

Aus dem Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen

Direktor: Professor Dr. K. Dietz

**Die zeitliche Abfolge der Entwicklungsstufen
zum freien Gehen bei gesunden Kindern:
Eine statistische Analyse von Längsschnittdaten**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Freia Hünig, geb. Donig**

**aus
Hamburg**

2006

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter: Professor Dr. K. Dietz
2. Berichterstatter: Frau Professor Dr. I. Krägeloh-Mann

Meinen Kindern
Rahel, Benjamin und Ruben Hünig
gewidmet

Inhaltsverzeichnis

I)	Einleitung.....	6
II)	Material, Hilfsmittel und Methodik.....	8
II a)	Material	8
II b)	Hilfsmittel	13
II c)	Methodik	14
II d)	Berechnung von Perzentile und Referenzbereichen der Entwicklungsstufen-Eintrittszeiten.....	19
II e)	Testverfahren.....	19
II f)	Analyse der Reihenfolge motorischer Entwicklungsschritte.....	20
II g)	Berechnung von Korrelationen und die Entwicklung von Referenzbereichen mit prognostischer Funktion.....	21
III)	Ergebnisse.....	26
III a)	Graphische Auswertung der Daten	26
III b)	Die Verteilungen der Entwicklungsstufeneintrittszeiten.....	37
III c)	Die Entwicklungsstufen-Mediane und ihre Konfidenzintervalle	39
III d)	Perzentiltabellen und Referenzbereiche der Entwicklungsstufeneintrittszeiten	42
III e)	Test auf Unterschiede von Entwicklungsstufeneintrittszeiten innerhalb einer motorischen Gruppe.....	47
III f)	Test auf Unterschiede in der Geschwindigkeit der motorischen Entwicklung bei Mädchen und Jungen.....	49
III g)	Betrachtung der Stichprobenteilmengen mit E_5 und ohne E_5	53
III h)	Die zeitliche Abfolge der Entwicklungsschritte	53
III i)	Reihenfolgeanalyse motorischer Entwicklungsschritte	54
III j)	Die Korrelationsanalyse der Entwicklungsstufen und die Entwicklung von Referenzbereichen mit prognostischer Funktion	59
IV)	Diskussion.....	82
IV a)	Das Datenmaterial	82
IV b)	Die Reihenfolge der Entwicklungsstufen.....	82
IV c)	Die zeitlichen Verteilungen der Entwicklungsstufen.....	86

IV d)	Die Korrelationen der Entwicklungsstufen	92
IV e)	Schlussfolgerung	99
IV f)	Zusammenfassung	100
V)	Anhang	104
V a)	Verzeichnis der Abbildungen	114
V b)	Verzeichnis der Tabellen	116
VI)	Literaturverzeichnis	117
VII)	Danksagung	118
VIII)	Lebenslauf	119

I) Einleitung

Die motorische Entwicklung von gesunden Babys schreitet über verschiedene Stufen bis zum freien Gehen fort und spiegelt dabei die neurologisch-motorische Reife sowie auch den psychomotorischen Willen des Kindes wider. Entwicklungstheoretische Betrachtungen haben im Wesentlichen zu zwei unterschiedlichen Entwicklungskonzepten geführt; auf der einen Seite zu dem von Gesell /2/, /3/ entwickelten, genetisch deterministischen Konzept, das eine hierarchische Ordnung, eine Normabfolge der Entwicklungsschritte bei gesunden Kindern postuliert und auf der anderen Seite zu einem ganzheitlichen Konzept, das in der interindividuellen Variabilität der Entwicklung keine pathologische Normabweichung, sondern eine gesunde Vielfalt sieht. Vertreter dieser modernen Denkrichtung sind unter anderen Largo /4/, /5/, Michaelis /6/, /7/, Pikler /8/, /9/. Die beiden polaren Anschauungen über Entwicklungsprinzipien führen in der Praxis zu völlig unterschiedlichen Bewertungen normabweichender kindlicher Motorik mit entsprechend unterschiedlichen Therapieindikationen.

Um die Diskussion der beiden Konzepte voranzubringen und um für die kinderärztliche Diagnostik validierte Referenzbereiche ausgewählter Entwicklungsstufen zu erhalten, wurde die der Arbeit zugrunde liegende Tübinger Längsschnittstudie mit gesunden Kindern durchgeführt. Man erhofft von der Datenanalyse, dass sie in die Diskussion der Konzepte neue und entscheidende Erkenntnisse einführt und dass sie zeigen kann, welche Variabilität der Entwicklung als normal betrachtet werden muss, um mit größerer Sicherheit innerhalb der Entwicklungsvielfalt ungewöhnliche motorische Entwicklungen erkennen zu können, bzw. um Eltern Sicherheit in der Beurteilung gesunder Entwicklungsverhältnisse zu geben. Man benötigt daher sowohl die Definition von Zeitspannen, innerhalb derer bestimmte motorische Fortschritte bei der Mehrzahl aller gesunden Kinder eintreten als auch eine Beurteilung der Entwicklungsreihenfolgen. Hinsichtlich der

Entwicklungsreihenfolgen ist zu klären, ob selbige festgelegt sind, bestimmten Regeln folgen oder frei individuell variieren. Darüber hinaus soll versucht werden, Fragen zu der Vorhersagbarkeit von Eintrittsaltern später motorischer Fertigkeiten aufgrund des Eintrittsalters von frühen Entwicklungsstufen zu beantworten.

Die vorliegende Arbeit hat in diesem Sinn zur Aufgabe, Referenzbereiche des Eintrittsalters ausgewählter motorischer Entwicklungsstufen zu erstellen und ein prognostisches Instrument zu entwickeln, mit dem von dem Eintrittszeitpunkt einer bestimmten motorischen Fertigkeit auf die Eintrittszeit einer anderen motorischen Fertigkeit geschlossen werden kann. Die Reihenfolge der Fertigkeiten in denen sich die motorische Entwicklung abspielt, ist zu analysieren.

Die Tübinger Studie geht in ihrer Intention über bisherige Studien, die im Wesentlichen der Berechnung von Mittelwerten, Medianen und Standardabweichungen sowie der Darstellung kumulativer Häufigkeitsverteilungen der Entwicklungsstufeneintrittszeiten dienen, hinaus, indem sie einerseits praxisrelevante, validierte Referenzbereiche der Eintrittszeiten ausgewählter Entwicklungsstufen präsentieren soll und andererseits mit der Prognostik, sowie mit derselben zugrundeliegenden Korrelationsanalyse der Entwicklungsstufeneintrittszeiten und mit der systematischen Sequenzanalyse der Entwicklungsstufen wissenschaftliches Neuland betreten möchte.

II) Material, Hilfsmittel und Methodik

II a) Material

Die Längsschnittdaten wurden von Ende 1991 bis Ende 1993 an einem Kollektiv 175 gesunder Tübinger Babys erhoben. Aus diesem Kollektiv liegen für 157 Babys, es sind 78 Mädchen und 79 Jungen, die vollständig ausgefüllten Erfassungsbögen zur Auswertung vor. Der Beobachtungszeitraum reichte von der Vorsorgeuntersuchung U3 (vierte bis sechste Lebenswoche) bis zum vollendeten 18. Monat dieser Kinder. Geburtszeitraum der Kinder : 8.1991-6.1992.

Kontrolle und Betreuung erfolgte durch die Kinderärzte M. Barner und Dr. med. Asenbauer in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Entwicklungsneurologie und Neuropädiatrie der Tübinger Universitäts-Kinderklinik unter Leitung von Prof. Dr. med. R. Michaelis.

In die Studie aufgenommen wurden nur reife Neugeborene mit APGAR-Werten von mindestens acht, die termingerecht zwischen der 38. und der 42. Schwangerschaftswoche in der Tübinger Universitätsklinik oder Kliniken des Tübinger Umkreises zur Welt gekommen waren. Die Neugeborenen mussten ohne Komplikationen aus den Kliniken entlassen worden sein und durften keine perinatalen Risiken gehabt haben. Es durften keine Stoffwechselerkrankungen vorliegen, und bei der Aufnahme in die Studie zum Zeitpunkt der Vorsorgeuntersuchung U3 musste die Gesundheit der Babys durch eine ausführliche klinische Untersuchung bestätigt werden. Die Vorsorgeuntersuchungen U4 bis U7 durften keine pathologischen Befunde ergeben.

Voraussetzung für die Aufnahme eines Kindes in die Studie war ferner die sichere verbale Kommunikation mit den Eltern, damit die Erfassungskriterien ausführlich vermittelt werden konnten. Aus diesem Grund führt die Studie fast ausschließlich Kinder deutscher Eltern. Entsprechend dem sozioökonomischen Profil der Universitätsstadt Tübingen darf der Bildungsgrad und Lebensstandard

der Studienfamilien als gehoben eingeschätzt werden. Explizite Angaben dazu liegen nicht vor.

Den Eltern wurde der unten folgende Erfassungsbogen zur Protokollierung der Eintrittszeitpunkte motorischer Fortschritte übergeben. Ein Begleitschreiben erläuterte die Regeln, nach denen die Einträge erfolgen sollten:

1. Kennzeichnung des Zeitpunktes, an dem das Kind die neue Fähigkeit bereits recht flüssig und nicht erst im Ansatz beherrscht.
2. Kennzeichnung mit einem 1/2 Monat Genauigkeit.
3. Freilassen einer Zeile, wenn der entsprechende Entwicklungsschritt ausgelassen wurde.

Ferner wurden die Eltern gebeten, den aktualisierten Erfassungsbogen regelmäßig mit dem Vorsorgeheft zu den Vorsorgeuntersuchungen mitzubringen und ihn bei der Vorsorgeuntersuchung U7 zur Auswertung abzugeben. In dem Begleitschreiben wurde den Eltern Datenschutz zugesichert.

Name: _____ (erstler Buchstabe genügt) Vorname: _____ geb.: _____

Mädchen Zwillinge wievieltes Kind? 2 Bewertung: _____

Junge

Alle Fähigkeiten sollen vom Kind schon recht flüssig und nicht erst im Ansatz gekonnt werden. Dieser Zeitpunkt soll eingetragen werden (auf halben Monat genau).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Freies Gehen																				
Gehen mit Festhalten																				
Stehen mit Festhalten																				
Hochziehen Stehen																				
Krabbeln																				
Kriechen/Robben																				
selbständig Liegen → Sitzen																				
Sitzen frei																				
Bauchlage → Rückenlage selbst.																				
Rückenlage → Bauchlage selbst.																				

Freies Gehen schon recht sicher, nicht nur einige Schrittschritte. Gangbild darf noch etwas unsicher und breitbeinig sein.

Kind geht, sich an Möbeln oder Wand abstützend, selbst mit seitlichen Schritten.

Kind steht, sich an Möbeln festhaltend, wenn es von Erwachsenen hingestellt wird.

Kind zieht sich liegend, sitzend oder knieend und sich an Möbeln festhaltend, zum Stehen hoch und hält sich stehend fest.

Kind stürzt sich ab auf Händen und gestreckten Armen und auf den Knien, Bauch vom Boden abgehoben.

Kind bewegt sich ohne Abheben des Bauches vom Boden vorwärts. Kriechen. Mit beiden Armen (und Beinen). Robben. Vorwärtsschieben nur mit 1 Arm, der andere Arm wird gebeugt am Körper gehalten.

Kind kommt aus Bauch- oder Rückenlage selbständig, z.B. mit seitlichem Abschlüpfen der Arme zum freien Sitzen.

Sicheres Sitzen ohne Gleichgewichtsprobleme möglich, ohne Abschlüpfen mit den Armen auf der Unterlage, gerader Rücken, gerade Kopfhaltung, freie Beweglichkeit des Kopfes, der Arme/Hände.

Selbständiges, gut koordiniertes Drehen von Bauchlage nach Rückenlage.

Selbständiges, gut koordiniertes Drehen von Rückenlage nach Bauchlage.

• Wird nicht selten ausgelassen, dann Spalte freilassen.

Schlafstellung 1.-4. 5.-8. 9.-12. Mon. 1. Lebensjahr

vorwiegend Bauchlage

vorwiegend Rückenlage

vorwiegend Seitlage

keine bevorzugte Lage

RL

Abb. 1 Beispiel eines Erfassungsbogens

Im Folgenden werden die im Erfassungsbogen aufgeführten zehn Entwicklungsstufen mit den Kürzeln E₁,..., E₁₀ belegt. In den Tabellen und Graphiken wird aus optischen Gründen die Notation E₁,..., E₁₀ gewählt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Definition der Entwicklungsstufen E1 bis E10

Entwicklungsstufe	Kurzbeschreibung	Definition
E1	Rückenlage → Bauchlage selbst.	Selbständiges, gut koordiniertes Drehen von Rückenlage nach Bauchlage
E2	Bauchlage → Rückenlage selbst.	Selbständiges, gut koordiniertes Drehen von Bauchlage nach Rückenlage
E3	Sitzen frei	Sicheres Sitzen ohne Gleichgewichtsprobleme möglich, ohne Abstützen mit den Armen auf der Unterlage, gerader Rücken, gerade Kopfhaltung, freie Beweglichkeit des Kopfes, der Arme/Hände
E4	selbständig Liegen → Sitzen	Kind kommt aus Bauch- oder Rückenlage selbständig, z.B. mit seitlichem Abstützen der Arme zum freien Sitzen
E5	Kriechen / Robben	Kind bewegt sich ohne Abheben des Bauches vom Boden vorwärts. Kriechen: Mit beiden Armen (und Beinen), Robben: Vorwärtsschieben nur mit 1 Arm, der andere Arm wird gebeugt am Körper gehalten
E6	Krabbeln	Kind stützt sich ab auf Händen und gestreckten Armen und auf den Knien, Bauch vom Boden abgehoben
E7	Hochziehen Stehen	Kind zieht sich, liegend, sitzend oder kniend und sich an Möbeln festhaltend, zum Stehen hoch und hält sich stehend fest
E8	Stehen mit Festhalten	Kind steht, sich an Möbeln festhaltend, wenn es von Erwachsenen hingestellt wird
E9	Gehen mit Festhalten	Kind geht, sich an Möbeln oder Wand abstützend, selbst mit seitlichen Schritten
E10	Freies Gehen	Freies Gehen schon recht sicher, nicht nur einige Schrittchen. Gangbild darf noch etwas unsicher und breitbeinig sein

1) Das Datenmaterial

Die Notation der Entwicklungsstufeneintrittszeiten ist in den Erhebungsbögen recht unterschiedlich gehandhabt worden, da es hierzu keine explizite Anleitung

gegeben hat. In manchen Erhebungsbögen finden sich genau platzierte Punkte zur Markierung der Eintrittszeiten, in anderen Kreuze verschiedener Größe; es werden senkrechte und horizontale Striche, Pfeile und Schraffuren benutzt. Horizontale Striche, Pfeile und Schraffuren verlaufen oftmals über mehrere Spalten hinweg und dokumentieren den Zeitraum vom ersten Auftreten einer Fertigkeit bis zu deren flüssiger Beherrschung. Die Objektivität der Ergebnisse ist dennoch durch die auf Seite 14 festgelegten Übertragungsregeln für die Notationen eines Erfassungsbogens in die Zahlenwerte eines Datensatzes gesichert.

Eine Problematik liegt in der Definition einer „recht flüssig und nicht erst im Ansatz beherrschten Fähigkeit“, gemäß der die Eltern den Ereigniseintrittszeitpunkt einzutragen hatten. In 78 Fällen hat man es mit dem ersten Kind einer Familie zu tun, so dass hier durch den Mangel an Erfahrung über das, was mit „nicht erst im Ansatz“ gemeint ist, Auslegungsvielfalt entstehen kann. Aber auch der Wunsch von Eltern, ihr Kind möge doch bestimmte Fähigkeiten schon besitzen, kann zu Notationsfehlern führen. Es muss also festgestellt werden, dass die Reliabilität der Ausgangsdaten nicht geklärt ist.

II b) Hilfsmittel

Rechenoperationen und Graphiken wurden unter Verwendung von Microsoft Excel und mit Hilfe des Statistikpakets JMP4 von SAS ausgeführt. In den einzelnen Abschnitten werden die Hilfsmittel gesondert genannt.

Nummerierungselemente für Querverweise innerhalb der Arbeit werden kursiv gedruckt von dem übrigen Text abgehoben und bezeichnen in der elektronischen Textdarstellung aktivierte Felder, von denen aus man zu den Verweisstellen gelangen kann.

II c) Methodik

1) Auswertung der Erfassungsbögen

Ein Datensatz besteht aus einer fortlaufenden Nummer, dem Geschlecht und den Entwicklungsstufeneintrittszeitpunkten von E_1, \dots, E_{10}

Bei der Übertragung der Daten von E_1, \dots, E_{10} aus den Erfassungsbögen in Rechnertabellen wurden diese im Einklang mit der Erfassungsanleitung folgendermaßen interpretiert:

0. Als Markierung eines Entwicklungsstufeneintrittszeitpunktes wird bei Verwendung von Schraffuren, Pfeilen oder horizontalen Strichen über mehrere Spalten des Erfassungsbogens immer der äußerste rechte Endpunkt gewertet. Werden Keuze, Schrägstriche, Punkte oder Entsprechendes im Erfassungsbogen für die Dokumentation verwendet, so gilt die Mitte des Markers als Markierung der Entwicklungsstufeneintrittszeit.
1. Eine Markierung für die Fertigkeit E_i $i=1, \dots, 10$ über einem Monatsmarker m bedeutet, dass E_i einen halben Monat zuvor noch nicht, aber in dem Alter von m Monaten sicher beherrscht wird. D.h., das Ereignis E_i findet in dem links offenen Intervall $(m - \frac{1}{2}, m]$ statt und wird zeitlich dem Intervallende m zugeordnet.
2. Eine Markierung für die Fertigkeit E_i zwischen zwei Monatsmarkern m und $m+1$ bedeutet, dass E_i zum Zeitpunkt m noch nicht, aber mit dem Alter von $m + \frac{1}{2}$ Monaten sicher beherrscht wird, d.h. das Ereignis E_i tritt in dem links offenen Intervall $(m, m + \frac{1}{2}]$ ein und wird zeitlich dem Intervallende $m + \frac{1}{2}$ zugeordnet.

3. Übersprungene Entwicklungsstufen E_i werden im Datensatz mit „“ belegt.
4. Die Notierung der Daten erfolgt somit 1/2-Monatsschritten.
5. Die Maßeinheit ist der Monat.

Durch den Erfassungsmodus liegen die Daten intervallzensiert vor, d.h. die einem Intervallende zugeordneten Ereigniseintrittszeitpunkte liegen in Wirklichkeit nicht näher bestimmbar irgendwo innerhalb dieses Intervalls.

Alle Berechnungen wurden sowohl für Mädchen und Jungen getrennt, und wo sinnvoll für die beide Geschlechter enthaltende Gesamtheit durchgeführt. Die Ergebnisse in den verschiedenen Gruppen werden nebeneinander in den jeweiligen Abschnitten dargestellt.

2) **Ermittlung der Verteilungen der Ereigniseintrittszeiten aufgrund der intervallzensierten Daten**

Sei X eine reelle Zufallsvariable (ZV), die die Wartezeiten bis zum Eintreffen eines bestimmten Ereignisses misst. Dann ist X lognormalverteilt mit der Dichtefunktion $f_X(x)$:

$$f_X(x) = \frac{1}{x * \sigma * \sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{1}{2} * \frac{(\ln x - \mu)^2}{\sigma^2}\right)$$

Die reelle ZV $Y = \ln X$ ist normalverteilt mit der Streuung σ und dem Erwartungswert μ . Die Dichtefunktion $f(y)$ lautet:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{1}{2} * \frac{(y - \mu)^2}{\sigma^2}\right)$$

Definiere nun die reellen ZV's X_1, \dots, X_{10} mit $X_i := X(E_i)$, $i = 1, \dots, 10$, so dass X_i , die Entwicklungsstufeneintrittszeiten von E_i annimmt. Das Eintreten einer Entwicklungsstufe wird im folgenden als Ereignis bezeichnet.

Die ZV's X_1, \dots, X_{10} sind lognormalverteilt,

die ZV's $Y_1 = \ln X_1, \dots, Y_{10} = \ln X_{10}$ sind normalverteilt.

Die Parameter μ und σ jeder ZV Y_1, \dots, Y_{10} werden nach der Maximum-Likelihood-Methode errechnet. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Überlegungen, Definitionen und Prozeduren sind folgende:

1. Wenn $Y = \ln X$ normalverteilt ist, dann ist $Y^* = \frac{(\ln X - \mu)}{\sigma}$ standardnormalverteilt.
2. Sei $I_m = (m - \frac{1}{2}, m]$, $m \in \{\frac{1}{2}, 1, 1\frac{1}{2}, \dots, 17\frac{1}{2}, 18\}$ ein links offenes Zeitintervall.
 $X_i \in I_m$ bedeutet, dass das Ereignis E_i , $i = 1, \dots, 10$ in das Zeitintervall I_m fällt.
3. Sei $\ln(I_m) := (\ln(m - \frac{1}{2}), \ln(m)]$ die logarithmische Transformation von I_m .
 Dann gilt:
 $P(X_i \in I_m) = P(Y_i \in \ln(I_m)) = P(\ln(m - \frac{1}{2}) < Y_i \leq \ln(m))$ ist die Wahrscheinlichkeit für ein Eintreten von X_i im Zeitintervall I_m .
4. $P(Y_i \in \ln(I_m)) = P(Y_i \leq \ln m) - P(Y_i \leq \ln(m - \frac{1}{2}))$
5. Die Likelihood-Funktion der ZV Y_i lautet:

$L(Y_i, \mu, \sigma) = \prod_{k=1}^N P(Y_i \in \ln(I_{x_{ik}}))$, wobei N die Größe des Stichprobenumfangs ist und $I_{x_{ik}}$ die Zeitintervalle sind, in denen das Ereignis E_i eintritt.

6. Wegen 4. und 5. gilt:

$$L(Y_i, \mu, \sigma) = \prod_{k=1}^N (P(Y_i \leq \ln x_{ik}) - P(Y_i \leq \ln(x_{ik} - \frac{1}{2})))$$

7. Übertrage das in 6. Dargestellte auf die standardnormalverteilte ZV Y_i^* .
Dann sind die einzelnen Faktoren $F_{ik}, k=1, \dots, N$ der Likelihood-Funktion folgende Ausdrücke:

$$F_{ik} = \Phi\left(\frac{\ln x_{ik} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\ln(x_{ik} - \frac{1}{2}) - \mu}{\sigma}\right), \quad k=1, \dots, N.$$

8. Bilde $-\log(L(Y_i^*, \mu, \sigma)) = \sum_{k=1}^N -\log(F_k)$ und lasse über diese log-Likelihood-

Funktion die gesuchten Parameter $\mu(Y_i)$ und $\sigma(Y_i)$ berechnen.

9. Berechnung über die Plattform Nonlinear Fit im Menü „Analyse“ von JMP4 mit:

$$\text{MODELL} = -\log\left[\Phi\left(\frac{\ln X_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\ln(X_i - \frac{1}{2}) - \mu}{\sigma}\right)\right]$$

LOSS = MODELL

10. Bei Einschränkung der Datensätze einmal auf die der Mädchen, dann auf die der Jungen, lassen sich durch Anwendung des oben beschriebenen die Parameter $\mu(Y_i)$ und $\sigma(Y_i)$ der geschlechtsspezifischen Verteilungen erhalten.

11. Durch Einsetzen der zu einer Entwicklungsstufe E_i gehörigen Parameter $\mu(Y_i)$ und $\sigma(Y_i)$ in die Formel der Dichtefunktion $f_x(x)$ erhält man die theoretische Dichtefunktion der ZV X_i , von E_i mit:

$$f_{X_i}(x) = \frac{1}{x * \sigma(X_i) * \sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{1}{2} * \frac{(\ln x - \mu(X_i))^2}{\sigma(X_i)^2}\right).$$

(a) Die Erwartungswerte der Entwicklungsstufen E_1, \dots, E_{10}

Die Erwartungswerte $\mu(X_i), i=1, \dots, 10$ berechnen sich wie folgt :

$$\mu(X_i) = \exp\left(\mu(Y_i) + \frac{\sigma(Y_i)^2}{2}\right)$$

(b) Die Standardabweichungen der Entwicklungsstufen E_1, \dots, E_{10}

Die Standardabweichungen $\sigma(X_i)$, $i = 1, \dots, 10$ berechnen sich wie folgt:

$$\sigma(X_i) = \sqrt{\exp(2\mu(Y_i) + \sigma(Y_i)^2) * (\exp(\sigma(Y_i)^2) - 1)}$$

(c) Die Mediane der Entwicklungsstufen E_1, \dots, E_{10}

Die Mediane errechnen sich aus den Werten $\mu(Y_i) = \mu(\ln X_i)$ mit

$$\text{Median}(X_i) = \exp(\mu(Y_i)), i = 1, \dots, 10$$

(d) Die Konfidenzintervalle der Mediane von E_1, \dots, E_{10}

Für die 95% -Konfidenzintervalle der Erwartungswerte der normalverteilten ZV's Y_i , $i = 1, \dots, 10$ bei geschätzter Standardabweichung $\sigma(Y_i)$ gilt :

$$K_{95\%}(Y_i) = \mu(Y_i) \pm t(n-1, \alpha = 0,05) * \frac{\sigma(Y_i)}{\sqrt{n}}, n = \text{Stichprobenumfang}$$

Für die Konfidenzintervalle der Mediane der lognormalverteilten ZV's X_i , $i = 1, \dots, 10$ gilt:

$$K_{95\%}(X_i) = \exp\left(\mu(Y_i) \pm t(n-1, \alpha = 0,05) * \frac{\sigma(Y_i)}{\sqrt{n}}\right)$$

(e) Die Modalwerte der Entwicklungsstufen E_1, \dots, E_{10}

Die Modalwerte berechnen sich aus den Werten $\mu(Y_i) = \mu(\ln X_i)$ und

$$\sigma(Y_i) = \sigma(\ln X_i) \text{ mit}$$

$$\text{Modalwert}(X_i) = \exp(\mu(Y_i) - \sigma(Y_i)^2)$$

II d) Berechnung von Perzentile und Referenzbereichen der Entwicklungsstufen-Eintrittszeiten

Ausgegangen wird wieder von den normalverteilten logarithmierten Daten $\ln X_1, \dots, \ln X_{10}$.

1. Bestimmung der α -Perzentile u_α für die standardnormalverteilten ZV's

$$Y_i^* = \frac{\ln X_i - \mu(\ln X_i)}{\sigma(\ln X_i)}$$

mit $u_{\alpha=2,5\%} = -1,96$, $u_{\alpha=10\%} = -1,28$, $u_{\alpha=25\%} = -0,67$ und entsprechend für $\alpha = 97,5\%; 90\%; 75\%$

2. Umrechnen in das entsprechende α -Perzentil pi_α der normalverteilten ZV's $\ln X_i$. Es gilt:

$$pi_\alpha = u_\alpha * \sigma(\ln X_i) + \mu(\ln X_i)$$

3. Rücktransformation von pi_α in den Wert der lognormalverteilten ZV's X_i . Es gilt:

$\exp(pi_\alpha) = \exp(u_\alpha * \sigma(\ln X_i) + \mu(\ln X_i))$ ist das α -Perzentil der lognormalverteilten ZV X_i .

4. Sei $R_\alpha(X_i)$ der α -Referenzbereich der Eintrittszeiten von Entwicklungsstufe E_i , $i = 1, \dots, 10$, dann gilt:

$$R_\alpha(X_i) = \left[\exp(pi_\beta) \exp(pi_{100-\beta}) \right], \text{ mit } \beta = \frac{100 - \alpha}{2}.$$

II e) Testverfahren

Zur Testung von Hypothesen zum zeitlichen Ablauf von Entwicklungsstufen werden unter III e), Seite 47f und III f), Seite 49ff t-Tests für verbundene und unverbundene Stichproben durchgeführt. Zum Zweck besserer Verständlichkeit wird die Testmethodik an den entsprechenden Stellen dargestellt.

Die Testungen der Korrelationen auf Signifikanz und unterschiedliche Stärke unter III j)4) und III j)5) haben Fishers z' -Transformation (siehe Seite II g)2),

Seite 22) zur Voraussetzung. Die Testprozeduren werden ebenfalls unter dem Aspekt der Verständlichkeit erst in den betreffenden Abschnitten erläutert.

II f) Analyse der Reihenfolge motorischer Entwicklungsschritte

1) Auswertung der Rohdaten

Voraussetzung:

Sei $X_i := X_i(E_i)$, $i = 1, \dots, 10$ eine ZV, die die Eintrittszeit des motorischen Ereignisses E_i misst und sei $M := \{\frac{1}{2}, 1, 1\frac{1}{2}, \dots, 17\frac{1}{2}, 18\}$ die Menge der Ereigniseintrittszeiten. Dann gilt: $X_i \in M$.

$X = (X_1, \dots, X_{10}) \in M^{10}$ repräsentiert einen Datensatz der Ereigniseintrittszeiten. Sei ferner $A := \{1, 2, \dots, 10\}$ und A^{10} die Menge aller 10-Permutationen mit Wiederholung aus A .

Definition: Sei $G: M^{10} \rightarrow A^{10}; G(X) := (g_1(X), \dots, g_{10}(X))$ eine Abbildung aus der Menge der Datensätze in die Menge der 10-Permutationen von A mit den Komponenten:

$$g_i: M^{10} \rightarrow A; g_i(X) := (1 + \sum_{j=1}^{i-1} 1) \forall j: X_j < X_i, i = 1, \dots, 10$$

Dann zählen die Komponenten g_i von G die Anzahl der Entwicklungsstufen, die zeitlich vor der Entwicklungsstufe E_i eingetreten sind und erhöhen diese Anzahl um eins. Sie ordnen damit jeder Entwicklungsstufe ihren Rang innerhalb der Entwicklungsreihenfolge zu. Das früheste Ereignis E_i erhält damit immer den Rang $g_i(X) = 1$, gleichzeitig eintretende Ereignisse erhalten denselben Rang. Die Elemente aus A^{10} werden als Rangdatensätze bezeichnet.

Zur Veranschaulichung der Abbildung folgen zwei Beispiele.

1. Beispiel:

Der Datensatz (4, 6, 8, 7, 9, 10, 5, 11, 12, 15) wird repräsentiert durch den Rangdatensatz (1, 3, 5, 4, 6, 7, 2, 8, 9, 10)

2. Beispiel:

Der Datensatz (5; 6; 8; 8; 7; 8; 8; 8; 9; 12) wird repräsentiert durch den Rangdatensatz (1, 2, 4, 4, 3, 4, 4, 4, 9, 10).

Die Rangdatensätze wurden nach aufsteigenden Rangplätzen im Sinne einer lexikographischen Ordnung sortiert und das Datenmaterial so einer systematischen Reihenfolgeanalyse zugänglich gemacht. Man kann dann z.B. ablesen, wie oft E₁ erstes, zweites, drittes oder viertes motorisches Ereignis ist. Die Rangzuordnung und Sortierung erfolgte mit Microsoft Excel.

II g) Berechnung von Korrelationen und die Entwicklung von Referenzbereichen mit prognostischer Funktion

1) Die Korrelationsanalyse der Entwicklungsstufen

Die Entwicklungsstufeneintrittszeiten sind nicht normalverteilt. Eine direkte Analyse der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Entwicklungsstufen entzieht sich daher der Berechnung durch den Pearsonschen Produktmoment-Korrelationskoeffizienten. Die Logarithmen der Entwicklungsstufeneintrittszeiten sind dagegen normalverteilt und eignen sich zur Berechnung dieses Korrelationskoeffizienten. Im Folgenden werden daher die Korrelationen der logarithmierten Daten mit Hilfe des Pearsonschen Koeffizienten

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (Y_{ik} - \bar{Y}_i) * (Y_{jk} - \bar{Y}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (Y_{ik} - \bar{Y}_i)^2 * (Y_{jk} - \bar{Y}_j)^2}}, i, j \in \{1, 2, \dots, 10\} \text{ untersucht.}$$

r_{ij} := Pearsonscher Korrelationskoeffizient der Eintrittszeiten des Entwicklungsstufenpaares E_i/E_j.

Mädchen und Jungen weisen, wie unter III f) gezeigt, zum Teil unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten auf, so dass es gerechtfertigt und nötig ist, die Korrelationsanalyse nicht nur für die Gesamtstichprobe sondern auch nach Geschlechtern getrennt durchzuführen. Diese Analyse erfolgte mit JMP4 über die Plattform „Multivariate“ unter dem Menüpunkt „Analyse“. Die Funktion

„Pairwise Correlations“ berechnet dort die Produktmoment-Korrelationskoeffizienten. Sämtliche Berechnungen dieses Kapitels wurden mit JMP4 durchgeführt.

2) Fishers z'-Transformation der Korrelationskoeffizienten

Für die Signifikanztestung von berechneten Korrelationskoeffizienten, den Vergleich zweier Korrelationen aus unabhängigen Stichproben und die Angabe von Konfidenzintervallen für berechnete Korrelationskoeffizienten ist Fishers z'-Transformation nötig. Für die normalverteilten logarithmierten Daten lautet die Transformation des beobachteten r nach z':

$$z' = \frac{\ln(1+r) - \ln(1-r)}{2}$$

Für die Rücktransformation von z' nach r gilt:

$$r = \frac{\exp(2 * z') - 1}{\exp(2 * z') + 1}$$

Für die Standardfehler $\sigma_{z'}$ von z' gilt:

$$\sigma_{z'} = \frac{1}{\sqrt{n-3}}, n = \text{Stichprobenumfang}$$

Es gilt ferner:

$$z = \frac{z'_r - z'_\rho}{\sigma_{z'_r}} \quad \text{mit } z'_\rho = \text{z'-Transformierte einer erwarteten Korrelation } \rho \text{ ist}$$

$N(0,1)$ -verteilt und ergibt die Testwerte.

3) Die Konfidenzintervalle der Korrelationskoeffizienten

Die Konfidenzintervallgrenzen des beobachteten Korrelationskoeffizienten

$r_{i,j} := r_{\ln.xi, \ln.xj}$ erhält man folgendermaßen:

1. z'-Transformation von $r_{i,j}$

2. Berechnung der oberen und unteren Konfidenzintervallgrenzen \bar{z}', \underline{z}' zu $z_{1-\frac{\alpha}{2}} = z_{0,975} = 1,96$

$$\begin{aligned} \bar{z}' &= z'_{r_{i,j}} + 1,96 * \sigma_{z'_{i,j}}, \\ \underline{z}' &= z'_{r_{i,j}} - 1,96 * \sigma_{z'_{i,j}}, i, j \in \{1, \dots, 10\} \end{aligned}$$

3. Rücktransformation der z' -Konfidenzintervallgrenzen nach r mittels:

$$r = \frac{\exp(2 * z') - 1}{\exp(2 * z') + 1}$$

4. Daher gilt:

$$\bar{r} = \frac{\exp(2 * \bar{z}') - 1}{\exp(2 * \bar{z}') + 1} \quad \text{und} \quad \underline{r} = \frac{\exp(2 * \underline{z}') - 1}{\exp(2 * \underline{z}') + 1}$$

definieren obere und untere Konfidenzintervallgrenzen.

4) Die prognostischen Referenzbereiche

1. Die normalverteilten logarithmierten Daten bilden die Rechengrundlage.
2. Bei der Berechnung des Eintretens einer Entwicklungsstufe E_j aufgrund des Eintrittszeitpunktes einer anderen, früher gelegenen Entwicklungsstufe E_i (Notation: $E_i \rightarrow E_j$) wird der Pearsonsche Produktmoment-Korrelationskoeffizient r_{ij} verwendet.
3. Referenzbereiche werden bis auf die Ausnahme $E_5 \rightarrow E_{10}$ ($r_{5,10} = 0,43$) nur für ausgewählte Entwicklungsstufen mit starker Korrelation, d.h. $r_{ij} > 0,5$ berechnet, damit die Aussagekraft nicht durch weite Konfidenzintervalle von r_{ij} gefährdet wird.
4. Ausgangspunkt für den Referenzbereich eines bedingten Ereignisses $X_j := X_j(E_j)$ ist ein bestimmter Eintrittszeitpunkt des unabhängigen Ereignisses $X_i := X_i(E_i)$ $i < j; i, j \in \{1, 2, \dots, 10\}$
5. Interessante Zeitpunkte des unabhängigen Ereignisses X_i , $i = \{1, \dots, 10\}$, sind zum Beispiel dessen 2,5., 25., 50., 75. und 97,5.-Perzentil.

6. Für Zufallsvariablen X_i und deren logarithmischen Transformationen Y_i gelten die unter II c2), Seite 15 gemachten Definitionen und Erläuterungen.

7. Der Schätzwert \hat{Y}_j aufgrund von $Y_i = \ln X_i$, $i, j \in \{1, 2, \dots, 10\} \wedge j > i$ errechnet sich:

$$\hat{Y}_j = \mu(Y_j) + r_{ij} * \frac{\sigma(Y_j)}{\sigma(Y_i)} * (Y_i - \mu(Y_i)) = \mu(\ln X_j) + r_{ij} * \frac{\sigma(\ln X_j)}{\sigma(\ln X_i)} * (\ln X_i - \mu(\ln X_i))$$

$r_{ij} :=$ Korrelationskoeffizient des Entwicklungsstufenpaares E_i/E_j

8. Für die Varianz der Residuen oder des Schätzfehlers von Y_j gilt:

$$\text{Var}(\hat{Y}_j - Y_j) = \sigma^2(Y_j) * (1 - r_{ij}^2) = \sigma^2(\ln X_j) * (1 - r_{ij}^2) = \sigma^2(R_j) \text{ und}$$

9. Für den Erwartungswert der Residuen R_j von Y_j gilt:

$$\mu(R_j) = E(\hat{Y}_j - Y_j) = 0$$

10. Die Residuen R_j von Y_j sind normalverteilt mit

$$\mu(R_j) = 0$$

$$\sigma(R_j) = \sigma(\ln X_j) * \sqrt{1 - r_{ij}^2}$$

11. Die Variable $u = \frac{(Y_j - \hat{Y}_j)}{\sigma(R_j)}$ ist wegen 10. standardnormalverteilt

12. Berechne für die Variable u das u_α -Perzentil, mit $\alpha = 2,5\%$, 25% , 50% , 75% , $97,5\%$

13. Durch Rücktransformation erhält man das $Y_{j\alpha}$ -Perzentil als:

$$Y_{j\alpha} = \hat{Y}_j + u_\alpha * \sigma(R_j)$$

$$Y_{j\alpha} = \hat{Y}_j + u_\alpha * \sigma(\ln X_j) * \sqrt{1 - r_{ij}^2}$$

14. Nach Rücktransformation in die Lognormalverteilung ergibt sich für den Ausgangswert X_i eine Zuordnung der X_j -Werte in Perzentilen.

Das aufgrund von X_i prognostizierte $X_{j\alpha}$ -Perzentil lautet:

$$X_{j\alpha} = \exp(Y_{j\alpha}) = \exp\left(r_{ij} * \frac{\sigma(\ln X_j)}{\sigma(\ln X_i)} * (\ln X_i - \mu(\ln X_i)) + \mu(\ln X_j) + u_\alpha * \sigma(\ln X_j) * \sqrt{1 - r_{ij}^2}\right)$$

15. Auf Basis der Formel aus Punkt 14 bauen sich die Graphiken der prognostischen Referenzbereiche auf. Berechnungen erfolgten mit JMP4, graphische Ausführung mit Microsoft Excel. Die prognostischen Referenzbereich-Tabellen finden sich im Anhang auf den *Seiten 109ff.*

III) Ergebnisse

III a) Graphische Auswertung der Daten

Darstellung der Entwicklungsstufeneintrittszeiten in Form von Histogrammen (Klassenbreite: ½ Monat)

Verwendetes Statistik-Programm: „Distribution“ im Menü von „Analyse“ von JMP4.

Die den einzelnen Histogrammen zugrunde liegenden Stichprobenumfänge sind in der Spalte „Momente“ durch die Variable N gekennzeichnet. Der volle Stichprobenumfang ($N = 157$) der Gesamtheit, bzw. ($N = 78$) der Mädchen- oder ($N = 79$) der Jungengruppe wird nur bei denjenigen Entwicklungsstufen erreicht, die von keinem Kind übersprungen werden. Geringere Stichprobenumfänge bei bestimmten Entwicklungsstufen bedeuten, dass es Kinder gibt, die diese ausgelassen haben.

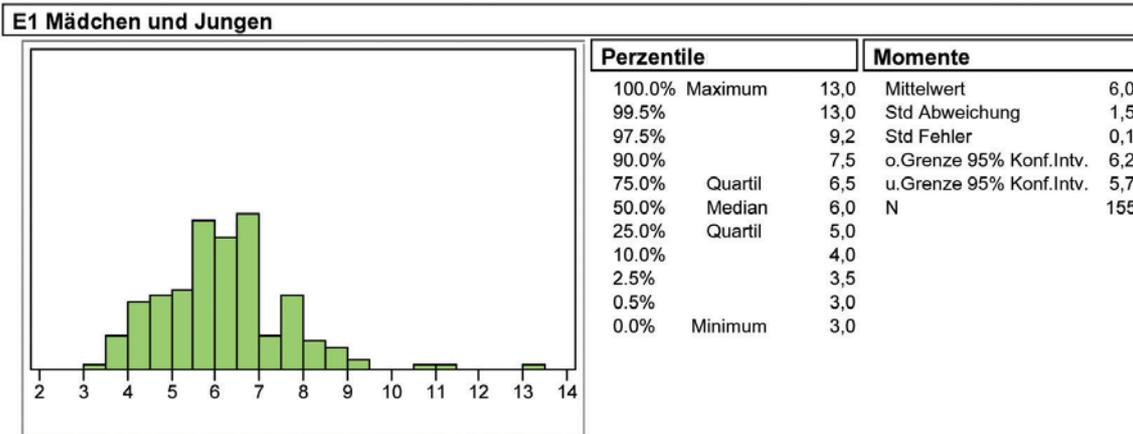


Abb. 2 Verteilung E1 gesamt

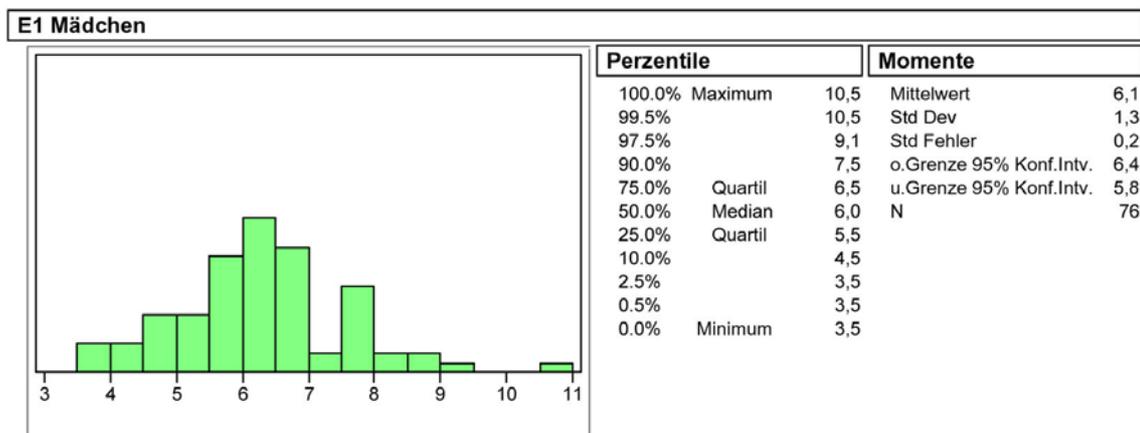


Abb. 3 Verteilung E1 Mädchen

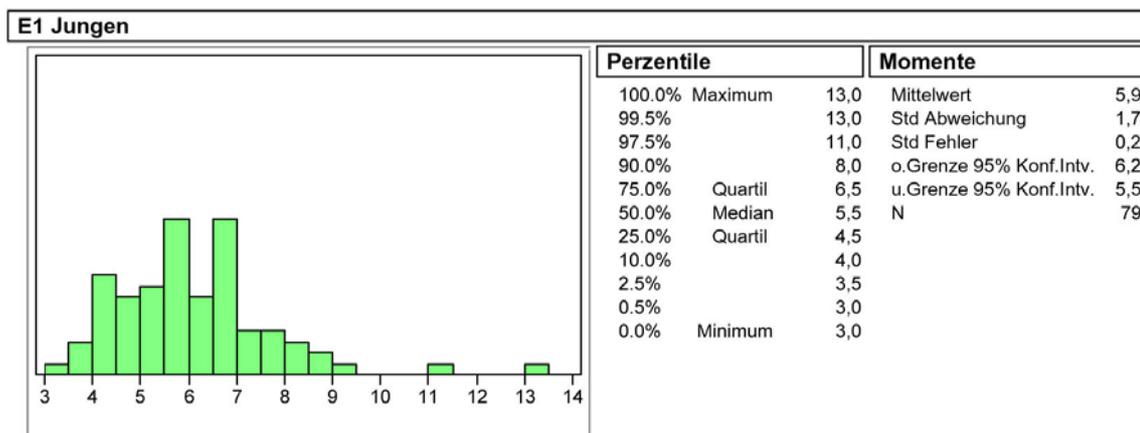


Abb. 4 Verteilung E1 Jungen

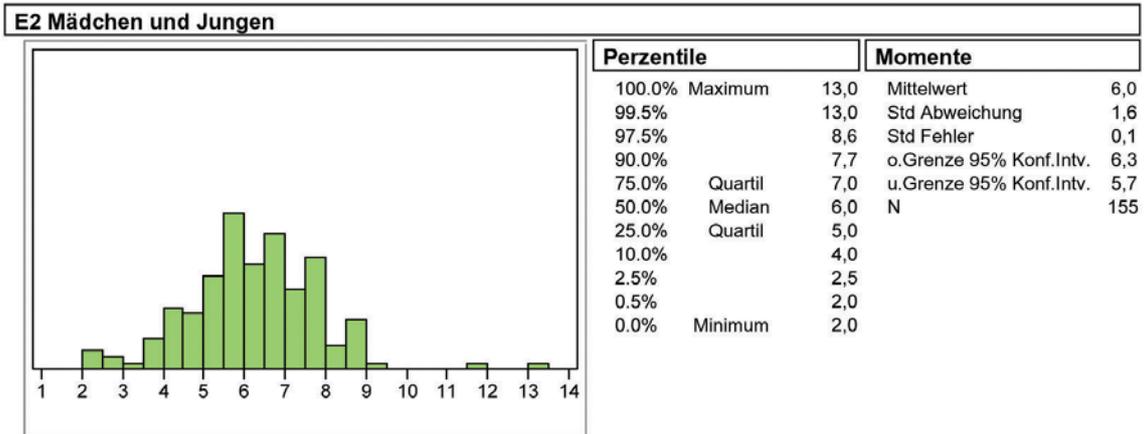


Abb. 5 Verteilung E2 gesamt

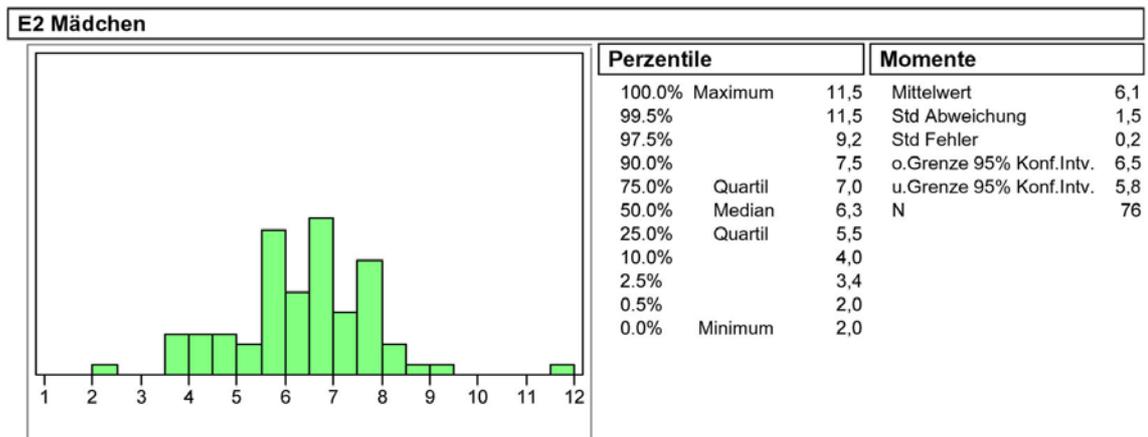


Abb. 6 Verteilung E2 Mädchen

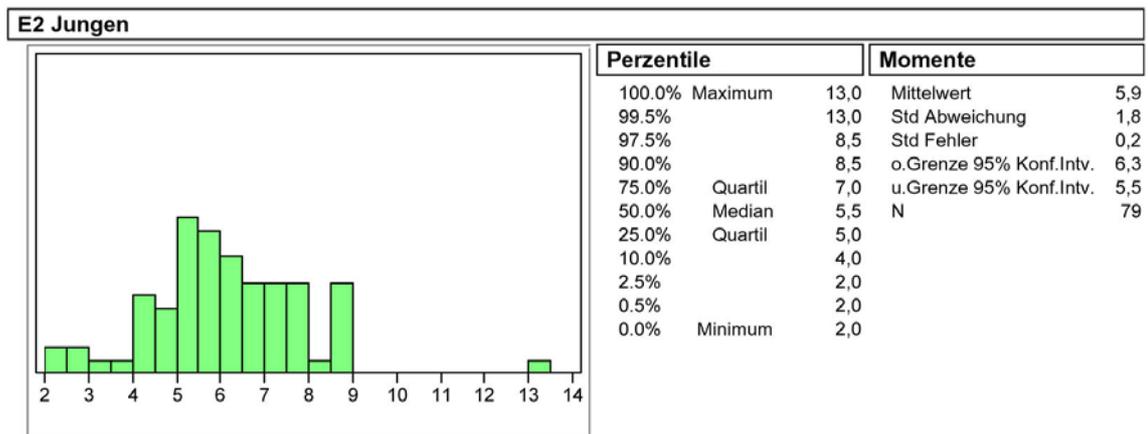


Abb. 7 Verteilung E2 Jungen

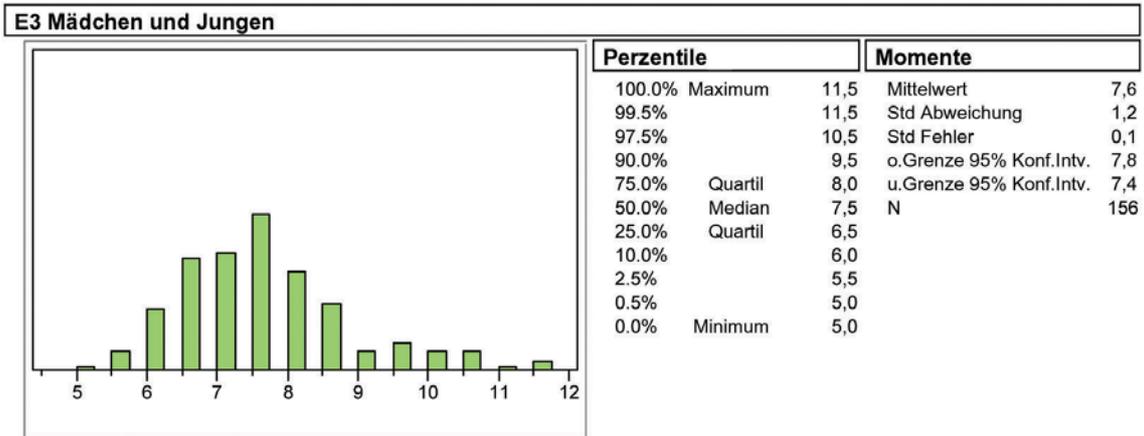


Abb. 8 Verteilung E3 gesamt

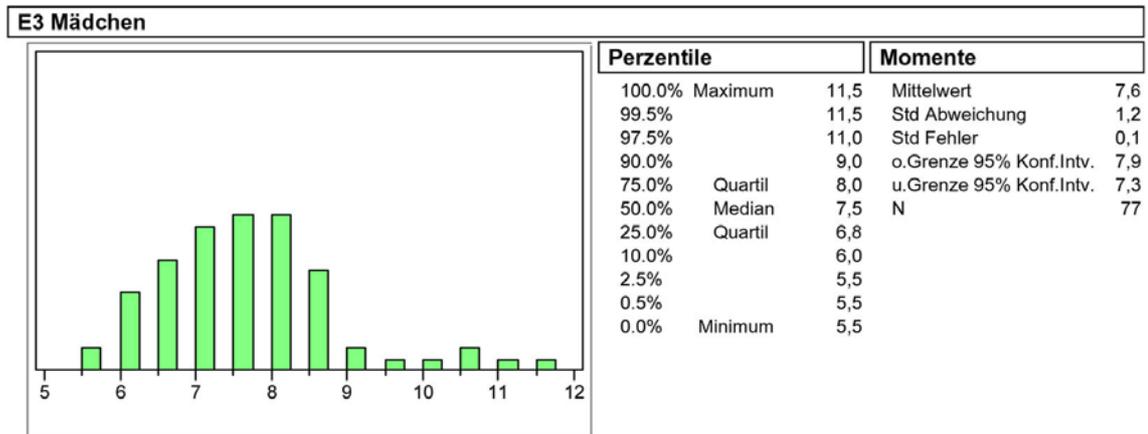


Abb. 9 Verteilung E3 Mädchen

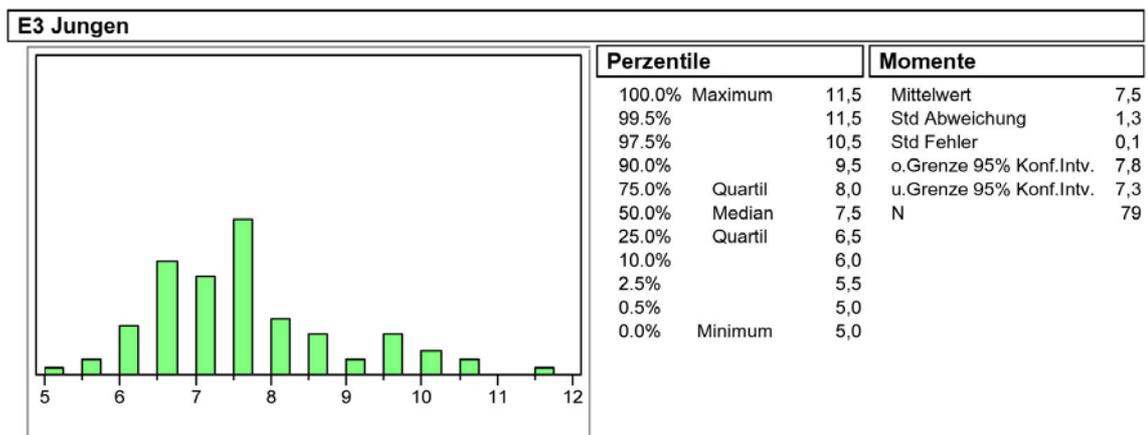


Abb. 10 Verteilung E3 Jungen

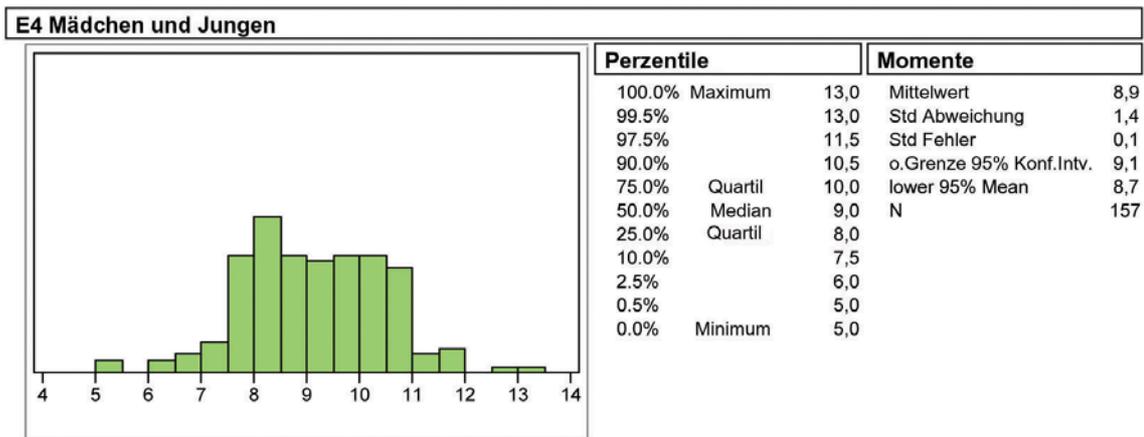


Abb. 11 Verteilung E4 gesamt

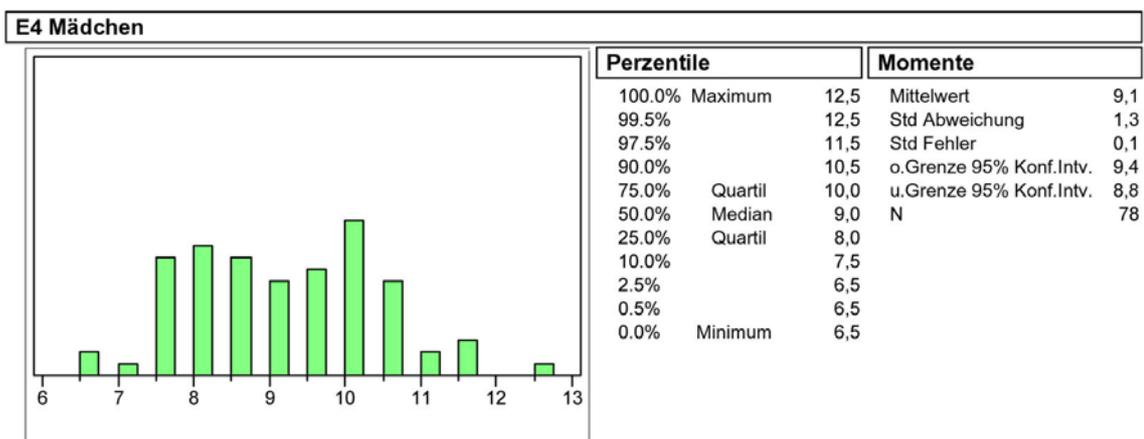


Abb. 12 Verteilung E4 Mädchen

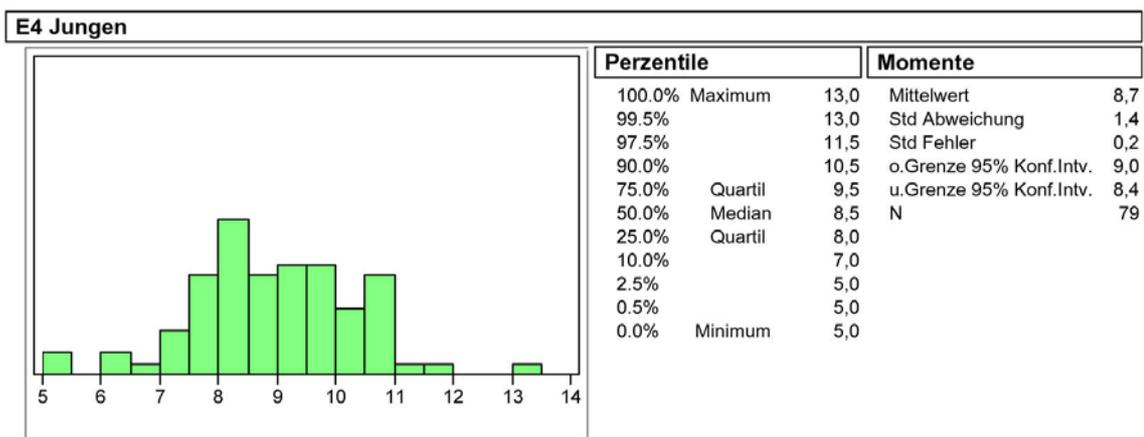


Abb. 13 Verteilung E4 Jungen

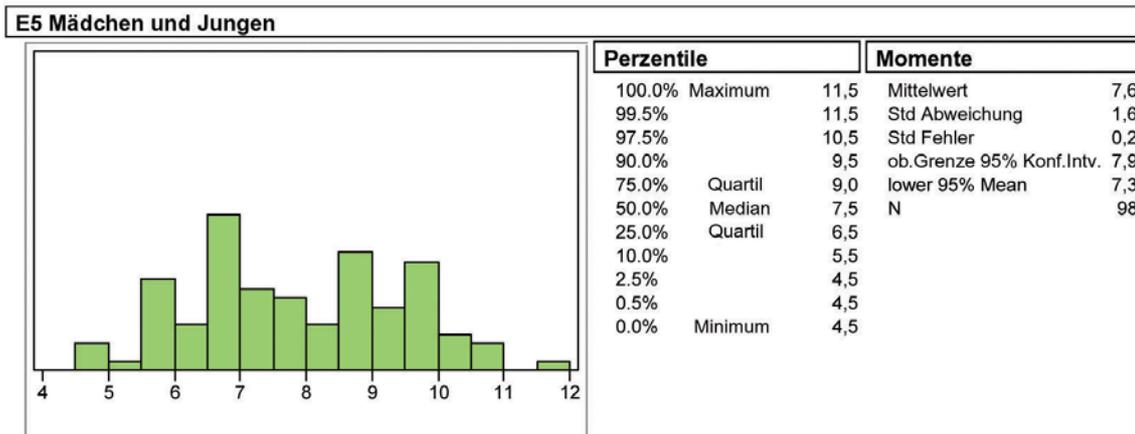


Abb. 14 Verteilung E5 gesamt

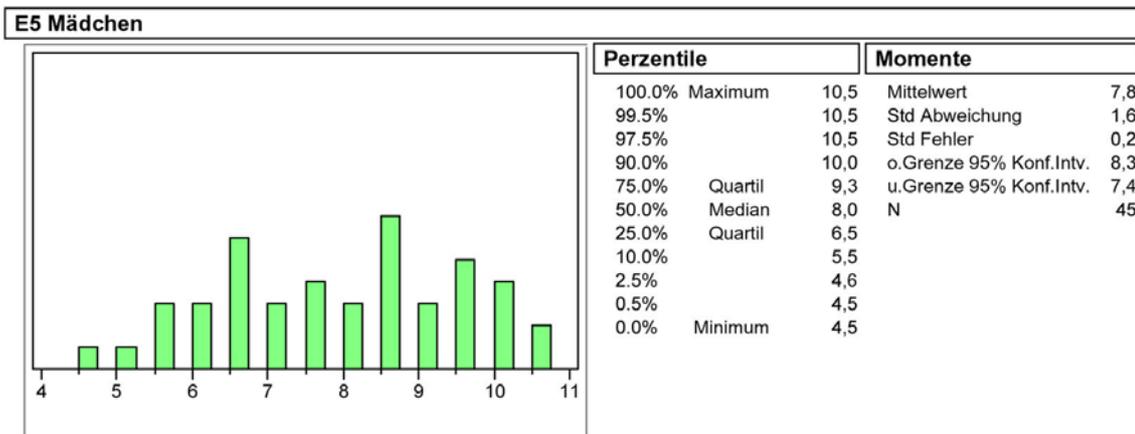


Abb. 15 Verteilung E5 Mädchen

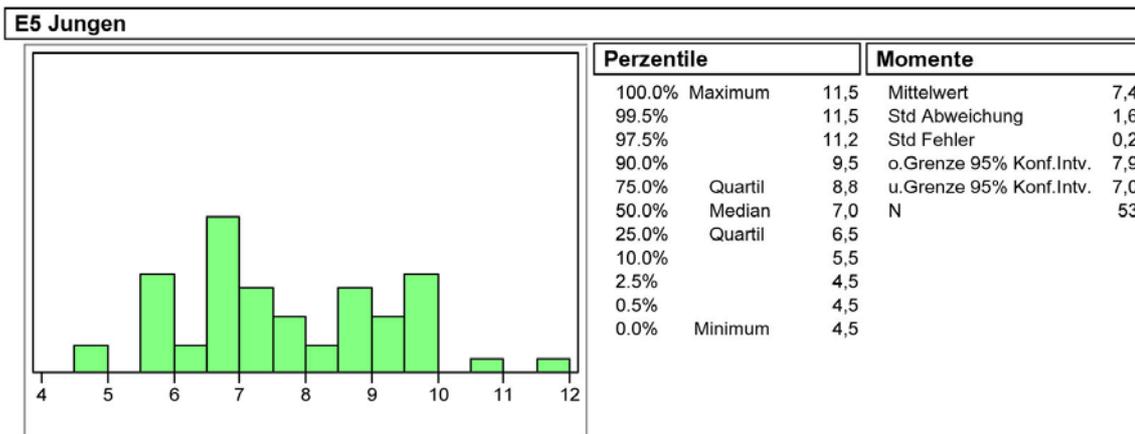


Abb. 16 Verteilung E5 Jungen

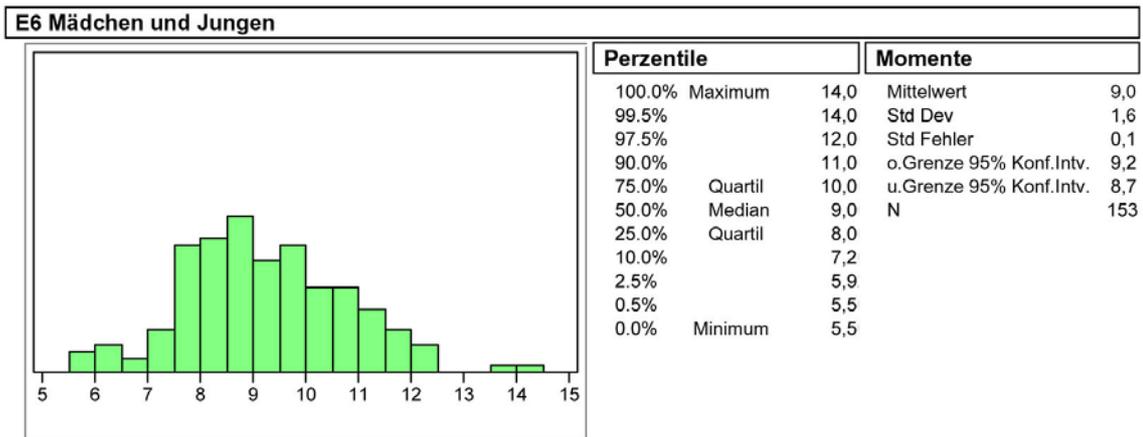


Abb. 17 Verteilung E6 gesamt

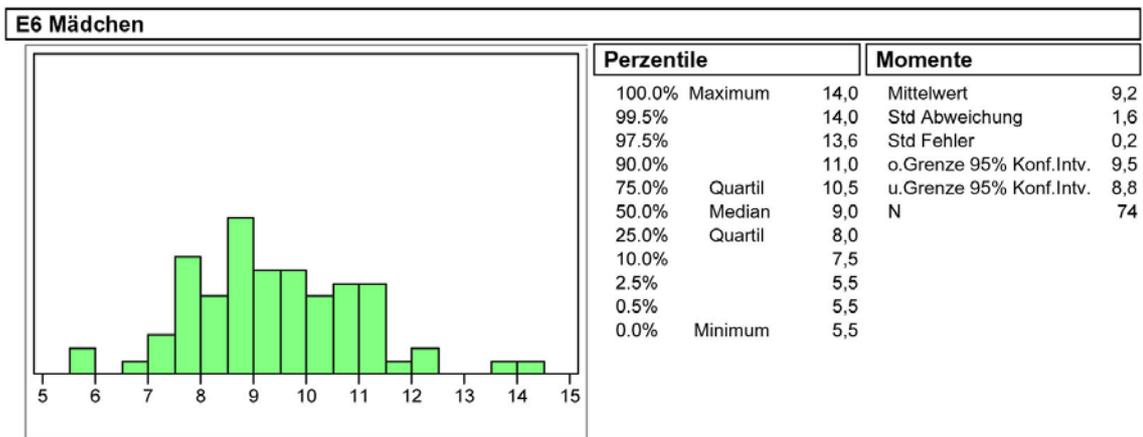


Abb. 18 Verteilung E6 Mädchen

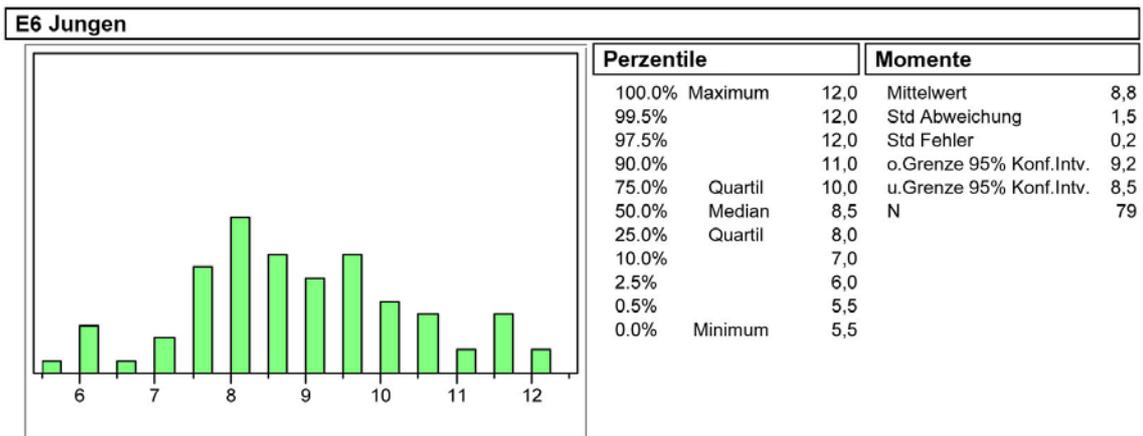


Abb. 19 Verteilung E6 Jungen

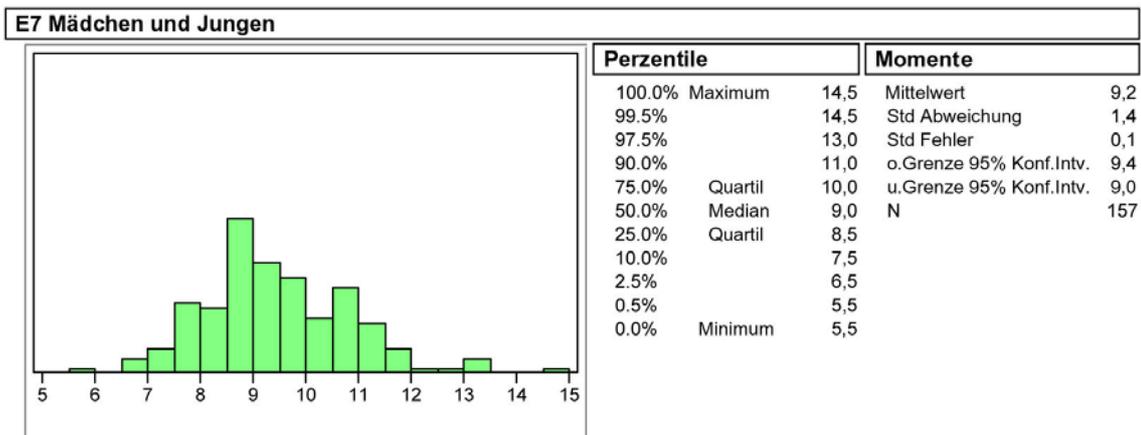


Abb. 20 Verteilung E7 gesamt

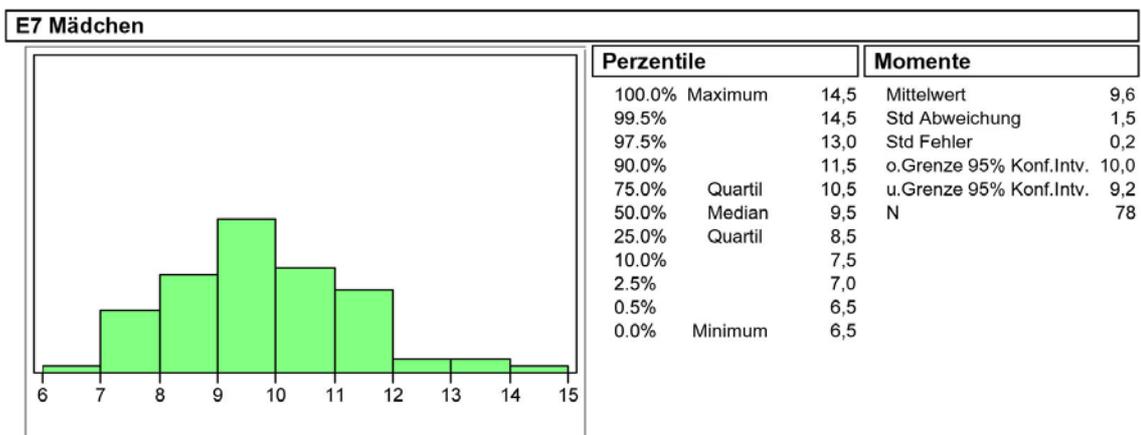


Abb. 21 Verteilung E7 Mädchen

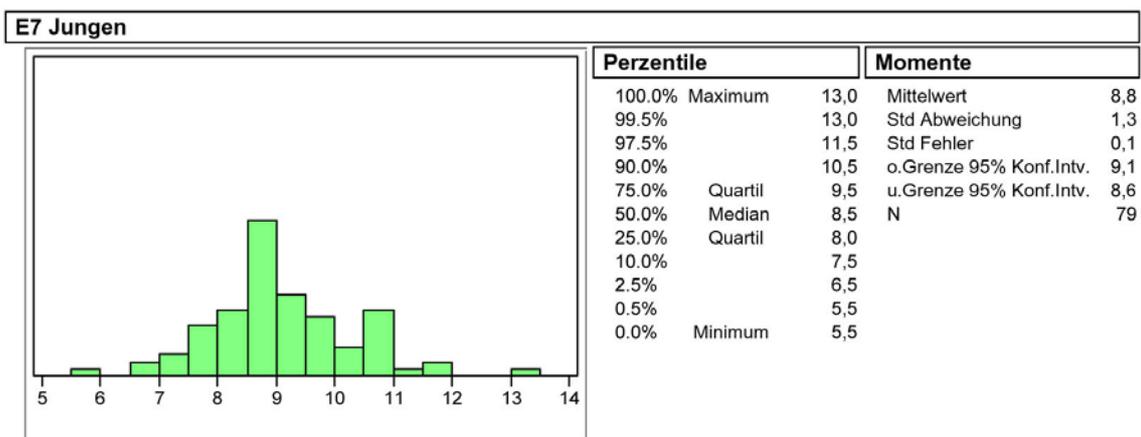


Abb. 22 Verteilung E7 Jungen

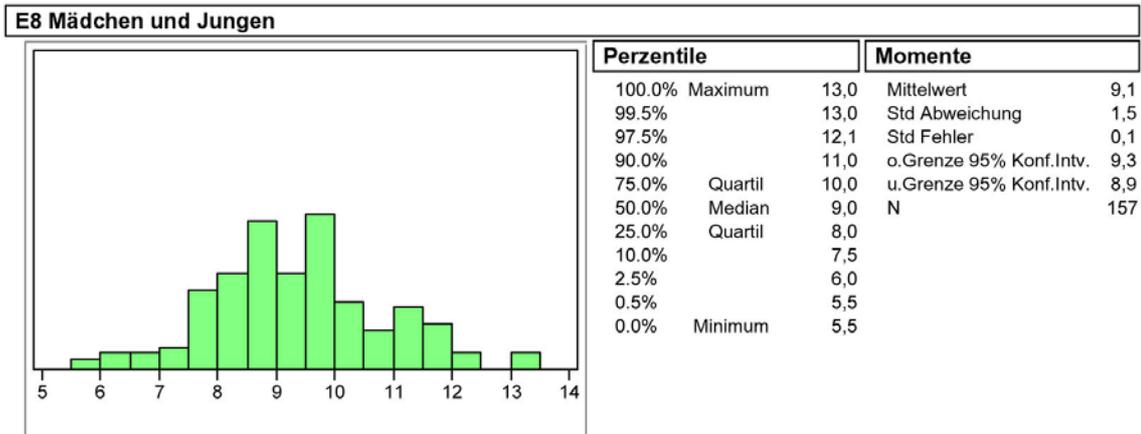


Abb. 23 Verteilung E8 gesamt

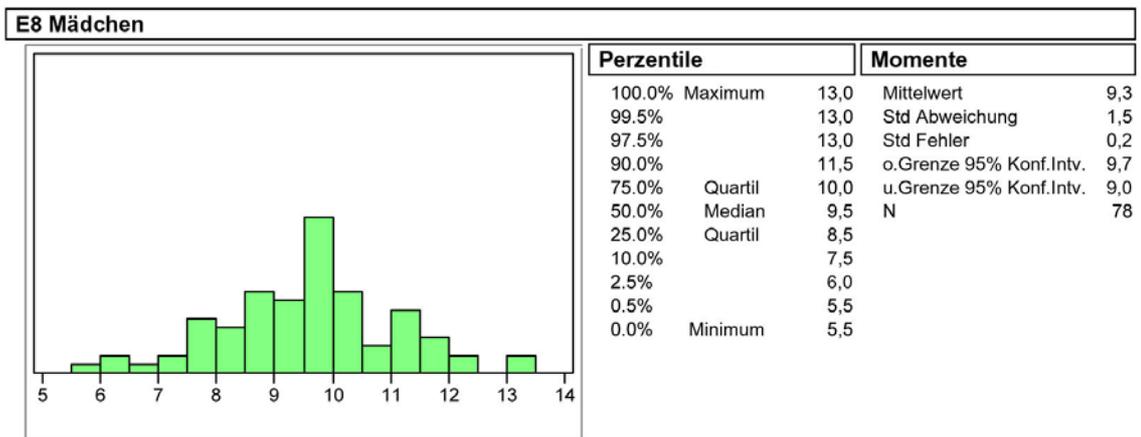


Abb. 24 Verteilung E8 Mädchen

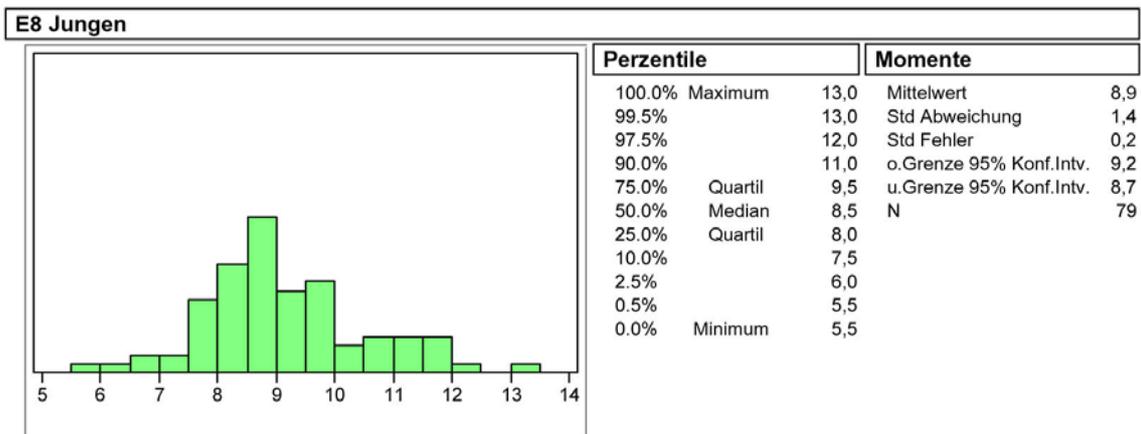


Abb. 25 Verteilung E8 Jungen

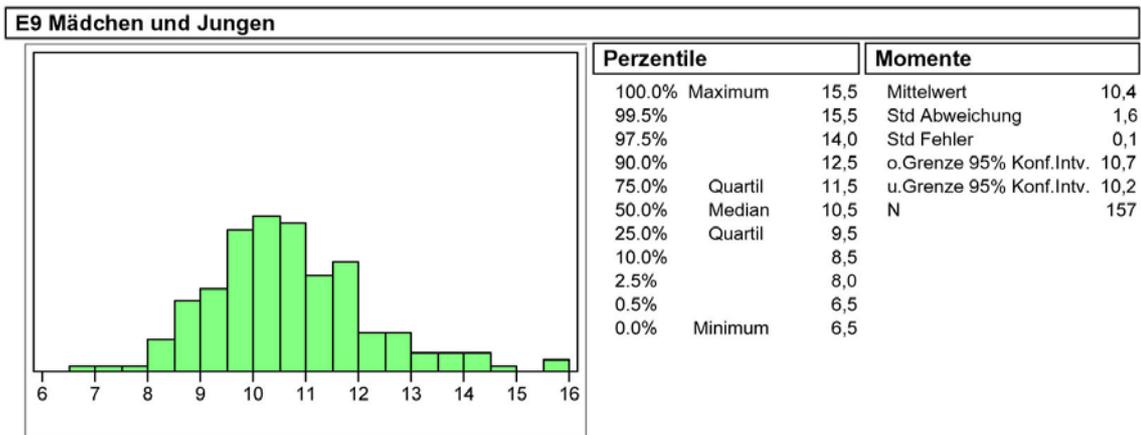


Abb. 26 Verteilung E9 gesamt

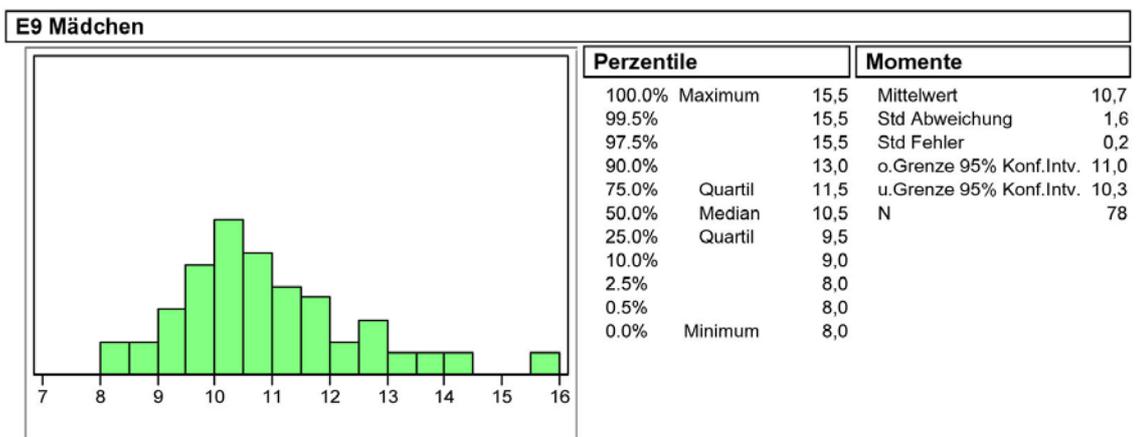


Abb. 27 Verteilung E9 Mädchen

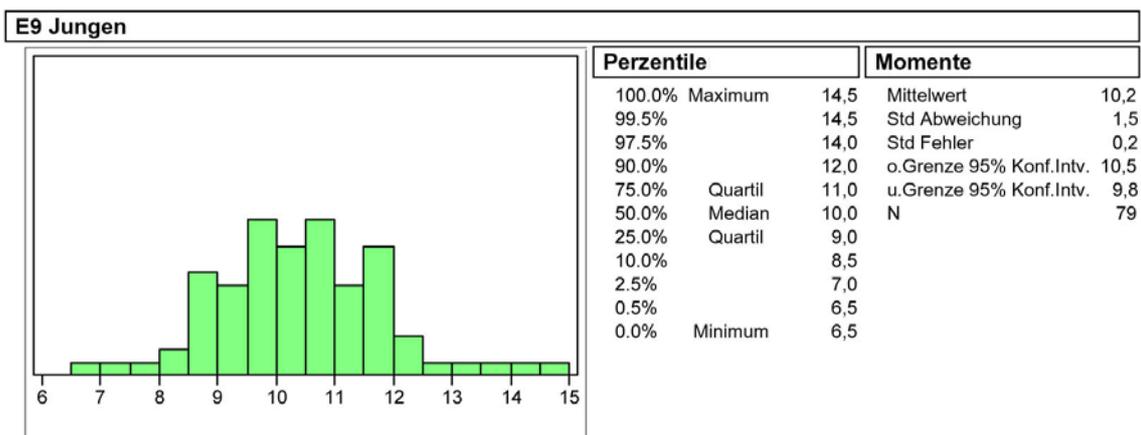


Abb. 28 Verteilung E9 Jungen

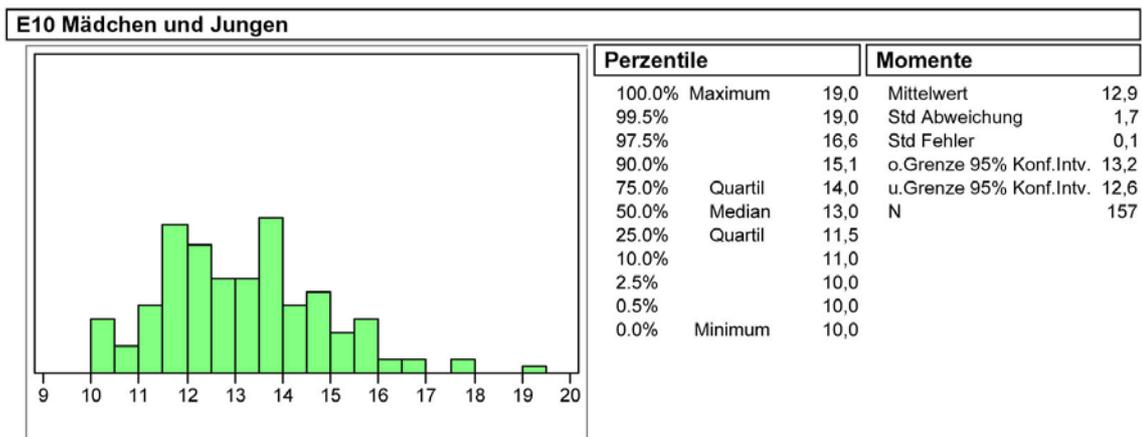


Abb. 29 Verteilung E10 gesamt

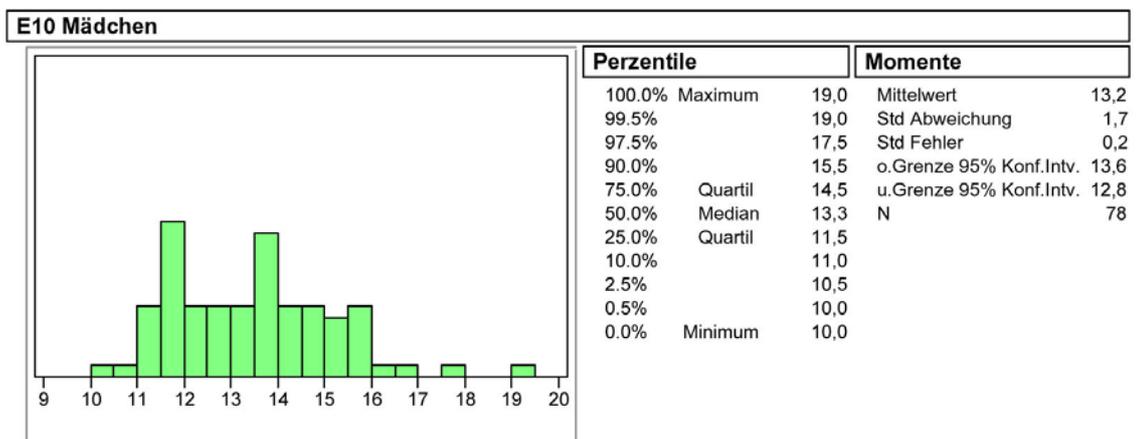


Abb. 30 Verteilung E10 Mädchen

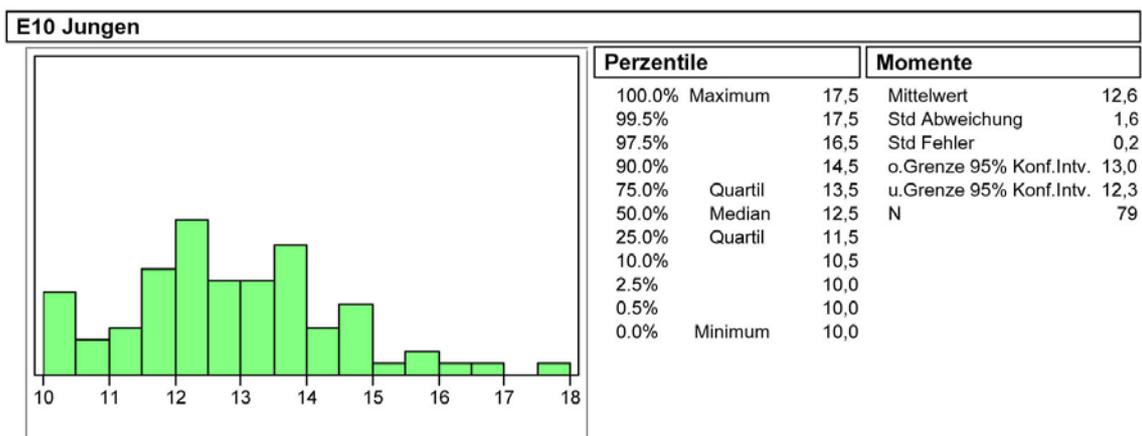


Abb. 31 Verteilung E10 Jungen

III b) Die Verteilungen der Entwicklungsstufeneintrittszeiten

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Parameterschätzungen von $\mu(\ln X_i)$ und $\sigma(\ln X_i)$, $X_i := X(E_i)$, $i=1, \dots, 10$, der logarithmisch transformierten Ausgangswerte nach der Maximum-Likelihood-Methode und die daraus abgeleiteten Parameter der Grundmenge gemäß den Ausführungen unter // c)2), Seite 15ff zusammen.

Tabelle 2 Ergebnisse Gesamt, Mädchen, Jungen

	Entwickl. stufe	$\mu(\ln X_i)$	$\sigma(\ln X_i)$	$\mu(X_i)$	$\sigma(X_i)$	Modalwert	Median	Std.fehler von σ^*	Std.fehler von μ^*
Gesamtstichprobe	E1	1,709	0,253	5,7	1,5	5,2	5,5	0,0145	0,0204
	E2	1,705	0,310	5,8	1,8	5,0	5,5	0,0249	0,0179
	E3	1,976	0,162	7,3	1,2	7,0	7,2	0,0093	0,0130
	E4	2,144	0,161	8,6	1,4	8,3	8,5	0,0091	0,0129
	E5	1,975	0,222	7,4	1,7	6,9	7,2	0,0260	0,0360
	E6	2,151	0,180	8,7	1,6	8,3	8,6	0,0104	0,0146
	E7	2,180	0,157	9,0	1,4	8,6	8,8	0,0089	0,0126
	E8	2,167	0,169	8,9	1,5	8,5	8,7	0,0096	0,0136
	E9	2,309	0,149	10,2	1,5	9,8	10,1	0,0085	0,0119
	E10	2,530	0,130	12,7	1,7	12,3	12,6	0,0074	0,0104
Mädchen	E1	1,733	0,226	5,8	1,3	5,4	5,7	0,0186	0,0260
	E2	1,735	0,274	5,9	1,6	5,3	5,7	0,0226	0,0315
	E3	1,979	0,156	7,3	1,1	7,1	7,2	0,0127	0,0179
	E4	2,168	0,143	8,8	1,3	8,6	8,7	0,0116	0,0163
	E5	2,004	0,219	7,6	1,7	7,1	7,4	0,0540	0,0390
	E6	2,170	0,181	8,9	1,6	8,5	8,8	0,0151	0,0119
	E7	2,214	0,157	9,3	1,5	8,9	9,1	0,0129	0,0182
	E8	2,191	0,173	9,1	1,6	8,7	8,9	0,0140	0,0197
	E9	2,334	0,144	10,4	1,5	10,1	10,3	0,0118	0,0166
	E10	2,554	0,129	13,0	1,7	12,6	12,9	0,0104	0,0147
Jungen	E1	1,686	0,275	5,6	1,6	5,0	5,4	0,0220	0,0311
	E2	1,675	0,338	5,7	2,0	4,8	5,3	0,0382	0,0275
	E3	1,973	0,168	7,3	1,2	7,0	7,2	0,0190	0,0135
	E4	2,120	0,173	8,5	1,5	8,1	8,3	0,0196	0,0140
	E5	1,949	0,221	7,2	1,6	6,7	7,0	0,0496	0,0353
	E6	2,132	0,177	8,6	1,5	8,2	8,4	0,0200	0,0143
	E7	2,141	0,145	8,6	1,3	8,3	8,5	0,0164	0,0117
	E8	2,143	0,161	8,6	1,4	8,3	8,5	0,0182	0,0130
	E9	2,284	0,148	9,9	1,5	9,6	9,8	0,0167	0,0119
	E10	2,506	0,127	12,4	1,6	12,1	12,3	0,0143	0,0102

*:= es handelt sich um die Standardfehler der Schätzwerte

III c) Die Entwicklungsstufen-Mediane und ihre Konfidenzintervalle

1) Tabellarische Darstellung

Die Konfidenzintervalle wurden entsprechend II c)2)(d), Seite 18 errechnet.

Tabelle 3 Mediane und Konfidenzintervalle in Monaten

Entwickl.- stufen	Median	95% Konf.Intervall	
		unterer	oberer Wert
Gesamt			
E1	5,5	5,3	5,8
E2	5,5	5,2	5,8
E3	7,2	7,0	7,4
E4	8,5	8,3	8,8
E5	7,2	6,9	7,5
E6	8,6	8,4	8,8
E7	8,8	8,6	9,1
E8	8,7	8,5	9,0
E9	10,1	9,8	10,3
E10	12,6	12,3	12,8
Mädchen			
E1	5,7	5,4	6,0
E2	5,7	5,3	6,0
E3	7,2	7,0	7,5
E4	8,7	8,5	9,0
E5	7,4	7,0	7,9
E6	8,8	8,4	9,1
E7	9,2	8,8	9,5
E8	9,0	8,6	9,3
E9	10,3	10,0	10,6
E10	12,9	12,5	13,2
Jungen			
E1	5,4	5,1	5,7
E2	5,3	5,0	5,8
E3	7,2	6,9	7,5
E4	8,3	8,0	8,7
E5	7,0	6,6	7,5
E6	8,4	8,1	8,8
E7	8,5	8,2	8,8
E8	8,5	8,2	8,8
E9	9,8	9,5	10,1
E10	12,3	11,9	12,6

2) **Graphische Darstellung der Konfidenzintervalle der Mediane**

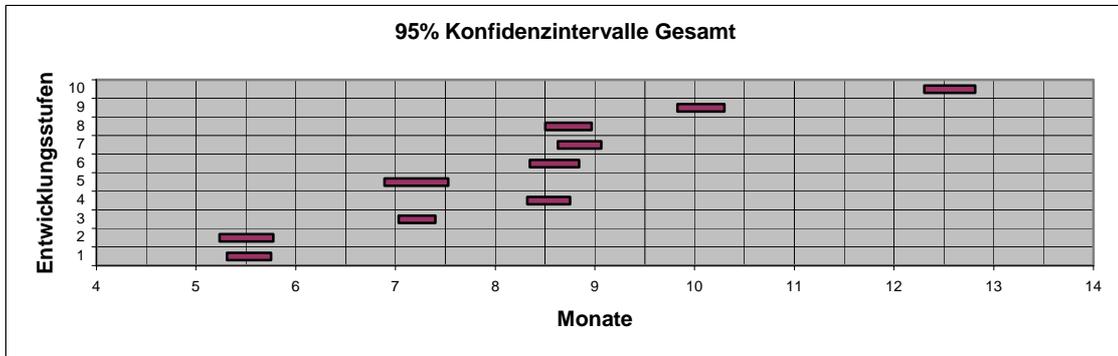


Abb. 32 95%-Konfidenzintervalle der Mediane der Gesamtheit

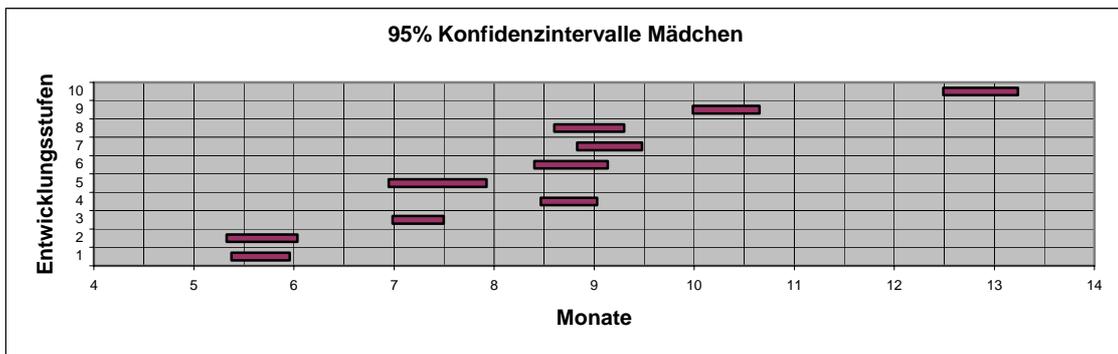


Abb. 33 95%-Konfidenzintervalle der Mediane bei Mädchen

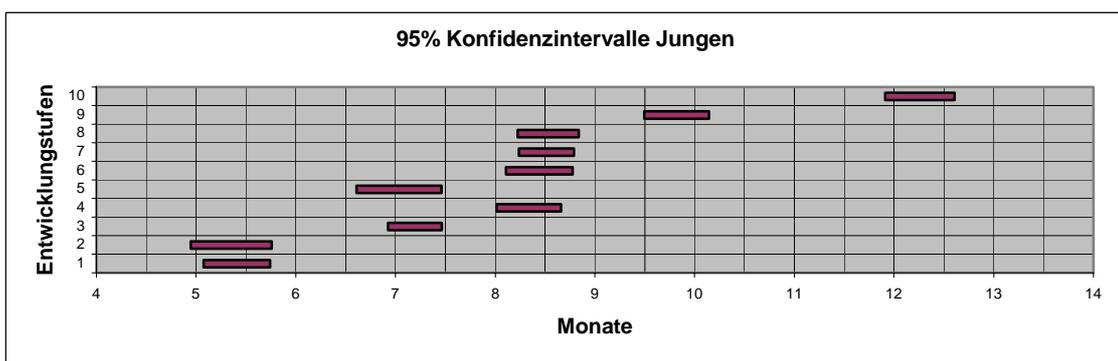


Abb. 34 95%-Konfidenzintervalle der Mediane bei Jungen

3) Graphische Darstellung der Mediane auf einem Zeitstrahl

Graphische Ausführung: Microsoft Excel

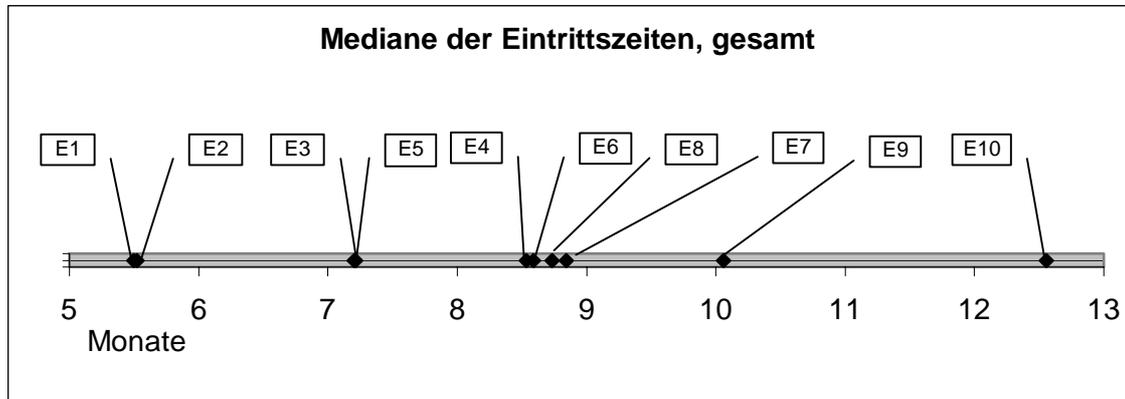


Abb. 35 Mediane der Eintrittszeiten, gesamt

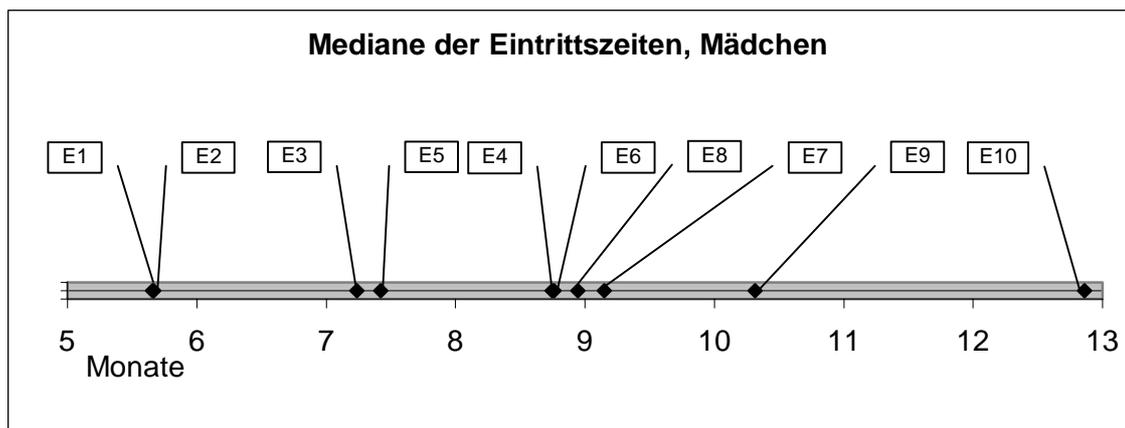


Abb. 36 Mediane der Eintrittszeiten, Mädchen

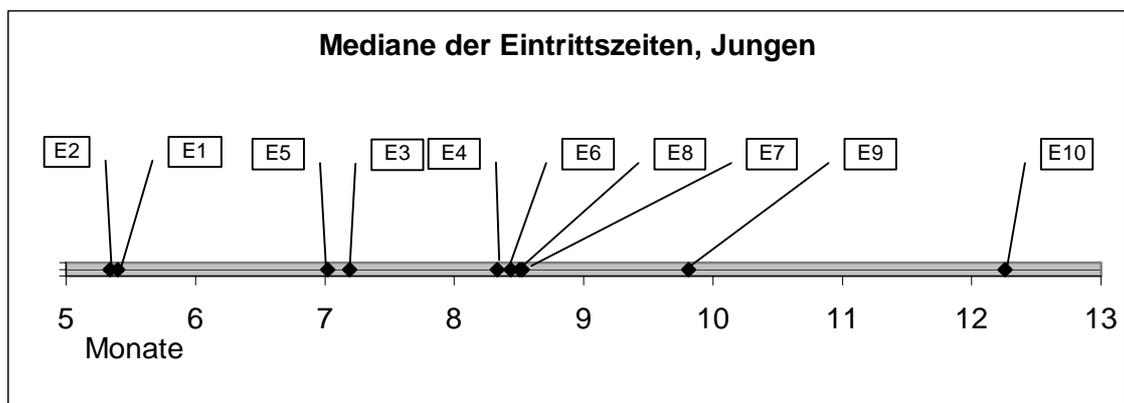


Abb. 37 Mediane der Eintrittszeiten, Jungen

Man erkennt, dass sich bei Mädchen und Jungen die Entwicklungsstufeneintrittszeitpunkte der ersten acht Ereignisse um drei Lebensalter häufen; die Entwicklungsfortschritte liegen hier zeitlich eng beieinander. Es ergeben sich folgende drei Entwicklungsstufengruppen:

1. Motorikgruppe: E₁, E₂
2. Motorikgruppe: E₃, E₅
3. Motorikgruppe: E₄, E₆, E₇, E₈

Die Entwicklungsstufen E₉ und E₁₀ folgen als isolierte Ereignisse.

III d) Perzentiltabellen und Referenzbereiche der Entwicklungsstufeneintrittszeiten

Die Berechnungen erfolgen gemäß *II d) auf Seite 19f* und werden für die Gesamtheit wie auch nach Mädchen und Jungen getrennt durchgeführt

Wegen der unter *III f), Seite 49ff* gezeigten geschlechtsspezifischen Entwicklungsunterschiede bei Mädchen und Jungen werden die Referenzbereiche und ihre graphische Darstellung auf den *Seiten 45f* nur nach Geschlechtern getrennt vorgelegt. Die graphische Darstellung erfordert ferner eine Umpositionierung der Entwicklungsstufen E₅ und E₄, damit sich für den Betrachter eine aufsteigende Linie im 50. Perzentil ergibt.

1) **Die Perzentiltabellen**

Tabelle 4 Entwicklungsporzente der Gesamtstichprobe in Monaten

Entwicklungs- Stufen	Perzentile						
	2,5%	10%	25%	50%	75%	90%	97,5%
E1	3,4	4,0	4,7	5,5	6,6	7,6	9,1
E2	3,0	3,7	4,5	5,5	6,8	8,2	10,1
E3	5,3	5,9	6,5	7,2	8,0	8,9	9,9
E4	6,2	7,0	7,7	8,5	9,5	10,5	11,7
E5	4,7	5,4	6,2	7,2	8,4	9,6	11,1
E6	6,0	6,8	7,6	8,6	9,7	10,8	12,2
E7	6,5	7,2	8,0	8,8	9,8	10,8	12,0
E8	6,3	7,0	7,8	8,7	9,8	10,8	12,2
E9	7,5	8,3	9,1	10,1	11,1	12,2	13,5
E10	9,7	10,6	11,5	12,6	13,7	14,8	16,2

Tabelle 5 Entwicklungsstufenperzentile der Mädchen in Monaten (zu Abb.38)

Entwicklungs- Stufen	Perzentile						
	2,5%	10%	25%	50%	75%	90%	97,5%
E1	3,6	4,3	4,9	5,7	6,6	7,5	8,8
E2	3,3	4,0	4,7	5,7	6,8	8,0	9,7
E3	5,3	5,9	6,5	7,2	8,0	8,8	9,8
E4	6,6	7,3	8,0	8,7	9,6	10,5	11,6
E5	4,8	5,6	6,4	7,4	8,6	9,8	11,4
E6	6,1	7,0	7,8	8,8	9,9	11,0	12,5
E7	6,7	7,5	8,3	9,2	10,2	11,2	12,5
E8	6,4	7,2	8,0	9,0	10,0	11,2	12,6
E9	7,8	8,6	9,4	10,3	11,3	12,4	13,7
E10	10,0	10,9	11,8	12,9	14,0	15,2	16,6

Tabelle 6 Entwicklungsstufenperzentile der Jungen in Monaten (zu Abb. 39)

Entwicklungs- Stufen	Perzentile						
	2,5%	10%	25%	50%	75%	90%	97,5%
E1	3,2	3,8	4,5	5,4	6,5	7,7	9,3
E2	2,8	3,5	4,3	5,3	6,7	8,2	10,4
E3	5,2	5,8	6,4	7,2	8,0	8,9	10,0
E4	5,9	6,7	7,4	8,3	9,3	10,4	11,7
E5	4,6	5,3	6,1	7,0	8,1	9,3	10,8
E6	6,0	6,7	7,5	8,4	9,5	10,6	11,9
E7	6,4	7,1	7,7	8,5	9,4	10,2	11,3
E8	6,2	7,0	7,7	8,5	9,5	10,5	11,7
E9	7,4	8,1	8,9	9,8	10,8	11,8	13,1
E10	9,6	10,4	11,3	12,3	13,3	14,4	15,7

2) Die Schwellenwerte oder Grenzsteine

Die folgenden Tabellen zeigen eine Zusammenfassung der 90ten und 97,5ten Perzentile, deren Werte entsprechend der großen zeitlichen Streuung der gesunden Motorikentwicklung stark differieren. Die Werte beider Tabellen eignen sich zur Verwendung als Schwellenwerte oder Grenzsteine einer normalen Entwicklung. Entsprechend den Anforderungen, die an Sensitivität und Spezifität gestellt werden, wird man sich für eine der beiden Tabellen entscheiden. Kinder, die eine Fertigkeit bis zu deren „Schwellenwertzeit“ noch nicht beherrschen, haben nicht notwendigerweise eine Entwicklungsstörung, fordern die/den behandelnde/n Ärztin/Arzt jedoch zu besonderer Aufmerksamkeit auf.

Tabelle 7 90% Schwellenwerte für Mädchen und Jungen in Monaten

Entwicklungsstufen	Schwellenwert Mädchen	Schwellenwert Jungen
E1	7,5	7,7
E2	8,0	8,2
E3	8,8	8,9
E4	10,5	10,4
E5	9,8	9,3
E6	11,0	10,6
E7	11,2	10,2
E8	11,2	10,5
E9	12,4	11,8
E10	15,2	14,4

Tabelle 8 97,5% Schwellenwerte für Mädchen und Jungen in Monaten

Entwicklungsstufen	Schwellenwerte Mädchen	Schwellenwerte Jungen
E1	8,8	9,3
E2	9,7	10,4
E3	9,8	10,0
E4	11,6	11,7
E5	11,4	10,8
E6	12,5	11,9
E7	12,5	11,3
E8	12,6	11,7
E9	13,7	13,1
E10	16,6	15,7

3) Graphische Darstellung der Entwicklungsstufen-Referenzbereiche

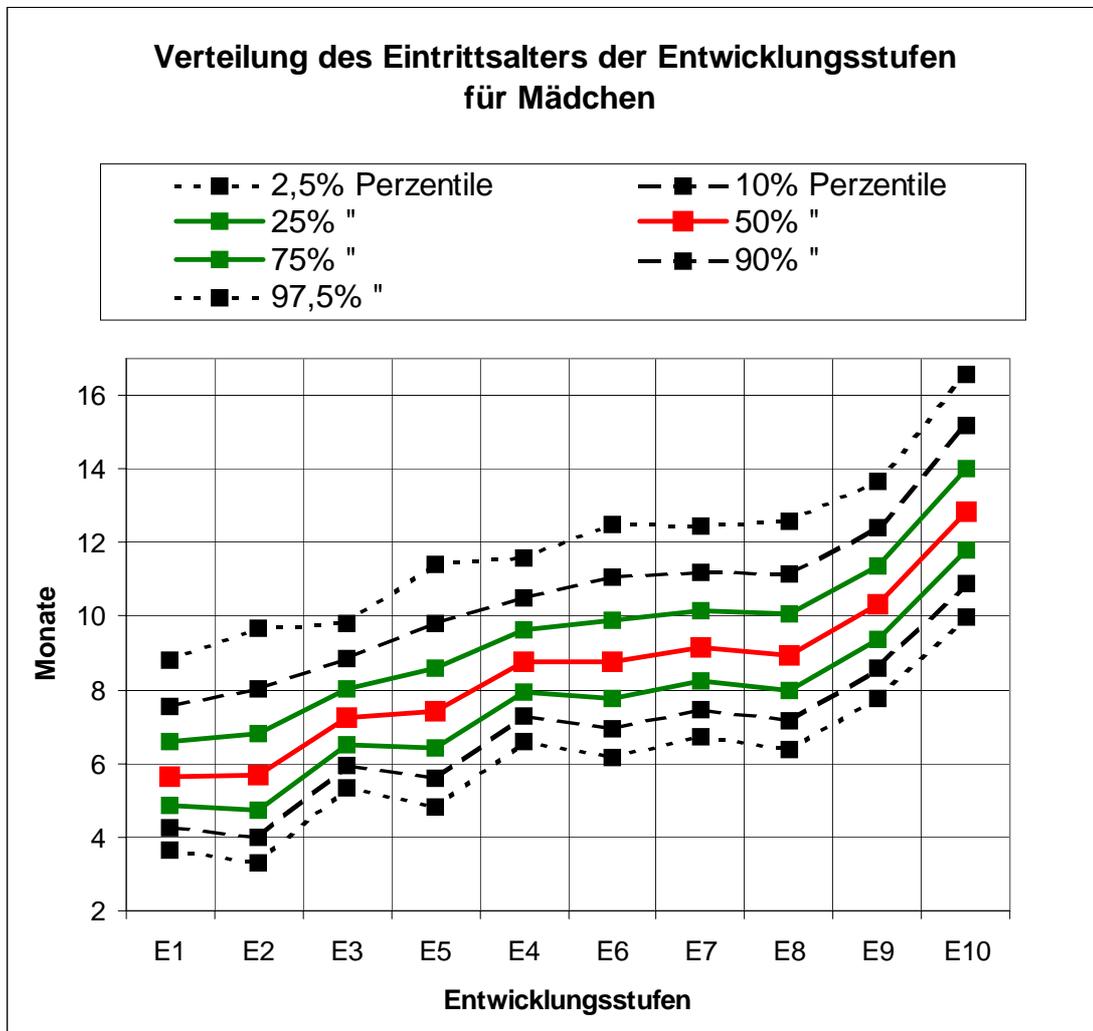


Abb. 38 Verteilung des Eintrittsalters der Entwicklungsstufen für Mädchen

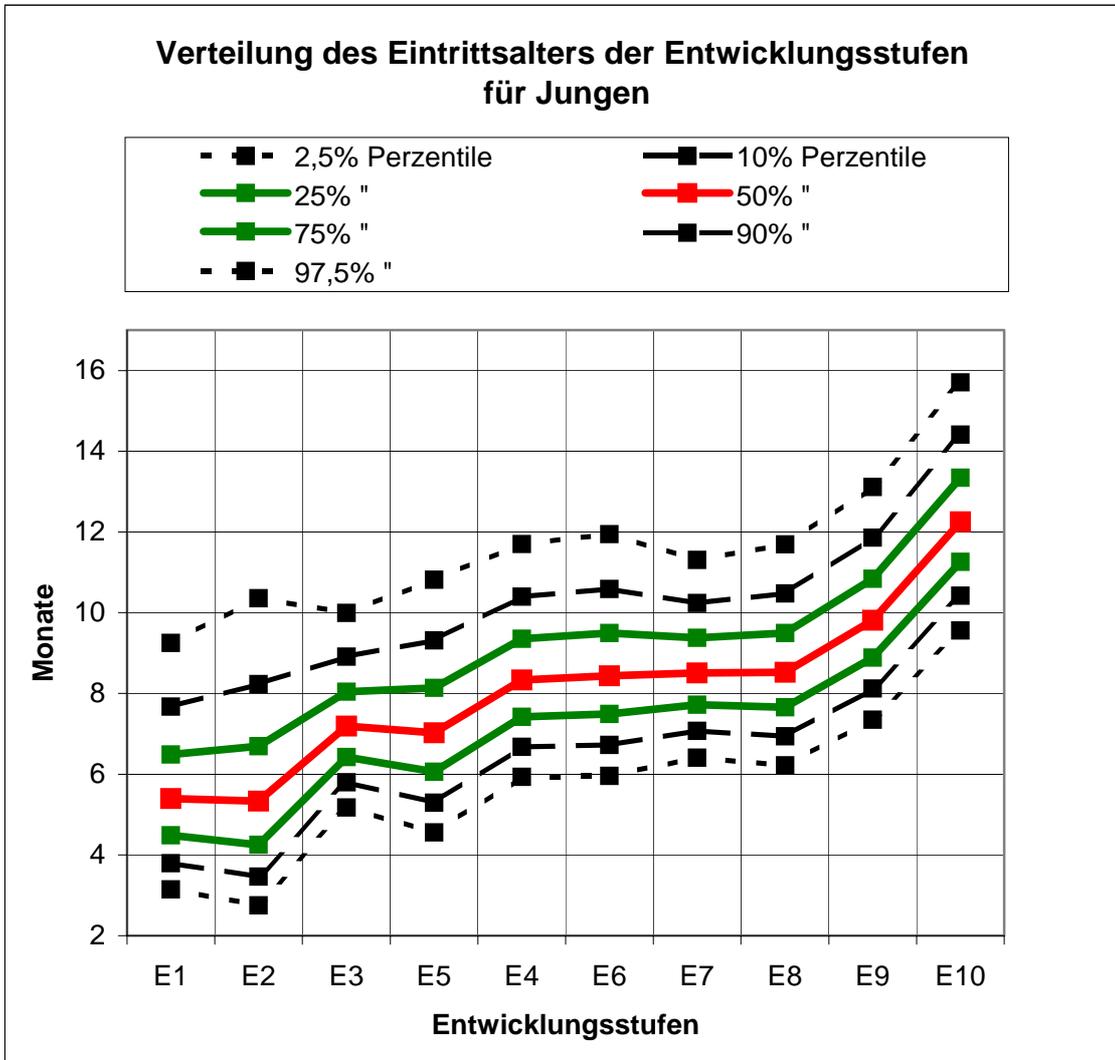


Abb. 39 Verteilung des Eintrittsalters der Entwicklungsstufen für Jungen

4) Betrachtung des 2,5ten Perzentil

Das 2,5te Perzentil hebt sich durch seine Bedeutung aus den Tabellenwerten heraus, indem es eine Vorstellung von dem Entwicklungsalter liefert, ab dem bereits mit der zur Ausbildung der verschiedenen Entwicklungsstufen nötigen biologischen Reife gerechnet werden kann. Eine Sichtung unserer Datensätze unter diesem Aspekt zeigt anhand der empirischen Daten ab wann bereits mit den Systemreifen für die einzelnen motorischen Fortschritte zu rechnen ist. Es folgt eine Zusammenstellung frühester Entwicklungsstufeneintrittsalter aus verschiedenen Datensätzen unserer Stichprobe.

Bei Mädchen:

Entwicklungsstufen	E1	E2	E3	E5	E4	E6	E7	E8	E9	E10
Alter in Monaten	3,0	2,0	5,5	5,5	6,5	5,5	6,5	6,0	8,0	10,5

Bei Jungen:

Entwicklungsstufen	E1	E2	E3	E5	E4	E6	E7	E8	E9	E10
Alter in Monaten	3,0	2,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,5	6,0	7,5	10,0

III e) Test auf Unterschiede von Entwicklungsstufeneintrittszeiten innerhalb einer motorischen Gruppe

Die Mediane der Entwicklungsstufeneintrittszeiten innerhalb jeder der drei unter III c)3) auf Seite 41f aufgeführten Motorikgruppen liegen sehr eng beieinander und es bleibt zu prüfen, ob die **individuelle Entwicklung** die einzelnen motorischen Fortschritte zeitlich signifikant nacheinander durchläuft, oder eher ein gleichzeitiges Auftreten mehrerer Entwicklungsschritte zu bestimmten Zeiten vorliegt.

Hypothese H0: $\mu(\ln X_i) = \mu(\ln X_j) \quad i \neq j$

Die Entwicklungsstufen innerhalb einer Motorikgruppe werden gleichzeitig erreicht.

Hypothese H1: $\mu(\ln X_i) \neq \mu(\ln X_j) \quad i \neq j$.

Die Entwicklungsstufen innerhalb einer Motorikgruppe werden zeitlich nacheinander erreicht.

Es werden nach Geschlechtern getrennt jeweils zwei verschiedene Entwicklungsstufen einer Motorikgruppe einem zweiseitigen t-Test für verbundene Stichproben unterzogen. Verwendet werden die normalverteilten, logarithmierten Stichprobenwerte derjenigen Datensätze, bei denen keine von den in Frage stehenden Entwicklungsstufen ausgelassen wurde.

$$t = \frac{|\bar{D}|}{\sigma_{\bar{D}}},$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\ln X_{ik} - \ln X_{jk})$$

$$\sigma_{\bar{D}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\ln X_{ik} - \ln X_{jk} - \bar{D})^2}}{\sqrt{n}}$$

mit n = Stichprobenumfang, X_{ik} = Realisierungen der ZV X_i

Die kritischen t-Werte: $t^* = t(n-1, \alpha=0,05)$

Testweltergebnisse:

Mädchen :

$t_{1/2} = 0,13; t_{3/5} = 0,10; t_{4/6} = 0,70; t_{4/7} = 3,30; t_{4/8} = 1,21; t_{6/7} = 2,95; t_{6/8} = 0,91; t_{7/8} = 2,51$

Jungen :

$t_{1/2} = 0,30; t_{3/5} = 1,78; t_{4/6} = 0,90; t_{4/7} = 1,45; t_{4/8} = 1,44; t_{6/7} = 0,68; t_{6/8} = 0,64; t_{7/8} = 0,17$

Entsprechend den Ergebnissen kann H_0 bei $\alpha=0,05$ bei Jungen für keine Entwicklungsstufe verworfen werden; die Entwicklungsstufen einer

Motorikgruppe werden von Jungen also nicht nachweisbar nacheinander erreicht. Bei den Mädchen kann H_0 für E_1/E_2 , E_3/E_5 , E_4/E_6 , E_4/E_8 und E_6/E_8 nicht verworfen werden, so dass diese Entwicklungsstufenpaare im allgemeinen zeitlich nicht trennbare motorische Ereignisse darstellen. Bei Mädchen muss H_0 dagegen für die Entwicklungsstufenpaare E_4/E_7 , E_6/E_7 und E_7/E_8 bei $\alpha = 0,05$ abgelehnt werden. Mädchen erlernen „Hochziehen→Stehen“ im allgemeinen zwei Wochen nach dem „selbstständige Aufrichten Liegen→Sitzen“, ungefähr anderthalb Wochen später als das Krabbeln und etwa eine Woche nach „Stehen mit Festhalten“.

III f) Test auf Unterschiede in der Geschwindigkeit der motorischen Entwicklung bei Mädchen und Jungen

1) Vergleich einzelner Entwicklungsstufen

Der Vergleich der Mediane der einzelnen Entwicklungsstufen bei Mädchen und Jungen (siehe Seite 41) lässt den Eindruck entstehen, dass sich die motorische Entwicklung der Jungen schneller vollzieht als die der Mädchen. Um zu prüfen, inwieweit dieser Eindruck zutrifft, wird ein einseitiger Test für jede Entwicklungsstufe durchgeführt:

Hypothese H_0 : $\mu(\ln X_{i_M}) = \mu(\ln X_{i_J}), i = 1, \dots, 10$, $X_{i_M}, X_{i_J} :=$ Eintrittszeiten von E_i bei Mädchen bzw. Jungen.

Zwischen der motorischen Entwicklungsgeschwindigkeit bei Jungen und Mädchen besteht kein Unterschied,

Hypothese H_1 : $\mu(\ln X_{i_M}) < \mu(\ln X_{i_J}), i = 1, \dots, 10$

Die Entwicklungsstufe $E_i, i = 1, \dots, 10$, wird von Jungen schneller als von Mädchen erreicht.

Der Test wird als einseitiger t-Test für unverbundene Stichproben durchgeführt und auf die normalverteilten logarithmierten Daten angewendet. Deren

Varianzen stimmen bei Mädchen und Jungen in der Grundgesamtheit überein.
(siehe *Tabelle 2 Seite 38*)

Die Testgröße lautet: $t = \frac{|\bar{D}|}{\sigma_{\bar{D}}}$

$$\bar{D} = \bar{Y}_{i_j} - \bar{Y}_{i_M},$$

\bar{Y}_{i_M} := arithmetischer Mittelwert der logarithmierten Stichprobenwerte der Mädchen von E_i

\bar{Y}_{i_j} := arithmetischer Mittelwert der logarithmierten Stichprobenwerte der Jungen von E_i .

$$\sigma_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_m} (Y_{i_{Mk}} - \bar{Y}_{i_M})^2 + \sum_{k=1}^{n_j} (Y_{i_{jk}} - (\bar{Y}_{i_j}))^2}{n_m + n_j - 2}} * \sqrt{\frac{n_m + n_j}{n_m * n_j}} \quad n_m, n_j := \text{Stichprobenumfänge}$$

Kritische t-Werte $t^* = t(n_m + n_j - 2; \alpha = 0,025)$

Testwertergebnisse:

$$t_1 = 1,13, t_2 = 1,19, t_3 = 0,25, t_4 = 1,89, t_5 = 1,22$$

$$t_6 = 1,29, t_7 = 3,16, t_8 = 1,78, t_9 = 210, t_{10} = 2,29$$

Den kritischen t^* - Wert zu $\alpha = 0,025$ überschreiten die Entwicklungsstufen E_7 , E_9 , E_{10} und führen in diesen Fällen zur Ablehnung von H_0 . Bei $\alpha = 0,05$ muss H_0 zusätzlich für E_4 und E_8 mit schwacher Signifikanz abgelehnt werden. Jungen erlernen im Mittel drei Wochen eher als Mädchen das Hochziehen in den Stand, zwei Wochen eher das Gehen mit Festhalten sowie zweieinhalb Wochen eher das freie Gehen. Etwa 12 Tage früher als die Mädchen erlernen sie selbstständiges Aufrichten vom Liegen zum Sitzen und Stehen mit Festhalten. Für alle anderen Entwicklungsstufen lässt sich deren beschleunigtes Auftreten bei Jungen nicht signifikant nachweisen.

2) Vergleich zwischen den „Motorikgruppen“

Getestet werden soll, ob es Unterschiede der mittleren Ereigniszeit für die verschiedenen motorische Gruppen zwischen Jungen und Mädchen gibt.

Testung der ersten Motorikgruppe:

Definiere für die Mädchen- und Jungengruppe die Mittelwertvariablen Y_M, Y_J .

Diese messen die mittleren Ereignisseintrittszeiten von E_1 und E_2 eines

Datensatzes. Y_M, Y_J sind für einen Datensatz nur dann definiert, wenn E_1 und E_2 beide durchlaufen wurden.

$$Y_M := \frac{1}{2} * \sum_{i=1,2} \ln X_{iM} = \frac{1}{2} * \sum_{i=1,2} Y_{iM}$$

$$Y_J := \frac{1}{2} * \sum_{i=1,2} \ln X_{iJ} = \frac{1}{2} * \sum_{i=1,2} Y_{iJ}$$

Hypothese H0: $\mu(Y_M) = \mu(Y_J)$

Die mittlere Eintrittszeit der betrachteten Motorikgruppe stimmt bei Mädchen und Jungen überein

Hypothese H1: $\mu(Y_M) > \mu(Y_J)$

Die mittlere Eintrittszeit der betrachteten Motorikgruppe liegt bei Jungen vor derjenigen der Mädchen.

Der Test wird als einseitiger t-Test für unverbundene Stichproben durchgeführt. Normalverteilung und gleiche Varianzen der Variablen für beide Gruppen sind gegeben. Für die Testgröße t gilt:

$$t = \frac{|\bar{D}|}{\sigma_{\bar{D}}}$$

$\bar{D} := \bar{Y}_J - \bar{Y}_M$:= Differenz der arithmetischen Mittelwerte von Y_J, Y_M

$$\sigma_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_m} (Y_{Mk} - \bar{Y}_M)^2 + \sum_{k=1}^{n_j} (Y_{Jk} - \bar{Y}_J)^2}{n_m + n_j - 2}} * \sqrt{\frac{n_m + n_j}{n_m * n_j}}$$

$n_m, n_j :=$ Stichprobenumfänge

Testwterergebnis:

$$t_{1,2} = 1,35 < t^* = t(152; \alpha = 0,025) = 1,98$$

Testung der zweiten Motorikgruppe

Definiere wieder die Mittelwertvariablen Y_M, Y_J . Diese messen die mittleren Ereigniseintrittszeiten von E_3 und E_5 eines Datensatzes. Y_M, Y_J sind für einen Datensatz nur dann definiert, wenn E_3 und E_5 beide durchlaufen wurden.

$$Y_M := \frac{1}{2} * \sum_{i=3,5} \ln X_{iM} = \frac{1}{2} * \sum_{i=3,5} Y_{iM}$$

$$Y_J := \frac{1}{2} * \sum_{i=3,5} \ln X_{iJ} = \frac{1}{2} * \sum_{i=3,5} Y_{iJ}$$

Testwterergebnis:

$$t_{3,5} = 0,94 < t^* = t(96; \alpha = 0,025) = 1,98$$

H_0 kann für die beiden ersten motorischen Gruppen weder bei $\alpha = 0,025$ noch bei $\alpha = 0,05$ abgelehnt werden, so dass ein zeitlich nicht trennbares Auftreten der ersten beiden Motorikgruppen bei Mädchen und Jungen angenommen werden muss.

Testung der dritten Motorikgruppe

Definiere wieder die Mittelwertvariablen Y_M, Y_J . Diese messen die mittleren Ereigniseintrittszeiten von E_4, E_6, E_7, E_8 eines Datensatzes. Y_M, Y_J sind für einen Datensatz nur dann definiert, wenn alle vier Entwicklungsstufen durchlaufen wurden.

$$Y_M := \frac{1}{4} * \sum_{i=4,6,7,8} \ln X_{iM} = \frac{1}{4} * \sum_{i=4,6,7,8} Y_{iM}$$

$$Y_J := \frac{1}{4} * \sum_{i=4,6,7,8} \ln X_{iJ} = \frac{1}{4} * \sum_{i=4,6,7,8} Y_{iJ}$$

Testwterergebnis:

$$t_{4,6,7,8} = 2,26 > t^* = t(151; \alpha = 0,025) = 1,98$$

H0 wird damit bei $\alpha=0,025$ und sogar bei $\alpha=0,05$ abgelehnt. Die dritte motorische Gruppe wird von den Jungen im Mittel zwei Wochen vor den Mädchen erreicht.

III g) Betrachtung der Stichprobenteilmengen mit E₅ und ohne E₅

In der Stichprobe gibt es 98 Babys, die E₅=„Kriechen, Robben“ als motorisches Stadium durchlaufen und 59 Babys, die E₅ auslassen. Da es sich hier um zwei unterschiedliche Entwicklungsmuster-Typen handelt, sind die entsprechenden Gruppen noch einmal gesondert auf ihre Mediane hin untersucht worden. Es soll hier genügen, darauf hinzuweisen, dass die Gruppe der „Robber“ sich bezüglich der Mediane wie die Mädchengruppe, während sich die Gruppe der „Überspringer von E₅“ wie die Jungengruppe bezüglich der Mediane verhält. Die Daten sieht man im Anhang in *Tabelle 17, Seite 108* ein.

Die „Kriecher, Robber“ sind in beiden Geschlechtern gleich häufig, wie unter *III i)2), Seite 55* nachgewiesen wird.

III h) Die zeitliche Abfolge der Entwicklungsschritte

Die zeitliche Platzierung der Entwicklungsstufenmediane zusammen mit den Ergebnissen der Testung von Entwicklungsstufeneintrittszeitpunkten innerhalb der Motorikgruppen (siehe *III e), Seite 47f*) zeigen, dass sich folgende Regeln für die Abfolge motorischer Fortschritte angeben lassen:

Abfolgeregel bei Mädchen:

$$E_1 \approx E_2 \ll E_3 \approx E_5 \ll E_4 \approx E_6 \approx E_8 < E_7 \ll E_9 \ll E_{10}$$

Abfolgeregel bei Jungen:

$$E_1 \approx E_2 \ll E_3 \approx E_5 \ll E_4 \approx E_6 \approx E_7 \approx E_8 \ll E_9 \ll E_{10}$$

Definition der Verknüpfungen:

“ \approx ”:= Die jeweils links und rechts stehenden Ereignisse liegen zeitlich dicht beieinander und sind in ihrer Reihenfolge nicht festgelegt.

“<”:= Das links stehende Ereignis tritt knapp aber signifikant vor dem rechts stehenden Ereignis ein.

“<<”:= Das linksstehende Ereignis tritt deutlich früher als das rechts stehende ein.

III i) Reihenfolgeanalyse motorischer Entwicklungsschritte

Entsprechend den Regeln unter II f), Seite 20f wurden die Datensätze sortiert und in der Tabelle der Rangdatensätze (Permutationen) im Anhang, *Tabelle 16 Datenbasis, Seite 104ff* zusammengefasst.

1) Permutationen

Es stellt sich heraus, dass die motorische Entwicklung völlig individuelle Reihenfolgen verwirklicht, d.h. es gibt unter den 157 Kindern nur bei 8 Kindern jeweils eine paarweise übereinstimmende Abfolge der Entwicklungsschritte. Diese Paare sind in der Auflistung der Permutationen auf den Seiten 104ff *Tabelle 16 Datenbasis* durch Umrahmung gekennzeichnet. Es gleicht also bis auf die erwähnten Ausnahmen keine Abfolge einer anderen vollständig. Es ist ferner hervorzuheben, dass es selbst so unerwartete Entwicklungs-Reihenfolgen gibt wie z.B. diese:

Datensatz Nr.	Rang der Entwicklungsstufe									
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
111	1	2	2	7	5	9	7	2	5	10
132	6	2	6	8	1	2	5	4	8	10

Dabei geben die senkrecht unter den Entwicklungsstufen stehenden Zahlen an, welchen Platz diese Entwicklungsstufe innerhalb der Abfolge der zehn motorischen Stufen einnimmt. Die *Tabelle 16 Datenbasis* belegt die Vielzahl und das Ausmaß der Variationen der Entwicklungsstufenabfolge.

2) **Entwicklungsstufe E₅**

Die Entwicklungsstufe E₅:= Kriechen/Robben wird von 59 Kindern ausgelassen, d.h. nur etwa 62% aller Kinder machen Kriechen/Robben durch. Bei den Mädchen krabbeln/robben 45 von 78, das entspricht 58%, bei den Jungen krabbeln/robben 53 von 79, das entspricht 67%.

Bei einem Vierfeldertest- χ^2 -Wert von $\chi^2 = 1,48$ kann man von einer für Mädchen und Jungen identischen Wahrscheinlichkeit von $p(E_5)=0,62$ für das Auftreten der Entwicklungsstufe E₅ ausgehen.

3) **Übersprungene Entwicklungsstufen**

Die Entwicklungsstufen E₁ und E₂ werden jeweils zweimal, E₃ einmal und die Entwicklungsstufe E₆ wird viermal ausgelassen. Diese Entwicklungssprünge werden nur bei Mädchen (ein Mädchen lässt beide Drehbewegungen aus) beobachtet und sie verteilen sich gleichmäßig auf die Gruppen mit und ohne Entwicklungsstufe E₅. Bei der weiteren Auswertung werden diese Kinder nicht gesondert berücksichtigt.

Die Entwicklungsstufen E₄, E₇, E₈, E₉, E₁₀ werden von allen Kindern durchlaufen.

Bei der Auswertung der Rangdatensätze muss beachtet werden, ob Entwicklungsstufe E₅ stattfand oder ausgelassen wurde, da sich daraus Rangverschiebungen in die eine oder andere Richtung ergeben. (E₁₀ belegt bei Ausfall von E₅ z.B. den Rang 9)

4) **Regelhaftes der Permutationen**

Die folgende Tabelle bezieht sich auf die Gesamtstichprobe und gibt einen Überblick über die zahlenmäßige Verteilung der Entwicklungsstufen auf die verschiedenen Ränge.

Tabelle 9 Verteilung der Entwicklungsstufen auf die Ränge

Rang	Datensätze mit E5					Datensätze ohne E5				
	1.+2.	3.+4.	5.→8.	9.	10.	1.+2.	3.	4.→7.	8.	9.
E1	88	7	2	-	-	50	6	1	1	-
E2	87	9	-	-	-	56	2	1	-	-
E3	24	55	19	-	-	15	35	8	-	-
E5	16	74	8	-	-					
E4	2	32	59	5	-	2	10	45	2	-
E6	3	25	64	4	-	2	8	41	6	-
E7	-	13	83	2	-	-	8	41	6	-
E8	4	17	77	-		2	3	54	-	-
E9	-	1	29	68	-	-	-	23	36	-
E10	-	-	-	3	95	-	-	-	3	56

Erläuterung:

Für jede Entwicklungsstufe ist angegeben, wie oft dieselbe sich entweder auf den ersten beiden Rängen, auf dem dritten oder vierten Rang, dem fünften bis sechsten Rang, dem neunten oder zehnten Rang befindet. Die linke Hälfte der Tabelle gibt die Verhältnisse der Datensätze mit E₅, die rechte Hälfte die der Datensätze ohne E₅, wieder.

Die Tabelle 9 zeigt, wie sich die Entwicklungsstufen ihrer Häufigkeitsverteilung entsprechend den markierten disjunkten Ranggruppen zuordnen lassen. Auf diese Weise formieren sich drei Entwicklungsstufengruppen, die inhaltlich Permutationsuntergruppen sind. Dies lässt sich durch eine gesonderte Auswertung der Datensätze zeigen, die für jedes Entwicklungsstufenpaar E_i/E_j , $i, j \in \{1, \dots, 10\}, i \neq j$, angibt, in wie viel Prozent aller Datensätze E_j einen höheren oder niedrigeren Rang als E_i belegt oder ranggleich mit E_i auftritt (Tabelle 19 und Tabelle 20, Seite 112). Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 10 Permutationen und Ranggleichheit

	1. Gruppe		2. Gruppe		3. Gruppe		E9	
	Ranggleich.	Rangtausch	Ranggleich.	Rangtausch	Ranggleich.	Rangtausch	Ranggleich.	Rangtausch
1. Gruppe	24%	33%	6,5%	9%	2,5%	2%	1%	0,5%
2. Gruppe			5%	41%	9%	6%	1%	0%
3. Gruppe					25%	29%	9%	6%

1. Gruppe= E_1, E_2 ; 2. Gruppe= E_3, E_5 (bzw. nur E_5); 3. Gruppe= E_4, E_6, E_7, E_8

Erläuterung:

Die Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtstichprobe und stellen jeweils die Durchschnittswerte für Permutationen und Rangübereinstimmungen dar, die zwischen jeweils zwei verschiedenen Entwicklungsstufen der betrachteten Entwicklungsstufen- gruppen beobachtet werden. So bedeuten z.B. die Prozentangaben im grünen Feld, dass die Elemente der 1. Gruppe, nämlich E_1 und E_2 , in 24% aller Datensätze denselben Rang belegen und in 33% aller Datensätze ihre Reihenfolge tauschen, und die Angaben in den weißen Feldern oberhalb der orangen Felder bedeuten, dass beim Vergleich zweier beliebiger Entwicklungsstufen aus der ersten und zweiten Permutations- untergruppe in durchschnittlich 6,5% aller verwendbaren Datensätze Ranggleichheit und in durchschnittlich 9% aller verwendbaren Datensätze Reihenfolgevertauschung gefunden wird. Die Angaben im gelben Feld bedeuten, dass beim Vergleich zweier beliebiger Entwicklungsstufen aus der zweiten Permutationsuntergruppe in durch- schnittlich 25% aller Datensätze Ranggleichheit und in durchschnittlich 29% aller Datensätze Reihenfolgenvertauschungen gefunden werden.

Insgesamt führt die Auswertung der Rangdatensätze zu folgenden Ergebnissen:

1. Rangtausch findet mit Ausnahme von E_9 , und E_{10} praktisch zwischen sämtlichen Entwicklungsstufen statt.
2. Es gibt folgende drei Permutationsuntergruppen.
 Permutationsuntergruppe 1: $E_1 + E_2$, vornehmlich auf den ersten beiden Rängen.
 Permutationsuntergruppe 2: $E_3 + E_5$, vornehmlich auf dem dritten und vierten Rang.
 Permutationsuntergruppe 3: $E_4 + E_6 + E_7 + E_8$, vornehmlich auf dem fünften bis achten Rang

3. Innerhalb der Permutationsuntergruppen findet Rangaustausch zwischen jeweils zwei verschiedenen Entwicklungsstufen der Gruppe in der Regel bei über 30% aller Stichproben statt. Die Rangtauschhäufigkeit zwischen Entwicklungsstufen unterschiedlicher Permutationsuntergruppen liegt bei durchschnittlich unter 10% aller Stichproben. Die Bezeichnung „Permutationsuntergruppe“ wird also durch die Beobachtung gerechtfertigt, dass Rangaustausch innerhalb einer solchen Untergruppe deutlich häufiger stattfindet, als zwischen Entwicklungsstufen verschiedener Untergruppen
4. Ranggleichheit zwischen zwei beliebigen Entwicklungsstufen innerhalb der ersten oder dritten Permutationsuntergruppe tritt durchschnittlich in über 24% aller Stichproben auf. Ranggleichheit zwischen Entwicklungsstufen verschiedener Permutationsuntergruppen findet mit Ausnahme von E_3/E_4 durchschnittlich in weniger als 6% der Stichproben statt. Damit lässt sich feststellen, dass sich Ranggleichheit innerhalb der ersten und dritten Permutationsuntergruppe deutlich häufiger ereignen als gruppenübergreifende Ranggleichheit.
5. Eine statistische Normreihenfolge der Entwicklungsstufen lässt sich nicht angeben

III j) Die Korrelationsanalyse der Entwicklungsstufen und die Entwicklung von Referenzbereichen mit prognostischer Funktion

1) Die Scatterplot Matrizen und Korrelationskoeffizienten

Die Korrelationskoeffizienten wurden gemäß // g)1), Seite 21f berechnet. Es folgen die Scatterplot Matrizen zur Veranschaulichung der Zusammenhänge in den Ausgangsdaten und die numerischen Ergebnisse des Pearsonschen Produktmoment-Korrelationskoeffizienten.

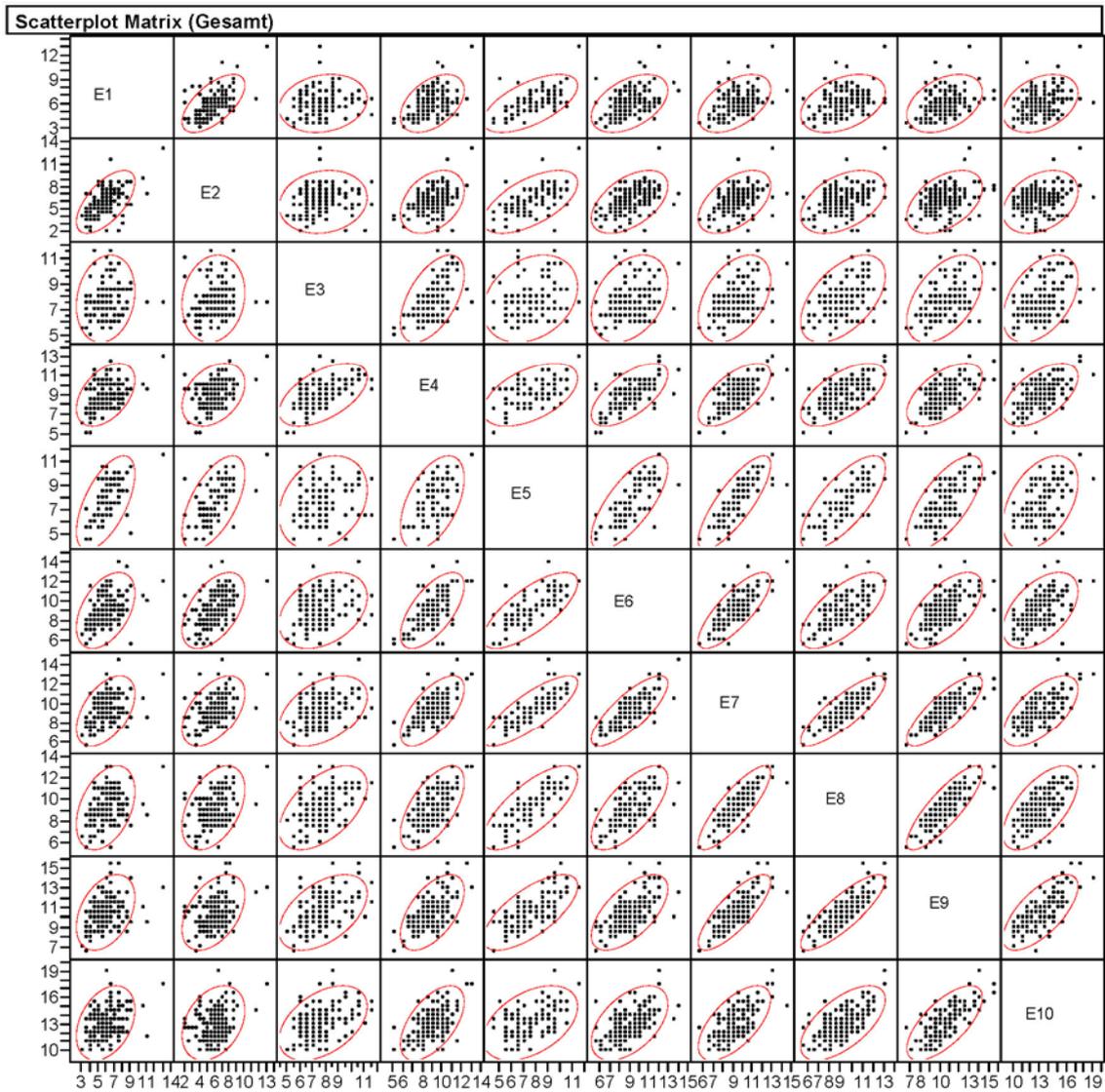


Abb. 40 Scatterplot Matrix Gesamt, Skaleneinheiten in Monate

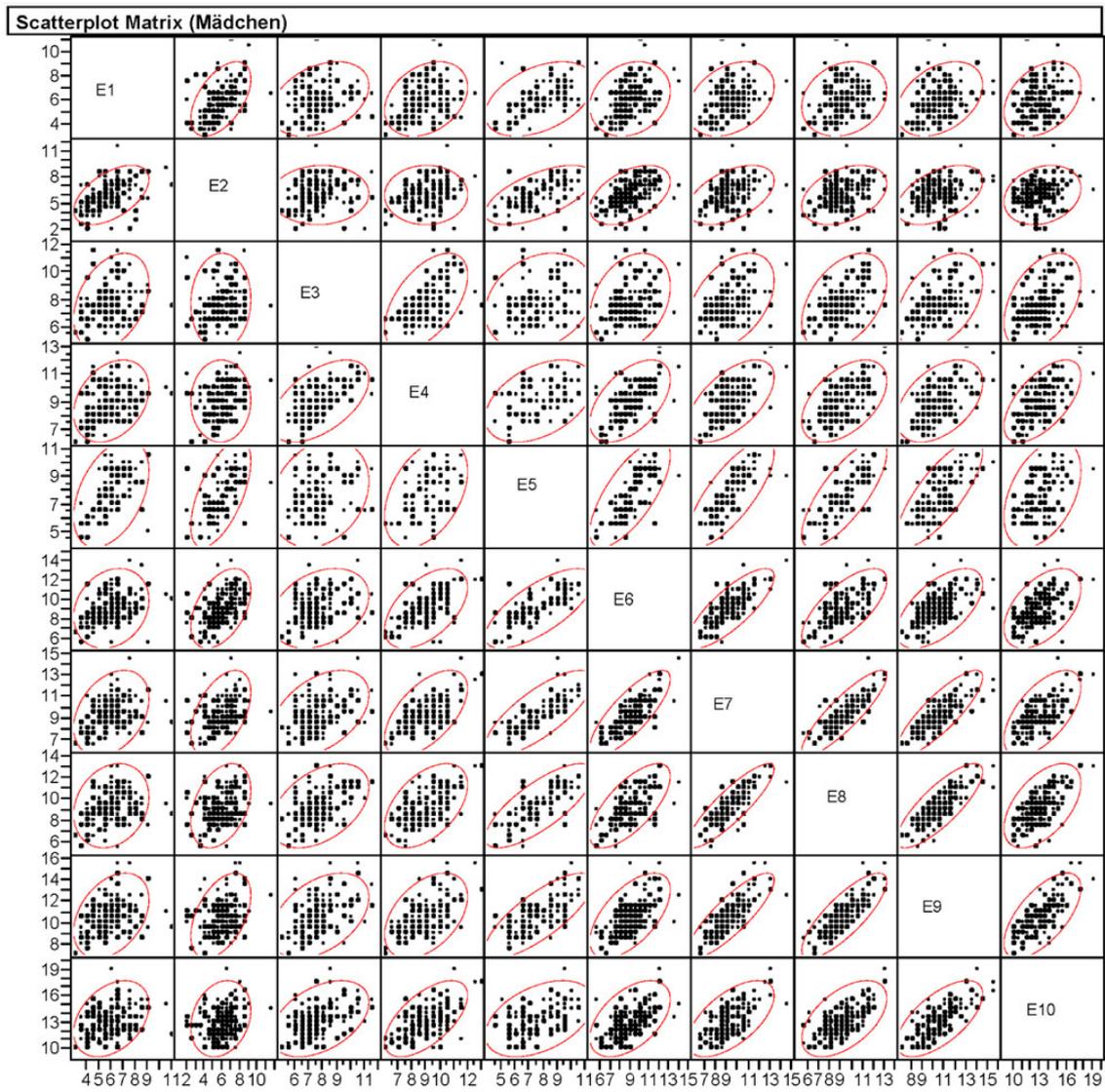


Abb. 41 Scatterplot Matrix Mädchen, Skaleneinheiten in Monaten

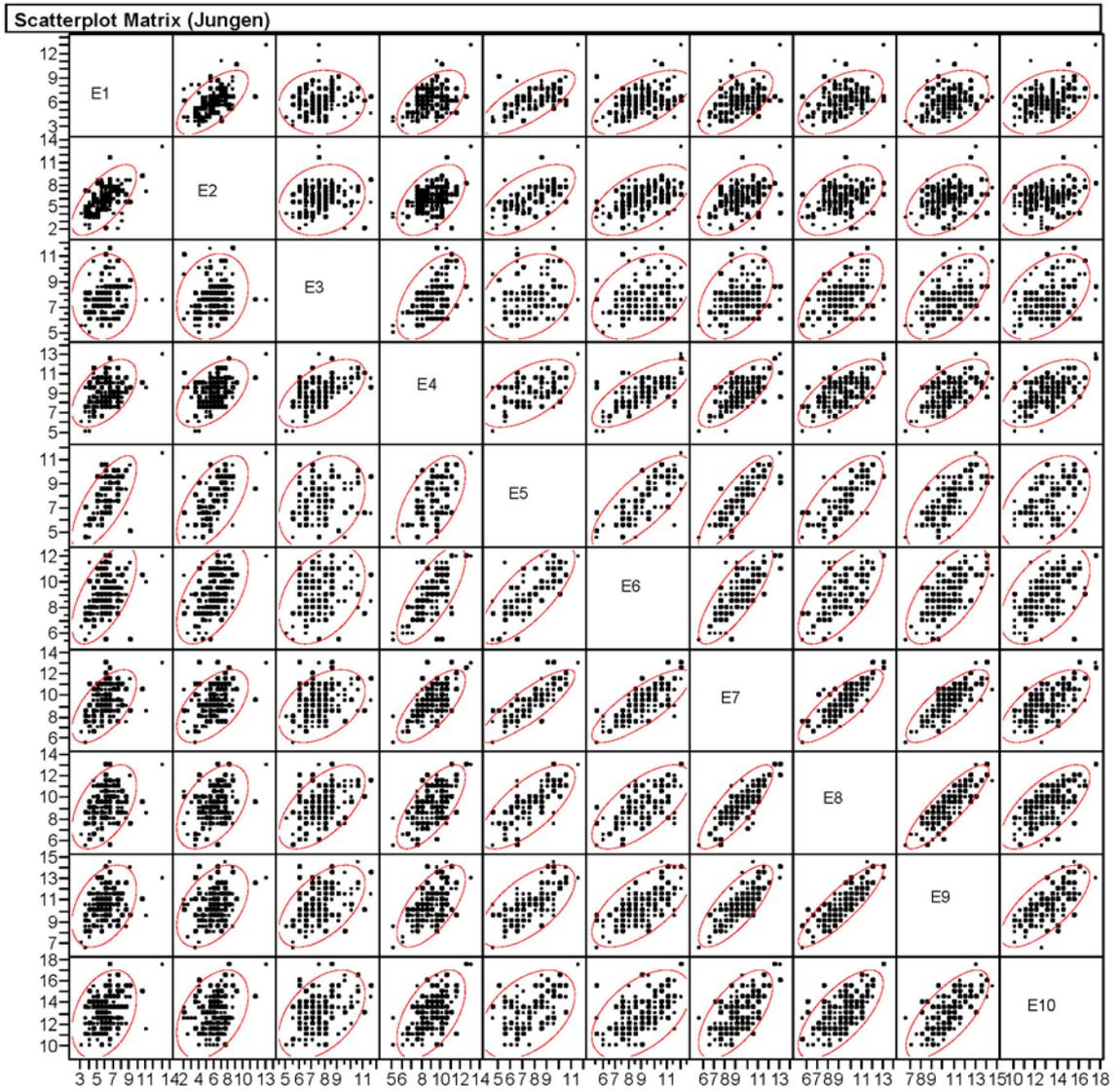


Abb. 42 Scatterplot-Matrix Jungen, Skaleneinheiten in Monaten

Tabelle 11 Produktmoment-Korrelationskoeffizienten r_{ij} nach Pearson für die logarithmierten Daten Gesamt und nach Geschlecht

Entwicklungs-stufen-paare	Pears.Korr.Koeff. Mädchen	Pears.Korr.Koeff. Jungen	Pears.Korr.Koeff. Gesamt
E1/E2	0,48	0,48	0,49
E1/E3	0,28	0,21	0,24
E2/E3	0,07	0,25	0,18
E1/E4	0,29	0,55	0,45
E2/E4	0,15	0,38	0,30
E3/E4	0,37	0,63	0,52
E1/E5	0,46	0,76	0,64
E2/E5	0,51	0,57	0,55
E3/E5	0,18	0,32	0,25
E4/E5	0,45	0,59	0,53
E1/E6	0,32	0,59	0,47
E2/E6	0,37	0,44	0,41
E3/E6	0,18	0,41	0,30
E4/E6	0,58	0,76	0,68
E5/E6	0,73	0,75	0,74
E1/E7	0,36	0,56	0,47
E2/E7	0,30	0,41	0,37
E3/E7	0,26	0,46	0,35
E4/E7	0,62	0,69	0,66
E5/E7	0,77	0,84	0,81
E6/E7	0,76	0,78	0,77
E1/E8	0,28	0,49	0,40
E2/E8	0,22	0,36	0,30
E3/E8	0,40	0,61	0,50
E4/E8	0,47	0,65	0,57
E5/E8	0,74	0,71	0,72
E6/E8	0,62	0,64	0,63
E7/E8	0,84	0,80	0,82
E1/E9	0,33	0,41	0,38
E2/E9	0,27	0,31	0,30
E3/E9	0,30	0,57	0,44
E4/E9	0,45	0,66	0,57
E5/E9	0,76	0,63	0,70
E6/E9	0,58	0,64	0,62
E7/E9	0,82	0,79	0,81
E8/E9	0,80	0,85	0,83
E1/E10	0,35	0,31	0,34
E2/E10	0,14	0,28	0,23
E3/E10	0,31	0,48	0,40
E4/E10	0,56	0,55	0,56
E5/E10	0,44	0,40	0,43
E6/E10	0,50	0,55	0,53
E7/E10	0,62	0,61	0,63
E8/E10	0,57	0,64	0,61
E9/E10	0,69	0,70	0,70

2) Die Konfidenzintervalle der Korrelationskoeffizienten

Tabelle 12 Konfidenzintervalle der Korrelationskoeffizienten (Gesamtstichprobe)

Entwicklungsstufenpaare	95 % Konfidenzintervall	
	unterer Wert	oberer Wert
E1/E2	0,36	0,60
E1/E3	0,09	0,38
E2/E3	0,02	0,33
E1/E4	0,32	0,57
E2/E4	0,15	0,44
E3/E4	0,40	0,63
E1/E5	0,51	0,74
E2/E5	0,39	0,67
E3/E5	0,05	0,43
E4/E5	0,37	0,66
E1/E6	0,34	0,58
E2/E6	0,27	0,53
E3/E6	0,15	0,44
E4/E6	0,59	0,76
E5/E6	0,63	0,82
E1/E7	0,34	0,58
E2/E7	0,23	0,50
E3/E7	0,20	0,48
E4/E7	0,56	0,74
E5/E7	0,73	0,87
E6/E7	0,70	0,83
E1/E8	0,26	0,52
E2/E8	0,15	0,44
E3/E8	0,37	0,61
E4/E8	0,45	0,67
E5/E8	0,61	0,80
E6/E8	0,53	0,72
E7/E8	0,76	0,87
E1/E9	0,24	0,51
E2/E9	0,15	0,44
E3/E9	0,30	0,56
E4/E9	0,45	0,67
E5/E9	0,58	0,79
E6/E9	0,51	0,71
E7/E9	0,75	0,86
E8/E9	0,77	0,87
E1/E10	0,19	0,47
E2/E10	0,08	0,37
E3/E10	0,26	0,52
E4/E10	0,44	0,66
E5/E10	0,25	0,58
E6/E10	0,41	0,63
E7/E10	0,53	0,72
E8/E10	0,50	0,70
E9/E10	0,61	0,77

3) **Der Verlauf der Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit von den Entwicklungsstufen**

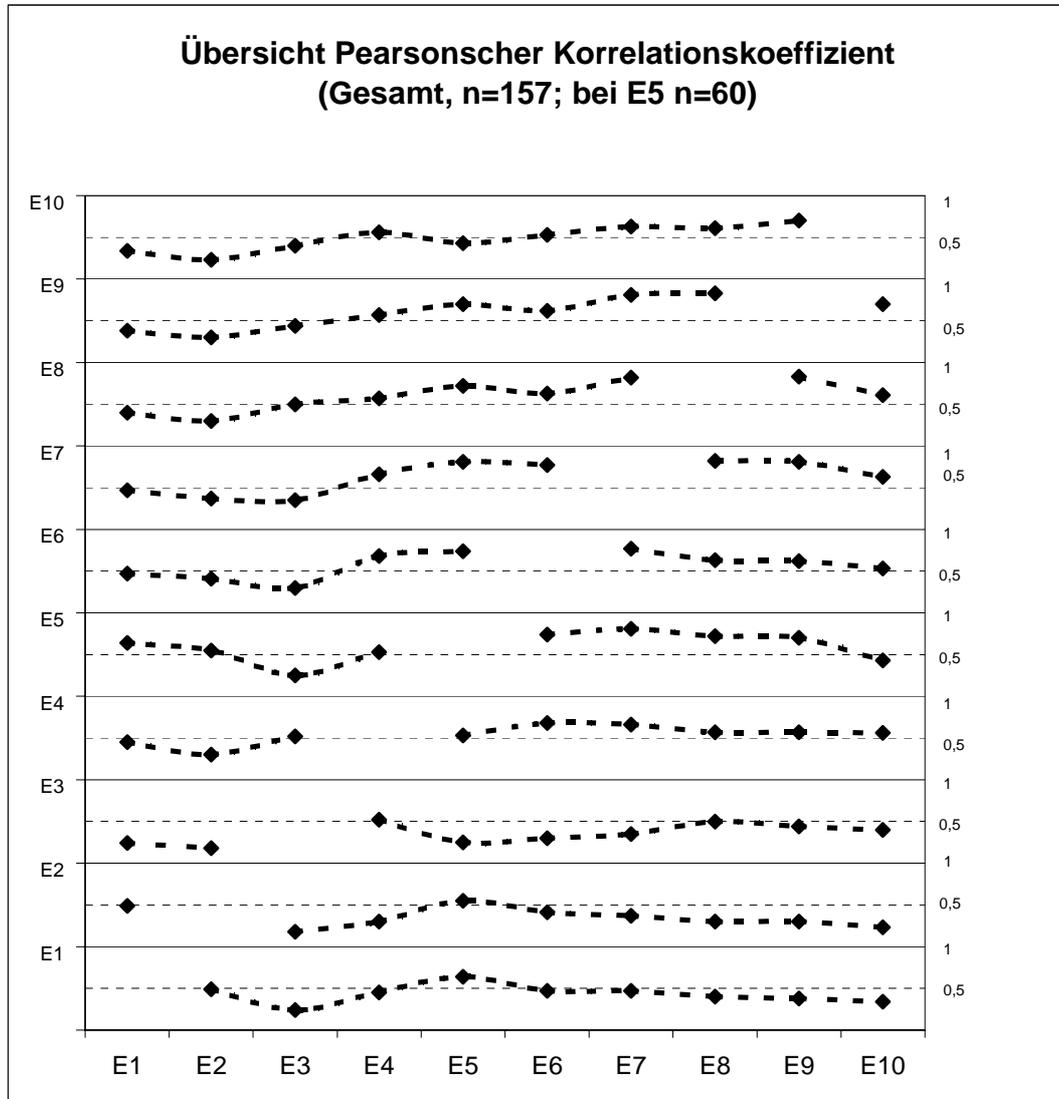


Abb. 43 Übersicht Pearsonscher Korrelationskoeffizient für die logarithmierten Daten

4) **Signifikanztestung der Pearsonschen Produktmoment-Korrelationskoeffizienten**

Der Test hat Fishers z' -Transformation (siehe Seite 22) zur Voraussetzung und entspricht dem Vergleich einer Stichprobenkorrelation mit einer erwarteten Korrelation ρ .

Hypothese H0: der wahre Parameter ist $\rho_{\ln X_i, \ln X_j} = 0$

Zu berechnen ist der folgende z-Wert:

$$z = \frac{z'_r - 0}{\sigma_{z'_r}} = \frac{z'_r}{\sigma_{z'_r}}$$

$$z^*(\alpha = 0,05) = 1,96$$

Für den kritischen Wert r^* gilt wegen $z' = z^* \cdot \sigma_{z'}$:

$$r^* = \frac{\exp\left(2 \frac{z^*}{\sqrt{n-3}}\right) - 1}{\exp\left(2 \frac{z^*}{\sqrt{n-3}}\right) + 1}$$

Die kritischen r^* -Werte:

$$r^*(n = 45) = 0,29$$

$$r^*(n = 53) = 0,27$$

$$r^*(n = 78) = 0,22$$

$$r^*(n = 98) = 0,20$$

$$r^*(n = 157) = 0,16$$

Durch Vergleich mit den Produktmoment-Korrelationskoeffizienten aus *Tabelle 11 auf Seite 63* erhält man folgende Ergebnisse:

H0 kann bei $\alpha = 0,05$ für folgende Entwicklungsstufenpaare nicht abgelehnt werden:

Bei Mädchen: E₂/E₃, E₂/E₄, E₂/E₁₀, E₃/E₅, E₃/E₆

Bei Jungen: E₁/E₃

Die aufgelisteten Entwicklungsstufenpaare müssen als unkorreliert betrachtet werden.

Die Korrelationen innerhalb der Gesamtstichprobe sind ausnahmslos signifikant positiv.

5) Vergleich der Korrelationen bei Mädchen und Jungen

(a) Einzelvergleich

Hypothese H0: $r_M(E_i/E_j) = r_J(E_i/E_j), i \neq j$ Die Korrelationen zweier Entwicklungsstufen sind identisch bei Mädchen und Jungen.

H0 wird durch Vergleich jeweils zweier beobachteter Korrelationen gleicher Entwicklungsstufenpaare nach folgender Formel getestet:

$$z = \frac{z'_M - z'_J}{\sqrt{\frac{1}{n_M - 3} + \frac{1}{n_J - 3}}},$$

mit $z'_M, z'_J = z'$ -Transformierte der Korrelationskoeffizienten r_M, r_J aus der Stichprobe der Mädchen bzw. Jungen und $n_M, n_J =$ Anzahl Mädchen bzw. Jungen in der Stichprobe.

$$z^*(\alpha = 0,05) = 1,96$$

Tabelle 13 Signifikant unterschiedlich getestete Korrelationen bei Mädchen und Jungen

Entwicklungsstufen	Korrelationskoeff. Mädchen	Korrelationskoeff. Jungen
E1/E4	0,29	0,55
E1/E5	0,46	0,76
E1/E6	0,32	0,59
E3/E4	0,37	0,63
E3/E9	0,30	0,57
E4/E6	0,58	0,76

Im Wesentlichen weisen die Entwicklungsstufen E₁ und E₃ geschlechtsspezifische Korrelationsunterschiede zu zeitlich nachfolgenden Entwicklungsstufen

auf und die stärkeren Korrelationen sind ausnahmslos bei den Jungen zu finden.

Alle anderen Entwicklungsstufen zeigen keine signifikanten Unterschiede in den Korrelationskoeffizienten, so dass für deren Betrachtung nur die Ergebnisse, die aus der Gesamtstichprobe stammen, verwendet werden.

(b) Vergleich der mittleren Korrelationen

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten von Mädchen und Jungen zeigt bis auf die Ausnahmen $r_{1,3}, r_{1,10}, r_{4,10}, r_{5,10}, r_{7,10}, r_{7,9}$ durchgehend stärkere Korrelationen bei den Jungen, auch wenn der Einzelvergleich keine Signifikanz für die Unterschiede erbringt. Zur Testung der anscheinend trotzdem vorliegenden generellen Unterschiede der Korrelationsstärken wird der Vorzeichentest angewendet.

Da von den jeweils für Mädchen und Jungen errechneten 45 Korrelationskoeffizienten nur in sechs Fällen der Korrelationskoeffizient der Mädchen größer als der entsprechende der Jungen ist, ergibt sich ein χ^2 -Wert von $\chi^2 \cong 22,8$. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,001$ ist der kritische χ^2 -Wert: $\chi^2=10,8$ und führt somit zu einer hochsignifikanten Ablehnung von H_0 . Die mittlere Korrelation zwischen den Entwicklungsstufen ist bei Jungen hochsignifikant stärker bei Mädchen.

6) Klassifizierung der Korrelationen der Gesamtstichprobe

Sehr starke Zusammenhänge mit $r_{ij} \geq 0,7$ findet man bei folgenden Entwicklungsstufenpaaren:

$E_5/E_6, E_5/E_7, E_5/E_8, E_5/E_9$

E_6/E_7

$E_7/E_8, E_7/E_9$

E_8/E_9

E_9/E_{10}

Starke Zusammenhänge gibt es bei den folgenden Entwicklungsstufenpaaren:

$0,5 \leq r_{ij} < 0,7$

E_1/E_5

E_2/E_5

$E_3/E_4, E_3/E_8$

$E_4/E_5, E_4/E_6, E_4/E_7, E_4/E_8, E_4/E_9, E_4/E_{10}$

$E_6/E_8, E_6/E_9, E_6/E_{10}$

E_7/E_{10}

E_8/E_{10}

Keine oder nur sehr schwach signifikante Zusammenhänge findet man bei den folgenden Entwicklungsstufenpaaren:

$r_{ij} < 0,3$

E_1/E_3

$E_2/E_3, E_2/E_{10}$

E_3/E_5

7) Die prognostischen Referenzbereiche

Die numerischen Ergebnisse finden sich im Anhang in der *Tabelle 18 Referenzbereich-Tabellen; Angaben in Monaten auf Seite 109f.*

Die prognostischen Referenzbereiche sind mit Ausnahme von E_5/E_{10} nur für Entwicklungsstufenpaare mit starker Korrelation ($r_{ijj} > 0,5$) berechnet worden; entsprechend findet man eine Prognose des Eintrittsalters einer späteren motorischen Fertigkeit aufgrund des Eintrittsalters einer früheren Entwicklungsstufe für folgende Entwicklungsstufenpaare:

$E_4/E_5, E_4/E_6, E_4/E_7, E_4/E_8, E_4/E_9, E_4/E_{10}$

$E_5/E_6, E_5/E_7, E_5/E_8, E_5/E_9, E_5/E_{10}$

$E_6/E_7, E_6/E_8, E_6/E_9, E_6/E_{10}$

$E_7/E_8, E_7/E_9, E_7/E_{10}$

$E_8/E_9, E_8/E_{10}.$

Die Berechnungen sind bis auf das Entwicklungsstufenpaar E_4/E_6 (die Korrelationskoeffizienten sind hier für Mädchen und Jungen signifikant verschieden) nur für die Gesamtheit errechnet worden.

(a) Graphische Darstellung der prognostischen Referenzbereiche

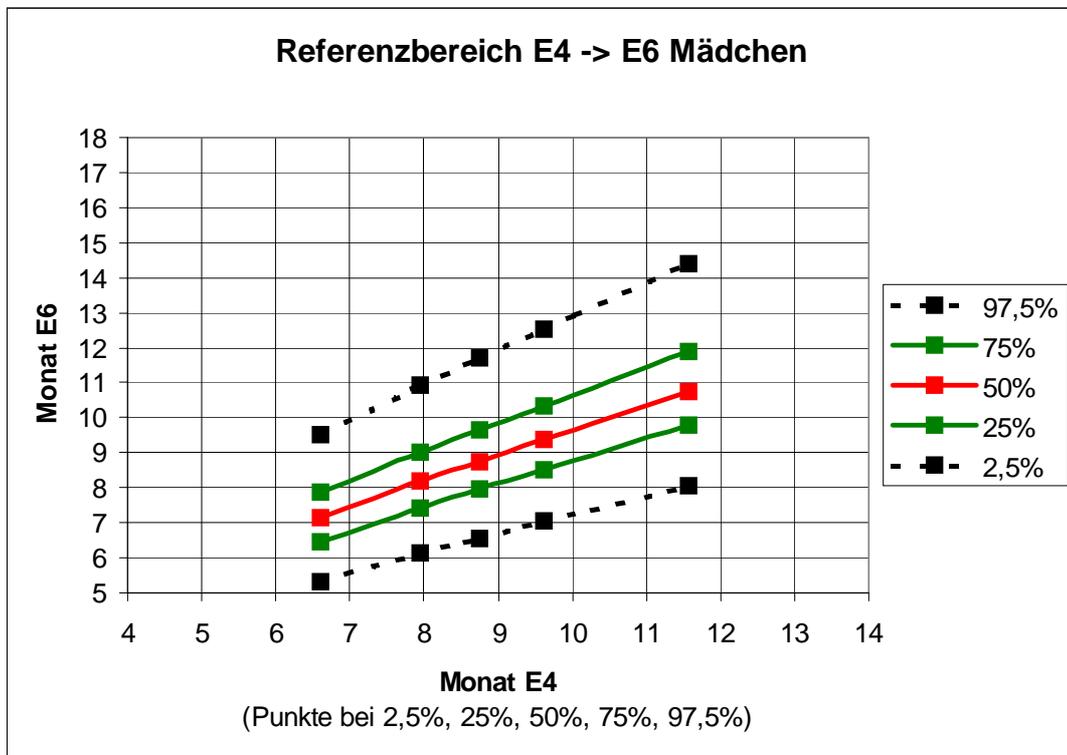


Abb. 44 Referenzbereich E4 -> E6 (Mädchen) $r = 0,58$

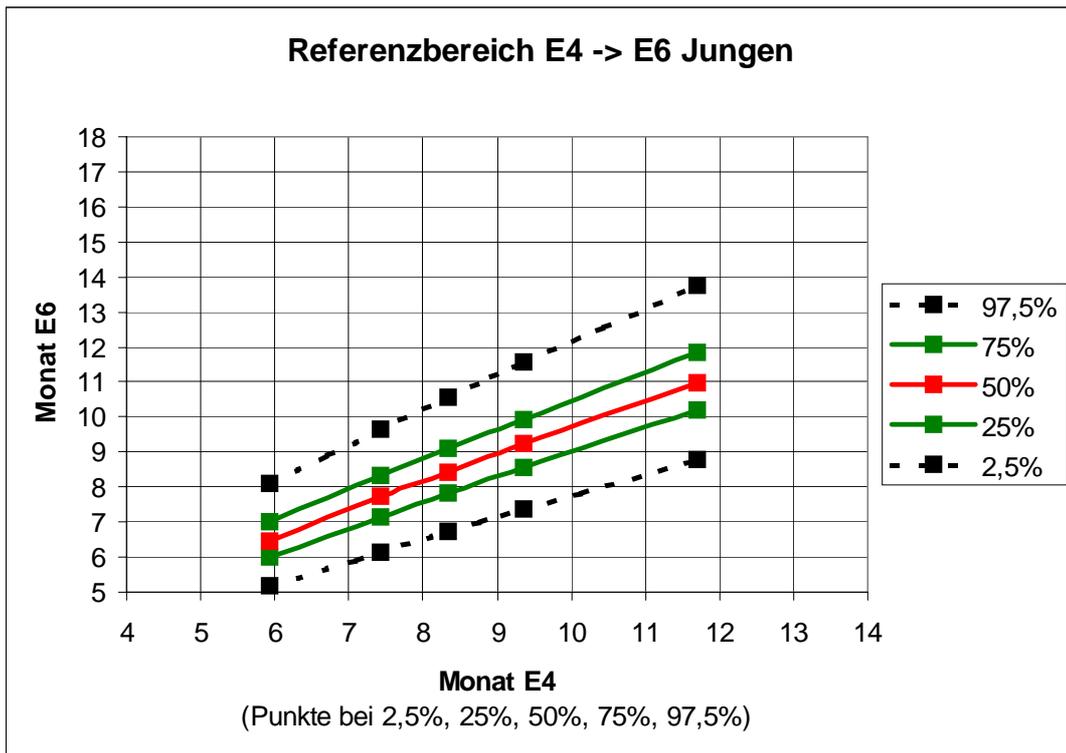


Abb. 45 Referenzbereich E4 -> E6 (Jungen) $r = 0,76$

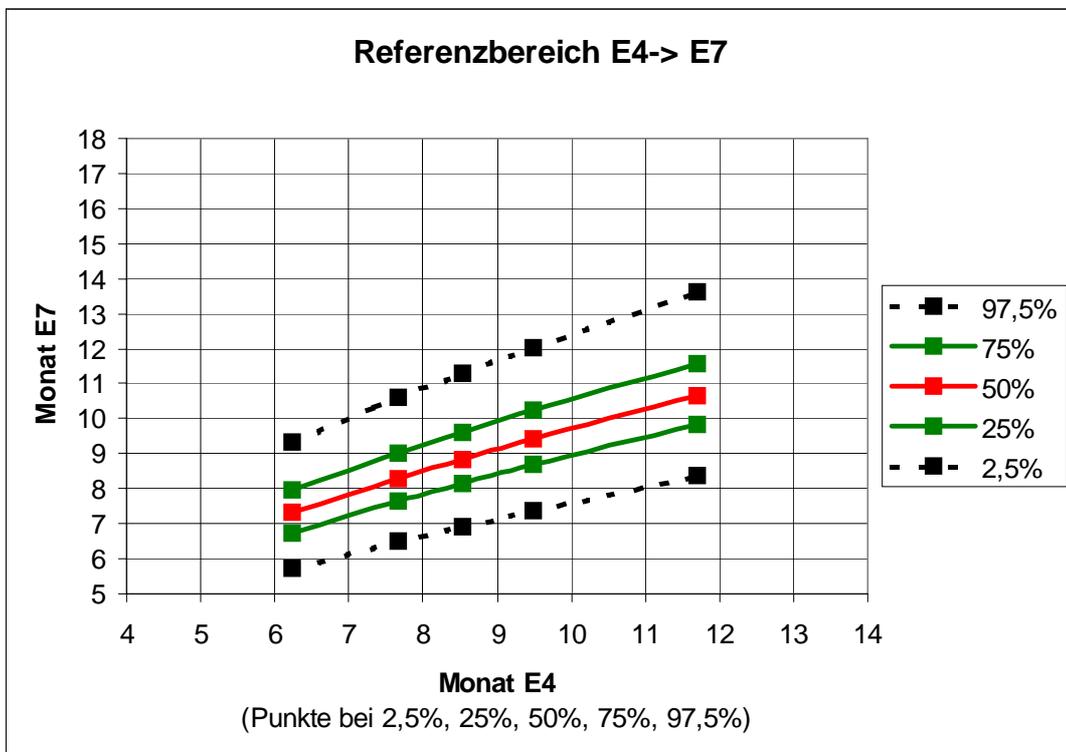


Abb. 46 Referenzbereich E4 -> E7 $r = 0,66$

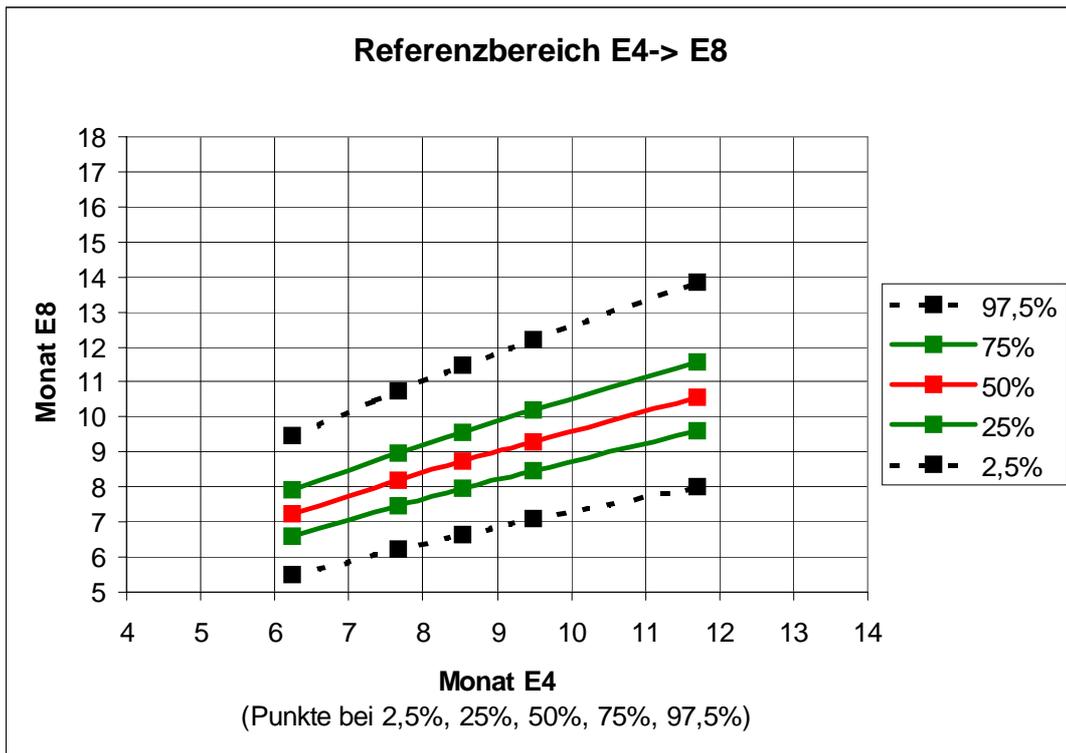


Abb. 47 Referenzbereich E4 -> E8 $r = 0,57$

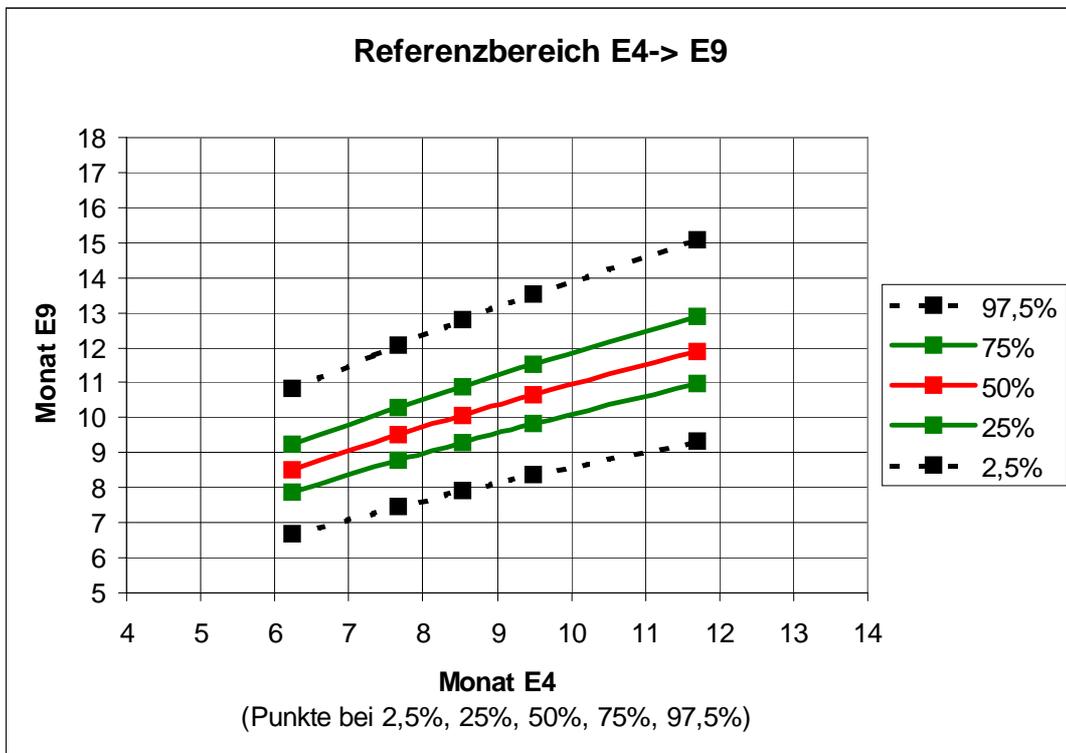


Abb. 48 Referenzbereich E4 -> E9 $r=0,57$

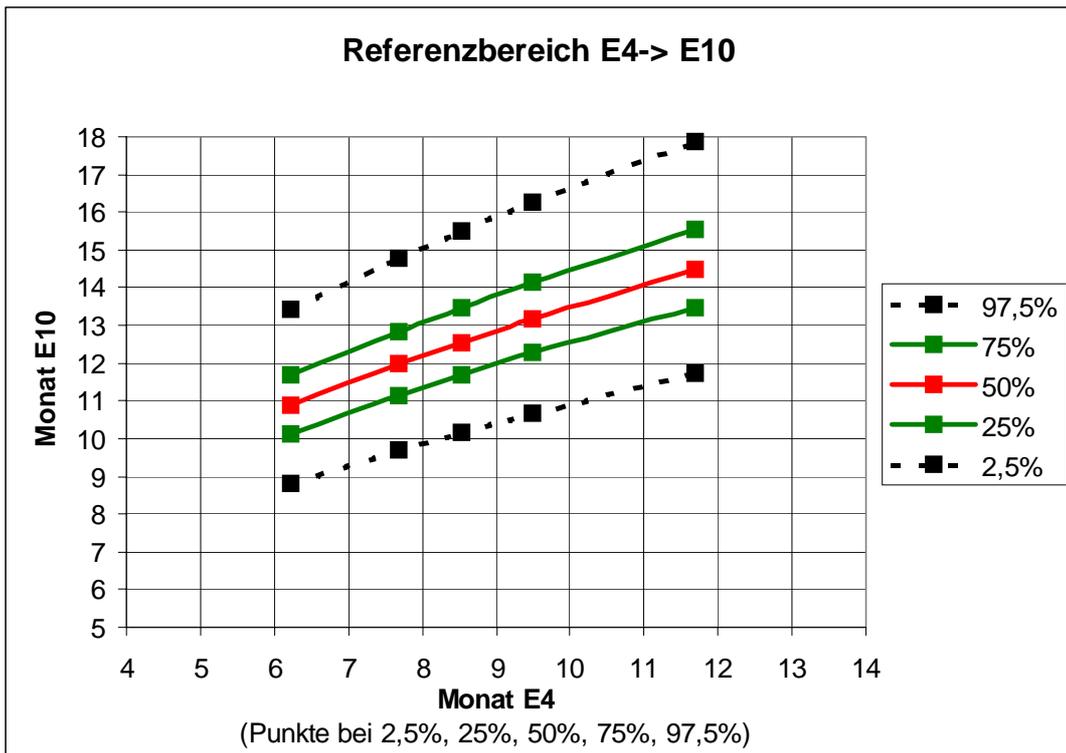


Abb. 49 Referenzbereich E4 -> E10 $r = 0,56$

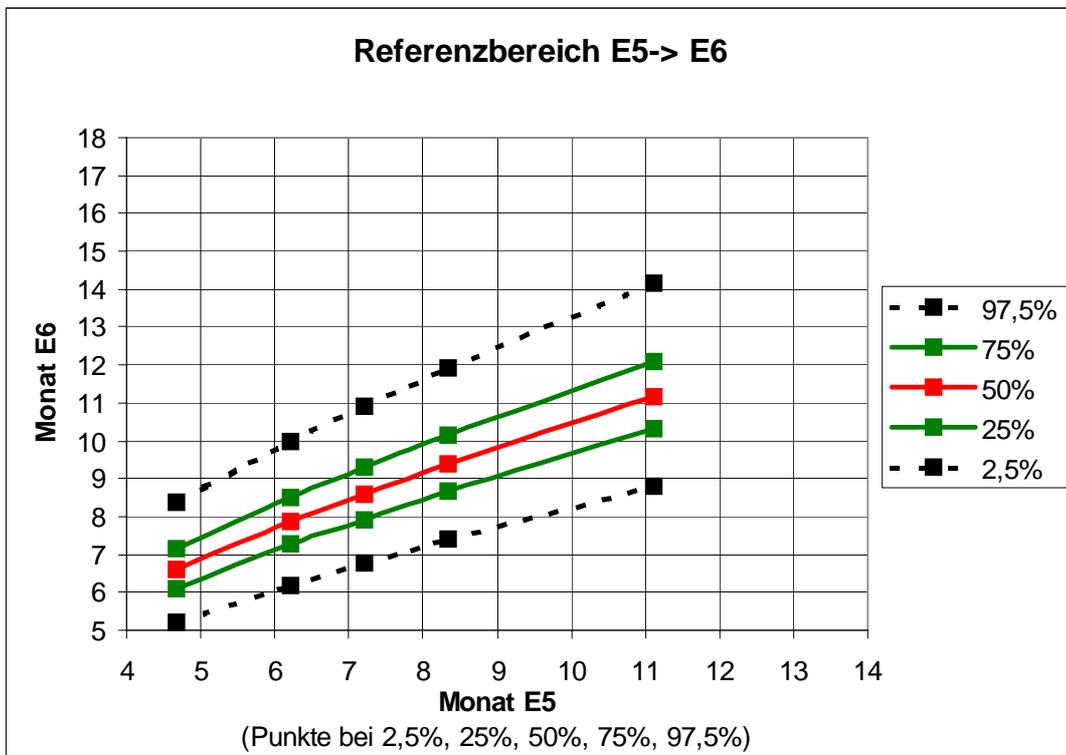


Abb. 50 Referenzbereich E5 -> E6 $r = 0,74$

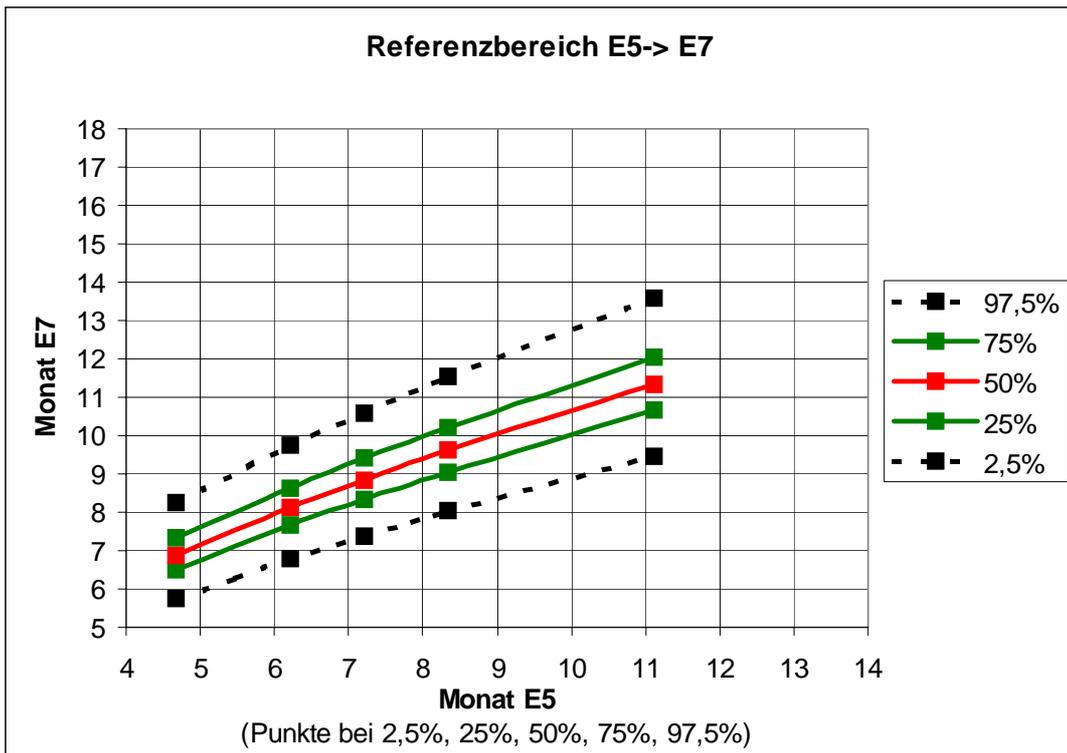


Abb. 51 Referenzbereich E5 -> E7 $r = 0,81$

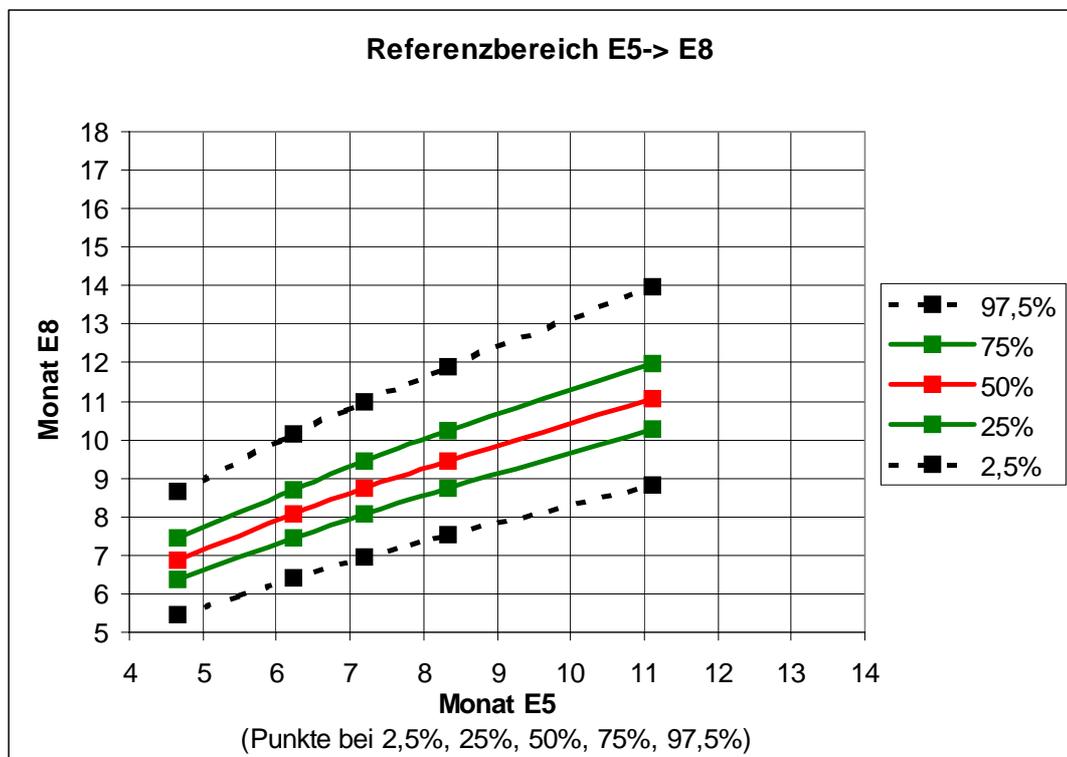


Abb. 52 Referenzbereich E5 -> E8 $r = 0,72$

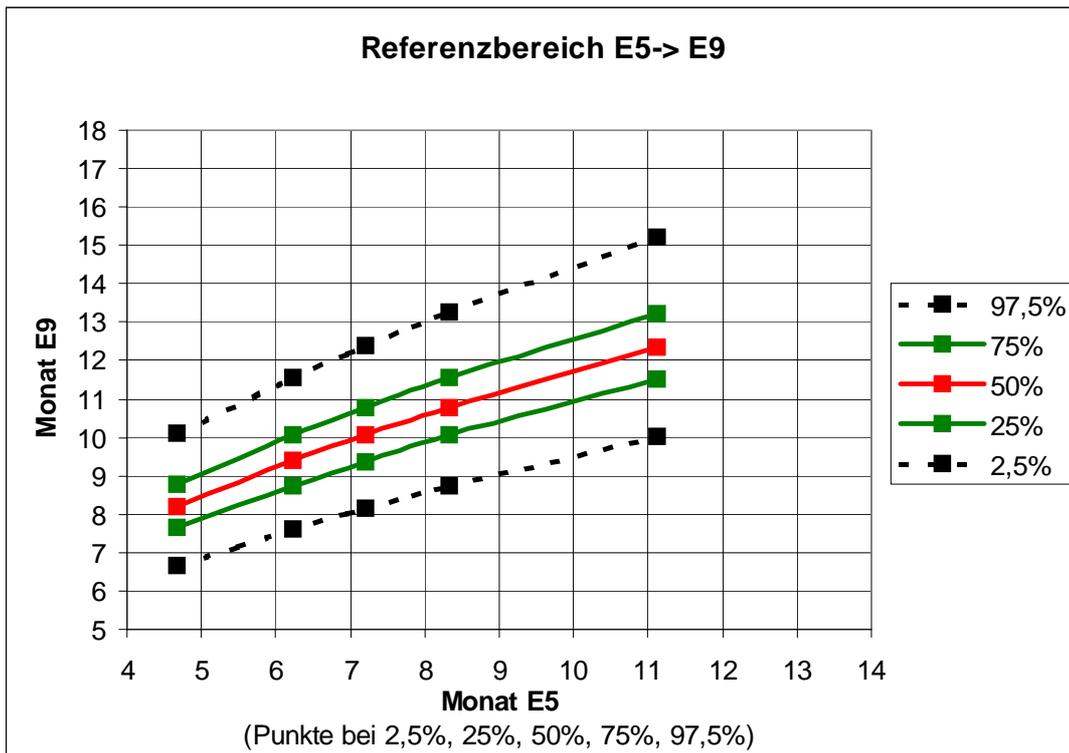


Abb. 53 Referenzbereich E5 -> E9 $r = 0,7$

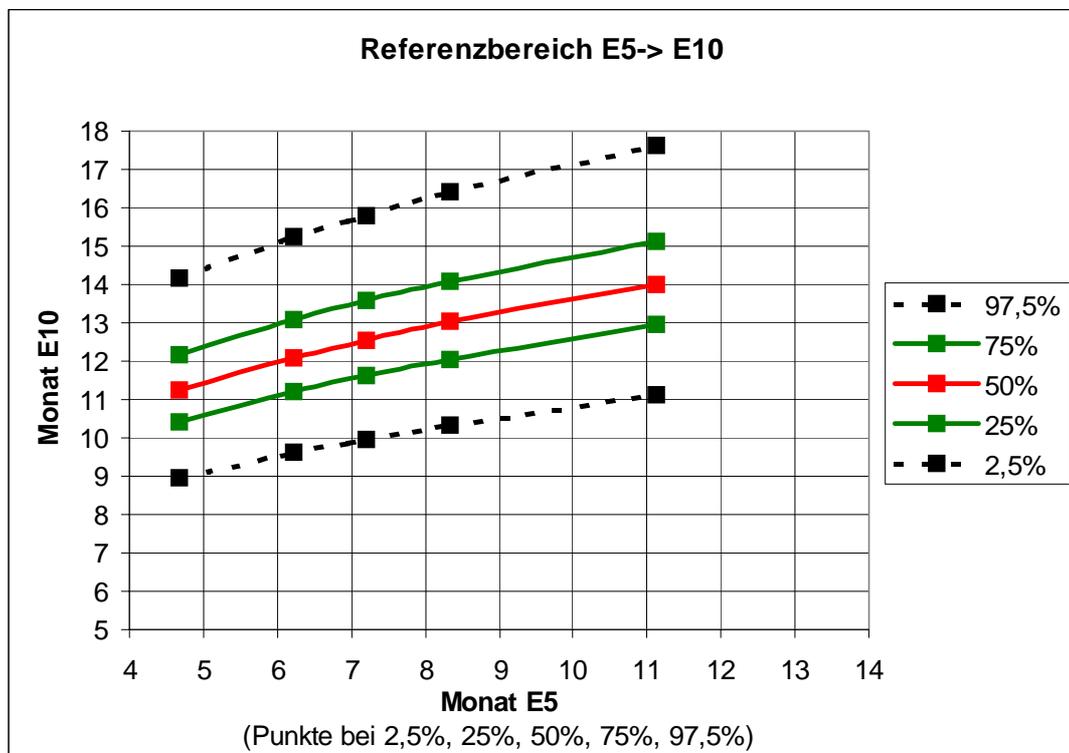


Abb. 54 Referenzbereich E5 -> E10 $r = 0,43$

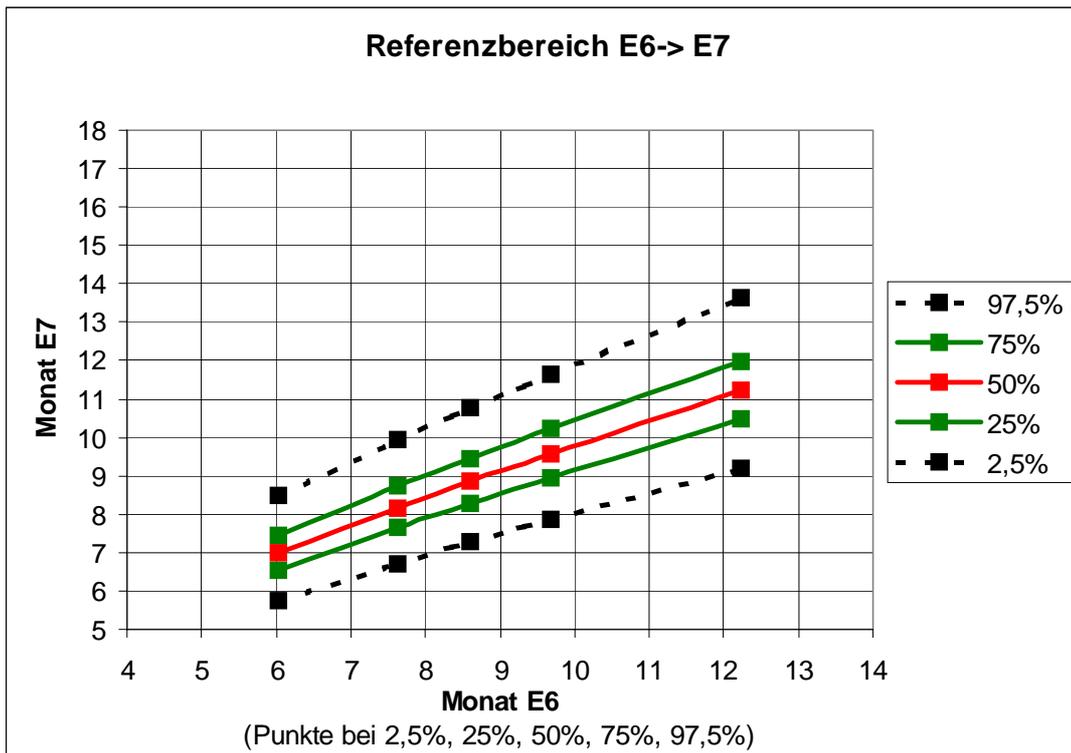


Abb. 55 Referenzbereich E6 -> E7 $r=0,77$

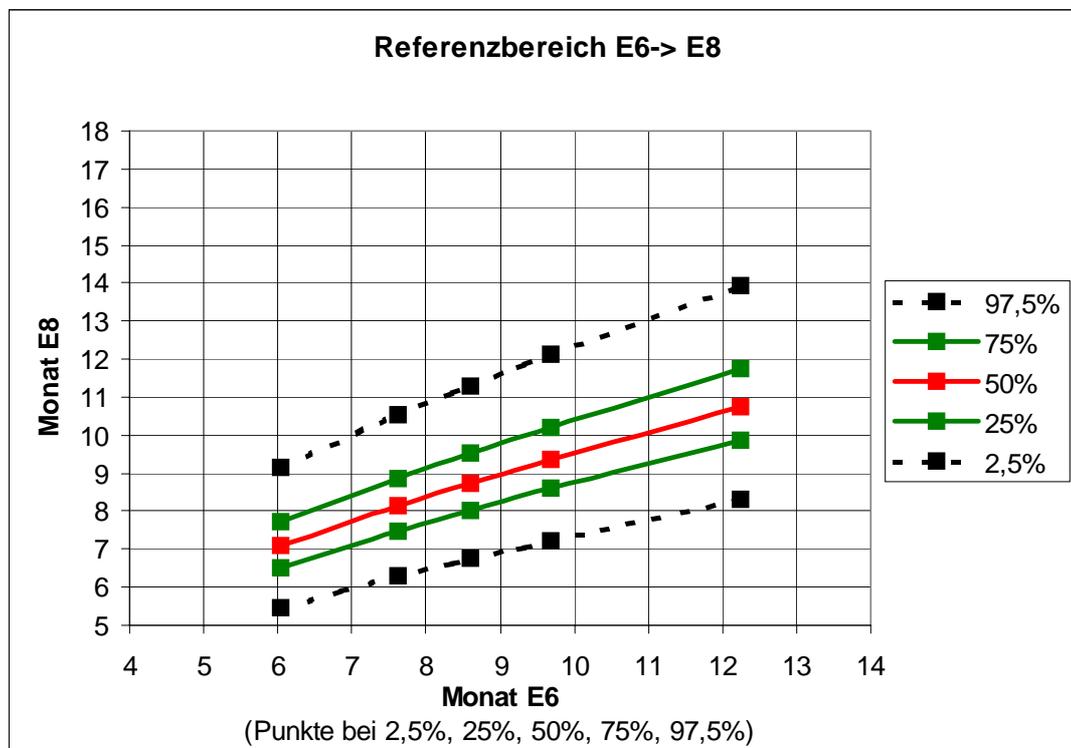


Abb. 56 Referenzbereich E6 -> E8 $r=0,63$

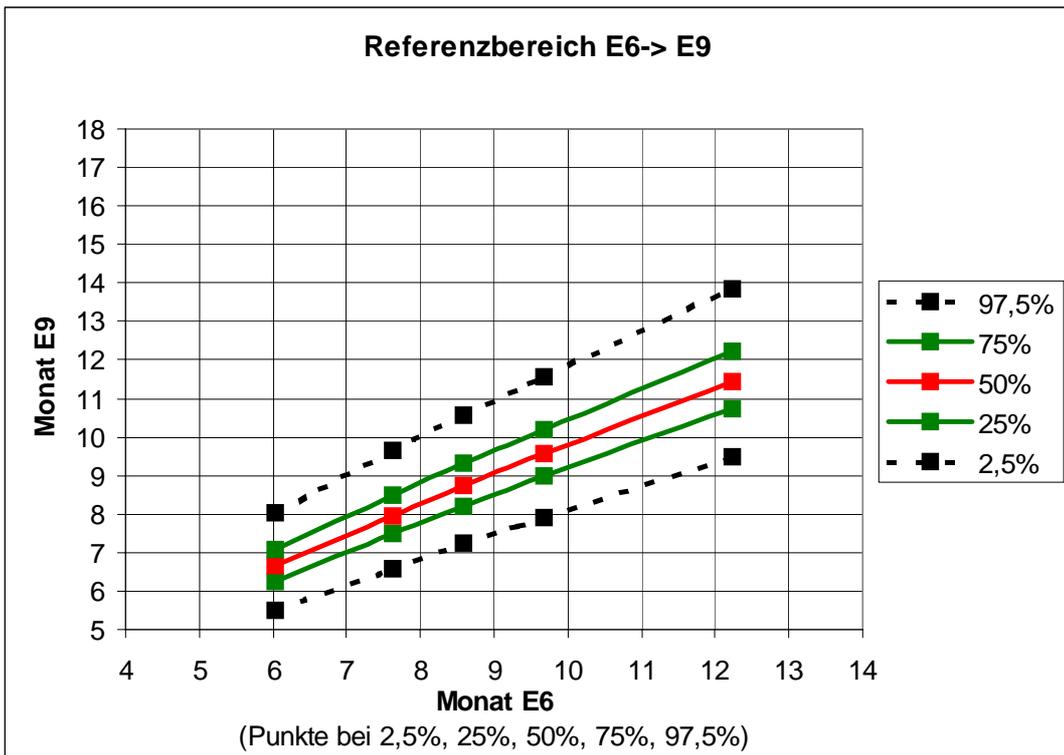


Abb. 57 Referenzbereich E6 -> E9 $r = 0,62$

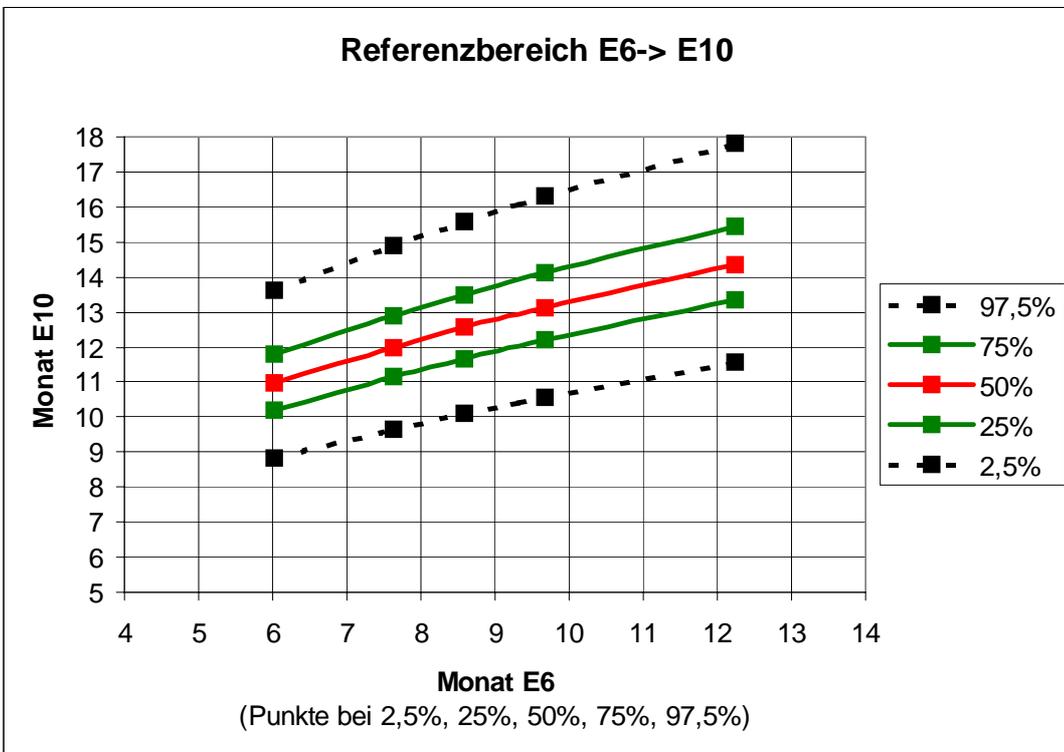


Abb. 58 Referenzbereich E6 -> E10 $r = 0,53$

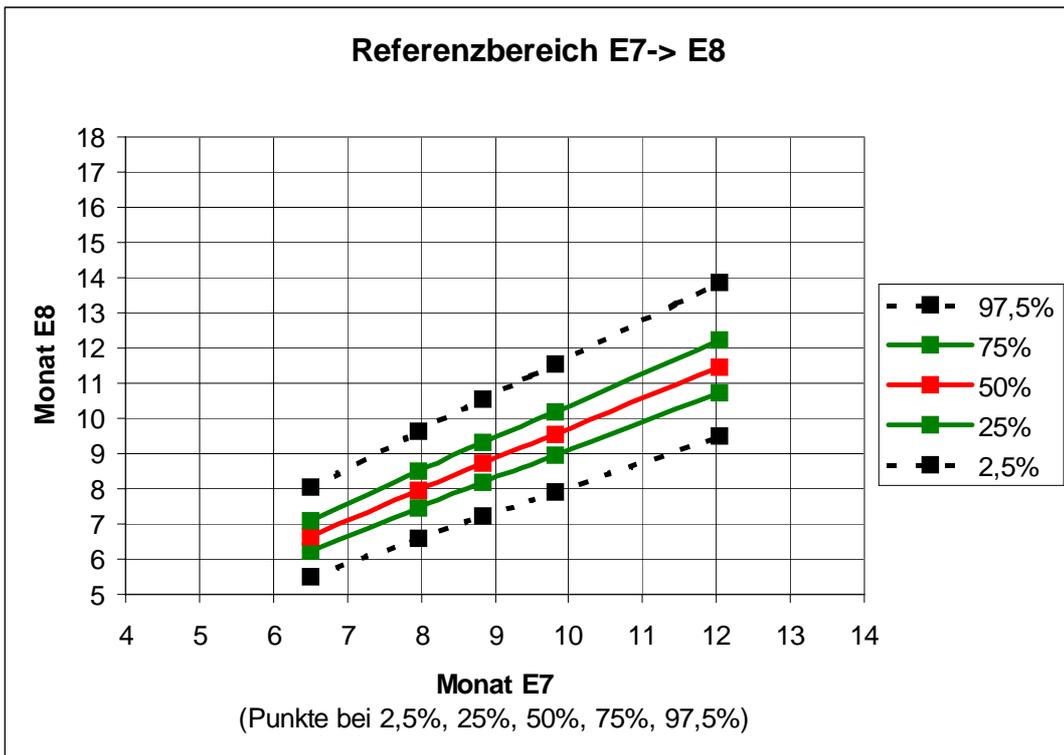


Abb. 59 Referenzbereich E7 -> E8 $r = 0,82$

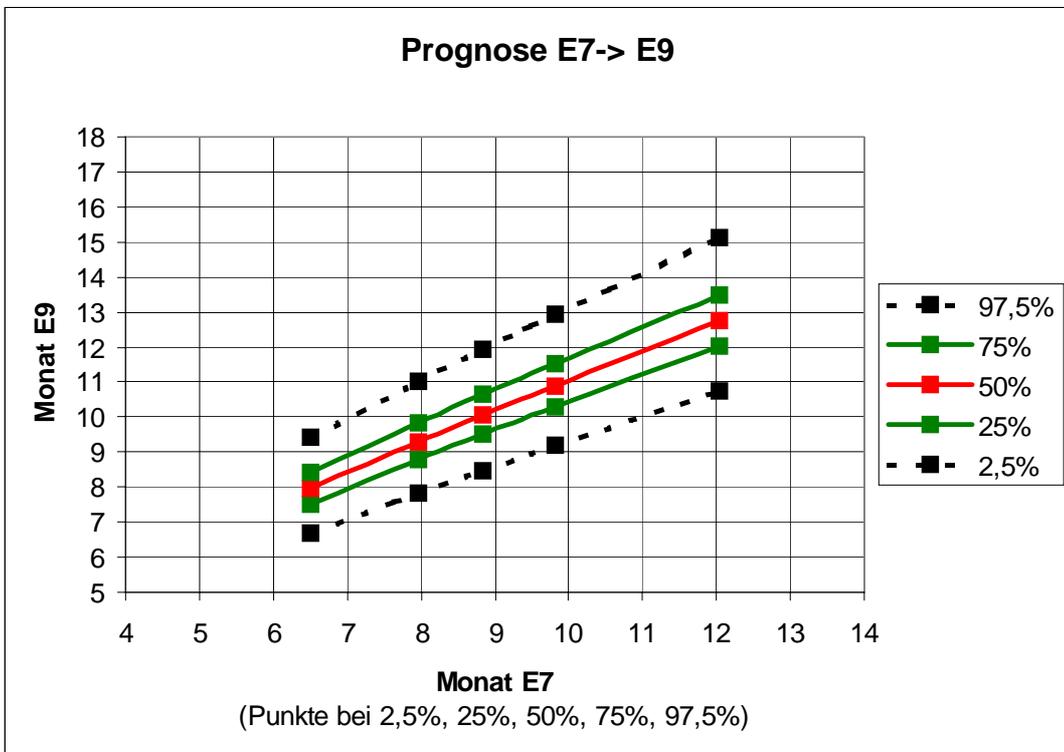


Abb. 60 Referenzbereich E7 -> E9 $r = 0,81$

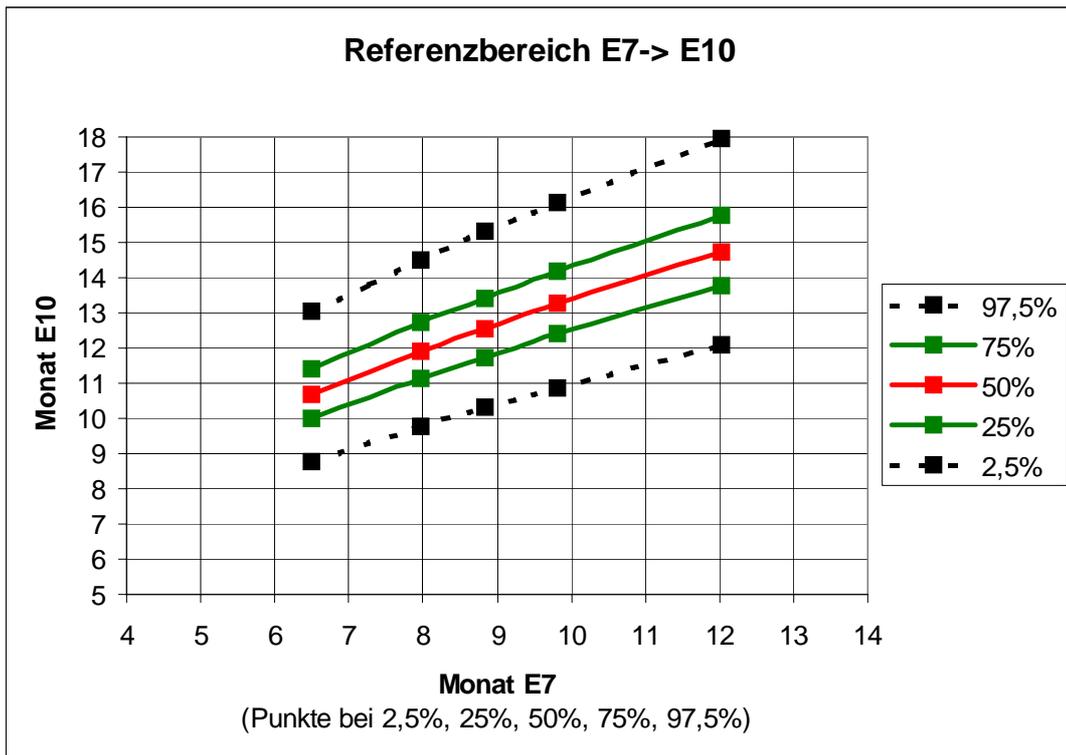


Abb. 61 Referenzbereich E7 -> E10 $r=0,63$

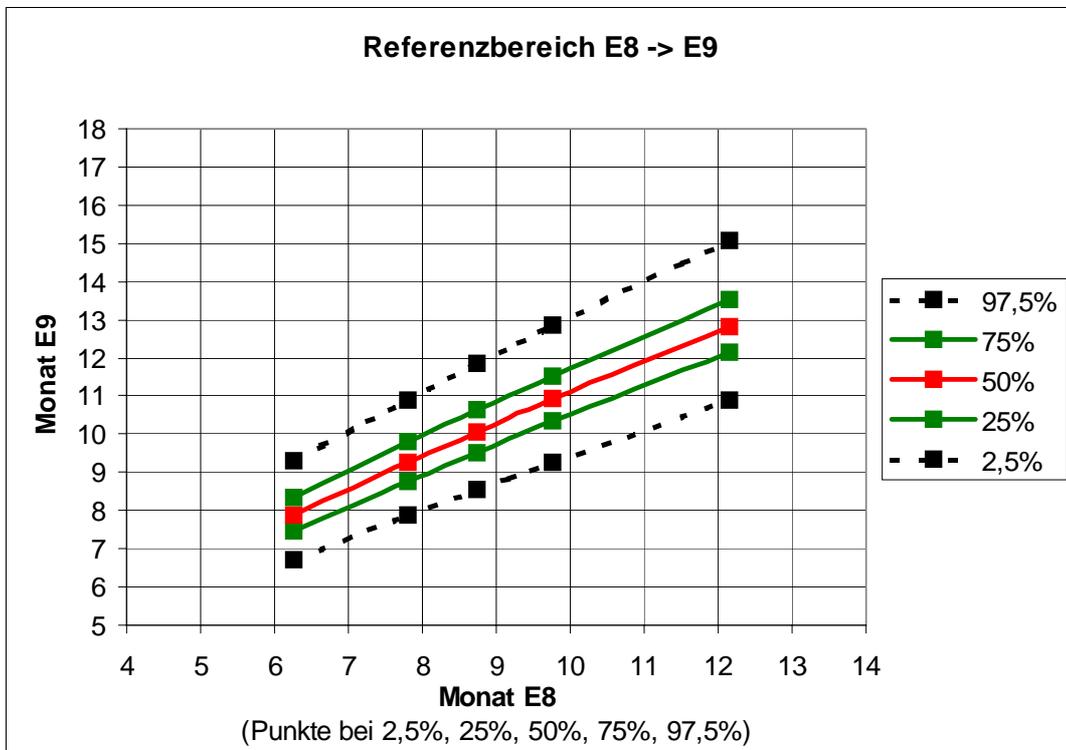


Abb. 62 Referenzbereich E8 -> E9 $r=0,83$

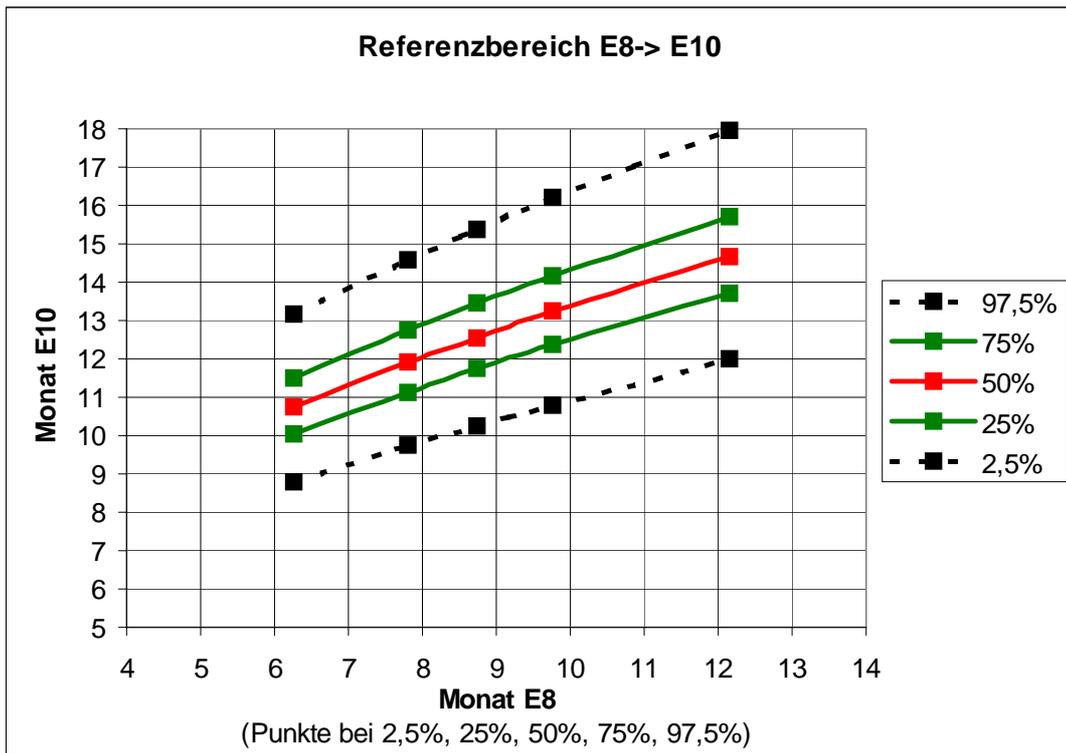


Abb. 63 Referenzbereich E8 -> E10 $r = 0,61$

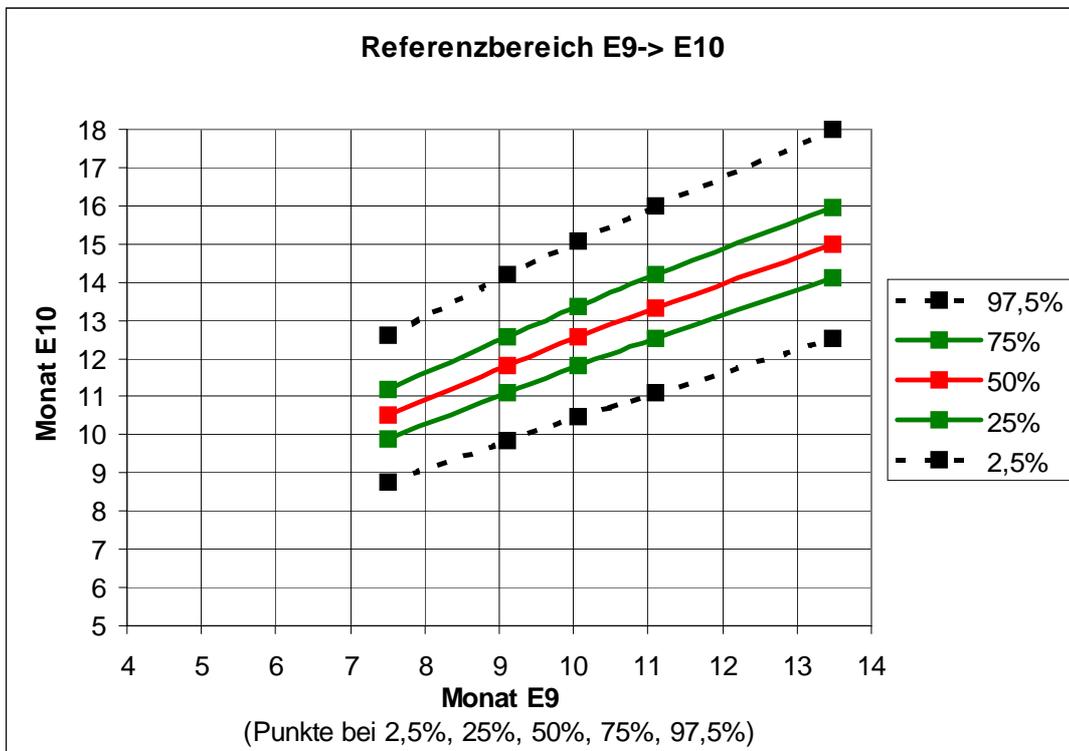


Abb. 64 Referenzbereich E9 -> E10 $r = 0,7$

IV) Diskussion

IV a) Das Datenmaterial

In dem Abschnitt „Material“ des zweiten Kapitels wird festgestellt, dass die Reliabilität der dokumentierten Ereigniseintrittszeiten nicht geklärt ist.

Durch den großen Stichprobenumfang erreichen die errechneten Größen wie Mediane, Streuungen etc. trotz fraglicher Einzelwertreliabilität eine hohe Genauigkeit, so dass die präsentierten Rechenergebnisse eine sehr gute Zuverlässigkeit bezüglich der wahren Parameter zeigen. Wo sich durch die unsichere Einzelwertreliabilität mögliche Fehlerquellen für die Auswertung ergeben können, werden diese in der nachfolgenden Diskussion berücksichtigt.

IV b) Die Reihenfolge der Entwicklungsstufen

Die zeitliche Abfolge der Entwicklungsstufen bei gesunden Kindern ist, wie anhand der Permutationsanalyse gezeigt wird, nicht starr fixiert, sondern bei jedem Kind ein individuelles Geschehen mit so unerwarteten Entwicklungsstufenreihenfolgen wie zum Beispiel:

Datensatz Nr.	Rang der Entwicklungsstufe									
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
111	1	2	2	7	5	9	7	2	5	10
132	6	2	6	8	1	2	5	4	8	10

Dennoch gibt es in der zeitlichen Abfolge Grundmuster und es sind folgende Ergebnisse hervorzuheben:

1. Die Entwicklungsstufen E1 bis E8 sind in folgenden Gruppen organisiert:
 1. Permutationsuntergruppe: E₁+ E₂
 2. Permutationsuntergruppe: E₃+ E₅
 3. Permutationsuntergruppe: E₄+ E₆+ E₇+ E₈
 Innerhalb der Motorikentwicklung treten die Permutationsuntergruppen in der genannten Reihenfolge auf.
2. Die Entwicklungsstufe E₉ wird in der Regel auf dem vorletzten Rang, E₁₀ ausschließlich auf dem letzten Rang gefunden.
4. In jeder einzelnen Untergruppe werden die Reihenfolgen leicht vertauscht; Untergruppen übergreifende Vertauschungen der Reihenfolgen kommen deutlich seltener vor.
5. In der ersten und dritten Untergruppe werden Entwicklungsstufen häufig zeitgleich erreicht; zeitgleiches Auftreten mit Entwicklungsstufen anderer Untergruppen ist deutlich seltener zu beobachten.
6. Es gibt keine theoretisch definierbare Normreihenfolge der Entwicklungsstufen.

Vor dem Hintergrund vorhandener Fehlerquellen haben die Reihenfolgen wohl ihre Hauptgenauigkeit bei den als zeitgleich aufgetreten notierten Fähigkeiten. Entwicklungen, die sich deutlich nacheinander ereignen, sollten bei der Notation der Reihenfolge kaum zu Fehlern führen.

Somit wird man unter dem Gesichtspunkt der Erfassungsgenauigkeit vor allem den Reihenfolgen innerhalb der Permutationsuntergruppen nicht die größte Aussagekraft beimessen.

Entscheidendes Ergebnis der Permutationsanalyse ist demnach die Beschreibung der Permutationsuntergruppen und ihrer relativen Position innerhalb der Motorikentwicklung sowie der Nachweis außerordentlicher Variabilität in der Abfolge der Entwicklungsstufen.

Die Variabilität zeigt nicht nur, dass es keine durch neurophysiologische Reifungsprozesse deterministisch fixierte Entwicklungsreihenfolge gibt, sondern sie weist auch darauf hin, dass Entwicklungsfortschritte nicht unmittelbar durch das Erreichen der entsprechenden neuronalen, motorischen Reife ausgelöst werden müssen. Ein genereller Beweis für diese Sichtweise stellt die von immerhin 40% der Babys ausgelassene Stufe E₅ dar. Es ist gar keine Frage, dass die für E₅ nötige neuronal-motorische Reife bis zum freien Gehen erlangt wird; aber die entsprechenden Kinder machen davon zu keiner Zeit Gebrauch. Entsprechendes gilt für alle anderen ausgelassenen Entwicklungsstufen. Reichlich Hinweise und Belege für stattfindende Entkoppelung von biologischer Reife und möglichem Entwicklungsfortschritt liefert ferner *Tabelle 16 Seite 104* im Anhang. Ich möchte hier besonders auf acht Entwicklungsbiographien verweisen, bei denen mindestens fünf motorische Fortschritte zur selben Zeit – oder, eingedenk der Fehlerquellen, zumindest sehr zeitnah zueinander – aufgetreten sind, wie die Datensätzen mit den Nummern 13, 56, 86, 98, 129, 137, 141, 146 (im Datenblatt am linken Rand mit | markiert) zeigen. In diesen Fällen werden z.B. Drehbewegungen zusammen mit Krabbeln und Aufrichtbewegungen und in einem Fall sogar zusammen mit „Gehen mit Festhalten“ plötzlich gemeinsam beherrscht. Es liegt nahe anzunehmen, dass hier einige mögliche motorische Fortschritte eine Zeit lang vom Kind nicht beachtet werden, und sich erst im Zusammenhang mit anderen Entwicklungen zeigen. Bestätigt wird die Hypothese der Entkoppelbarkeit von Systemreife und motorischer Umsetzung auch durch die Fälle, in denen E₂=“Rückendrehung“ mit z.B. dreimonatiger Verspätung nach E₁=“Bauchdrehung“, E₃=“Freies Sitzen“ und E₅=“Kriechen/Robben“ erfolgt (Datensätze 20, 98), oder E₁=“Bauchdrehung“ drei Monate nach E₂=“Rückendrehung“, E₅=“Kriechen/Robben“ und E₆=“Krabbeln“ auftritt (Datensatz 132), oder E₆=“Krabbeln“ zusammen mit E₁₀=“freies Gehen“ aufgenommen wird, nachdem E₅=“Kriechen/Robben“ schon 5 Monate früher praktiziert werden konnte (Datensatz 114). Es macht einfach keinen Sinn, in diesen Fällen anzunehmen, dass die nötige motorische Reife für die „verspätet“ eingetretenen Fertigkeiten

ebenfalls erst „verspätet“ vorlag, da eng verwandte oder sogar differenziertere Motorikmuster schon lange Zeit vorher praktiziert werden. Ich meine daher, dass bei Babys eine individuelle Gestaltung der Motorik-Reihenfolge stattfindet, die von einer vorhandenen morphologisch-physiologischen Reife Gebrauch machen kann, aber durchaus nicht Gebrauch machen muss. Es gibt offensichtlich keinen Automatismus, der von der motorischen Potenz zum motorischen Ausdruck führt. Weil eine Ursache der Variabilität der Entwicklungsstufenreihenfolgen nicht allein in den morphologisch-physiologischen Gegebenheiten und damit nicht allein in den genetischen Voraussetzungen gefunden werden kann, muss man zusätzliche, die individuelle Motorikentwicklung lenkende Kräfte annehmen. Dabei stellt sich die Frage, ob diese Kräfte vornehmlich durch Umweltfaktoren repräsentiert werden, wie vor allem R. Michaelis /7/ betont, oder auch endogene, persönlichkeitsabhängige Komponenten sind.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass eine sinnvolle Verallgemeinerung der beobachteten Reihenfolgen lediglich zu dem groben Grundmuster der Motorikentwicklung führt, das sich in der zeitlichen Anordnung der Permutationsuntergruppen widerspiegelt. Dieses Grundmuster lässt bezüglich der betrachteten Entwicklungsstufen an eine in Schüben verlaufende motorische Systemreife denken, die eine enbloc Ausbildung Permutationsuntergruppen gebundener Entwicklungsstufen ermöglicht aber nicht erzwingt.

Systematische Sequenzanalysen der Entwicklungsstufen sind meinen Recherchen nach bislang nirgendwo durchgeführt worden. Es gibt lediglich Beschreibungen einiger unterschiedlicher Entwicklungsstufen-Reihenfolgen wie zum Beispiel bei Michaelis /6, 7/ und Pikler /8, 9/. Die Ergebnisse der vorliegenden umfassenden Sequenzanalyse stellen daher neue Erkenntnisse dar und sie widerlegen eindeutig das von Gesell aufgestellte Konzept einer Normreihenfolge in der Motorikentwicklung (Gesell hat übrigens nirgendwo eine Reihenfolgeanalyse der von ihm untersuchten Entwicklungsstufen durchgeführt, obwohl seine Versuchsprotokolle (siehe /2/) die Möglichkeit dazu bieten) und

zeigen eindeutig, dass es zwar oben beschriebene Grundmuster der Entwicklungsabfolge, aber keine Fixierung auf eine bestimmte Normsequenz gibt.

IV c) Die zeitlichen Verteilungen der Entwicklungsstufen

Die Zeit-Parameter Mediane und Standardabweichungen wurden aus den normalverteilten logarithmierten Originaldaten nach der Maximum-Likelihood-Methode berechnet und sind damit auf der Stichprobe basierende, optimierte Schätzungen der wahren Parameter von hoher Reliabilität. Die Ergebnisse der Tübinger Stichprobe sind, wie unten gezeigt wird, repräsentativ für Babys unseres geographischen und kulturellen sowie des nordamerikanischen Bereichs. Die Angaben zu den zeitlichen Verläufen, die sämtlichst auf den optimierten Schätzungen beruhen, sind damit validierte und in der Praxis nutzbare Maße.

Die zeitliche Anordnung der Entwicklungsstufenmediane zeigt, dass es in bestimmten Lebensaltern Entwicklungsballungen gibt, das heißt, dass mehrere motorische Fertigkeiten zeitlich dicht gedrängt neu auftreten. Diese Entwicklungsballungen ereignen sich auf dem Weg zum freien Gehen bezüglich der betrachteten Entwicklungsstufen dreifach und bilden folgende mit den Permutationsuntergruppen identische Gruppen:

1. Motorikgruppe: E_1, E_2
2. Motorikgruppe: E_3, E_5
3. Motorikgruppe: E_4, E_6, E_7, E_8

Dieses Ballungsmuster gleicht sich bei Mädchen und Jungen (siehe Seite 40). Unterschiede zwischen den Geschlechtern zeigen sich bezüglich des Eintrittsalters der Gruppen. Während Mädchen und Jungen zeitgleich die ersten beiden erleben, werden die Entwicklungsstufen der dritten Gruppe von den Jungen mit einem mittleren Vorsprung von zwei Wochen vor den Mädchen erreicht. Inhaltlich unterscheiden sich die motorischen Eigenschaften der ersten zwei Gruppen von denen der dritten Gruppe dadurch, dass sich in letzterer erstmalig Fähigkeiten zeigen, die dem Aufrichten des Babys dienen. Dazu

gehören E_4 ="Aufrichten Liegen zum Sitzen", E_7 ="Hochziehen Stehen", E_8 ="Stehen mit Festhalten". Man darf daher feststellen, dass mit der Entwicklung von Fähigkeiten, die mit dem Aufrichten und der aufrechten Fortbewegung verbunden sind, eine messbare Entwicklungsbeschleunigung bei den Jungen nachzuweisen ist, dass sich also die anfangs gleich verlaufende Entwicklung von Jungen und Mädchen mit dem bei Jungen eher einsetzenden Aufrichteimpuls trennt, und den Jungen allgemein einen konstanten zeitlichen Vorsprung von ca. zwei Wochen vor den Mädchen bei allen der aufrechten Fortbewegung dienenden Fähigkeiten verleiht. Largo /5/ und Touwen /10/ beschreiben ebenfalls eine etwas schnellere lokomotorische Entwicklung bei Jungen, weisen jedoch keine Signifikanz geschlechtsgebundener Entwicklungsgeschwindigkeitsunterschiede nach.

Die Entwicklungsstufe E_5 wird von ungefähr 40% der Babys ausgelassen, s.d. man in Bezug auf E_5 zwei verschiedene Typen von Entwicklungsgängen vorliegen hat. Das Datenmaterial ist hinsichtlich dieser beiden Gruppen auf die Eintrittszeiten der Entwicklungsstufen untersucht worden (*Tabelle 17, Seite 108*) und hat gezeigt, dass die „Nicht-Kriecher“ etwa gleiche Mediane wie die Jungengruppe haben, während die Mediane der „Kriecher“ mit den Medianen der Mädchen zusammenfallen, d.h. der langsameren Entwicklungsgruppe angehören. Da E_5 gleich häufig bei Mädchen und Jungen auftritt, weisen die E_5 -abhängigen Entwicklungsgänge daraufhin, dass es vom Geschlecht unabhängige Entwicklungszeitmuster gibt, die den geschlechtsabhängigen ähneln. Die durchschnittliche Standardabweichung beträgt anderthalb Monate und entspricht damit auch den von Largo /5/ berechneten Standardabweichungen. Mit etwa 1,8 Monaten ist die Streuung der Werte von E_2 ="Drehen auf den Rücken", besonders breit. Diese Fertigkeit zeigt inhaltlich keinen Bezug zu einer Fortbewegung, sondern bringt das Kind in eine Beobachtungsposition in der auch die Hände frei bewegbar sind. Diese Position einzunehmen, verlangt die Kinder wahrscheinlich in einem hohen Maß unterschiedlich, zumal sie aus der Bauchlage heraus erfolgt, die eine prinzipielle Fortbewegungshaltung darstellt.

Ich möchte in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, dass das individuelle motorische Motiv in der Entwicklung eine Rolle spielen könnte, diskutieren und dafür den vor allem bei Jungen mit 7,5 Monaten extrem breiten 95%-Referenzbereich von E_2 betrachten. Er schließt denjenigen von E_1 (Breite =6 Monate) vollständig ein. Durch Testung konnte hochsignifikant gezeigt werden, dass die Drehmuster E_1 , E_2 zeitlich dicht beieinander und in zueinander nicht festgelegter Reihenfolge auftreten, d.h. die für die Drehmuster nötige biologisch motorische Reife muss für beide Drehungen sehr zeitnah, wenn nicht sogar gleichzeitig eintreten. Dennoch liegt das 97,5te Perzentil von E_2 über einen Monat hinter demselben von E_1 . Es scheint in einigen Fällen eine Fertigkeiten-Verzögerung von E_2 bezüglich E_1 vorzuliegen, die weder durch biologische Unreife, noch ohne weiteres durch allgemeine Umwelteinflüsse erklärt werden kann, sondern eher darauf hindeutet, dass das Interesse dieser Kinder an der Drehung in die Rückenlage deutlich geringer ist, als eine umgekehrte Drehung in die Bauchlage, die eine Fortbewegungsposition darstellt. Die Umsetzung einer motorischen Potenz in eine motorische Fertigkeit muss für das Baby vermutlich Sinn machen, es muss ein Motiv haben.

Die besondere Verzögerung oder sonst außergewöhnliche Platzierung einer Entwicklungsstufe wird man nicht allein Umwelteinflüssen, sondern ebenso endogenen kindlichen Motive zurechnen müssen.

E_5 = „Freies Sitzen“ fällt durch geringe Streuung und absolut gleiche Lage der Mediane (7,2 Monate) bei Mädchen und Jungen auf. Die Bedeutung dieser Entwicklungsstufe, die nicht im Zusammenhang mit Fortbewegungsmotorik zu sehen ist, wird im Abschnitt über die Korrelationen besprochen.

Einen genauen Überblick über die Entwicklungsstufeneintrittszeiten liefert die Darstellung des zu jeder Entwicklungsstufe gehörigen Referenzbereiches in der gewählten kompakten Form der Abbildungen auf *Seite 45f* und ermöglicht eine gute Einordnung vorgefundener Entwicklungsalter. Insbesondere definieren die Werte der 90-ten Perzentile Schwellenwerte, die den Kinderarzt bei Nicht-Erreichen zu besonderer Aufmerksamkeit veranlassen müssen.

Einen Vergleich der hier vorliegenden Ergebnisse mit denen von Largo et al. 1985 /5/ gibt folgende Zusammenstellung:

Tabelle 14 Vergleich der Entwicklungsstufen- Mediane der Tübinger und Züricher Längsschnittstudie

<i>Entwicklungsstufen</i>	<i>Eigene Ergebnisse</i>	<i>Ergebnisse Largo</i>
E1	5,7 / 5,4	6,0 / 6,0
E2	5,7 / 5,3	5,2 / 5,0
E4	8,7 / 8,3	8,9 / 9,1
E5	7,4 / 7,0	6,9 / 7,0
E6	8,8 / 8,4	8,8 / 8,9
E7	9,2 / 8,5	8,9 / 8,5
E8	9,0 / 8,5	8,7 / 8,4
E9	10,3 / 9,8	11,8 / 11,5
E10	12,9 / 12,3	13,1 / 13,0

Erläuterung: *Der linke Wert gibt jeweils den Entwicklungsstufen-Median der Mädchen, der rechte denjenigen der Jungen in Monaten wieder.*

Die Ergebnisse von Largo wurden in der Züricher Longitudinalstudie an 111 gesunden Kindern erhoben (55 Mädchen, 56 Jungen) und weichen bis auf die Werte von E₉=„Gehen mit Festhalten“ im Schnitt nicht mehr als zwei Wochen von den eigenen Werten ab. Zum großen Teil liegen Largos Mediane innerhalb der 95%-Konfidenzintervalle unserer Mediane (siehe Seite 39). Das Erhebungsverfahren gleicht sich in beiden Studien insofern, als jeweils die Eltern zuhause die Ereigniseintrittszeiten zu notieren hatten, unterscheidet sich aber unter anderem dadurch, dass die Eltern in der Züricher Studie das exakte Datum des Beginns eines motorischen Fortschritts zu notieren hatten, während in der Tübinger Studie in einem zweiwöchigem Raster festzuhalten war, wann das Kind die Fertigkeit bereits flüssig beherrscht.

Die späteren Eintrittszeiten, die Largo für E₉ angibt hängen mit der Definition von E₉ zusammen. Bei Largo bedeutet E₉ =„Gehen mit Festhalten durch nur

eine Hand“, während bei uns E₉ = „Gehen mit Festhalten“ bedeutet. Das heißt, dass in der Tübinger Studie das sicherlich eher erfolgende Gehen mit zweihändigem Festhalten notiert wurde und somit zwei nicht miteinander vergleichbare Entwicklungsstufen vorliegen.

Generell kann man überraschend gute Übereinstimmungen der Mediane in der Tübinger und der Züricher Längsschnittstudie feststellen, so dass die Validität der hiesigen Ergebnisse, basierend auf der größeren Stichprobe und einer exakten Schätzmethode, bestätigt wird.

Es folgt ein weiterer Vergleich der Entwicklungsstufen-Mediane mit entsprechenden Ergebnissen anderer, länger zurück liegender Studien. Ausgewählt wurden bekannte Veröffentlichungen von Bayley 1965 /1/, Gesell/Amatruda 1947 /3/ und Pikler 1969 /8/.

Tabelle 15 Vergleich der Entwicklungsstufen-Mediane der Tübinger Studie mit denen anderer Autoren

<i>Entwicklungsstufen</i>	<i>Eigene Ergebnisse</i>	<i>Ergebnisse Bayley</i>	<i>Ergebnisse Gesell</i>	<i>Ergebnisse Pikler</i>
E1	5,5	-	5,5	5,5
E2	5,5	-	5,5	6,7
E3	7,2	6,9	7,8	-
E5	7,2	-	-	9
E4	8,5	8,2	-	10,1
E6	8,6	-	9,2	10,1
E7	8,8	-	9,2	11,3
E8	8,7	-	8,3	-
E9	10,1	9,9	11	-
E10	12,6	12,4	15	16,5

Erläuterung: die Angaben beziehen sich auf die Gesamtstichprobe und erfolgen in Monaten; die Ergebnisse von Gesell und Pikler, die bei ihren Untersuchungen die Woche als Einheit gewählt haben, wurden durch den Faktor $f = \frac{7}{30,5}$ in Monate umgerechnet.

Der Vergleich mit den Ergebnissen von Pikler zeigt bis auf Ergebnisübereinstimmung bei E₁ eine etwa anderthalb Monate später eintretende Entwicklung der ungarischen Kinder. Man muss hier sicherlich nicht nur die Waisenhaussituation der beobachteten Kinder berücksichtigen, sondern vor allem auch die Handlungsmaximen der im Waisenheim tätigen Pflegerinnen. Es war dort, um die natürliche Entwicklung der Kinder nicht zu beeinträchtigen, absolut ausgeschlossen, die Kinder übel zu fördern, zu locken oder Bewegungspositionen zu manipulieren. Ferner weist Pikler auf mögliche Verspätungen bei der Erfassung von Entwicklungen hin, /8/ Seite 31. Damit sind Erfassungsmodus sowie Behandlung und Milieu der Stichprobenkinder so verschieden, dass die Ergebnisse nicht vergleichbar sind

Der Vergleich mit den von Gesell/Amatruda /3/ vorgestellten „Normzeiten“, die nicht auf einer einzelnen Studie beruhen, sondern eine Bilanz klinischer Erfahrung darstellen, zeigt Abweichungen von durchschnittlich weniger als zwei Wochen zu den hiesigen Ergebnissen, obwohl Gesell ein vierwöchiges Erfassungsraster für seine „Normen“ zugrunde legt. Eine Ausnahme bildet E₁₀, dessen Median bei Gesell über anderthalb Monate später als bei uns liegt. Bis auf E₁₀ bestätigen die Gesell'schen Zeitnormen für die verglichenen Entwicklungsstufen die Tübinger Mediane.

Der letzte Vergleich wird mit den Untersuchungsergebnissen von Bayley /1/ unternommen. Bayley's Studie gilt als repräsentativ für die Vereinigten Staaten, und wurde mit 1409 Babys, 729 Mädchen und 680 Jungen, aus zwölf verschiedenen Regionen der USA durchgeführt. Die Studie bezog Schwarze und Weiße im Verhältnis 42%: 55% ein.

Die Bayley'schen Entwicklungsstufen-Mediane liegen insgesamt vor den hier errechneten Medianen, differieren jedoch nicht mehr als 0,3 Monate von unseren Werten und liegen teilweise innerhalb der 95%-Konfidenzintervalle unserer Mediane. Die, wenngleich geringe, Differenz der Ergebnisse lässt sich durch die von Bayley belegte durchschnittliche motorische Frühentwicklung der schwarzen Kinder erklären.

Die Vergleiche der hiesigen medianen Entwicklungsstufeneintrittszeiten mit denen anderen Studien, insbesondere mit der von Bayley und Largo, zeigen gute Übereinstimmungen. Konkret ist festzuhalten, dass die Ergebnisse von Bayley und von Largo weitgehend in den 95%-Konfidenzintervallen der hier berechneten Mediane liegen. Damit kann die Stichprobe der Tübinger Längsschnittstudie als repräsentativ für den mitteleuropäischen sowie für den nordamerikanischen Bereich gewertet werden und die Validität der vorliegenden Ergebnisse als gesichert gelten.

Es bleibt noch darauf hinzuweisen, dass die Referenzbereiche der Entwicklungsstufen nach weiter oben Erörtertem nicht dem Spektrum morphologisch-physiologischer Reifezeiten entsprechen, da sich die Entwicklungsstufeneintrittszeit nicht direkt aus den physiologisch-motorischen Reifevoraussetzungen herleiten lässt, sondern neben Umwelteinflüssen auch den individuellen motorischen Motiven des Babys unterliegt. Nichtsdestoweniger geben die Referenzbereiche mit dem 2,5. Perzentil an, ab wann frühestens mit der zur Ausbildung motorischer Fortschritte benötigten Reife des Organismus gerechnet werden kann.

Die Entwicklungsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen sowie die Grundmuster in der zeitlichen Entwicklungsstufenabfolge weisen auf veranlagte Entwicklungsschemata hin.

IV d) Die Korrelationen der Entwicklungsstufen

Nach meinen Recherchen wurde bislang von keinem Autor über systematische Korrelationsanalysen der Entwicklungsstufeneintrittszeiten berichtet. Damit betritt die vorliegende Arbeit in diesem Bereich völliges Neuland und wird mit den Ergebnissen eventuell überraschen.

Die Korrelationsanalyse wurde mit dem Pearsonschen Produktmoment-Korrelationskoeffizienten anhand der logarithmierten Daten für die Gesamt-

stichprobe und nach Geschlechtern getrennt durchgeführt. Die betrachteten Korrelationen spiegeln zeitliche Beziehungen der Entwicklungsstufen wider und es sind folgende Ergebnisse herauszuheben:

1. Alle Korrelationen innerhalb der Gesamtstichprobe sind signifikant positiv.

Nach Geschlechtern getrennt durchgeführte Korrelationsanalysen führen zu folgenden als unkorreliert getesteten Entwicklungsstufen:

bei Mädchen: E_2/E_3 , E_2/E_4 , E_2/E_{10} , E_3/E_5 , E_3/E_6

bei Jungen: E_1/E_3 .

Inhaltlich bedeutet es, dass die Drehung in die Rückenlage bei Mädchen keine zeitliche Beziehung zur Fortbewegungs- und Aufrichtmotorik hat; sie dient mehr dem freien Blick nach oben oder dem Üben der Handbewegungen. Ebenso besitzt das freie Sitzen bei Mädchen keine zeitliche Beziehung zu Krabbeln oder Robben und bei Jungen nicht zur Drehung in die Bauchlage, die eine Fortbewegungsposition darstellt.

2. Die Jungen zeigen im allgemeinen die stärkeren Korrelationen und eine Testung zeigt, dass die mittlere Korrelation zwischen den Entwicklungsstufen bei den Jungen hochsignifikant größer ist, als bei den Mädchen. Im Einzelvergleich der Korrelationen eines bestimmten Entwicklungsstufenpaares können jedoch nur die Korrelationen der folgenden Paare als signifikant unterschiedlich gewertet werden:

E_1/E_4 , E_1/E_5 , E_1/E_6 , E_3/E_4 , E_3/E_9 , E_4/E_6 .

Nachdem die signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede der Koeffizienten die Ausnahme bilden, sind für die Beurteilung der Zusammenhänge zwischen den Entwicklungsstufen die Korrelationskoeffizienten der Gesamtstichprobe verwendet worden, die durch den größeren Stichprobenumfang bessere Genauigkeit in Bezug auf den wahren Parameter zeigen.

3. Sehr starke Korrelationen mit $r_{ij} \geq 0,7$ findet man geschlechtsunabhängig zwischen folgenden Entwicklungsstufenpaaren: E_5/E_6 , E_5/E_7 , E_5/E_8 , E_5/E_9 , sowie zwischen E_6/E_7 , E_7/E_8 , E_7/E_9 , E_8/E_9 , E_9/E_{10} .

Es zeigt sich, dass E_5 =“Kriechen, Robben“ in einer engen Beziehung zu allen späteren motorischen Fortschritten, mit Ausnahme von “freiem Gehen“ steht, zu dem die Korrelation eher mäßig ist. Die Eintrittszeit von “Kriechen, Robben“ ist also gewissermaßen ein Indikator für die Eintrittszeiten späterer Motorik; man kann anhand von E_5 mit einiger Vorsicht über den Entwicklungstyp des Kindes etwa aussagen, ob es ein bewegungsmotorischer Schnell- oder Spätentwickler ist. Ansonsten stehen alle Entwicklungsstufen, die Fortschritte in Fortbewegungs- und Aufrichtmotorik bringen, in sehr starker Korrelation zu der direkt nächsten Entwicklungsstufe.

4. In der Gruppe der starken Korrelationen $0,5 \leq r_{ij} < 0,7$ beginnen mit E_4 und E_6 zwei bis zu E_{10} hinreichende Ketten starker Zusammenhänge, s.d. man , wenn auch mit Abschwächung gegenüber E_5 , E_4 und E_6 ebenfalls als Indikatorereignisse bezeichnen kann. Bei einem frühem Eintreten von E_4 oder E_6 , d.h. bei frühem “Aufrichten Liegen→Sitzen” oder frühem Krabbeln ist es wahrscheinlich, dass auch alle folgenden Entwicklungsstufen früh erreicht werden.

5. Sehr schwache Korrelationen $r_{ij} < 0,3$ findet man geschlechtsunabhängig zwischen folgenden Entwicklungsstufenpaaren

E_1/E_3 , E_2/E_3 , E_2/E_{10} , E_3/E_5

Es handelt sich bei den schwachen Korrelationen, wie schon unter 1. ausgeführt, zumindest bei einer der beiden Entwicklungsstufen um eine nicht mit der Aufrichte- oder Fortbewegungsmotorik befassten Fertigkeit.

6. Man kann anhand der Korrelationsstärken (siehe Seite 63) die motorische Entwicklung in drei Phasen einteilen:

Korrelationsarme 1.Phase oder statische Phase:

E₁, E₂, E₃

Korrelationsstarke 2.Phase oder Fortbewegungs- und Aufrichtephase:

E₅, E₄, E₆, E₇, E₈, E₉

Korrelationsabgeschwächte 3.Phase oder Zielphase:

E₁₀

Bei den Korrelationen zu der Entwicklungsstufe E₁₀ zeigen sich bei allen Elementen aus der 2.Phase Abschwächungen gegenüber ihren sonstigen Zusammenhängen (siehe Seite 65). Man kann daher das Eintrittsalter von E₁₀ meist nicht mit der Genauigkeit, mit der man andere Entwicklungsstufeneintrittsalter aus vorangehenden Ereignissen ableiten kann, voraussagen. Man könnte zum Beispiel annehmen, dass das Eintrittsalter „Freies Gehen“ zusätzlich zu den „Aufrichte- und Fortbewegungskomponenten“ von einer anderen Größe beeinflusst wird, die z.B. von dem individuell unterschiedlichen Mut, mit der Schwerkraft umzugehen, abhängt.

Als interessante Entwicklungsstufe bleibt noch E₃ = „Freies Sitzen“ zu betrachten. E₃ hat die engsten Referenzbereiche, absolute Übereinstimmung der Mediane bei Jungen und Mädchen und keine bis schwache Korrelationen zu anderen Entwicklungsstufen. E₃ scheint aus der Entwicklungsdynamik herauszufallen und tut es sicherlich auch aus folgendem Grund: Wenn E₃ vor E₄ = „selbständig Liegen→Sitzen“ eintritt, was nach dem Datenmaterial die Regel ist, dann wird das Kind von den Eltern in eine Position gebracht, aus der heraus „Freies Sitzen“ erfolgen kann. Diese Fertigkeit entwickelt sich also nicht alleine aus kindlichem Antrieb, sondern ist eine Mischform aus Training von außen und innerer Reife. Immerhin kann man wegen der durchweg sehr schwachen Korrelationen von E₃ sagen, dass sich über dieses Training für die weitere Entwicklung nichts „gewinnen“ lässt. Die Ergebnisse dieser nachgewiesenen Förderung einer motorischen Fertigkeit zeigen ferner, dass sich zwar die

Streuung der Eintrittszeit des Ereignisses gegenüber sonst üblicher Streuung verringert, die 97,5% Referenzbereiche sich aber immer noch über 4,5 Monate erstrecken. Daher kann nicht von einer absoluten Lenkbarkeit der Motorikfortschritte von außen ausgegangen werden. Zur besseren Beurteilung des Trainingseffektes bräuchte man Angaben über den Beginn der Trainingsmaßnahmen.

Wenn man sich überlegt, wie sich die Erfassungsungenauigkeit auf die Korrelationen auswirkt, könnte man annehmen, dass die Auswirkungen hierauf gering sind, da Interpretationstendenzen der Eltern vermutlich über die ganze Beobachtungsdauer konstant sind.

Die Referenzbereiche als prognostisches Instrument der Entwicklungsstufeneintrittszeiten bauen auf den starken Korrelationskoeffizienten auf und geben für alle mit Fortbewegungsmotorik befassten Fertigkeiten eine gute Vorhersage.

Nun zur Interpretation der Korrelationen.

Korrelationen weisen auf intraindividuelle Beziehungen zwischen den verschiedenen Abschnitten motorischer Entwicklung hin. Namentlich E_5 , mit seinen starken Korrelationen zu allen späteren motorischen Fertigkeiten außer zu E_{10} , zeigt, dass es intraindividuelle Entwicklungstrends gibt, die sich einigermaßen stabil gegenüber äußeren Einflüssen verhalten, denn es ist ja möglich, z.B. einem Spätentwickler in Bezug auf E_5 mit einiger Sicherheit vorauszusagen, dass es auch Spätentwickler in Bezug auf alle weiteren motorischen Ereignisse bleiben wird. Dabei stellt sich die Frage nach den Ursachen von Früh- bzw. Spätentwicklung. Es kommen in Betracht:

1. die genetische Disposition, 2. hemmende oder fördernde Umwelteinflüsse und 3. endogene, persönlichkeitsabhängige Faktoren.

Die genetische Disposition muss bei Frühentwicklern die entsprechenden biologisch motorischen Voraussetzungen früh zur Verfügung stellen, bzw. Frühentwickler müssen durchgängig frühzeitig von der zur Verfügung stehenden biologisch motorischen Reife Gebrauch machen. Bei

Spätentwicklern stellt sich eventuell die biologisch motorische Reife generell spät ein, oder es kommt erst zu einer späten Nutzung eventuell bereits lange bestehender motorischer Möglichkeiten. Da die Zusammenhänge der Aufrichte- und Fortbewegungsmotorik stark sind, stellen sie Regelzusammenhänge dar. Aus diesem Grund halte ich Umwelteinflüsse nicht für ursächlich, da ansonsten neben konsequenter Förderung auch konsequente Behinderung gefordert werden müsste. Letzteres kann den Studienfamilien sicherlich nicht unterstellt werden und auch eine konsequente Förderung lässt sich bei unerfahrenen Eltern eines ersten Kindes sicherlich schwerlich vorstellen, zumal gar nicht klar ist, was konsequente Förderung eigentlich sein müsste. Ferner zeigen die schwachen Korrelationen von E_3 = „freies Sitzen“, dass mit Training kein Trend zu erzeugen ist, denn das Eintreten von E_3 ist, wie oben gezeigt wird, von Trainingsmaßnahmen abhängig, ohne dass sich hier frühes „freies Sitzen“ auch auf andere Entwicklungsstufen auswirken würde. Aus den angeführten Gründen halte ich Umweltfaktoren eher für Faktoren die Trends modifizierenden oder abschwächen.

Bleibt also noch die Bedeutung der neuronalen, motorischen Reife für die Trendbildung gegenüber einem Trend bildenden endogenen, persönlichkeits-abhängigen Faktor zu diskutieren. Die genetische Ausstattung und hier die davon abhängige motorisch biologische Reife ist eine Grundlage dessen, was motorisch umgesetzt werden kann. In den Abschnitten zur Reihenfolge und zeitlichen Verteilung der Entwicklungsstufen wird dargestellt, dass die Umsetzung motorischer Reife in motorisches Können kein Automatismus ist, sondern dass die immense Variation der Reihenfolgen und breiten Referenzbereiche darauf hindeuten, dass das kindliche Motiv eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung einer potentiellen motorischen Fähigkeit ist. Wenn das kindliche Motiv ein wichtiger Grund für die Ausbildung einer motorischen Fertigkeit ist, dann kann auch die Tendenz zur Früh- oder Spätentwicklung auf einer durchgängigen Motivationslage beruhen. Diese kann bei Eifer, Eroberungslust oder ungebremsten Nachahmungsdrang zur Frühentwicklung führen,

und bei Gründlichkeitsbestreben und Beobachtungsnatur eher eine Spätentwicklung bewirken.

Ich möchte in diesem Zusammenhang noch die durchgängig stärkeren Korrelationen der Jungen betrachten. Starke zeitliche Korrelationen zwischen den Entwicklungsstufen bedeuten allgemein, dass ein Kind einen bestimmten Entwicklungsgeschwindigkeitstypus darstellen kann, sei es nun ein langsamer oder ein schneller. Sie bedeuten ferner, dass sich dieser Typus unter den verschiedenen Einflussnahmen der Umwelt erhält, eben als Typus erkennbar bleibt. Meinen Analysen zufolge muss eine geschlechtsgebundene Ausprägung der Typusstärke angenommen werden. Wenn man eine biologisch-genetische Voraussetzung als Ursache der geschlechtsgebundenen Ausprägung annehmen möchte, kommt man in Schwierigkeiten, da sich zwar eine biologisch-genetische Koppelung von Früh- oder Spätentwicklung gut begründen ließe, aber nicht so leicht nicht eine ambivalente Akzentuierung eines Entwicklungsgeschwindigkeitstypus. Es scheint dagegen naheliegender, in der durchaus unterschiedlichen Psyche von Jungen und Mädchen eine Ursache für dieses Phänomen zu suchen. Mädchen reagieren, nach den vorliegenden Ergebnissen zu urteilen, adaptiver und flexibler als Jungen auf Umwelteinflüsse und sind daher weniger festgelegt.

Letztendlich kann diese Diskussion nicht die Bedeutung eines genetisch-physiologischen gegenüber einem persönlichkeitsabhängigen Einfluss auf Früh- oder Spätentwicklung klären. Lediglich Umwelteinflüsse als Ursache für Entwicklungstrends scheiden aus. Festzuhalten bleibt, dass es bei allen Babys positive Entwicklungstrends für die mit Aufrichte- und Fortbewegungsmotorik befassten Entwicklungsstufen gibt und dass diese bei Jungen eine stärkere Ausprägung als bei Mädchen erfahren..

IV e) Schlussfolgerung

Die Bearbeitung der Themenstellung „Die zeitliche Abfolge der Entwicklungsstufen zum freien Gehen bei gesunden Kindern“ unter den drei Gesichtspunkten Zeitanalyse, Reihenfolgeanalyse und Korrelationsanalyse führt zu sich ergänzenden und vertiefenden Einsichten in den Prozess der motorischen Entwicklung bei gesunden Kindern. Diese Motorikentwicklung zeigt neben geschlechtsspezifischen und geschlechtsübergreifenden Grundmustern eine außerordentliche Vielfalt in der Abfolge der Entwicklungsschritte sowie große interindividuelle Geschwindigkeitsunterschiede in der Ausbildung der Fertigkeiten. Die Analysen widerlegen in eindeutiger Weise das deterministische Konzept von Gesell /2, 3/ und zeigen insbesondere, dass die Entwicklungsfortschritte nicht direkt der motorischen Reife des Organismus folgen müssen. Die Ergebnisse unterstützen daher moderne Entwicklungstheorien und unterstreichen, dass die Motorikentwicklung gesunder Kinder keinem starren Schema folgt, sondern ein durch Umwelteinflüsse und persönlichkeitsabhängige Faktoren individuell ablaufendes Geschehen auf der Grundlage von Basisstrukturen mit genetischer Verankerung ist.

IV f) Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat die von Ende 1991 bis Ende 1993 erhobenen Längsschnittdaten gesunder Tübinger Kinder zur motorischen Entwicklung unter den drei Gesichtspunkten Zeitanalyse, Reihenfolgeanalyse und Korrelationsanalyse mit dem Ziel ausgewertet, einen weiterführenden Beitrag in die Diskussion um ein zutreffendes Entwicklungsmodell einzubringen und gleichzeitig quantitative und qualitative Angaben über Normen gesunder Entwicklung vorzulegen.

Während bereits von etlichen Autoren Zeitanalysen der Motorik-Entwicklung vorliegen, gibt es bislang keine systematischen Sequenzanalysen oder Korrelationsanalysen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind damit entsprechend neu und zum Teil überraschend.

Die Ergebnisse der Zeitanalysen der Tübinger Längsschnittstudie wurden mit denen der Züricher Längsschnittstudie (Largo /5/, 1985), mit Bayley's Motor Test (/1/, 1965), den Normwerten von Gesell/Amatruda /3/, 1947) und der Studie von Pikler (/8/, /9/, 1968) verglichen (Seite 84ff). Die Vergleiche bestätigen die Tübinger Studie, so dass die vorliegenden Ergebnisse validiert sind und Gültigkeit für unseren mitteleuropäischen und den nordamerikanischen Bereich besitzen.

Die Arbeit legt als quantitative Normen die Referenzbereiche der Entwicklungsstufeneintrittszeiten vor, die sowohl für die Gesamtstichprobe, als auch nach Mädchen und Jungen getrennt errechnet wurden sowie die Angaben zu getesteten Unterschieden der Entwicklungsstufeneintrittszeiten. Zu den quantitativen Ergebnissen gehören ferner die Korrelationskoeffizienten mit ihren Konfidenzintervallen, die der Beschreibung der Stärke der Zusammenhänge zwischen den Entwicklungsstufen dienen, sowie die prognostischen Tabellen, die entsprechend der beobachteten Korrelationen die Eintrittszeiten späterer motorischer Fertigkeiten aufgrund des Eintrittsalters früherer Entwicklungsstufen angeben.

Die Angaben zu qualitativen Normen beinhalten Strukturinformationen über die Entwicklungsreihenfolgen hinsichtlich ihrer Eintrittszeiten und ihrer Korrelationskoeffizienten.

Die Struktur der Entwicklungsreihenfolgen hinsichtlich der Eintrittszeiten wird durch eine Ballung der Ereignisse E_1 bis E_8 in drei zeitlich fixierten Zeitintervallen und das solitäre Auftreten von E_9 vor E_{10} wiedergegeben.

Die **erste Ballungsgruppe** bilden die Drehungen E_1, E_2 mit Medianen zwischen dem fünften und sechsten Monat,

die **zweite Ballungsgruppe**, mit E_3, E_5 inhaltlich heterogen belegt, zeigt Mediane zwischen dem siebten und achten Monat

die **dritte Ballungsgruppe** wird durch Entwicklungsstufen der Fortbewegungs- und Aufrichtmotorik (E_4, E_6, E_7, E_8) mit Medianen zwischen dem achten und neunten Monat gebildet.

E_9 =“Gehen mit Festhalten“ hat seinen Median um den neunten Monat,

E_{10} =“freies Gehen“ schließt die Entwicklung mit seinem Median zwischen dem zwölften und dreizehnten Monat.

Innerhalb der Ballungsgruppen werden die motorischen Fortschritte oft annähernd zeitgleich erreicht oder sie wechseln die Reihenfolge ihres Auftretens lebhaft. **Die Ballungsgruppen sind gleichzeitig Permutationsuntergruppen.**

Wenn die Entwicklungsstufen entsprechend der bei ihnen zu beobachtenden Korrelationsstärken sortiert werden, stößt man auf drei Phasen:

Korrelationsarme 1.Phase oder statische Phase: E_1, E_2, E_3

Korrelationsstarke 2.Phase oder Fortbewegungs- und Aufrichtphase:
 $E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9$

Korrelationsabgeschwächte 3.Phase oder Zielphase: E_{10}

Die Entwicklungsstufen der 2.Phase beeindrucken durch starke Korrelationen, die oftmals $r=0,7$ überschreiten und eignen sich für prognostische Berechnungen. E_4, E_5, E_6 fallen durch besonders starke Korrelationen zu allen späteren motorischen Fertigkeiten auf und können als **Indikatorereignisse eines motorischen Entwicklungstrends** aufgefasst werden. Das bedeutet,

dass ein Baby, das erst spät E₄, E₅ oder E₆ beherrscht, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch erst spät die anderen lokomotorischen Fertigkeiten erwerben wird, oder umgekehrt, dass ein Baby, das bereits früh E₄, E₅ oder E₆ beherrscht, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch alle weiteren lokomotorischen Fertigkeiten frühzeitig erlernen wird.

Diese **Entwicklungstrends haben bei Jungen eine stärkere Ausprägung als bei Mädchen**; die Entwicklung der Aufrichte- und Fortbewegungsmotorik verläuft bei Mädchen vermutlich adaptiver als bei Jungen.

Von den quantitativen Ergebnissen will ich hier nur den zeitlichen Entwicklungsvorsprung der Jungen von etwa zwei Wochen nennen, den diese signifikant mit dem Erreichen der dritten Ballungsgruppe erlangen und konstant bis hin zum freien Gehen halten. **Es gibt bei Jungen mit Erreichen der Aufrichte- und Fortbewegungsmotorik eine durchschnittliche Vorverlagerung der motorischen Entwicklung gegenüber derjenigen der Mädchen um zwei Wochen.**

Die vorliegenden Datenanalysen verdeutlichen nicht nur Regeln der motorischen Entwicklung gesunder Kinder, sondern sie zeigen anhand der Breite der Referenzbereiche für die Ereigniseintrittszeiten und deren zum Teil weitreichende Überlappungen, dass sich gleiche motorische Entwicklungen gesunder Babys mit zum Teil viermonatigen Zeitverschiebungen ereignen. **Die Permutations- oder Sequenzanalyse hat entsprechend gezeigt, dass fast jedes Kind eine einzigartige Entwicklungsreihenfolge verwirklicht** und immer wieder auch scheinbar widersinnige Reihenfolgen auftreten wie beispielsweise:

Datensatz Nr.	Rang der Entwicklungsstufe									
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
111	1	2	2	7	5	9	7	2	5	10
132	6	2	6	8	1	2	5	4	8	10

(gleiche Ränge stehen für zeitgleichen Fähigkeitenerwerb)

Die Referenzbereiche zeigen anhand des 2,5ten Perzentils ab welchem Entwicklungsalter bereits mit der für eine bestimmte Entwicklungsstufe nötigen

biologischen Reife zu rechnen ist; **die 90ten bzw. 97,5ten Perzentile sind validierte Schwellenwerte oder Grenzsteine der Entwicklungsstufeneintrittszeiten**, die von der Ärztin/ dem Arzt je nach Gewichtung von Sensitivität und Spezifität ausgewählt werden können und bei Nicht-Erreichen zu besonderer Aufmerksamkeit veranlassen müssen.

Die Analysen zeigen, dass motorische Entwicklung keine einfache Funktion der motorischen Reife ist und widerlegen eindeutig das deterministische Entwicklungskonzept von Gesell /2/, /3/. Die Ergebnisse unterstützen daher moderne Entwicklungstheorien und unterstreichen, dass die Motorikentwicklung gesunder Kinder keinem starren Schema folgt, sondern ein durch Umwelteinflüsse und persönlichkeitsabhängige Faktoren individuell ablaufendes Geschehen auf der Grundlage von Reifungsprozessen physiologisch, neurologischer Basisstrukturen mit genetischer Verankerung ist.

Die immense Variabilität der motorischen Entwicklung gesunder Kinder ist ohne den bedeutenden Einfluss von Umweltwirkungen und individuellem motorischen Willen auf die Umsetzung von motorisch-neurologischen Möglichkeiten in motorische Fähigkeiten nicht zu erklären.

V) Anhang

Farbliche Hinterlegung: Grün, braun, gelb für jeweils die erste, zweite und dritte Permutationsuntergruppe.

Tabelle 16 Datenbasis

Satz	Zeitpunkt der Beobachtung										Rangfolge der Beobachtung											
	Nr.	m/w	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
86	w	7,5	7,5	7,5	7,5	8,5	8,5	7,5	8,5	8,5	11,5	1	1	1	1	6	6	1	6	6	10	
10	m	7,0	7,0	7,0	7,5	9,5	9,5	9,5	10,5	10,5	12,0	1	1	1	4	5	5	5	8	8	10	
89	w	5,5	5,5	5,5	8,0	6,0	7,5	8,0	8,5	9,0	13,5	1	1	1	6	4	5	6	8	9	10	
145	m	4,0	4,0	5,0	5,0		6,0	8,0	8,0	8,5	10,0	1	1	3	3		5	6	6	8	9	
91	w	6,5	6,5	8,0	9,0		9,0	9,0	9,0	10,0	11,5	1	1	3	4		4	4	4	8	9	
15	w	5,5	5,5	6,0	10,5	10,5	10,5	11,0	11,0	13,0	13,0	1	1	3	4	4	4	7	7	9	9	
100	w	6,0	6,0	8,0	8,5	8,5	8,5	10,0	10,5	11,5	13,5	1	1	3	4	4	4	7	8	9	10	
101	w	7,5	7,5	9,0	9,5	9,5	11,0	11,0	11,0	11,5	14,5	1	1	3	4	4	6	6	6	9	10	
157	w	6,5	6,5	7,5	8,5		8,5	9,5	9,5	10,5	11,5	1	1	3	4		4	6	6	8	9	
35	w	6,5	6,5	7,5	8,0		8,0	9,0	9,5	10,0	12,0	1	1	3	4		4	6	7	8	9	
53	w	6,0	6,0	8,0	10,0		11,0	11,0	11,0	11,0	14,0	1	1	3	4		5	5	5	5	9	
106	w	6,5	6,5	8,5	10,0		10,5	11,0	11,5	13,5	15,0	1	1	3	4		5	6	7	8	9	
24	w	6,0	6,0	8,0	10,0		10,5	11,0	10,5	12,0	14,0	1	1	3	4		5	7	5	8	9	
149	m	6,0	6,0	7,0	8,0	7,5	8,5	8,5	8,5	11,0	11,5	1	1	3	5	4	6	6	6	9	10	
72	w	6,0	6,0	7,0	10,0		10,0	10,0	9,0	10,0	14,5	1	1	3	5		5	5	4	5	9	
54	m	5,5	5,5	6,5	9,5		9,5	9,5	8,5	10,5	11,5	1	1	3	5		5	5	4	8	9	
63	w	6,0	6,0	7,5	10,00		10,0	10,0	9,5	10,5	12,5	1	1	3	5		5	5	4	8	9	
16	w	4,0	4,0	6,5	10,0		10,0	11,0	9,5	11,5	15,0	1	1	3	5		5	7	4	8	9	
93	w	5,5	5,5	6,5	6,5	5,5	8,0	7,5	8,5	10,0	11,0	1	1	4	4	1	7	6	8	9	10	
129	m	7,5	7,5	9,0	9,0		8,5	9,0	9,0	9,0	11,0	1	1	4	4		3	4	4	4	9	
109	m	6,5	6,5	9,5	9,5	8,5	9,5	10,0	9,5	10,5	11,5	1	1	4	4	3	4	8	4	9	10	
65	m	6,5	6,5	9,5	10,5	8,5	9,5	10,5	10,5	11,5	13,5	1	1	4	6	3	4	6	6	9	10	
73	m	6,0	6,0	8,5	9,0		8,0	8,5	9,0	11,0	13,0	1	1	4	6		3	4	6	8	9	
94	m	5,0	5,0	7,0	8,0	6,5	8,0	7,0	9,0	10,0	10,5	1	1	4	6	3	6	4	8	9	10	
43	w	6,5	6,5	8,5	9,5		7,5	8,5	8,5	9,5	13,5	1	1	4	7		3	4	4	7	9	
29	m	6,5	6,5	7,5	10,0	6,5	9,0	8,0	8,0	9,5	10,0	1	1	4	9	1	7	5	5	8	9	
125	m	5,0	5,0	8,0	10,0	7,0	9,0	8,5	9,5	9,5	13,0	1	1	4	9	3	6	5	7	7	10	
82	m	3,5	3,5	5,5	5,0	4,5	5,5	5,5	5,5	6,5	12,5	1	1	5	4	3	5	5	5	9	10	
8	m	5,0	5,0	8,0	8,0	5,5	7,5	8,5	8,5	9,5	14,5	1	1	5	5	3	4	7	7	9	10	
33	w	7,5	7,5	10,5	10,5	10,0	9,0	11,5	11,0	15,5	16,5	1	1	5	5	4	3	8	7	9	10	
77	w	4,5		7,0	7,0		7,0	8,0	8,0	10,0	13,5	1		2	2		2	5	5	7	8	
27	w	5,5	6,5	6,5	8,0	6,5	8,5	9,5	9,5	10,5	11,5	1	2	2	5	2	6	7	7	9	10	
153	m	5,5	8,5	8,5	10,5	9,5	10,5	10,5	10,5	11,5	13,5	1	2	2	5	4	5	5	5	9	10	
111	m	6,5	7,5	7,5	10,5	9,5	11,5	10,5	7,5	9,5	13,0	1	2	2	7	5	9	7	2	5	10	
61	m	4,5	5,5	7,5	7,5		7,5	7,5	8,5	10,5	13,5	1	2	3	3		3	3	7	8	9	

Satz	Zeitpunkt der Beobachtung	Rangfolge der Beobachtung																				
		Nr.	m/w	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
110	w	6,0	6,5	7,5	7,5	7,5	8,5	9,0	9,5	10,5	11,5	1	2	3	3	3	6	7	8	9	10	
71	w	4,5	6,0	7,5	7,5		8,0	8,0	9,0	10,0	11,5	1	2	3	3		5	5	7	8	9	
133	m	4,5	5,0	7,0	7,0		8,0	8,5	9,0	9,5	11,0	1	2	3	3		5	6	7	8	9	
40	w	5,5	6,5	7,0	8,5	8,5	8,5	9,0	9,5	11,0	14,0	1	2	3	4	4	4	7	8	9	10	
88	m	5,5	6,0	7,0	7,5		7,5	8,0	8,0	8,0	11,0	1	2	3	4		4	6	6	6	9	
69	w	6,5	7,5	8,0	8,5		8,5	9,5	9,5	12,5	13,5	1	2	3	4		4	6	6	8	9	
113	m	4,0	5,5	6,5	7,0		7,0	7,5	8,0	8,0	10,0	1	2	3	4		4	6	7	7	9	
22	w	5,5	6,0	7,0	8,0		8,0	9,0	9,5	10,5	13,0	1	2	3	4		4	6	7	8	9	
79	m	4,0	5,0	7,5	8,5		8,5	9,0	8,5	10,0	11,5	1	2	3	4		4	7	4	8	9	
68	m	3,0	4,0	5,5	6,0		6,5	6,5	6,5	7,0	10,0	1	2	3	4		5	5	5	8	9	
131	w	5,5	6,5	7,5	8,0		9,5	9,5	9,5	10,5	12,0	1	2	3	4		5	5	5	8	9	
102	w	7,0	7,5	8,5	9,0	10,0	10,0	10,5	11,0	12,0	14,5	1	2	3	4	5	5	7	8	9	10	
138	w	6,0	6,5	7,0	8,0	10,0	11,5	11,5	11,5	12,0	14,5	1	2	3	4	5	6	6	6	9	10	
51	w		4,0	6,0	8,5	9,0	11,0	13,0	12,0	14,0	16,0		1	2	3	4	5	7	6	8	9	
37	m	6,0	7,0	8,0	8,5		10,0	10,0	9,5	11,5	14,5	1	2	3	4		6	6	5	8	9	
130	m	4,5	5,0	7,5	8,0		9,0	10,5	8,5	11,5	12,0	1	2	3	4		6	7	5	8	9	
97	m	5,5	6,5	7,5	8,5		9,5	8,5	8,5	9,0	12,5	1	2	3	4		8	4	4	7	9	
39	w	6,5	8,0	8,5	12,5		12,0	12,5	13,0	15,5	17,5	1	2	3	5		4	5	7	8	9	
67	w	3,5	4,0	6,5	7,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	11,0	1	2	3	5	4	5	7	8	9	10	
156	m	6,0	7,0	7,5	8,5	8,0	9,0	9,0	9,5	10,0	13,0	1	2	3	5	4	6	6	8	9	10	
47	w	6,0	6,5	8,5	11,0	9,5	12,0	13,0	13,0	14,0	19,0	1	2	3	5	4	6	7	7	9	10	
135	m	5,5	6,5	7,5	8,5	8,0	9,5	9,0	9,5	11,0	14,0	1	2	3	5	4	7	6	7	9	10	
74	w	4,5	5,5	6,5	8,5		8,5	8,5	7,5	9,5	11,5	1	2	3	5		5	5	4	8	9	
87	m	5,0	5,5	6,0	7,5	6,5	7,5	8,5	7,0	9,0	10,5	1	2	3	6	4	6	8	5	9	10	
38	m	5,5	7,0	9,0	10,5	9,5	11,0	10,0	11,0	12,5	13,5	1	2	3	6	4	7	5	7	9	10	
46	w	5,0	5,5	7,0	10,5	8,0	11,0	10,5	10,0	10,5	13,5	1	2	3	6	4	9	6	5	6	10	
25	m	5,5	6,0	7,0	10,0		10,5	9,0	8,5	10,0	13,0	1	2	3	6		8	5	4	6	9	
99	w	4,5	6,5	7,0	11,5			10,5	8,5	9,5	11,0	1	2	3	8			6	4	5	7	
112	w	5,5	7,5	8,0	9,5		9,0	8,5	8,0	9,0	10,0	1	2	3	8			6	5	3	6	9
41	m	6,5	8,5	9,5	9,5	8,5	9,5	9,5	11,5	13,5	16,5	1	2	4	4	2	4	4	8	9	10	
121	w	3,5	4,5	7,5	7,5	4,5	7,5	8,5	8,5	9,5	13,5	1	2	4	4	2	4	7	7	9	10	
146	m	5,5	6,0	8,0	8,0	7,5	8,0	8,0	8,0	9,0	10,0	1	2	4	4	3	4	4	4	9	10	
58	m	6,5	7,5	10,5	10,5	9,5	10,5	10,5	11,5	14,5	15,5	1	2	4	4	3	4	4	8	9	10	
155	m	3,5	5,0	7,0	7,0	5,5	7,0	7,5	7,5	8,5	12,0	1	2	4	4	3	4	7	7	9	10	
23	w	4,0	5,0	8,0	8,0	6,0	8,0	9,0	9,0	10,0	12,0	1	2	4	4	3	4	7	7	9	10	
105	m	4,0	5,0	6,5	6,5		6,0	7,0	8,0	9,0	10,5	1	2	4	4		3	6	7	8	9	
57	m	6,5	7,0	9,5	10,0	9,0	11,5	10,5	11,0	11,5	16,0	1	2	4	5	3	8	6	7	8	10	
34	m	4,5	5,0	7,5	8,0	6,5	7,5	8,5	9,0	11,0	12,5	1	2	4	6	3	4	7	8	9	10	
143	m	5,5	6,0	7,0	8,0	6,5	7,5	8,5	9,0	9,5	13,5	1	2	4	6	3	5	7	8	9	10	
139	m	4,0	4,5	7,5	8,0	6,0	8,0	8,0	7,5	8,5	11,5	1	2	4	6	3	6	6	4	9	10	
26	m	6,5	7,5	10,0	11,5	8,5	12,0	11,5	11,0	12,0	14,5	1	2	4	6	3	8	6	5	8	10	
52	m	5,0	6,0	8,5	10,5	7,0	10,5	9,0	9,0	11,5	15,0	1	2	4	7	3	7	5	5	9	10	

Satz	Zeitpunkt der Beobachtung	Rangfolge der Beobachtung																			
		Nr.	m/w	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
85	w	4,5	5,5	6,5	9,5	6,0	9,5	7,5	7,5	8,5	14,0	1	2	4	8	3	8	5	5	7	10
18	m	5,5	6,5	8,5	8,5		7,5	8,5	8,0	9,5	13,0	1	2	5	5		3	5	4	8	9
66	w	6,5	8,5	11,5	9,5	9,5	10,5	11,5	11,5	13,5	15,5	1	2	6	3	3	5	6	6	9	10
134	m	4,5	5,5	10,5	11,0	6,5	8,0	8,5	11,0	12,0	14,0	1	2	6	7	3	4	5	7	9	10
96	m	4,0	5,0	6,5	7,0	5,5	6,0	7,5	6,0	9,0	10,0	1	2	6	7	3	4	8	4	9	10
108	w	3,5	7,0	8,0	7,5		7,0	7,5	7,5	8,0	11,0	1	2	7	4		2	4	4	7	9
28	m	4,5	5,5	11,5	10,5	6,5	8,5	9,5	11,5	11,5	14,5	1	2	7	6	3	4	5	7	7	10
147	m	6,5	7,5	7,0	7,5		8,5	9,0	9,5	10,5	12,0	1	3	2	3		5	6	7	8	9
44	w	6,5	7,5	7,0	9,0	9,0	9,5	10,0	10,0	11,0	12,5	1	3	2	4	4	6	7	7	9	10
142	w	5,0	8,0	7,5	9,0	9,5	10,0	11,0	11,0	11,5	12,5	1	3	2	4	5	6	7	7	9	10
118	m	4,0	7,0	6,0	7,5		11,5	9,0	8,0	10,0	14,0	1	3	2	4		8	6	5	7	9
17	w	6,0	7,5	7,0	11,5	10,5		12,0	12,0	12,5	15,5	1	3	2	5	4		6	6	8	9
3	m	7,5	8,5	8,0	10,0	9,0	11,0	10,5	10,0	11,5	13,5	1	3	2	5	4	8	7	5	9	10
32	w	5,5	8,0	7,5	10,5		11,0	9,0	8,0	10,5	12,5	1	3	2	6		8	5	3	6	9
116	w	6,0	7,5	7,0	10,0	8,5	10,0	9,5	9,0	10,0	12,0	1	3	2	7	4	7	6	5	7	10
30	m	5,5	6,5	6,5	8,0	6,0	8,5	7,5	7,5	8,5	10,0	1	3	3	7	2	8	5	5	8	10
148	m	6,5	7,5	7,5	10,5	7,0	8,5	8,5	9,5	10,5	12,0	1	3	3	8	2	5	5	7	8	10
60	w			6,0	8,5		9,0	10,0	7,0	10,0	12,0			1	3		4	5	2	5	7
98	m	5,0	8,5	7,0	8,5	5,5	8,5	8,5	8,5	10,0	13,5	1	4	3	4	2	4	4	4	9	10
123	m	5,5	8,5	6,5	9,0		8,0	8,5	7,5	8,5	12,5	1	5	2	8		4	5	3	5	9
20	w	6,5	11,5	7,5	10,5	8,5		9,5	9,5	12,5	14,5	1	7	2	6	3		4	4	8	9
21	w	8,5	6,5	8,5	10,5	10,0	11,0	10,5	10,0	12,5	15,5	2	1	2	6	4	8	6	4	9	10
103	w	6,0	5,5	6,0	10,0		9,0	10,0	8,0	9,5	11,5	2	1	2	7		5	7	4	6	9
141	w	4,5	3,5	6,5	6,5		6,5	6,5	6,5	9,5	11,5	2	1	3	3		3	3	3	8	9
117	w	6,0	5,5	7,5	8,5	8,5	9,5	9,5	10,0	10,5	12,0	2	1	3	4	4	6	6	8	9	10
128	w	7,5	6,5	8,0	8,5		8,5	10,5	11,0	11,0	13,5	2	1	3	4		4	6	7	7	9
42	w	5,0	4,0	7,0	8,0		8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	2	1	3	4		5	6	7	8	9
115	w	5,0	3,5	7,0	10,0			11,0	10,0	13,0	14,5	2	1	3	4			6	4	7	8
62	w	5,0	3,5	8,0	9,0	8,0	9,0	10,0	10,0	11,0	14,0	2	1	3	5	3	5	7	7	9	10
36	m	5,0	4,0	6,0	8,0	7,5	8,0	9,5	9,5	11,5	13,5	2	1	3	5	4	5	7	7	9	10
64	w	8,0	7,0	8,5	10,0	9,5	10,5	11,0	10,5	11,5	15,0	2	1	3	5	4	6	8	6	9	10
6	m	6,0	5,5	7,5	9,0	9,5	10,0	10,5	8,5	10,0	13,0	2	1	3	5	6	7	9	4	7	10
151	m	5,5	4,5	6,5	9,5		9,5	8,5	7,5	9,5	11,5	2	1	3	6		6	5	4	6	9
120	m	6,0	5,5	6,5	9,0	7,0	9,0	8,5	8,5	10,5	13,0	2	1	3	7	4	7	5	5	9	10
119	w	7,5	5,5	8,5	10,5	8,5	9,5	9,5	9,5	11,5	15,5	2	1	3	8	3	5	5	5	9	10
19	w	6,0	5,5	8,0	7,5		8,0	9,0	9,0	9,5	11,5	2	1	4	3		4	6	6	8	9
13	m	6,5	5,0	8,0	8,0	6,5	8,0	8,0	8,0	10,0	12,0	2	1	4	4	2	4	4	4	9	10
2	m	7,0	4,0	10,0	10,0	9,0	10,0	11,0	11,5	11,5	14,0	2	1	4	4	3	4	7	8	8	10
92	w	6,5	5,5	8,0	8,0	7,0	8,5	8,5	8,5	10,0	11,5	2	1	4	4	3	6	6	6	9	10
70	m	4,5	4,0	7,5	7,5	6,5	8,0	10,0	10,0	12,0	15,5	2	1	4	4	3	6	7	7	9	10
114	m	5,5	4,5	7,5	8,0	5,5	11,5	8,0	8,5	9,5	11,5	2	1	4	5	2	9	5	7	8	9
9	w	5,0	4,5	8,0	9,0	7,5	9,0	9,0	10,0	11,0	13,0	2	1	4	5	3	5	5	8	9	10

Satz	Zeitpunkt der Beobachtung										Rangfolge der Beobachtung										
	Nr.	m/w	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
140	w	7,5	7,0	10,5	11,5	9,0	14,0	14,5	11,5	12,5	15,0	2	1	4	5	3	8	9	5	7	10
122	m	6,5	5,5	8,0	9,0		7,5	8,5	9,0	10,5	12,0	2	1	4	6		3	5	6	8	9
83	w	6,5	6,0	8,5	9,5	7,5	9,0	9,5	9,0	9,5	12,5	2	1	4	7	3	5	7	5	7	10
4	m	3,5	2,5	6,5	9,5	5,5	8,0	8,5	8,5	10,5	12,5	2	1	4	8	3	5	6	6	9	10
5	w	4,0	3,5	6,0	9,5	5,5	7,5	7,0	6,0	8,0	14,0	2	1	4	9	3	7	6	4	8	10
154	w	5,5	5,0	7,5	7,5	6,5	7,5	7,5	6,0	10,0	13,0	2	1	5	5	4	5	5	3	9	10
81	m	6,5	4,5	7,5	9,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,5	11,5	2	1	5	9	3	3	6	6	8	10
144	m	4,0	2,5	6,5	6,0	5,5	6,0	6,5	6,5	7,5	11,0	2	1	6	4	3	4	6	6	9	10
84	w	6,0	5,5	10,0	10,5	7,0	11,0	9,5	9,5	10,5	13,5	2	1	6	7	3	9	4	4	7	10
78	m	5,0	4,5	7,5	8,0	6,5	7,5	7,0	7,0	8,5	12,0	2	1	6	8	3	6	4	4	9	10
49	m	6,0	5,0	10,0	9,0	9,0	9,5	9,5	10,0	10,0	12,0	2	1	7	3	3	5	5	7	7	10
50	w	5,5	4,5	8,0	8,0	5,5	7,0	7,0	7,0	9,0	11,5	2	1	7	7	2	4	4	4	9	10
11	m	4,0	2,0	9,5	9,5	4,5	8,5	7,5	7,5	10,5	13,5	2	1	7	7	3	6	4	4	9	10
7	w	5,5	5,0	9,5	9,5	6,5	9,5	7,5	8,0	8,0	13,0	2	1	7	7	3	7	4	5	5	10
1	w	6,0	2,0	11,0	11,0	6,5	7,5	8,5	10,0	10,0	13,0	2	1	8	8	3	4	5	6	6	10
137	w	7,5	7,5	6,5	7,5	7,5	7,5	8,5	7,5	10,5	11,5	2	2	1	2	2	2	8	2	9	10
75	m	7,5	7,5	6,0	7,5		8,0	8,5	8,5	10,0	12,0	2	2	1	2		5	6	6	8	9
152	w	7,0	7,0	6,0	8,5		9,5	10,5	10,0	11,5	13,5	2	2	1	4		5	7	6	8	9
127	w	7,5	7,5	6,0	9,0	8,0	9,5	9,5	9,5	11,0	15,5	2	2	1	5	4	6	6	6	9	10
76	m	8,0	8,0	6,5	9,0	8,5	9,5	9,0	8,5	9,5	12,0	2	2	1	6	4	8	6	4	8	10
95	m	8,5	8,5	7,5	9,5	8,5	10,0	9,0	8,5	10,5	14,5	2	2	1	7	2	8	6	2	9	10
104	m	9,0	8,5	8,5	9,5	10,5	11,5	11,5	12,0	14,0	14,5	3	1	1	4	5	6	6	8	9	10
59	m	8,0	4,0	6,5	8,0		8,5	9,0	9,0	9,5	13,5	3	1	2	3		5	6	6	8	9
31	m	7,5	2,0	6,0	9,5	9,5	10,5	10,5	10,5	11,0	12,5	3	1	2	4	4	6	6	6	9	10
136	m	7,0	6,0	6,5	7,5	7,5	8,0	8,0	8,0	10,5	12,0	3	1	2	4	4	6	6	6	9	10
124	m	8,0	3,0	7,0	8,5		9,0	9,5	9,5	11,0	12,5	3	1	2	4		5	6	6	8	9
90	w	8,5	5,5	7,0	9,0		13,5	10,5	9,5	10,0	13,5	3	1	2	4		8	7	5	6	8
12	m	7,0	6,0	6,5	8,5		9,0	8,5	7,5	9,0	12,5	3	1	2	5		7	5	4	7	9
14	m	6,5	5,5	6,0	10,5	7,0	10,0	9,5	9,5	11,0	13,5	3	1	2	8	4	7	5	5	9	10
45	w	6,0	4,5	7,5	10,0	6,5	5,5	8,5	9,0	9,0	11,0	3	1	5	9	4	2	6	7	7	10
80	w	7,5	7,0	6,5	8,0		8,5	8,5	7,5	9,0	12,5	3	2	1	5		6	6	3	8	9
55	w	8,0	7,0	6,5	10,0		10,5	9,0	8,5	9,5	13,5	3	2	1	7		8	5	4	6	9
150	w	6,5	6,5	5,5	7,5	6,5	7,5	7,5	5,5	8,5	10,5	3	3	1	6	3	6	6	1	9	10
48	w	10,5	9,0		10,0		10,5	10,5	9,5	11,0	15,0	4	1		3		4	4	2	7	8
56	m	13,0	13,0	7,5	13,0	11,5	12,0	13,0	13,0	13,0	17,5	4	4	1	4	2	3	4	4	4	10
107	m	8,5	5,5	7,0	9,0	6,5	9,0	7,5	8,0	8,5	12,0	6	1	3	8	2	8	4	5	6	10
132	w	9,0	5,5	9,0	9,5	5,0	5,5	8,5	7,5	9,5	15,5	6	2	6	8	1	2	5	4	8	10
126	m	11,0	7,0	7,5	9,5		10,0	8,5	8,5	9,5	11,5	8	1	2	5		7	3	3	5	9

Tabelle 17 Gegenüberstellung der Gruppen mit und ohne E5; Angaben in Monaten

	Entwickl. stufe	$\mu(\ln X)$	$\sigma(\ln X)$	$\mu(X)$	$\sigma(X)$	Modalwert	Median
Gruppe mit E5 (Kriechen/Robben)	E1	1,7	0,2	5,7	1,3	5,3	5,6
	E2	1,7	0,3	5,8	2,0	4,8	5,4
	E3	2,0	0,2	7,5	1,3	7,2	7,4
	E4	2,2	0,2	8,8	1,4	8,5	8,7
	E5	2,0	0,2	7,4	1,6	6,9	7,2
	E6	2,2	0,2	8,8	1,7	8,4	8,7
	E7	2,2	0,2	9,0	1,5	8,6	8,9
	E8	2,2	0,2	9,0	1,7	8,6	8,9
	E9	2,3	0,2	10,4	1,7	10,0	10,2
	E10	2,6	0,1	12,9	1,7	12,6	12,8
Gruppe ohne E5 (Kriechen/Robben)	E1	1,7	0,3	5,6	1,5	5,1	5,4
	E2	1,7	0,2	5,8	1,4	5,3	5,6
	E3	1,9	0,1	6,9	0,8	6,8	6,9
	E4	2,1	0,2	8,4	1,3	8,1	8,3
	E5						
	E6	2,1	0,2	8,6	1,5	8,2	8,5
	E7	2,2	0,1	8,9	1,2	8,7	8,8
	E8	2,1	0,1	8,6	1,1	8,3	8,5
	E9	2,3	0,1	9,9	1,3	9,6	9,8
	E10	2,5	0,1	12,1	1,4	11,9	12,1

Tabelle 18 Referenzbereich-Tabellen; Angaben in Monaten

E4 -> E6 (M)	E4	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,6	5,5	6,6	7,2	7,9	9,5
25%	7,9	6,2	7,5	8,2	9,0	10,8
Median	8,7	6,6	8,0	8,7	9,6	11,5
75%	9,6	7,1	8,5	9,3	10,2	12,2
97,5%	11,6	8,0	9,6	10,5	11,6	13,8
E4 -> E6 (J)	E4	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	5,9	5,7	6,7	7,2	7,8	9,1
25%	7,4	6,6	7,6	8,3	8,9	10,4
Median	8,3	7,0	8,2	8,8	9,6	11,1
75%	9,4	7,5	8,8	9,5	10,2	11,9
97,5%	11,7	8,6	10,0	10,8	11,7	13,7
E4 -> E7	E4	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,2	6,7	7,9	8,5	9,2	10,8
25%	7,7	7,5	8,8	9,5	10,3	12,1
Median	8,5	7,9	9,3	10,1	10,9	12,8
75%	9,5	8,4	9,8	10,6	11,5	13,5
97,5%	11,7	9,3	11,0	11,9	12,9	15,1
E4 -> E8	E4	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,2	8,8	10,1	10,9	11,7	13,4
25%	7,7	9,7	11,1	12,0	12,8	14,8
Median	8,5	10,2	11,7	12,6	13,5	15,5
75%	9,5	10,7	12,3	13,2	14,1	16,3
97,5%	11,7	11,7	13,5	14,5	15,5	17,9
E4 -> E9	E4	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,2	5,2	6,1	6,6	7,2	8,4
25%	7,7	6,2	7,3	7,9	8,5	10,0
Median	8,5	6,8	7,9	8,6	9,3	10,9
75%	9,5	7,4	8,7	9,4	10,2	11,9
97,5%	11,7	8,8	10,3	11,2	12,1	14,2
E4 -> E10	E4	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,2	5,8	6,5	6,9	7,3	8,3
25%	7,7	6,8	7,7	8,1	8,6	9,7
Median	8,5	7,4	8,3	8,8	9,4	10,6
75%	9,5	8,0	9,1	9,6	10,2	11,5
97,5%	11,7	9,5	10,7	11,3	12,1	13,6
E5 -> E6	E5	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	4,7	5,5	6,4	6,9	7,4	8,7
25%	6,2	6,4	7,5	8,1	8,7	10,1
Median	7,2	6,9	8,1	8,7	9,4	11,0
75%	8,3	7,5	8,8	9,5	10,2	11,9
97,5%	11,1	8,8	10,3	11,1	12,0	14,0

E5 -> E7	E5	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	4,7	6,7	7,6	8,2	8,8	10,1
25%	6,2	7,6	8,8	9,4	10,1	11,6
Median	7,2	8,2	9,4	10,1	10,8	12,4
75%	8,3	8,7	10,0	10,8	11,6	13,3
97,5%	11,1	10,0	11,5	12,3	13,2	15,2
E5 -> E8	E5	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	4,7	8,9	10,4	11,3	12,2	14,2
25%	6,2	9,6	11,2	12,1	13,1	15,2
Median	7,2	10,0	11,6	12,6	13,6	15,8
75%	8,3	10,4	12,1	13,0	14,1	16,4
97,5%	11,1	11,1	13,0	14,0	15,1	17,6
E5 -> E9	E5	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	4,7	5,7	6,5	7,0	7,5	8,5
25%	6,2	6,7	7,6	8,2	8,7	9,9
Median	7,2	7,3	8,3	8,8	9,4	10,8
75%	8,3	7,9	9,0	9,6	10,2	11,7
97,5%	11,1	9,2	10,5	11,2	12,0	13,6
E5 -> E10	E5	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	4,7	5,5	6,5	7,1	7,7	9,2
25%	6,2	6,3	7,5	8,1	8,9	10,5
Median	7,2	6,7	8,0	8,7	9,5	11,3
75%	8,3	7,2	8,6	9,4	10,2	12,1
97,5%	11,1	8,3	9,9	10,8	11,7	13,9
E6 -> E7	E6	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,0	6,7	7,8	8,4	9,1	10,6
25%	7,6	7,5	8,8	9,5	10,2	11,9
Median	8,6	8,0	9,3	10,1	10,9	12,6
75%	9,7	8,5	9,9	10,7	11,5	13,4
97,5%	12,2	9,6	11,2	12,1	13,0	15,2
E6 -> E8	E6	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,0	8,8	10,2	11,0	11,8	13,6
25%	7,6	9,7	11,2	12,0	12,9	14,9
Median	8,6	10,1	11,7	12,6	13,5	15,6
75%	9,7	10,6	12,2	13,1	14,1	16,3
97,5%	12,2	11,6	13,4	14,4	15,5	17,8
E6 -> E9	E6	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,0	5,5	6,2	6,7	7,1	8,0
25%	7,6	6,6	7,5	8,0	8,5	9,6
Median	8,6	7,2	8,2	8,7	9,3	10,6
75%	9,7	7,9	9,0	9,6	10,2	11,6
97,5%	12,2	9,5	10,7	11,5	12,2	13,9

E6 -> E10	E6	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,0	6,7	7,5	7,9	8,4	9,4
25%	7,6	7,8	8,8	9,3	9,8	11,0
Median	8,6	8,5	9,5	10,1	10,7	11,9
75%	9,7	9,2	10,3	10,9	11,5	12,9
97,5%	12,2	10,7	12,0	12,7	13,5	15,1
E7 -> E8	E7	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,5	8,8	10,0	10,7	11,4	13,0
25%	8,0	9,8	11,1	11,9	12,7	14,5
Median	8,8	10,3	11,7	12,6	13,4	15,3
75%	9,8	10,9	12,4	13,3	14,2	16,2
97,5%	12,0	12,1	13,8	14,7	15,8	18,0
E7 -> E9	E7	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,50	6,71	7,47	7,90	8,34	9,29
25%	7,97	7,88	8,78	9,27	9,79	10,91
Median	8,84	8,55	9,52	10,06	10,63	11,84
75%	9,81	9,28	10,33	10,92	11,53	12,84
97,5%	12,03	10,89	12,13	12,82	13,54	15,08
E7 -> E10	E7	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,5	8,8	10,0	10,7	11,5	13,2
25%	8,0	9,7	11,1	11,9	12,8	14,6
Median	8,8	10,3	11,7	12,6	13,4	15,4
75%	9,8	10,8	12,4	13,2	14,2	16,2
97,5%	12,0	12,0	13,7	14,7	15,7	17,9
E8 -> E9	E8	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,3	8,8	9,9	10,5	11,2	12,6
25%	7,8	9,9	11,1	11,8	12,6	14,2
Median	8,7	10,5	11,8	12,6	13,3	15,1
75%	9,8	11,1	12,5	13,3	14,2	16,0
97,5%	12,2	12,5	14,1	15,0	16,0	18,0
E8 -> E10	E8	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	6,3	7,0	7,5	3,5	6,0	5,0
25%	7,8	7,0	4,0	7,0	6,5	6,5
Median	8,7	5,5	5,5	6,5	4,5	6,5
75%	9,8	5,5	7,5	4,5	5,0	6,0
97,5%	12,2	5,5	6,5	6,0	5,0	5,5
E9 -> E10	E9	2,5%	25%	50%	75%	97,5%
2,5%	7,5	4,0	8,5	2,5	5,5	5,0
25%	9,1	7,0	2,0	6,0	5,0	5,5
Median	10,1	6,5	6,0	7,5	5,5	6,5
75%	11,1	6,5	2,0	5,0	4,0	7,0
97,5%	13,5	7,0	8,5	5,0	6,0	5,5

Tabelle 19 Prozentuale Rangübereinstimmungen zwischen je zwei Entwicklungsstufen

	E1	E2	E3	E5	E4	E6	E7	E8	E9	E10
E1										
E2	24%									
E3	4%	6%								
E5	8%	8%	5%							
E4	3%	2%	21%	11%						
E6	1%	3%	12%	7%	31%					
E7	2%	2%	10%	1%	22%	26%				
E8	3%	5%	10%	5%	13%	19%	39%			
E9	1%	1%	0%	2%	9%	9%	6%	9%		
E10	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	

Erläuterung:

Die Prozentangaben zur Ranggleichheit zwischen zwei Entwicklungsstufen beziehen sich immer auf die Gesamtheit derjenigen Datensätze, bei denen keine der beiden Entwicklungsstufen ausgelassen wurde. Die 39% im gelben Feld bedeuten z.B., dass E₇ und E₈ in 39% aller Datensätze einen gleichen Rang belegen.

Tabelle 20 Reihenfolgevertauschungen zwischen je zwei Entwicklungsstufen in Prozent

	E1	E2	E3	E5	E4	E6	E7	E8	E9	E10
E1	-	43%	83%	89%	96%	96%	96%	94%	98%	100%
E2	33%	-	81%	85%	97%	96%	97%	94%	99%	100%
E3	13%	13%	-	41%	74%	74%	82%	83%	100%	100%
E5	3%	7%	54%	-	80%	91%	98%	91%	98%	100%
E4	1%	1%	5%	9%	-	46%	53%	51%	82%	99%
E6	3%	1%	14%	2%	23%	-	49%	46%	82%	98%
E7	2%	1%	8%	1%	25%	25%	-	29%	90%	100%
E8	3%	1%	7%	4%	36%	35%	32%	-	90%	100%
E9	1%	0%	0%	0%	9%	9%	4%	1%	-	100%
E10	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	-

Lesart:

Die Entwicklungsstufe über einer Spalte hat einen höheren Rang als die Zeilen-Entwicklungsstufe. Die 54% im orangenen Feld zu (E₅, E₃) bedeuten, dass E₃ in 54% (aller Datensätze mit E₅) einen höheren Rang als E₅ belegt. Die 41% im orangenen Feld zu (E₃, E₅) bedeuten, dass E₅ in 41% (aller Datensätze mit E₅) einen höheren Rang als E₃ belegt. Für die Interpretation bedeuten diese Angaben, dass die prozentuale Häufigkeit eines Rangtausches zweier Entwicklungsstufen durch den niedrigeren Prozentwert der zu dem Entwicklungsstufenpaar gehörigen Prozentwerte ausgedrückt wird. Um bei dem Beispiel (E₅, E₃) zu bleiben: die häufigste Reihenfolge E₃ > E₅ wird in 54% aller Fälle beobachtet; Rangtausch, das heißt E₅ > E₃, wird in 41% aller Fälle und Ranggleichheit (Tabelle 15) in 5% aller Fälle beobachtet.

V a) Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Beispiel eines Erfassungsbogens.....	10
Abb. 2	Verteilung E1 gesamt	27
Abb. 3	Verteilung E1 Mädchen	27
Abb. 4	Verteilung E1 Jungen	27
Abb. 5	Verteilung E2 gesamt	28
Abb. 6	Verteilung E2 Mädchen	28
Abb. 7	Verteilung E2 Jungen	28
Abb. 8	Verteilung E3 gesamt	29
Abb. 9	Verteilung E3 Mädchen	29
Abb. 10	Verteilung E3 Jungen	29
Abb. 11	Verteilung E4 gesamt	30
Abb. 12	Verteilung E4 Mädchen	30
Abb. 13	Verteilung E4 Jungen	30
Abb. 14	Verteilung E5 gesamt	31
Abb. 15	Verteilung E5 Mädchen	31
Abb. 16	Verteilung E5 Jungen	31
Abb. 17	Verteilung E6 gesamt	32
Abb. 18	Verteilung E6 Mädchen	32
Abb. 19	Verteilung E6 Jungen	32
Abb. 20	Verteilung E7 gesamt	33
Abb. 21	Verteilung E7 Mädchen	33
Abb. 22	Verteilung E7 Jungen	33
Abb. 23	Verteilung E8 gesamt	34
Abb. 24	Verteilung E8 Mädchen	34
Abb. 25	Verteilung E8 Jungen	34
Abb. 26	Verteilung E9 gesamt	35
Abb. 27	Verteilung E9 Mädchen	35
Abb. 28	Verteilung E9 Jungen	35
Abb. 29	Verteilung E10 gesamt	36
Abb. 30	Verteilung E10 Mädchen	36
Abb. 31	Verteilung E10 Jungen	36
Abb. 32	95%-Konfidenzintervalle der Mediane der Gesamtheit.....	40
Abb. 33	95%-Konfidenzintervalle der Mediane bei Mädchen.....	40
Abb. 34	95%-Konfidenzintervalle der Mediane bei Jungen.....	40
Abb. 35	Mediane der Eintrittszeiten, gesamt	41
Abb. 36	Mediane der Eintrittszeiten, Mädchen	41

Abb. 37	Mediane der Eintrittszeiten, Jungen	41
Abb. 38	Verteilung des Eintrittsalters der Entwicklungsstufen für Mädchen	45
Abb. 39	Verteilung des Eintrittsalters der Entwicklungsstufen für Jungen ...	46
Abb. 40	Scatterplot Matrix Gesamt, Skaleneinheiten in Monate	60
Abb. 41	Scatterplot Matrix Mädchen, Skaleneinheiten in Monaten.....	61
Abb. 42	Scatterplot-Matrix Jungen, Skaleneinheiten in Monaten.....	62
Abb. 43	Übersicht Pearsonscher Korrelationskoeffizient für die logarithmierten Daten	65
Abb. 44	Referenzbereich E4 -> E6 (Mädchen) $r = 0,58$	71
Abb. 45	Referenzbereich E4 -> E6 (Jungen) $r = 0,76$	72
Abb. 46	Referenzbereich E4 -> E7 $r = 0,66$	72
Abb. 47	Referenzbereich E4 -> E8 $r = 0,57$	73
Abb. 48	Referenzbereich E4 -> E9 $r = 0,57$	73
Abb. 49	Referenzbereich E4 -> E10 $r = 0,56$	74
Abb. 50	Referenzbereich E5 -> E6 $r = 0,74$	74
Abb. 51	Referenzbereich E5 -> E7 $r = 0,81$	75
Abb. 52	Referenzbereich E5 -> E8 $r = 0,72$	75
Abb. 53	Referenzbereich E5 -> E9 $r = 0,7$	76
Abb. 54	Referenzbereich E5 -> E10 $r = 0,43$	76
Abb. 55	Referenzbereich E6 -> E7 $r = 0,77$	77
Abb. 56	Referenzbereich E6 -> E8 $r = 0,63$	77
Abb. 57	Referenzbereich E6 -> E9 $r = 0,62$	78
Abb. 58	Referenzbereich E6 -> E10 $r = 0,53$	78
Abb. 59	Referenzbereich E7 -> E8 $r = 0,82$	79
Abb. 60	Referenzbereich E7 -> E9 $r = 0,81$	79
Abb. 61	Referenzbereich E7 -> E10 $r = 0,63$	80
Abb. 62	Referenzbereich E8 -> E9 $r = 0,83$	80
Abb. 63	Referenzbereich E8 -> E10 $r = 0,61$	81
Abb. 64	Referenzbereich E9 -> E10 $r = 0,7$	81

V b) Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	Definition der Entwicklungsstufen E1 bis E10.....	11
Tabelle 2	Ergebnisse Gesamt, Mädchen, Jungen.....	38
Tabelle 3	Mediane und Konfidenzintervalle in Monaten	39
Tabelle 4	Entwicklungsperzentile der Gesamtstichprobe in Monaten	43
Tabelle 5	Entwicklungsstufenperzentile der Mädchen in Monaten (zu Abb.38)	43
Tabelle 6	Entwicklungsstufenperzentile der Jungen in Monaten (zu Abb. 39)	43
Tabelle 7	90% Schwellenwerte für Mädchen und Jungen in Monaten	44
Tabelle 8	97,5% Schwellenwerte für Mädchen und Jungen in Monaten	44
Tabelle 9	Verteilung der Entwicklungsstufen auf die Ränge	56
Tabelle 10	Permutationen und Ranggleichheit.....	57
Tabelle 11	Produktmoment-Korrelationskoeffizienten r_{ij} nach Pearson für die logarithmierten Daten Gesamt und nach Geschlecht	63
Tabelle 12	Konfidenzintervalle der Korrelationskoeffizienten (Gesamtstichprobe)	64
Tabelle 13	Signifikant unterschiedlich getestete Korrelationen bei Mädchen und Jungen.....	67
Tabelle 14	Vergleich der Entwicklungsstufen- Mediane der Tübinger und Züricher Längsschnittstudie.....	89
Tabelle 15	Vergleich der Entwicklungsstufen-Mediane der Tübinger Studie mit denen anderer Autoren.....	90
Tabelle 16	Datenbasis.....	104
Tabelle 17	Gegenüberstellung der Gruppen mit und ohne E5; Angaben in Monaten.....	108
Tabelle 18	Referenzbereich-Tabellen; Angaben in Monaten	109
Tabelle 19	Prozentuale Rangübereinstimmungen zwischen je zwei Entwicklungsstufen	112
Tabelle 20	Reihenfolgevertauschungen zwischen je zwei Entwicklungsstufen in Prozent	113

VI) Literaturverzeichnis

- /1/ Bayley, N.: Comparisons of mental and motor test scores for ages 1-15 months by sex, birth order, race, geographical location, and education of parents. *Child Dev*, 36 (1965) 379-411,
- /2/ Gesell, A. L. *Infant Behavior: It's Genesis and Growth*. New York 1934 3-97
- /3/ Gesell, A. L.; Amatruda, C. S.: *Developmental Diagnosis*. New York 1947 3-74
- /4/ Largo, R. H.: *Babyjahre*. Zürich 1995 97-138
- /5/ Largo, R. H, Molinari, L., Weber, M., Comenale Pinto, L., Duc, G.: Early development of locomotion significance of prematurity, cerebral palsy and sex. *Dev Med Child Neurol*, 28 (1985) 333-350
- /6/ Michaelis, R., Niemann, G. *Entwicklungsneurologie und Neuropädiatrie*. Tübingen 1995 45-70
- /7/ Michaelis, R. :Überlegungen zur motorischen und neurologischen Entwicklung des Kindes. *Monatsschr. Kinderheilkd*, 133 (1985) 417-421
- /8/ Pikler, E.: *Laß mir Zeit*. München 1988 21-71
- /9/ Pikler, E.: Some contributions to the study of the gross motor development of children. *J Genet Psychol*, 133 (1968) 27-39
- /10/ Touwen, B.: A study on development of some motor phenomena in infancy. *Dev Med Child Neurol*, 13, (1971) 435-446

VII) Danksagung

Ich danke meinem lieben Mann Daniel Hünig besonders herzlich für seine Hilfe bei der Ausarbeitung graphischer Darstellungen und seine fortwährende freundliche Bereitschaft, mir bei den Widrigkeiten im Umgang mit der Rechnertechnik behilflich zu sein.

VIII) Lebenslauf

23.02.1954	geboren in Hamburg, Eltern Helga Donig, geb. Kenter, Günter Donig
1960-64	Grundschule in Hamburg
1964-74	Gymnasium „Stormarnschule“ in Ahrensburg (Schleswig-Holstein); Abitur
1974 (WS)	Beginn des Studiums Biologie (Diplom) an der Universität Tübingen
1976	Vordiplom Biologie
1979	Einschreibung in Mathematik (Diplom) an der Universität Tübingen
1980	Vordiplom Mathematik
1981	Eheschließung mit Daniel Hünig, Geburt der Tochter Rahel
1982	Diplomprüfung Biologie, Diplomarbeit bei Prof. Dr. K.P. Haderler und Prof. Dr. J. Klein (MPI) „Die Auswirkung der Populationsstruktur auf die Häufigkeit eines tödlichen Gens (t)“
1979-1983	Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Biomathematik sowie der Mathematischen Fakultät der Universität Tübingen
1983	Exmatrikulation
1983	Geburt des Sohnes Benjamin
1986	Geburt des Sohnes Ruben
1996-1997	Entwicklung eines dreidimensionalen mathematischen Pferdehufmodells als Berechnungsgrundlage der Beziehung Hufform / Kraftübertragung. Veröffentlichung in Teilen 2001 auf einer veterinärmedizinischen Tagung in Ottawa
1998 (WS)	Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Universität Tübingen
2001	Ärztliche Vorprüfung am 21.03.2001
2002	1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 21.03.2002
2005	2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 21.03.2005
2006	3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 31.10.2006