

DISS. ETH NO. 29139

***Motor performance in typically developing children and children with developmental coordination disorder***

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

ELISA KNAIER

M.Sc. University of Leipzig

born on 31.05.1987

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Nicole Wenderoth

Prof. Dr. med. Oskar G. Jenni

Prof. Dr. Tanja H. Kakebeeke

2023

# Thesis Summary

## Background

Developing sufficient motor performance during childhood is a key factor for a healthy and active lifestyle later on. During childhood, a healthy motor development also has a positive effect on a child's physical, cognitive, and social development. Furthermore, it reduces the risks that are accompanied with an inactive lifestyle. Therefore, it is of upmost public health importance that children and adolescents develop and maintain age-appropriate motor competence. This thesis focuses on the reliable assessment of children's motor performance, on the environmental impact on motor performance examining secular trends, and finally on the understanding of the mechanisms of disordered motor performance.

Environmental changes and exposure to modern digital technology undoubtedly have an impact on children's activity and lifestyle behavior. In fact, marked reductions in children's physical activity levels have been reported for years and sedentary behavior have increased around the world. The question arises whether environmental changes had an impact on general motor performance in children and adolescents, presenting a secular trend in motor performance. A possible gradual deterioration in motor performance could interfere with typical motor development and thus pose a health risk. To monitor and detect such a secular trend, valid assessment tools and contemporary normative data to evaluate motor performance in children and adolescents are needed.

Interestingly, common motor test batteries do not assess graphomotor performance, despite its importance for healthy motor development and its known predictive value for academic achievements and everyday participation during childhood. Graphomotor speed that is too slow to record sufficient quantities of work, or written work that is difficult to read, are the two main elements of graphomotor difficulties. Contradictory, existing tools assessing graphomotor skills measure either the quality or the speed of performance, thereby ignoring a foundational principle in human coordination and movement control, the speed-accuracy trade-off. Thus, there is a need for a graphomotor test that assesses both, quality and speed, in preschoolers and school-age children.

Developmental coordination disorder is one of the most prevalent developmental disorders in school-aged children and characterized by difficulties in everyday motor activities and decreased motor performance. The underlying mechanisms of the disorder are still for the most part uncertain. It is assumed that motor learning processes, especially visuomotor learning, is altered and that children with developmental coordination disorder present a

fundamental deficit in their ability to generate and utilize internal models for motor learning and control. Early diagnosis and knowledge about the underlying mechanisms of developmental coordination disorder are important to provide therapeutic options to reduce negative consequences for the children, e.g., progression into adulthood and secondary academic, psychological, and physical problems.

## **Aims and methods**

The overall goal of this thesis was to gain a comprehensive and contemporary knowledge of healthy motor development in children and adolescents, a knowledge that allows a distinction between typical development and problems or delays in motor development during childhood such as seen in developmental coordination disorder. To measure development valid tools to evaluate motor performance in children and adolescents need to be established.

To reach this goal, four studies were conducted. The aim of **study 1** was to provide normative data for motor performance in typically developing children and adolescents using an updated version of a motor assessment battery, the Zurich Neuromotor Assessment-2 (ZNA-2).

**Study 2** used these new, contemporary normative data of study 1, to investigate whether environmental and social changes in recent decades have had an impact on motor performance of children and adolescents. In detail, these data we compared to data from Swiss children and adolescents over a period of 35 years from 1983 to 2018.

The aim of **study 3** was to develop and evaluate a new tool for measuring graphomotor skills and to compare it to an established tool. The new tool, called the Zurich Graphomotor Test (ZGT), stands out for assessing both, speed and quality of performance.

With the knowledge of study 1 and 3, **study 4** used the ZNA-2 and the ZGT to determine motor performance in children and adolescents with developmental coordination disorder. Further the study aimed to investigate if and to which extent visuomotor learning might be impaired in children with such disorder.

## **Main results**

**Study 1** - Research Article: *Neuromotor development in children. Part 4: new norms from 3 to 18 years.*

The updated motor test battery ZNA-2 improved properties for assessing motor performance, by allowing a measurement without changing test items within the newly extended age range of 3 to 18 years. Most ZNA-2 tasks featured a marked developmental trend and substantial interindividual variability. Test-retest reliability was generally high.

**Study 2** - Research Article: *Secular trends in motor performance in Swiss children and adolescents from 1983 to 2018.*

The secular trend estimates in motor performance indicate an absence of a secular trend in four out of five motor components, including pure motor, fine motor, static balance, and contralateral associated movements. A secular trend for the motor component dynamic

balance was present, with an estimated difference of -0.38 standard deviation scores between two cohorts born ten years apart. Additionally, a mean change in body mass index was observed with +0.30 standard deviation scores over ten years.

**Study 3** - Research Article: *Integration of Speed and Quality in Measuring Graphomotor Skills: The Zurich Graphomotor Test.*

The results of the ZGT indicated a marked developmental trend in graphomotor performance, with older children being faster than younger children. Girls showed higher overall performance compared to boys. The pattern of making more mistakes when being faster and making fewer mistakes when being slower was observed for both, an additional test for comparison and the ZGT. Regardless of time pressure, the children's scores on both tests were affected by the speed-accuracy trade-off.

**Study 4** - Research Article: *Visuomotor adaptation, internal modelling, and compensatory movements in children with developmental coordination disorder.*

Neither visuomotor performance nor the ability to successfully acquire an internal model during a visuomotor adaptation task were significantly different between children with and without developmental coordination disorder. However, movement accuracy and motor speed showed significant differences between the two groups.

## Conclusions

With the updated motor test battery ZNA-2 new norms for motor performance in children between 3 years and 18 years were created. High reliabilities suggest that the revised test battery is a useful tool for assessing neuromotor development. Despite substantial societal changes since the 1980s, motor performance has remained relatively stable across generations. In detail, no secular trend was found in pure motor, fine motor, static balance, and contralateral associated movements over a period of 35 years. A secular trend in dynamic balance was present independent of the secular trend in body mass index. It seems likely that environmental factors that promote inactivity and sedentary behavior with fewer opportunities to practice dynamic balance, contribute to a decline in dynamic balance and an increase in body mass index.

Further, for a comprehensive assessment of graphomotor skills in children and adolescents, tests need to take both speed and quality into account. The ZGT combines these two developmental aspects of graphomotor skills into one score, providing important information on a child's graphomotor skills. The speed-accuracy trade-off has an impact on graphomotor assessments. The ZGT captures this trade-off, thereby, providing practitioners insights into how the child copes with the demands on their graphomotor skills at school and with more precise information on graphomotor skills compared to currently available tools.

The ZNA-2 and the ZGT proved to indicate low performance scores in children and adolescents with developmental coordination disorder. Both tests reflect and identify the typical motor difficulties seen in this disorder and are thus helpful for diagnostic purposes. The theory of

altered motor adaptation and an internal model deficit in developmental coordination disorder as described in the literature was not confirmed within this thesis. However, results suggest decreased motor acuity in children with developmental coordination disorder, as both, reduced movement accuracy and motor speed were observed during a visuomotor learning task.

# Zusammenfassung (German)

## Hintergrund

Ein bedeutender Schlüsselfaktor für einen gesunden und aktiven Lebensstil im Erwachsenenalter stellt die Entwicklung von umfangreichen motorischen Fähigkeiten in der Kindheit dar. Eine gesunde motorische Entwicklung in der Kindheit wirkt sich ausserdem positiv auf die körperliche, kognitive und soziale Entwicklung des Kindes aus. Zudem verringert sie die Risiken, die mit einem inaktiven Lebensstil einhergehen. Daher ist es für die Volksgesundheit von größter Bedeutung, dass Kinder und Jugendliche eine altersgemäße motorische Kompetenz entwickeln und diese erhalten.

Veränderungen des Lebensumfelds und die Digitalisierung haben zweifellos Auswirkungen auf den Lebensstil und das Bewegungsverhalten von Kindern. Tatsächlich wird seit Jahren ein deutlicher Rückgang der körperlichen Aktivität von Kindern beobachtet, während zur gleichen Zeit weltweit ein vermehrt sitzender Lebensstil zugenommen hat. Es stellt sich daher die Frage, ob sich derartige Umweltveränderungen auch auf die allgemeinen motorischen Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen auswirken und ein säkularer Trend festgestellt werden kann. Eine schleichende Verschlechterung der motorischen Fähigkeiten könnte die altersgerechte motorische Entwicklung beeinträchtigen und somit ein Gesundheitsrisiko darstellen. Um einen solchen säkularen Trend zu überwachen und zu erkennen, werden valide Testinstrumente und aktuelle Normdaten zur Bewertung der motorischen Fähigkeit von Kindern und Jugendlichen benötigt.

Interessanterweise erfassen die üblichen Motoriktests keine grafomotorische Leistung, obwohl diese ebenso elementar für eine gesunde motorische Entwicklung ist. Es ist nachgewiesen, dass graphomotorische Fähigkeiten einen prädiktiven Wert für akademische Leistungen und die alltägliche Teilhabe in der Kindheit haben. Grafomotorische Probleme zeigen sich vor allem in den Bereichen der Schreibgeschwindigkeit und -qualität. So kann bei einer verminderten Schreibgeschwindigkeit nur ein Teil des Wissens in der vorgegebenen Zeit aufgeschrieben werden oder die verfasste Arbeit ist schwer zu lesen, was auf eine verminderte Schreibqualität zurückzuführen ist. Vorhandene Testinstrumente zur Bewertung grafomotorischer Fähigkeiten messen jedoch entweder die Qualität oder die Geschwindigkeit der Leistung und ignorieren damit ein grundlegendes Prinzip der menschlichen Koordination und Bewegungskontrolle, nämlich den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch. Daher besteht ein dringender Bedarf an einem grafomotorischen Test, der sowohl die Qualität als auch die Geschwindigkeit in der Grafomotorik bei Kindern im Vorschul- und Schulalter erfasst.

Die *Umschriebene Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen* ist eine der häufigsten Entwicklungsstörungen bei Kindern im Schulalter und zeichnet sich durch Schwierigkeiten bei alltäglichen motorischen Aktivitäten und durch verminderte motorische Fähigkeiten aus. Die der Störung zugrundeliegenden Mechanismen sind größtenteils noch unklar. Es wird angenommen, dass motorische Lernprozesse, vorrangig das visuomotorische Lernen, gestört sind. Dies führt dazu, dass Kinder mit *Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen* ein grundlegendes Defizit aufweisen, interne Modelle zur Verbesserung des motorischen Lernens und der motorischen Kontrolle zu generieren und zu nutzen. Eine frühzeitige Diagnose und das Wissen um die zugrundeliegenden Mechanismen der Störung sind jedoch sehr wichtig, um therapeutische Unterstützung zur Verfügung zu stellen. Nur so können die negativen Folgen für die Kinder, wie beispielsweise das Fortbestehen der Defizite bis ins Erwachsenenalter und damit einhergehend akademische, psychologische und körperliche Probleme, verringert werden.

## **Ziele und Methodik**

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit war es, ein umfassendes und gegenwärtiges Wissen über die gesunde motorische Entwicklung von Kindern und Jugendlichen zu generieren. Auf der Basis dieses Wissens kann zwischen einer typischen, altersgerechten und einer verzögerten oder mangelhaften motorischen Entwicklung im Kindesalter, wie z. B. bei den *Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen*, unterschieden werden. Um ein solches Wissen generieren zu können, müssen valide Testinstrumente entwickelt werden, welche die motorische Leistung bei Kindern und Jugendlichen erfassen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden vier Studien durchgeführt. Das Ziel von **Studie 1** war es, aktuelle Normdaten für die motorische Leistung von Kindern und Jugendlichen mit einer altersgerechten Entwicklung zu erfassen. Dazu wurde eine aktualisierte Version einer motorischen Testbatterie, die Zürcher Neuromotorik-2 (ZNA-2), verwendet.

**Studie 2** nutzte diese neuen, aktualisierten Normdaten aus Studie 1, um zu untersuchen, ob sich Veränderungen des Lebensumfelds in den letzten Jahrzehnten auf die motorischen Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen ausgewirkt haben. Genauer gesagt verglichen wir dabei die neuen Normdaten mit bestehenden Daten von Schweizer Kindern und Jugendlichen über einen Zeitraum von 35 Jahren, von 1983 bis 2018.

Ziel von **Studie 3** war es, ein neues Testinstrument zur Erfassung grafomotorischer Fähigkeiten zu entwickeln, zu evaluieren und es mit einem etablierten Testinstrument zu vergleichen. Das neue Instrument, der Zürcher Grafomotoriktest (ZGT), zeichnet sich durch die Möglichkeit einer gleichermassen Beurteilung von Geschwindigkeit und Qualität in der Grafomotorik aus.

Mit den Erkenntnissen aus Studie 1 und 3 wurden in **Studie 4** die Testinstrumente ZNA-2 und ZGT eingesetzt, um die motorischen Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen mit *Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen* zu bestimmen. Außerdem

sollte untersucht werden, ob und inwieweit das visuomotorische Lernen bei Kindern mit einer solchen Entwicklungsstörung beeinträchtigt sein könnte.

## Hauptresultate

**Studie 1** - Forschungsartikel: *Neuromotor development in children. Part 4: new norms from 3 to 18 years.*

Die überarbeitete motorische Testbatterie, ZNA-2, verbesserte die Erfassung motorischer Fähigkeiten, indem sie eine Messung ohne Änderung der Testaufgaben innerhalb des neu erweiterten Altersbereichs von 3 bis 18 Jahren ermöglichte. Die meisten ZNA-2 Aufgaben wiesen einen deutlichen Entwicklungstrend und eine deutliche interindividuelle Variabilität in der Motorik auf. Die Test-Retest-Reliabilität war im Allgemeinen hoch.

**Studie 2** - Forschungsartikel: *Secular trends in motor performance in Swiss children and adolescents from 1983 to 2018.*

Die geschätzten Werte für die Analyse von säkularen Trends in den motorischen Fähigkeiten zeigen, dass sich bei vier der fünf motorischen Komponenten, einschließlich den rein motorischen Aufgaben, der Feinmotorik, des statischen Gleichgewichts und der Mitbewegungen, kein säkularer Trend abzeichnet. Es zeigte sich jedoch ein säkularer Trend in der Grobmotorik ab, mit einer geschätzten Differenz von -0,38 Standardabweichungen zwischen zwei Jahrgängen, welche zehn Jahre auseinander geboren wurden. Darüber hinaus wurde eine durchschnittliche Veränderung des Body-Mass-Index von +0,30 Standardabweichungen über zehn Jahre beobachtet.

**Studie 3** - Forschungsartikel: *Integration of Speed and Quality in Measuring Graphomotor Skills: The Zurich Graphomotor Test.*

Die Ergebnisse des ZGT zeigten einen deutlichen Entwicklungstrend bei der grafomotorischen Leistung, wobei ältere Kinder schneller waren als jüngere. Mädchen zeigten im Vergleich zu Jungen eine höhere Gesamtleistung. Das Muster, mehr Fehler zu machen, wenn man schneller ist, und weniger Fehler zu machen, wenn man langsamer ist, wurde sowohl bei einem zusätzlichen Vergleichstest als auch beim ZGT beobachtet. Unabhängig davon, ob der Test einen Zeitdruck vorgibt, wurden die Leistungen der Kinder in beiden Tests durch den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch beeinflusst.

**Studie 4** - Forschungsartikel: *Visuomotorische Adaptation, Aufbau eines internen Modells und Ausgleichsbewegungen bei Kindern mit Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen.*

Weder die visuomotorische Lernleistung noch der erfolgreiche Aufbau eines internen Modells während einer visuomotorischen Adaptationsaufgabe unterscheiden sich zwischen Kindern mit und ohne *Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen*. In der Bewegungsgenauigkeit sowie in der Bewegungsgeschwindigkeit unterschieden sich die Gruppen jedoch signifikant.



## Schlussfolgerungen

Mit der überarbeiteten Testbatterie ZNA-2 wurden neue Normwerte für die motorische Leistung bei Kindern zwischen 3 und 18 Jahren generiert. Die hohe Test-Reliabilität deutet darauf hin, dass sich die überarbeitete Testbatterie gut dafür eignet, den neuromotorischen Entwicklungsstand zu erfassen. Trotz gravierender Gesellschaftsveränderungen seit den 1980ern, sind der Großteil der motorischen Fähigkeiten über Generationen hinweg stabil geblieben. Über die letzten 35 Jahre, zeigte sich kein sekulärer Trend bei den reinen motorischen Aufgaben, der Feinmotorik, dem statischen Gleichgewicht und den Mitbewegungen. In der Grobmotorik hingegen zeigte sich ein sekulärer Trend, welcher unabhängig vom beobachteten sekulären Trend des Body-Mass-Index war. Es lässt sich vermuten, dass Umweltfaktoren, welche Inaktivität und sitzendes Verhalten fördern und damit weniger Gelegenheiten zum Üben der Grobmotorik bieten, zu einem Rückgang der Grobmotorik und einem Anstieg des Body-Mass-Index beitragen.

Um eine realistische Einschätzung der grafomotorischen Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen zu erhalten, ist es nötig, dass Tests sowohl die Geschwindigkeit als auch die Qualität der Leistung berücksichtigen. Der ZGT kombiniert diese beiden Aspekte der Grafomotorik in einem Gesamtergebnis und liefert damit wichtige Informationen über die grafomotorischen Fähigkeiten eines Kindes. Das Prinzip des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austauschs wirkt sich auf die Grafomotorik aus. Der ZGT erfasst diesen Austausch und bietet Testanwendern damit Einblicke darin, wie das Kind mit den Anforderungen in der Schule in Bezug zu seinen grafomotorischen Fähigkeiten zurechtkommt. Im Vergleich zu anderen, derzeit verfügbaren Testinstrumenten liefert der ZGT zudem präzisere Informationen über die grafomotorischen Fähigkeiten.

Die ZNA-2 und der ZGT zeigten bei Kindern und Jugendlichen mit *Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen* niedrige Leistungswerte auf. Beide Tests spiegeln damit die für die Störung typischen motorischen Schwierigkeiten wider und identifizieren diese. Daher sind beide Tests für diagnostische Zwecke hilfreich. Die in der Literatur beschriebene Theorie einer veränderten motorischen Adaptation und von Defiziten beim Aufbau eines internen Modells bei Kindern mit einer Entwicklungs Koordinationsstörung, wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht bestätigt. Die Ergebnisse deuten jedoch auf eine verringerte motorische Schärfe bei Kindern mit *Umschriebenen Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen* hin, da sowohl eine geringere Bewegungsgenauigkeit als auch eine geringere Bewegungsgeschwindigkeit während einer visuomotorischen Lernaufgabe beobachtet wurden.