersage noch verbessern kann, wurden die Kriteriumsvariablen ( $TMW_l$ ,  $TMW_r$  und  $\Delta TMW$ ) in verschiedene Transformationen überführt (siehe Tabelle 4.9.2). Dann wurden verschiedene Regressionen mit allen ausgewählten Prädiktorvariablen, in nicht-transformierter, und in logarithmierter Form, auch mit Einbeziehung der Faktoren (diskrete Variablen) durchgeführt. Anhand der Bestimmungskoeffizienten ( $R^2$ ) der verschiedenen Regressionen konnte man sehen, ob die Transformation der jeweiligen Kriteriumsvariable, bzw. die Logarithmierung der Prädiktorvariablen eine Verbesserung erbracht hat. Die verschiedenen Bestimmungskoeffizienten ( $R^2$ ) für  $TMW_l$  bzw.  $TMW_r$  lagen bei den Jungen um die 94% und bei den Mädchen um die 93% und unterschieden sich wenn überhaupt nur in der ersten Stelle nach dem Komma. Darum wurden als unkomplizierteste Varianten die unveränderte  $TMW_l$ , bzw.  $TMW_r$  als Kriteriumsvariable ausgewählt.

**Tabelle 4.9.2** - Transformationen der Kriteriumsvariablen

getestete TMW Varianten	Transformationen des $\Delta TMW$
$TMW_r$ bzw. $TMW_l$	$TMW_r - TMW_l$
$\sqrt{TMW_r}$ bzw. $\sqrt{TMW_l}$	$200 \cdot (TMW_r - TMW_l) / (TMW_r + TMW_l)$
$\ln(TMW_r)$ bzw. $\ln(TMW_l)$	$TMW_r / TMW_l$
$\ln[\sqrt{TMW_r}]$ bzw. $\ln[\sqrt{TMW_l}]$	$\ln(TMW_r / TMW_l)$

Ebenso wurden mit den verschiedenen  $\Delta TMW$  Transformationen (siehe auch Tabelle 4.9.2) in gleicher Weise wie oben geschildert die Regressionen durchgeführt. Allerdings konnte hier bei verschiedenen Berechnungen nur der Quotient in logarithmierter Form ausprobiert werden, weil bei den anderen Formen auch negative Werte auftreten können, die nicht zu logarithmieren waren. Wenn man versuchte dieses zu umgehen indem man zum Beispiel bei der ' $\Delta TMW$  in %' Berechnung die einzelnen  $TMW$  logarithmiert, dann ist das nicht das Gleiche, als wenn der Gesamtwert logarithmiert würde. Das beste  $R^2$  lieferte der Quotient aus  $TMW_r$  und  $TMW_l$ , wobei anzumerken ist, dass alle erprobten Varianten, um die Differenz darzustellen, sehr schlecht bestimmt waren und das beste  $R^2$  lediglich einen Wert von 17,7% erreichte. Das bedeutet, mit den erhobenen Variablen war der Unterschied nicht gut vorherzusagen. Es machte daher wenig Sinn, zu versuchen den Unterschied direkt vorherzusagen, wenn lediglich 17,7 % der Daten von der Regressionsgeraden bestimmt wurden.

Um dennoch den Unterschied zwischen  $TMW_r$  und  $TMW_l$  zumindest indirekt berücksichtigen zu können, wurde aus den berechneten Werten der Probanden die Differenz ( $TMW_r - TMW_l$ ) gebildet, da ja diese beiden vorhergesagten Werte gut durch die Regressionen beschrieben wurden (s.o.).

Zusammenfassend ergaben die Datenanalysen, dass  $TMW_r$  und  $TMW_l$  als die aussagekräftigsten Kriteriumsvariablen anzusehen waren. Der Unterschied war durch die erhobenen Parameter nicht gut vorherzusagen, so dass man auf den indirekten Weg der Berechnung aus den beiden vorhergesagten Größen zurückgreifen musste.

#### 4.9.4 Prädiktorvariablen

Prädiktorvariablen sind die Variablen, die zur Vorhersage einer Kriteriumsvariablen eingesetzt werden. Wie in der Einleitung geschildert wurde, haben viele verschiedene Parameter Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Beine (z.B. Alter, Größe, Gewicht etc.). Sie wurden benutzt, um eine Formel zu entwickeln, mit der man die zu erwartende Leistung (Kriteriumsvariable) vorhersagen kann.

#### 4.9.5 Prädiktorvariablen und ihre Transformationen

Es wurden verschiedene Transformationen (siehe unten) und anschließende Standardisierung (siehe unter 4.7, Punkt 3) der kontinuierlichen Variablen vorgenommen und diese jeweils zwischen Kriteriumsvariable und Prädiktorvariable mittels Regressionsanalyse überprüft. Dieses sollte einen optimalen Fit gewährleisten. Anhand der Streuung des Fehlers und des Bestimmungskoeffizienten der Regression  $R^2$  konnte bestimmt werden, welche Transformation die beste war. Zunächst wurden alle erhobenen Parameter als mögliche Prädiktorvariablen mit einbezogen. Für die Regression der  $TMW_l$  wurde der Oberschenkeldurchmesser des linken Beines und für die  $TMW_r$  analog der Oberschenkeldurchmesser des rechten Beines verwendet.

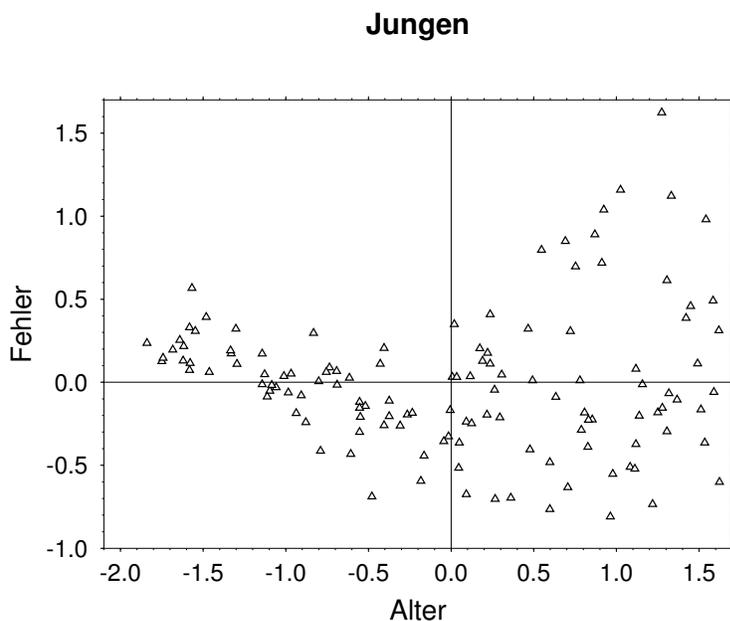
##### Transformationen der Daten

Die Aufteilung der Daten in jeweils zwei Blöcke bei den Jungen und bei den Mädchen ließ erwarten, dass die Beziehungen zwischen Kriteriumsvariable und Prädiktorvariable weitgehend linear sein würden. Um dies zu überprüfen, wurde getestet, ob Variablentransformationen der Prädiktorvariablen (Logarithmus, Quadratwurzel und Quadrierung (AFIFI & CLARK, REPRINTED 1998) eine Verbesserung der linearen Regression zwischen je einer Prädiktorvariablen und der Kriteriumsvariablen erzielen würde. Die jeweilige Kriteriumsvariable ( $TMW_r$ , bzw.  $TMW_l$ ) wurde nur in ihrem ursprünglichen Zustand und in logarithmierter Form verwendet.

Alle benutzten Variablen und ihre Transformationen wurden in standardisierter Form verwendet, damit die Daten selber und die  $R^2$  miteinander vergleichbar waren.

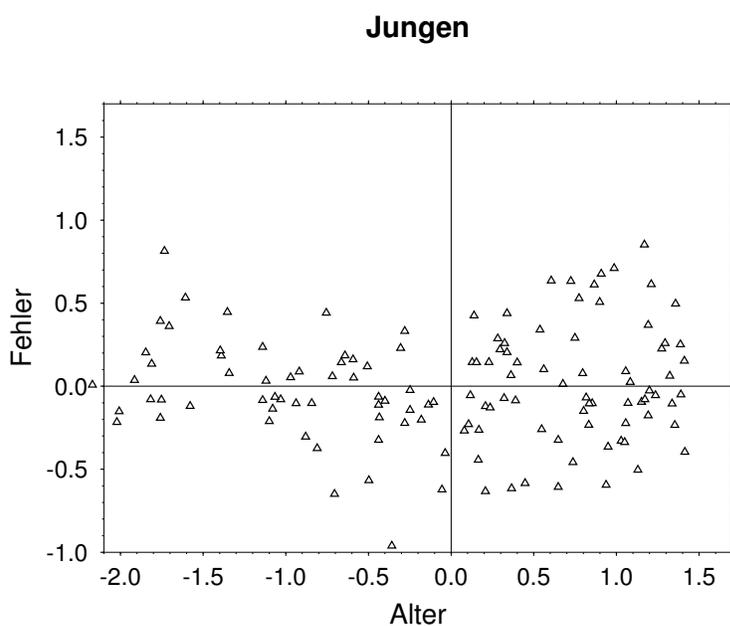
Weiterhin war es wichtig, dass die Fehler der Vorhersage möglichst gleichmäßig streuen (DRAPER & SMITH, 1998), dieses war Hauptkriterium für die Auswahl der besten Transformation, ebenso wie die Steigerung des  $R^2$ . Um die Streuung beurteilen zu können, wurden die Fehler der jeweiligen Transformation über der Variablen grafisch dargestellt, die Transformationskombination, bei der der Fehler am gleichmäßigsten streute, wurde ausgewählt. War optisch kein Unterschied zwischen einzelnen Transformationen ersichtlich, wurde die Transformation mit dem größeren  $R^2$  genommen, unterschieden sich die  $R^2$  in % jedoch erst in der Stelle nach

dem Komma, wurde versucht, möglichst keine, bzw. einheitliche Transformationen durchzuführen. Dieses wird hier beispielhaft einmal grafisch dargestellt.



**Abbildung 3-a:**

Fehler der Regression von  $TMW_l$  über dem Alter in standardisierten Variablen, ohne Variablentransformation



**Abbildung 3-b:**

Fehler der Regression von  $TMW_l$  über dem Alter in standardisierten Variablen, mit Variablentransformation logarithmiertes Alter, logarithmierte  $TMW_l$

Bei Vergleich der beiden Grafiken ist erkennbar, dass der Fehler der transformierten Form wesentlich gleichmäßiger streute. Auch das  $R^2$  war mit 88,8 % größer als das  $R^2$  der nicht-transformierten Form (82,3 %).

Ausschlaggebend für die Entscheidung, ob die logarithmierte oder die untransformierte TMW vorhergesagt werden sollte, war, bei welcher Form mehr Transformationen das höhere  $R^2$  erreichten.

Nach entsprechenden Vergleichen der Grafiken und der  $R^2$  der verschiedenen Transformationen wurden die geeignetsten Transformationen der Variablen zur Vorhersage von  $TMW_l$  bzw.  $TMW_r$  ausgewählt:

Jungen bis inklusive 14 Jahre:

- logarithmierter  $TMW$ -Wert (links, bzw. rechts)
- logarithmiertes Alter
- logarithmierte Größe
- logarithmiertes Gewicht
- logarithmierter Body Mass Index
- logarithmierter Oberschenkeldurchmesser für das jeweilige Bein

Jungen ab 15 Jahre:

- logarithmierter  $TMW$ -Wert (links, bzw. rechts)
- logarithmiertes Alter
- logarithmierte Größe
- logarithmiertes Gewicht
- logarithmierter Body Mass Index
- logarithmierter Oberschenkeldurchmesser für das jeweilige Bein

Mädchen bis inklusive 14 Jahre:

- logarithmierter  $TMW$ -Wert (links, bzw. rechts)
- Alter nicht transformiert
- Größe nicht transformiert
- logarithmiertes Gewicht
- Body Mass Index nicht transformiert
- logarithmierter Oberschenkeldurchmesser für das jeweilige Bein

Mädchen ab 15 Jahre:

TMW-Wert (links, bzw. rechts) nicht transformiert

Alter nicht transformiert

Größe nicht transformiert

Gewicht nicht transformiert

Body Mass Index nicht transformiert

Oberschenkeldurchmesser für das jeweilige Bein nicht transformiert

#### 4.9.6 Multiple Regression

Mit den kontinuierlichen Variablen (in ihrer besten Transformation und standardisiert) und den Faktoren (Händigkeit → Einteilung in die drei Gruppen 1, 2, 3 anhand des Lateralitätsquotienten; Beinigkeit → Steigbein, Schussbein, Absprungbein und Hüpfbein; Kodierungen siehe Tabelle 4.6.1 oben) wurde eine multiple lineare Regression durchgeführt. Ausserdem wurde getrennt eine Regression nur mit den kontinuierlichen Variablen und eine Regression nur mit den Faktoren (Händigkeit und Beinigkeit) durchgeführt, um festzustellen, ob die Faktoren für die Endformel relevant sind.

Nach Durchführung einer multiplen Regression für die einzelnen Datenblöcke mit ihren jeweils besten Transformationen ergaben sich folgende Bestimmungskoeffizienten  $R^2$  für die  $TMW_i$ :

Jungen bis inklusive 14 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 93,4 %

ohne Faktoren: 93,0 %

Jungen ab 15 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 59,6 %

ohne Faktoren: 57,8 %

Mädchen bis inklusive 14 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 93,2 %

ohne Faktoren: 93,1 %

Mädchen ab 15 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 77,8 %

ohne Faktoren: 73,3 %

Und für die  $TMW_r$ :

Jungen bis inklusive 14 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 92,6 %

ohne Faktoren: 92,1 %

Jungen ab 15 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 50,1 %

ohne Faktoren: 47,0 %

Mädchen bis inklusive 14 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 92,8 %

ohne Faktoren: 92,5 %

Mädchen ab 15 Jahre:

$R^2$  mit allen Variablen: 77,4 %

ohne Faktoren: 74,4 %

Es war ersichtlich, dass die Faktoren in keinem der Datenblöcke mehr als 5% zur Verbesserung des Bestimmungskoeffizienten  $R^2$  beitrugen, sie wurden also im weiteren nicht mehr berücksichtigt.

Nachdem der Einfluss der Faktoren vernachlässigt werden kann, bleiben noch die kontinuierlichen Variablen. Es ist bekannt, dass beim Fitten mit Variablen, die nur zur Fehlerstatistik beitragen, nicht aber das Ergebnis beeinflussen, Genauigkeit verloren gehen kann. Es wurde daher ein 'screening' durchgeführt, um die einflussreichsten Variablen zu bestimmen. Mit diesem Minimalsatz an Daten wurde erneut eine Regression durchgeführt und mit den so erhaltenen Koeffizienten die Schlussformel erstellt. Das 'screening' hätte bei einer gemischten Regression aus Faktoren und kontinuierlichen Variablen nicht angewendet werden können, weil die Faktoren beim 'screening' als normale Variablen behandelt worden wären und so kein vernünftig zu bewertendes Ergebnis entstanden wäre.

Bei allen vier Datenblöcken konnte das Alter, die Größe und das Gewicht als minimal Prädiktorsatz ausgewählt werden, teilweise wurde eine Verschlechterung des  $R^2$  um ein paar Punkte in der ersten Stelle nach dem Komma in Kauf genommen, damit die Prädiktorzahl auf drei reduziert und einheitliche Prädiktoren ausgewählt werden konnten.

Mit den übrig gebliebenen Prädiktorvariablen wurde erneut eine Regression durchgeführt, die Standardisierung und Transformation aufgelöst und eine Endformel erstellt.

Es ergaben sich folgende Bestimmungskoeffizienten der Endregression für die  $TMW_i$ :

Mädchen bis inklusive 14 Jahre: 90,8 %

Mädchen ab 15 Jahre: 71,8 %

Jungen bis inklusive 14 Jahre: 92,9 %

Jungen ab 15 Jahre: 55,2 %

und für die  $TMW_r$ :

Mädchen bis inklusive 14 Jahre: 91,6 %

Mädchen ab 15 Jahre: 74,1 %

Jungen bis inklusive 14 Jahre: 92,0 %

Jungen ab 15 Jahre: 48,1 %

Da bei ersten Berechnungen die Vorhersagewerte nach dem eigenen Ansatz sehr von den gemessenen Werten zu differieren schienen, wurde nach einem optimalen Faktor gesucht, der die Güte der Fits nochmals verbesserte. Durch Austestung ergaben sich folgende Faktoren, die den Formeln vorangestellt wurden (Kriterium für die Faktorenauswahl: Verringerung des Mittelwerts der Abweichung):

für die Mädchen:

Formeln  $TMW_i$ : 0,81

Formeln  $TMW_r$ : 0,80

für die Jungen:

Formeln  $TMW_i$ : 1,10

Formeln  $TMW_r$ : 1,11

## 4.10 Ansatz der Literatur: Anwendung nur logarithmierter Daten

In dem zweiten Auswertungsansatz wurde, wie in der Literatur (NEVILL *et al.*, 1992, NEVILL & HOLDER, 1995, NEVILL *et al.*, 1998, WELSMAN, 1997) vorgeschlagen, mit logarithmierten Daten gearbeitet. Auch hier wurden Regressionen für Jungen und Mädchen getrennt durchgeführt (mit den logarithmierten TMW Werten und logarithmierten Variablen, die Faktoren waren von der Logarithmierung ausgenommen und wurden unverändert bei den Regressionen eingesetzt). Die Bestimmungskoeffizienten der Regression mit Faktoren wurden denen ohne Faktoren gegenübergestellt:

$TMW_l$ :

Alle Jungen:

$R^2$  mit allen Variablen: 95,8 %  
ohne Faktoren: 95,8 %

Alle Mädchen:

$R^2$  mit allen Variablen: 93,8 %  
ohne Faktoren: 93,6 %

$TMW_r$ :

Alle Jungen:

$R^2$  mit allen Variablen: 95,3 %  
ohne Faktoren: 95,3 %

Alle Mädchen:

$R^2$  mit allen Variablen: 93,4 %  
ohne Faktoren: 93,3 %

Es ist ersichtlich, dass die Faktoren auch nur untergeordnet bis gar nicht zur Verbesserung der Regressionsgleichung beitragen. Sie wurden deshalb im weiteren nicht mehr berücksichtigt. Dadurch erhielt man die Möglichkeit, wie oben beschrieben das 'screening' anzuwenden. Bei den Mädchen und Jungen konnte jeweils ebenfalls das

Alter, die Größe und das Gewicht als Dreier-Kombination für die Endregression ausgewählt werden, eine Verminderung des Bestimmungskoeffizienten in der Stelle nach dem Komma wurde in Kauf genommen, um die Anzahl der Prädiktorvariablen zu senken. Es gab sowohl bei den Jungen, als auch bei den Mädchen mehrere 'Dreier-Variablen'-Konstellationen mit dem gleichen  $R^2$ . Die gewählte Kombination erschien aber am sinnvollsten, weil bei den anderen beiden Möglichkeiten jeweils der BMI einmal das Gewicht und einmal die Größe ersetzte. Der BMI stellt jedoch eine zusammengesetzte Variable aus diesen beiden Werten dar und die Anwendung der Endformel würde erleichtert, wenn man nicht nach Erhebung der Größe und des Gewichts erst noch den BMI ausrechnen müsste, bevor man ihn in die Endformel einsetzen könnte. Mit den verbliebenen Prädiktorvariablen wurde ebenfalls eine Endregression durchgeführt, mit deren Koeffizienten nach Auflösung der Standardisierung und Entlogarithmierung die Endformeln erstellt wurden.

Es ergaben sich folgende Bestimmungskoeffizienten  $R^2$  der Endregression

für die  $TMW_l$ :

alle Jungen: 95,7 %

alle Mädchen: 93,5 %

und für die  $TMW_r$ :

alle Jungen: 95,2 %

alle Mädchen: 93,2 %

#### 4.11 Vergleich der beiden Ansätze: Datensplitting vs. Logarithmierung

Um festzustellen welcher der beiden Ansätze das bessere Ergebnis erzielt, wurden für jeden Probanden anhand der Endformeln aus den beiden Ansätzen jeweils ein TMW links und ein TMW rechts Wert berechnet. Die so vorhergesagten Werte wurden von den tatsächlich geleisteten Werten der Probanden abgezogen. Es entstanden somit für jeden Proband zwei mal zwei Differenzen (jeweils für links und für rechts), die dann über einen gepaarten t-Test miteinander verglichen werden konnten. Hier

ergaben die p-Werte

für die  $TMW_l$ :

Mädchen: 0,820

Jungen: 0,149

Und für die  $TMW_r$ :

Mädchen: 0,938

Jungen: 0,001

An den p-Werten war zu erkennen, dass sich die beiden Ansätze mit Ausnahme der Vorhersage der TMW rechts bei den Jungen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Da die Mittelwerte der Abweichungen möglichst Null sein sollten und die Standardabweichungen möglichst klein, wurden diese Werte der beiden Ansätze miteinander verglichen:

### **Eigener Ansatz (Datensplitting)**

$TMW_l$ :

Mädchen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 17,30

Mädchen: Mittelwert der Standardabweichungen: 1260

Jungen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 30,90

Jungen: Mittelwert der Standardabweichungen: 976

$TMW_r$ :

Mädchen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 30,01

Mädchen: Mittelwert der Standardabweichungen: 1163

Jungen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 28,63

Jungen: Mittelwert der Standardabweichungen: 1010

### **Ansatz aus der Literatur (Logarithmierung der Daten)**

$TMW_l$ :

Mädchen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 31,23

Mädchen: Mittelwert der Standardabweichungen: 688

Jungen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 52,48

Jungen: Mittelwert der Standardabweichungen: 952

$TMW_r$ :

Mädchen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 25,57

Mädchen: Mittelwert der Standardabweichungen: 645

Jungen: Mittelwert der Abweichungen (gemessener - berechneter Wert): 52,19

Jungen: Mittelwert der Standardabweichungen: 997

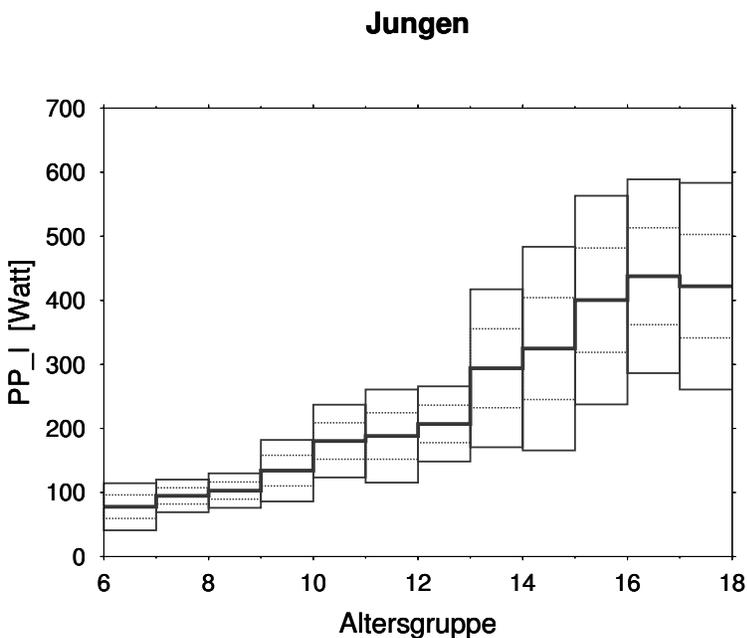
Der überwiegende Teil der Mittelwerte aus den Abweichungen sind nach dem eigenen Ansatz näher an Null, jedoch die Standardabweichungen sind alle bei dem Ansatz nach der Literatur geringer. Da sich die beiden Ansätze, von der  $TMW_r$  der Jungen einmal abgesehen, nicht signifikant voneinander unterscheiden, wurde ab hier der eigene Ansatz verlassen und nur noch mit dem in der Literatur vorgeschlagenen Ansatz fortgefahren (Verwendung von zwei Datenblöcken Jungen/Mädchen und Logarithmierung der Daten). Dieser Ansatz ist aufgrund der nur in Jungen und Mädchen unterteilten Datenblöcke übersichtlicher und dadurch anwenderfreundlicher, als der eigene Ansatz und ausserdem sprechen die niedrigeren Standardabweichungen dafür, dass die einzelnen Abweichungen im ganzen näher an den gemessenen Werten liegen.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Grafische Darstellung der Leistungsdaten

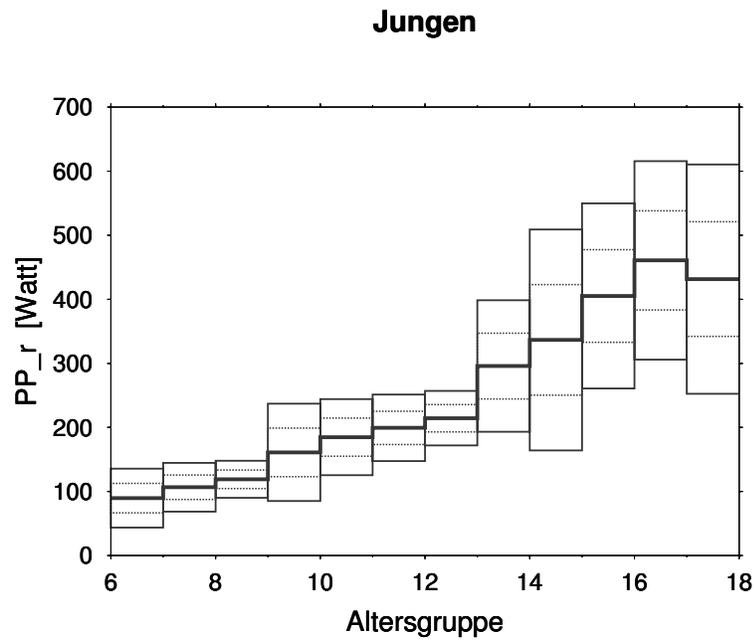
Die folgenden Abbildungen zeigen die Verläufe der Leistungen (Peak Power und Total mechanical work) der Jungen und der Mädchen jeweils über das Alter aufgetragen. Es ist sowohl bei den Jungen, als auch bei den Mädchen ein Zuwachs der Leistung mit zunehmendem Alter, als auch eine breitere Streuung der Leistung etwa ab der Pubertät zu verzeichnen. Die Leistungsdifferenz zwischen linkem und rechtem Bein nimmt mit fortschreitendem Alter tendenziell eher ab.

#### Grafiken der Jungen

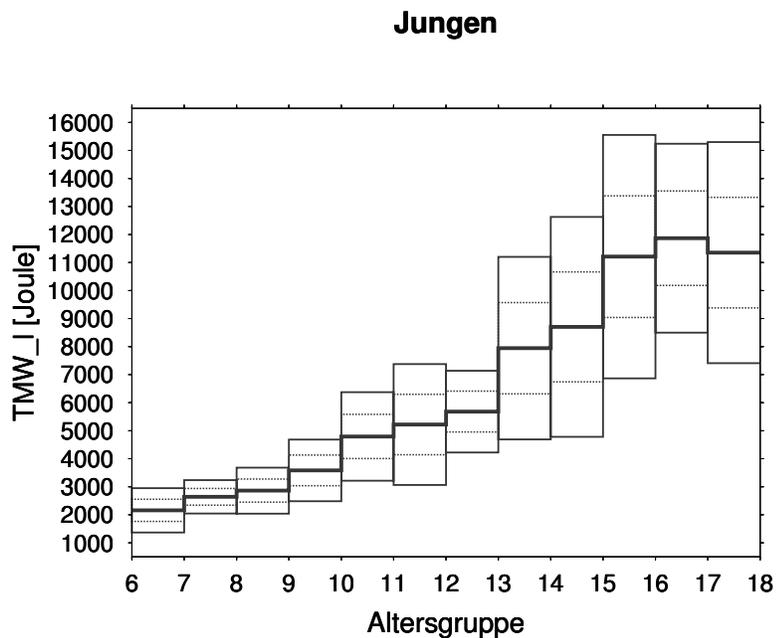


**Abbildung 4-a:**

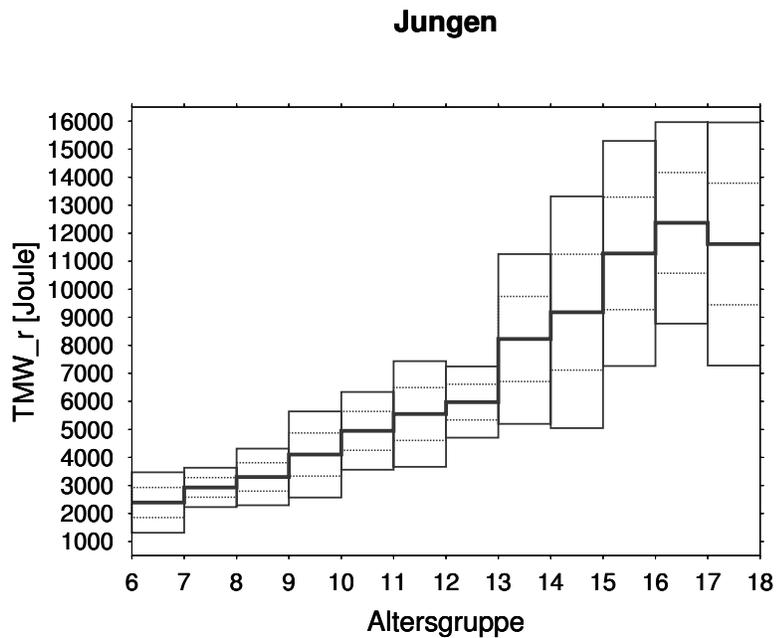
Mittelwerte der Peak Power links (PP\_l) für Jungen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 4-b:**

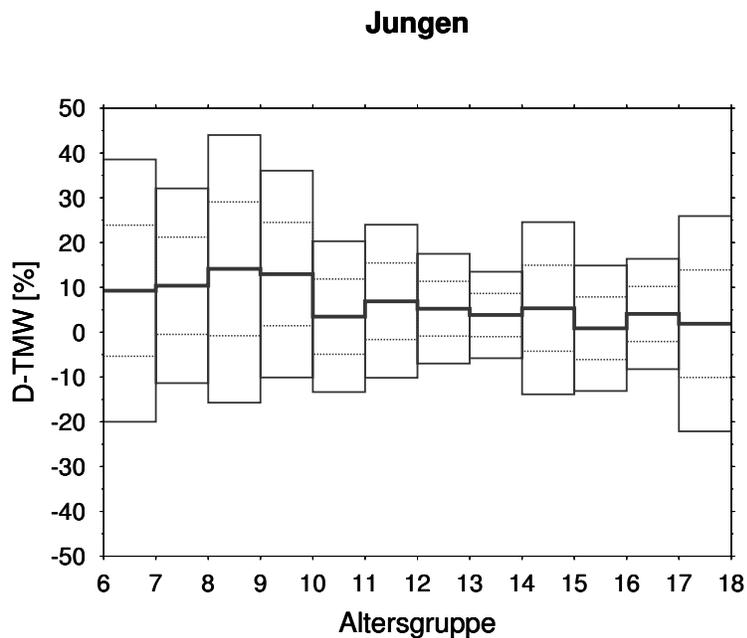
Mittelwerte der Peak Power rechts ( $PP_r$ ) für Jungen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 4-c:**

Total Mechanical Work links ( $TMW_l$ ) für Jungen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

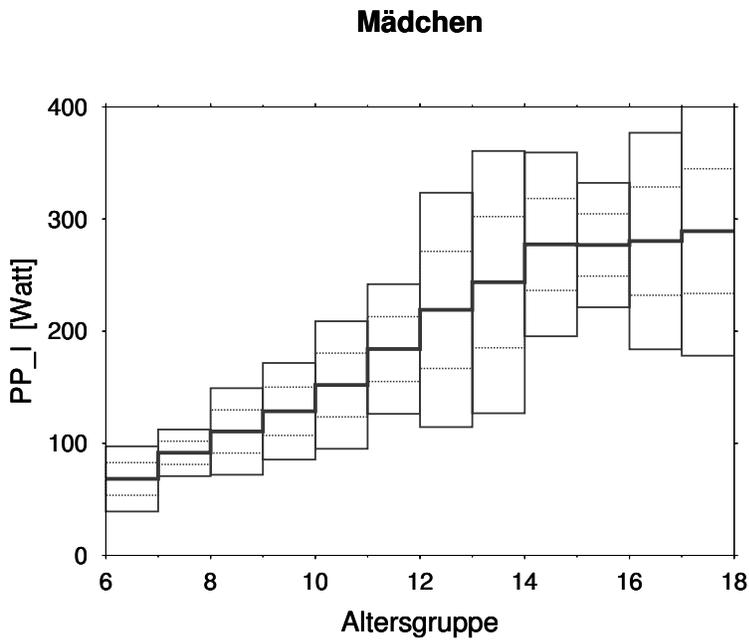
**Abbildung 4-d:**

Total Mechanical Work rechts (TMW<sub>r</sub>) für Jungen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

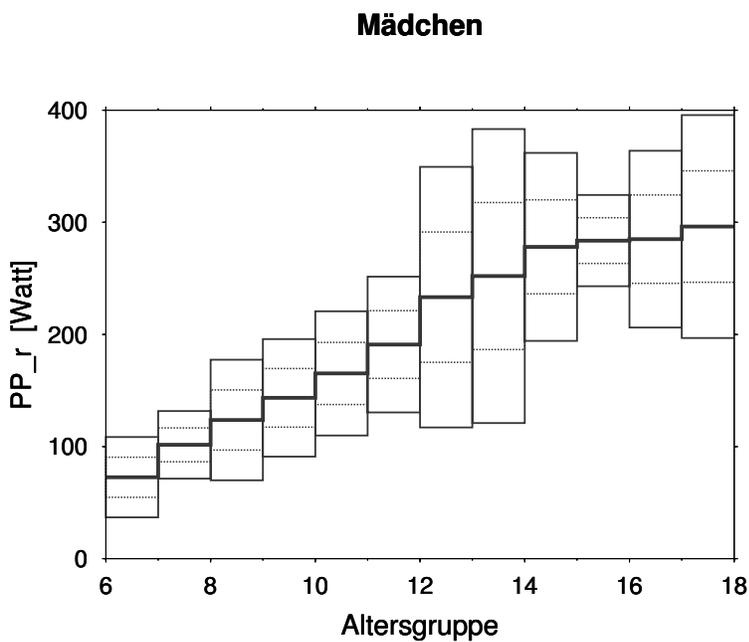
**Abbildung 4-e:**

Total Mechanical Work Differenz zwischen rechtem und linkem Bein ( $\Delta TMW$ ) in % für Jungen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

## Grafiken der Mädchen

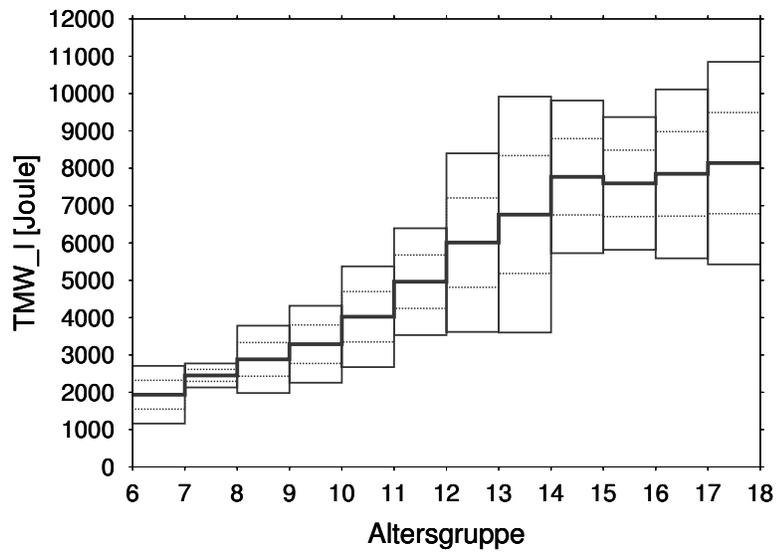
**Abbildung 5-a:**

Mittelwerte der Peak Power links (PP<sub>l</sub>) für Mädchen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 5-b:**

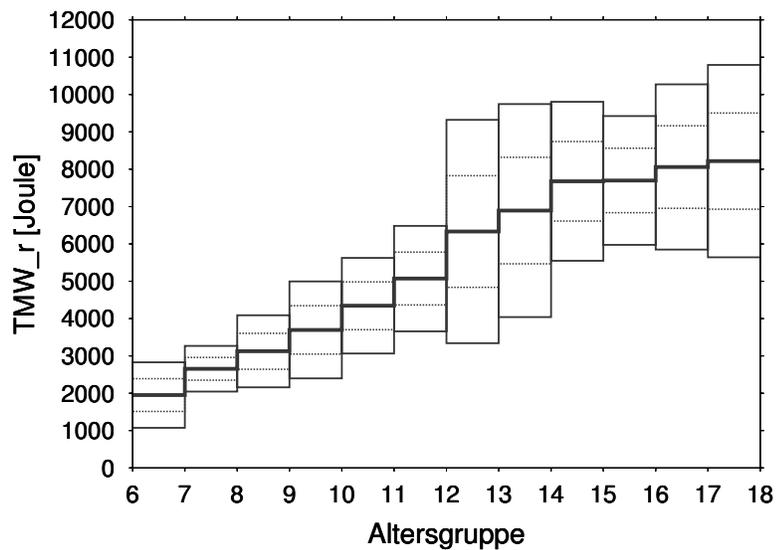
Mittelwerte der Peak Power rechts (PP<sub>r</sub>) für Mädchen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

## Mädchen

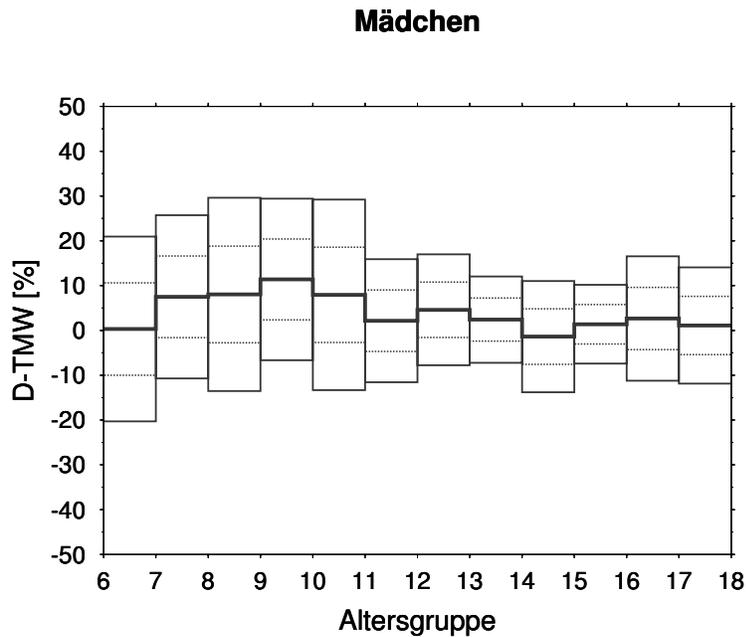
**Abbildung 5-c:**

Total Mechanical Work links (TMW\_l) für Mädchen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

## Mädchen

**Abbildung 5-d:**

Total Mechanical Work rechts (TMW\_r) für Mädchen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 5-e:**

Total Mechanical Work Differenz zwischen rechtem und linkem Bein ( $\Delta TMW$ ) in % für Mädchen nach Altersgruppen dargestellt. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

## 5.2 Endformeln der Jungen

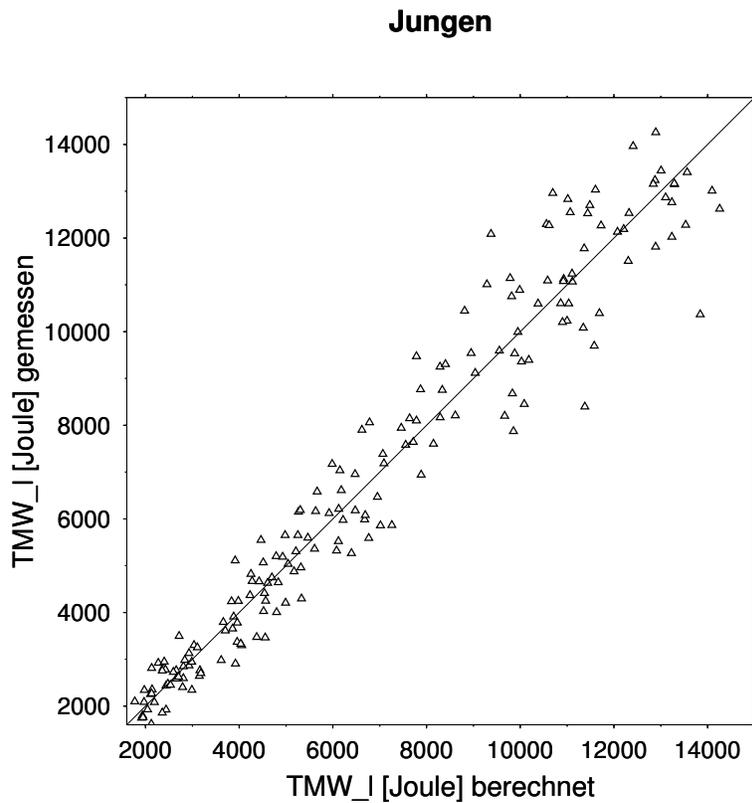
Wie oben beschrieben, wurden die Endformeln für die  $TMW_r$  und die  $TMW_l$  ohne Faktoren und mit einer 'Dreier-Variablen' Auswahl erstellt. Nach Einsetzen der Koeffizienten, Rücktransformation der Logarithmen und Aufhebung der Standardisierung der Daten ergaben sich die folgenden Endformeln für Jungen:

$$TMW_l = 0,3262 \cdot A^{0,64466} \cdot S^{1,157} \cdot W^{0,62829}$$

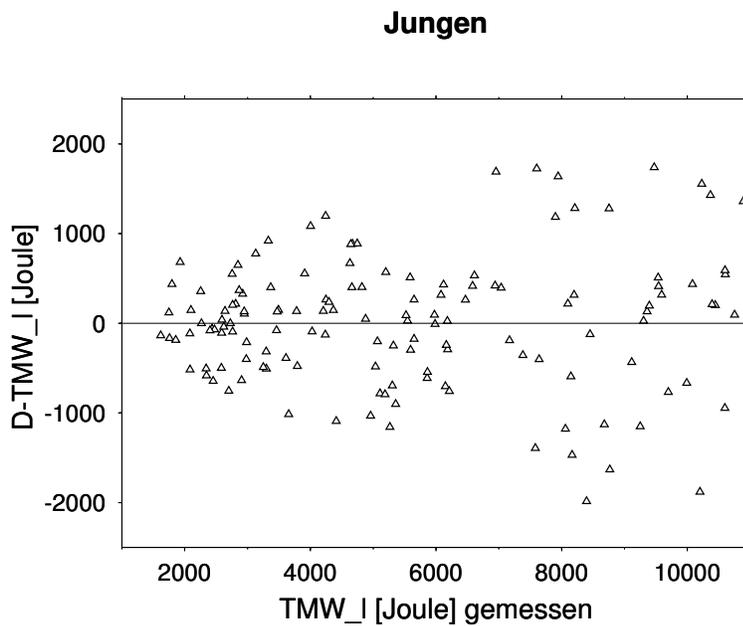
$$TMW_r = 0,42299 \cdot A^{0,59513} \cdot S^{1,1846} \cdot W^{0,57084}$$

( $A$  = Alter,  $S$  = Größe,  $W$  = Gewicht).

In den beiden folgenden Grafiken sind beispielhaft für die  $TMW_l$  die aus der Regression resultierenden Plots dargestellt. Die Grafiken sehen für die  $TMW_r$  und der Fehler über Alter, Größe oder Gewicht aufgetragen ähnlich aus.



**Abbildung 6-a:**  
Total Mechanical Work links ( $TMW_I$ ): gemessene Werte über berechnete Werte aufgetragen für Jungen



**Abbildung 6-b:**  
Differenz (Fehler der Regression) zwischen berechneten und gemessenen Total Mechanical Work links ( $TMW_I$ ) über der gemessenen Total Mechanical Work links ( $TMW_I$ ) aufgetragen für Jungen

### 5.3 Endformeln der Mädchen

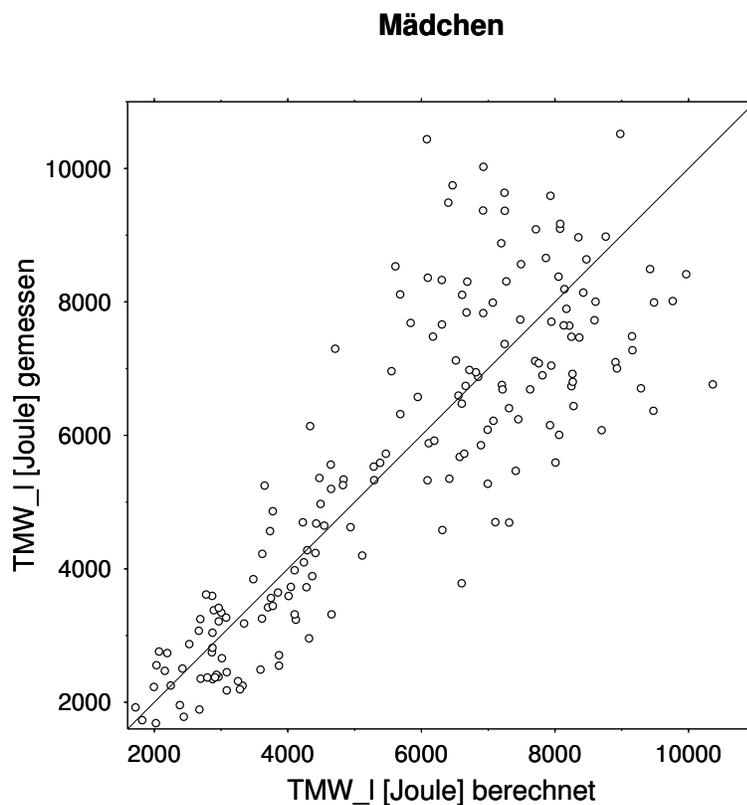
Mit den logarithmierten Mädchendaten wurde analog verfahren. Mit den Koeffizienten aus der jeweiligen die Kriteriumsvariable betreffenden Regression ergaben sich nach Rücktransformation der Logarithmen und Aufhebung der Standardisierung der Daten folgende Endformeln für Mädchen:

$$TMW_l = 0,71702 \cdot A^{0,28975} \cdot S^{1,019} \cdot W^{0,80984}$$

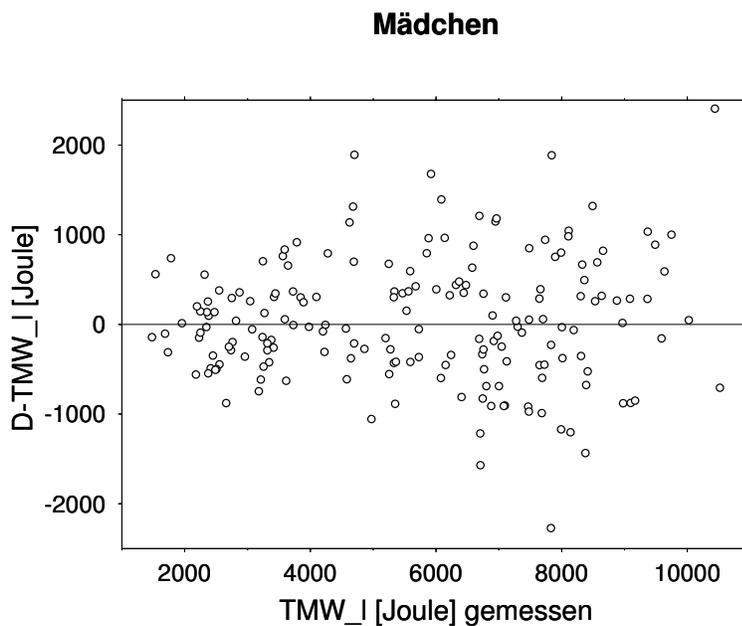
$$TMW_r = 0,13873 \cdot A^{0,24083} \cdot S^{1,4948} \cdot W^{0,65357}$$

( $A$  = Alter,  $S$  = Größe,  $W$  = Gewicht).

Auch hier werden die gleichen Grafiken (beispielhaft für die  $TMW_l$ ) wie bei den Jungen zur Veranschaulichung abgebildet. Die anderen Grafiken sehen ebenfalls ähnlich aus.



**Abbildung 7-a:**  
Total Mechanical Work links  
( $TMW_l$ ): gemessene Werte  
über berechnete Werte aufge-  
tragen für Mädchen

**Abbildung 7-b:**

Differenz (Fehler der Regression) zwischen berechneten und gemessenen Total Mechanical Work links ( $TMW_l$ ) über der gemessenen Total Mechanical Work links ( $TMW_l$ ) aufgetragen für Mädchen

In den Grafiken sowohl der Mädchen (Abb. 7-a), als auch der Jungen (Abb. 6-a) ist zu sehen, dass die Werte einigermaßen um die Hauptdiagonale streuen. Ebenso sind die Fehler über den gemessenen Werten gleichmäßig verteilt (Abb. 6-b und 7-b).

#### 5.4 Berechnung der Konfidenzintervalle

Damit die Formeln in der Praxis angewendet werden können, musste ein Bereich festgelegt werden, wie weit der gemessene Wert von dem vorhergesagten Wert abweichen darf, um trotzdem noch als normal eingestuft zu werden. In den Grafiken, wo der gemessene Wert über dem berechneten Wert aufgetragen ist, kann man sehen, dass die Streuung im höheren Alter stärker ist. Das bedeutet, wenn ein Kind jünger ist, kann eine Abweichung der Leistung der beiden Beine voneinander unter Umständen schon pathologisch sein, die im höheren Alter noch im Normalbereich liegt. Darum konnte nicht für alle Altersgruppen der gleiche Abweichungsbereich gelten. Um dem Rechnung zu tragen, wurde für jede einzelne Altersgruppe (6-18) ein Mittelwert ( $m$ ) aus den Differenzen zwischen gemessenem und berechnetem Wert erstellt. Ausserdem wurde für jeden Probanden ein Fehler aus (gemessener - berechneter Wert)<sup>2</sup> berechnet und dieser Fehler ebenfalls über die einzelnen Altersgruppen gemittelt. Aus den mittleren Fehlerquadraten wurde die Wurzel gezogen. Die so er-

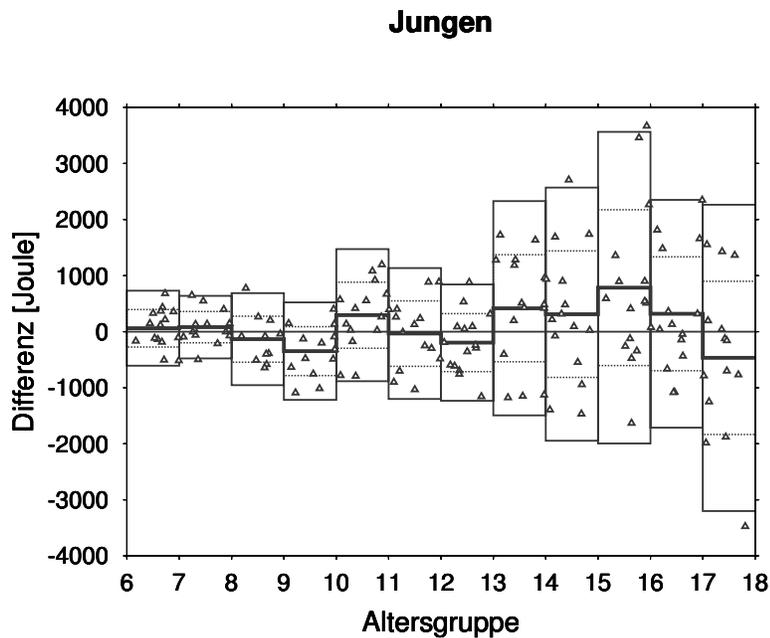
haltene Zahl bildete die Abweichung ( $\sigma$ ), die gemeinsam mit den Mittelwerten der Differenzen ( $m$ ) für die Begrenzung des 'Normalbereiches' herangezogen wurden. In den Grafiken sind die Mittelwerte selber und jeweils  $\pm\sigma$ , und  $\pm 2\sigma$  dargestellt.

Das bedeutet, in den Abb. 8-a bis 8-c und 9-a bis 9-c kann man ablesen, ob die Differenzen der Testwerte eines Patienten zu den theoretisch vorhergesagten Werten noch im Normbereich liegen. Auch besteht die Möglichkeit, dieses in den Tabellen im Anhang nachzuschlagen. Um zu zeigen, wie gut die Messwerte der Kinder, anhand derer die Formeln entwickelt wurden, in diesen Kurven liegen, wurden die Differenzen in die Kurven geplottet.

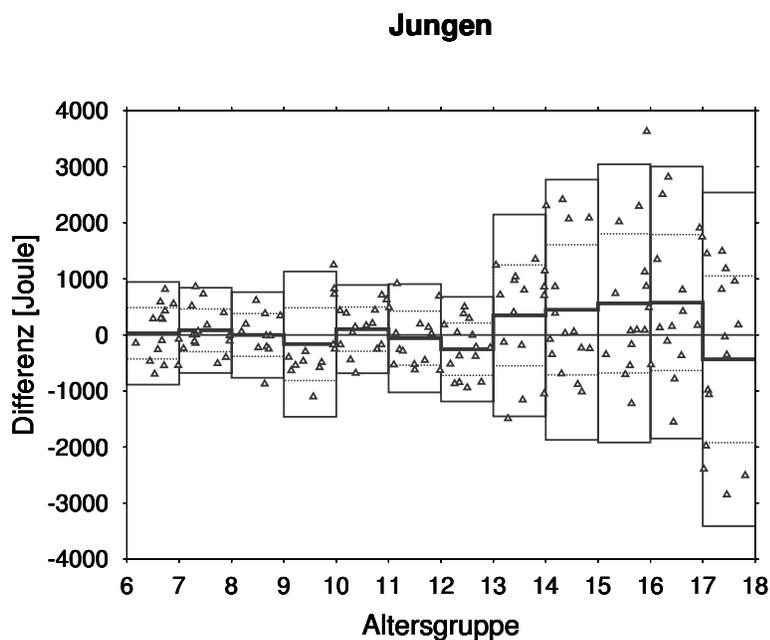
Um auch den Differenzwert zwischen linkem und rechtem Bein beurteilen zu können, wurde ein theoretisches  $\Delta TMW$  berechnet. Da es sinnvoll erschien, den Unterschied in Relation zur Gesamtleistung zu sehen, wurde die Differenz zwischen rechts und links in Prozent bezogen auf den dazugehörigen theoretischen  $TMW$ -Mittelwert berechnet. Ebenso musste aus den gemessenen Werten des Patienten ein  $\Delta TMW$  in Prozent bezogen auf den tatsächlichen Mittelwert aus  $TMW_l$  und  $TMW_r$  berechnet werden:  $\Delta TMW$  in % =  $200 \cdot (TMW_r - TMW_l) / (TMW_r + TMW_l)$ .

Es wurde wieder so verfahren wie oben beschrieben, um eine Grafik, bzw. eine Tabelle (siehe Anhang), wo man die erlaubten Abweichungen vom theoretisch berechneten Wert nachschlagen kann, erstellen zu können. Auch hier wurden zur Veranschaulichung die Abweichungen der Probanden in die Grafik geplottet.

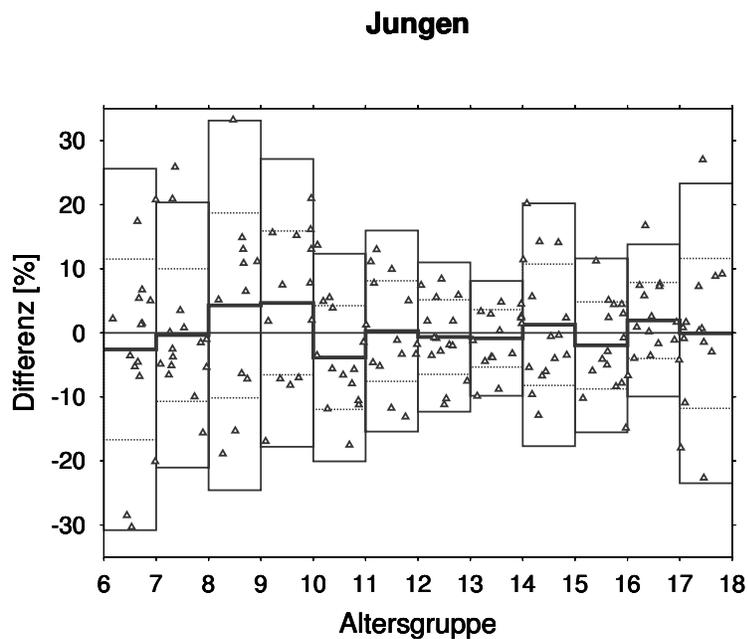
## Grafiken der Jungen

**Abbildung 8-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_l](\text{gemessen}) - [TMW_l](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 8-b:**

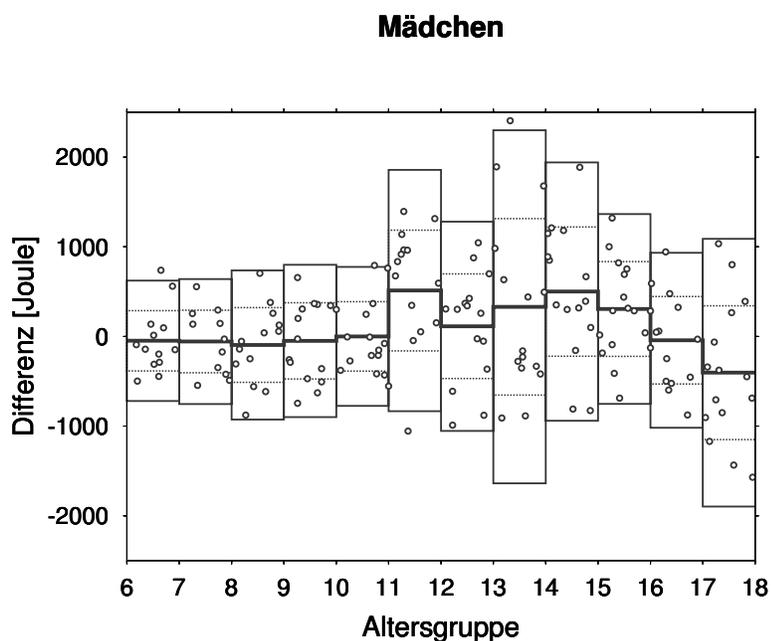
Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 8-c:**

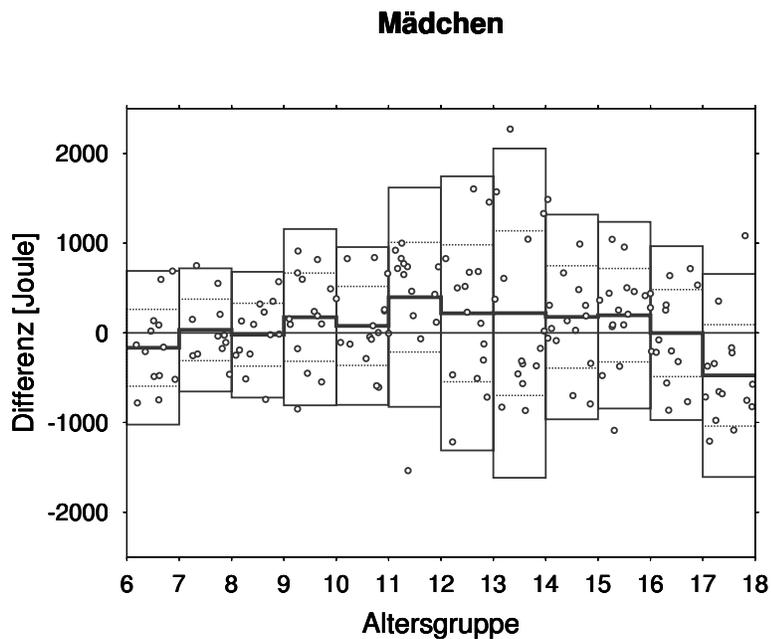
Konfidenzintervall für die Differenz in %:  
 $\Delta TMW$ (gemessen) -  $\Delta TMW$ (berechnet) nach Altersgruppen für Jungen.  
 Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

Die Konfidenzintervalle der Abb. 8-a bis 8-c geben die Grenzen an, innerhalb derer die Werte der Patienten liegen dürfen, um nicht als pathologisch eingestuft zu werden. In die Kurven wurden die Differenzen (gemessene Werte - berechnete Werte) der männlichen Probanden geplottet, anhand derer die Formeln erstellt wurden.

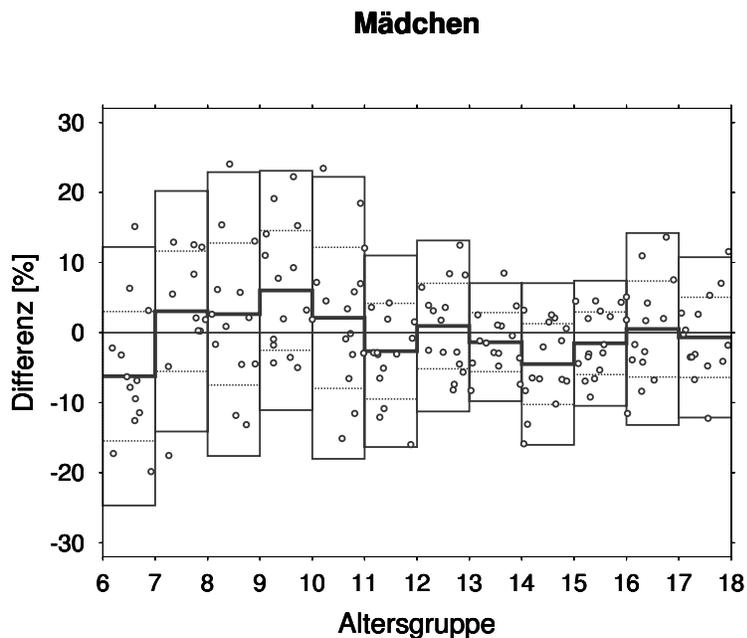
### Grafiken der Mädchen

**Abbildung 9-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_l]$ (gemessen) -  $[TMW_l]$ (berechnet) nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 9-b:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 9-c:**

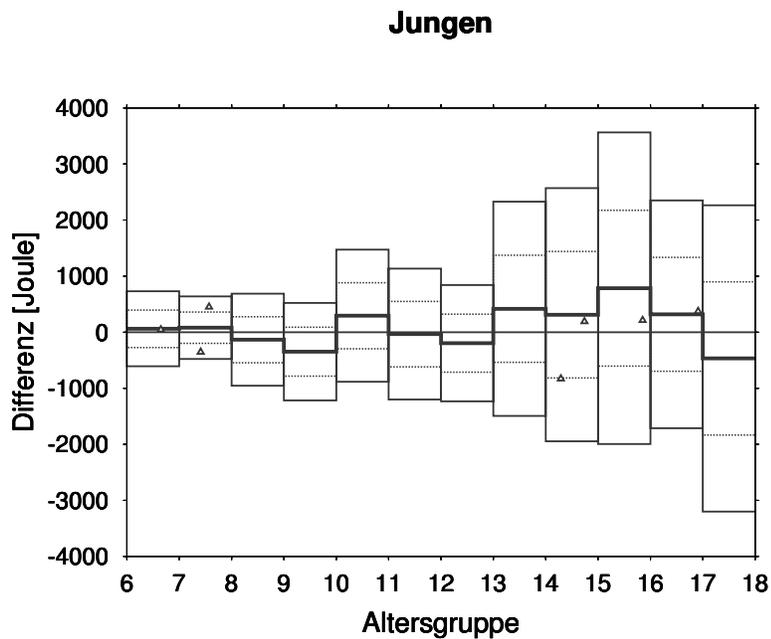
Konfidenzintervall für die Differenz in %:  $\Delta TMW(\text{gemessen}) - \Delta TMW(\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

Die Abb. 9-a bis 9-c zeigen, analog zu den oben beschriebenen Abbildungen, das gleiche für die Mädchen. Auch hier wurden die Differenzen (gemessene Werte - berechnete Werte) der weiblichen Probanden geplottet, anhand derer die Formeln erstellt wurden.

## 5.5 Validierung der Endformeln

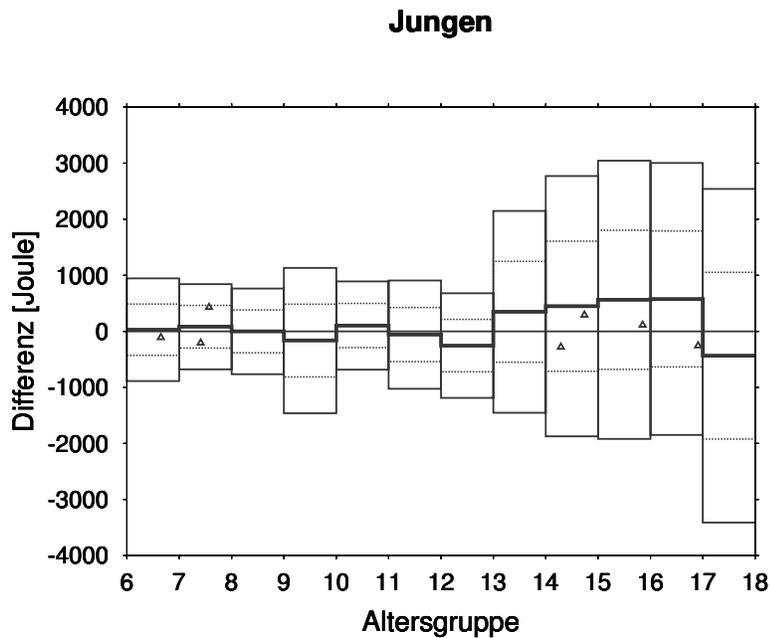
Für die Erstellung der oben genannten Gleichungen zur Vorhersage der Leistung wurden nur die Daten von max. 15 Jungen und 15 Mädchen pro Altersgruppe zugelassen. In einigen Altersgruppen standen Daten von Jungen und/oder Mädchen (ebenfalls innerhalb der 3. bis 97. Perzentile bezüglich Größe und Gewicht liegend) zur Verfügung, die nicht zur Formelerstellung verwandt worden sind. Sie konnten zur Überprüfung der Güte der Formeln herangezogen werden und wurden in die untenstehenden Grafiken der Konfidenzintervalle geplottet.

### Validierungsgrafiken Jungen

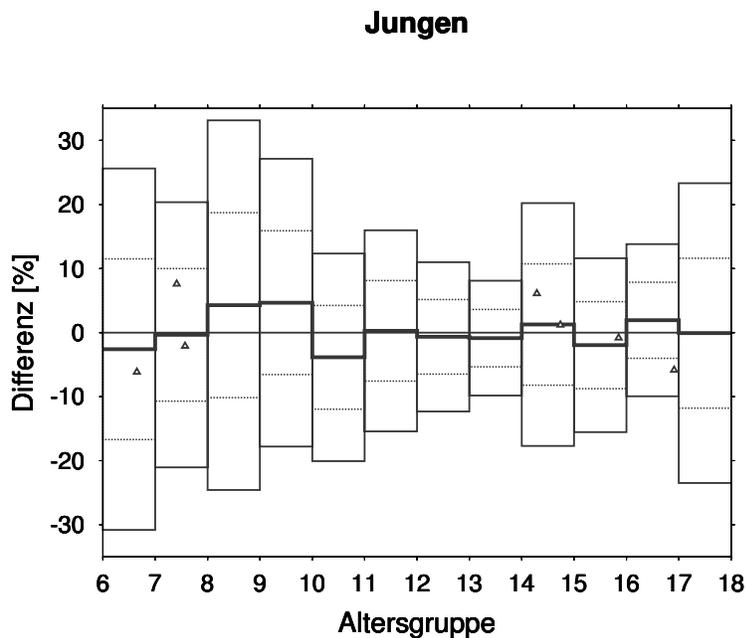


**Abbildung 10-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_i](\text{gemessen}) - [TMW_i](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

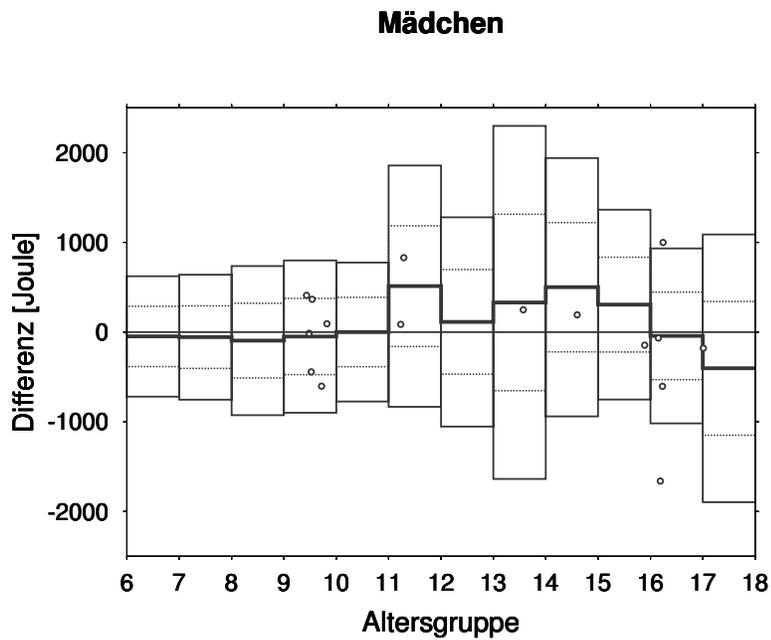
**Abbildung 10-b:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

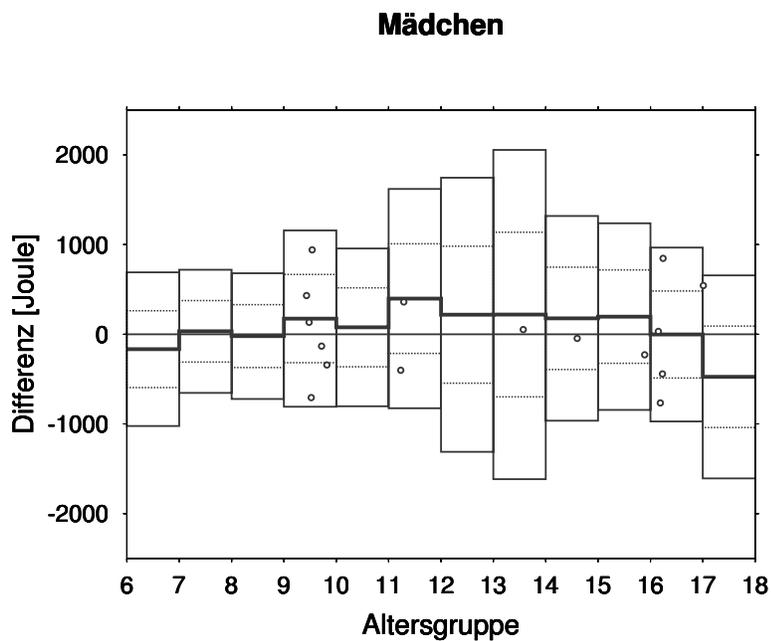
**Abbildung 10-c:**

Konfidenzintervall für die Differenz in %:  $\Delta TMW(\text{gemessen}) - \Delta TMW(\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

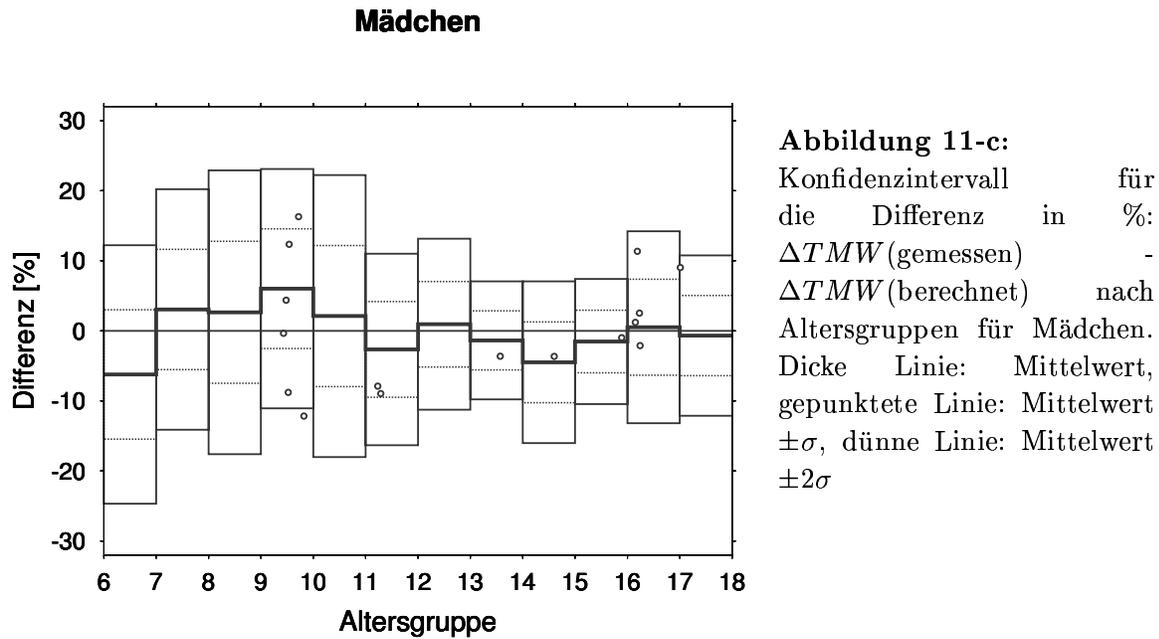
## Validierungsgrafiken Mädchen

**Abbildung 11-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_l](\text{gemessen}) - [TMW_l](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 11-b:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$



Man kann sehen (Abb. 10-a bis 10-c und 11-a bis 11-c), dass die meisten der Probanden, die zur Validierung herangezogen wurden, mit ihren Differenzen innerhalb der gesteckten Abweichungsgrenzen liegen.

Zur Erleichterung der praktischen Arbeit, werden die Normwerte zusammen mit einer Anleitung zu ihrer Berechnung und Anwendung im Anhang anschaulich dargestellt.

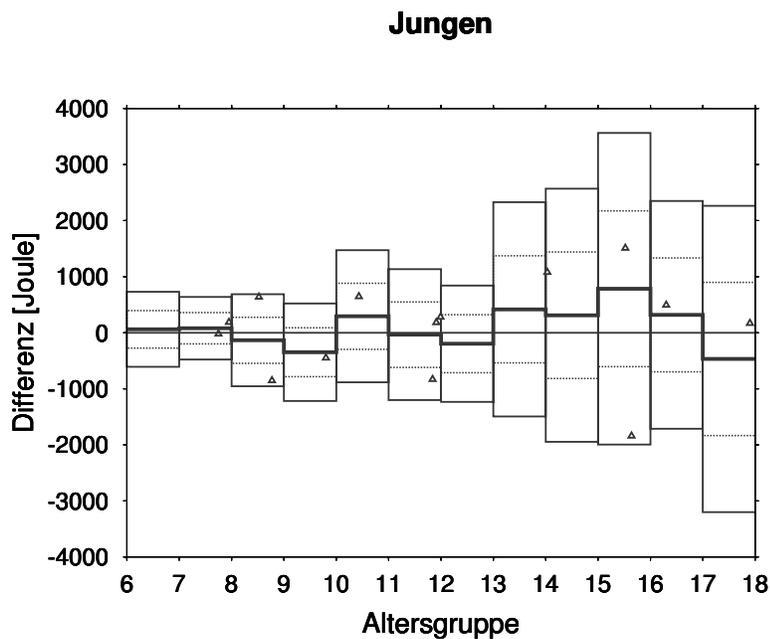
## 5.6 Anwendung der Endformeln auf zu schwere Probanden

Da die Formeln nur anhand von Kindern entwickelt wurden, die innerhalb der 3. bis 97. Perzentile der Heidelberger Perzentilen Kurven (GEORGI *et al.*, 1996) bezüglich ihrer Körpergröße und ihres Gewichtes lagen, sind sie streng genommen auch nur für Patienten anwendbar, die ebenfalls innerhalb dieser Perzentilen liegen.

Um zu sehen, inwieweit die Formeln auch bei ausserhalb dieser Grenzen liegenden Kinder anzuwenden sind, wurden alle Kinder, die von der Auswertung ausgeschlossen worden waren nochmals begutachtet. Die größte Gruppe der ausgeschlossenen Probanden (15 Mädchen und 15 Jungen) waren zu schwer, sie lagen entweder mit ihrem Gewicht oder ihrem BMI über der 97. Perzentile. Die Werte dieser Probanden

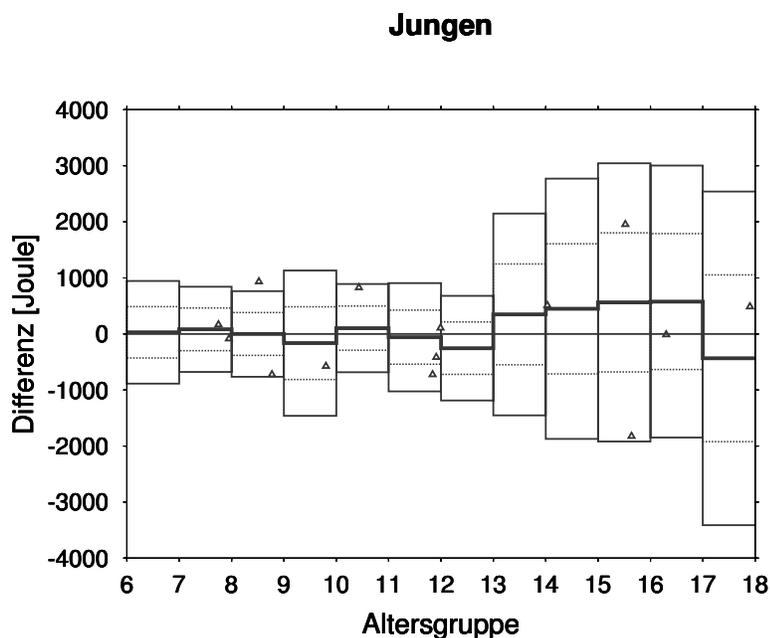
wurden in die Endformeln eingesetzt und die Differenzen in die gleichen Konfidenzintervalle wie oben (Abb. 8-a bis 9-c) geplottet.

### Zu schwere Jungen



**Abbildung 12-a:**

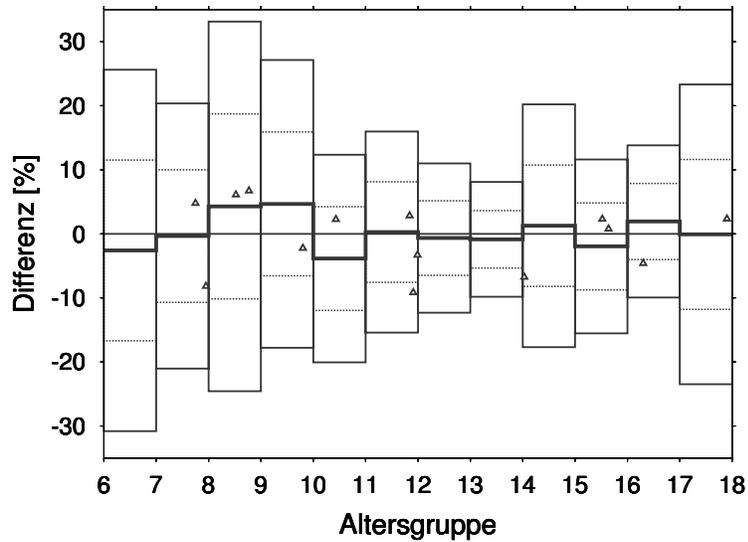
Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_l](\text{gemessen}) - [TMW_l](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$



**Abbildung 12-b:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

### Jungen

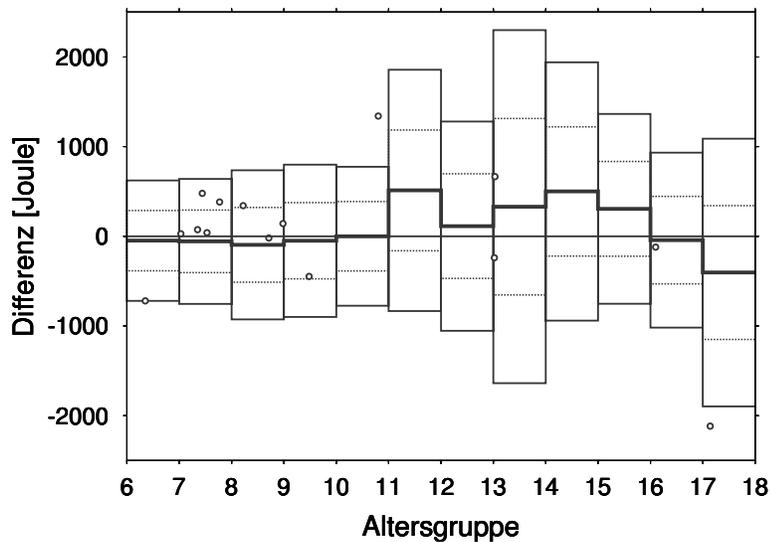


**Abbildung 12-c:**

Konfidenzintervall für die Differenz in %:  
 $\Delta TMW$ (gemessen) -  $\Delta TMW$ (berechnet) nach Altersgruppen für Jungen.  
 Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

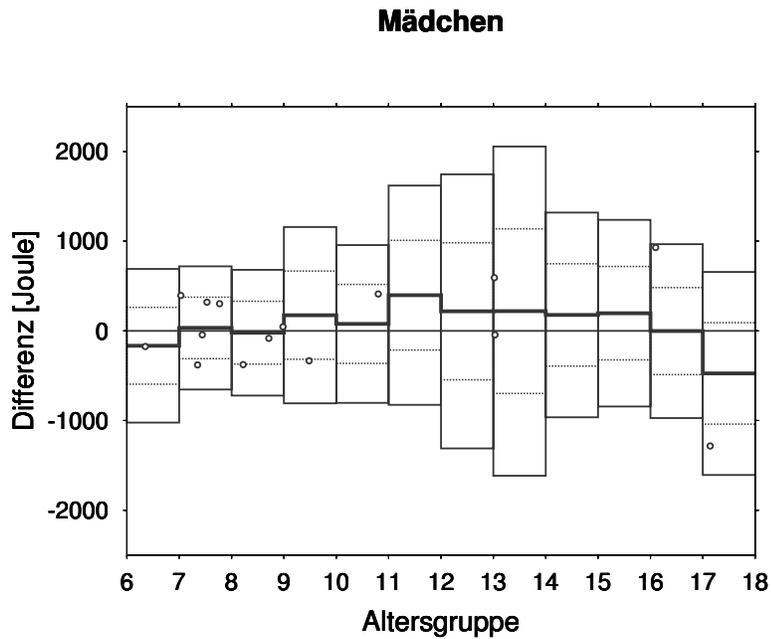
Zu schwere Mädchen

### Mädchen

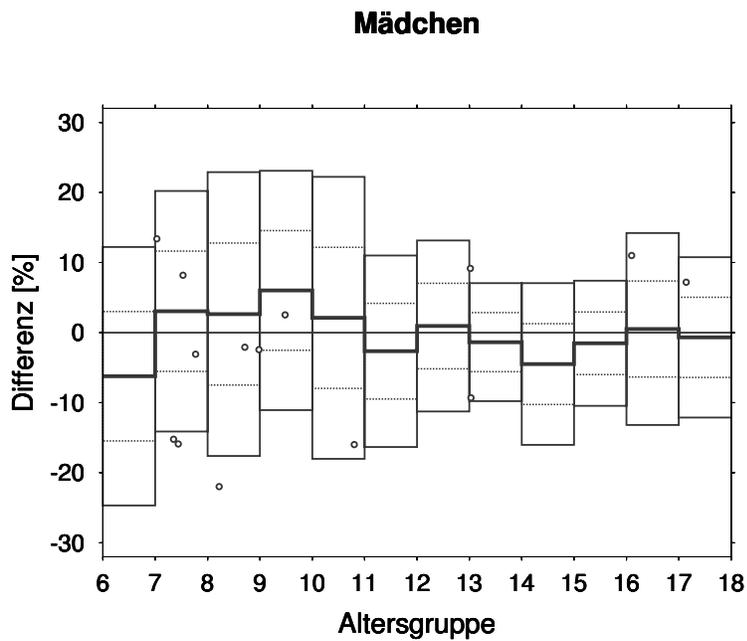


**Abbildung 13-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_i]$ (gemessen) -  $[TMW_i]$ (berechnet) nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 13-b:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 13-c:**

Konfidenzintervall für die Differenz in %:  $\Delta TMW(\text{gemessen}) - \Delta TMW(\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm\sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

Die Anwendung der Endformeln auf zu schwere Probanden scheint ohne Modifikation der Formeln nicht optimal zu sein. Der überwiegende Teil der Probanden liegt mit seinen Abweichungen (gemessener vom berechneten Wert) innerhalb der  $+\sigma$  bis  $-2\sigma$  Grenze und darunter (Abb. 12-a und 12-b, sowie 13-a und 13-b), das bedeutet, dass die Formeln die Leistung der zu schweren Probanden überschätzt. Die  $\Delta TMW$  Differenzen (Abb. 12-c und 13-c) liegen breit gestreut, zumeist innerhalb der gesteckten Grenzen.

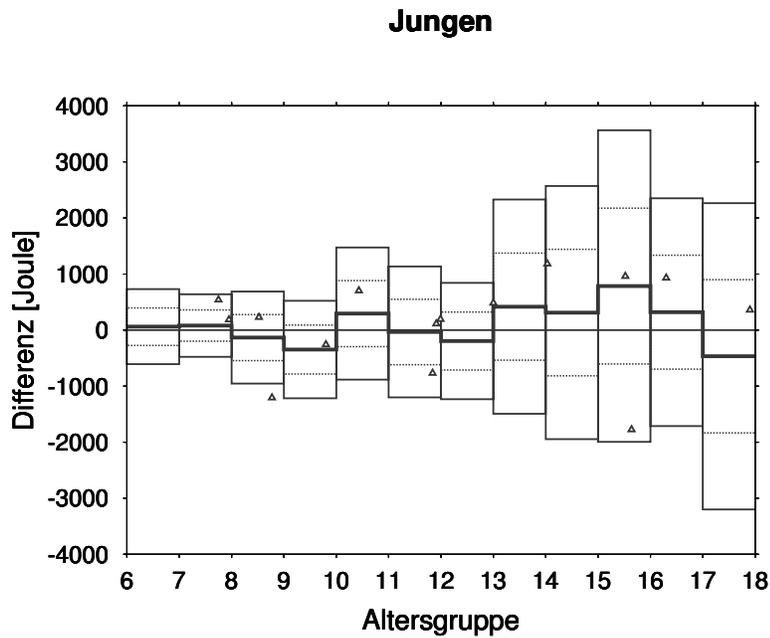
## 5.7 Modifikation der Endformeln für zu schwere Probanden

Die Frage war, wie die Formeln für die 'zu schweren' Probanden (Gewicht oder BMI > 97. Perzentile) modifiziert werden könnten, um eine bessere Vorhersage der Leistung zu erzielen. Eine Möglichkeit war, die Formeln um einen Faktor zu ergänzen. Ausgewählt würde der Faktor nach dem Kriterium, die meisten Vorhersagewerte zu verbessern. Nachteil dieser Methode ist aber, dass diese Art der Modifikation wenig individuell alle Probanden des gleichen Geschlechts derselben Modifikation unterwerfen würde. Eine weitere Möglichkeit war, zu versuchen, die Formel je nach Übergewicht individuell zu modifizieren. Der Versuch, einen Faktor zur Minderung der erwarteten Leistung zu errechnen, indem man nach Broca (s. unten) ein Normalgewicht errechnete, entsprechend das Normal- vom Realgewicht abzog und berechnete wieviel Prozent diese Differenz vom Normalgewicht ist und dann um diese Prozent die erwartete Leistung minderte, brachte kein zufriedenstellendes Ergebnis. Die Probanden wurden weiterhin eher überschätzt durch diese Formel. Auch die weitere Abwandlung, anstatt des Normalgewichts ein Idealgewicht (d.h. ein um nochmals 10% (bei den Jungen), bzw. 15% (bei den Mädchen) gemindert Normalgewicht) zugrunde zulegen um davon dann analog zu oben das Realgewicht abzuziehen und die Prozent zu berechnen, um die die erwarteten Werte gemindert werden sollen, brachte zwar ein wenig besseres Ergebnis, das aber immer noch nicht als zufriedenstellend anzusehen war.

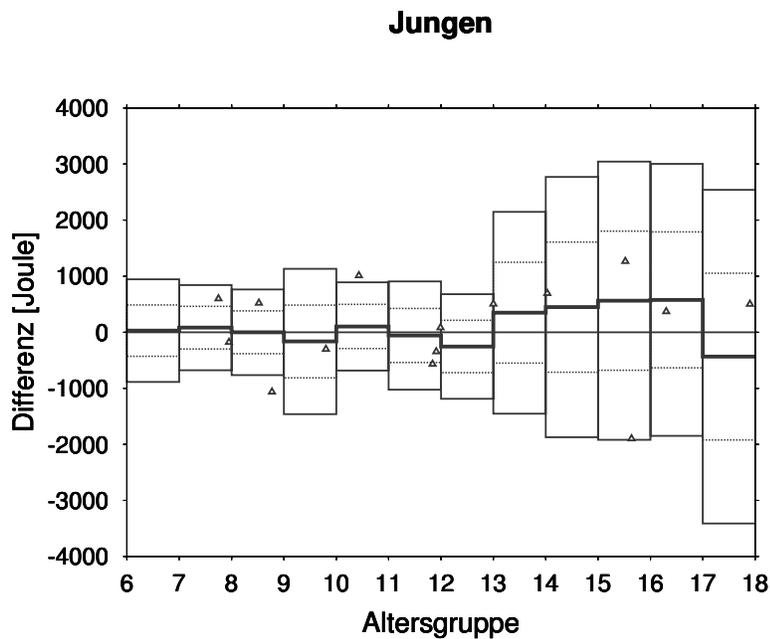
Die beste Modifikation ergab sich schließlich durch eine einfache Änderung: man errechnete ein Normalgewicht nach der Broca-Formel (Körpergröße (in cm) - 100 = Normalgewicht) (CLAASSEN *et al.*, 1998) und setzte in die Endformeln anstatt des wirklichen Gewichts der Probanden das Normalgewicht ein.

In den folgenden Abbildungen wurden die Differenzen (gemessene Werte - anhand der modifizierten Formeln errechnete Werte) der 'zu schweren' Probanden in die gleichen Konfidenzintervalle wie oben geplottet (s. Abb. 8-a bis 9-c).

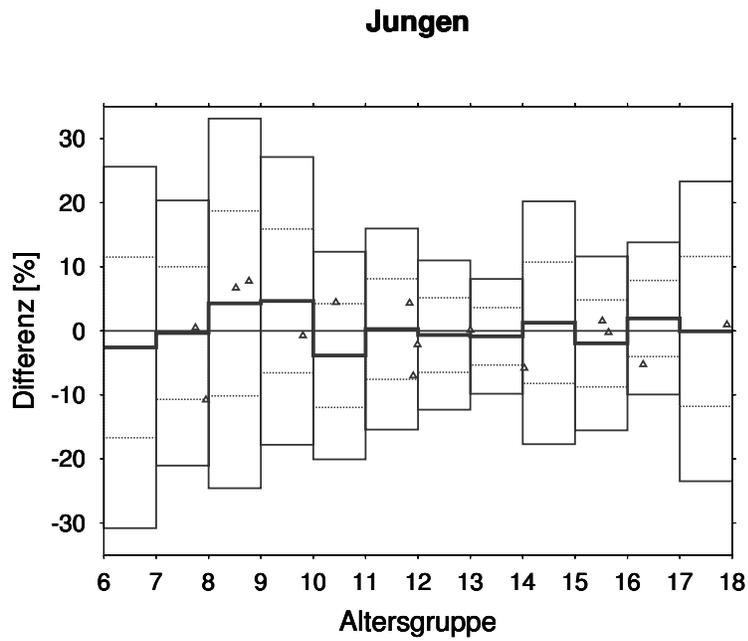
## Zu schwere Jungen mit modifizierter Endformel

**Abbildung 14-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_i](\text{gemessen}) - [TMW_i](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

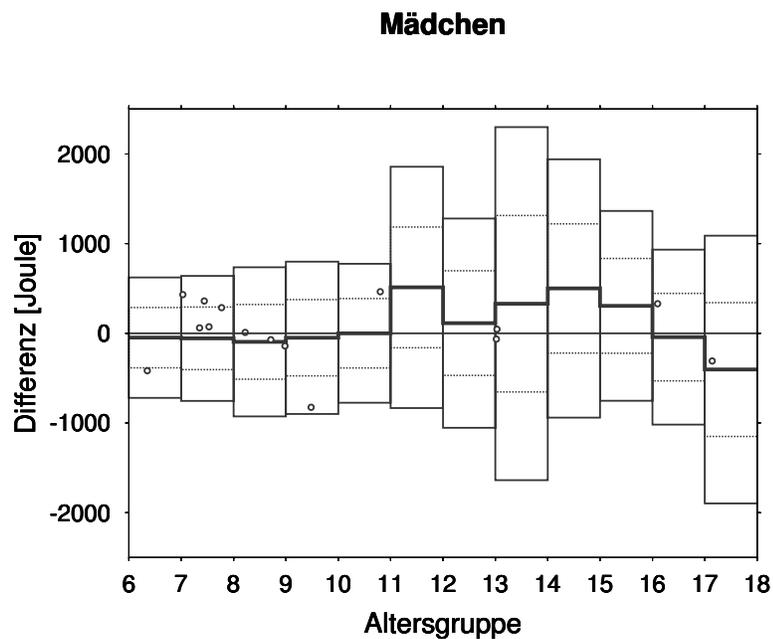
**Abbildung 14-b:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Jungen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

**Abbildung 14-c:**

Konfidenzintervall für die Differenz in %:  
 $\Delta TMW$  (gemessen) -  $\Delta TMW$  (berechnet) nach Altersgruppen für Jungen.  
 Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

Zu schwere Mädchen mit modifizierter Endformel

**Abbildung 15-a:**

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_i]$  (gemessen) -  $[TMW_i]$  (berechnet) nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

## Mädchen

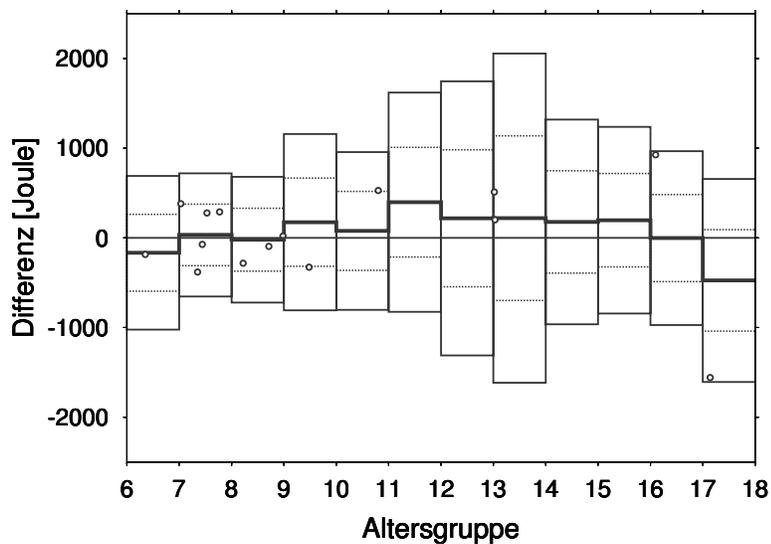


Abbildung 15-b:

Konfidenzintervall für die Differenz  $[TMW_r](\text{gemessen}) - [TMW_r](\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

## Mädchen

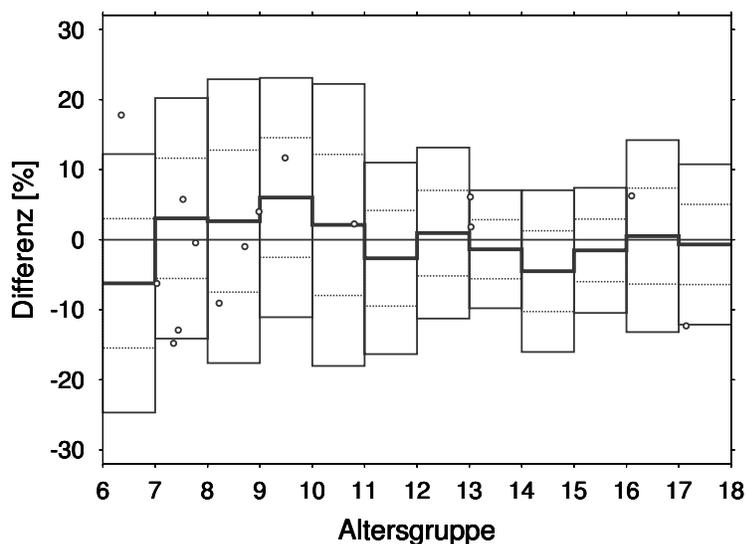


Abbildung 15-c:

Konfidenzintervall für die Differenz in %:  $\Delta TMW(\text{gemessen}) - \Delta TMW(\text{berechnet})$  nach Altersgruppen für Mädchen. Dicke Linie: Mittelwert, gepunktete Linie: Mittelwert  $\pm \sigma$ , dünne Linie: Mittelwert  $\pm 2\sigma$

Der Vergleich der Abbildungen 14-a bis 14-c und 15-a bis 15-c mit den Abbildungen 12-a bis 12-c und 13-a bis 13-c zeigt eine klare Verbesserung der Vorhersage, die Werte der Probanden liegen mehr im Mittelfeld, d.h. sie werden durch die modifizierten Formeln nicht mehr so stark überschätzt.

Ob die Endformeln für zu leichte, zu große oder zu kleine Probanden ebenfalls eine Modifikation erfahren müssten, konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht eruiert werden, weil es keine ausreichende Anzahl solcher Probanden gab, um entsprechende Aussagen zu treffen.

## 6 Diskussion

### 6.1 Diskussion der Ergebnisse

Durch die Untersuchung von 373 gesunden Schulkindern war es möglich für den unilateralen WAnT Normwerte zu erstellen. Zum einen wurden die Ergebnisse als Grafiken der über die Altersgruppen gemittelten Absolutwerte und ihre Standardabweichungen dargestellt, zum anderen wurden jeweils für Jungen und Mädchen getrennt mittels allometrischer Verfahren Formeln entwickelt, um die Leistung des rechten und des linken Beines im uWAnT anhand von Alter, Körpergröße und Gewicht vorherzusagen.

Mit zunehmendem Alter zeigte sich im uWAnT eine Zunahme der TMW, bei den Mädchen bis etwa zum 14. und bei den Jungen bis etwa zum 16. Lebensjahr. Dieses Ergebnis entspricht ungefähr dem des bilateralen WAnT (INBAR *et al.*, 1996, BAR-OR, 1983). Die Kraftentwicklung der Kniebeuger und Strecker bei isokinetischer Belastung weisen ebenfalls einen ähnlichen Verlauf der Kraftentwicklung auf (ALEXANDER & MOLNAR, 1973, FOWLER JR. & GARDNER, 1967, MOLNAR *et al.*, 1973).

Desweiteren ist die Zunahme der TMW im uWAnT während des Kindes- und frühen Jugendalters übereinstimmend mit den Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen zur Entwicklung der Sprintleistungsfähigkeit (BAR-OR, 1987, INBAR *et al.*, 1996, SARGEANT, 1989). Sogar bei Belastungen, die nur wenige Sekunden dauerten, wurde bei Kindern im Vergleich zu Jugendlichen oder Erwachsenen eine niedrigere Sprintleistungsfähigkeit beobachtet. Daher ist eine mindere Motivation der Kinder bei Durchführung der Untersuchungen als Grund für den Leistungsunterschied nicht anzunehmen. Die Altersabhängigkeit der Sprintleistung blieb auch bestehen, wenn das Körpergewicht, die Körpergröße, das Volumen oder die Querschnittsfläche der beteiligten Extremität zur Korrektur der Einflüsse der Körpermaße herangezogen wurden (BLIMKIE *et al.*, 1988, PATTON *et al.*, 1985, SAAVEDRA *et al.*, 1991).

Eine Ursache der altersabhängigen Sprintleistungsfähigkeit könnte eine beschriebe-

ne niedrigere Phosphofruktokinaseaktivität im Muskel von Kindern sein (ERIKSSON, 1980). Eine damit verbundene geringere glykolytische Kapazität im kindlichen Muskel könnte ein möglicher Ursprung einer altersabhängigen Sprintleistungsfähigkeit sein (BAR-OR, 1983). Dagegen spricht jedoch, dass die Leistungen von Kindern bereits bei Maximalbelastungen von nur wenigen Sekunden Dauer geringer sind, als die von Erwachsenen. Folglich müssten neben der möglicherweise eingeschränkten Energiebereitstellung durch Glykolyse noch andere Unterschiede zwischen den Altersgruppen bestehen. Es gibt Studien, die andeuten, dass der M. vastus lateralis bei Kindern einen höheren Anteil an Typ I Fasern und weniger Typ II Fasern enthält als bei Erwachsenen (ELDER & KAKULAS, 1993, LEXELL *et al.*, 1992, OERTEL, 1988). Die Leistung im WANt ist positiv mit dem Anteil schneller Typ II Fasern in der Muskulatur korreliert (INBAR *et al.*, 1981, KACZKOWSKI *et al.*, 1982). Die Anzahl der Muskelhistologiedaten gesunder Kinder ist jedoch insgesamt zu gering, um mit Bestimmtheit sagen zu können, ob tatsächlich Unterschiede in der Muskelfaserzusammensetzung zu Erwachsenen bestehen (MALINA & BOUCHARD, 1991). Eine verlangsamte Entspannung der Muskeln nach einer Kontraktion könnte eine weitere Ursache sein für die geringere Leistungsfähigkeit von Kindern bei kurzzeitigen, maximalen Belastungen (LIN *et al.*, 1994, LIN *et al.*, 1996). Sind doch schnelle Bewegungen für eine hohe Leistung im WANt von extremer Wichtigkeit. Weitere denkbare Ursachen für eine Leistungszunahme mit zunehmendem Alter könnte eine Reifung der neuronalen Steuerung schneller Bewegungen bzw. der intramuskulären Koordination sein, dieses wurde zwar diskutiert, aber bislang nicht experimentell verifiziert (SARGEANT, 1989). Den Hintergrund diesen Teils der Diskussion bildete die Habilitationsschrift von HEBESTREIT, 1998.

Bei Vergleich der Leistungen der Jungen und der Mädchen haben die Jungen nicht in jeder Altersklasse eine signifikant höhere mittlere Leistung als die Mädchen. Diese den Ergebnissen von BLIMKIE *et al.*, 1988, entgegenstehende Tatsache könnte auf den kleinen Stichprobenumfang in den einzelnen Altersklassen zurückzuführen sein. Erst in den höheren Altersgruppen (ab 15 Jahre) ist die mittlere Leistung der Jungen immer signifikant höher, als die der Mädchen gleicher Altersgruppen. Wei-

tere Übereinstimmung fand sich in dem Punkt, dass sich die Leistungen der Jungen im 14. Lebensjahr signifikant von denen der Jungen ab dem 18. Lebensjahr unterscheiden, während bei den Mädchen kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Altersklassen auftritt. Dieses mag daran liegen, dass die Jungen sich noch im Wachstum befinden, d.h. die Muskelmasse noch zunimmt, während die Mädchen, bereits ausgewachsen sind, bzw. eher noch einen Zuwachs an subkutanem Fettgewebe haben (MALINA & BOUCHARD, 1991, BLIMKIE, 1989).

Bei Erstellung der Formeln um die TMW für das rechte und für das linke Bein vorherzusagen, wurde deutlich, dass die Leistung im uWAnT in hohem Maße von Alter, Körpergröße und Körpergewicht abhängig ist. Diese Einflussgrößen wurden in der Literatur vielfach vorbeschrieben (ARMSTRONG *et al.*, 1997, BAXTER-JONES *et al.*, 1993, BLIMKIE, 1989, BLIMKIE *et al.*, 1988, FOWLER JR. & GARDNER, 1967, GAUL, 1996, HANSEN *et al.*, 1997, MALINA & BOUCHARD, 1991, MOLNAR *et al.*, 1979).

Bei Betrachtung der Abb. 8-a bis 8-c und 9-a bis 9-c, in denen die Abweichungen der berechneten Werte von den gemessenen Werten der Probanden dargestellt sind, ist sichtbar, dass der Großteil der Abweichungen sowohl der Jungen, als auch der Mädchen für die  $TMW_l$  und  $TMW_r$ , sowie deren Differenz innerhalb der abgesteckten Grenzen liegen. Die Grenzen wurden durch Mittelung der Differenzen (gemessener - berechneter Wert) und deren Standardabweichungen ( $\pm\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$ ) über die einzelnen Altersgruppen erstellt. Das gleiche gilt für die Jungen- und Mädchen-daten, die zur Validierung der Formel herangezogen wurden (Abb. 10-a bis 10-c und 11-a bis 11-c). Man könnte annehmen, dass die Formeln für die Vorhersage der Leistungen von Probanden, die innerhalb der 3. bis 97. Perzentile bezüglich ihrer Körpergröße und ihres Körpergewichts liegen, gut geeignet sind, jedoch ist die Anzahl der zur Validierung herangezogenen Probanden zu gering, um dieses mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit behaupten zu können.

Eine ausreichend gute Formel zu entwickeln, um den Unterschied zwischen der Leistung des rechten und linken Beines direkt vorherzusagen, gestaltete sich als äußerst schwierig. Dieses mag daran liegen, dass das  $\Delta TMW$  eine gebildete Differenz aus

den eigentlich bestimmten Werten ist und sich bei künstlich erzeugten Variablen die Fehler potenzieren anstatt sich zu addieren. Somit sollen die gesteckten Grenzen der 'erlaubten' Abweichungen vom vorhergesagten Wert mehr als Anhaltspunkt verstanden werden, denn als absolute Grenze zum pathologischen Befund, bzw. man zieht die realen Leistungsdifferenzen der Probanden hinzu. Vorteilhaft ist es, den Unterschied der Beine schon in Prozent bezogen auf die Gesamtleistung zu betrachten, weil sich dadurch der Unterschied relativiert. Die endgültige Beurteilung sollte neben den theoretischen Werten natürlich immer auch eine Betrachtung der klinischen Aspekte und Probleme in der Alltagsbewältigung der Patienten mit einbeziehen.

Auf Probanden, die mit ihrem Gewicht, bzw. BMI > 97. Perzentile liegen, sind die Endformeln nicht anzuwenden. Es ist zu sehen (Abb. 12-a bis 12-c und 13-a bis 13-c), dass die Leistungen der übergewichtigen Kinder von den Formeln überschätzt werden, d.h. die in die Grafiken geplotteten Abweichungen der Probanden der tatsächlichen TMW von der vorhergesagten TMW liegen überwiegend im unteren Bereich der Abgrenzungen. In Studien der Sportwissenschaften wird diese Beobachtung ebenfalls diskutiert, dass Fettleibige eine geringere Leistung gegenüber normalgewichtigen Probanden zeigen. Wobei zu beachten ist, dass eine Anzahl dieser Studien eine Einheit 'pro Kilogramm Körpergewicht' als Standard benutzten, um die Unterschiede im Körpergewicht der Probanden anzupassen (ARMSTRONG *et al.*, 1991, BECQUE *et al.*, 1988, DAVIES *et al.*, 1975). Diese Art der Datenanpassung 'bevorteiligt' die schlankeren und 'bestraft' die dickeren Individuen.

In gewisser Hinsicht sind die fettleibigen Probanden beim uWAnT dadurch 'benachteiligt', dass der Tretwiderstand basierend auf dem Körpergewicht eingestellt wird. ZWIAUER & WABITSCH, 1997 beschrieben eine hochsignifikante Korrelation zwischen BMI und der Menge an Körperfettmasse und dass der BMI eine hohe Spezifität für Adipositas aufweist. Somit ist zum einen davon auszugehen, dass die beliebteren Probanden einem aufgrund des Gewichts eingestellten Widerstandes keine entsprechende Muskelmasse, sondern nur eine erhöhte Menge an Körperfettmasse entgegenzusetzen haben, weshalb sie mit ihren Leistungen meist unterhalb der anhand von Formeln für Normalgewichtigen vorhergesagten Werte bleiben. Gleich-

ches fanden ARMSTRONG *et al.*, 2000, die eine signifikante negative Korrelation zwischen Hautfalten-Dicke und  $\ln(\text{PP})$  und  $\ln(\text{TMW})$  bei Annäherung durch eine multiple, allometrische Multi-Level Regression durchführten. Zum anderen wird als Grund für schlechtere Leistung fettleibiger Probanden in mehreren Studien diskutiert (BULLEN *et al.*, 1964, CORBIN & PLETCHER, 1968, MARSUKE, 1969), dass fettleibige Kinder weniger körperlich aktiv sind als ihre Altersgenossen, insbesondere in Bezug auf spontane und unstrukturierte Aktivitäten. Es ist noch unklar, ob mangelnde körperliche Aktivität einen direkten Einfluss auf die anaerobe Leistungsfähigkeit hat. Mehrere Studien zeigten jedoch alle, dass intermittierendes Training hoher Intensität bei gesunden, normalgewichtigen Kindern kleine Steigerungen der Leistungen im Wingate Test erzielten (GRODJINOVSKY *et al.*, 1980, ROTSTEIN *et al.*, 1986, SARGEANT *et al.*, 1985), während bei 12-16-jährigen übergewichtigen Jungen auch ein dreimonatiges systematisches Training nicht zu einem Anstieg der anaeroben Leistungsfähigkeit führte (DUPUIS *et al.*, 2000).

In dieser Arbeit wurden die Endformeln zur Vorhersage der Leistung im uWAnT für übergewichtige Probanden modifiziert, indem anstatt des realen Gewichts das, nach der Broca-Formel berechnete, Normalgewicht eingesetzt wurde. So konnte retrospektiv die Vorhersage der Leistung, die anhand des auf das tatsächliche Gewicht eingestellten Widerstandes erbracht wurde, verbessert werden. Für die Zukunft bestünde die Möglichkeit bei Durchführung des uWAnT mit adipösen Probanden, den Tretwiderstand eventuell gleich anhand eines errechneten Normalgewicht einzustellen.

## 6.2 Methodenkritik

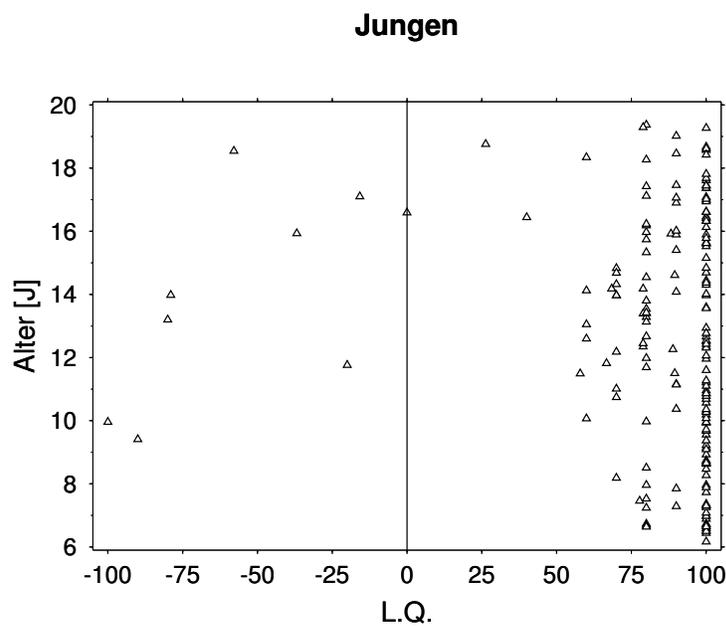
### 6.2.1 Messungen / erhobene Parameter

Die Erhebung des Körpergewichts war bei den Kindern und Jugendlichen nicht optimal, weil sie nicht in gänzlich unbekleidetem Zustand gewogen wurden. Leider war das Wiegen aber nicht anders praktikabel, da ab einem gewissen Alter das Schamgefühl ausgeprägter ist und eine weitere Entkleidung nicht immer toleriert worden wäre.

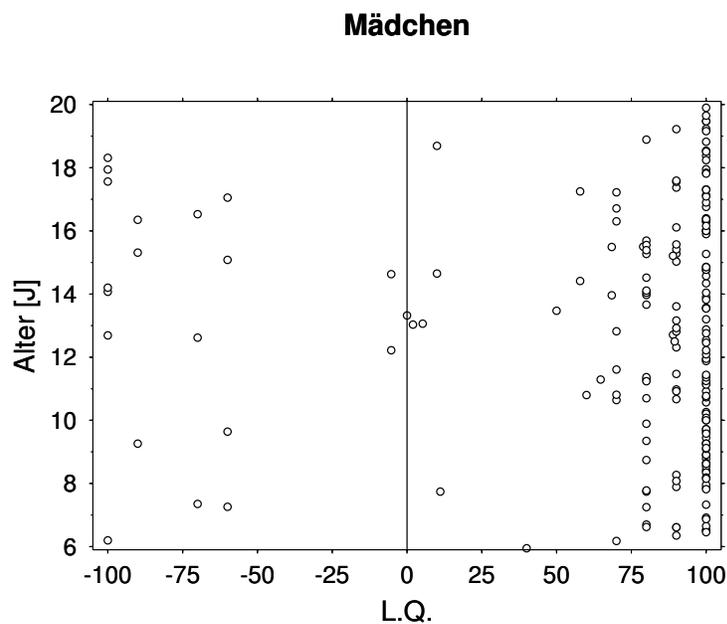
Es gab gute Gründe, die Muskelmasse der Oberschenkel in irgendeiner Form mit einzubeziehen. Optimal wäre es natürlich gewesen, eine MRT der Oberschenkel anzufertigen, um den Muskelquerschnitt oder das Muskelvolumen berechnen zu können. Aus Kosten- und Praktikabilitätsgründen musste so vorgegangen werden, wie in der Methodik beschrieben, aber es war wohl die Genauigkeit der Messungen nicht ausreichend, um verwertbare Informationen zu gewinnen. Da die Messstelle durch den jeweiligen Untersucher abgeschätzt wurde, war die Messung nicht optimal zu standardisieren, möglicherweise würden sich hier Probleme bei der Reproduzierbarkeit der Messstellen ergeben. Kleine Höhenunterschiede der Messstelle zum Beispiel beim Abmessen des Umfangs könnten schon zu größeren Unterschieden des Wertes und den daraus resultierenden Durchmesserberechnungen führen. Ein weiteres Problem ist auch, dass gerade die Mädchen im höheren Alter zunehmend Fett am Oberschenkel haben und die Zunahme des Oberschenkelumfanges nicht gleichermaßen bedeutet, dass sich auch der Muskelquerschnitt in gleichem Maße vergrößert hat.

Die Händigkeit hatte, wie auch LUCCA & KLINE, 1989 beschrieben haben, keinen Einfluss auf die Beinigkeit/Beinpräferenz. Es wäre auch schwierig gewesen, für die Linkshänder eine vernünftige statistische Aussage zu treffen, sind es doch im Vergleich zu den Rechtshändern nur eine verschwindend geringe Anzahl reiner Linkshänder (unter den Jungen befand sich ein und unter den Mädchen befanden sich sieben reine Linkshänder). Im Durchschnitt liegt die Linkshändigkeit bei 7-8% (SPRINGER & DEUTSCH, 1995), dieser Wert wird nur erreicht, wenn Jungen und Mädchen zusammen, unter Einbeziehung aller Probanden, die zwar keine reinen Linkshänder sind, aber einen negativen Lateralitätsquotienten aufweisen, betrachtet würden. Bei den Jungen allein käme man dann auf acht und bei den Mädchen auf 19 quasi Linkshänder. Es wäre fraglich, ob sich anhand so geringer Probandenzahlen mit dem Merkmal 'Linkshändigkeit' eine gute statistische Berechnung hätte durchführen lassen. Übereinstimmend mit SPRINGER & DEUTSCH, 1995 kann festgestellt werden, dass es nur sehr wenige Probanden ohne klare Handpräferenz gibt (je einen Jungen und ein Mädchen), dass sich die Probanden, die die linke Hand bevorzugen gleichmäßig über den gesamten Bereich der negativen Lateralitätsquotienten

erstreckt, während die rechts bevorzugenden Probanden dieser Hand deutlicher den Vorzug geben. Hier findet sich keine so breite Streuung, sondern eher eine Kumulation der Werte im positiven Bereich. Zur Veranschaulichung sind hier in den Grafiken (Abb. 16 und 17) das Alter über dem Lateralitätsquotient jeweils für Jungen und Mädchen aufgetragen:



**Abbildung 16:**  
Alter aufgetragen über dem Lateralitätsquotienten L.Q. für Jungen



**Abbildung 17:**  
Alter aufgetragen über dem Lateralitätsquotienten L.Q. für Mädchen

### 6.2.2 Auswertung

Ein Fortschritt, der die Interpretation der Messergebnisse deutlich aussagekräftiger macht, ist der Umstand, dass die Erstellung der Werte um den Rahmen der Abweichungen (gemessener Wert - berechneter Wert) abzugrenzen, aus in die Altersgruppen getrennten Mittelwerten, Fehlern und Standardabweichungen bestehen. Diese Aufteilung in kleinere Untergruppen scheint unumgänglich, um der Leistungsstreuung in höherem Alter besser gerecht zu werden. Der Nachteil hierbei ist aber, dass man sich der großen Stichprobe beraubt. Die Aussagekraft der durch die kleineren Gruppen gewonnenen Werte ist als nicht so gut einzustufen, wie die der Formeln, die anhand der gesamten Mädchen, bzw. Jungen erstellt wurden. Sichtbar wird dieses Problem an den Grafiken, die zwischen den einzelnen Altersgruppen teilweise starke Sprünge aufweisen. Eine Glättung (z.B. nach ASSELIN, 1972) durchzuführen wäre aber nicht sinnvoll gewesen, da sie den Begrenzungsbereich verfälschen würde. Insgesamt sollten die Grafiken eher als Anhaltspunkte verstanden werden und nicht als absolut gültige Grenzen des Normalen.

Einige Untersucher (z.B. ARMSTRONG *et al.*, 2000) verwenden zusätzliche Prädiktoren z.B.  $\text{Alter}^2$  und  $\text{Alter} \cdot \text{Geschlecht}$ , um den abflachenden Verlauf der Kurve von Leistung über Alter besser zu beschreiben. Dieses kam in dieser Arbeit nicht zur Anwendung, um die Endformeln möglichst einfach und anwenderfreundlich zu halten.

In Kenntnis der Umstände, dass die Mädchen und Jungen getrennt ausgewertet werden, und dass die Streuung der Werte sich in den Altersklassen unterscheiden, ist rückblickend festzustellen, dass es besser gewesen wäre, pro Altersgruppe noch mehr Probanden getestet zu haben. Dieses hätte aber einen weiteren erheblichen Zeitaufwand bedeutet und es wäre fraglich, ob man genügend Probanden hätte rekrutieren können, hatte es sich doch in einigen Altersgruppen als äußerst schwierig erwiesen, die angestrebte Probandenzahl annähernd zu erreichen.

## 7 Zusammenfassung

Für bestimmte Fälle in der Kinderheilkunde besteht Bedarf, die Leistungen der beiden Beine seitengesondert, bzw. deren Unterschied, über den Zeitraum der Entwicklung und des Wachstums zu beurteilen. Um Anhaltspunkte zu gewinnen, welche Leistungen und Unterschiede in welchem Alter noch als 'normal' anzusehen sind, wurde diese Untersuchung durchgeführt. An drei Würzburger Schulen und in der Universitätskinderklinik Würzburg wurden insgesamt 229 Jungen und 233 Mädchen mit dem unilateralen Wingate Anaerobic Test (eine auf Reliabilität geprüfte, modifizierte Form des beidbeinigen Wingate Anaerobic Test) untersucht und Parameter erhoben, die Einfluss auf die Leistung haben könnten.

Mit den erhobenen Daten wurden für Jungen und Mädchen getrennt mittels multipler Regressionsanalyse, unter Verwendung von logarithmierten Daten, Formeln entwickelt, um die Leistung des rechten und des linken Beines vorherzusagen. Es zeigte sich, dass es einfache, auf leicht erfassbaren Daten begründete Formeln sind.

Als problematisch erwies sich der Versuch, den Unterschied zwischen den Leistungen der beiden Beine vorherzusagen. Das Vorgehen über die getrennte Vorhersage der Leistungen des rechten und linken Beines und einen daraus berechneten theoretischen Unterschied lässt eine indirekte Vorhersage des Unterschieds zu, die aber nicht für jeden Fall suffizient ist. Eine andere Möglichkeit ist es, sich an den tatsächlich aufgetretenen weit streuenden Differenzen zu orientieren. Im Einzelfall spielen natürlich auch die klinischen Aspekte eine Rolle bei der Abschätzung, ob eine Differenz als pathologisch einzustufen ist oder nicht.

Über die Mittelung der Werte und ihrer Standardabweichungen für die einzelnen Altersgruppen konnten Bereiche abgesteckt werden, die in etwa den Rahmen begrenzen sollen, innerhalb derer der tatsächlich gemessene von dem theoretisch berechneten Wert abweichen darf. Die Grenzen sind jedoch nicht als absolut feststehend anzusehen, sondern eher als Orientierungswerte gedacht, weil für die Berechnung eines jeden Grenzwertes nur eine kleine Stichprobenzahl (entsprechend der Probandenzahl in jeder Altersgruppe) zur Verfügung stand.

Die Formeln finden Anwendung bei Kindern, die innerhalb der 3. bis 97. Perzentile in den Heidelberger Kurven bezüglich ihrer Körpergröße und ihres Körpergewichtes liegen. Die Hinzunahme der Daten weiterer Reihenuntersuchungen an denselben Altersgruppen dürfte die Datenlage und damit die Aussagekraft der hier enthaltenen Endformeln weiter verbessern.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Formeln für 'zu schwere' Kinder (Gewicht oder BMI waren  $> 97.$  Perzentile) so konkret nicht übernommen werden können. Wenn man die Endformeln modifizierte, indem man statt dem realen Körpergewicht das, nach der Broca-Formel berechnete Normalgewicht einsetzte, konnte ein befriedigendes Ergebnis erzielt werden.

Abschließend kann man sagen, dass die Ergebnisse dieser Arbeit eine Hilfe sind, die seitengetrennten Untersuchungen mit dem Fahrradergometer über einen längeren Zeitraum besser beurteilen zu können. Man hat Grenzwerte, die einen gewissen Rahmen abstecken, innerhalb derer sich die Patientendaten bewegen sollten. Wichtig ist auch den relativen Unterschied der Beine in Bezug auf die mittlere Leistung beider Beine beurteilen zu können. Aber aufgrund der großen Streubreite der Probanden bezüglich der Differenz zwischen linkem und rechtem Bein, fällt es schwer eindeutig pathologische Grenzwerte anzugeben.

## Literatur

- AFIFI, A. A., & CLARK, V. reprinted 1998. *Computer-aided multivariate analysis*. 3. Edition. London: Chapman & Hall.
- ALEXANDER, J., & MOLNAR, G. E. 1973. Muscular strength in children: preliminary report on objective standards. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **54**, 424–427.
- ARMSTRONG, N., WILLIAMS, J., BALDING, J., GENTLE, P., & KIRBY, B. 1991. Cardiopulmonary fitness, physical activity patterns, and selected coronary risk factor variables in 11 to 16 year olds. *Ped. Exerc. Sci.*, **3**, 219–228.
- ARMSTRONG, N., WELSMAN, J. R., & KIRBY, B. J. 1997. Performance on the Wingate anaerobic test and maturation. *Ped. Exerc. Sci.*, **9**, 253–261.
- ARMSTRONG, N., WELSMAN, J. R., & KIRBY, B. J. 2000. Longitudinal changes in young peoples short term power output. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **32**, 1140–1145.
- ASSELIN, R. 1972. Frequency filter for time integrations. *Monthly Weather Review*, **100**, 487–490.
- BAR-OR, O. 1983. *Pediatric Sports Medicine for the Practitioner. From Physiological Principles to Clinical Applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- BAR-OR, O. 1987. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med.*, **4**, 381–394.
- BAR-OR, O. 1993. Noncardiopulmonary pediatric exercise testing. *Pages 421–427 of: ROWLAND, T. W. (ed), Pediatric Laboratory Exercise Testing*. Champaign: Human Kinetics.
- BAR-OR, O. 1996. Role of exercise in the assessment and management of neuromuscular disease in children. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **28**, 421–427.
- BAXTER-JONES, A., GOLDSTEIN, H., & HELMS, P. 1993. The development of aerobic power in young athletes. *J. Appl. Physiol.*, **75**(3), 1160–1167.

- BECQUE, M. D., KATCH, V. L., ROCCHINI, A. P., MARKS, C. R., & MOOREHEAD, C. 1988. Coronary risk incidence of obese adolescents: reduction by exercise plus diet intervention. *Pediatrics*, **81**, 605–612.
- BLIMKIE, C. J. R. 1989. Age and sex-associated variation in strength during childhood: Anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic, and physical activity correlates. *Pages 99–163 of: GISOLFI, C. V., & LAMB, D. R. (eds), Perspectives In Exercise Science and Sports Medicine Volume 2: Youth, Exercise and Sport*. Indianapolis: Benchmarkpress.
- BLIMKIE, C. J. R., ROCHE, P., HAY, J. T., & BAR-OR, O. 1988. Anaerobic power of arms in teenage boys and girls: relationship to lean tissue. *Eur. J. Appl. Physiol*, **57**, 677–683.
- BORTZ, J. 1999. *Statistik fr Sozialwissenschaftler. 5. Aufl.* Berlin: Springer-Verlag. S. 46ff.
- BRETT, E. M. 1991. Cerebral palsy, perinatal injury to the spinal cord and brachial plexus injury. *Pages 285–316 of: BRETT, E. M. (ed), Pediatric Neurology*. Churchill Livingstone.
- BULLEN, B. A., REED, R. B., & MAYER, J. 1964. Physical activity of obese and nonobese adolescent girls appraised by motion picture sampling. *Am. J. Clin. Nutr.*, **14**, 211–213.
- CLAASSEN, M., DIEHL, V., & K.KOCHSIEK. 1998. *Innere Medizin. 4. Ed.* München: Urban & Schwarzenberg Verlag. S. 786.
- CORBIN, C. B., & PLETCHER, P. 1968. Diet and physical activity patterns of obese and nonobese elementary school children. *Res. Quart.*, **39**, 922–928.
- DAMIANO, D. L., & ABEL, M.F. 1996. Relation of gait analysis to gross motor function in cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.*, **38**, 389–396.

- DAVIES, C. T. M., GODFREY, S., LIGHT, M., & SARGEANT, A. J. 1975. Cardiopulmonary response to exercise in obese girls and young women. *J. Appl. Physiol.*, **38**, 373–376.
- DOTAN, R., & BAR-OR, O. 1983. Load optimization for the Wingate anaerobic test. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **51**, 409–417.
- DRAPER, N. R., & SMITH, H. 1998. *Applied regression analysis. 3. Ed.* New York: John Wiley & Sons.
- DUPUIS, J. M., VIVANT, J. F., DAUDET, G., BOUVET, G., CLEMENT, M., DAZORD, A., DUMET, N., DAVID, M., & BELLON, G. 2000. Personal sports training in the management of obese boys aged 12 to 16 years. *Arch. Pediatr.*, **7**, 1185–1193.
- ELDER, G. C., & KAKULAS, B. A. 1993. Histochemical and contractile property changes during human muscle development. *Muscle Nerve*, **16**, 1246–1253.
- ERIKSSON, B. O. 1980. Muscle metabolism in children- a review. *Acta Paediatr. Scand. Suppl.*, **283**, 20–27.
- FOWLER JR., W. M., & GARDNER, G. M. 1967. Quantitative strength measurements in muscular dystrophy. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **48**, 629–644.
- GAUL, C. A. 1996. Muscular strength and endurance. *Pages 225–258 of: Human Kinetics*. Champaign.
- GEORGI, M., SCHAEFER, F., WÜHL, E., & SCHÄRER, K. 1996. Körpergröße und -gewicht bei gesunden Schulkindern und Jugendlichen in Heidelberg. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, **144**, 813–824.
- GRODJINOVSKY, A., INBAR, O., DOTAN, R., & BAR-OR, O. 1980. Training effect on the anaerobic performance of children as measured by the Wingate anaerobic test. *Pages 139–145 of: BERG, K., & ERIKSSON, B. O. (eds), Children and Exercise IX*. Baltimore, MD: University Park Press.

- HAGBERG, B., HAGBERG, O., & OLOW, I. 1975. The changing panorama of cerebral palsy in Sweden 1954-1970. *Acta Paediatr. Scand.*, **64**, 187-192.
- HANSEN, L., KLAUSEN, K., & MLLER, J. 1997. Assessment of maturity status and its relation to strength measurements. *Pages 325-330 of: ARMSTRONG, N., KIRBY, B.J., & WELSMAN, J.R. (eds), Children and Exercise XIX. Promoting Health and Well-being.* London: E & FN Spon.
- HEBESTREIT, H. 1998. *Ergometrische Untersuchungen im Kindes- und Jugendalter: Grundlagen und Anwendung bei chronisch Kranken.* Habilitationsschrift, Würzburg.
- HEBESTREIT, H., MIMURA, K., & BAR-OR, O. 1993. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 1-6.
- HEBESTREIT, H., HILPERT, S., & STRASSBURG, V. 1997. Comparison of muscle power between legs, single-legged muscle power. *Pages 291-296 of: ARMSTRONG, N., KIRBY, B., & WELSMAN, J. (eds), Children and Exercise XIX Promoting Health and Well-Being.*
- HEBESTREIT, H., DUNSTHEIMER, D., STASCHEN, B., & STRABURG, H. M. 1999. Single-leg Wingate Test in children: reliability and optimal braking force. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **31**, 1218-1225.
- HILL, D. W., & SMITH, J. C. 1991. Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. *Can. J. Spt. Sci.*, **16**, 30-32.
- INBAR, O., KAISER, P., & TESCH, P. 1981. Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *Int. J. Sports Med.*, **2**, 154-159.
- INBAR, O., BAR-OR, O., & SKINNER, J. S. 1996. *The Wingate Anaerobic Test.* Champaign: Human Kinetics.

- KACZKOWSKI, W., MONTGOMERY, D. L., TAYLOR, A. W., & KLISSOURAS, V. 1982. The relationship between muscle fiber composition and maximal anaerobic power and capacity. *J. Sports Med.*, **22**, 407–413.
- LEXELL, J., SJÖSTRÖM, M., NORDLUND, A.-S., & TAYLOR, C. C. 1992. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve*, **15**, 404–409.
- LIN, J. P., BROWN, J. K., & WALSH, E. G. 1994. Physiological maturation of muscles in childhood. *Lancet*, **343**, 1386–1389.
- LIN, J. P., BROWN, J. K., & WALSH, E. G. 1996. The maturation in motor dexterity or why Johnny cant go any faster. *Dev. Med. Child Neurol.*, **38**, 244–254.
- LUCCA, J. A., & KLINE, K. K. 1989. Effects of upper and lower limb preference on torque production in the knee flexors and extensors. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, **11**, 202–207.
- MALINA, R. M., & BOUCHARD, C. 1991. Strength and motor performance during growth. *Pages 187–204 of: Growth, maturation, and physical activity*. Champaign: Human Kinetics.
- MARSUKE, M. 1969. Obesity and school sports. *Sportarzt und Sportmedizin*, **10**, 404–406.
- MOLNAR, G. E., ALEXANDER, J., & GUTFIELD, N. 1973. Objective, quantitative muscle testing in children: a pilot study. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **54**, 224–228.
- MOLNAR, G. E., ALEXANDER, J., & GUTFIELD, N. 1979. Reliability of quantitative strength measurements in children. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **50**, 218–221.
- NEVILL, A. M., & HOLDER, R. L. 1995. Scaling, normalizing, and per ratio standards: an allometric modeling approach. *J. Appl. Physiol.*, **79**(3), 1027–1031.

- NEVILL, A. M., RAMSBOTTOM, R., & WILLIAMS, C. 1992. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **65**, 110–117.
- NEVILL, A. M., HOLDER, R. L., BAXTER-JONES, A., ROUND, J. M., & JONES, D. A. 1998. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J. Appl. Physiol.*, **84**(3), 963–970.
- OERTEL, G. 1988. Morphometric analysis of normal skeletal muscles in infancy, childhood and adolescence. *J. Neurol. Sci.*, **88**, 303–313.
- OLDFIELD, R. C. 1971. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, **9**, 97–113.
- PARKER, D. F., CARRIERE, L., HEBESTREIT, H., & BAR-OR, O. 1992. Anaerobic endurance and peak muscle power in children with spastic cerebral palsy. *Am. J. Dis. Child.*, **146**, 1069–1079.
- PARKER, D. F., CARRIERE, L., HEBESTREIT, H., SALSBERG, A., & BAR-OR, O. 1993. Muscle performance and gross motor function of children with spastic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.*, **35**, 17–23.
- PATTON, J. F., MURPHY, M. M., & FREDERICK, F. A. 1985. Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. *Int. J. Sports. Med.*, **6**, 82–85.
- RASCHER, W., & OLBING, H. 1997. Fehlbildungen des Urogenitalsystems. *In: Therapie der Krankheiten im Kindesalter. 5. Aufl.* Berlin: Springer Verlag.
- ROLLAND-CACHERA, M. F., SEMPE, M., GUILLOUD-BATAILLE, M., PATOIS, E., PEQUIGNOT-GUGGENBUHL, F., & FAUTRAD, V. 1982. Adiposity indices in children. *Am. J. Clin. Nutr.*, **36**, 178–184.
- ROTSTEIN, A., DOTAN, R., BAR-OR, O., & TENENBAUM, G. 1986. Effects of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int. J. Sports Med.*, **7**, 281–286.

- ROWLAND, T. W. 1996. *Developmental Exercise Physiology*. Champaign: Human Kinetics. S. 209, S. 215–230.
- SAAVEDRA, C., LAGASSE, P., BOUCHARD, C., & SIMONEAU, J.-A. 1991. Maximal anaerobic performance of the knee extensor muscles during growth. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **23**, 1083–1089.
- SARGEANT, A. J. 1989. Short-term muscle power in children and adolescents. In: BAR-OR, O. (ed), *Advances in Pediatric Sports Medicine*. Champaign: Human Kinetics.
- SARGEANT, A. J., & DAVIES, C. T. M. 1977. Limb volume, composition, and maximum aerobic power output in relation to habitual 'Preference' in young males. *Annals of Human Biology*, **4**, 49–55.
- SARGEANT, A. J., DOLAN, P., & THOME, A. 1985. Effects of supplementary physical activity on body composition, aerobic power and anaerobic power in 13 year old boys. *Pages 140–150 of: BINKHORST, R. A., & SARIS, H. C. G. KEMPERAND W. H. M. (eds), Children and Exercise XI*. Champaign: Human Kinetics.
- SPRINGER, S. P., & DEUTSCH, G. 1995. *Linkes Rechtes Gehirn. 3. Auflage*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Kap. 5: Das Rätsel der Linkshändigkeit.
- SUNNEGARDH, J., BRATTEBY, L.-E., NORDESJÖ, L.-O., & NORDGREN, B. 1988. Isometric and isokinetic muscle strength, anthropometry and physical activity in 8 and 13 year old Swedish children. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **58**, 291–297.
- TANNER, J. M. 1949. Fallacy of per weight and per surface area standards and their relation to spurious correlation. *J. Appl. Physiol.*, **2**, 1–15.
- TIROSH, E., BAR-OR, O., & ROSENBAUM, P. 1990. New muscle power test in neuromuscular disease. *Am. J. Dis. Child*, **144**, 1083–1087.
- UVEBRAND, P. 1988. Hemiplegic cerebral palsy: aetiology and outcome. *Acta Paediatr. Scand. Suppl.*, **345**, 1–100.

- VAN DEN BERG-EMONS, R. J., VAN BAAK, M. A., DE BARBANSON, D. C., SPETH, L., & SARIS, W. H. M. 1996. Reliability of test to determine peak aerobic power, anaerobic power and isokinetic muscle strength in children with spastic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.*, **38**, 1117–1125.
- WELSMAN, J. R. 1997. Interpreting young peoples exercise performance: sizing up the problem. *Pages 191–203 of: ARMSTRONG, N., KIRBY, B. J., & WELSMAN, J. R. (eds), Children and Exercise XIX. Promoting Health and Well-being.* London: E & FN Spon.
- ZAHARIEVA, E. 1981. Asymmetry of limb circumferences in female athletes. *Medicine Sport*, **15**, 142–149.
- ZWIAUER, K., & WABITSCH, M. 1997. Relativer body mass-Index (BMI) zur Beurteilung von Übergewicht und Adipositas im Kindes- und Jugendalter. *Monatsschr. Kinderheilkunde*, **45**, 1312–1318.

## 8 Anhang

### 8.1 Formular für die Einverständniserklärung

Klasse:.....

Normwerte für die seitenge trennte Fahrradergometrie

#### **Einverständniserklärung**

Ich,....., bin einverstanden, dass meine Tochter/ mein Sohn ....., geboren am ..... an der im Informationsblatt beschriebenen Studie zur Bestimmung von Normwerten für die seitenge trennte Fahrradergometrie teilnimmt. Ich habe verstanden, dass die Teilnahme eine Untersuchung im Rahmen des Sportunterrichts vorsieht. Ebenso weiss ich, dass die Untersuchungen körperliche Belastung mit hoher Intensität verlangen. Eine stärkere Müdigkeit nach den Untersuchungen kann daher auftreten.

Ich bin darüber informiert worden, dass aufgrund der Untersuchungen kein Risiko zu erwarten ist. Zum Ausschluss von Herz- oder Lungenerkrankungen, die bei sehr starker körperlicher Belastung gefährlich werden könnten, habe ich die entsprechenden Fragen auf der Rückseite dieser Einverständniserklärung beantwortet.

Ich weiss, dass meine Tochter/ mein Sohn durch die Teilnahme an der Untersuchung keine unmittelbaren Vorteile haben wird.

Ich bin mir darüber im Klaren, dass ich auch nach Unterschreiben dieser Erklärung jederzeit mein Einverständnis ohne Angabe von Gründen zurückziehen kann.

Alle persönlichen Daten werden vertraulich behandelt. Die einzelne Versuchsperson wird in evtl. Veröffentlichungen nicht identifizierbar sein, alle Bestimmungen des Datenschutzes werden eingehalten. Alle meine Fragen wurden vollständig beantwortet.

.....

(Ort und Datum)

.....

(Unterschrift Studienteilnehmer/in)

(Unterschrift Erziehungsberechtigter)

## 8.2 Rückseite der Einverständniserklärung

Wann konnte Ihre Tochter/Ihr Sohn allein: Wann konnte Ihre Tochter/Ihr Sohn  
zuerst:

Sitzen: Worte sprechen:

Frei gehen: Sätze sprechen:

Hat Ihre Tochter/ Ihr Sohn Probleme bei körperlicher Anstrengung wie z.B. Kurz-  
atmigkeit, Schmerzen, Schwindel? Wenn ja, welche:

Wenn Ihr Kind seit der Geburt nochmals im Krankenhaus war, geben sie bitte an,  
wann, warum und wie lange:

Ist Ihr Kind in ständiger ärztlicher Kontrolle (bitte ankreuzen)?

Nein Ja

Wenn Sie diese Frage mit Ja beantwortet haben, geben Sie bitte an, warum.

Leidet Ihre Tochter/ Ihr Sohn an einer der folgenden Erkrankungen:

Herzfehler Nein Ja

Asthma Nein Ja

Zerebralparese (Spastik) Nein Ja

Lähmungen Nein Ja

starke Sehbehinderung Nein Ja

starke Hörbehinderung Nein Ja

Wie aktiv ist Ihr Kind im Vergleich mit Kindern gleichen Alters?

Viel aktiver? Aktiver? Genau so aktiv? Weniger aktiv? Viel weniger aktiv?

.....

.....

.....

.....

.....

### 8.3 Liste für den Händigkeitstest

(In Anlehnung an den Edingburgh Inventory Händigkeitstest)

**Tabelle 8.3.1** - Händigkeitstest

	Links	Rechts
Telefonieren (Wählscheibe)		+ / + +
Schreiben		
Zeichnen		
Werfen		
Schere		
Zahnbürste		
Messer (wenn keine Gabel da ist)		
Löffel		
Besen (obere Hand)		
Streichholz anzünden (Streichholz)		
Deckel einer Schachtel öffnen (Deckel)		

## 8.4 Praktische Anwendung der Formeln

Es werden vom Probanden, bzw. Patienten Alter, Größe und Gewicht bestimmt. Das Alter wird berechnet aus: (Untersuchungsdatum - Geburtsdatum) / 365,25. Einheit in [Jahren].

Die Größe wird ohne Schuhe, aufrecht stehend an einer Messlatte mit rechtem Winkel erhoben. Einheit in [cm], Genauigkeit: mm.

Das Gewicht wird in Unterwäsche, bzw. möglichst leichter Sportbekleidung, ohne Schuhe mittels einer Personenwaage erhoben. Einheit in [kg], Genauigkeit: 100 g.

Die so erhobenen Werte werden in die Formeln für das jeweilige Geschlecht eingesetzt.

Für Jungen

$$TMW_l = 0,3262 \cdot A^{0,64466} \cdot S^{1,157} \cdot W^{0,62829}$$

$$TMW_r = 0,42299 \cdot A^{0,59513} \cdot S^{1,1846} \cdot W^{0,57084}$$

Für Mädchen

$$TMW_l = 0,71702 \cdot A^{0,28975} \cdot S^{1,019} \cdot W^{0,80984}$$

$$TMW_r = 0,13873 \cdot A^{0,24083} \cdot S^{1,4948} \cdot W^{0,65357}$$

( $A$  = Alter,  $S$  = Größe,  $W$  = Gewicht)

Die Berechnung für den TMW - Mittelwert:  $\overline{TMW} = (TMW_r + TMW_l)/2$

Die Berechnung für die TMW - Differenz in Prozent bezogen auf den Mittelwert:  
 $\Delta TMW = 200 \cdot (TMW_r - TMW_l)/(TMW_r + TMW_l)$

Dann kann man, nachdem der Proband mit dem rechten und linken Bein den einbeinigen WAnT absolviert hat, den Mittelwert der beiden Leistungen und die Differenz der Leistungen in Prozent, bezogen auf den Mittelwert errechnen.

Als letzter Schritt erfolgt die Bildung der Differenz aus gemessener Leistung und berechnetem Wert. In den folgenden Tabellen kann anhand dieser Werte dann nachgesehen werden, ob die Werte innerhalb der  $2\sigma$  Grenzen liegen.

Modifikation für Probanden, deren Gewicht bzw. BMI über der 97. Perzentile liegt: es wird das Normalgewicht nach der Broca-Formel (Körpergröße (in cm) - Gewicht) errechnet und anstatt dem realen Gewicht des Probanden in die Endformeln eingesetzt.

**Tabellen über die erlaubten Abweichungen  
(gemessener Wert - berechnetem Wert)**

**Tabelle 8.4.1 - Jungen:  $TMW_t$**

Altersgruppe	Mittelwert m	$m + \sigma$	$m + 2\sigma$	$m - \sigma$	$m - 2\sigma$
6	60,72	353,21	645,70	-231,77	-524,26
7	80,70	287,38	494,05	-125,97	-332,64
8	-134,74	226,12	586,98	-495,60	-856,47
9	-347,93	105,17	558,27	-801,03	-1254,13
10	293,38	837,07	1380,76	-250,30	-793,99
11	-34,79	456,16	947,12	-525,74	-1016,69
12	-196,03	261,29	718,61	-653,35	-1110,67
13	416,95	1348,54	2280,12	-514,63	-1446,22
14	310,02	1213,33	2116,63	-593,28	-1496,58
15	783,16	1947,26	3111,35	-380,93	-1545,02
16	318,17	1096,70	1875,22	-460,35	-1238,88
17	-467,75	653,92	1775,59	-1589,42	-2711,09
18	-527,40	421,63	1370,67	-1476,44	-2425,47

Tabelle 8.4.2 - Jungen:  $TMW_r$ 

Altersgruppe	Mittelwert m	$m + \sigma$	$m + 2\sigma$	$m - \sigma$	$m - 2\sigma$
6	28,09	434,08	840,07	-377,90	-783,89
7	81,59	367,70	653,81	-204,52	-490,63
8	-0,31	288,60	577,51	-289,22	-578,13
9	-164,18	430,92	1026,03	-759,29	-1354,39
10	102,51	451,85	801,19	-246,83	-596,16
11	-58,68	354,91	768,49	-472,27	-885,86
12	-254,41	187,14	628,68	-695,95	-1137,50
13	348,15	1231,19	2114,24	-534,89	-1417,93
14	446,49	1359,08	2271,67	-466,10	-1378,68
15	560,67	1522,81	2484,95	-401,47	-1363,60
16	577,57	1601,70	2625,83	-446,56	-1470,69
17	-434,66	868,48	2171,62	-1737,81	-3040,95
18	-633,72	549,83	1733,38	-1817,27	-3000,82

Tabelle 8.4.3 - Jungen: die  $TMW$  - Differenz  $\Delta TMW$  in % bezogen auf den Mittelwert

Altersgruppe	Mittelwert m	$m + \sigma$	$m + 2\sigma$	$m - \sigma$	$m - 2\sigma$
6	-2,59	8,04	18,66	-13,22	-23,84
7	-0,34	6,82	13,99	-7,51	-14,67
8	4,28	17,25	30,21	-8,68	-21,64
9	4,67	15,39	26,11	-6,04	-16,76
10	-3,98	4,00	11,97	-11,95	-19,93
11	0,27	6,86	13,46	-6,33	-12,92

12	-0,66	4,13	8,91	-5,45	-10,23
13	-0,86	2,97	6,80	-4,69	-8,52
14	1,26	9,06	16,85	-6,53	-14,33
15	-1,96	4,08	10,11	-8,00	-14,03
16	1,93	6,68	11,44	-2,83	-7,58
17	-0,08	7,96	16,01	-8,12	-16,17
18	-0,65	4,63	9,91	-5,93	-11,21

Tabelle 8.4.4 - Mädchen:  $TMW_i$ 

Altersgruppe	Mittelwert m	$m + \sigma$	$m + 2\sigma$	$m - \sigma$	$m - 2\sigma$
6	-48,99	220,42	489,83	-318,39	-587,80
7	-56,89	252,18	561,24	-365,96	-675,03
8	-95,53	240,93	577,40	-431,99	-768,46
9	-50,37	337,45	725,26	-438,18	-826,00
10	-0,25	309,54	619,32	-310,03	-619,81
11	511,97	1244,85	1977,73	-220,91	-953,79
12	113,12	616,25	1119,39	-390,02	-893,15
13	330,15	1136,26	1942,36	-475,96	-1282,06
14	499,93	1238,87	1977,81	-239,01	-977,95
15	305,90	795,25	1284,60	-183,44	-672,79
16	-42,63	362,91	768,46	-448,18	-853,73
17	-404,35	332,06	1068,48	-1140,77	-1877,18
18	-703,96	105,83	915,63	-1513,76	-2323,55

Tabelle 8.4.5 - Mädchen:  $TMW_r$ 

Altersgruppe	Mittelwert m	$m + \sigma$	$m + 2\sigma$	$m - \sigma$	$m - 2\sigma$
6	-166,02	217,88	601,77	-549,92	-933,82
7	32,43	301,19	569,95	-236,32	-505,08
8	-20,90	261,50	543,90	-303,30	-585,69
9	174,39	618,70	1063,01	-269,93	-714,24
10	76,95	415,94	754,94	-262,05	-601,05
11	396,95	1008,40	1619,85	-214,49	-825,94
12	217,67	880,48	1543,28	-445,13	-1107,94
13	220,19	963,08	1705,97	-522,70	-1265,60
14	177,40	618,60	1059,80	-263,80	-705,00
15	196,52	651,38	1106,24	-258,33	-713,19
16	-3,16	422,43	848,02	-428,74	-854,33
17	-475,34	191,49	858,31	-1142,16	-1808,98
18	-508,35	217,47	943,29	-1234,17	-1959,99

Tabelle 8.4.6 - Mädchen: die  $TMW$  - Differenz  $\Delta TMW$  in % bezogen auf den Mittelwert

Altersgruppe	Mittelwert m	$m + \sigma$	$m + 2\sigma$	$m - \sigma$	$m - 2\sigma$
6	-6,23	3,52	13,27	-15,97	-25,72
7	3,05	10,18	17,30	-4,07	-11,20
8	2,65	10,77	18,90	-5,48	-13,61
9	6,02	14,11	22,21	-2,08	-10,18
10	2,11	9,97	17,84	-5,75	-13,62
11	-2,66	3,12	8,89	-8,43	-14,21

12	0,84	6,39	11,94	-4,71	-10,26
13	-1,36	2,25	5,86	-4,98	-8,59
14	-4,49	1,32	7,13	-10,30	-16,12
15	-1,52	2,76	7,04	-5,80	-10,08
16	0,48	6,26	12,03	-5,29	-11,07
17	-0,68	3,96	8,61	-5,33	-9,97
18	2,59	6,84	11,09	-1,66	-5,91

# Danksagung

Ich möchte mich besonders bei Herrn Privat-Dozent Dr. med. H. Hebestreit für die Bereitstellung des Themas der Arbeit und seine Unterstützung bei der Durchführung, seine Ratschläge und Anregungen zur Bearbeitung und die nette Betreuung im Ganzen herzlich bedanken.

Für die Bereitstellung und Genehmigung zur Nutzung, der für die Untersuchungen benötigten Gerätschaften, auch ausserhalb der Kinderklinik, möchte ich Herrn Prof. Dr. med. H. Bartels sehr danken.

Weiterer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. med. H. M. Straßburg, Michael Fischer, Gregor Lange und Frau B. Wollny.

Ganz besonderer Dank gilt vor allem den Direktoren und Sportlehrern der Grundschule in Lengfeld, dem Friedrich-Koenig-Gymnasium und dem St. Ursula Gymnasium in Würzburg. Besonders erwähnen möchte ich Frau Wandl-Berger und Herrn Kraus, die mit viel persönlichem Engagement eine große Hilfe waren. Auch ein herzliches Dankeschön an alle Kinder und Jugendlichen, die an der Untersuchung teilgenommen haben und ohne die diese Untersuchung nicht hätte stattfinden können.

Ausserdem möchte ich mich gerne bei meinen Eltern Heidi und Dieter Eppel bedanken. Sie hatten immer ein offenes Ohr bei auftretenden Problemen, ohne ihre Unterstützung wäre mir vieles schwerer gefallen.

Zum Schluss möchte ich noch meinen Freund Frank Wilhelm dankend erwähnen, der viele Abende und Wochenenden auf mich verzichten musste und mich immer lecker bekocht und liebevoll umsorgt hat.

Herzlichen Dank auch an Belinda Oidtmann, die mir durch Übernahme anderweitiger Verpflichtungen viel Zeit verschafft hat, die ich für die Arbeit nutzen konnte.

# Lebenslauf

## Zur Person

Julia Anna Eppel

geb. am 11.10.1973 in Hamburg

wohnhaft in 22179 Hamburg, Brachetweg 1

ledig, deutsche Staatsangehörigkeit

## Schulbildung

1979 - 1983

Grundschule 'Wrangelstraße', Hamburg

1983 - 1989

Gesamtschule 'Jahnschule', Hamburg

Aug. 89 - Jan. 90

als Austauschschülerin in den USA/Oregon

1990 -1992

Gymnasiale Oberstufe der 'GS-Jahnschule', Hamburg

Juni 1992

Abitur

## Studium

SS 1993 - SS 1994

Studium der Humanmedizin in Hamburg

SS 1994 - SS 1996

Studium der Rechtswissenschaft in Hamburg

SS 1996 - WS 1998/99

Studium der Humanmedizin in Würzburg

WS 1998/99 - WS 2002/03

Studium der Humanmedizin in Lübeck

## Examina

September 1997

Physikum

März 1999

Erstes Staatsexamen

März 2001

Zweites Staatsexamen

Dezember 2002

Drittes Staatsexamen

## Famulaturen

01.09. - 30.09.1998

Innere Medizin in der Med. Klinik - Krankenhaus  
Stade

14.02. - 05.03.2000

Rechtsmedizin in der Medizinischen Universität  
zu Lübeck

06.03. - 19.03.2000

Chirurgie in der Privatklinik Dr. Reiser in Ingolstadt

20.03. - 09.04.2000

Radiologie in der Röntgenpraxis im Tesdorpfhaus  
in Lübeck

24.07. - 13.08.2000	Augenheilkunde in der Medizinischen Universität zu Lübeck
14.08. - 27.08.2000	Neurologie im Marienkrankenhaus in Hamburg
<b>Praktisches Jahr</b>	
15.10.2001 - 01.02.2002	Anästhesiologie im Spital Wattwil, Wattwil/Schweiz
04.02.2002 - 24.05.2002	Chirurgie in der Asklepios Klinik in Bad Oldesloe
27.05.2002 - 13.09.2002	Innere Medizin in der Asklepios Klinik in Bad Oldesloe

### **Stellen**

Vom 01.01. - 30.06.2003 tätig als ÄiP in der Park-Klinik Manhagen in Großhansdorf, Anästhesie Abteilung

Seit 01.07.2003 tätig als ÄiP in der Endo-Klinik in Hamburg, Anästhesie Abteilung

### **Weitere Tätigkeiten vor und während des Studiums:**

- Sport: Basketball und Fitnessstraining
- Oktober 1992 bis November 1992 Ausbildung zur Schwesternhelferin beim DRK in Hamburg
- Dezember 1992 bis April 1993 Vollzeit, danach an Wochenenden bis April 1996 und an Wochenenden von September 1998 bis Juni 1999 Arbeit im Ambulanten Dienst des Altenheims 'Hospital zum Heiligen Geist' in Hamburg Poppenbüttel
- Ab August 1999 bis Mai 2001 Arbeit überwiegend an den Wochenenden und in den Semesterferien als Extrawache in der Medizinischen Universität zu Lübeck  
Vollzeitarbeit in der Pflege von Juli bis Ende September 2001 in der Endo - Klinik in Hamburg