

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Auge-Hand Reaktion im Vergleich der 5. und 8. Schulstufe“
„Eye-hand reaction compared the 5th and 8th school level“

verfasst von / submitted by

Johannes Tribelnig

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 482 423

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtstudium
UF Chemie / UF Bewegung und Sport

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. Arnold Baca

Vorwort und Dankesworte

Nach einer langen Zeit des Studiums an der Universität Wien steht der Abschluss mit der Verfassung dieser Diplomarbeit zur Erlangung des Magistertitels nun so nahe wie nie zuvor. So möchte ich mich an bei allen Personen bedanken, welche mich während des Studiums neben den Aufgaben in der Familie und den ehrenamtlichen Tätigkeiten beim Erreichen meiner Ziele unterstützt haben.

Meinen Eltern möchte ich danken, dass sie mir die Schul- und anfängliche Studienzeit ermöglicht haben. Meiner Frau Hermine gilt der größte Dank, weil sie meinen langen universitären Weg mitgetragen hat. Verständnisvoll unterstützte sie mich immer wieder und bekräftigte mich in meinem Vorhaben. Dankbar bin ich auch meinen Kindern, die mir über die Jahre viel Liebe und Freude geschenkt haben.

Weiters gilt mein Dank dem Landesschulrat mit seinen Gremien, allen Direktorinnen und dem Direktor mit Lehrkräften, ohne deren Hilfe es mir nicht möglich gewesen wäre, einen so großen Datensatz zu erheben.

Ein Dankeschön sage ich auch meinem Diplomarbeitsbetreuer Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. Arnold Baca und dessen Team, welches mir mit hilfreichen Gedanken und Anregungen zur Seite stand.

Zusammenfassung

Schlagwörter: Reaktionszeit, Unterschied, 10 – 14 jährige Kinder, Knaben, Mädchen, Muskelleistung, Krafttraining Kinder, Reizleitung,

In sehr vielen Sportarten ist die Reaktionszeit ein leistungsbestimmender Faktor. Eine experimentelle Untersuchung wurde durchgeführt, um herauszufinden, ob es Unterschiede der Reaktionszeiten zwischen der 5. (10-11 Jährige) und 8. (13-14 Jährige) Schulstufe, Mädchen und Knaben der 5. bzw. 8. Schulstufe gibt.

Methodik: Zur Erfassung der Reaktionszeiten wurden mit Hilfe des Fitlight Trainers die Hand-Auge Reaktionszeiten gemessen. Statistisch verwendbare Messdaten (6357) erhielt man von 100 Schülerinnen (48 der 5. und 42 der 8. Schulstufe) und 90 Schülern (51. der 5. und 39 der 8. Schulstufe). Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe eines t-Test für unabhängige Stichproben. Den Unterschied zwischen den Gruppen (Mädchen 5. Schulstufe, Knaben 5. Schulstufe, Mädchen 8. Schulstufe und Knaben 8. Schulstufe) wurde mit einer einfaktoriellen ANOVA durchgeführt.

Ergebnisse: Es wurde ein signifikanter Unterschied zwischen

- der 5. und 8. Schulstufe (8. Schulstufe: $n = 91$; $M = 404,500$ ms; $SD = 46,735$ und 5. Schulstufe: $n = 99$; $M = 448,856$ ms; $SD = 60,088$)
- Mädchen und Knaben (Knaben: $n = 90$; $M = 411,880$ ms; $SD = 53,854$ und Mädchen: $n = 100$; $M = 441,894$ ms; $SD = 58,994$)
- Mädchen und Knaben der 5. Schulstufe (Knaben: $n = 51$; $M = 430,691$ ms; $SD = 53,875$ und Mädchen: $n = 48$; $M = 468,156$ ms; $SD = 60,845$)
- Mädchen und Knaben der 8. Schulstufe (Knaben: $n = 39$; $M = 387,405$ ms; $SD = 43,297$ und Mädchen: $n = 52$; $M = 417,314$ ms; $SD = 45,461$) gefunden.

Ebenso gibt es einen Unterschied zwischen den vier Gruppen (Mädchen 5. Schulstufe, Knaben 5. Schulstufe, Mädchen 8. Schulstufe und Knaben 8. Schulstufe): Schülerinnen der 5. Schulstufe ($n = 48$; $M = 468,49$ ms; $SD = 60,88$), Schüler der 5. Schulstufe ($n = 51$; $M = 430,60$ ms; $SD = 53,96$), Schülerinnen der 8. Schulstufe ($n = 52$; $M = 417,34$ ms; $SD = 45,38$) und Schüler der 8. Schulstufe ($n = 39$; $M = 387,40$ ms; $SD = 43,32$).

Schlussfolgerung: Die Knaben sind schneller als die Mädchen (unabhängig vom Alter) und die 5. Schulstufe ist langsamer als die 8. Schulstufe.

Die Ergebnisse und literarische Nachforschungen legen nahe, dass es einen Zusammenhang der Reaktionszeit mit dem Geschlecht, Alter, der Muskelleistung, kognitiven Prozessen und dem Willen bzw. der Erfahrung (Vorwegnahmezeit) gibt.

Die Literatur legt nahe, dass durch spezielles Training die Reaktionszeiten verbessert werden können, welche durch die schnellere Reizleitungsgeschwindigkeit, der Vorwegnahme der Bewegung und durch das Training der Muskelkraft hervorgerufen werden.

Abstract

Keywords: reaction time, difference, 10-14 year old children, boys, girls, muscle performance, weight training children, stimulation,

In many sports, the reaction time is a performance-determining factor. An experimental study was carried out to find out if there were differences in reaction times between the 5th (10-11 year old) and 8th (13-14 year old) grade, between girls and boys of the 5th and 8th grade respectively.

Method: To measure the reaction times, the hand-eye reaction times were measured with the help of the Fitlight Trainer. Statistically usable data (6357) was obtained from 100 students (48 in 5th and 42 in 8th grade) and 90 students (51 in 5th and 39 in 8th grade). The statistical evaluation was carried out with the help of a t-test for independent samples. The difference between the groups (girls 5th grade, boys 5th grade, girls 8th grade, and boys 8th grade) was made with a one-factorial ANOVA.

Results: There was a significant difference between

- the 5th and 8th grade (8th grade: $n = 91$, $M = 404,500$ ms, $SD = 46,735$ and 5th grade: $n = 99$, $M = 448,856$ ms, $SD = 60,088$)
- Girls and boys (boys: $n = 90$, $M = 411,880$ ms, $SD = 53,854$ and girls: $n = 100$, $M = 441,894$ ms, $SD = 58,994$)
- Girls and boys of the 5th grade (boys: $n = 51$, $M = 430.691$ ms, $SD = 53.875$ and girls: $n = 48$, $M = 468.156$ ms, $SD = 60.845$)
- Girls and boys of the 8th grade (boys: $n = 39$; $M = 387.405$ ms, $SD = 43.297$ and girls: $n = 52$, $M = 417.314$ ms, $SD = 45.461$).

There is also a difference between the four groups (girls 5th grade, boys 5th grade, girls 8th grade, and boys 8th grade): fifth grade students ($n = 48$, $M = 468.49$ ms; $SD = 60.88$), pupils of the 5th grade ($n = 51$, $M = 430.60$ ms, $SD = 53.96$), pupils of the 8th grade ($n = 52$, $M = 417.34$ ms, $SD = 45.38$) and students of the 8th grade ($n = 39$, $M = 387.40$ ms, $SD = 43.32$).

Conclusion: The boys are faster than the girls (regardless of age) and the 5th grade is slower than the 8th grade.

The results and literary research suggest that there is a strong correlation between response time and gender, age, muscle performance, cognitive processes and will / experience (anticipation time).

There is much evidence that special training can improve response times caused by faster conduction velocity, anticipation of movement, and muscle strength training.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Dankesworte	2
Zusammenfassung	3
Abstract	5
Inhaltsverzeichnis	7
Einleitung	11
1.1 Einführung und Motivation	11
1.2 Forschungsfrage und Unterforschungsfragen	12
1.3 Beitrag der Arbeit zu Wissenschaft, Forschung und Arbeitswelt	12
1.4 Gliederung der Arbeit.....	13
2 Theoretischer Hintergrund	14
2.1 Auge und Licht (Optisches Signal, Auge, visueller Reiz und das Licht).....	15
2.1.1 Das Auge für die Signalaufnahme als Reizanalysator	17
2.1.2 Visuelle Suche.....	20
2.1.3 Parameter des Sehraumes.....	21
2.1.4 Kontrast	23
2.2 Nerven und Bewegung (Elektrischer Impuls, Nerven bis zur Bewegungsausführung).....	24
2.2.1 Entstehung eines Aktionspotenzials.....	24
2.2.2 Afferente Reizweiterleitung – Sehbahn	26
2.2.3 Signalverarbeitung im Gehirn und Rückenmark.....	27
2.2.4 Efferente Nervenbahn	30
2.3 Motorisches Leisten und Lernen - Vom Signal zur Bewegung, zum Bewegungslernen und zur Bewegungssteuerung.....	34
2.3.1 Reizleitungsreaktionsbeziehung.....	34
2.3.2 Erklärungsmodelle zur Bewegung und zum Bewegungslernen.....	37
2.3.3 Bewegungssteuerung.....	38
2.4 Aktiver und passiver Bewegungsapparat (Muskeln und Knochen)	39
2.4.1 Bewegungskette	39
2.4.2 Beteiligte Knochen bei der Armbewegung	39
2.4.3 Beteiligte Muskeln, Sehnen und Bänder	41
2.5 Reaktionszeit	44
2.5.1 Reizidentifikation	44
2.5.2 Reaktionsauswahl.....	44
2.5.3 Reaktions-Schnelligkeit	45
2.5.4 Reaktionsausführung - Bewegungsausführung.....	46

2.6	Greifraum	47
3	Messgerät: FITLIGHT-Trainer	50
3.1	Funktionsbeschreibung.....	50
3.2	FITLIGHT Tablet.....	50
3.3	FITLIGHTS – Start- und Effektorfitlight (Signalgeber und Sensoren)	51
3.4	Technik.....	52
3.4.1	Netzwerktest.....	52
3.4.2	Messgenauigkeit.....	53
4	Methode und Testung	54
4.1	Programmierung der Testsequenz.....	54
4.2	Administrative Vorbereitungen.....	57
4.3	Entwicklung der praktischen Testung.....	57
4.3.1	Verfahren zur Erfassung der Messdaten	57
4.3.2	Abstände der Fitlights	59
4.3.3	Abfolge der Sequenzen der aufleuchtenden Fitlights	61
4.3.4	Alle denkbaren Wahlmöglichkeiten - Antwortmöglichkeiten	62
4.3.5	Vortestungen – Pretests.....	63
4.3.6	Anonyme Codes erstellen.....	64
4.4	Durchführung der Testung vor Ort.....	64
4.4.1	Verwendung des Fitlight-Systems bei der Testung.....	64
4.4.2	Testaufbau vor Ort	65
4.4.3	Untersuchungsorte.....	65
4.4.4	Zeitlicher Verlauf der Testung	66
4.4.5	Schülerinnen und Schüler auf die Testung muskulär vorbereiten.....	68
4.4.6	Praktische Testung	69
4.4.7	Testungsprotokoll.....	70
4.5	Statistik.....	71
4.5.1	Zusätzliche Daten vom Testungsprotokoll.....	72
4.5.2	Datenimport, -kontrolle und -bereinigung	72
4.5.3	Stichprobe.....	72
4.5.4	Hauptgütekriterien.....	72
4.5.5	Computerprogramme für die Auf- und Verarbeitung der Messdaten	73
5	Hypothesen und Erwartungen	74
6	Messdaten mit statistischer Auswertung	75
6.1	Urliste, Strichliste und Datenmatrix.....	75
6.2	Stichprobe.....	75
6.3	Messfehler	78

6.4	Händigkeit	79
6.5	Bestimmung der Ausreißer	80
6.6	Überblick Datenreduktion – Datenaufschlüsselung	81
6.7	Messdaten und Berechnungen / statistische Tests / Diagramme	83
6.8	Statistische Tests	85
6.9	Statistisch berechnete Ergebnisse	86
6.9.1	H1.0 – Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.	86
6.9.2	H2.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.	87
6.9.3	H3.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 5. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.	87
6.9.4	H4.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.	88
6.9.5	H5.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Gruppen (Mädchen 5. Schulstufe, Knaben 5. Schulstufe, Mädchen 8. Schulstufe und Knaben 8. Schulstufe)	89
7	Diskussion und Vergleich der Ergebnisse mit der Wissenschaft	92
7.1	Allgemeine Argumentations- und Diskussionspunkte	93
7.2	Diskussion zum Altersunterschied	96
7.3	Diskussion zum Geschlechtsunterschied	100
7.4	Diskussion zur 5. Schulstufe: Unterschied zwischen Mädchen und Knaben	101
7.5	Diskussion zur 8. Schulstufe: Unterschied zwischen Mädchen und Knaben	102
7.6	Diskussion zum Unterschied zwischen den Gruppen (Mädchen 5., Knaben 5., Mädchen 8. und Knaben 8. Schulstufe)	103
7.7	Diskussion: Sportler – Nichtsportler	105
7.8	Diskussion zu statistischen Begriffen	109
8	Interpretation	111
9	Ausblick und Anregung	114
10	Anhänge und Dokumente	117
10.1	Bestätigungen	117
10.2	Ergänzende Abbildungen für Theorie, Methode und Material	120
10.3	Tabellen	125
11	Literaturverzeichnis	132
12	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	138
13	Definitionen - Begriffsbestimmungen	140

14	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	141
-----------	--	------------

Einleitung

Im Bereich Kinder- und Jugendsport wird viel untersucht, aber Besonderheiten, welche sich mit Reaktionszeiten im Alter zwischen 10 und 14 Jahren beschäftigen, werden in der sportwissenschaftlichen Auseinandersetzung selten behandelt.

Bewusste oder unbewusste bzw. willkürliche oder unwillkürliche Bewegungen werden als selbstverständlich angenommen, so wie die Informationsaufnahme über Augen, Ohren, Nase, Mund oder Haut. Das Gehirn organisiert die Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Motivation, das Denken und die Bewegung. Über 600 Muskel werden vom Gehirn und Rückenmark dirigiert (Pöppel & Bullinger, 1994, S. 132), ein perfektes Zusammenspiel, um die Bewegung auszuführen. Kommt es zu einer weiteren ähnlichen oder genau derselben Bewegung, dann lernt der Körper, und die Bewegung wird schneller und präziser.

1.1 Einführung und Motivation

Digitale Datenerfassung mit Handys, Tablets, Notebooks und anderen elektronischen Geräten und Kombinationen dieser erlangt durch eine hohe Funktionalität auch im Sport eine immer größere Bedeutung. Diese Geräte sind mittlerweile im Internet auffindbar und finanziell erschwinglich. Sie werden deshalb immer öfter für Trainings und Wettkämpfe in den Einzel- und Teamsportarten, im semi- sowie professionellen Bereich eingesetzt. Eine Vielzahl an Untersuchungsmessdaten können über diese neuen Technologien erfasst und mit entsprechenden Softwarelösungen analysiert werden.

Erik Veje Rasmussen, ein ehemaliger dänischer Olympia-, Berufs- und Nationalteamspieler, erfand 2007 ein Trainingssystem (Octopus-Trainer), das zum FITLIGHT-Trainer (Messgerät: FITLIGHT-Trainer S.50) weiterentwickelt wurde (FitlightSportsCorp, 2014, S. 5). Mit diesem System können mit Hilfe eines Tablets (inklusive der Fitlightsoftware) und den dazugehörigen Fitlights (Signalgeber und -empfänger über Bluetooth) die Reaktionszeiten erfasst werden.

Schon im späten Jugendalter begann meine Trainertätigkeit im Verein. Für mich als aktiven Basketballer und dann leidenschaftlichen Volleyballspieler und -trainer war die Handlungsschnelligkeit ein wichtiger Erfolgsfaktor. Durch die Trainertätigkeit im Kinder-, Jugend- und Erwachsenenleistungsbereich und die Leidenschaft von mir und meinen Kindern zum Volleyball wurde mir klar: „Reaktionszeiten möglichst kurz zu halten ist ein leistungsbestimmender Faktor im Sport, wo schnelle Bewegungen ausgeführt werden müssen!“.

So war es für mich eine große Motivation einen Forschungsbereich zum Thema „Reaktionszeiten“ zu finden. Da die Kinder und Jugend die Zukunft im Leistungssport sind, war es mir wichtig herauszufinden, ob sich die Reaktionszeiten zwischen 5. und 8. Schulstufe verändern und ob es Unterschiede zwischen Mädchen und Knaben gibt. Mit dem FITLIGHT-Trainer bestand die Möglichkeit, die praktische Testung bei Schülerinnen und Schülern vorzunehmen.

1.2 Forschungsfrage und Unterforschungsfragen

Aus diesem Interesse heraus wurden die Forschungsfrage und die Unterforschungsfragen entwickelt.

Forschungsfrage:

Wie wird sich die Auge-Hand Reaktionszeit zwischen 5. und 8. Schulstufe verändern?

Unterforschungsfrage:

- Gibt es einen Unterschied der Auge-Hand Reaktionszeit der 5. Schulstufe zwischen Mädchen und Knaben?
- Gibt es einen Unterschied der Auge-Hand Reaktionszeit der 8. Schulstufe zwischen Mädchen und Knaben?
- Gibt es einen Unterschied der Auge-Hand Reaktionszeit zwischen Mädchen und Knaben?
- Gibt es Unterschiede der Auge-Hand Reaktionszeit zwischen den Mädchen der 5., Knaben der 5., Mädchen der 8. und Knaben der 8. Schulstufe?

1.3 Beitrag der Arbeit zu Wissenschaft, Forschung und Arbeitswelt

In der Psychologie und im Sport wurden Reaktionszeiten oft gemessen. Komplexe azyklische Bewegungen sind von sehr vielen nervalen und muskulären Faktoren abhängig. Der Vergleich von Reaktionszeiten zwischen der 5. und 8. Schulstufe (ca. 10- und 14-jährige Schülerinnen und Schüler) mit einem kleinen Bewegungsmuster ist ein wichtiger Beitrag zur Wissenschaft und Forschung. Kurze schnelle Bewegungen nach einem Signalempfang auszuführen, ist in vielen Sportarten ein leistungsbestimmender Faktor. Die Fähigkeit, sich einer Bewegung oder einer Situation einen Sekundenbruchteil schneller als ein Gegner bewusst zu werden, ist sowohl beim Ballsport als auch bei vielen anderen Sportarten wichtig, da sie den Athleten den entscheidenden Vorteil bieten kann (Schwab & Memmert, 2012, S. 624).

Wenn sich die Reaktionszeiten zwischen der 5. und 8. Schulstufe nur gering oder gar nicht ändern, ist das für den Leistungssport eine wichtige Information, dass der Nachwuchs im Sport qualitativ hochwertiger trainieren muss. Diese Information kann natürlich auch dem Schulsport im Sportunterricht oder in den unverbindlichen Übungen nutzen.

Aus diesen Forschungsergebnissen kann der Sport in den verschiedenen Disziplinen als auch die Arbeitswelt durch bessere Arbeitsplatzgestaltungen profitieren.

1.4 Gliederung der Arbeit

Nach der Einleitung werden im ersten Teil (Kapitel 2) der Arbeit theoretische Hintergründe, welche mit der praktischen Testung zusammenhängen, thematisiert.

Anschließend wird das FITLIGHT-Trainersystem als Messgerät erklärt. Im Kapitel 4 wird die Methode mit der ursprünglichen Stichprobe, der Datenreduktion (schlussendlich verwendete Daten für die statistische Auswertung) und dem Ablauf der Testung skizziert. Dann folgen die Hypothesen mit deren Erwartungen. Im Punkt 6 „Messdaten mit statistischer Auswertung“ erfolgt die Auswertung der Messdaten mittels SPSS und Excel. In diesem statistischen Teil der Diplomarbeit werden zunächst die Datenmatrix, Stichprobe, Messfehler, Häufigkeit, Ausreißer, Datenreduktion behandelt und dann die eigentliche statistische Auswertung durchgeführt.

Das darauffolgende Kapitel „Diskussion und Vergleich der Ergebnisse mit der Wissenschaft“ stellt den Kern der Arbeit dar. Die ausgewerteten Studienergebnisse werden hier mit anderen Studien verglichen und mit der Literatur aufgearbeitet.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Zusammenfassung in Kapitel 8 Interpretation, hier werden die Ergebnisse unter kritischer Betrachtungsweise interpretiert und diskutiert. Als Schlusspunkt wird noch ein Ausblick gegeben.

Anhänge und Dokumente findet man am Ende der Arbeit vor dem Literaturverzeichnis.

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel der Diplomarbeit geht es darum, theoretische Hintergründe wie Auge, Licht, Signalverarbeitung & -weiterleitung bis hin zu den beteiligten Nervenbahnen mit Muskeln und die dazugehörigen Erklärungsmodelle näher zu beleuchten, welche auf die Testung Einfluss nehmen.

Wie schon Meincke (1985) (siehe Tab. 1: Sinnessysteme) und Becker-Carus (2017) (siehe Abb. 1: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne) festhalten, kann der Mensch durch die gut ausgebildeten Sinne viele Eindrücke wahrnehmen. Diese Reize können durch Thermo-, Mechano-, Foto- oder Chemorezeptoren aufgenommen und als Empfindung weitergeleitet und verarbeitet werden. Letztendlich agiert beziehungsweise reagiert der Mensch sinnvoll in Abhängigkeit von Erfahrungen und Randbedingungen (Hirtz, 2012) und (Geese & Hillebrecht, 1995).

Mechanorezeptoren reagieren auf mechanische Bewegung auslösende Reize (Druck, Schall) und führen je nach Sinnesbahn zu Schall- beziehungsweise Berührungs- oder Druckwahrnehmungen. Thermorezeptoren stellen Temperaturänderungen fest und führen zu Warm-kalt-Empfindungen. Fotorezeptoren werden von elektromagnetischen Wellen erregt und führen zu Lichtwahrnehmungen. Chemorezeptoren werden von chemischen Molekülen angesprochen und vermitteln Geruchs- oder Geschmacksempfindungen.

Tab. 1: Sinnessysteme

Lokalisation und Leistung der Sinne			
Sinn	Reiz	Lokalisation der Rezeptoren	Empfindung
Gesichtssinn	Optische Reize	Netzhaut des Auges	Helligkeitssehen, Farbsehen, Richtungs- und Bewegungssehen, räumliches Sehen
Gehörsinn	Akustischer Reiz	Innenohr	Hören von Tönen
Lage- und Bewegungssinn	Mechanische Reize (Lageveränderung des Körpers, Beschleunigung)	Vorhofsäckchen und Bogengänge des Innenohrs	Körperhaltung, Lage des Körpers, Bewegung, Gleichgewicht
Geruchssinn	Chemischer Reiz (gasförmige Stoffe)	Riechschleimhaut der Nase	Geruch: blumig, würzig, brenzlig, fruchtig, ätherisch, faulig

Geschmackssinn	Chemischer Reiz (flüssige Stoffe)	Geschmacksknospen der Zunge und des Gaumens	Geschmack: süß, salzig, sauer, bitter
Temperatursinn	Thermischer Reiz	Wärme- und Kältepunkte in der Haut	Wärme- und Kälteempfindung
Tast- und Drucksinn	Mechanischer Reiz (Berührung, Druck)	Tast- und Lamellenkörperchen in der Haut	Tast- und Druckempfindung, Empfindung der Spannungsänderung der Haut
Schmerzsinn	Alle Reizarten	Freie Nervenendigungen in der Haut und in inneren Organen	Schmerzempfindung

Quelle: (Meincke & Theuerkauf, 1985, S. 222, 223)

Sinne	Reiz	Sinnesorgan	Rezeptor	Empfindung	Mögliche Bedeutung
Sehen	Lichtwellen (10^{-5} – 10^{-4} cm)	Auge	Stäbchen und Zapfen der Retina	Farben, Helligkeiten	Gegenstände, Personen
Hören	Schallwellen (20–20.000 Hz)	Ohr	Haarzellen des Corti-Organ	Geräusche, Töne	Stimmen, Töne
Empfindungen der Haut	Äußerer Kontakt (Druck, Infrarotwellen 10^{-4} – 10^{-3})	Haut	Nervenendungen in der Haut	Berührung, Schmerz, Wärme, Kälte	Stoff, Metall, Stich, Feuer, Eis
Geruch	Geruchstragende Substanzen (in Gasen)	Nase	Haarzellen des olfaktorischen Epithels	Düfte (moschusartig, blumig, verbrannt, pfefferminzartig)	Blumen, Nahrung, Menschen
Geschmack	Lösliche Substanzen (in Flüssigkeiten)	Zunge	Geschmacksnerven der Zunge	Geschmacksempfindungen (süß, sauer, salzig, bitter)	Speisen
Körperbewegung	Mechanische Energie	Muskeln, Gelenke, Sehnen	Muskelspindel-Sensoren, Golgi-Sehnenorgane	Orientierung im Raum, Bewegung, Druck, Schmerz	Eigenbewegung, Muskelanspannung
Gleichgewicht	Mechanische Kraft und Schwerkraft	Innenohr	Haarzellen in den Bogengängen und im Vestibulum	Bewegung im Raum, „Zug“ der Schwerkraft	Stürzen, Drehung
Empfindungen der Organe	Mechanische Energie	Teile des Verdauungsapparates	freie Nervenendigungen	Druck, Schmerz	Verletzungen, Erkrankungen

Abb. 1: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 76)

2.1 Auge und Licht (Optisches Signal, Auge, visueller Reiz und das Licht)

Licht, das optische Signal bzw. der physikalisch-visuelle Reiz, wird über das Auge aufgenommen. Es breitet sich nach der Definition der Strahlenoptik geradlinig mit einer Geschwindigkeit von 299.792.458 m/s aus. In der Wellenoptik vertreten Maxwell und Hertz, dass Licht der sichtbare Bereich (siehe Abb. 2: Spektrum des Lichts und Abb. 3: Grad der Stimulation jedes Konus für monochromatisches blaues, grünes, gelbes und oranges Licht)

der elektromagnetischen Strahlung im Bereich zwischen ca. 380 bis 780 nm (78 bis 385 THZ) ist (Hahn, 2007). In der Quantenphysik besteht das Licht aus Photonen, einem Strom aus Quantenobjekten.

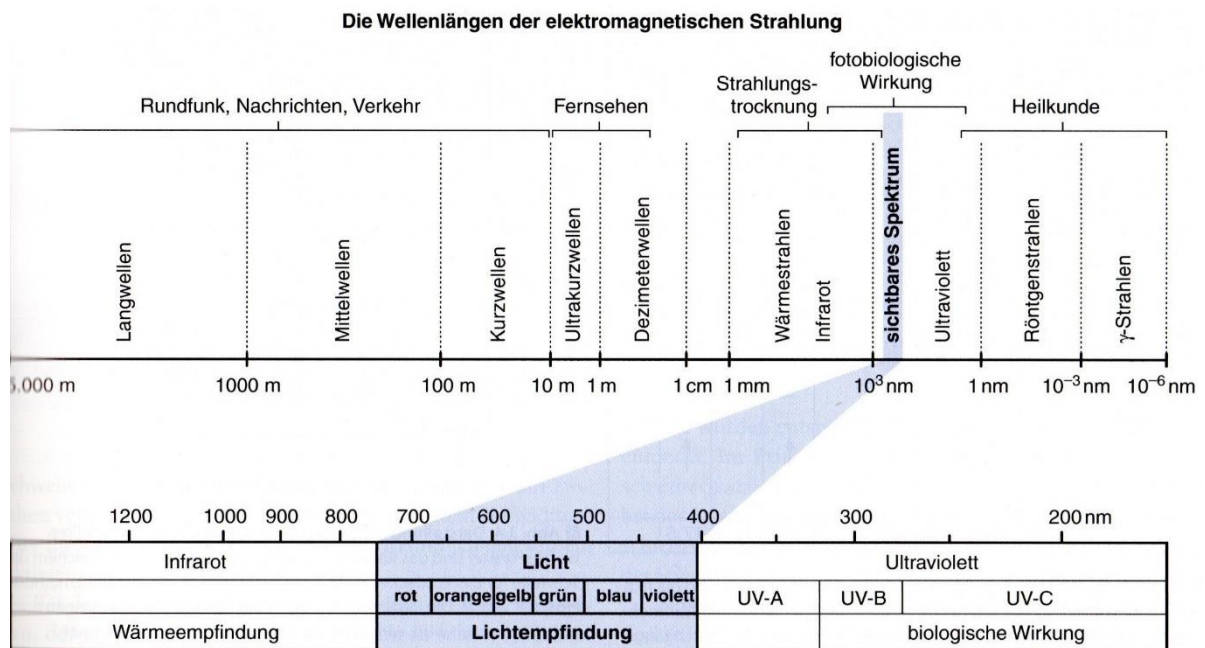


Abb. 2: Spektrum des Lichts (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 77)

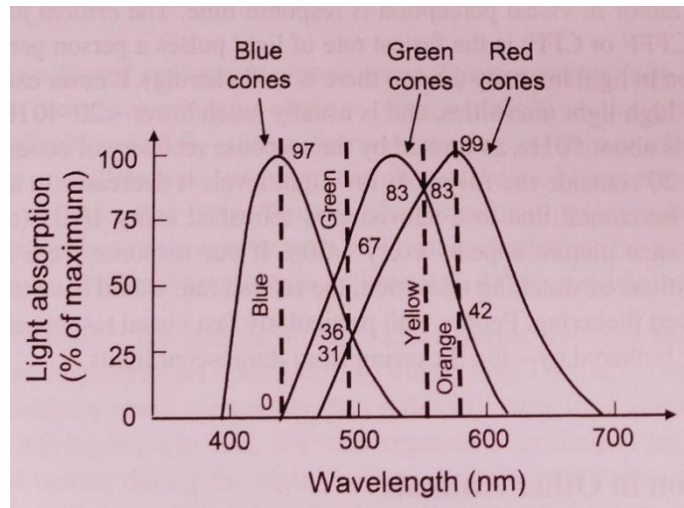


Abb. 3: Grad der Stimulation jedes Konus für monochromatisches blaues, grünes, gelbes und oranges Licht (Irving, 2016, S. 797)

Es gibt natürliche (Licht VIS: Sonne, Mond, Sterne, Polarlicht, Lava, Blitze, Phosphor, Glühwürmchen) und künstliche (Lampen, Laternen, Kerzen, Scheinwerfer, Laser, Leuchtfarben, Fackeln) Lichtquellen, die in verschiedenen Wellenlängen Licht aussenden.

LED's (Englisch: „light-emitting diode“) können als künstliche Lichtquelle Licht in einer bestimmten Wellenlänge aussenden. Die LED ist eine Leuchtdiode. Das Halbleiterbauelement mit der entsprechenden Dotierung kann über die LED von der Infrarot- bis zur Ultraviolettstrahlung Licht emittieren. Dotierung bezeichnet das Einbringen von Fremdatomen in ein Grundmaterial als Störquelle, das die elektrische Leitfähigkeit verändert und so als Material für LEDs verwendet wird. Im sichtbaren Bereich des Lichtes befindet sich der gelbe Wellenbereich zwischen 560 und 570 nm (McCall, 2010, S. 195).

2.1.1 Das Auge für die Signalaufnahme als Reizanalysator

Wir verwenden die Augen im ganzen Leben bei alltäglichen Aktivitäten: für die visuell-räumliche Wahrnehmung des Körpers im Raum, unpassendes Verhalten in einer Situation korrigieren, die Welt erfassen.

Wie wichtig und wie hoch der Stellenwert des Sehsinns in der Entwicklung des Menschen ist, zeigt Fischer (1995) auf. Das visuelle System ist in den Wissenschaften am besten untersucht und steht stark im Blickpunkt der Forschung.

Die Augen sind unabdingbar, für die Orientierung von unschätzbarem Wert, aber in der heutigen Zeit nicht lebensnotwendig. Trotzdem ist das Auge für die meisten Menschen der wichtigste Sinn. Für die Wichtigkeit der Augen der Menschen ist aus der Evolution heraus entstehend das Auge gut durch die Augenhöhlen (Orbitae) und den Tränenapparat geschützt.

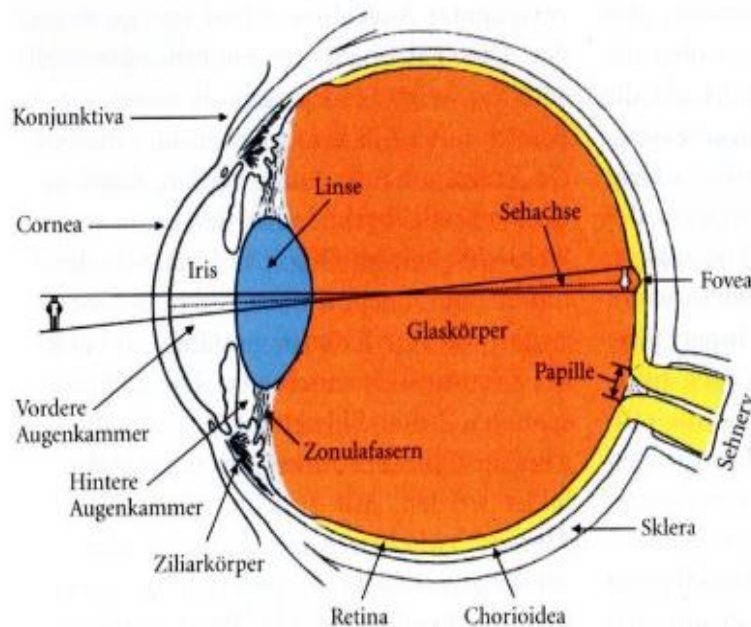


Abb. 4: Schnitt durch das menschliche Auge (Schandry, 2016, S. 239)

Der Lichtstrahl als distaler Reiz wird als bewusste Wahrnehmung empfunden (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 75). Das Photon dringt durch den optischen Apparat [die Hornhaut (Cornea), die vordere Augenkammer (Camera anterior bulbi), die Linse (Lens), den Glaskörper (Corpus vitreum)] und trifft auf die Netzhaut (Retina) (siehe Abb. 4: Schnitt durch das menschliche Auge). Dort werden Intensität, Wellenlänge und räumliche Verteilung des einfallenden Lichtes verarbeitet.

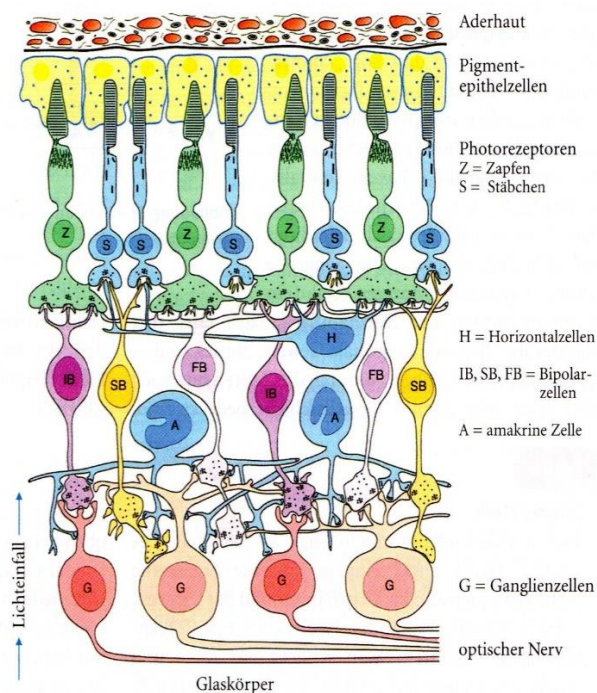


Abb. 5: Aufbau der Netzhaut und ihre Verschaltung (Schandry, 2016, S. 241)

Das Sehen wird in foveales und peripheres Sehen eingeteilt. Das foveale Sehen ist das Scharfsehen mit einer hohen Auflösung im Bereich von 1-2 Grad. Außerhalb dieses kleinen Bereiches beginnt das periphere Sehen, es ist für die Reizaufnahme sehr wichtig, damit Augen- bzw. Körperbewegungen zum Erfassen von Objekten stattfinden können (Preim, 1999, S. 188).

Für die Versorgung der Netzhautrezeptoren und des Auges sind Aderhaut und Pigmentepithelzellen verantwortlich. Zusätzlich dienen sie dem Schutz.

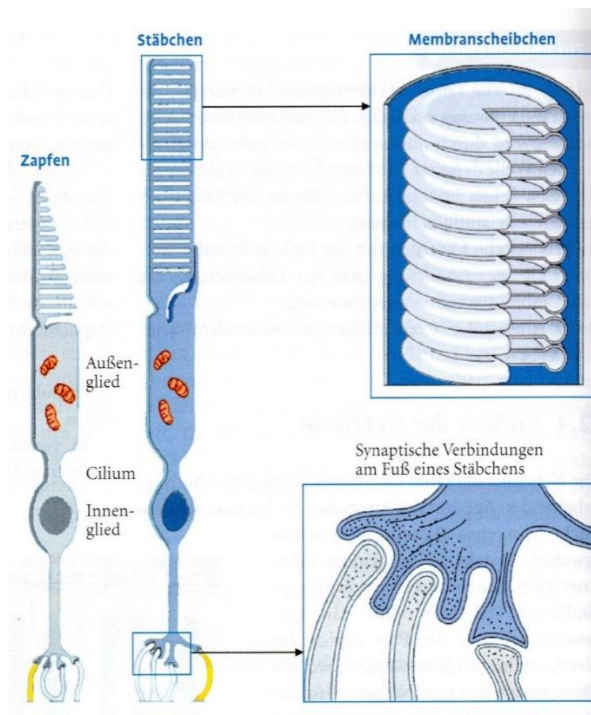


Abb. 6: Aufbau von Zapfen und Stäbchen, Feinbau und synaptische Verbindung am Fuß eines Stäbchens (Schandry, 2016, S. 242)

Das optische Bild wird in den Photorezeptoren (Stäbchen und Zapfen), Horizontal-, Bipolarzellen, amakrinen Zellen und Ganglienzellen (Schandry, 2016, S. 241) wahrgenommen (siehe Abb. 5: Aufbau der Netzhaut und ihre Verschaltung), encodiert, als proximaler Reiz in elektrische Impulse umgewandelt und über den Sehnerv (nervus opticus) an das Gehirn (Cerebrum) und das Rückenmark (medulla spinalis) weitergeleitet.

Der Mensch besitzt rund $5 \cdot 10^6$ Zapfen- und $9 \cdot 10^7$ Stäbchenzellen (Sackmann & Merkel, 2010, S. 285), wobei die Stäbchen nur für das Schwarz-Weißsehen bis ca. 500 nm geeignet und empfindlich sind (siehe Abb. 6: Aufbau von Zapfen und Stäbchen, Feinbau und synaptische Verbindung am Fuß eines Stäbchens). Im Hellen werden die Zapfenrezeptoren verwendet und dienen dem Farbsehen. Schmidt (2006) und Schenk (2010) schreiben, dass für die Erkennung des gelben Lichts die M- und L-Zapfen (Medium and Long wavelength receptor) verantwortlich sind (siehe Abb. 7: spektrale Empfindlichkeit der S-, M- und L-Zapfen und Abb. 8: Normierte Absorptionskurve der menschlichen Fotopigmente).

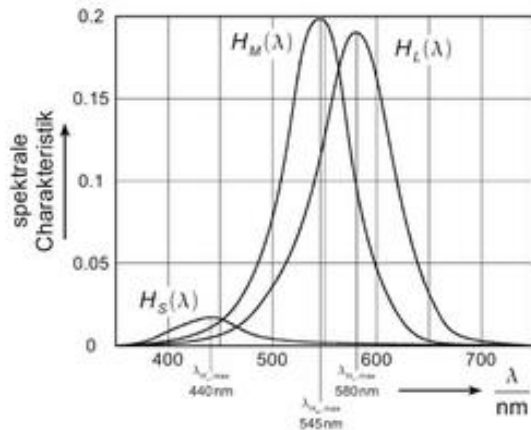


Abb. 7: spektrale Empfindlichkeit der S-, M- und L-Zapfen (Schenk & Rigoll, 2010, S. 49)

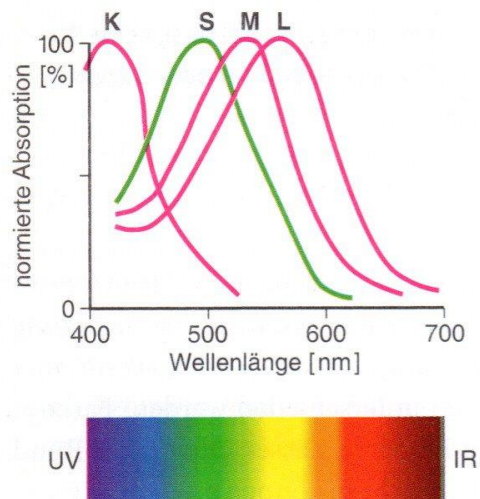


Abb. 8: Normierte Absorptionskurve der menschlichen Fotopigmente (Schmidt & Schaible, 2006, S. 282)

2.1.2 Visuelle Suche

Die visuelle Suche ist eine der wichtigsten Aufgaben des Auges. Unterscheiden sich mehrere Distraktoren in einfachen Reizmerkmalen voneinander, werden diese parallel gesucht, ohne jedem einzelnen Aufmerksamkeit zu schenken. Der visuelle Reiz hebt sich von den anderen Ablenkern ab und springt sofort ins Auge. Das nennt man Pop-Out-Effekt ((Von der Assen, 2016, S. 15), (Karnath & Thier, 2012, S. 314)). In der Theorie der gesteuerten visuellen Suche (guided search theory) wird die Aufmerksamkeit auf den Ort mit der höchsten Hauptkartenaktivierung gerichtet (Hagendorfer, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011, S. 192), wo auch die Reizmerkmale leicht voneinander unterschieden werden und nach Positionen der Reizauslöser gesucht wird.

2.1.3 Parameter des Sehraumes

Die Sehachse wird beschrieben, wenn der Körper eine entspannte Haltung einnimmt:

- vom Kopf gegen Rumpf zwischen 10° und 15° geneigt
- das Auge ist nochmals um 15° bis 20° gegen den Kopf nach unten geneigt (Schmidtke, 1993, S. 508) (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 1041).

Das entspricht dann einer physiologisch ruhig gestellten Sehachsenneigung gegenüber der Horizontalen von ca. 25° bis 30° (siehe Abb. 10: Parameter des Sehraumes).

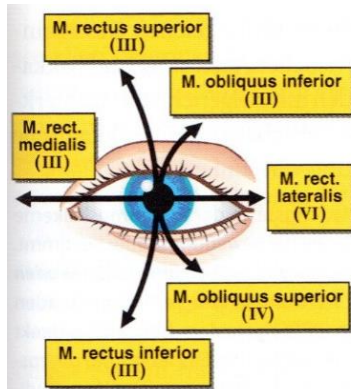


Abb. 9: Bewegungsrichtungen bei Zug der 6 Augenmuskeln (Schmidt & Schaible, 2006, S. 253)

Im Gesichtsfeld (Silbernagl & Despopoulos, Taschenatlas Physiologie, 2007) (Schmidtke, 1993), das entspricht dem horizontalen Abweichungswinkel von 15° von der Sehachse, erkennt der Mensch ohne Augen- und Kopfbewegung die Umwelt.

Im Blickgesichtsfeld bzw. Blickfeld (bis 45° Abweichung von der Sehachse) kommt es zur Augenbewegung. Der Nervus oculomotorius innerviert die sechs Augenmuskeln: Mm. recti superiores, inferiores und mediales, M. obliquus inferior und Nervus trochlearis, M. obliquus superior und Nervus abducens, M. rectus lateralis (Schmidt & Schaible, 2006) (Lang & Lang, 2007) (siehe Abb. 9: Bewegungsrichtungen bei Zug der 6 Augenmuskeln).

Tab. 2: Wahrnehmung der Umwelt durch das Auge - modifiziert (Schmidtke, 1993, S. 508)

	Augenbewegung	Kopfbewegung
Gesichtsfeld	Nein	Nein
Blickgesichtsfeld bzw. Blickfeld	Ja	Nein
Umblickgesichtsfeld bzw. Umblickfeld	Ja	Ja

Im Umblickfeld bzw. Umblickgesichtsfeld wird zusätzlich der Kopf bewegt (siehe Tab. 2: Wahrnehmung der Umwelt durch das Auge - modifiziert und Abb. 10: Parameter des Sehraumes). Das geschieht durch die Muskeln: M. sternocleidomastoideus (innerviert durch N. accessorius, Plexus cervicalis), M. rectus capitis anterior, M. rectus capitis lateralis, M. longus capitis und M. longus colli (innerviert durch Plexus cervicalis), M. splenius cervicis, M. splenius capitis (innerviert durch N. cervicales), M. semispinalis thoracis, M. semispinalis cervicis, M. semispinalis capitis (innerviert durch N. spinales), M. rectus capitis posterior major, M. rectus capitis posterior minor, M. obliquus capitis superior und M. obliquus capitis inferior (innerviert durch N. suboccipitalis) (Paulsen & Waschke, 2010).

Begriffe	Definition	Graphische Darstellung	
		vertikal	horizontal
Normale augenbezogene Sehachse	- Entspannte Kopfhaltung (Neigung der Kopfachse 10° bis 15° zur Vertikalen; Kopfdrehung 0°) - Entspannte Augenhaltung (Neigung der Augenachse gegenüber der Kopfachse 105° bis 110°) - Minimale Haltungsarbeit (s. obige Punkte) - Neigung der normalen augenbezogenen Sehachse zur Horizontalen 25° bis 35° (nach unten vom Auge aus); <u>parallel zur Körpersymmetrieebene</u>		
Gesichtsfeld	- Abweichungswinkel von der Sehachse als Grenze der Wahrnehmung definierter Hellreize - Für Wahrnehmung von Hellreizen unterschiedlicher Farben ergibt sich horizontal und vertikal ein optimales Gesichtsfeld von $\pm 15^\circ$		
Blickfeld	Das Blickfeld umfaßt die Gesamtheit aller Punkte, die bei ruhendem Kopf und bewegten Augen fixiert werden können. <u>Vertikal</u> Bereich von $+25^\circ$ bis -35° ist für Anwendungsfälle vorzusehen, in denen der Neigungswinkel der normalen augenbezogenen Sehachse $\leq 25^\circ$ ist		
Umblickfeld	Gesamtheit aller Raumpunkte, die (bei ruhendem Körper) durch Kopf- und Augenbewegungen fixiert werden können. <u>Vertikal</u> Bereich von $+50^\circ$ bis -55° ist für Anwendungsfälle vorzusehen, in denen der Neigungswinkel der normalen augenbezogenen Sehachse $\leq 25^\circ$ ist		
Umblick-Gesichtsfeld	- Gesamtheit aller Raumpunkte, die sich bei Überlagerung des Umblickfeldes mit dem Gesichtsfeld als Grenzen der Wahrnehmung definierter Hellreize ergeben. - Für Wahrnehmung von Hellreizen unterschiedlicher Farben ergibt sich horizontal und vertikal der graphisch dargestellte Bereich. Vertikal und horizontal Angewiesene Grenzbereiche des Umblick-Gesichtsfeldes sind nicht mit Optimalbereichen zu verwechseln!		

Abb. 10: Parameter des Sehraumes (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 1041)

Kopf- und Augenbewegungen spielen für das Sehen eine wichtige Rolle. Die Aufmerksamkeitszuwendung ist eine schnelle Blickbewegung. Sie wird oft von Kopf- oder Körperbewegungen begleitet, wenn die Aufmerksamkeit durch optische, akustische oder andere Reize in eine andere Richtung gelenkt wird. Es handelt sich dabei um Versionsbewegungen (Röhler, 1995, S. 63).

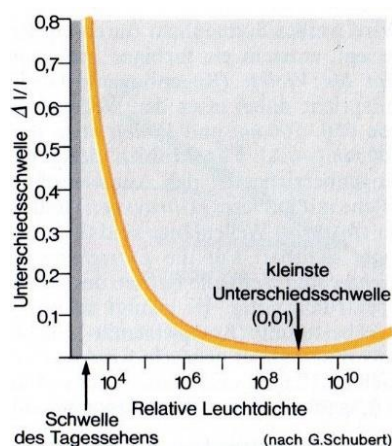


Abb. 11: Unterschiedsschwelle Leuchtdichte (Silbernagl & Despopoulos, 1991, S. 307)

Dabei wird das Gesichtsfeld synchron von den Augenachsen abgetastet, sodass nacheinander verschiedene Bereiche mosaikartig auf die Fovea abgebildet und dadurch scharf gesehen werden.

Der vestibular-okulomotorische Reflex ist die neuronale Kopplung zwischen dem Vestibularorgan (die drei Bogengänge im Innenohr, die die Kopfstellung bzw. ihre Veränderung registrieren) und dem Auge. Es werden Augen- und Körperbewegungen und die dadurch ausgelösten Empfindungen koordiniert (Röhler, 1995, S. 63).

Sakkaden, die ruckartig verlaufenden Bewegungen der Augen, finden sowohl bewusst als auch unbewusst statt und dienen der bewusst oder reflektorisch ausgelösten Aufmerksamkeitszuwendung (Röhler, 1995, S. 63).

2.1.4 Kontrast

Um Formen und Objekte wahrzunehmen, ist der Leuchtdichteunterschied eine wichtige Informationsquelle für die visuelle Erkennung (Röhler, 1995).

Kontrast = $\frac{\Delta L}{L}$ (L Referenzleuchtdichte, ΔL erhöhte bzw. erniedrigte Leuchtdichte)

Die Höhe des Kontrastverhältnisses ($\frac{\text{Maximalhelligkeit}}{\text{Minimalhelligkeit}}$ bzw. der Unterschied zwischen den dunkelsten und hellsten Farbtönen) bewirkt eine Verstärkung der Seheindrücke und führt zu

einer besseren Unterscheidung zweier Objekte (siehe Abb. 11: Unterschiedsschwelle Leuchtdichte).

Durch das hohe Kontrastverhältnis kommt es zum Phänomen des Simultankontrastes. Es erscheint das Helle im Dunklen etwas heller als normal und umgekehrt (siehe Abb. 12: Kontrast).

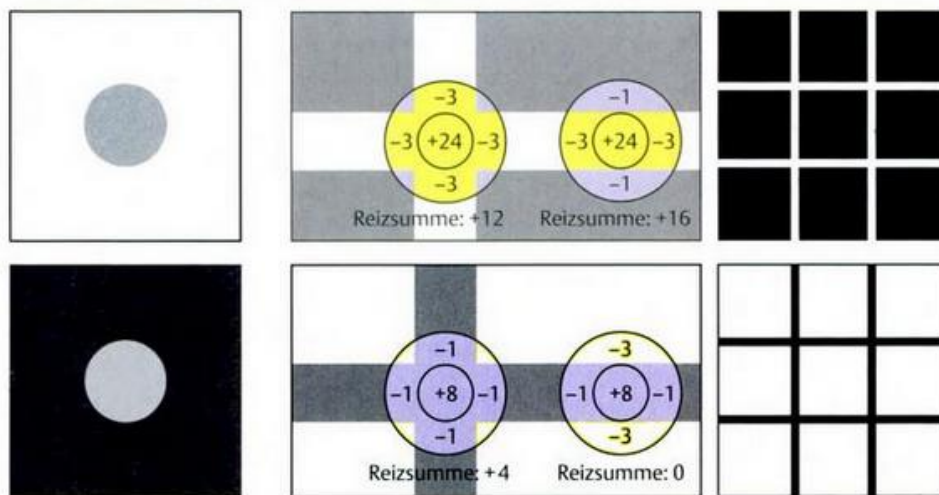


Abb. 12: Kontrast (Silbernagl & Despopoulos, 1991, S. 313)

2.2 Nerven und Bewegung (Elektrischer Impuls, Nerven bis zur Bewegungsausführung)

2.2.1 Entstehung eines Aktionspotenzials

In jeder Zelle herrscht ein Ruhepotenzial von -70 mV. Die elektronische Anregung durch das Licht bewirkt den Übergang vom Opsin-11-cis-Retinal als chromophores lichtabsorbierendes Molekül (auch Zapfenopsin genannt (Rhodopsin verwandtes Molekül)) zum Opsin-all-trans-Retinal. Mit der Retinolisomerase resynthetisiert sich das All-trans-Retinal wieder zurück zum 11-cis-Retinal (siehe Abb. 13: Der Sehvorgang, modifiziert).

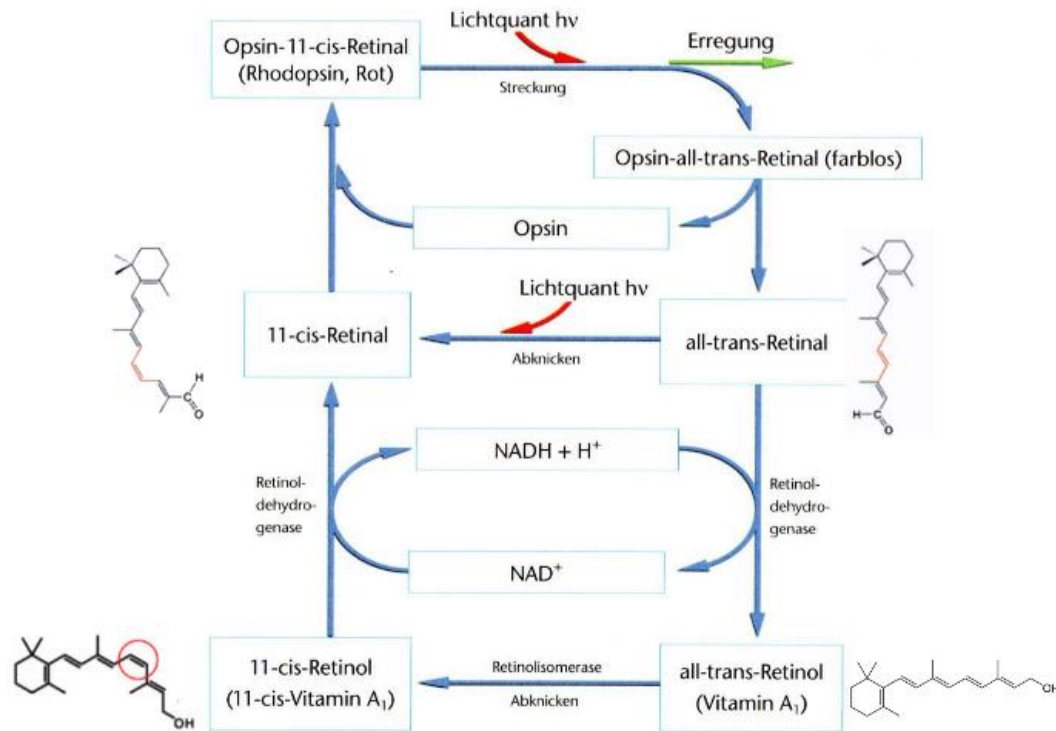


Abb. 13: Der Sehvorgang, modifiziert (Bergmann, 2010, S. 70)

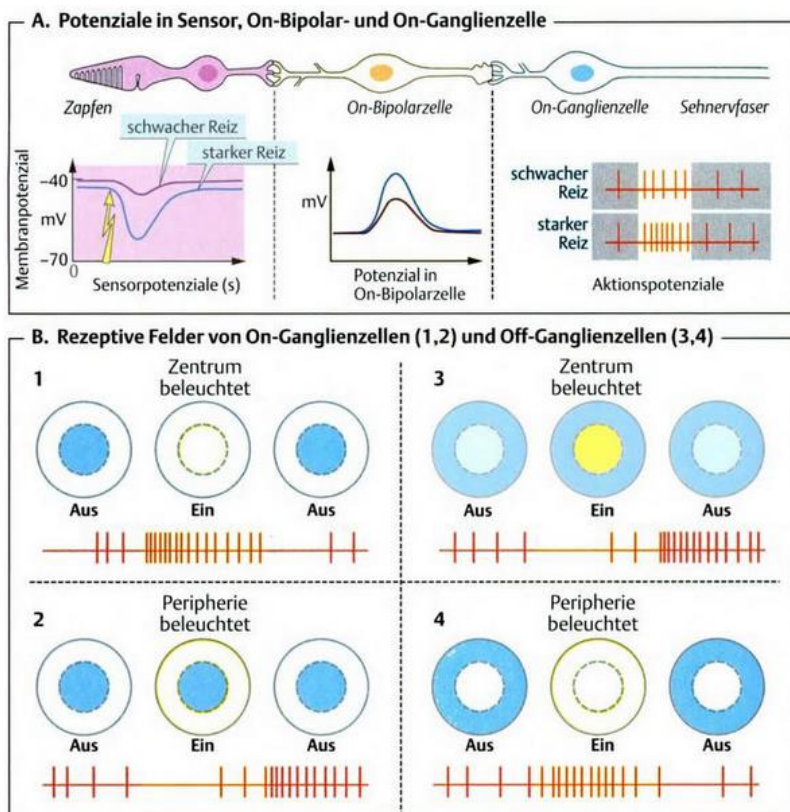


Abb. 14: Sensorpotenzial (Silbernagl & Despopoulos, Taschenatlas Physiologie, 2007, S. 361)

Diese starke Veränderung der Molekülstruktur schließt die Ionenkanäle, sodass die Durchlässigkeit der Zellmembran drastisch vermindert wird. Das verändert in den Photorezeptoren das Spannungsverhältnis vom Ruhepotenzial von -70 mV auf ca. -40mV der Membran, das letztendlich einen Nervenimpuls auslöst, also ein Aktionspotenzial entstehen lässt (Schandry, 2016, S. 62) (Silbernagl & Despopoulos, 1991, S. 306) (siehe Abb. 14: Sensorpotenzial). Diese Impulse werden saltatorisch durch die Ranviersche-Schnürringe weitergeleitet.

Die ersten drei sensorischen Neuronen der Sehbahn (1. Neuron: Zapfen und Stäbchen, 2. Neuron: bipolare Nervenzellen und 3. Neuron: amakrine Zellen und Ganglienzellen) werden in der Netzhaut gebildet.

Die Signalweiterleitung von Neuron zu Neuron erfolgt anhand von Interneuronen.

2.2.2 Afferente Reizweiterleitung – Sehbahn

Das Nervensystem dient der Übermittlung von Nachrichten in unserem Körper. Dadurch können wir Entscheidungen in unserem Zentralnervensystem (ZNS) treffen und Aktionen ausführen.

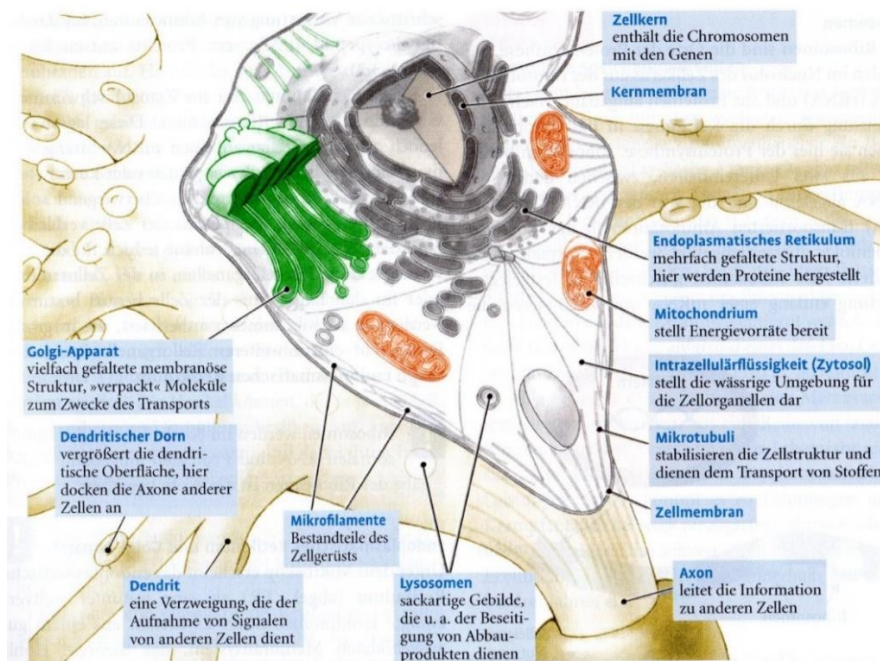


Abb. 15: Typische Bestandteile der Nervenzelle (Schandry, 2016, S. 47)

Die Reizweiterleitung erfolgt in den Nerven durch chemische Transmitter oder elektrische Signale (Schandry, 2016), welche unseren Körper durchstreifen. Die Grundeinheiten der Nerven sind die einzelnen Nervenzellen (Neuronen). Das Neuron ist eine Sonderform der

Zelle mit der Zusatzausstattung von Dendriten und Axonen. Vom eigentlichen Zellkörper gehen mehrere Fortsätze (Dendriten) aus. Sie sorgen dafür, dass von außen ankommende Reize von der Nervenzelle empfangen werden können (siehe Abb. 15: Typische Bestandteile der Nervenzelle). Der Reiz wird dann über das verzweigte Nervensystem, dem Axon bzw. die Axone und Zellen, weitergeleitet.

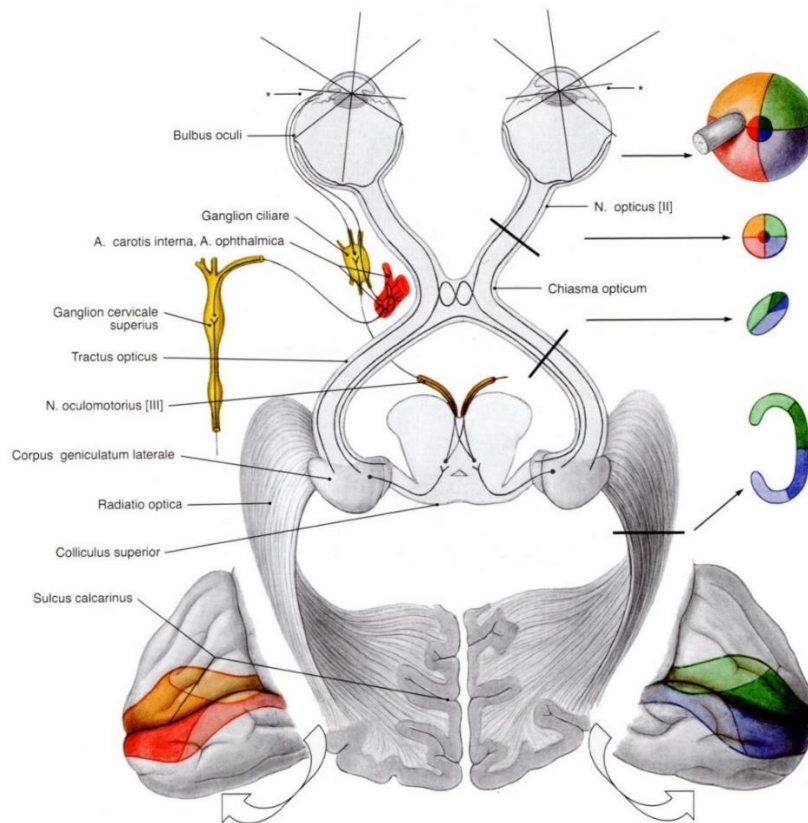


Abb. 16: Überblick Sehbahn (Putz & Pabst, 2006, S. 371)

Der Verlauf der Sehbahn geht von den myelinisierten Axonen vom Sehnerv (Nervus opticus) zur Sehnervenkreuzung (Chiasma opticum) und über die Sehbahn weiter ins Gehirn (Tractus opticus) zu den seitlichen Kniehöckern (Corpus geniculatum laterale), wo auch das 4. Neuron gebildet wird (siehe Abb. 16: Überblick Sehbahn). Die vom Photon auf den Photorezeptoren gebildeten elektrischen Impulse werden über den letzten Teil der Sehbahn, der Sehstrahlung (Radiatio optica), zur Sehrinde (Area striata) weitergeleitet, wo auch die Seindrücke bewusst werden.

2.2.3 Signalverarbeitung im Gehirn und Rückenmark

Die Informationen der Neuronen gelangen in das Gehirn und Rückenmark. Ins Rückenmark treten die sensorischen Signale über die Hinterwurzel ein. Im Gehirn wird die Information

in der sekundären und primären Sehrinde (Areal 17 (primäre), 18 und 19, siehe Abb. 17: Primäre und sekundäre visuelle Sehrinde) interpretiert und weiterverarbeitet. Speziell erfolgt eine Differenzierung der Bildeindrücke, das differenzierte Erkennen der visuellen Information, das Zusammenführen von visuellen Informationen mit der Information aus anderen Sinneskanälen und im Areal 17 die Weiterverarbeitung (Schandry, 2016, S. 158).

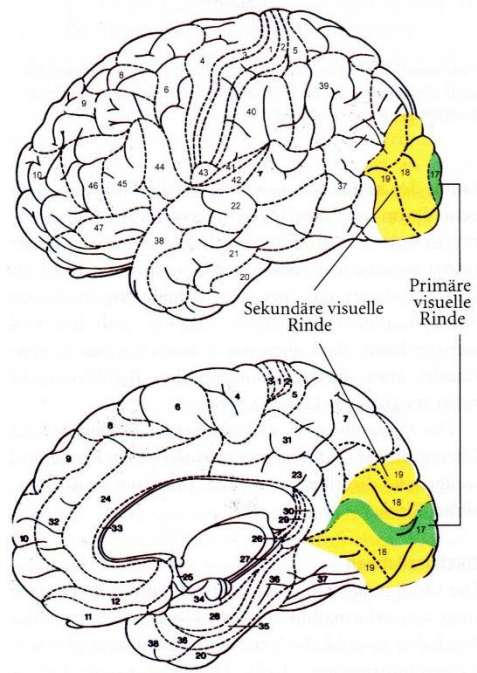


Abb. 17: Primäre und sekundäre visuelle Sehrinde (Schandry, 2016, S. 158)

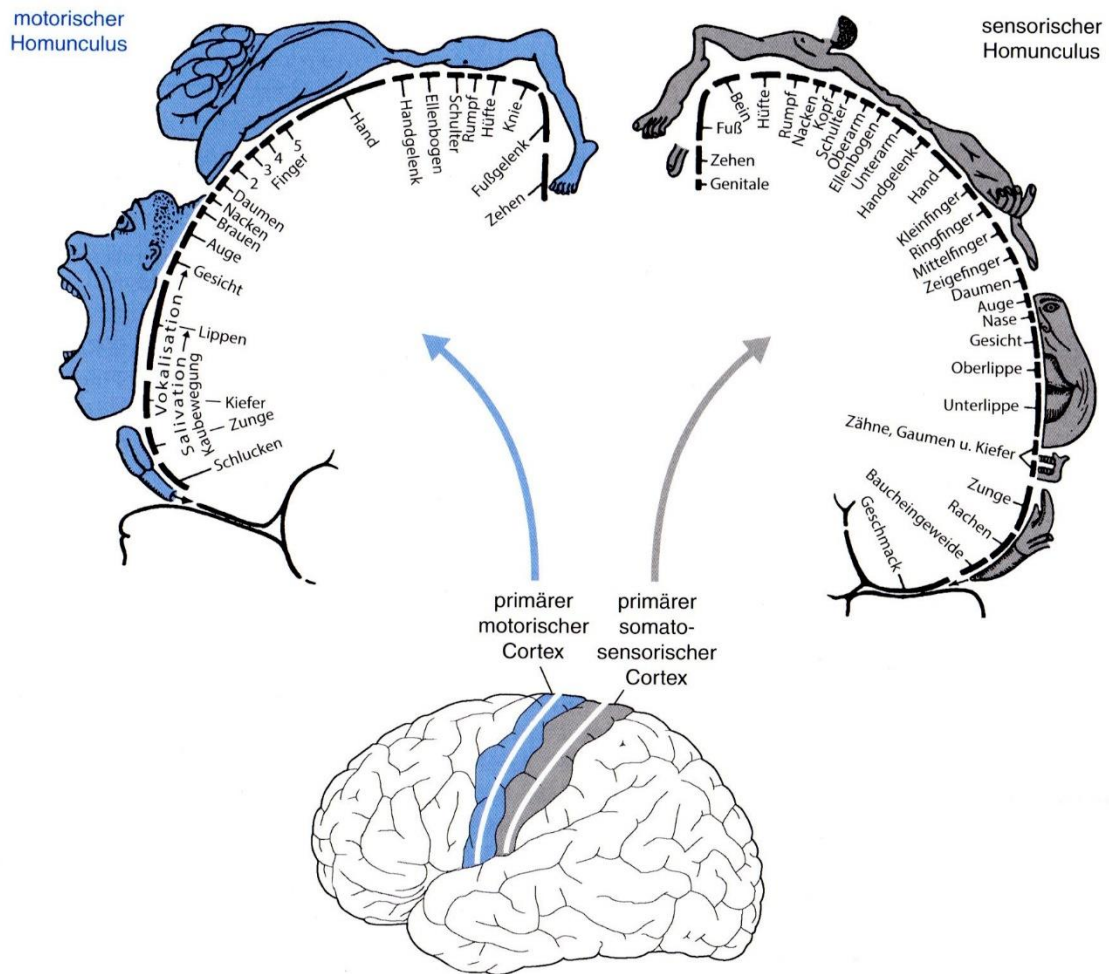


Abb. 18: Homunculus (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 54)

Wie bedeutsam der primäre motorische (Gyrus praecentralis) und der primäre somatosensorische Cortex (Gyrus postcentralis) sind, ist im Homunculus sichtbar (stellt die neuronale Beziehung zwischen den kortikalen Bereichen einerseits und den Skelettmuskeln oder sensorischen Feldern andererseits dar) (siehe Abb. 18: Homunculus). Die komplexe Ansteuerung der vielen Muskeln wird durch den relativ kleinen Bereich des Auges und dem noch geringeren Anteil der Arme und Schultern im Verhältnis zum riesigen Bereich der Hände sichtbar.

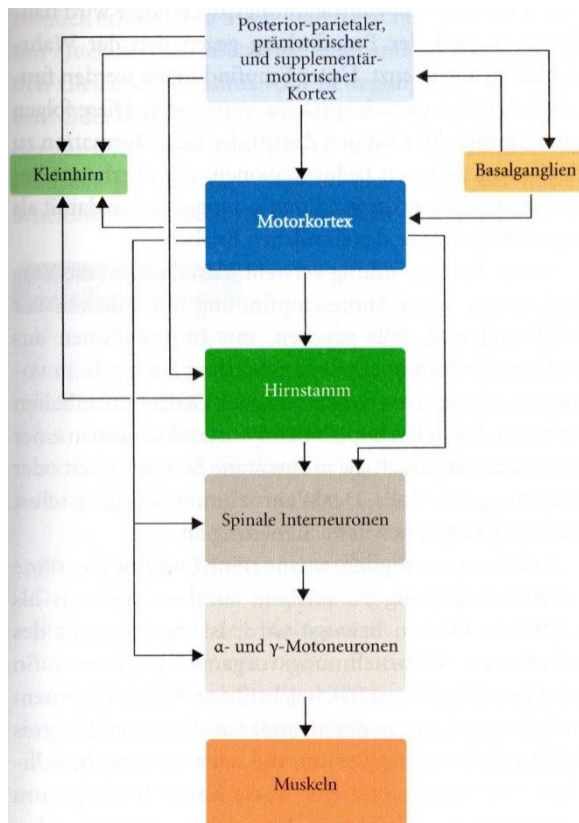


Abb. 19: Vereinfachtes Wirkungsgefüge motorischer Systeme (Schandry, 2016, S. 215)

Die Organisation und die Durchführung der motorischen Aktivität werden in den zentralnervösen Strukturen gesteuert. Kleinhirn und Basalganglien sind gewissermaßen parallelgeschaltet und können die höheren Zentren über Rückmeldebahnen noch modulierend erreichen (siehe Abb. 19: Vereinfachtes Wirkungsgefüge motorischer Systeme).

2.2.4 Efferente Nervenbahn

Das periphere Nervensystem beginnt an der Verbindung Gehirn-Rückenmark, der Medulla oblongata (Schandry, 2016, S. 113) (siehe Abb. 20: Feinbau des Rückenmarks). Von dort aus verlaufen die efferenten Nervenfaserbündel, Cauda equina (Pferdeschwanz), innerhalb der knöchernen Wirbelsäule nach unten und weiter über die Vorderwurzel. Dort verzweigen sich die Faserbündel und treten über die Spinalnerven aus dem Wirbelkanal aus.

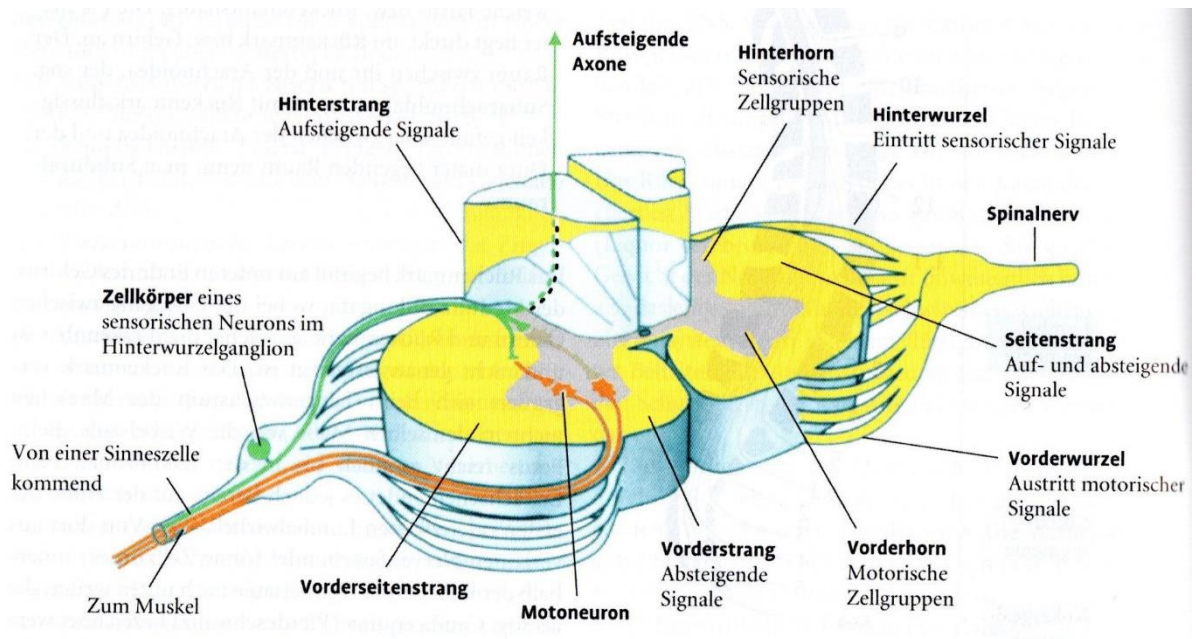


Abb. 20: Feinbau des Rückenmarks (Schandry, 2016, S. 114)

Über spinale Interneuronen wird die Peripherie mit Informationen versorgt.

2.2.4.1 Muskelspezifische Nerven

Informationen, welche vom Interneuron stammen, werden vom Motoneuron ausschließlich an den Muskel weitergegeben. Das Motoneuron innerviert durch die Aufspaltung in mehrere Zielneuronen vor der motorischen Endplatte durch die Axone immer mehrere Muskelfasern (siehe Abb. 21: Neuromuskuläre Übertragung in der quergestreiften Muskulatur). Deshalb findet immer eine koordinierte Kontraktion der Muskelfasern statt (Schandry, 2016, S. 104).

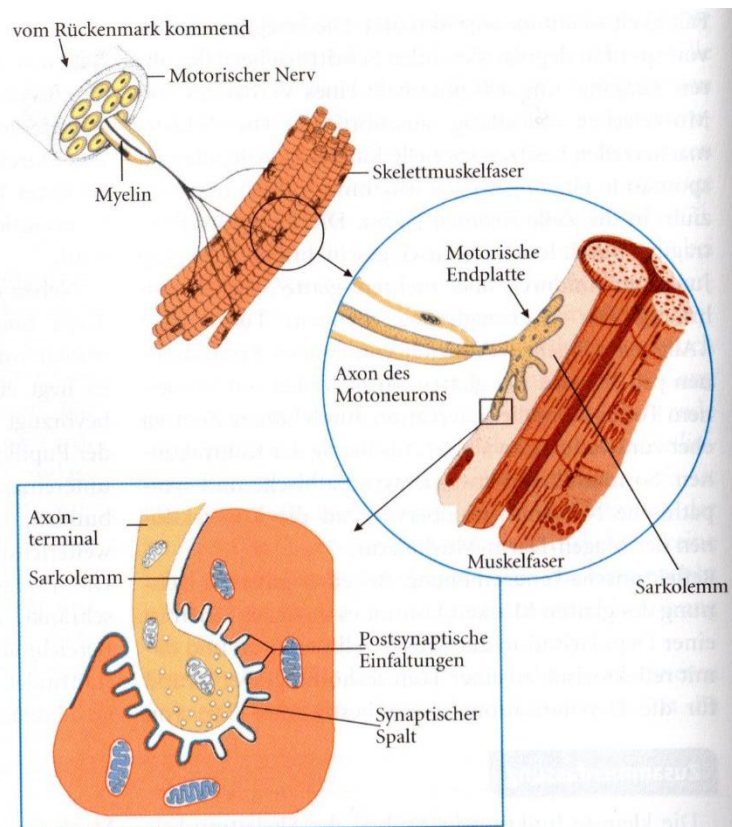


Abb. 21: Neuromuskuläre Übertragung in der quergestreiften Muskulatur (Schandry, 2016, S. 200)

Die oberen Extremitäten werden durch das Armnervengeflecht (Plexus brachialis) innerviert, aus dem drei Nervenstämme, Truncus superior, medius und inferior, entspringen. Diese werden wiederum in drei Nervenbündel aufgespalten. Aus dem Fasciculus lateralis, medialis und posterior gehen die großen Nerven des Arms hervor, die sich weiter in die einzelnen Muskelnerven aufspalten (siehe Abb. 22: Nerven der oberen Extremitäten).

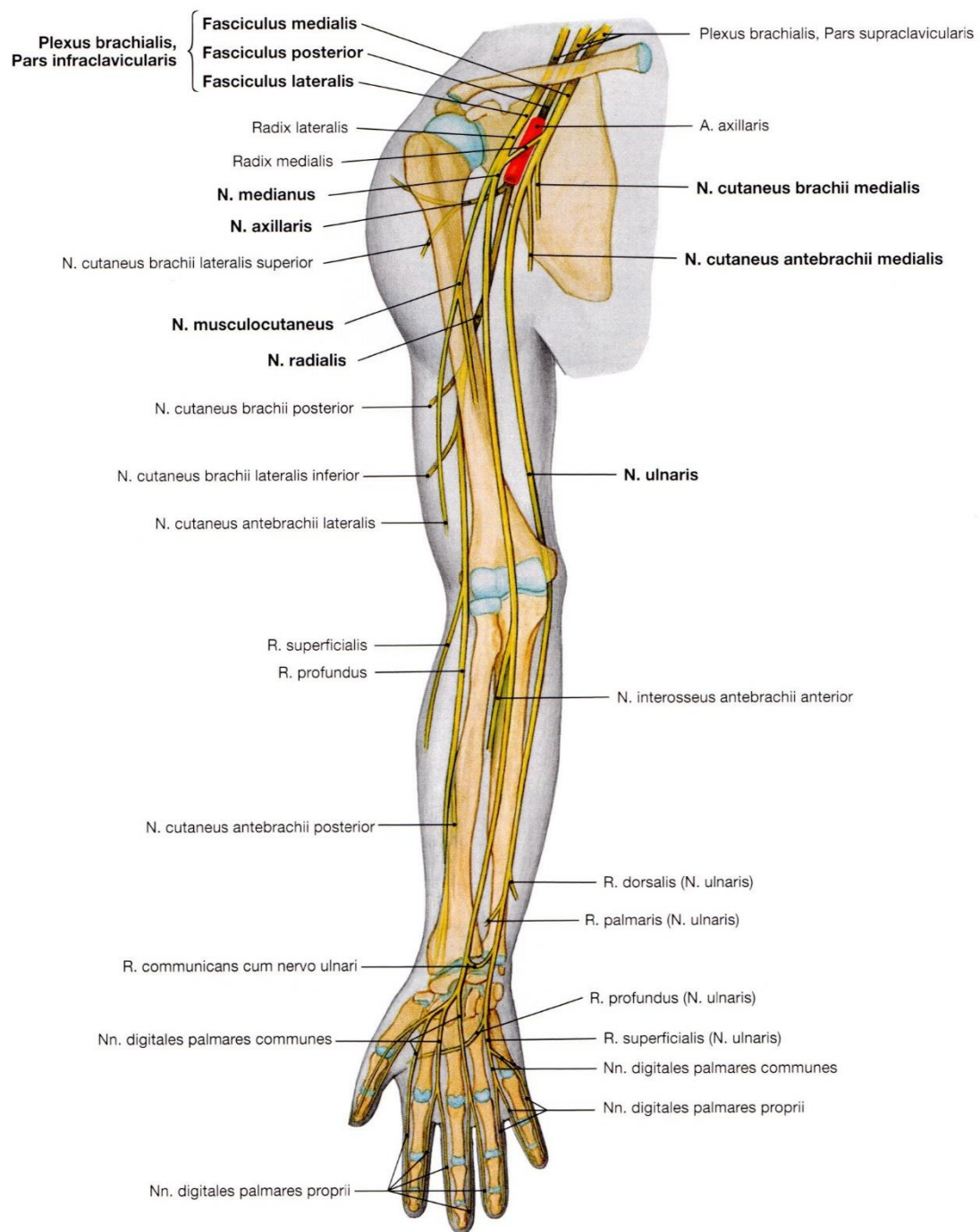


Abb. 22: Nerven der oberen Extremitäten (Putz & Pabst, 2006, S. 195)

2.3 Motorisches Leisten und Lernen - Vom Signal zur Bewegung, zum Bewegungslernen und zur Bewegungssteuerung

Eine Zielhandlung wird ausgeführt, wenn eine willkürliche Bewegung im Gehirn (Lang & Lang, 2007, S. 343), genauer gesagt im prämotorischen Cortex, entworfen bzw. initiiert wird.

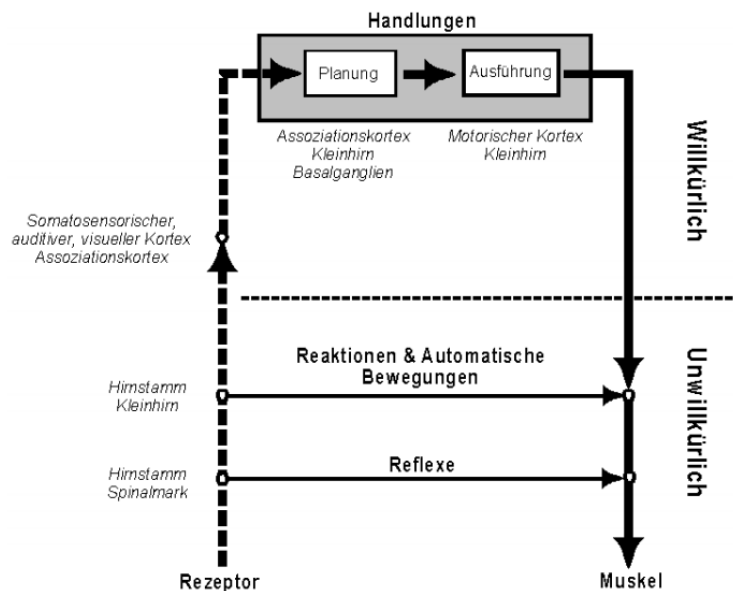


Abb. 23: Schema der verschiedenen Ebenen zur Entstehung der un- und willkürlichen Bewegung (Konczak, 2003, S. 85)

Ein Signal aktiviert den Rezeptor. Die entstandenen Reizinformationen werden über die afferenten Nervenbahnen zum Zentralnervensystem geleitet, verarbeitet und über die efferenten Nerven zur Muskulatur weitergegeben. Es wird eine willkürliche Bewegung ausgeführt (siehe Abb. 23: Schema der verschiedenen Ebenen zur Entstehung der un- und willkürlichen Bewegung).

2.3.1 Reizleitungsreaktionsbeziehung

Von der Signalaufnahme bis zur Reaktion ist es eine lange Wegstrecke. Von der Außenwelt gelangt der Reiz durch einen distalen Stimulus in den Körper des Menschen und wird dort subjektiv interpretiert, woraus ein proximaler Stimulus resultiert. Diese Information wird im Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) verarbeitet und kann zu einer Handlung führen (siehe Abb. 24: Verarbeitungsstufen zwischen Reiz und Reaktion).



Abb. 24: Verarbeitungsstufen zwischen Reiz und Reaktion (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 9)

Durch den Lichtreiz gelangt der sensorische Input zum Reizempfänger, dem Auge. Das auf der Netzhaut entstandene elektrische Signal wird mit Hilfe der afferenten Nerven zum verarbeitenden Gehirn und Rückenmark weitergeleitet und gelangt als motorisches Neuron (Motoneuron) über die efferenten Nervenbahnen zur motorischen Endplatte am ausführenden Effektor, dem Muskel (Lang & Lang, 2007) und (Pöpl & Bullinger, 1994, S. 8) (siehe Abb. 25: Reizreaktionsleitungsbeziehung und Abb. 26: Funktion des Gehirns).

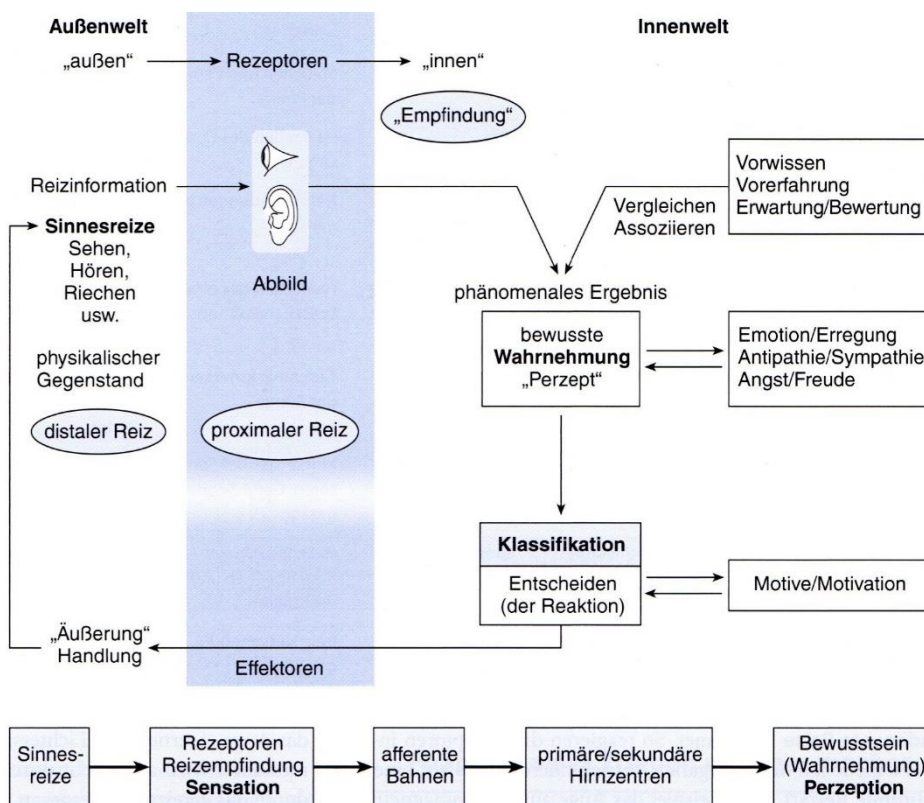


Abb. 25: Reizreaktionsleitungsbeziehung (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 75)

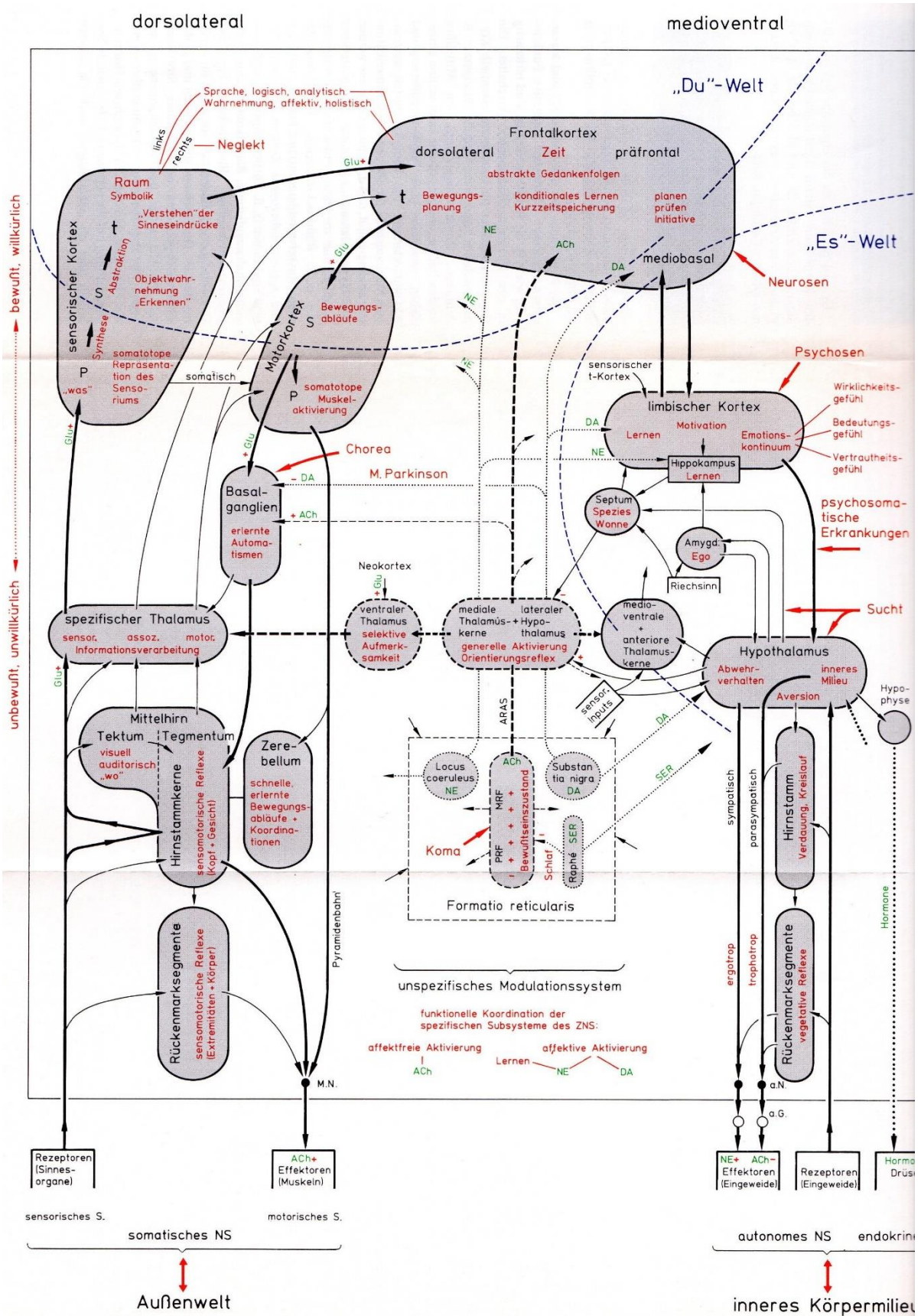


Abb. 26: Funktion des Gehirns (Pöppl & Bullinger, 1994, S. 27)

Grafinger (2010) und Rosenkötter (2012) definieren die Visuomotorik zu einem Teilgebiet der Sensomotorik. Diese beschreibt die Fähigkeit der Koordination des Auges mit den Bewegungen des Körpers oder Teilen des Körpers. Schon im frühen Kindesalter brauchen wir die komplexe kognitive Fähigkeit. Wenn wir willentlich Aufgaben planen und ausführen wollen, brauchen wir das Zusammenspiel von Augen und Händen. Visuelle und motorische Kapazitäten werden gleichzeitig benötigt, z. B. bei der Greifbewegung (Fischer, 1995) / (Pöppel & Bullinger, 1994) oder bei einer automatischen Bewegungskontrolle, z.B. beim Aufleuchten der roten Ampel durch die Entnahme des Fußes vom Gaspedal und das Betätigen des Bremspedales (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 279).

2.3.2 Erklärungsmodelle zur Bewegung und zum Bewegungslernen

Beim Erlernen von Bewegungen bekommt der optische Analysator eine bedeutende Rolle (Meinel & Schnabel, 1998, S. 50). Die vereinfachten Bewegungsabbilder der Wirklichkeit führen zu Erklärungsmodellen für Bewegungen und zum Bewegungslernen. Einfache Bewegungen werden durch Vorzeigen, Anschauen und Nachmachen gelernt. Lernen ist ein Grundvorgang im Leben und in der Entwicklung jedes Menschen und ist somit eine allgemeine Lebenstätigkeit. Wenn man eine Bewegung lernen und danach auch ausführen möchte, schließt man immer die sportmotorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die Aneignung von Verhaltensweisen und -formen, speziell von Handlungen und Fertigkeiten, deren Hauptinhalt die motorische Leistung ist, mit ein (Meinel & Schnabel, 1998, S. 148). Verbesserungen und Verfeinerungen bereits erworbener Bewegungsvollzüge gelingen umso besser, schneller und rationeller, je mehr Kenntnisse dem Lernenden über die Struktur der Bewegungen selbst zur Verfügung stehen (Meinel & Schnabel, 1998, S. 147).

Beim Bewegungslernen kommt es zu einer dauerhaften Veränderung eines Bewegungsablaufs. Das Koordinationsmuster der Muskeln zur absichtlichen Veränderung der Zielbewegung wird erlernt. Dieser Vorgang muss nicht bewusst sein. Auch die Verbesserung eines Bewegungsablaufs, der Ökonomisierung der Bewegung zur schnelleren und flüssigeren Ausführung, ist ein Bewegungslernen.

Bewegungslernen findet ständig statt, da es auch der Anpassung an neue Umweltsituationen dient. Insofern ist das Bewegungslernen ein wesentlicher Bestandteil der evolutionären Entwicklung des Menschen. Da das Bewegungslernen durch die Sinnesorgane gesteuert (Suchen und Einschätzen des Ziels) und geregelt wird (ständige Überprüfung, ob man auf dem richtigen Weg zum Ziel ist), spricht man auch vom sensomotorischen Lernen.

2.3.3 Bewegungssteuerung

Wie die Bewegungssteuerung des Menschen funktioniert, konnte bisher nicht vollständig geklärt werden. Es gibt Erklärungsmodelle, welche sich meist einer der folgenden drei Erklärungsansätze zuordnen lassen.

2.3.3.1 Informationstheoretischer Ansatz

Es wird grundsätzlich angenommen, dass Bewegungen das Ergebnis von Informationsverarbeitungsprozessen sind. Die Kontrolle erfolgt durch zentrale Instanzen und der Verarbeitung von extrinsischen und intrinsischen Rückmeldungen. Bewegungslernen erfolgt über den Aufbau und die Stabilisierung von internen Modellen. Beispiele sind hier die open-loop-Theorie (motorische Programme werden gespeichert), closed-loop-Theorie (Koordinationsmodelle wirken als Regelkreis) (siehe Abb. 27: Recall- (Open-loop) und Recognition- (Closed-loop) Modell) und die daraus weiterentwickelte GMP-Theorie (generalisierte motorische Programme nach Schmidt).

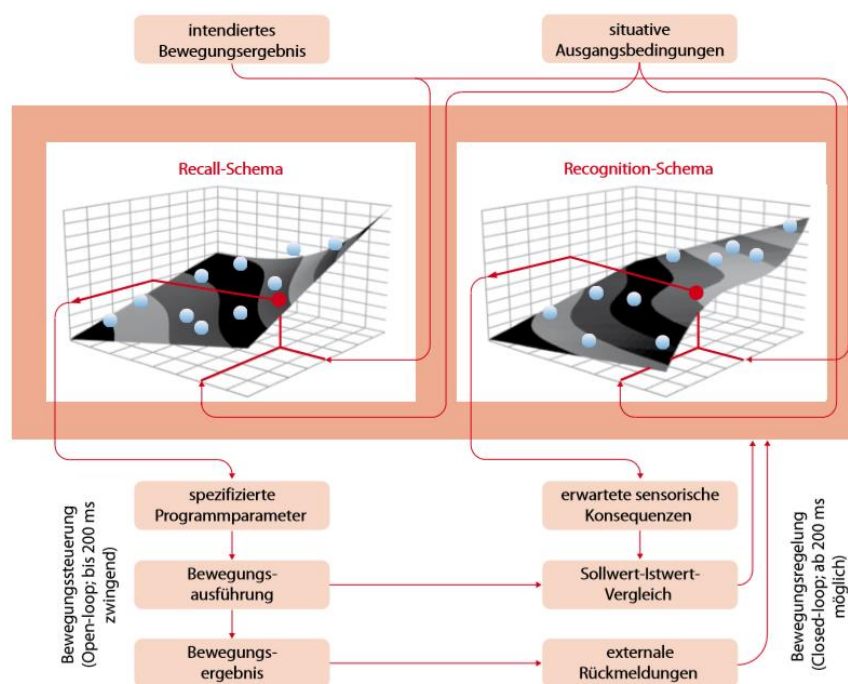


Abb. 27: Recall- (Open-loop) und Recognition- (Closed-loop) Modell (Güllich & Krüger, 2013, S. 219)

2.3.3.2 Handlungstheoretischer Ansatz

Es wird angenommen, dass Bewegungen zielgerichtet und ganzheitlich sind. Sie vollziehen sich in der Auseinandersetzung einer Person mit der materiellen und sozialen Umwelt. Be-

wegungslernen geschieht über die Ausbildung von Regeln, mit denen die Auswahl und Abfolge von basalen Handlungseinheiten festgelegt wird. Beispiele sind hier das TOTE-Modell (Modell zur Untersuchung von zielstrebigem Verhalten) und die Handlungstheorie von Nitsch.

2.3.3.3 Systemdynamischer Ansatz

Der systemdynamische Ansatz baut auf der Theorie dynamischer Systeme auf. Hiernach ist Bewegung das Ergebnis von Selbstorganisationsprozessen. Die Kontrolle der Bewegung erfolgt durch situationsangepasste Muskelkopplungen. Bewegungslernen erfolgt hier als ein Such- und Erfahrungsprozess im Wahrnehmungs- und Erfahrungsraum. Beispiele sind Ökologische Aktionstheorien, die Synergetik, aber auch die Chaos-Theorie.

2.4 Aktiver und passiver Bewegungsapparat (Muskeln und Knochen)

Die Bewegung findet statt, indem der passive (auch Stützapparat genannt: besteht aus Knochen, Gelenken, Bändern, Sehnen, Knorpeln und Bandscheiben) mit dem aktiven Bewegungsapparat (Muskeln und Faszien) zusammenarbeitet, nachdem vom Motoneuron das Signal zur Bewegungsausführung gekommen ist.

Am Stützapparat (Knochen des Schädels, der Rippen, der Wirbelsäule und des Brustbeins) sind die Extremitäten (Knochen von Armen, Beinen, Becken, vom Schulterblatt und Schlüsselbein) angegliedert.

2.4.1 Bewegungskette

Für eine rationale, energiesparende und effektive Bewegung ist eine gut aufeinander abgestimmte Bewegungskette notwendig. Dies ist eine Kombination mehrerer hintereinander geschalteter Gelenke, einschließlich der zugehörigen mehrgelenkigen Muskeln als motorische Funktionseinheit für komplexe Bewegungsabläufe. Das ist ein koordiniertes Zusammenwirken von Funktionssystemen der Hirnrinde, des Kleinhirns und des Rückenmarks einschließlich der zugehörigen Leitungsbahnen mit den ausführenden Muskeln.

2.4.2 Beteiligte Knochen bei der Armbewegung

Wenn eine Armbewegung stattfindet, kann es zusätzlich zu einer Kopfbewegung, einer Anhebung der Schulter und einer Arm-Schulterbewegung kommen.

Folgende Knochen sind beteiligt (siehe Abb. 28: Skelett Vorderansicht):

- Schädel (Cranium)

- Halswirbelsäule (Vertebra cervicalis)
- Schultergürtel: Schlüsselbein (Clavicula) und Schulterblatt (Scapula)
- Freie obere Extremitäten: Oberarm- (Humerus), Speiche (Radius), Elle (Ulna), Handwurzel- (Ossa carpi), Mittelhand- (Ossa metacarpi) und Fingerknochen (Ossa digitorum)

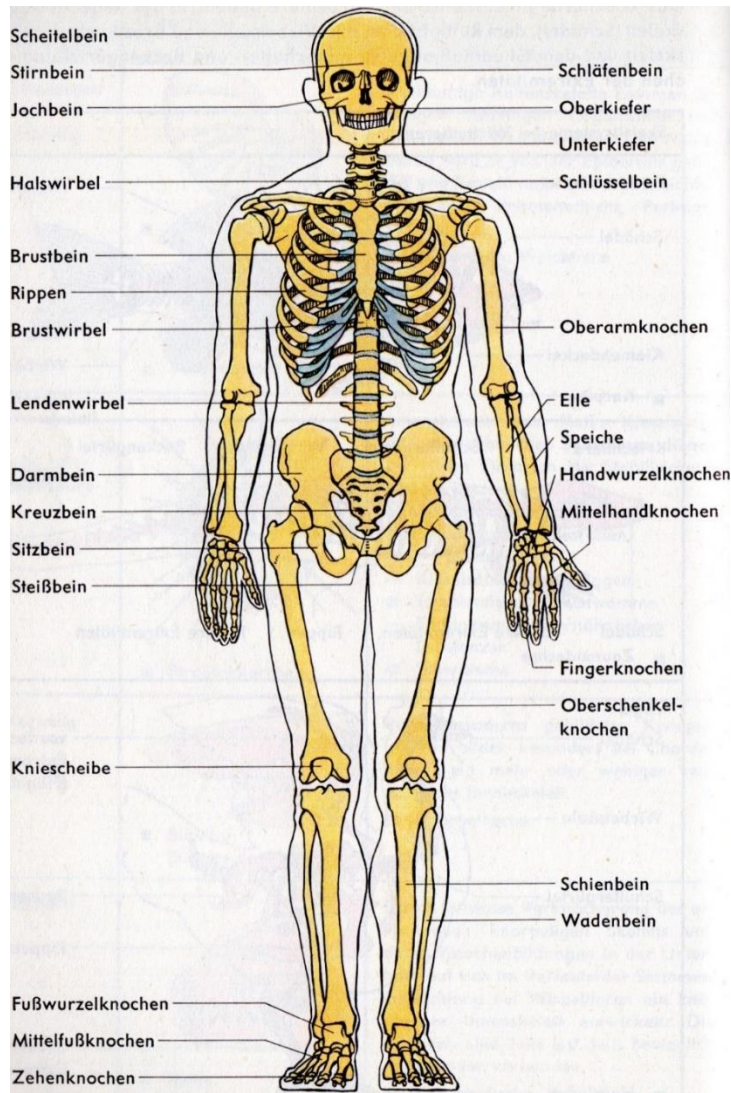


Abb. 28: Skelett Vorderansicht (Meincke & Theuerkauf, 1985, S. 106)

Die beteiligten Knochenverbindungen sind das Sternoklavikular- (Articulatio sternoclavicularis), Schulter- (Articulatio humeri), Ellenbogen- (Articulatio cubiti), Speichen-Elle- (Articulatio radioulnaris distalis) und Hand-Gelenk (Articulatio radiocarpalis, Articulatio mediocarpalis) und die Fingergelenke (Articulationes interphalangeae manus) (siehe Abb. 29: Knochen und Gelenke der oberen Extremität).

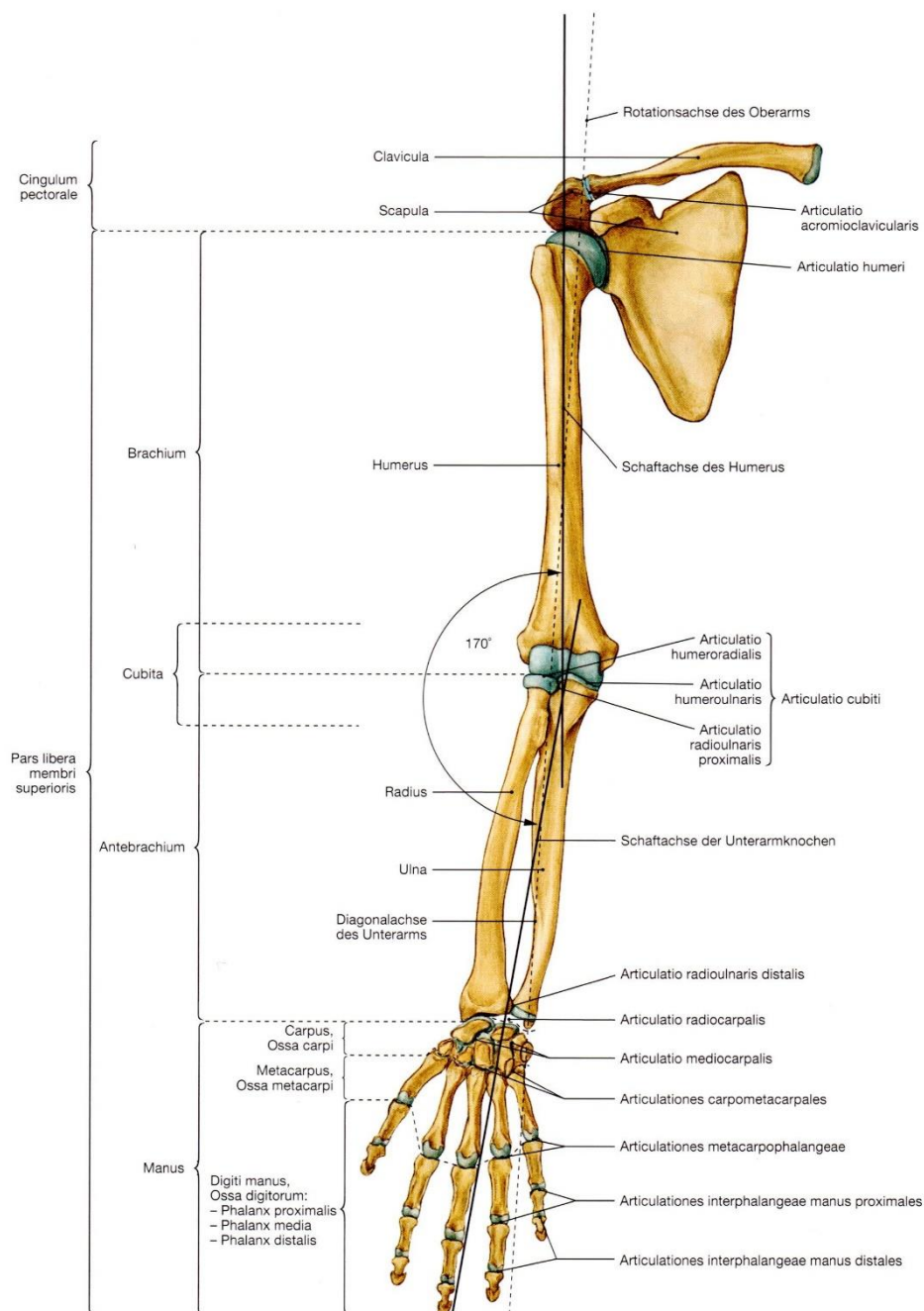


Abb. 29: Knochen und Gelenke der oberen Extremität (Putz & Pabst, 2006, S. 134)

2.4.3 Beteiligte Muskeln, Sehnen und Bänder

Hauptakteure bei der durchzuführenden Bewegung sind die Muskeln des Ober- und Unterarms und der Hände, wobei bei einigen Teilnehmerinnen und Teilnehmern auch der Schultergürtel und Kopf hinzukommen (siehe Abb. 30: Halsmuskeln und Abb. 31: Muskeln von Arm und Brustkorb), wenn die Hände vor dem Körper gekreuzt werden.

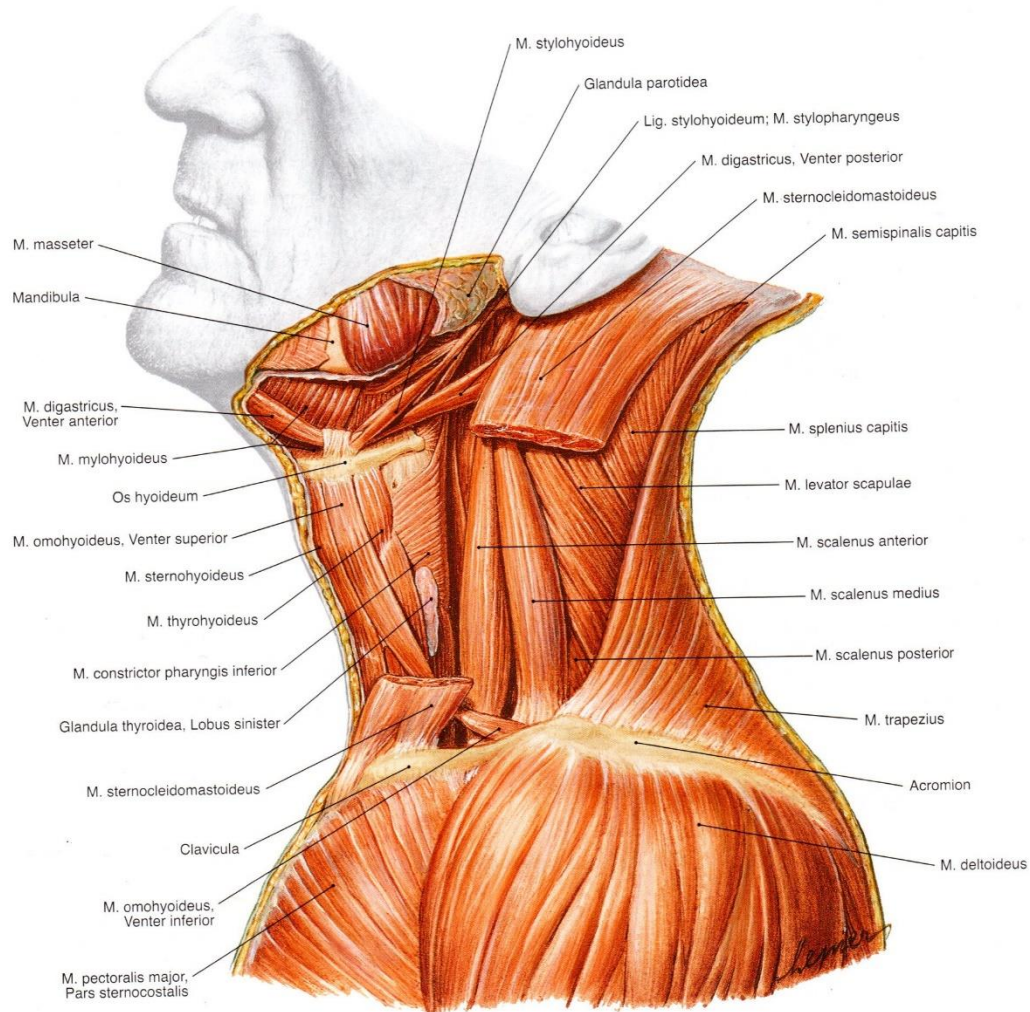


Abb. 30: Halsmuskeln (Putz & Pabst, Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen - Kopf, Hals, obere Extremität, 2006, S. 120)

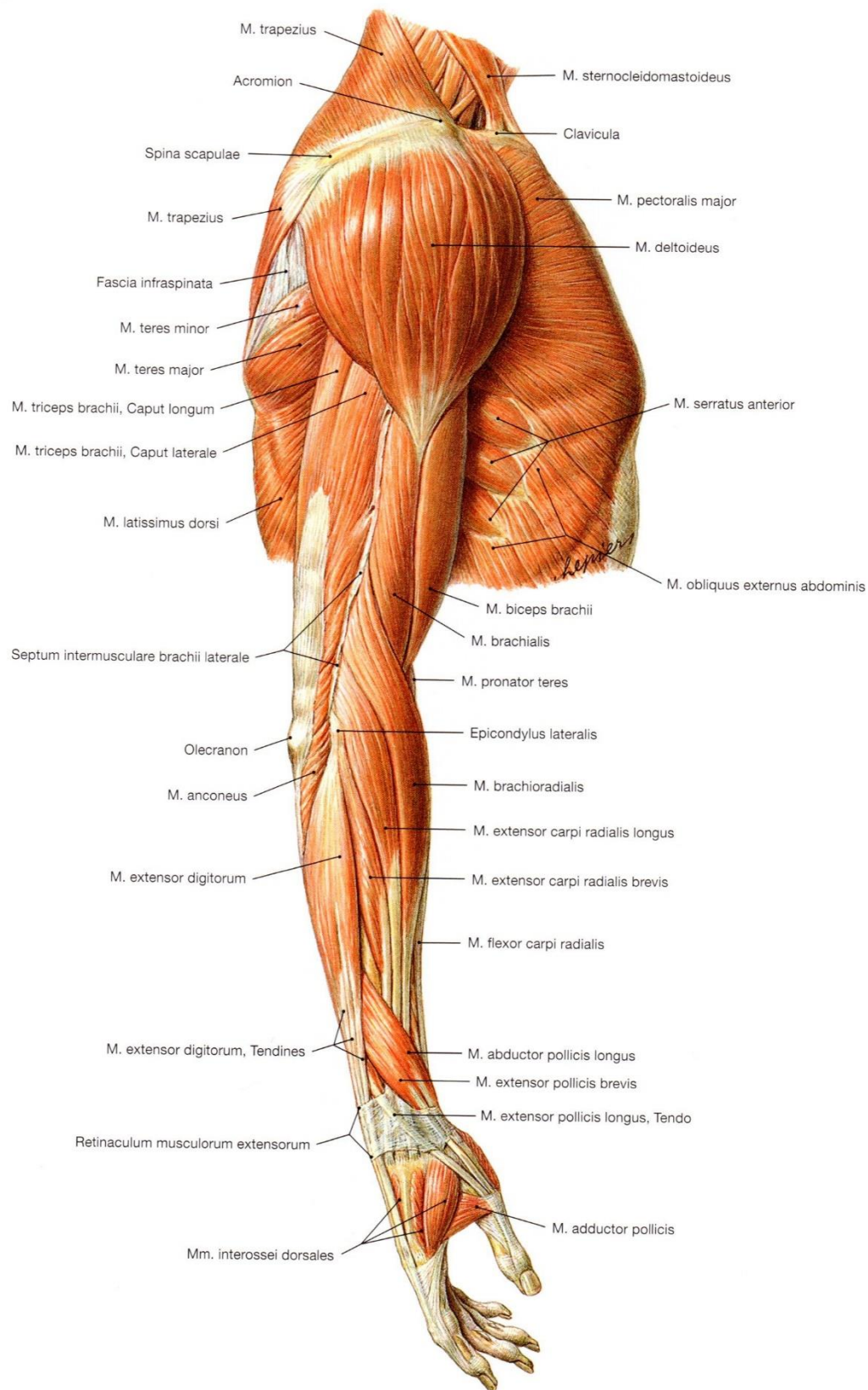


Abb. 31: Muskeln von Arm und Brustkorb (Putz & Pabst, 2006, S. 162)

2.5 Reaktionszeit

Becker-Carus schreibt, dass die Reaktionszeit aus den Prozessen der Reizidentifikation, Reaktionsauswahl und Reaktionsausführung besteht. Bei genauerer Betrachtung sind die einzelnen Verarbeitungsstufen kaum voneinander zu trennen (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 269).

Güllich führt Zaciorskij (1972) an (Güllich & Krüger, 2013, S. 478) (siehe Tab. 3: Zeitkomponenten der Reaktionszeit), wo die Reaktionsschnelligkeit in mehrere Komponenten zerlegt wird.

Tab. 3: Zeitkomponenten der Reaktionszeit (Güllich & Krüger, 2013, S. 478)

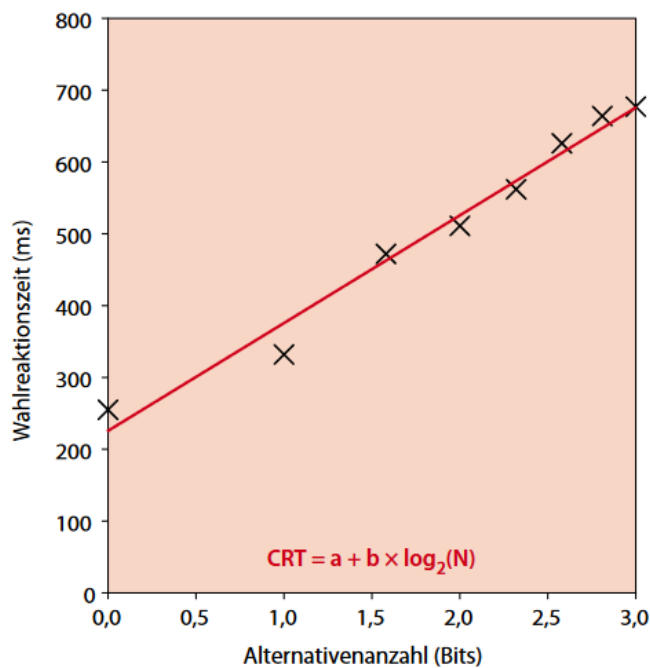
Zeitkomponenten	Zeit in ms (Millisekunden)
Nervenleitzeit vom Auftreffen eines Erregungsreizes bis zur Information im Motorkortex als afferente Zeitkomponente	20-35 ms
Verarbeitung des afferenten Reizes im ZNS	~ 30 ms
Weiterleitung an die Muskulatur	~ 20-30 ms
Latenzzeit an der motorischen Endplatte	< 10 ms
Elektromechanische Verzögerung von der messbaren muskulären Erregung bis zur Kraftübertragung	~ 20 ms
Multiple Reizantwort der Wahlreaktion im Vergleich zur Einfachreaktion	~7 ms

2.5.1 Reizidentifikation

Siehe 2.1 Auge und Licht (Optisches Signal, Auge, visueller Reiz und das Licht)

2.5.2 Reaktionsauswahl

Bevor eine Person auf ein Signal (einen physiologischen Reiz) reagiert, muss diese Person eine Auswahl treffen. Je komplexer Entscheidungen oder Wahlmöglichkeiten sind, desto länger dauert es, die Entscheidung für die Aktion (Handlung) zu treffen. Merkel (1885) und in weiterer Folge Hick (1952) fanden heraus, dass die Auswahl-Reaktionszeit linear mit der Zunahme der Reizinformation zunimmt (Güllich & Krüger, 2013, S. 215) (siehe Abb. 32: Hick'sche Gesetz. Die Wahlreaktionszeit (CRT) steigt mit zunehmender Anzahl (N) der Reaktionsalternativen logarithmisch an).



Bits	0,00	1,00	1,58	2,00	2,32	2,58	2,81	3,00
N	1	2	3	4	5	6	7	8

Abb. 32: Hick'sche Gesetz. Die Wahlreaktionszeit (CRT) steigt mit zunehmender Anzahl (N) der Reaktionsalternativen logarithmisch an (Güllich & Krüger, 2013, S. 216)

Weineck unterscheidet zwischen zwei Arten von Reaktionen des Körpers (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 641):

- Einfache Reaktionsbewegungen: sind kleine Bewegungen eines Körperteils
- Komplexe Reaktionsbewegungen (Auswahl-Reaktion): sind Teil- oder Ganzkörperbewegungen, welche mit schnell auszuführenden Koordinationsanforderungen kombiniert sind

Grosser (Grosser M. , 2007, S. 18) gibt für die einfache, die unspezifische und für die komplexe Reaktionsbewegung die spezifische Bewegungsform an: Reaktionsausführung – Bewegungsausführung.

Die Reaktions- bzw. Bewegungsausführung ist die explosive Muskelkontraktion, gekennzeichnet durch die Bewegungsgeschwindigkeit (Güllich & Krüger, 2013, S. 472).

2.5.3 Reaktions-Schnelligkeit

Unter dem Begriff Schnelligkeit versteht man die Fähigkeit, aufgrund kognitiver Prozesse, maximaler Willenskraft und der Funktionalität des Nerv-Muskel-Systems höchstmögliche

Reaktions- und Bewegungsgeschwindigkeiten zu erzielen (Grosser & Renner, Schnelligkeitstraining, 2007, S. 14). Weineck nimmt noch das Kraftentwicklungsvermögen der Muskulatur hinzu (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 609).

Güllich definiert: „Die Reaktionsschnelligkeit ist eine psychophysische Fähigkeit, auf Reize oder Signale schnell motorisch zu reagieren.“ (Güllich & Krüger, 2013, S. 478). Dem stimmen auch Grosser für die spezifischen Bewegungen (einmalige Bewegungen ohne erhöhten Krafteinsatz) (Grosser & Renner, Schnelligkeitstraining, 2007, S. 17) (siehe Abb. 33 motorische Schnelligkeitsfähigkeiten aus praktischer Sicht) und Weineck (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 610) zu.

Bewegungsform		Unspezifisch/ spezifisch	Bei azyklischen Bewegungen	Bei zyklischen Bewegungen
Erscheinungsform				
Elementare Erscheinungs- formen		Reaktionsschnelligkeit (Einfach- / Auswahlreaktion)	Sequenz-schnelligkeit ¹	Frequenz-schnelligkeit ²
	Mit erhöhtem Kraftanteil		Kraftschnelligkeit ³	Sprintkraft ⁴
Komplexe Erscheinungs- formen	Mit längerer Ausführungsdauer		Kraftschnelligkeitsausdauer ⁵ (öfter wiederholend)	max./submax. Schnelligkeitsausdauer ⁶ (kontinuierlich anhaltend)

Abb. 33 motorische Schnelligkeitsfähigkeiten aus praktischer Sicht (Grosser M. , 2007, S. 18)

2.5.4 Reaktionsausführung - Bewegungsausführung

Um eine Reaktion auszuführen, ist ein Befehl zur Muskulatur verantwortlich, sodass die Bewegung gemacht wird. Über den willentlich im Gehirn entstehenden Kontraktionsbefehl wird der Impuls über das Nervensystem zur motorischen Endplatte weitergeleitet, wo der Impuls auf die Muskulatur trifft. Die

- ST-Fasern (slow twitch Fasern, auch Typ-I-Fasern genannt, rote Muskelfaserfarbe) oder
- FT-Fasern (fast twitch Fasern, auch Typ-II-Fasern genannt, weiße Muskelfaserfarbe)
 - FTO-Fasern (fast twitch oxidativ)
 - FTG-Fasern (fast twitch glykolytisch)

bringen den Muskel dazu, sich zu bewegen.

Im Muskel werden bei einer niedrigen Erregungsschwelle zuerst die ST-Fasern, dann die FTO-Fasern mit einer mittleren und als letztes die FTG-Fasern mit einer hohen Erregungsschwelle aktiviert (Kralle, 2011, S. 46).

Die Kontraktionsgeschwindigkeit und Spannungsentwicklung im Muskel sind bei den FT-Fasern wesentlich höher als bei den ST-Fasern (Schnabel, Harre, & Krug, 2008, S. 164).

2.6 Greifraum

Aus den Arbeitswissenschaften weiß man, dass eine gute Arbeitsleistung, die Personen erbringen, mit dem Arbeitsvolumen in einer bestimmten Arbeitszeit und einer guten Arbeitsqualität abhängt (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010). Die Arbeitsqualität braucht ein bestimmtes Umfeld und auch einen dafür ausgelegten Arbeitsplatz. Für die praktische Testung, die im Grunde einer sitzenden Arbeitstätigkeit entspricht, wurden Vorschläge zur Arbeitsplatzgestaltung der Arbeitswissenschaften für die praktische Auge-Handreaktionszeittestung übernommen.

Die Sitzposition und -höhe zu der Grundplatte mit den aufliegenden Fitlights (siehe 3.3 FITLIGHTS – Start- und Effektorfitlight (Signalgeber und Sensoren)) wurden so gewählt, dass der Blickwinkel und Ellenbogenabstand annähernd einer bequemen aufrechten (mittleren) Sitzhaltung entspricht, wie in der Abbildung Abb. 34: Sitzposition für Gestaltung des Sehraumes (siehe Abb. 34: Sitzposition für Gestaltung des Sehraumes).

			
	Aufrechtes "Stramm-Stehen"	Bequemes Stehen	Bequeme aufrechte (mittlere) Sitzhaltung
Neigung des Kopfes gegen die Senkrechte	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 25^\circ$
Entspannte Sehachse	$\beta_0 = 15^\circ$	$\beta = \beta_0 + \alpha = 30^\circ$	$\beta = \beta_0 + \alpha = 40^\circ$

Abb. 34: Sitzposition für Gestaltung des Sehraumes (Arbeitswissenschaften, 2018, S. 16)

Der Greifraum wurde so verändert, dass die Schüler der 5. und 8. Schulstufe die Effektorfitlights leicht erreichen können (siehe Abb. 35: Maße des Greifraumes in normaler Arbeitshöhe).

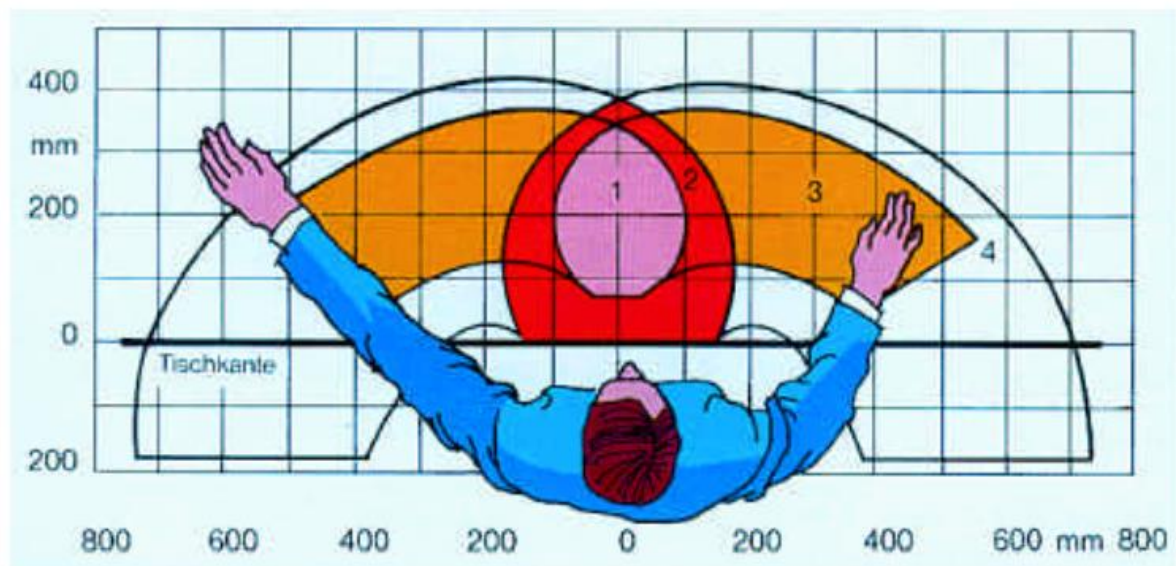


Abb. 35: Maße des Greifraumes in normaler Arbeitshöhe (Metall-Berufsgenossenschaft, 2018, S. 19)

Die Zone 1 beschreibt den Arbeitsraum, wo beide Hände nahe beieinander arbeiten. Zone 2 ist das erweiterte Arbeitszentrum. Hier erreichen beide Hände alle Punkte dieser Zone. In der Zone 3, der Einhandzone, können Teile und Werkzeuge nur mehr mit einer Hand gegriffen werden und die Zone 4 wird als erweiterte Einhandzone beschrieben. Sie ist die äußerste noch nutzbare Zone (siehe Abb. 36: Gestaltung des Greifraumes).

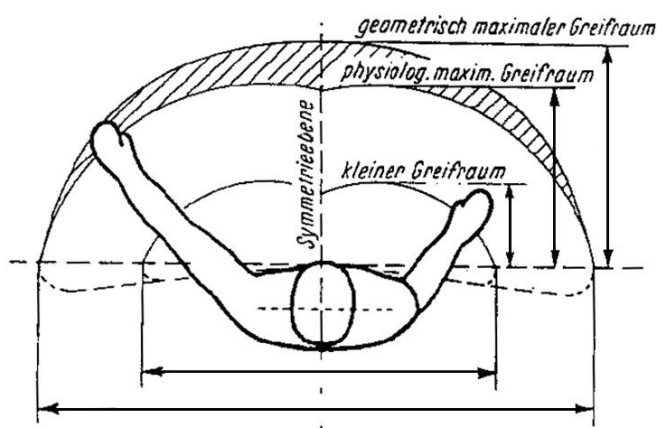


Abb. 36: Gestaltung des Greifraumes (Arbeitswissenschaften, 2018, S. 14)

In den Arbeitswissenschaften wird der Greifraum in einen kleinen, physiologisch maximalen und geometrisch maximalen Greifraum eingeteilt.

3 Messgerät: FITLIGHT-Trainer

In diesem Kapitel wird das zur Testung verwendete Messgerät beschrieben, um eine Reproduzierbarkeit des Versuchs zu ermöglichen. Die Vergleichbarkeit der Messdaten ist durch die verschiedenen Programmiermöglichkeiten der FITLIGHT-Software gegeben.

Das Arbeitsmittel, der FITLIGHT-Trainer, wurde für den Leistungssport entwickelt. Es kann für individuelle Trainings- und Testungszwecke eingesetzt werden, ist ein multifunktionales System und eine besondere Herausforderung im visuellen Schnelligkeits- sowie Reaktionstraining.

3.1 Funktionsbeschreibung

Das FITLIGHT-System (FitlightSportsCorp, 2014, S. 8) besteht aus mehreren Fitlights und einem Tablet mit den dazugehörigen Akkuladegeräten. Die einzelnen Teile werden gemeinsam in einem eigens dafür abgestimmten Ladekoffer gelagert und transportfähig gemacht. Mittlerweile wird das Gerät im Visualtraining neben dem Sport (Schnelligkeit, Kraft, Ausdauer, beim peripheren Sehen und bei der Augen-Körper-Koordination), in der Rehabilitation, Prävention, der Förderung der koordinativen Fähigkeiten und im Fitness-Cardio-bereich Fahrsicherheitstraining (für eine schnellere Entscheidungsfähigkeit, Reaktionsfähigkeit, Aufmerksamkeitsfähigkeit und das periphere Sehen, also die Übersicht zu verbessern, im Straßenverkehr) eingesetzt.

Das Tablet baut eine Bluetooth Verbindung mit den Fitlights auf. Die Fitlights fungieren als Signalgeber und Signalempfänger, welche eine Netzwerkkommunikation zum Tablet für die Zeiterfassung ermöglichen.

3.2 FITLIGHT Tablet

Das Tablet (siehe Abb. 37: FITLIGHT-Tablet mit der Einstiegsoberfläche) mit der Größe von 10,1 Zoll wird durch ein blaues Weichgummicase vor Beschädigungen geschützt. Zusätzlich ist für die Übertragung der Messdaten von den Fitlights zum Tablet ein Funk-Dongle (Dongle ist ein Kopierschutzstecker. Der Dongle dient dazu, Software vor unautorisierter Vervielfältigung zu schützen.) mit Batterie am Mini-USB Anschluss eingesteckt, der eine Datenübertragung bis zu einer Entfernung von 40 m garantiert. Am Tablet sind mehrere Apps installiert, unter anderem auch die FITLIGHT-App.



Abb. 37: FITLIGHT-Tablet mit der Einstiegsoberfläche

Tabletinformationen:

Produkt: Allwinner Tablet KitKat 4.4

Modellnummer: T 1016

Processor type: QuadCoreA33

Android-Version: 4.4.2

Kernel Version: 3.4.39

Programmversion: FITLIGHT Trainer Version 2.8 Build 1359

3.3 FITLIGHTS – Start- und Effektorfitlight (Signalgeber und Sensoren)



Abb. 38: FITLIGHT LED

Die Fitlights (siehe Abb. 38: FITLIGHT LED) sind sowohl digitale Signalgeber als auch -empfänger (Sensoren), welche aktiv mit Strom (NiMH 1,2 TYP.820mAh Akkumulatoren) versorgt werden. Die Größe der Fitlights beträgt 12 cm im Durchmesser und sie sind 3,5 cm hoch. Die Masse umfasst 220 g ohne spezielle Befestigungsmaterialien. Die LEDs leuchten entweder im inneren Ring (4 LEDs), im äußeren Ring (10 LEDs) oder gemeinsam. Aktivieren bzw. deaktivieren kann man die Fitlights mittels Berühren (Einstellung von leicht berühren bis stark schlagen), Annähern (kontaktlose sensible Einstellung in einer Entfernung von 10 cm bis 80 cm) oder beidem gemeinsam. Die Helligkeit und Farbe der Lumineszenzstrahler (nicht thermische Strahler) können über die FITLIGHT-App gesteuert werden (Einstellungsmöglichkeiten siehe Tab. 4: für die Testung wichtige Programmiermöglichkeiten, Beschreibung dieser und Zusammenhang mit der Testung.

3.4 Technik

Die Drahtlosübertragung der Messdaten zum und vom Fitlight zum Tablet erfolgt durch Bluetooth.

3.4.1 Netzwerktest

Beim Netzwerktest wird die Echtzeitübertragung der Daten zwischen Tablet, Fitlights und wieder Tablet überprüft.

Es wurden sieben Fitlights (ein Startfitlight und sechs Effektorfitlights) mit deren Knotenpunkten je 100-mal pro Testdurchlauf getestet (siehe Abb. 39: Screenshots vom Netzwerktest mit den Fitlights).

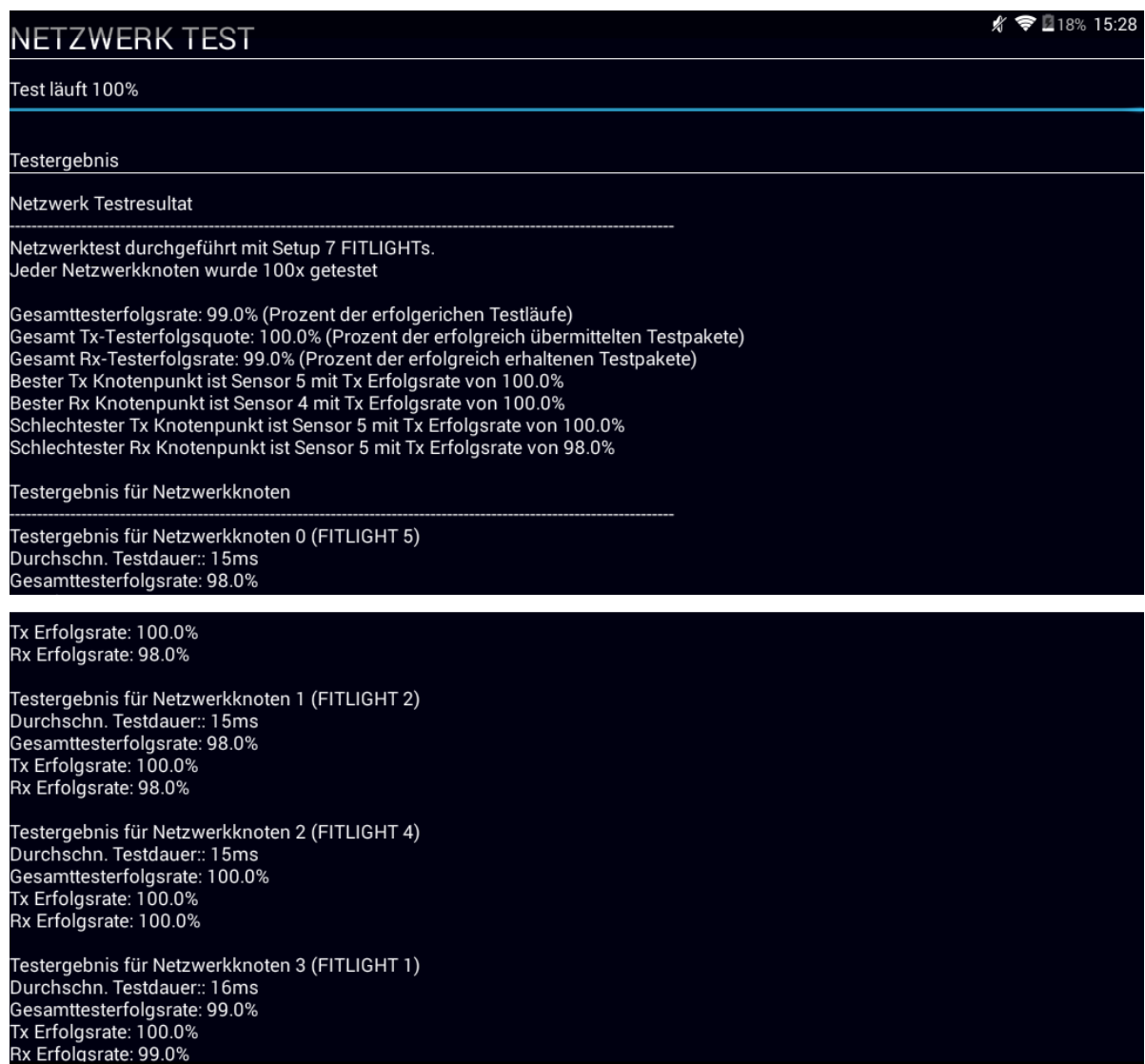




Abb. 39: Screenshots vom Netzwerktest mit den Fitlights

Tx...transmit: Ein Datenpaket wird vom Tablet zu einem zu testenden Fitlight geschickt.

- Rx...receive: Das Fitlight schickt das geschickte Tablet Datenpaket wieder zurück zum Tablet.
- Gesamterfolgsrate sagt aus, wie viele Datenpakete während der Übertragung verloren gegangen sind.
- Tx Erfolgsrate ist immer 100%, denn das Tablet schickt immer 100% der Daten zum Fitlight
- Rx Erfolgsrate ist jener Prozentsatz, was an Datenpaketen retour vom Start- bzw. Effektorfitlight zum Tablet kommt. Die Rx Erfolgsrate hängt von verschiedenen Faktoren ab:
 - die Datenpakete sind beim Hin- oder Retourweg nicht angekommen
 - die Antwortzeit dauert zu lange (zu lange Reaktionszeiten), deshalb wird das Datenpaket gestrichen

3.4.2 Messgenauigkeit

Die Echtzeitübertragung zwischen Tablet, Fitlights und Tablet erfolgt unter 20 ms (siehe Screenshots der Netzwerktestung der verschiedenen Fitlights).

Die Streuung (Netzwerktestung zwischen 15 und 20 ms) ist so gering, dass es zu keinen fehlerbehafteten Ergebnissen kommt.

Die Messgenauigkeit hinsichtlich der Triggerung vom Empfang des Signals (optisch und akustisch) liegt innerhalb von 0,00001 Sekunden (Herstellerinformationen).

Die Herstellerfirma gibt an, dass es bei Messungen mit dem Fitlight Trainer zu keinen systematischen Fehlern kommt.

4 Methode und Testung

Bewegungen leiten meist komplexe motorische Abläufe ein. Da die Bewegung erst nach der Erfassung und Verarbeitung des Signals im ZNS und in weiterer Folge der Befehlsgebung zustande kommt, ist die leistungsdiagnostische Erfassung von Reaktionszeiten komplex (Schnabel, 2002, S. 173). Die Testung wurde deshalb auf einen kleinen motorischen Teilbereich beschränkt.

4.1 Programmierung der Testsequenz

Bei der Sequenzprogrammierung (Program Sequence) (siehe Abb. 40: Screenshot vom FIT-LIGHT-Tablet – Startfitlight mit Effektorfitlight und Abb. 41: Screenshot vom FITLIGTH-Tablet: Effektorfitlight mit Startfitlight) wurden Abfolge des Aufleuchtens, Distanz der kontaktlosen Erfassung, Stoßsensibilität, nächster Schritt der Abfolgesequenz, Verzögerung, Fitlight-, Licht-, LED- und Beepmodus des Fitlights programmiert.



Abb. 40: Screenshot vom FITLIGHT-Tablet – Startfitlight mit Effektorfitlight



Abb. 41: Screenshot vom FITLIGTH-Tablet: Effektorfitlight mit Startfitlight

In der folgenden Tabelle (siehe Tab. 4: für die Testung wichtige Programmiermöglichkeiten, Beschreibung dieser und Zusammenhang mit der Testung) sind die verschiedenen Programmiermöglichkeiten aufgelistet, um die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten darzustellen und die Reproduzierbarkeit der Testung zu gewährleisten.

Tab. 4: für die Testung wichtige Programmiermöglichkeiten, Beschreibung dieser und Zusammenhang mit der Testung

Programmiermöglichkeit	Beschreibung	Zusammenhang mit Testung und mit Vergleich- und Reproduzierbarkeit
Step	Reihenfolge der Sequenz	Die gleiche Reihenfolge der Sequenz ist eine Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Testung.
Fitlightnummer	ein Startfitlight und sechs Effektorfitlights	Damit die gleiche Reihenfolge programmiert werden konnte, waren die Fitlightnummern notwendig.
Distanz	Beschreibt die maximale Entfernung der kontaktlosen Auslösung des Fitlights	Für die kontaktlose Auslösung der Fitlights und des maximalen Abstandes wurde die Distanz bei allen Steps gleich angegeben.
Timeout	Beschreibt die maximale Zeitdifferenz vom Startfitlight zum Effektorfitlight, die vergeht, bis wieder das Startfitlight aufleuchtet	Wenn ein Fehler gemacht wurde, konnte durch die maximale Zeitdifferenz der Effektorfitlights die Testung ohne Unterbrechung weitergeführt werden.
Verzögerung	Beschreibt die Zeit der Verzögerung vom Auslösen des Startfitlights bis zum Aufleuchten des Effektorfitlights	Gleiche Verzögerungen (Zeitverzögerung zwischen dem letzten Kontakt und dem nächsten Aufleuchten) sind eine Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Testung.

Fitlight- farbe	Bei dieser Einstellung kann man die Leuchtfarbe des Fitlights einstellen (pink, grün, rot, hellblau, gelb und dunkelblau)	Siehe 2.1 Auge und Licht (Optisches Signal, Auge, visueller Reiz und das Licht)
Fitlightmo- dus	Hier kann man einstellen, ob das Auslösen mit Kontakt oder kontaktlos erfolgt.	Damit eine einfache Testung stattfinden kann, wurde der Fitlightmodus auf kontaktlos eingestellt. Mit der Einstellung „Kontakt“ wäre eine Vergleichbarkeit nicht gegeben.
Licht Mo- dus	Hier kann man die Anzahl der leuchtenden LEDs einstellen: im Zentrum leuchten 4, im Ring leuchten 8, bei „Voll“ leuchten alle 12 LEDs.	Siehe 2.1 Auge und Licht (Optisches Signal, Auge, visueller Reiz und das Licht)

Tab. 5: Auszug aus der Sequenzprogrammierung

Step	Fitlightnummer	Distanz	Stoss Sensibilität	Timeout	Verzögerung	Fitlightfarbe	Fitlight Modus	Licht Modus	LED Modus	Beep Modus
1	1	10 cm	1	2,90 s	1,0 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
2	2	10 cm	1	3 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
3	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus

Die Reihenfolge der ersten sechs Effektorfitlights (Fitlight 1 / 2 / 3 / 4 / 5 und 6) war bewusst gewählt. Die weitere Reihenfolge wurde willkürlich programmiert. Alle Effektorfitlights leuchteten gleich oft auf.

Einen Auszug der Programmierung findet man in der Tab. 5: Auszug aus der Sequenzprogrammierung. Die vollständige Tabelle der Programmierung findet man unter Punkt 10.2 Ergänzende Abbildungen für Theorie, Methode und Material.

Zusätzlich wurden bei der FITLIGHT-App anonyme Athletennamen (siehe Punkt 4.3.6 Anonyme Codes erstellen) angelegt, damit sich jede Schülerin und jeder Schüler innerhalb

der Klasse und Schule über ihre Auge-Hand Reaktionsschnelligkeit vergleichen konnte. Diese Daten wurden im Februar und März 2018 den Klassenvorständen zum Aufhängen in der Klasse ausgehändigt.

4.2 Administrative Vorbereitungen

Für die Machbarkeit der praktischen Untersuchung von Schülerinnen und Schülern der fünften und achten Schulstufe wurden zuerst die Zusagen des Betreuers der Diplomarbeit, der Direktorien der NMS Hollabrunn, der NMS Wullersdorf, des BG/BRG Hollabrunn und des Landesschulrats für Niederösterreich eingeholt.

Durch die Klassenvorstände erhielten die Schülerinnen und Schüler der 1. und 4. Klassen der betroffenen Schulen die Einverständniserklärung (siehe Abb. 84: Einverständniserklärung). Diese wurden wieder eingesammelt und bis zur Testung archiviert.

Anschließend wurden die Termine für die praktische Testung mit den Lehrkräften der Klassen fixiert.

Der Erstkontakt mit den Schülerinnen und Schülern war der Erhalt der Einverständniserklärung (siehe Abb. 84: Einverständniserklärung). In diesem Schreiben bekamen die Schüler und Schülerinnen und deren Erziehungsberechtigte bzw. auch die Direktoren und Lehrkräfte zusätzliche Informationen zur praktischen Testung und wurden auf der Subuniversitäts-homepage (<http://homepage.univie.ac.at/a9000740/>) auf detailliertere Angaben verwiesen. So konnten sich die Erziehungsberechtigten mit den Kindern näher über die Testung informieren. Auf der Einverständniserklärung und auf der Subuniversitätshomepage (siehe oben) wurde auch ein Link zu einem Anschauungsvideo (auf einem YouTube-Videokanal) mit einer ähnlichen Testung gesetzt.

Die Erlaubnis für die Testung wurde mit einem Bestätigungsschreiben vom Landesschulrat für Niederösterreich gegeben (siehe im Anhang unter Punkt 10.1: Bestätigungen).

4.3 Entwicklung der praktischen Testung

In diesem Kapitel wird über die Entwicklung der praktischen Testung und der zeitliche sowie administrative Aufwand zur Auge-Hand Reaktionszeitmessung beschrieben.

4.3.1 Verfahren zur Erfassung der Messdaten

Die Auge-Handreaktionszeiten setzen sich aus den Bedingungen von Stimulus und Antworthand zusammen.

Für die Erhebung der Reaktionszeiten kam der FITLIGHT-Trainer zum Einsatz. Durch die Anwendung des Spezialgeräts zur Verbesserung der Reaktionszeit im Ball- und Kampfsporttraining, in der Formel 1 und noch vielen anderen Bereichen wurde die Basis für die Entwicklung der Testung und Erfassung der Auge-Hand-Reaktionszeiten geliefert.

Um keine Vorteile durch besser ausgebildete und schnellere Beinmuskulatur zu haben, wurde, wie in psychologischen und visuellen Experimenten, auf den einfachen Aufbau in sitzender Position zurückgegriffen.

Die Einbeziehung der Fachliteratur (theoretische Fundierung) und die dadurch immer wieder entstehende Adaptierung des Tests sowie das Prüfen der Anwendbarkeit der Untersuchung durch Pretests war sehr zeitaufwendig.

Unter Berücksichtigung des Blickfeldes, der anthropometrischen Unterschiede (unterschiedlicher Greifraum und verschieden hohe Sitzpositionen) zwischen der 5. und 8. Schulstufe und der Validität, Reliabilität und Objektivität wurde die wie in der Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung beschriebene Testanordnung zusammengestellt und bei jeder praktischen Untersuchung aufgebaut.

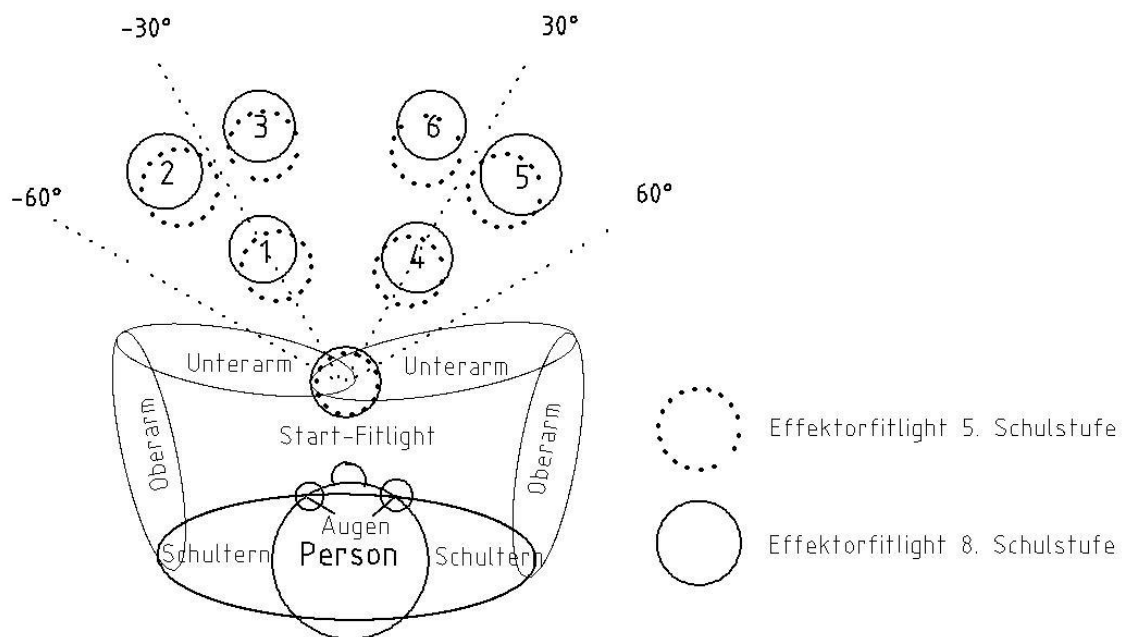


Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung

4.3.2 Abstände der Fitlights

In der folgenden Tabelle findet man Körpergrößen und Oberarmlängen aus der Literatur für die Kinder und Jugendlichen der 5. und 8. Schulstufen.

Anhand der Literatur der Arbeitswissenschaften und der anthropometrischen Daten wurde der Greifraum für die Schüler und Schülerinnen errechnet, um die Anordnung der Fitlights für die praktische Testung festzulegen (siehe Abb. 6: Aufbau von Zapfen und Stäbchen, Feinbau und synaptische Verbindung am Fuß eines Stäbchens).

Tab. 6: Größenvergleich (Körpergröße und Oberarmlänge) zur Berechnung der anthropometrischen Unterschiede von der 5. zur 8. Schulstufe

Alter	Geschlecht	Körpergröße / Körperlänge in cm (Robert Koch Institut 2013)	Größe von Mädchen und Jungen in cm (Deutschland)	Oberarmlänge von Mädchen und Jungen in cm (Deutschland)	Länge / Größe in cm (Schweiz)	Körpergröße Knaben in cm (Österreich)	Größe in cm (Dänemark)	Durchschnitt Körpergröße in cm
10 Jahre	weiblich	141,18	144,20	29,90	137,00		143,00	141,35
10 Jahre	männlich	141,55	143,90	29,90	142,00	140,00	144,00	142,29
13,5 Jahre	weiblich	161,33			158,00		160,00	159,78
13,5 Jahre	männlich	163,10			160,00	164,00	164,00	162,78
13 Jahre	weiblich		161,40	33,80				161,40
13 Jahre	männlich		162,90	34,00				162,90
14 Jahre	weiblich		163,70	34,40				163,70
14 Jahre	männlich		170,30	35,80				170,30
Körpergrößenverhältnis 10 Jahre (5. Schul-) zu 13,5 Jahre (8. Schulstufe)							13 % kleiner	
Oberarmlängenverhältnis 10 Jahre (5. Schul-) zu 13,5 Jahre (8. Schulstufe)							13 % kleiner	



Abb. 43: Grundplatte mit den Markierungen für die Fitlights (5. und 8. Schulstufe)

Die Grundplatte ist eine Holzplatte, welche mit schwarzem Karton beklebt wurde und ein Ausmaß von 98 cm x 70 cm hat. Die Markierungen wurden mit einem dünnen weißen Permanentstift auf den Karton aufgezeichnet (siehe Abb. 43: Grundplatte mit den Markierungen für die Fitlights (5. und 8. Schulstufe), Abb. 44: Grundplatte mit den aufgelegten Fitlights für die 5. Schulstufe und Abb. 45: Grundplatte mit den aufgelegten Fitlights für die 8. Schulstufe).

Der Mittelpunkt des Startfitlights ist 6,3 cm von der Kante entfernt.

Beim Abstand der Effektorfitlights zum Startfitlight wurden die errechneten Werte der 8. Schulstufe als 100% festgesetzt. Der Abstand der Effektorfitlights der 5. Schulstufe wurden um 13% zum Startfitlight verkürzt. Diese Anordnung wurde gewählt, damit eine weitere Testung mit älteren Schülerinnen und Schülern bzw. Erwachsenen durchgeführt werden kann.



Abb. 44: Grundplatte mit den aufgelegten Fitlights für die 5. Schulstufe



Abb. 45: Grundplatte mit den aufgelegten Fitlights für die 8. Schulstufe

Die Abweichungswinkel wurden so gewählt, dass je zwei Fitlights (je ein Effektorfitlight auf der rechten und linken Seite) im Gesichts-, Blick- und Umblickgesichtsfeld positioniert wurden (siehe Tab. 7: Abstände der Effektorfitlights zum Startfitlight im Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe (siehe Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung)).

Tab. 7: Abstände der Effektorfitlights zum Startfitlight im Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe (siehe Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung)

	Entfernung Effektorfitlightmittelpunkt zum Startfitlightmittelpunkt		Abweichungswinkel von der Sehachse
	5. Schulstufe	8. Schulstufe	
Fitlight 1	17,4 cm	20 cm	30°
Fitlight 2	30,5 cm	35 cm	40°
Fitlight 3	30,5 cm	35 cm	15°
Fitlight 4	17,4 cm	20 cm	30°
Fitlight 5	30,5 cm	35 cm	40°
Fitlight 6	30,5 cm	35 cm	15°

4.3.3 Abfolge der Sequenzen der aufleuchtenden Fitlights

Das Aufleuchten des Startfitlights war vorgegeben, um die Reaktionszeiten messen zu können. So leuchtete immer zuerst das Startfitlight auf und erst dann ein Effektorfitlight.

Obwohl man durch das FITLIGHT-System eine individuelle Programmierung erstellen kann, wurde am Beginn die Sequenz so programmiert, dass man die Reaktionszeit von jedem verwendeten Effektorfitlight einmal misst.

Die weitere Sequenzabfolge wurde so gewählt, dass kein Wiedererkennungsmuster entsteht. Je länger die Testung lief, umso kürzer war die Pause zwischen den Aktivierungen des Startfitlights. Die genaue Sequenz ist im Anhang angeführt (Tab. 36: Sequenzprogrammierung der Testung mit dem FITLIGHT-Trainer).

4.3.4 Alle denkbaren Wahlmöglichkeiten - Antwortmöglichkeiten

Bevor eine Person auf ein Signal (einen physiologischen Reiz) reagiert, muss die Schülerin oder der Schüler eine Auswahl treffen. Die Auswahlaufgabe ist es, beim Gelb-Aufleuchten eines Fitlights eine Hand dort hin zu bewegen, sodass der Sensor des Fitlights die Hand erkennt und zur nächsten programmierten Aktion weitergeht. Die Zeit, die zwischen dem Aufleuchten und der Erfassung der Hand durch den Sensor vergeht, ist die Reaktionszeit. Je komplexer Entscheidungen oder Wahlmöglichkeiten sind, desto länger dauerte es, die Entscheidung für die Aktion (Handlung) zu treffen. Merkel (1885) und in weiterer Folge Hick (1952) haben herausgefunden, dass die Auswahl-Reaktionszeit linear mit Zunahme der Reizinformation zunimmt (Güllich & Krüger, 2013, S. 215) (vergleiche auch Punkt 2.5.2).

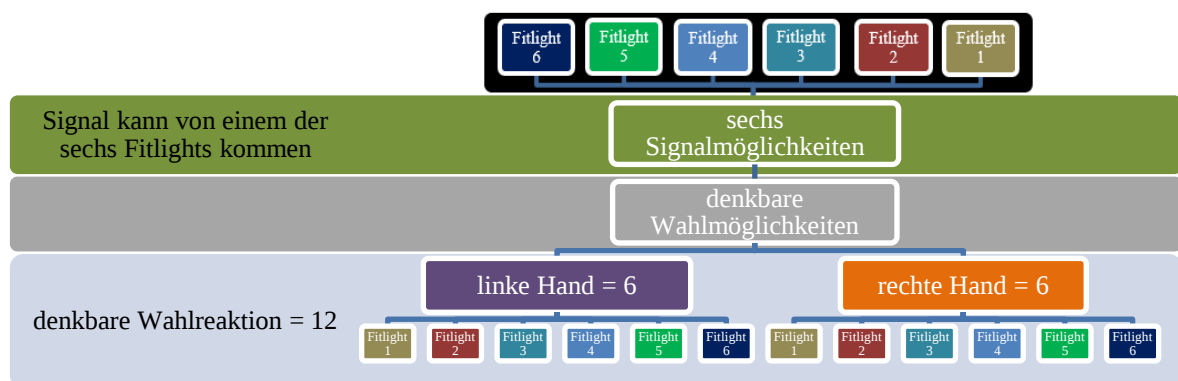


Abb. 46: denkbare Wahlmöglichkeiten

Um zu verhindern, dass irgendwelche Sehschwächen und -einschränkungen das Ergebnis verfälschen können, wurde

- der Kontrast von der schwarzen Unterlage zum sehr hellleuchtenden (Einstellung voll) Gelb des Effektorfitlights möglichst groß gehalten
- der Startfitlight in grün (nur Zentrum = schwach leuchtend und wenig störend) programmiert, damit dieser durch die gespreizten Finger wenig störend wirkt.

Aus der Anordnung der Fitlights ergaben sich zwei Möglichkeiten der Reaktion (siehe Abb. 46: denkbare Wahlmöglichkeiten und Tab. 8: Antwortmöglichkeiten: Welche Hand bewegt

sich zum Effektorfitlight). Beim Aufleuchten der Fitlights 1, 2 oder 3 konnte man die linke Hand verwenden oder mit der rechten Hand kreuzen. Bei den Fitlights 4, 5 und 6 konnte man die nähere rechte oder die weiter entfernte linke Hand benutzen (es entstand dadurch auch eine Handkreuzung). Um die Differenzzeit zwischen Startfitlight und Effektorfitlight möglichst kurz zu halten und messen zu können, war es besser, bei Fitlight 1,2,3 die linke Hand und bei Fitlight 4,5,6 die rechte Hand zu verwenden. Bei der Testung kam es zum Gebrauch beider Hände mit oder ohne Handkreuzung, das heißt manche Kinder verwendeten sogar nur eine Hand.

Tab. 8: Antwortmöglichkeiten: Welche Hand bewegt sich zum Effektorfitlight

		Fitlights leuchten links - (Fitlight 1, 2, 3)	Fitlights leuchten rechts - (Fitlight 4, 5, 6)
logische Ausführung	linke Hand	x	
	rechte Hand		x
gekreuzte Ausführung	linke Hand		x
	rechte Hand	x	

4.3.5 Vortestungen – Pretests

Nach der Selbsttestung und durch die Vortestungen an Erwachsenen (12 Versuchspersonen) (siehe Tab. 9: Versuchspersonen bei den Vortestungen) wurde die anfängliche Anordnung von acht Effektorfitlights bei den Jugendlichen (8 Jugendliche), Kindern (5 Kinder) und nochmals Kindern (7 Kinder) auf sechs reduziert. Diese Reduktion erfolgte, da der Abstand der Effektorfitlights zum Körper (außerhalb des Greifraumes) durch die Anordnung der acht Fitlights für die Kinder zu weit weg war.

Auch der Einführungstext wurde adaptiert und auf eine kindgerechte Formulierung geändert.

Tab. 9: Versuchspersonen bei den Vortestungen

	Anzahl der Testpersonen	Altersgruppe	Anzahl der Effektorfitlights
Ende Oktober	1	Erwachsener	8 Effektorfitlights
Anfang November	12	Erwachsene	8 Effektorfitlights
Mitte November	8	Jugendliche	6 Effektorfitlights
Ende November	5	Kinder	6 Effektorfitlights
Anfang Dezember	7	Kinder	6 Effektorfitlights

4.3.6 Anonyme Codes erstellen

Für die Pretests und Tests in den Schulen wurde ein anonymer Code durch die Vorgaben des Landesschulrats (anonyme Messdaten erstellen) angelegt. Für die statistische Auswertung war wichtig, dass zwischen 5. / 8. Schulstufe und dem Geschlecht (Mädchen / Knaben) unterschieden werden konnte. Zusätzlich wurde noch ein Kürzel für die Schulen und Klassen eingefügt, damit sich die Schüler und Schülerinnen in den klasseninternen Statistiken vergleichen konnten.

Der Athletenname bestand aus Schulkürzel, Klasse, Nummer und Geschlecht (Abb. 51: Testungsprotokollvorlage der 1f vom BG / BRG Hollabrunn S. 71).

- h1b1w bedeutete: h für NMS Hollabrunn, 1b für die Klasse 1b und 1w für die erste weibliche Teilnehmerin
- w4a2m: w für NMS Wullersdorf, 4a für die Klasse 4a und 2m für den zweiten männlichen Teilnehmer
- g1f3w: g für BG Hollabrunn, 1f für die Klasse 1f und 3w für die dritte weibliche Testperson.

Diese anonymen Codes wurden vor der Testung für die maximale Anzahl der Schüler und Schülerinnen der Schulklassen am Tablet im Programm des FITLIGHT-Trainers angelegt. Für Excel und SPSS wäre es sinnvoller gewesen, wenn der anonyme Code mit Leerraum oder Underline angelegt worden wäre, um eine leichtere Identifizierung von 5. / 8. Schulstufe und Mädchen / Knaben durchführen zu können. So mussten die Messdaten manuell in MS-Excel aufgearbeitet werden.

4.4 Durchführung der Testung vor Ort

Die praktischen Testungen erfolgten immer in den regulären Unterrichtszeiten, da die Testung mit möglichst wenig Ablenkungen durch Lärm und neugierige Blicke gestört werden sollten.

Die Schüler und Schülerinnen kamen selbständig oder in Zweiergruppen zum Testort. Bei den Zweier- bzw. Dreiergruppen mussten die nachfolgenden Versuchspersonen warten, ohne die Testung direkt beobachten zu können.

4.4.1 Verwendung des Fitlight-Systems bei der Testung

Bei der quantitativen experimentellen Forschung wurden die Auge-Handreaktionszeiten unabhängig voneinander gemessen. Die Eingabe bzw. Erfassung der Daten erfolgte mit den

Fitlights, welche mit dem dazugehörigen Tablet wireless verbunden waren und auch dort gespeichert wurden. Nach dem theoretischen Input und der Entwicklung des Experiments folgte die praktische Testung mit Erwachsenen. Nach dem ersten Vortest wurde die schwarze Grundplatte mit der Positionierung der Effektorfitlights auf Kinder und Jugendliche adaptiert.

Der Arbeitsplatz bei der Schülerinnen- und Schülertestung bestand aus dem Versuchstisch, wo die schwarze Grundplatte mit den Effektorfitlights auflag, und dem Stuhl, wo die Schüler und Schülerinnen die Sitzposition einnahmen.

Das Arbeitsumfeld vor dem Direktoriumszimmer, vor den Klassen, in der Schulaula oder Bibliothek war geringen Einflüssen ausgesetzt und ruhig.

Letztendlich kann man von einer Testung sprechen, die jederzeit unter gleichen Bedingungen wiederholbar ist.

4.4.2 Testaufbau vor Ort

Im Vorfeld wurde der Testaufbau in den gut beleuchteten Räumen vorbereitet.

- Die schwarze Grundplatte wurde auf einen geeigneten Tisch aufgelegt.
- Die Fitlights wurden auf die Grundplatte in den markierten Bereich (bei der 5. und 8. Schulstufe hatten die Fitlights verschiedene Abstände (siehe Tab. 7: Abstände der Effektorfitlights zum Startfitlight im Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe (siehe Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung))
- Das Tablet und die Fitlights wurden auf Funktionstüchtigkeit überprüft.
- Der Stuhl und die Sitzposition wurden für die Schüler und Schülerinnen vorbereitet.

4.4.3 Untersuchungsorte

Die Vortestungen wurden im Turnsaal des BG / BRG Hollabrunns während der Vereinsstunden durchgeführt (siehe Abb. 47: Testperson bei der Vortestung von oben fotografiert und Abb. 48: Testperson bei der Vortestung von der Seite fotografiert).



Abb. 47: Testperson bei der Vortestung von oben fotografiert



Abb. 48: Testperson bei der Vortestung von der Seite fotografiert

In der NMS Wullersdorf, einer kleinen Schule mit 7 Klassen, erfolgte die Testung im Vorraum des Direktoriums.

In der NMS Hollabrunn wurde vor den Klassen im offenen Gang und in der Schaulaule getestet.

Im BG/BRG Hollabrunn wurde die praktische Testung in einem abgegrenzten Bereich der Schulbibliothek durchgeführt.

4.4.4 Zeitlicher Verlauf der Testung

Der erste persönliche Kontakt mit den Testpersonen erfolgte in der Klasse oder im Turnsaal. Dort wurde der Testablauf kurz erklärt, wurden Informationen über die Auge-Handreaktion im Alltag und Sport erörtert und gestellte Fragen beantwortet.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler zum Testungsort kamen, wurden diese begrüßt und zum Niedersitzen am Stuhl aufgefordert. Nach einer kurzen Erklärung wurden die Testpersonen angeleitet, eine Übung zur Erhöhung und weiters Erniedrigung des Muskeltonus zu machen. Am Ende der Vorbereitung wurden die Hände übereinander, mit den Handflächen nach unten schauend, oberhalb des Startfitlights gekreuzt, ohne diesen zu berühren. Die Grundplatte wurde noch so verschoben, dass eine lockere Ausgangsstellung bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eingenommen werden konnte.

Jetzt wurde die Testsequenz am Tablet gestartet, und die Teilnehmer wurden nochmals animiert, die Bewegungen, um den Effektorfitlight auszulöschen, möglichst schnell durchzuführen und die Hände immer wieder über das Startfitlight zu positionieren.

Die individuelle Testung dauerte bei der 8. Schulstufe und 5. Schulstufe verschieden lang.

Der zeitliche Unterschied resultierte aus dem längeren Zeitaufwand zur genaueren und teilweise mehrfachen Erklärung der Abfolge der praktischen Testung bei den Kindern der 5. Schulstufe (siehe Tab. 10: Zeitlicher Ablauf der Testung, Abb. 49: verwendete Gesamtdauer, allgemeine Begrüßung und praktische Testung und Abb. 50: verwendete Zeit bei der praktischen Testung und der Aufschlüsselung).

Tab. 10: Zeitlicher Ablauf der Testung

	Fünfte Schulstufe		Achte Schulstufe	
Gesamtdauer	700 s	11 min 40 s	500 s	8 min 20 s
Allgemeine Begrüßung und Erstkontaktaufnahme im Turnsaal oder Klassenraum	240 s	4 min	180 s	3 min
praktische Testungsdauer	230 s	3 min 50 s	160 s	2 min 40 s
Spezielle Begrüßung	40 s	40 s	30 s	30 s
Vorbereitung	40 s	40 s	20 s	20 s
Testung	100 s	1 min 40 s	80 s	1 min 20 s
Datenspeicherung, Ausgabe der anonymen Codes und Verabschiedung	50 s	50 s	30 s	30 s

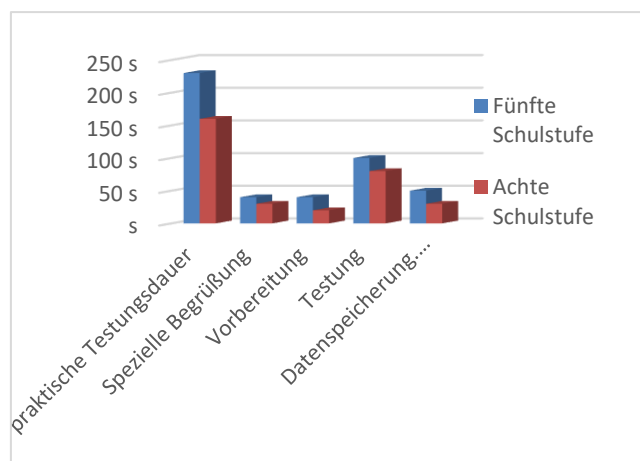
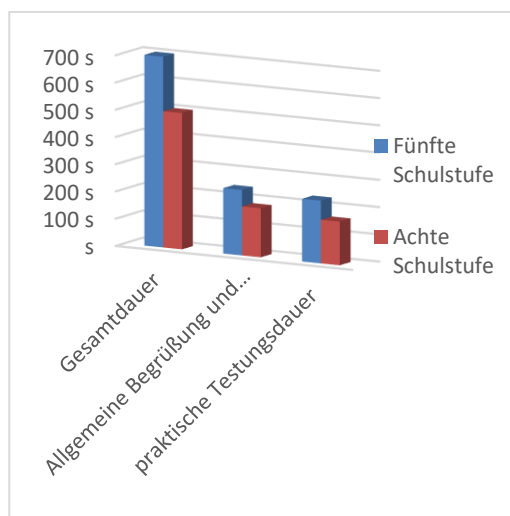


Abb. 49: verwendete Gesamtdauer, allgemeine Begrüßung und praktische Testung
Abb. 50: verwendete Zeit bei der praktischen Testung und der Aufschlüsselung

Am Ende der erfolgten Testung wurden die Messdaten mit dem anonymen Code (siehe Punkt 4.3.6 Anonyme Codes erstellen) am Tablet gespeichert und den Schülerinnen und Schülern wurde dieser anonyme Code mit der Gesamtzeit auf einen Notizzettel geschrieben

und mit folgendem Wortlaut mitgegeben: „Du bekommst zum Schluss einen Code, damit du in einigen Tagen deine Messdaten mit denen deiner Klassenkollegen vergleichen kannst!“.

4.4.5 Schülerinnen und Schüler auf die Testung muskulär vorbereiten

Den Muskeltonus, der durch abwechselnde Kontraktionen einzelner Muskelfasern hervorgerufen wird, ruft eine bestimmte Muskelspannung der Muskulatur hervor. Diese strukturell vorgegebene Grundspannung des Muskels kann geringer (hypoton) bzw. höher (hyperton) sein (Weineck, Optimales Training, 2007).

Um die Testpersonen auf ihren individuellen Grundtonus der Schulter- und Armmuskulatur zu bringen, unabhängig vom vorangegangenen Unterricht, wurde vor dem Beginn der Testung eine tonisierende und anschließend eine detonisierende Anweisung gegeben (siehe Tab. 11: Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf die Testung). Die tonisierende Übung soll die Muskulatur anregen (Remschmidt, 2008, S. 415) und die gleich darauffolgende detonisierende Übung kombiniert mit der langsamen Ausatmung den Tonus senken (Wellsow, 2012, S. 29).

Durch diese Vorübung wurde versucht, die Schülerinnen und Schüler auf einen geringeren Muskeltonusunterschied zu bringen.

Tab. 11: Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf die Testung

Zweck	Anweisung	
Schülerin oder Schüler setzt sich auf den Stuhl	Setz dich bitte hier auf den Stuhl und gib die Hände, so wie ich dir das zeige, über das Startfitlight.	
Schülerin oder Schüler wird auf die Testung muskulär vorbereitet	Gib die Hände seitlich neben den Körper und spanne die Fäuste ganz stark an.	
	Führ die Hände nach oben – Hände ausstrecken und atme ein.	
	Nun atme aus, und gib die Hände nach unten über das Startfitlight, sodass die Hände in der Luft über dem Startfitlight bleiben.	

4.4.6 Praktische Testung

In der angeführten Tab. 12: Praktische Testung wird die zeitliche Folge einer Testung mit einem Durchlauf (vom Positionieren der Hände über dem Startfitlight, Aufleuchten des Effektorfitlights und wieder zurückpositionieren über dem Startfitlight) dargestellt.

Tab. 12: Praktische Testung

Zweck	Anweisung	
Praktische Testung beginnt	Geht es bei dir. Dann starten wir jetzt die Testung. 1. Aufmerksamkeit auf die Effektorfitlights. Beide Hände sind noch über dem Startfitlight (vom Kopf verdeckt) positioniert.	
	2. Startfitlight leuchtet auf, und in Kürze wird ein Effektorfitlight aufleuchten	
	3. Effektorfitlight leuchtet auf	
	4. Rechter Arm beginnt sich in Richtung aufleuchtendem Effektorfitlight zu bewegen	

	5. Rechter Arm bewegt sich in Richtung leuchtendem Effektorfitlight	
	6. Rechte Hand hat Effektorfitlight überstrichen und dieser hat aufgehört zu leuchten	
	7. Rechter Arm bewegt sich zurück zum Startfitlight (verdeckt vom Kopf)	
	8. Beide Hände sind wieder über dem Startfitlight positioniert. Das nächste Effektorfitlight wird bald aufleuchten.	

4.4.7 Testungsprotokoll

Im Vorfeld wurde für jede Klasse ein Testungsprotokoll erstellt (siehe Abb. 52:Screenshot der importierten Daten vom FITLIGHT-Tablett als csv-Datei in Excel). Diese Klassenliste enthielt Spalten mit den anonymen Codes der Schülerinnen und Schüler (maximale Anzahl der Schüler und Schülerinnen), den einzelnen Fitlights (2, 3, 4 5, 6 und 7) und einer Anmerkungsspalte. Am Kopf des Testungsprotokolls wurden Testungszeit, Schule, Klasse und Ort eingetragen. Auf diesem Testungsprotokoll wurden Anmerkungen und besondere Informationen zur Testung niedergeschrieben sowie eine Strichliste für die Kreuzung der Hände notiert.

Testung				Protokoll der Klasse	1f	Schule	BG Hollabrunn				
Code				Händigkeit – Wie oft wurde Sensor ... beim Test gekreuzt						Bemerkungen	
				1	2	3	4	5	6		
G	1f	1	w								
G	1f	2	w								
G	1f	3	w								
G	1f	4	w								
G	1f	5	w								
G	1f	6	w								
G	1f	7	w								
G	1f	8	w								
G	1f	9	w								
G	1f	10	w								
G	1f	11	w								
G	1f	1	m								
G	1f	2	m								
G	1f	3	m								
G	1f	4	m								
G	1f	5	m								
G	1f	6	m								
G	1f	7	m								
G	1f	8	m								
G	1f	9	m								
G	1f	10	m								
G	1f	11	m								
G	1f	12	m								
G	1f	13	m								
G	1f	14	m								

Abb. 51: Testungsprotokollvorlage der 1f vom BG / BRG Hollabrunn

4.5 Statistik

Die Datenaufbereitung, -bereinigung, statistischen Analysen und die Erstellung von Grafiken wurden mit IBM SPSS Statistics 25 und Microsoft Excel 2016 durchgeführt.

Die Messdaten wurden vom FITLIGHT-Tablet gespeichert und als csv-Datei exportiert (siehe Abb. 52:Screenshot der importierten Daten vom FITLIGHT-Tablett als csv-Datei in Excel). Folgende Informationen wurden für die Statistik gebraucht:

- Step: Summe der Zeit in dem Run
- Response time: Antwortzeit (einzelne Reaktionszeit)
- Light no: Zuordnung des Fitlights
- Athlete name: anonymisierter Code der Schülerinnen und Schüler

1	Run	Application	Sequence	Tag ID	Step	Response time	Light no	Info	Split time	Athlete name	Sequence name	Run date
2	40	Programmed sequence	49	0	1	2	1		1028	h1b1w	20171018_7Sensoren_70_40_Verzoegerung_UNI	Tue Dec 05 08:08:56 MEZ 2017
3	40	Programmed sequence	49	0	2	610	2		1708	h1b1w	20171018_7Sensoren_70_40_Verzoegerung_UNI	Tue Dec 05 08:08:56 MEZ 2017

Abb. 52:Screenshot der importierten Daten vom FITLIGHT-Tablett als csv-Datei in Excel

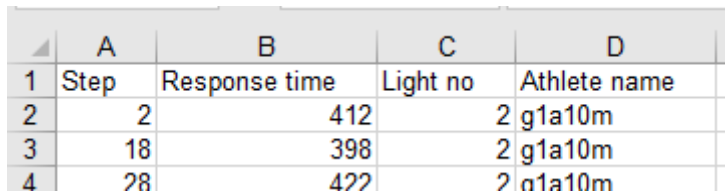
4.5.1 Zusätzliche Daten vom Testungsprotokoll

Bei der praktischen Testung wurden noch zusätzliche Daten erfasst. Bei jeder Schülerin und jedem Schüler wurden zusätzliche Informationen, welche für die Auswertung relevant sind, im Testungsprotokoll in der Spalte „Bemerkungen“ notiert.

Eine Strichliste wurde angelegt, welche Hand welchen Effektorfitlight mit gekreuzter Hand ausgelöscht hat (Händigkeit).

4.5.2 Datenimport, -kontrolle und -bereinigung

Die csv-Datei wurde in Excel importiert und nicht benötigte Spalten wurden gelöscht und die Daten vom Startfitlight mit der Nummer 1 wurden entfernt, da dieser keine Informationen für die statistischen Berechnungen enthielt.



	A	B	C	D
1	Step	Response time	Light no	Athlete name
2	2	412	2	g1a10m
3	18	398	2	g1a10m
4	28	422	2	n1a10m

Abb. 53: Screenshot der importierten und für die Statistik relevanten Daten

Zusätzlich wurden Messdaten, die während der Testung als Reservecodes gespeichert wurden, den richtigen Klassen und dem Geschlecht zugeordnet (siehe Abb. 53: Screenshot der importierten und für die Statistik relevanten Daten).

4.5.3 Stichprobe

An der Untersuchung wurden alle Schüler und Schülerinnen der 1. und 4. Klassen der NMS Hollabrunn, NMS Wullersdorf und des BG/BRG Hollabrunns motiviert mitzumachen. Es durften sowohl links- als auch rechtshändig agierende Testpersonen teilnehmen. Eine Nichtteilnahme erfolgte wegen Krankheit oder Verletzung am Testungstag, Erziehungsberechtigte stimmten nicht zu bzw. Schülerinnen und Schüler wollten nicht teilnehmen.

4.5.4 Hauptgütekriterien

Nach Diekmann (Diekmann, 2010) versteht man unter Validität eines Messverfahrens die Gültigkeit der Messungen, wenn diese mit der Fragestellung oder dem Sachverhalt in Beziehung steht. Die Reliabilität beschreibt die Zuverlässigkeit. Die Reliabilität ist ein Zeichen der Messgenauigkeit auf ein bestimmtes Merkmal. Z.B. wäre die Responsetime bei der Te-

stung mit einer Handstoppung zu ungenau. Objektivität heißt, dass die Durchführung, Auswertung und Interpretation standardisiert sind. Durch den einfachen Testungsaufbau und -ablauf besteht eine ausreichende Reproduzierbarkeit, sodass das Experiment nochmals unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden kann und unabhängig vom Untersucher ist.

4.5.5 Computerprogramme für die Auf- und Verarbeitung der Messdaten

Die Aufarbeitung der Messdaten und zusätzlicher Informationen wurde mit Hilfe von Microsoft Excel 2016 und IBM SPSS 25 für Windows durchgeführt.

Die statistische Verarbeitung, Darstellung und Beschreibung der Untersuchungsergebnisse wurde mittels Diagrammen, Graphiken, Maßzahlen und Tabellen ebenfalls mit den genannten Computerprogrammen erstellt.

5 Hypothesen und Erwartungen

Die nachfolgenden Hypothesen beziehen sich auf Unterschiede der Reaktionszeiten zwischen 5. und 8. Schulstufe, weiblich und männlich sowie auf Unterschiede der vier Gruppen (5.Schulstufe weiblich, 5.Schulstufe männlich, 8.Schulstufe weiblich, 8.Schulstufe männlich). Es werden auch die Erwartungen angeführt, die vor der Testung angenommen wurden.

- H1.0 – Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
 - H1.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
Es wird erwartet, dass die 8. Schulstufe schneller ist.
- H2.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
 - H2.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
Es wird erwartet, dass die Knaben schneller sind.
- H3.0: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 5. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
 - H3.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 5. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
Es wird erwartet, dass die Mädchen schneller sind als die Knaben.
- H4.0: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
 - H4.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.
Es wird erwartet, dass die Knaben schneller sind als die Mädchen.
- H5.0: Es gibt keinen Unterschied der Reaktionszeiten zwischen den vier Gruppen (Mädchen 5., Knaben 5., Mädchen 8. und Knaben 8. Schulstufe)
 - H.A9: Es gibt einen Unterschied der Reaktionszeiten zwischen den vier Gruppen (Mädchen 5., Knaben 5., Mädchen 8. und Knaben 8. Schulstufe)

Es wird erwartet, dass es einen Unterschied der Reaktionszeiten der vier Gruppen gibt.

6 Messdaten mit statistischer Auswertung

In diesem Punkt werden die Messdaten aufbereitet und für die statistische Auswertung vorbereitet. Entsprechend der formulierten Forschungsfragen (Punkt 1.2 Forschungsfrage und Unterforschungsfragen) werden in diesem Teil der vorliegenden Arbeit die Messdaten mit deskriptiven und analytischen Verfahren statistisch aufgearbeitet, und zusätzlich werden die Ergebnisse mit Tabellen und Grafiken (mit IBM SPSS Statistics 25 und Microsoft Excel 2016 erstellt) anschaulicher dargestellt.

Die Messdaten wurden auf Normalverteilung (mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests) und auf eine Varianzhomogenität überprüft. Anschließend kamen t-Tests für unabhängige Variablen (Vergleich der Mittelwerte der zwei Gruppen) (Leonhart, 2008, S. 71) sowie eine Varianzanalyse (ANOVA) (Leonhart, 2008, S. 107) zum Einsatz. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf 5 % (Signifikanzniveau $p \leq 0,05$) festgelegt. Daraus ergibt sich: $p > 0,05$ - nicht signifikant, $p \leq 0,05$ – signifikant, $p \leq 0,01$ – hoch signifikant.

Schlussendlich werden aufgrund der statistischen Berechnungen die Nullhypothesen oder Alternativhypothesen angenommen oder abgelehnt.

6.1 Urliste, Strichliste und Datenmatrix

Die vom FITLIGHT-Trainer erhaltenen Messdaten der Klassen wurden abgespeichert und in einer Urliste zusammengeführt. Diese Urliste enthält den maximalen Grad an Informationen über die Auge-Handreaktionszeiten der Schülerinnen und Schüler.

Die Strichliste (vom Testungsprotokoll übernommen) wurde den einzelnen Athleten mit deren Gesamtzeit zugeordnet.

Die Ur- und Strichlisten wurden aufgespalten, umcodiert und in zwei verschiedenen Dateien abgespeichert.

6.2 Stichprobe

Von den über 400 eingeladenen Schülerinnen und Schülern der NMS Hollabrunn, NMS Wullersdorf und des BG / BRG Hollabrunn durfte der Großteil an der praktischen Auge-Handreaktionszeittestung mitmachen. 308 Testpersonen erhielten von den Erziehungsberechtigten die Erlaubnis teilzunehmen.

Tab. 13: Teilnehmende Schulen

Schule	Gesamt	%
NMS Hollabrunn	74	24,03%
NMS Wullersdorf	39	12,66%
BG/BRG Hollabrunn	195	63,31%
Gesamt	n= 308	100%

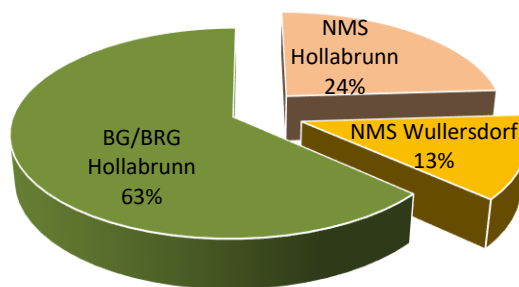


Abb. 54: Teilnehmende Schulen Es zeigt sich, dass knapp zwei Drittel (63%) der Testpersonen zum Zeitpunkt der Testung das BG/BRG Hollabrunn, knapp ein Viertel (24%) die NMS Hollabrunn und ein Achtel (13%) die NMS Wullersdorf besuchen (siehe Tab. 13: Teilnehmende Schulen und Abb. 54: Teilnehmende Schulen sowie Tab. 14: Teilnehmende Schulen mit Unterteilung in 5. und 8. Schulstufe).

Tab. 14: Teilnehmende Schulen mit Unterteilung in 5. und 8. Schulstufe

Schule	5. Schulstufe	8. Schulstufe	Gesamt
NMS Hollabrunn	20,44%	29,13%	24,03%
	37	37	n= 74
NMS Wullersdorf	12,71%	12,60%	12,66%
	23	16	n= 39
BG/BRG Hollabrunn	66,85%	58,27%	63,31%
	121	74	n= 195
Gesamt	n= 181	n= 127	n= 308

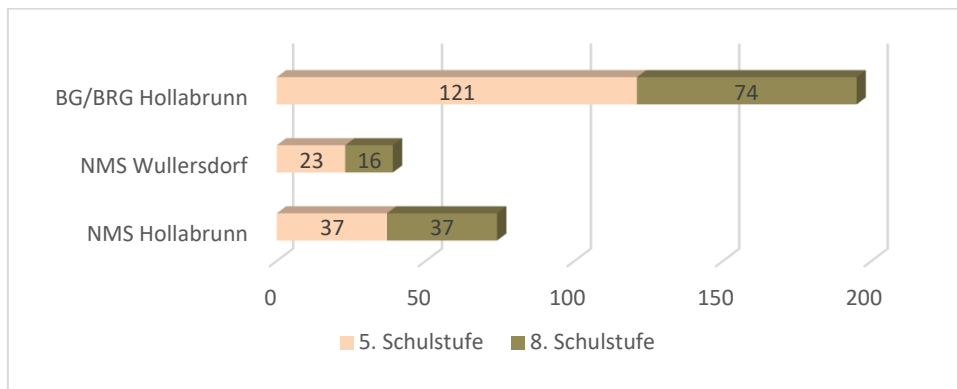


Abb. 55: Teilnehmende Schulen mit Unterteilung in 5. und 8. Schulstufe

Tab. 15: Geschlechtsverteilung in den Schulstufen (n=308)

		Altersgruppe		gesamt
		5. Schulstufe	8. Schulstufe	
Geschlecht	weiblich	51,38%	51,97%	51,67%
	männlich	48,62%	48,03%	48,33%
Gesamt		n= 93	n= 66	n= 159
		n= 88	n= 61	n= 149
		100%	100%	100%
		n= 181	n= 127	n= 308

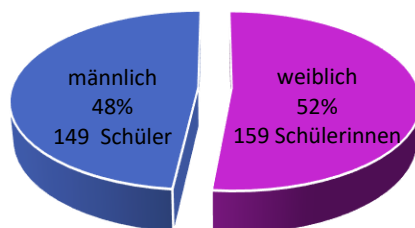


Abb. 56: Geschlechtsverteilung (n=308)

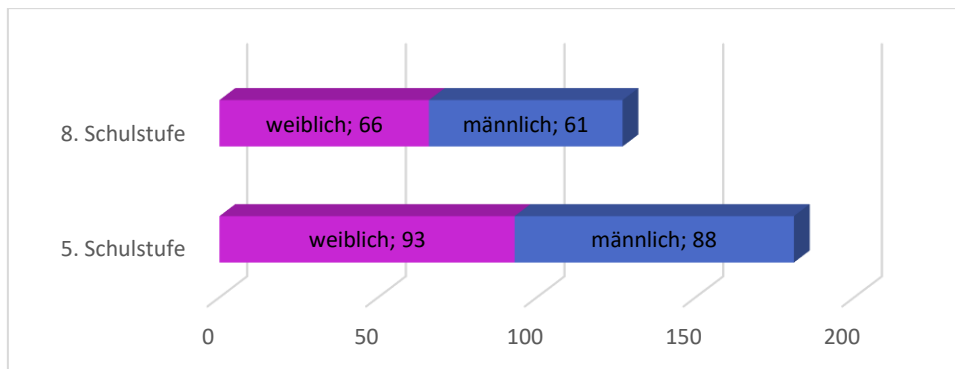


Abb. 57: Geschlechtsverteilung mit Aufteilung in 5. und 8. Schulstufe (n=308)

Von den 308 Testpersonen wurden 93 Schülerinnen und 88 Schüler der 5. Schulstufe sowie 66 Schülerinnen und 61 Schüler der 8. Schulstufe getestet (siehe Tab. 15: Geschlechtsverteilung in den Schulstufen (n=308), Abb. 57: Geschlechtsverteilung mit Aufteilung in 5. und 8. Schulstufe (n=308) und Tab. 16: Übersicht Urstichprobe (Anzahl der Schülerinnen und Schüler mit Messdaten)).

Tab. 16: Übersicht Urstichprobe (Anzahl der Schülerinnen und Schüler mit Messdaten)

16632 Messdaten der Schülerinnen und Schüler							
5. Schulstufe				8. Schulstufe			
181	Schülerinnen und Schüler			127	Schülerinnen und Schüler		
9774	Messdaten der Schülerinnen und Schüler			6858	Messdaten der Schülerinnen und Schüler		
93	Schülerinnen	88	Schüler	66	Schülerinnen	61	Schüler
5022	Messdaten	4752	Messdaten	3564	Messdaten	3294	Messdaten

6.3 Messfehler

In diesem Abschnitt werden Beobachtungen und auftretende Messfehler beschrieben.

Messfehler entstanden durch

- Doppelzug: Arme, welche zu wenig weit bewegt wurden, löschten das Effektorfitlight nicht aus. Es musste ein zweiter Armzug gemacht werden.
- Wegstoßen des Effektorfitlights: Beim Hinbewegen der Hand zum Effektorfitlight wurde das Effektorfitlight weggestoßen und so wurde die Zeit nicht gemessen.
- Schlechte Ausführung: Die Hände wurden nicht bzw. es wurde nur eine Hand über das Startfitlight zurückbewegt. So hatten die Hände bzw. die Hand einen kürzeren Weg zum Effektorfitlight und es entstand dadurch eine zu kurze Reaktionszeit.

Ungewöhnliche Messwerte wurden entfernt, indem die Datensätze händisch überprüft wurden. Dazu wurde die Normalverteilung des Datensatzes der Schülerin bzw. des Schülers bzw. deren Linearität herangezogen.

6.4 Händigkeit

Bei einer Stichprobe von 308 Testpersonen hatten von 54 Effektorfitlightansteuerungen nur 55 Testpersonen (entspricht 18 %) die richtige Hand verwendet. 253 Testpersonen (entspricht 82 %) hatten die Hand einmal oder öfters gekreuzt bzw. verwendeten sie von vornherein nur eine Hand (siehe Abb. 58: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler (n=308)).

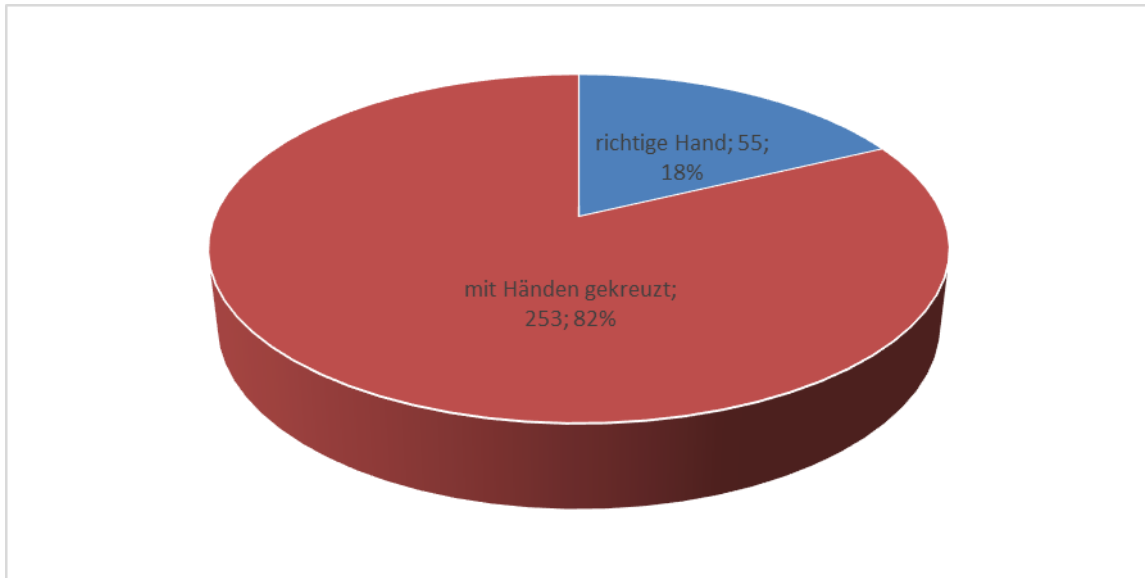


Abb. 58: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler (n=308)

Tab. 17: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler aufgeteilt in 5. und 8. Schulstufe sowie in Mädchen und Knaben (n=308)

	Mädchen richtig	Mädchen mit Kreuzung	Knaben richtig	Knaben mit Kreuzung
5. Schulstufe	12	78	5	86
8. Schulstufe	22	45	16	44

Zwölf Mädchen und fünf Knaben der 5. Schulstufe sowie 22 Mädchen und 16 Knaben der 8. Schulstufe verwendeten die Hand, die dem Effektorfitlight am nächsten war (siehe Tab. 17: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler aufgeteilt in 5. und 8. Schulstufe sowie in Mädchen und Knaben (n=308) und Abb. 59: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler aufgeteilt in 5. und 8. Schulstufe sowie in Mädchen und Knaben (n=308)). 78 Mädchen, 86 Knaben der 5. Schulstufe und 45 Mädchen und 44 Knaben der 8. Schulstufe kreuzten die Hände beim Auslösen des Effektorfitlights.

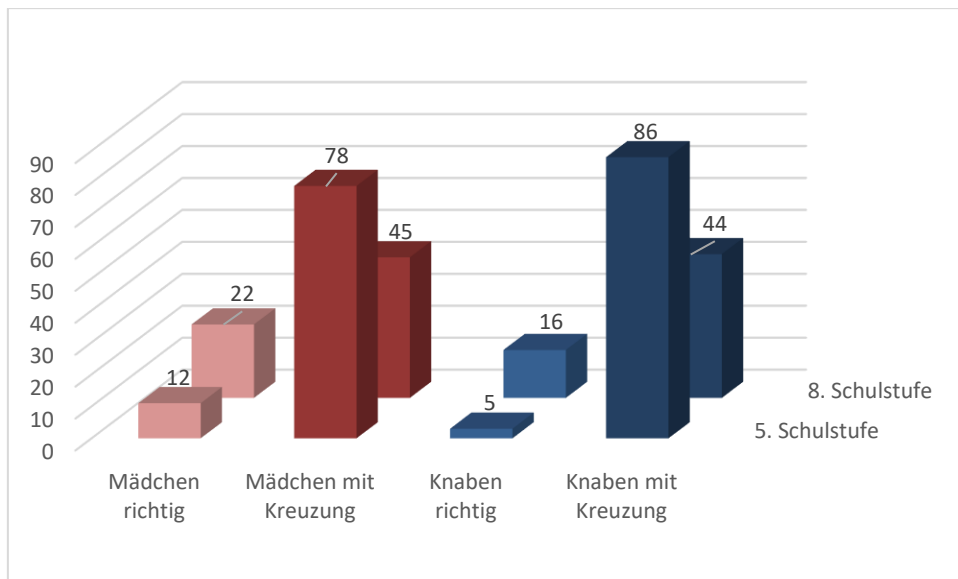


Abb. 59: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler aufgeteilt in 5. und 8. Schulstufe sowie in Mädchen und Knaben (n=308)

Einige Schülerinnen und Schüler verwendeten nur die rechte bzw. linke Hand (siehe Tab. 18: Verwendung nur der rechten bzw. linken Hand (n=308)).

Tab. 18: Verwendung nur der rechten bzw. linken Hand (n=308)

	Mädchen nur linke Hand für Effektorfitlight 1, 2 und 3	Knaben nur linke Hand für Effektorfitlight 1, 2 und 3	Mädchen nur rechte Hand für Effektorfitlight 4, 5 und 6	Knaben nur rechte Hand für Effektorfitlight 4, 5 und 6	Summe der Schülerinnen und Schüler
5. Schulstufe	11	13	6	9	39
8. Schulstufe	3	5	0	1	9

6.5 Bestimmung der Ausreißer

Ein Messwert, der in Hinsicht auf dessen Größe deutlich von den anderen Messwerten abweicht, wird als Ausreißer definiert und mittels Boxplot bestimmt (siehe Abb. 60: Einfacher Boxplot zu den Reaktionszeiten und Effektorfitlights inklusive der nummerierten Ausreißer).

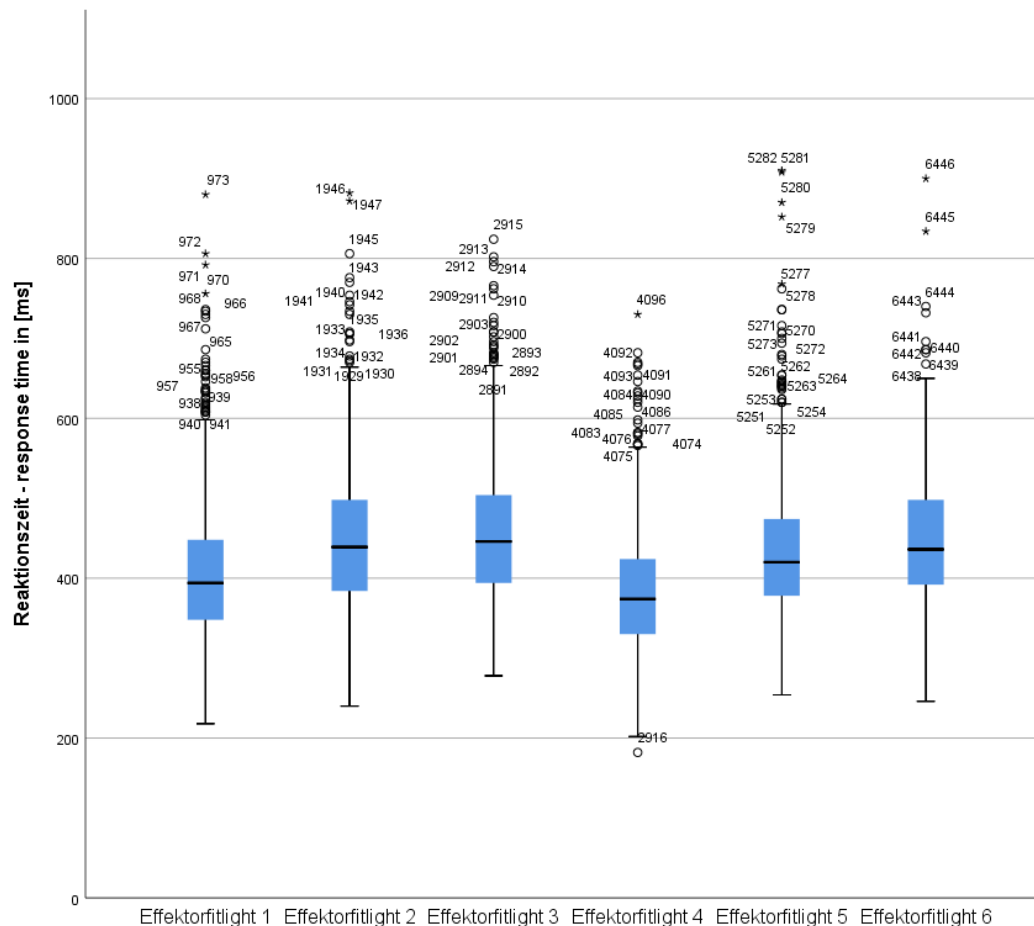


Abb. 60: Einfacher Boxplot zu den Reaktionszeiten und Effektorfitlights inklusive der nummerierten Ausreißer

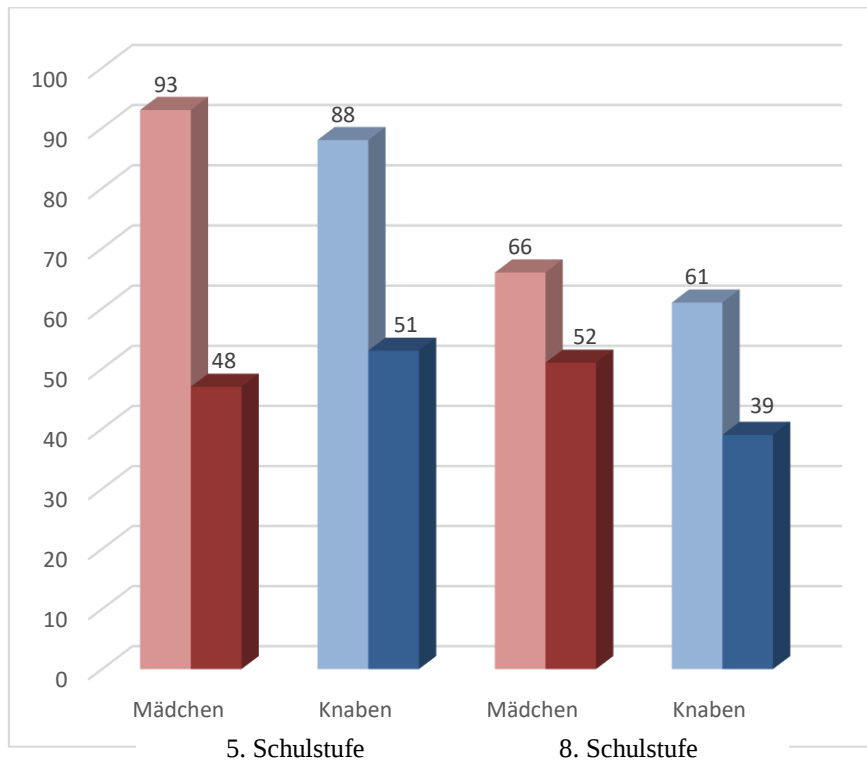
Im Boxplot werden fünf Kennwerte (Minimum = unterer Whisker, Maximum = oberer Whisker, 1. Quartil, Median und 3. Quartil) angezeigt sowie die nummerierten Ausreißer. Alle Werte unter- und oberhalb der Whisker sind als Ausreißer gekennzeichnet und wurden für die statistische Berechnung händisch im Messdatensatz entfernt.

6.6 Überblick Datenreduktion – Datenaufschlüsselung

Wie man im Balkendiagramm sehen kann, hat sich die Anzahl der Schülerinnen und Schüler durch die Entfernung der Datensätze auf Grund von Messfehlern, Kreuzungen und Ausreißern von 308 (93 Mädchen, 88 Knaben der 5. Schulstufe und 66 Mädchen, 61 Knaben der 8. Schulstufe) auf 190 (48 Mädchen, 51 Knaben der 5. Schulstufe und 52 Mädchen, 39 Kna-

ben der 8. Schulstufe) reduziert (siehe Tab. 19: Gegenüberstellung Urstichprobe und verwendete Stichprobe, Tab. 20: Anzahl der Mädchen und Knaben der 5. und 8. Schulstufe in der ursprünglichen Stichprobe und nach der Messdatenreduktion ($n=308$ ($93+88+66+61$) reduziert auf $n=190$ ($48+51+52+39$)) und Abb. 61: Messdatensätze: blau inklusive der Ausreißer, rot Ausreißer und grün verwendete Messdatensätze für die Statistik).

Tab. 19: Gegenüberstellung Urstichprobe und verwendete Stichprobe



Tab. 20: Anzahl der Mädchen und Knaben der 5. und 8. Schulstufe in der ursprünglichen Stichprobe und nach der Messdatenreduktion ($n=308$ ($93+88+66+61$) reduziert auf $n=190$ ($48+51+52+39$))

	Anzahl Schülerinnen und Schüler				
	5. Schulstufe		8. Schulstufe		Summe
	Mädchen	Knaben	Mädchen	Knaben	
alle Daten nach der Entfernung falscher Messwerte	1530	1472	1974	1470	6446
Ausreißermesswerte mittels Boxplot bestimmt und entfernt	-53	-31	-3	-2	-9

zu verwendende Messwerte für die Statistik mittels SPSS	1477	1441	1971	1468	6357
Schülerinnen und Schüler	48	51	52	39	190

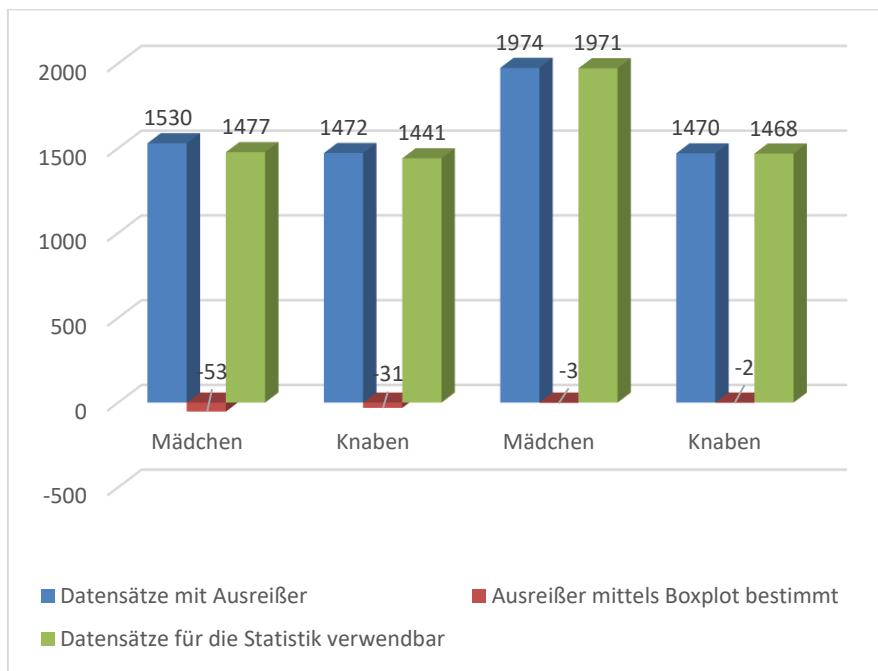


Abb. 61: Messdatensätze: blau inklusive der Ausreißer, rot Ausreißer und grün verwendete Messdatensätze für die Statistik

6.7 Messdaten und Berechnungen / statistische Tests / Diagramme

In der folgenden Tab. 21: Messdaten für die statistische Auswertung mit Aufschlüsselung der Schulstufe, des Geschlechts und der Effektorfitlights ist die Aufschlüsselung der Anzahl der Schülerinnen und Schüler sowie der Messdaten bezogen auf 5. / 8. Schulstufe, Mädchen / Knaben und die Effektorfitlights angeführt.

Tab. 21: Messdaten für die statistische Auswertung mit Aufschlüsselung der Schulstufe, des Geschlechts und der Effektorfitlights

Alle für die Statistik verwendeten Messdaten											
		100 Schülerinnen		190		90 Schüler					
				6357 Messdaten der Schülerinnen und Schüler							
5. Schulstufe						8. Schulstufe					
99	Schülerinnen und Schüler					91	Schülerinnen und Schüler				
2918	Messdaten der Schülerinnen und Schüler					3439	Messdaten der Schülerinnen und Schüler				
48	Schülerinnen	51	Schüler			52	Schülerinnen	39	Schüler		
1477	Messdaten	1441	Messdaten			1971	Messdaten	1468	Messdaten		
17	Schülerinnen	17	Schüler	56 Schülerinnen und Schüler mit 1421 Messdaten nur linke Hand richtig		15	Schülerinnen	7	Schüler		
19	Schülerinnen	29	Schüler	79 Schülerinnen und Schüler mit 2064 Messdaten nur rechte Hand richtig		15	Schülerinnen	16	Schüler		
12	Schülerinnen	5	Schüler	55 Schülerinnen und Schüler mit 2868 Messdaten beide Hände richtig		22	Schülerinnen	16	Schüler		
				Effektorfitlight richtig							
237	Messdaten	187	Messdaten	1 linke Hand		328	Messdaten	204	Messdaten		
235	Messdaten	190	Messdaten	2 linke Hand		330	Messdaten	203	Messdaten		
234	Messdaten	187	Messdaten	3 linke Hand		327	Messdaten	205	Messdaten		
258	Schülerinnen	295	Messdaten	4 rechte Hand		327	Messdaten	286	Messdaten		
260	Messdaten	292	Messdaten	5 rechte Hand		330	Messdaten	287	Messdaten		
253	Messdaten	290	Messdaten	6 rechte Hand		329	Messdaten	283	Messdaten		
				424	1 linke Hand	532					
				425	2 linke Hand	533					
				421	3 linke Hand	532					
				553	4 rechte Hand	613					
				552	5 rechte Hand	617					
				543	6 rechte Hand	612					
100	Schülerinnen der 5. und 8. Schulstufe					90	Schüler der 5. und 8. Schulstufe				
3448	Messdaten Schülerinnen 5. / 8. Schulstufe					2909	Messdaten Schüler der 5. / 8. Schulstufe				
				565	1 linke Hand	391					
				565	2 linke Hand	393					
				561	3 linke Hand	392					
				585	4 rechte Hand	581					
				590	5 rechte Hand	579					
				582	6 rechte Hand	573					

6.8 Statistische Tests

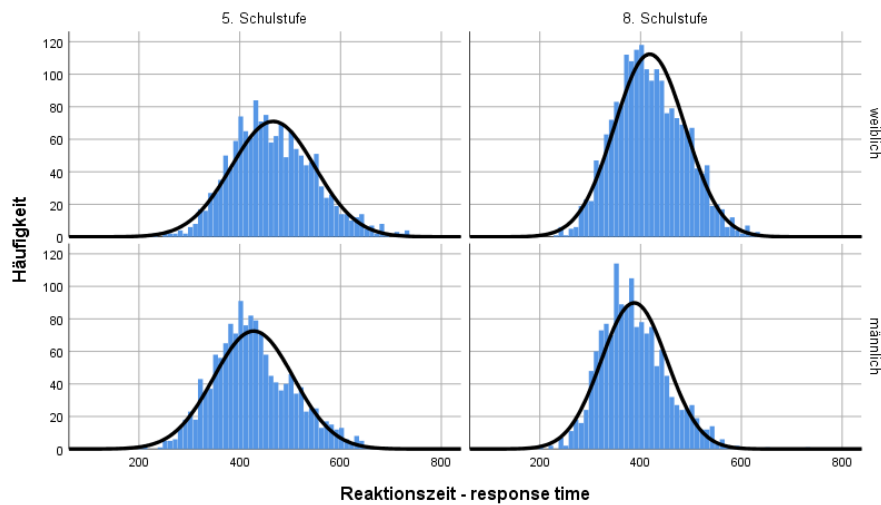


Abb. 62: Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bezüglich Schulstufen und Geschlecht

Die Reaktionszeiten wurden auf Normalverteilung (siehe Abb. 62: Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bezüglich Schulstufen und Geschlecht und Abb. 63: Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bezüglich der Schulstufen, des Geschlechts und der einzelnen Effektorfitlights) mit Hilfe von Histogrammen geprüft.

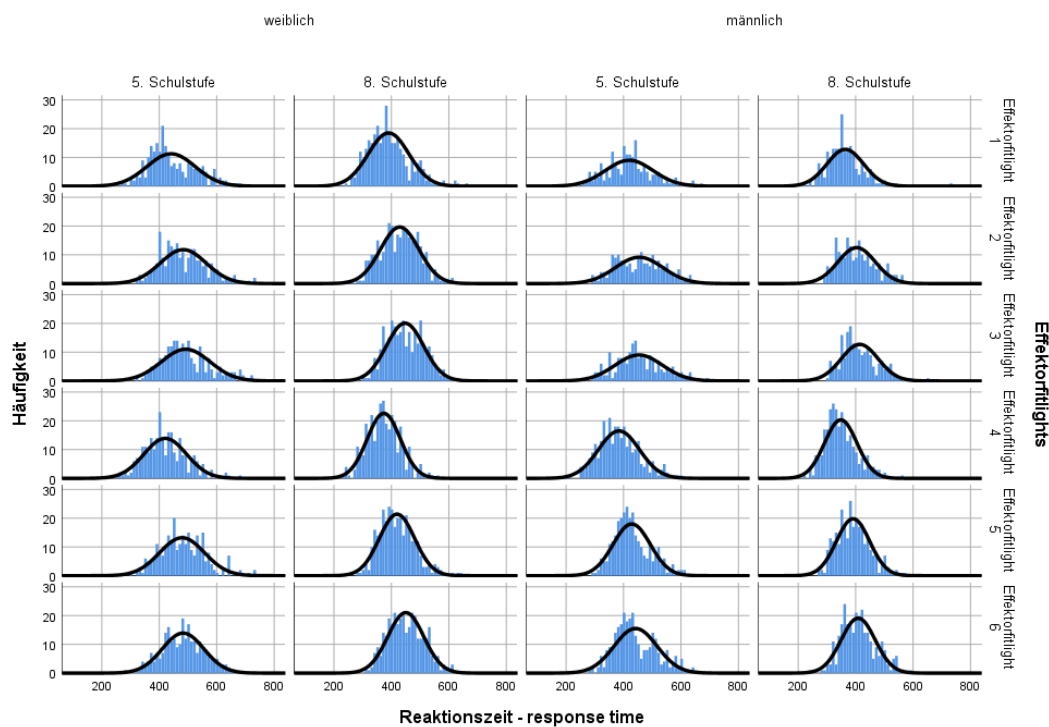


Abb. 63: Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bezüglich der Schulstufen, des Geschlechts und der einzelnen Effektorfitlights

6.9 Statistisch berechnete Ergebnisse

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Unterschiedshypothesen dargestellt. Zur Überprüfung der Hypothesen 1-4 wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben angewandt, eine empirische Mittelwertdifferenzüberprüfung, ob diese signifikant oder auf Zufall beruht und ob sich zwei Stichproben statistisch signifikant voneinander unterscheiden (Rasch, Frieze, Hofmann, & Naumann, 2010, S. 60).

Bei der Hypothese 5 wurde eine einfaktorielle ANOVA (Analysis of Variance) angewandt, ein Auswerteverfahren, welche die Mittelwerte mehrerer unabhängiger Gruppen untereinander vergleicht (Rasch, Frieze, Hofmann, & Naumann, Quantitative Methoden 2, 2010, S. 6).

6.9.1 H1.0 – Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

- H1.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

Die Überprüfung der Hypothese 1 erfolgte mittels t-Test für unabhängige Stichproben. Der Test fiel signifikant aus ($t(183.089) = 5,704$; $p < 0,001$; $d = 0,828$) (siehe Tab. 22: Gruppenstatistik 5. / 8. Schulstufe).

Die mittleren Reaktionszeiten der SchülerInnen der 8. Schulstufe ($n = 91$; $M = 404,500$ ms; $SD = 46,735$) waren signifikant schneller als die Reaktionszeiten der SchülerInnen der 5. Schulstufe ($n = 99$; $M = 448,856$ ms; $SD = 60,088$). Basierend auf den Ergebnissen kann Hypothese 1.A angenommen werden.

Tab. 22: Gruppenstatistik 5. / 8. Schulstufe

Gruppenstatistiken					
	Schulstufe	n	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Reaktionszeiten aller Effektorfitlights – Mittelwerte	5. Schulstufe	99	448,856 ms	60,08770	6,03904
	8. Schulstufe	91	404,500 ms	46,73480	4,89914

6.9.2 H2.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

- H2.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

Die Überprüfung der Hypothese 2 erfolgte mittels t-Test für unabhängige Stichproben. Der Test fiel signifikant aus ($t(187,959) = 3,666$; $p < 0,001$, $d = 0,824$) (siehe Tab. 23: Gruppenstatistik geschlechtlich unterteilt). Die mittleren Reaktionszeiten der Schüler ($n = 90$; $M = 411,880$ ms; $SD = 53,854$) waren signifikant schneller als die Reaktionszeiten der Schülerinnen ($n = 100$; $M = 441,894$ ms; $SD = 58,994$). Basierend auf den Ergebnissen kann daher Hypothese 2.A angenommen werden.

Tab. 23: Gruppenstatistik geschlechtlich unterteilt

Gruppenstatistiken					
	Geschlecht	n	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Reaktionszeiten aller Effektorflights – Mittelwerte	weiblich	100	441,894 ms	58,994	5,899
	männlich	90	411,880 ms	53,854	5,677

6.9.3 H3.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 5. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

- H3.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 5. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

Zur Testung von Hypothese 3 wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Der t-Test erwies sich als signifikant ($t(97) = 3,248$; $p = 0,001$; $d = 0,653$) (siehe Tab. 24: Gruppenstatistik weiblich / männlich der 5. Schulstufe).

Knaben der 5. Schulstufe ($n = 51$; $M = 430,691$ ms; $SD = 53,875$) zeigten schnellere Reaktionszeiten als Mädchen der 5. Schulstufe ($n = 48$; $M = 468,156$ ms; $SD = 60,845$).

Entsprechend der Testergebnisse kann Hypothese 3.0 nicht angenommen werden.

Tab. 24: Gruppenstatistik weiblich / männlich der 5. Schulstufe

Gruppenstatistiken					
	Geschlecht	n	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Reaktionszeiten aller Effektorfitlights – Mittelwerte	weiblich	48	468,1556 ms	60,84516	8,78224
	männlich	51	430,6911 ms	53,87483	7,54398

6.9.4 H4.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

- H4.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen Mädchen und Knaben in der 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.

Um Hypothese 4 zu testen wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Der t-Test fiel signifikant aus ($t(89) = 3,169$; $p = 0,001$; $d = 0,671$) (siehe Tab. 25: Gruppenstatistik weiblich / männlich der 8. Schulstufe).

Knaben der 8. Schulstufe ($n = 39$; $M = 387,405$ ms; $SD = 43,297$) zeigten schnellere Reaktionszeiten als Mädchen der 8. Schulstufe ($n = 52$; $M = 417,314$ ms; $SD = 45,461$). Deshalb kann Hypothese 4.A angenommen werden.

Tab. 25: Gruppenstatistik weiblich / männlich der 8. Schulstufe

Gruppenstatistiken					
	Geschlecht	n	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Reaktionszeiten aller Effektorfitlights – Mittelwerte	weiblich	52	417,3143 ms	45,46063	6,30425
	männlich	39	387,4053 ms	43,29730	6,93312

6.9.5 H5.0 - Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Gruppen (Mädchen 5. Schulstufe, Knaben 5. Schulstufe, Mädchen 8. Schulstufe und Knaben 8. Schulstufe)

- H5.A – Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied zwischen den Gruppen (Mädchen 5. Schulstufe, Knaben 5. Schulstufe, Mädchen 8. Schulstufe und Knaben 8. Schulstufe)

Um Hypothese 5 zu testen, wurde eine einfaktorielle ANOVA angewandt.

Die einfaktorielle ANOVA erwies sich als signifikant $p = 0,000$ (siehe Abb. 64: Liniendiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe, Tab. 26: Einfaktorielle ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe und Abb. 65: Streudiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe).

Schülerinnen der 5. Schulstufe ($n = 48$; $M = 468,49$ ms; $SD = 60,88$) waren langsamer als Schüler der 5. Schulstufe ($n = 51$; $M = 430,60$ ms; $SD = 53,96$) die wiederum langsamer waren als die Schülerinnen der 8. Schulstufe ($n = 52$; $M = 417,34$ ms; $SD = 45,38$). Daraus ergibt sich, dass die Schüler der 8. Schulstufe ($n = 39$; $M = 387,40$ ms; $SD = 43,32$) am schnellsten.

Deshalb wird Hypothese 5.0 verworfen. Die Mittelwerte zwischen den Gruppen unterscheiden sich signifikant.

Tab. 26: Einfaktorielle ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe

Einfaktorielle ANOVA

Mittelwert_alle_Eff

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	149216,513	3	49738,838	18,647	,000
Innerhalb der Gruppen	496128,737	186	2667,359		
Gesamt	645345,250	189			

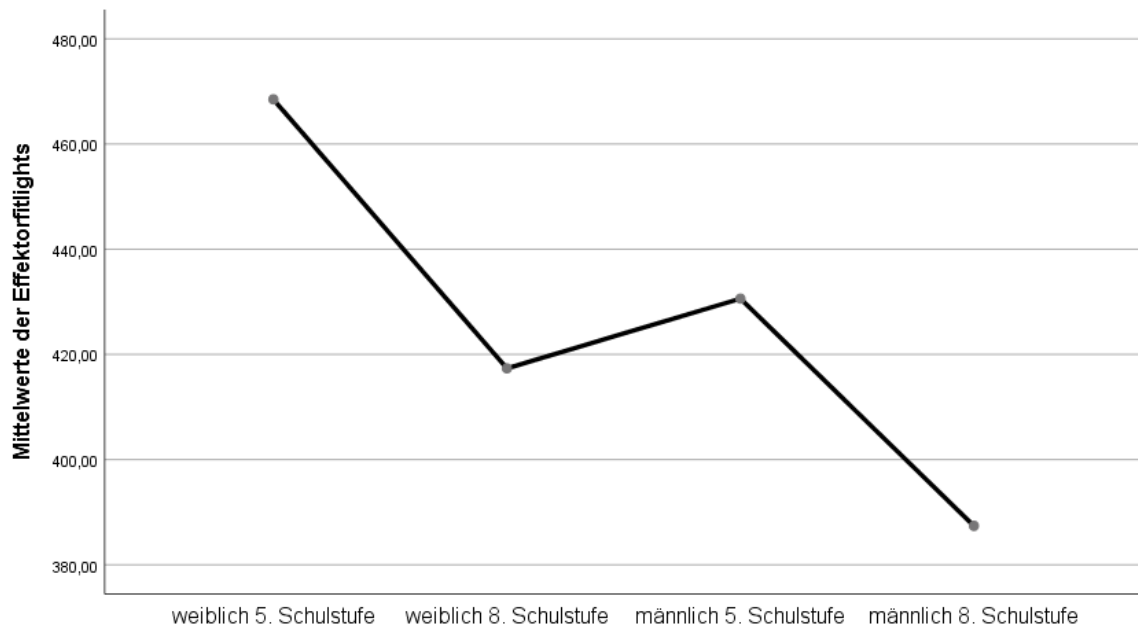


Abb. 64: Liniendiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe

Tab. 27: statistische Kennzahlen der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.-Fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
weiblich 5. Schulstufe	48	468,4915	60,88407	8,78786	450,8126	486,1704	342,07	605,85
weiblich 8. Schulstufe	52	417,3419	45,38030	6,29311	404,7080	429,9759	325,92	499,08
männlich 5. Schulstufe	51	430,6006	53,95586	7,55533	415,4252	445,7759	322,56	565,50
männlich 8. Schulstufe	39	387,4001	43,32137	6,93697	373,3569	401,4433	319,85	496,24
Gesamt	190	427,6769	58,43394	4,23924	419,3146	436,0392	319,85	605,85

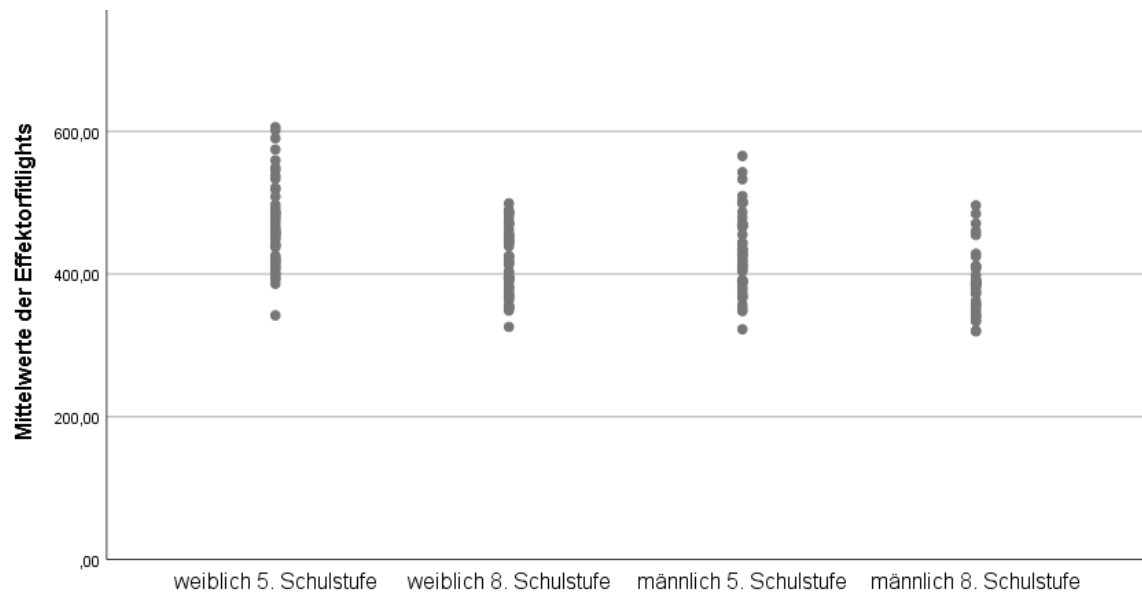


Abb. 65: Streudiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe

7 Diskussion und Vergleich der Ergebnisse mit der Wissenschaft

In der Pubertät, dem biologischen Reifungsschritt im Alter zwischen der 5. und 8. Schulstufe, kommt es zu körperlichen und psychischen Veränderungen. Hormone wirken auf das Körperwachstum, auf das Verhältnis von Muskel- zu Fettgewebe, auf die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale und die Reifung der Sexualorgane sowie das zentrale Nervensystem. Die Pubertätsentwicklung ist unter den Geschlechtern auf vier bis fünf Jahren angesetzt (zwischen 10. und 15. Lebensjahr), somit tritt jede Schülerin und jeder Schüler auf spezifisch individuelle Weise in diesen Lebensabschnitt ein (Lang & Lang, 2007, S. 271).

Das Ziel für diese praktische Testung war es, den Unterschied zwischen der 5. und 8. Schulstufe zu untersuchen und bestimmte Ursachen zu begreifen und vielleicht auch Beziehungen zu entdecken. Diese Ergebnisse sollen erörtert werden und zu allgemein gültigen Aussagen für den Sport, Sportunterricht, eventuell für die Arbeitswelt (Arbeitsbildschirm, Arbeitsbereich für Feinarbeiten) als auch für den E-Sport führen.

Die genaue Ausgestaltung der Untersuchungsmethode wurde einerseits von der Forschungsfrage und andererseits von den möglichen Einflüssen auf die Ergebnisse bestimmt.

- Auswahl der Stichprobe

Für die praktische Testung wurden rund 445 Schülerinnen und Schüler eingeladen (davon waren ca. 170 von der NMS und 275 vom Gymnasium) mitzumachen. So war die Stichprobe unausgelesen und man kann von einer repräsentativen Untersuchung ohne Verzerrung der Ergebnisse sprechen. Wenn man mehr Schulen der NMS in die Untersuchung mitaufgenommen hätte, könnte man auch den Vergleich der Schultypen untereinander machen. Mit der Anzahl der Messdaten nach der Reduktion (Ausreißer und Messfehler wurden entfernt, siehe Punkt 6.6 Überblick Datenreduktion – Datenaufschlüsselung) konnte man gute erhalten.

- Datenerfassung

Für die Datenerfassung wurde ein anerkanntes Mess- und Trainingsgerät verwendet (siehe Punkt 3 Messgerät: FITLIGHT-Trainer). Die Dokumentation, Übertragung und die daraus resultierende Qualitätssicherung für die gelieferten Messdaten (unter anderem durch die Bedienerfreundlichkeit des FITLIGHT-Trainers mit dem dazu benötigten Fitlighttrainerapp am Tablett) war gegeben. Durch den erheblichen Funktionsumfang hätte man noch mehr Daten erfassen können.

Bei der Erstellung der Urstrichliste hätte man die Händigkeit, eine eventuell ausgeübte Sportart (auch Trainingsstunden pro Woche und die Teilnahme an Wettkämpfen) erfragen und notieren können. So hätte man weitere statistische Auswertungen für die Wissenschaft jetzt oder für die Zukunft machen können.

7.1 Allgemeine Argumentations- und Diskussionspunkte

Bei Becker-Carus besteht die Reaktionszeit aus dem Prozess der Reizidentifikation, Reaktionsauswahl und Reaktionsausführung (siehe Punkt 2.52.5 Reaktionszeit). Bei der Testung wäre dies die visuelle Reizidentifikation (aufleuchtendes Effektorfitlight), die Reaktionsauswahl (ob man die rechte oder linke Hand verwendet) und die Bewegung der Hand und des Armes zum aufleuchtenden Effektorfitlight.

Die Einflusskomponenten für diese schnellstmögliche Bewegung sind (Grosser M. , 2007, S. 109)

- psychische Komponenten: Emotionen, Antizipationen, Konzentration, Wille
- neuronale Komponenten: Rekrutierung, Frequenzierung, Erregungs- und Hemmungswechsel im ZNS, Reizleitungsgeschwindigkeit, Vorinnervation
- tendomuskuläre Komponenten: Querschnittsfläche aller Muskelfasern, Muskelkontraktionsgeschwindigkeit, Muskel-Sehnen-Elastizität, (anaerobe und aerobe Energiebereitstellung, hohe Laktatbildungsrate).

Weineck gibt diese Einflüsse auch an und bestätigt, dass durch ein entsprechendes Training die Reaktionszeit und auch die Konzentrationsfähigkeit verbessert werden kann (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 644).

Das wären dann Einflussgrößen für die motorische Schnelligkeit (Grosser M. , 2007, S. 22) wie

- anlage-, entwicklungs-, lernbedingte
- sensorisch-kognitive, psychische
- neuronale
- tendomuskuläre
- und der Qualitätsgrad der sportlichen Technik (Wenn eine ungewohnte Körper- und Positionshaltung eingenommen wird, dann wirkt sich das negativ auf die Reaktionszeit aus. Erst wenn die neuen Positionen entsprechend geübt werden, werden die Reaktionszeiten wieder kürzer (Grosser M. , 2007, S. 84)).

Den Versuch zur Reaktionszeitmessung kann man mit dem Sprintstart vergleichen. Es kommt das Signal, welches auf den Rezeptor auftrifft, wird verarbeitet und löst dann eine muskuläre Reaktion aus. Im Sprint ertönt das akustische Signal, die Sportlerin oder der Sportler drückt sich mit dem hinteren Fuß aus dem Startblock und macht sich auf den Weg ins Ziel. Im 100m-Sprint sind diese Einflussgrößen in der Beschleunigungsphase aus dem Startblock wichtig für eine Spitzenleistung (Majumdar & Robergs, 2011, S. 490).

Bei der praktischen Testung löst das visuelle Signal die Arm-Handbewegung aus. Der Arm und die Hand bewegen sich zum leuchtenden Signal hin, dem Effektorfitlight.

Die Reizidentifikation (Zeit zum Einleiten der muskulären Reaktion auf das Geräusch aus der Startwaffe), die erste Bewegungszeit (Beginn der Reaktion (Kraft des hinteren Fußes beim Startblock beträgt 0 Newton) bis zum ersten Anschlag des Fußes am Boden) und der restlichen Bewegungszeit als Laufzeit bis ins Ziel sind im Sprint die drei voneinander getrennt zu sehenden Zeitabschnitte für den Erfolg (Majumdar & Robergs, 2011, S. 483)

Für Zawieja (Zawieja, 2016, S. 69) sind diese Faktoren (Kraft, Technik, Ansteuerung des Zentralnervensystems, intra- und intermuskuläre Koordination, Beweglichkeit, Ablauf des Dehnungsverkürzungszyklus sowie die Nervenleitgeschwindigkeit) für die Schnelligkeitsleistung im 100m-Sprint leistungsbestimmend. Jan Pauls sieht das im Kapitel 14 unter ähnlichen Gesichtspunkten (Pauls, 2011).

Zusätzlich ist noch eine hohe Willenskraft notwendig, um schnell zu sein, d.h. hochkonzentriert zu sein und zum Teil öfters willentlich zu mobilisieren (Grosser M. , 2007, S. 23). Bei Hebestreit kommen vor dem 10. Lebensjahr die motivationalen Aspekte und das freizeitlich durchgeführte sportliche Übungsangebot als großer Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hinzu (Hebestreit, 2002, S. 9). Zusätzlich hängt die Reaktionsschnelligkeit mit einer gewissen Anspannung der Muskulatur (erhöhter Muskeltonus), vor der einzusetzenden Muskulatur ab (Grosser & Renner, Schnelligkeitstraining, 2007, S. 85), auch Vorperiode genannt.

Bei mehrmals durchgeführten gleichen einfachen Bewegungen wird ein Bereitschaftspotenzial ca. 800 ms vor der eigentlichen Bewegung bei EEGs gemessen (Lang & Lang, 2007, S. 440). Dies führt etwa 90 ms vor der Bewegung zu einer prämotorischen Positivierung und anschließend gleich zum Motorpotenzial für die Bewegung, welches mit einem Bereitschafts- bzw. Erwartungszustand beschrieben wird und eine schnellere Identifikation (Ungerer, 1971, S. 157) erwirkt. Diese Vorinformationen (siehe Abb. 66: Reizleitung), der

zu erwartenden Reaktionen, führen zu verkürzten Reaktionszeiten (Güllich & Krüger, 2013, S. 217).

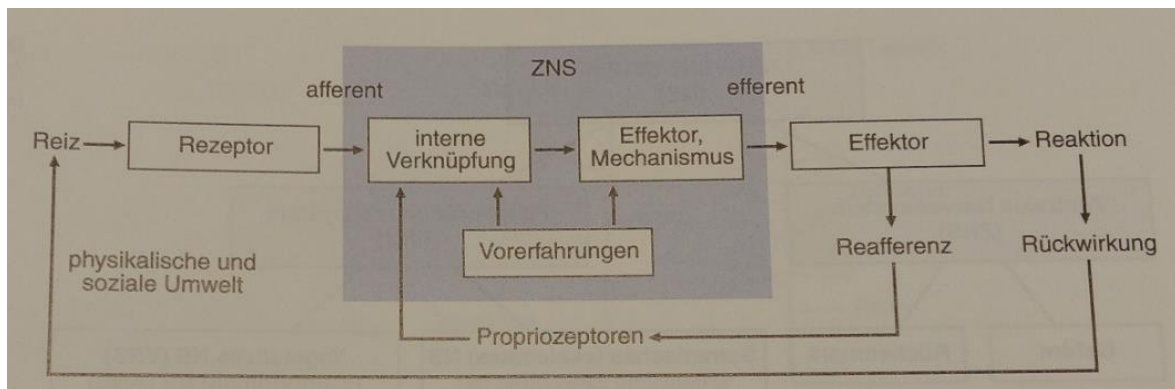


Abb. 66: Reizleitung (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 33)

Untersuchungen an Affen haben ähnliche Ergebnisse gezeigt, wo Armbewegungen zu verschiedenen Zielen die Neuronen im Armareal schon etwa 100-200 ms vor dem Bewegungsbeginn aktiv werden lassen (Mechling & Jörn, 2003, S. 9).

Zusätzliche Faktoren zur Verbesserung der Schnelligkeit setzen koordinative und kraftmäßige Verbesserungen voraus (Fetz, 1971, S. 134). Wobei es bei richtigem Schnelligkeitstraining zur Umwandlung von FTO- zu FTG-Fasern kommt (Grosser & Renner, Schnelligkeitstraining, 2007, S. 39), (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 375).

Steigen die Auswahlmöglichkeiten zur Ansteuerung der Effektorfitlights, steigt auch die Reaktionszeit (Ungerer, 1971, S. 159). Gibt es weniger Auswahlmöglichkeiten (z.B. wenn man nur eine Hand verwendet), so erfolgen die Reaktionen schneller und

fehlerfreier.

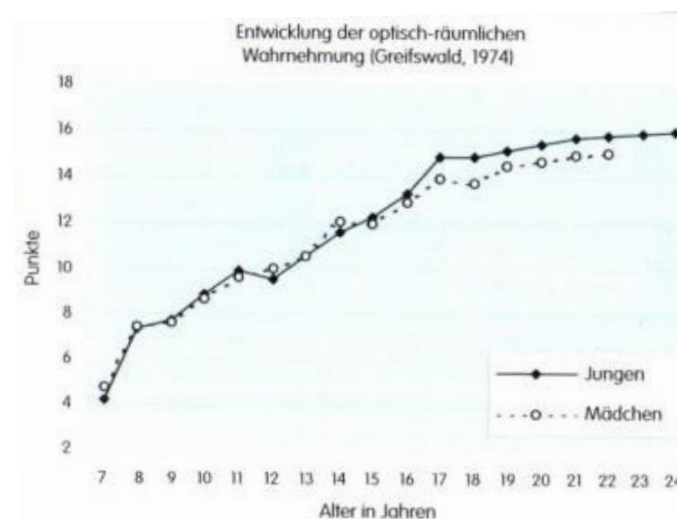


Abb. 67: Bei Knaben besser (Hirtz, PRAXISideen, 2012, S. 26)

Erklärbar ist dies durch die Wahrnehmung der räumlichen Position des zu bearbeitenden Reizes (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 269) (siehe Abb. 67: Bei Knaben besser).

Wobei Steinhöfer die Trainierbarkeit der Rektionsschnelligkeit von bis zu 20% bei einfachen Reaktionen kleiner Körperteile beschreibt (Steinhöfer, 2008, S. 176) (siehe Abb. 68: Unterschied Reaktion und Wahlreaktion).

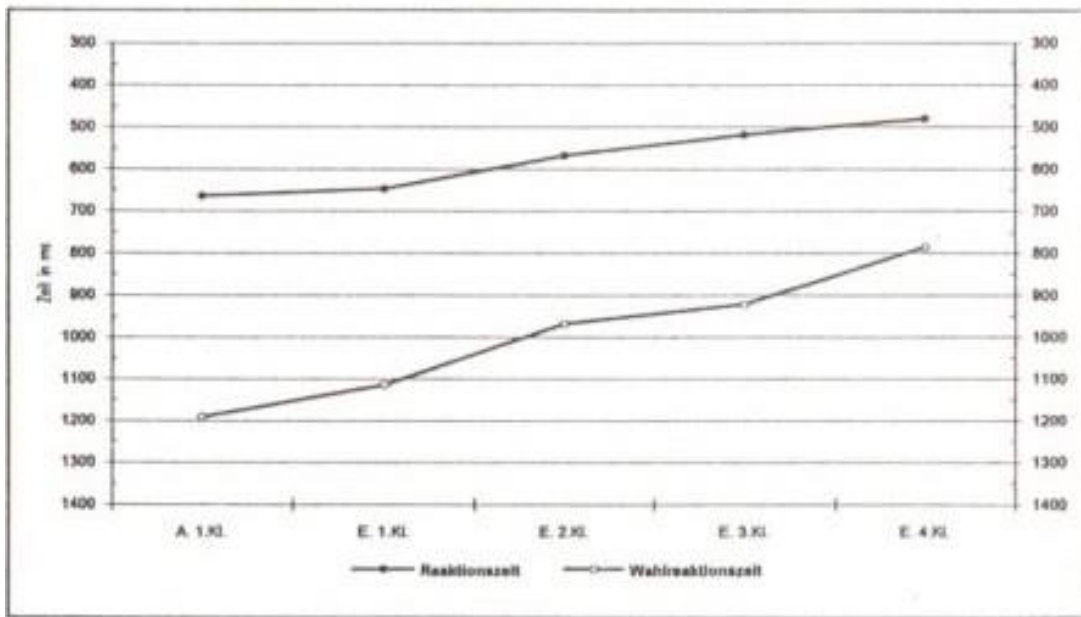


Abb. 68: Unterschied Reaktion und Wahlreaktion (Hirtz & Nüske, Motorische Entwicklung in der Diskussion, 1994, S. 48)

7.2 Diskussion zum Altersunterschied

Dr. Michael Behringer gibt in seiner Dissertation (Behringer, 2011) einen guten Überblick über die Einflüsse in diesem Altersbereich. Er geht speziell auf das Krafttraining für Kinder, wie ein Kraftzuwachs zustande kommt, ein, das sich stark auf die Schnelligkeit und so auch auf die Reaktionsleistungen auswirkt. Die Kraftzuwächse lassen sich auf physiologische Veränderungen (Körpermasse und -Zusammensetzung), neuromuskuläre und biomechanische Einflussfaktoren zurückführen. Ein allgemeines Krafttraining, das ein- bis zweimal pro Woche durchgeführt wird, zeigt positive Einflüsse und bewirkt signifikante Verbesserungen für Sprung-, Wurf- und Stoßkraft sowie für die Sprintschnelligkeit. Dem stimmen auch Dietrich (Dietrich, Handbuch Trainingslehre, 1993, S. 299), Behring (Behringer, 2011) und Ahonen (Ahonen, Lahtinen, Sandström, & Pogliani, 2003, S. 54) zu.

Izquierdo untersuchte eine Trainingsperiode von Kindern zwischen 9 und 11 Jahren beim Krafttraining (Stationenbetrieb). Unabhängig von der Zunahme der Muskelmasse wurde ein signifikanter Anstieg der maximalen Kraft der Arme und Beine beobachtet. So wurde der Schluss gezogen, dass die Verbesserung der Kraft in hohem Maße mit der Verbesserung der intramuskulären Koordination zusammenhängt (Izquierdo, 2007). Auch in den Leipziger Sportwissenschaftlichen Beiträgen wird der Kraftzuwachs vorrangig auf neurophysiologische Mechanismen zurückgeführt (kaum Hypertrophieeffekte) und er führt zu einer Verbesserung der Teilleistungen im Sport (Dekan, 2015, S. 106). Laut Badtke kommt es in der Präpubeszenz durch ein entsprechendes Training zu einer höheren Steigerung des Kraftniveaus als bei Jugendlichen (Badtke, 2010, S. 560), da vor der Pubertät der Muskel vollständig aktiviert wird.

Auch bei Mikesky kam es frühzeitig nach einem achtwöchig (dreimal die Woche) durchgeführten Krafttraining bei vorpubertierenden Jugendlichen (Durchschnittsalter war 10,3 Jahre) mit Kurzhanteln zu Muskelzuwächsen beim Ellbogenbeuger (Mikesky, 1994, S. 510). Bei der praktischen Testung wurde der Ellbogenbeuger eingesetzt, so wie auch bei Fechtbewegungen. Balko beschreibt ein spezielles neunwöchiges Reaktionstraining bei jugendlichen Fechterinnen und Fechtern, sodass es in der Wahlreaktionszeit zu einem signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Reaktionstrainingsgruppe kam. Es kann davon ausgegangen werden, dass spezielle Trainingsprozesse die Reaktionszeiten verbessern (Balkó, 2017, S. 151).

In der folgenden Grafik (Abb. 69: Entwicklung der Reaktionsfähigkeit) von Hirtz sind die Zuwachsraten der Reaktionsfähigkeit bei vorpubertären Kindern zu sehen.

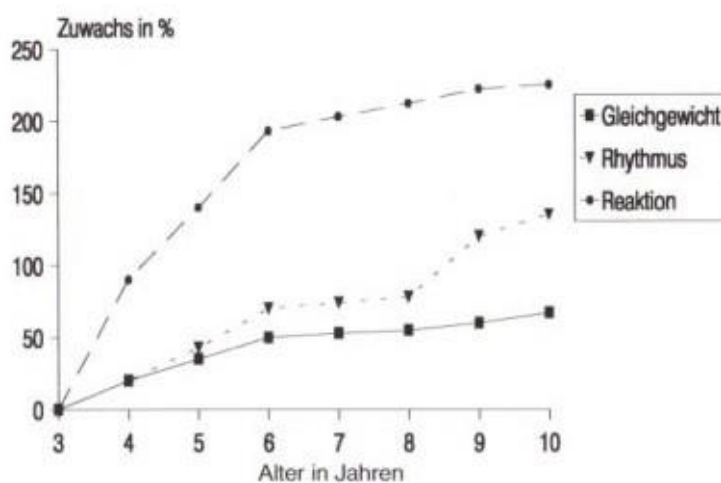


Abb. 69: Entwicklung der Reaktionsfähigkeit (Hirtz, Sportmotorik, 1997, S. 215)

Die mittleren Reaktionszeiten der Schülerinnen und Schüler der 8. Schulstufe ($M = 404,496$ ms) waren signifikant schneller als die Reaktionszeiten der Schülerinnen und Schüler der 5. Schulstufe ($M = 448,856$ ms) (siehe Punkt 6.9.1 auf Seite 86).

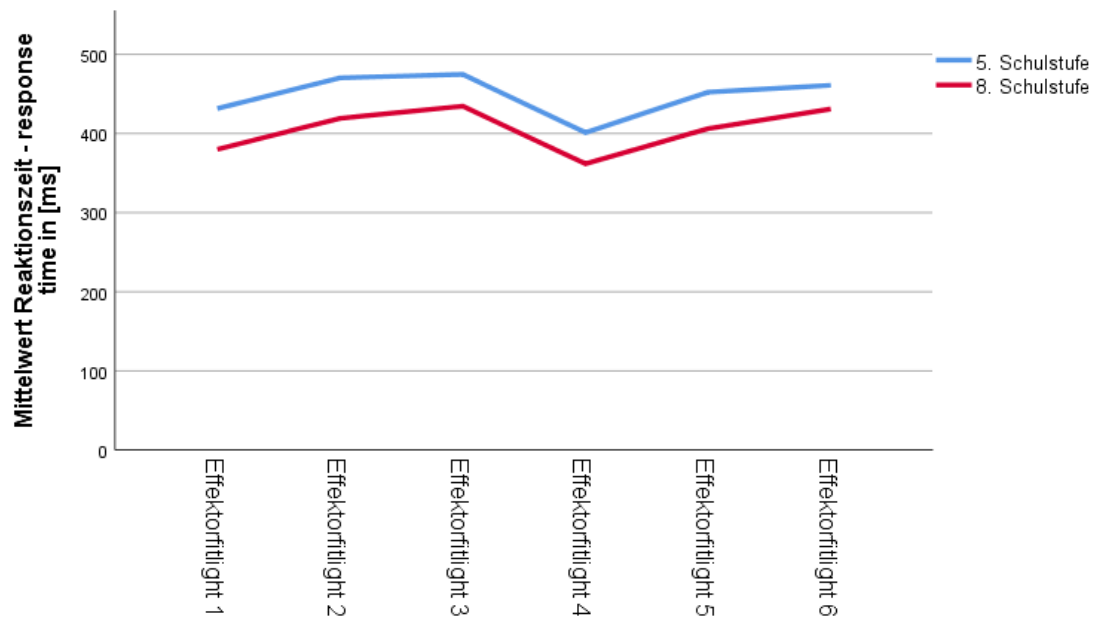


Abb. 70: Liniendiagramm der mittleren Reaktionszeiten der 5. und 8. Schulstufe aufgeteilt in die Effektorfitlights

Auch bei Untersuchungen von Fischer waren die älteren Kinder schneller als die jüngeren (Fischer, 1995, S. 97).

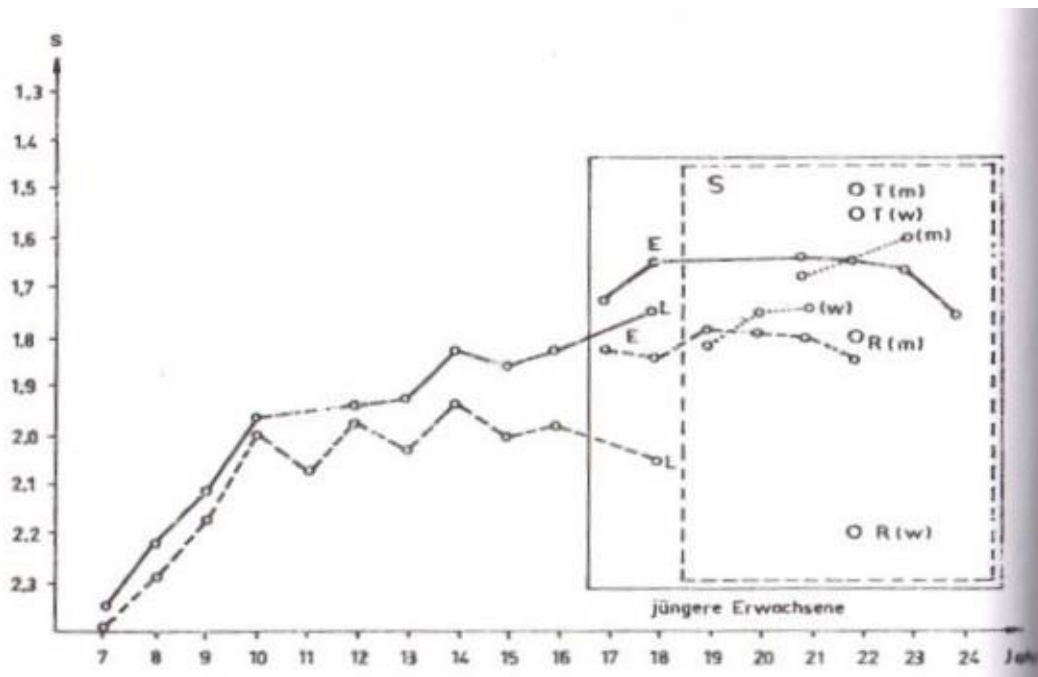


Abb. 71: Entwicklung der komplexen Reaktionszeiten zwischen 7 und 24 Jahre (Hirtz, Sportmotorik, 1997, S. 228)

Wie man im obigen Diagramm Abb. 71: Entwicklung der komplexen Reaktionszeiten zwischen 7 und 24 Jahre sieht, sind die Reaktionszeiten zwischen Knaben (m) und Mädchen (w) unterschiedlich, und auch die Steigerung der Reaktionszeiten ist bei Knaben im Alter zwischen 10 und 14 Jahren stärker als bei Mädchen.

Aufgrund des Testosteronanstiegs bei Jungen in der Pubertät ist der trainingsbedingte Kraftzuwachs in diesem Lebensabschnitt sowohl auf neuronale Faktoren als auch auf Hypertrophie zurückzuführen (Granacher, Kriemler, Gollhofer, & Zahner, 2009, S. 42), das bei präpubertierenden Kindern noch nicht vorhanden ist (Anpassungsmechanismen im Krafttraining findet vor allem auf neuronaler Ebene (Granacher, Kriemler, Gollhofer, & Zahner, 2009, S. 43) durch eine intramuskuläre Koordination, in Form einer verbesserten Rekrutierung und Frequenzierung motorischer Einheiten, statt). Majumdar und Robergs bringen noch zusätzlich die Aktivierung einer höheren Anzahl muskelmotorischer Einheiten (Majumdar & Robergs, 2011, S. 491) hinzu. In der Pubertät kommt noch hinzu, dass Knaben im Verhältnis zu Mädchen durch den Einfluss der Androgene in der Maximalkraft extreme Leistungszuwächse haben (Hebestreit, 2002, S. 9).

7.3 Diskussion zum Geschlechtsunterschied

Wenn im präpubertären Alter ein sorgfältiges Krafttraining gut angeleitet wird, kommt es zu Kraftzuwächsen, die bei Knaben und Mädchen nur geringe Unterschiede aufweisen (Granacher, Kriemler, Gollhofer, & Zahner, 2009, S. 44). Bei Hebestreit wären die Reaktionszeiten der Knaben und Mädchen in diesem Alter identisch (Hebestreit, 2002, S. 9). Dem wird auch in den Leipziger Sportwissenschaftlichen Beiträgen zugestimmt (Dekan, 2015, S. 106).

Ahonen schreibt aber, dass die Reaktionszeit unter anderem vom Geschlecht abhängt (Ahonen, Lahtinen, Sandström, & Pogliani, 2003, S. 54).

Das Ergebnis bei den Testungen ergab, dass die mittleren Reaktionszeiten der 90 getesteten Schüler ($M = 411,880$ ms) signifikant schneller waren als die Reaktionszeiten der 100 getesteten Schülerinnen ($M = 441,894$ ms). Diese signifikanten Ergebnisse zum Geschlechtsunterschied beschreibt auch Badtke zugunsten der Knaben (Badtke, 2010, S. 560).

Wie im folgenden Liniendiagramm Abb. 72: Reaktionszeiten Unterschied weiblich zu männlich ersichtlich ist, sind die Knaben bei allen Effektorfitlights durchschnittlich schneller als die Mädchen.

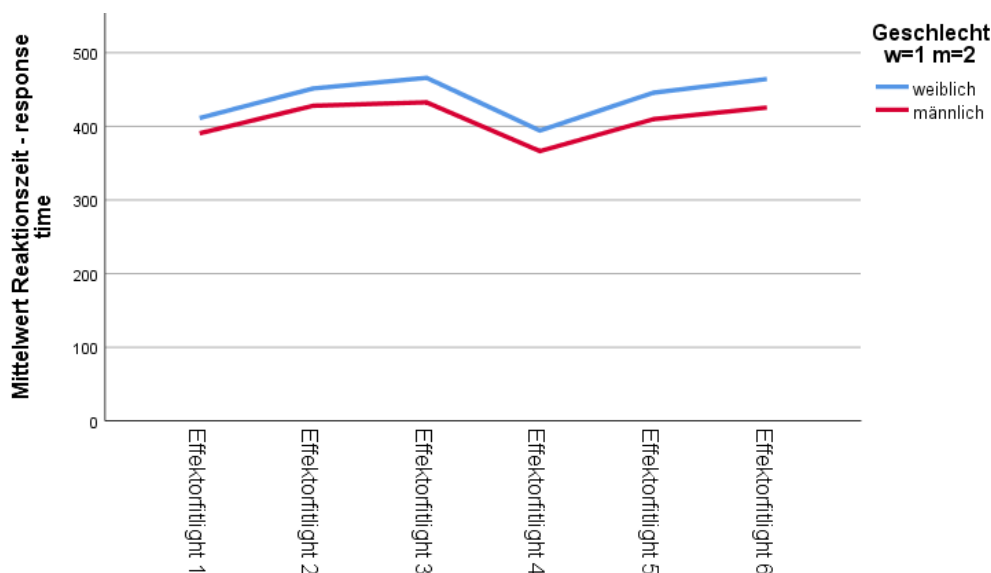


Abb. 72: Reaktionszeiten Unterschied weiblich zu männlich

Die Entwicklung der Schnellkraft am Ende der ersten puberalen Phase geht bei Knaben schneller als bei Mädchen voran (Dietrich, Handbuch Trainingslehre, 1993, S. 308), das auf die größere Kraftkomponente zurückzuführen ist.

Im Schulsport bewirken gezielte Krafttrainingseinheiten signifikante Kraftzuwächse, wobei die untrainierten Schülerinnen und Schüler am meisten profitieren. Knaben strengen sich durch den Konkurrenzdruck mehr an und es folgt daraus ein durchschnittlich besseres Kraftniveau, folglich sind die Knaben schnellkräftiger (Balz, Bräutigam, Miethling, & Wolters, 2011, S. 36).

Jay Dawes beschreibt im Kapitel Sex Differences, dass die Männer durchschnittlich einen größeren Muskelquerschnitt als Frauen haben. Im Alter zwischen 13 und 16 Jahren wurden zwischen Knaben und Mädchen in der oberen Körpermuskulatur ein bis zu 45%iger und in der Unterkörpermuskulatur ein bis zu 30%iger Unterschied gemessen (Dawes, 2019).

Aufgrund des Testosteronanstiegs bei Jungen in der Pubertät ist der trainingsbedingte Kraftzuwachs in diesem Lebensabschnitt sowohl auf neuronale Faktoren als auch auf Hypertrophie zurückzuführen (Granacher, Kriemler, Gollhofer, & Zahner, 2009, S. 42), das bei pubertären Mädchen in erster Linie nur durch neuronale Mechanismen stattfindet.

Auch wenn man eine Gegenüberstellung der 20 besten Ergebnisse der praktischen Testung macht, geht eindeutig hervor, dass die Knaben schnellere Reaktionszeiten aufweisen (siehe Tab. 28: Die 20 besten Ergebnisse unterteilt in Schulstufe und Geschlecht).

Tab. 28: Die 20 besten Ergebnisse unterteilt in Schulstufe und Geschlecht

Effektorfitlight	5. Schulstufe	8. Schulstufe	davon Mädchen	davon Knaben
1	5	15	7	13
2	5	15	5	15
3	8	12	5	15
4	7	13	7	13
5	4	16	5	15
6	8	12	4	16

7.4 Diskussion zur 5. Schulstufe: Unterschied zwischen Mädchen und Knaben

In diesem Abschnitt liegt der Fokus auf das Alter von ca. 10 Jahren beider Geschlechter. Knaben der 5. Schulstufe ($M = 430,691$ ms) zeigten bei der praktischen Testung schnellere Reaktionszeiten als Mädchen der 5. Schulstufe ($M = 468,156$ ms) (siehe Abb. 73: Liniendiagramm der 5. Schulstufe nach dem Geschlecht und den Effektorfitlight unterteilt).

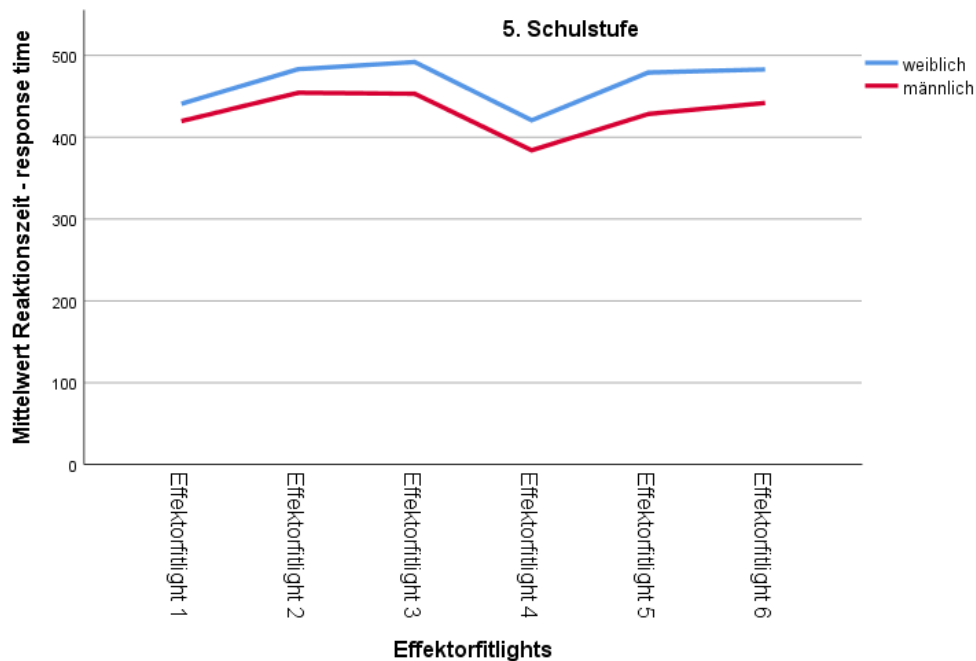


Abb. 73: Liniendiagramm der 5. Schulstufe nach dem Geschlecht und den Effektorfitlight unterteilt

Bei einer Zusammenfassung von Studien wurde beschrieben, dass im präpubertären Alter bei einem sorgfältigen gut angeleiteten Krafttraining es bei Knaben und Mädchen zu fast identischen übernormalen Kraftzuwächsen kommt (Granacher, Kriemler, Gollhofer, & Zahner, 2009, S. 43). Argumente aus dem Punkt 7.3 „Diskussion zum Geschlechtsunterschied“ treffen auch hier zu.

7.5 Diskussion zur 8. Schulstufe: Unterschied zwischen Mädchen und Knaben

Im Fokus steht hier das Alter von ca. 14 Jahren beider Geschlechter.

Knaben der 8. Schulstufe ($M = 387,405 \text{ ms}$) zeigten schnellere Reaktionszeiten als Mädchen der 8. Schulstufe ($M = 417,314 \text{ ms}$) (siehe Abb. 74: Liniendiagramm der 8. Schulstufe nach dem Geschlecht unterteilt).

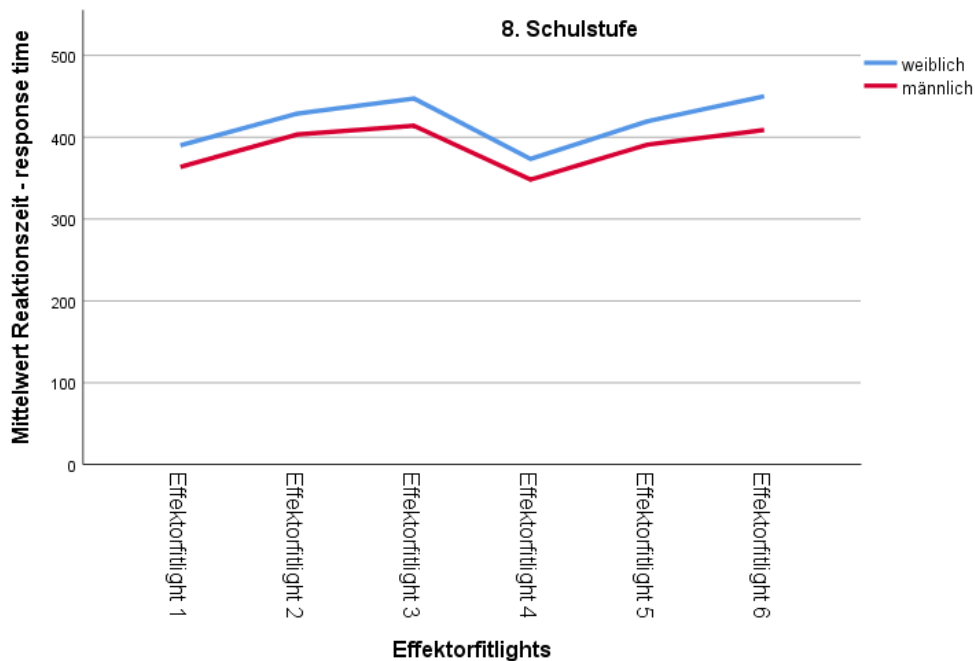


Abb. 74: Liniendiagramm der 8. Schulstufe nach dem Geschlecht unterteilt

Argumente aus dem Punkt 7.3 Diskussion zum Geschlechtsunterschied treffen auch hier zu. Bei der Untersuchung zu visuellen Wahrnehmungsfähigkeiten auf einen Reiz zu reagieren wurden Jugendliche zwischen 13 und 16 Jahren untersucht (Kuan, Zuhairi, Manan, Knight, & Rokiah, 2018, S. 135). Bei den visuellen Wahrnehmungsfähigkeiten wurde jedoch keine Wechselwirkung zwischen Geschlecht und Sport festgestellt.

7.6 Diskussion zum Unterschied zwischen den Gruppen (Mädchen 5., Knaben 5., Mädchen 8. und Knaben 8. Schulstufe)

Schülerinnen der 5. Schulstufe ($M = 468,49$ ms) waren langsamer als Schüler der 5. Schulstufe ($M = 430,60$ ms), die wiederum langsamer waren als die Schülerinnen der 8. Schulstufe ($M = 417,34$ ms). Daraus ergibt sich, dass die Schüler der 8. Schulstufe ($M = 387,40$ ms) die kürzeste Reaktionszeit haben (siehe Tab. 29: Einfaktorielle ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, der 5. und 8. Schulstufe, Abb. 75: Liniendiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, der 5. und 8. Schulstufe, Tab. 30: statistische Kennzahlen der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, 5. und 8. Schulstufe und Abb. 76: Streudiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, 5. und 8. Schulstufe).

Die Mittelwerte zwischen den Gruppen unterscheiden sich signifikant.

Tab. 29: Einfaktorielle ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, der 5. und 8. Schulstufe

Einfaktorielle ANOVA					
Mittelwert_alle_Eff	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	149216,513	3	49738,838	18,647	,000
Innerhalb der Gruppen	496128,737	186	2667,359		
Gesamt	645345,250	189			

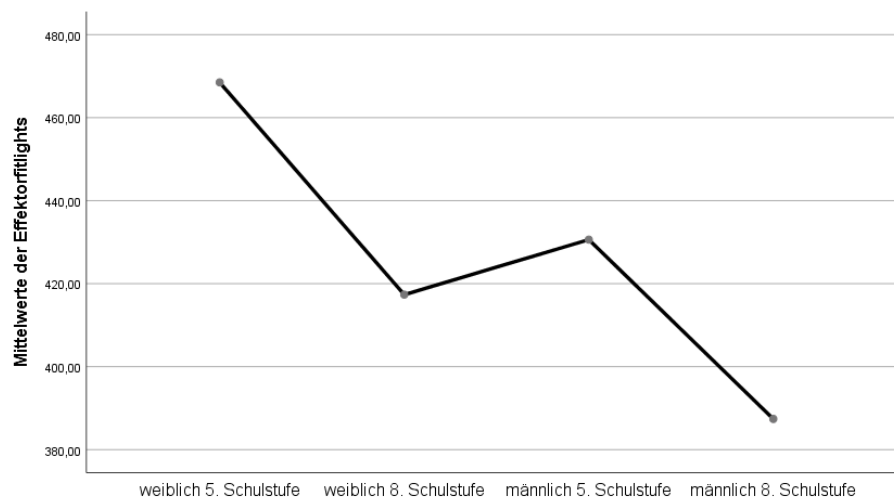


Abb. 75: Liniendiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, der 5. und 8. Schulstufe

Tab. 30: statistische Kennzahlen der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, 5. und 8. Schulstufe

ONEWAY deskriptive Statistiken

Mittelwert_alle_Eff

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.-Fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
weiblich 5. Schulstufe	48	468,4915	60,88407	8,78786	450,8126	486,1704	342,07	605,85
weiblich 8. Schulstufe	52	417,3419	45,38030	6,29311	404,7080	429,9759	325,92	499,08
männlich 5. Schulstufe	51	430,6006	53,95586	7,55533	415,4252	445,7759	322,56	565,50
männlich 8. Schulstufe	39	387,4001	43,32137	6,93697	373,3569	401,4433	319,85	496,24
Gesamt	190	427,6769	58,43394	4,23924	419,3146	436,0392	319,85	605,85



Abb. 76: Streudiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, 5. und 8. Schulstufe

Diskussions- und Argumentationspunkte zu diesem Teil der Arbeit wurden schon in den vorher angeführten Punkten erörtert.

7.7 Diskussion: Sportler – Nichtsportler

In diesem Abschnitt wird zwischen Sportlern und Nichtsportlern verglichen.

Die genetische Determination der Reaktionszeit ist laut Ahonen nicht eindeutig geklärt (Ahonen, Lahtinen, Sandström, & Pogliani, 2003, S. 54).

Der Sportler und die Sportlerin trainieren und vergrößern dadurch ihre Kraft und verbessern die Koordination. Die unter der Willkür mögliche höchste Kraft ist die Maximalkraft. Im

neuromuskulären System entsteht durch exzentrische Bedingungen die noch höhere Absolutkraft. Die Differenz dieser beiden Kräfte wird als Kraftdefizit beschrieben (Güllich & Krüger, 2013, S. 468). Dieses Kraftdefizit kann zwischen 30% (Untrainierte bzw. Nichtsportler) und 10% (Trainierte bzw. Sportler) (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 371) bzw. 5 % (Güllich & Krüger, 2013, S. 227) liegen.

Die Maximalkraft entsteht durch die möglichst vollständige neuronale Rekrutierung und Innervation der Muskeln. Hier kommt es zu einer Frequenzierung der FT-Muskelfasern (siehe Abb. 77: schematische Darstellung des Rekrutierungsprinzips (ST Slow Twitch, FTO Fast Twitch oxidativ, FTG Fast Twitch glykolytisch) mit einer Frequenz bis zu 100 Hz (Lüdemann, 2016, S. 45). Bei den schnellkräftigen Bewegungen kommt noch der Aspekt der Synchronisation ins Spiel. Hier sollen möglichst hohe Kraftwerte in einem kurzen Zeitabschnitt entwickelt werden, sodass die Bewegung schnellstmöglich ausgeführt werden kann.

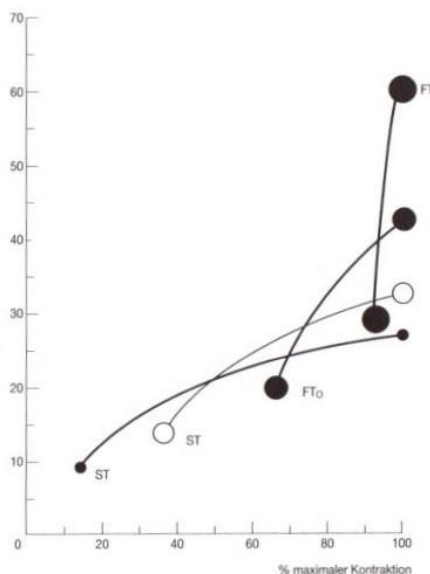


Abb. 77: schematische Darstellung des Rekrutierungsprinzips (ST Slow Twitch, FTO Fast Twitch oxidativ, FTG Fast Twitch glykolytisch (Grosser & Starischka, Das neue Konditionstraining, 1998, S. 56)

Wenn man an die autonom geschützte Aktivierungsenergie denkt, die bei einer willkürlichen Kontraktion normalerweise nicht verwendet wird, ist sie bei Untrainierten bei ca. 70 % der Absolutkraft. Durch kontinuierliches Training kann diese auf ca. 95 % der Absolutkraft erweitert werden (Güllich & Krüger, 2013, S. 227) und siehe unten Abbildung Abb. 78: Möglicher Fasereinsatz bei der Bewegung . So kann dieser Unterschied der - zur Absolutkraft zu schnelleren Bewegungen führen.

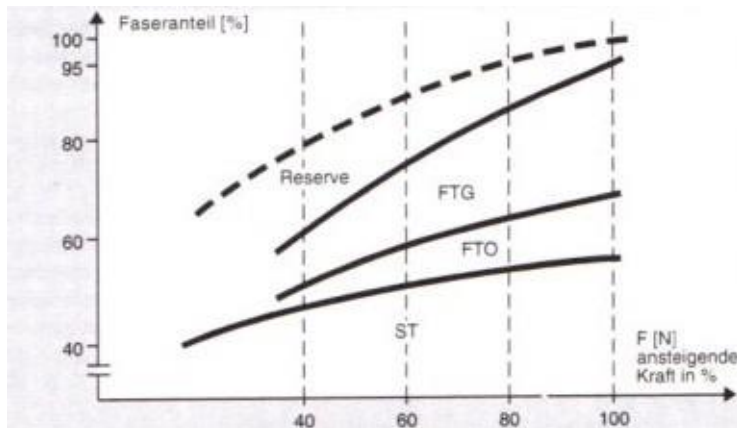


Abb. 78: Möglicher Fasereinsatz bei der Bewegung (Grosser & Starischka, Das neue Konditionstraining, 1998, S. 57)

Jan Pauls bestätigt, dass durch ein Krafttraining die neuronalen Komponenten und die Funktionskapazität der weißen Muskelfasern trainierbar sind. Im Kapitel 27 beschreibt er, dass die Start- und Explosivkraft die Aufgabe haben, in möglichst kurzer Zeit viel Kraft zu bilden, und so eine schnellstmögliche Bewegung auszuführen. Diese Bewegung ist z. B. beim Boxschlag äußerst wichtig.

Bei Wiemann (Wiemann, Biomechanik und Bewegungslehre des Sports, 2018) (siehe Abb. 79: Muskelkraftmomente bei maximaler Kontraktion von drei verschiedenen Muskeln mit verschiedener Fasertypzusammensetzung) besteht die Schnellkraft aus dem Trainingszustand (Maximalkraft), der Fasertypzusammensetzung (Kontraktionszeit, Explosivkraft, Kontraktionsgeschwindigkeit) und den koordinativen Voraussetzungen (Anfangskraft, Reaktivkraft).

Tab. 31: Kontraktionszeiten und Verkürzungsgeschwindigkeiten der Fasertypen (Wiemann & Gretz, Biomechanik und Bewegungslehre des Sports, 1993, S. 2)

	Typ I	Typ IIA	Typ IIB
Kontraktionszeit [s]	0,14	0,1	0,06
Verkürzungsgeschwindigkeit [m/s]	0,1	0,3	0,9

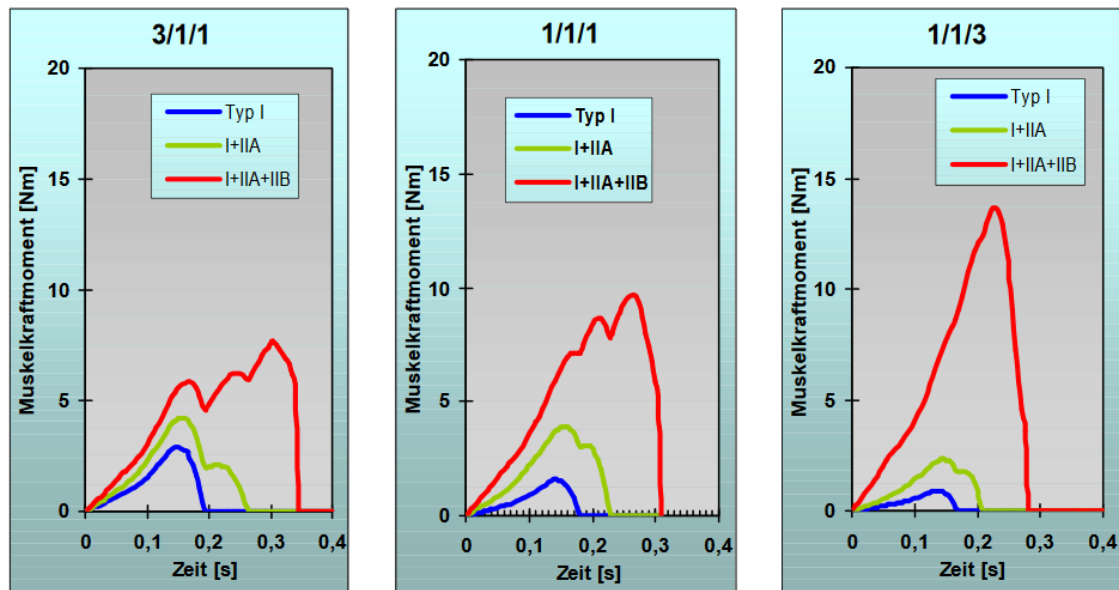


Abb. 79: Muskelkraftmomente bei maximaler Kontraktion von drei verschiedenen Muskeln mit verschiedener Fasertypzusammensetzung (Wiemann & Gretz, Biomechanik und Bewegungslehre des Sports, 1993, S. 14)

Die obige Abbildung mit den Kontraktionszeiten und Verkürzungsgeschwindigkeiten der Fasertypen verdeutlicht bei simultaner Rekrutierung, dass der Anteil der schnellen Fasern eine große Veränderung des Kraftstoßes bewirkt und dadurch auch die Zeitspanne der Bewegung abnimmt.

Unterschiede gibt es zwischen Nichtsportlern und Sportlern. „*Leistungssportler haben eine kürzere Reaktionszeit als Breitensportler. Ist nicht nur auf das Training, sondern auch auf die Leistungserwartungen zurückzuführen!*“ (Ahonen, Lahtinen, Sandström, & Pogliani, 2003, S. 54). Auch Kuan, Zuhairi, Manan, Knight und Rokiah kommen zu diesem Ergebnis, (Kuan, Zuhairi, Manan, Knight, & Rokiah, 2018, S. 137). Dies wird speziell hervorgerufen durch die höhere Konzentrationsfähigkeit und Wachsamkeit, wodurch es zu weniger Fehlern kommt. In Folge kommt es durch die bessere Erwartungsfähigkeit zu einer höheren Bewegungsgeschwindigkeit und zur kürzeren Vorwegnahmezeit von Sportlerinnen und Sportlern (Kuan, Zuhairi, Manan, Knight, & Rokiah, 2018, S. 140).

Die Konzentrationsfähigkeit ist in den Ergebnissen über die Standardabweichung (5. Schulstufe: 60,0877 ms und 8. Schulstufe: 46,7348 ms) herauszulesen, weil die Fehlversuche der 5. Schulstufe höher als die der 8. Schulstufe sind (siehe Punkt 6.9.1 H1.0 – Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe hinsichtlich der Auge-Hand Reaktionszeit.).

Hinzu kommt nach Akarsu, Calsikan und Dane, dass die Sportler im Verhältnis zu Nichtsportlern eine verkürzte Reaktionszeit durch eine höhere räumliche Wahrnehmung haben, schneller und besser in der Informationsverarbeitung sind (Akarsu, Çalsikan, & Dane, 2009, S. 873) und die Vorfreude auf die Bewegung eine wichtige Rolle bei der sportlichen Leistung spielt. Dies zeigt auch die Untersuchung von Fechtern und Boxern, welche mit einer Kontrollgruppe verglichen wurden, wobei die Sportler die Go / No-Go-Aufgabe signifikant schneller ausführen konnten, was mit einem höheren Bereitschaftspotential der Sportler in Verbindung gebracht wurde (Bianco, Di Russo, Livio Perria, & Berchiccia, 2016, S. 265).

7.8 Diskussion zu statistischen Begriffen

Bei der praktischen Testung der Schülerinnen und Schüler der 5. und 8. Schulstufe kam das direkte digitale Messverfahren mit dem FITLIGHT-System zum Einsatz. Es wurde die physikalische Messgröße (Zeitdauer) in [ms] (Millisekunden) aufgezeichnet. Die Versuchsbedingungen wurden so angelegt, dass möglichst wenig Störeinflüsse von außen auf die Schülerinnen und Schüler einwirkten. Die Versuchsteilnehmerinnen und -nehmer wurden repräsentativ für diese Altersgruppe ausgesucht.

Die Qualitätsindikatoren, das sind die klassischen Gütekriterien (Hauptgütekriterien: Objektivität, Reliabilität und Validität), fokussieren sich auf die Entstehung der Ergebnisse und deren Qualität (Leonhart, 2008, S. 34). Die Balance des Gesamtsystems wurde optimiert, so konnte eine Beziehung zwischen den klassischen Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität hergestellt werden.

Die Objektivität ist gegeben, da eine Unabhängigkeit der Ergebnisse nicht vom Versuchsleiter und auch nicht von den Personen, die bei der Ergebniserstellung beteiligt sind, abhängt. Die Versuchsergebnisse sind unabhängig von der durchführenden Person, da der Einfluss von der Tagesform und Stimmung keinen Einfluss auf die praktische Testung hat (intraindividuelle Objektivität), zusätzlich ist durch den einfachen Testaufbau und -ablauf eine ausreichende Reproduzierbarkeit und Unabhängigkeit vom Untersucher gegeben. Der zwischenmenschliche Kontakt war durch ganz klare vorgefertigte Instruktionen auf ein Minimum begrenzt, so kann man auch von einer Durchführungsobjektivität sprechen.

Die Messdaten wurden quantitativ elektronisch erhoben, so ist auch eine Interpretationsobjektivität gegeben. Durch die hohe Genauigkeit der Messung und die erhaltenen Ergebnisse wird eine hohe Zuverlässigkeit (Reliabilität) angenommen. Die Gültigkeit der Messung ist

valide. Es wurde das zu bestimmende Merkmal, die Reaktionszeit, der Schülerinnen und Schüler gemessen.

Die Erhebung der Messdaten wurde von den Schülerinnen und Schülern gut angenommen. Von Eltern und Lehrkräften bekam man viel Zuspruch zur Wertigkeit und Aussagekraft, deshalb geht man von einer hohen Akzeptanz aus. Aus den Ergebnissen kann für den Sport etwas Sinnvolles abgeleitet werden, weshalb auch die Nützlichkeit der Untersuchung gegeben ist.

Das FITLIGHT-System wurde von der SPORTUNION Hollabrunn für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt, deshalb war eine Ökonomie gegeben.

Die Untersuchung war auch ethisch vertretbar, da die Teilnehmerinnen und -nehmer nicht zu sehr psychisch und physisch belastet wurden und die Transparenz im Vorfeld die Schülerinnen und Schüler über das Forschungsziel informiert wurden. Die Testfairness, Menschen unterschiedlicher Kultur, unterschiedlichen Geschlechts und Alters wurden gleich behandelt, war gegeben.

8 Interpretation

Wie aus den theoretischen Hintergründen und der Diskussion ersichtlich ist, hängt die Reaktionszeit stark ab von:

- Alter
- Geschlecht
- Muskelkraft bzw. Leistung des Muskels: diese hängt ab von
 - Verkürzungsgeschwindigkeit
 - Zusammenschalten der kontraktilen Elemente
 - Geometrie der Strecke
 - Hebel der Knochen-Muskel
- Motivation, die willkürliche, willentliche Bewegung ausführen zu wollen. Diese ist zum Zeitpunkt der Bewegung immer 100%, auch wenn dies vielleicht nicht die maximale Geschwindigkeit bedeutet. D.h. zu diesem Zeitpunkt ist die Bewegung die schnellst mögliche.

Die Reaktionszeit wirkt sich auf die einzelnen Messwerte aus. Es wurde davon ausgegangen, dass bei der Untersuchung ein repräsentativer Durchschnitt der Grundgesamtheit gebildet werden konnte.

Die Zeit als physikalische Größe ist von anderen Größen wie Geschwindigkeit, Weg, Beschleunigung und Kraft abhängig.

Grundsätzlich gilt für:

Kraft $F = m * a$ bzw. umgeformt $a = \frac{F}{m}$

Geschwindigkeit $v = \frac{s}{t}$

Beschleunigung $a = \frac{s}{t^2}$ bzw. umgeformt $t^2 = \frac{s}{a}$

Durch Einsetzen der letzten Formeln in die Gleichung für Leistung P entsteht:

$$P = F * v = F * \frac{s}{t} \quad \text{bzw.} \quad F = \frac{P * t}{s}$$

Durch Einsetzen in die Formel $t^2 = \frac{s}{a}$ entsteht:

$$t^2 = \frac{s}{\frac{F}{m}} = \frac{s * m}{F} = \frac{s * m}{\frac{P * t}{s}} = \frac{s^2 * m}{P * t} \quad \text{und} \quad t^3 = \frac{s^2 * m}{P}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{s^2 * m}{P}}$$

Umso größer die Leistung P ist, desto geringer wird die Zeit t , da die Zeit t allein von der Leistung P abhängig ist. Also ist der limitierende Faktor der Bewegung die Kraft, die wiederum von der Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation abhängig ist.

Die Masse m (Arm und Hand) und der Weg s (der Abstand vom Startfitlight zum Effektorfitlight) verändert sich nicht während der Testung und ist daher immer konstant.

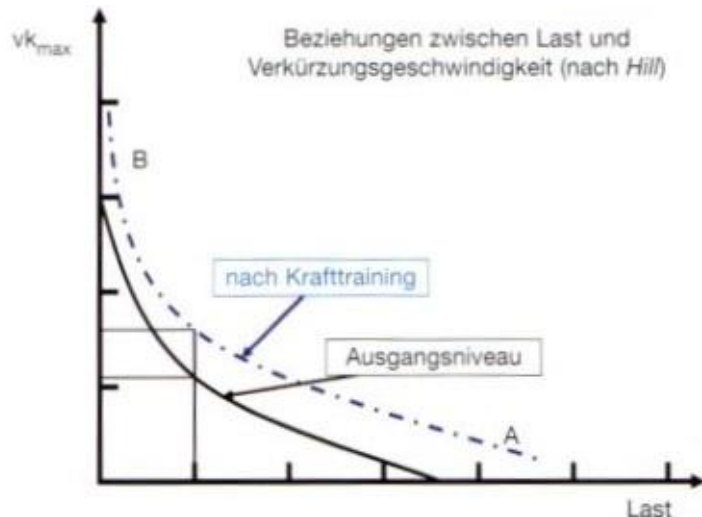


Abb. 80: Muskelleistung vor und nach dem Krafttraining (Wick, 2009, S. 97)

Wie man in der Abb. 80: Muskelleistung vor und nach dem Krafttraining sieht, wird nach dem Krafttraining ein Muskelleistungszuwachs erreicht, der wiederum zu einer höheren Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskulatur führt.

Die Reaktionsschnelligkeit ist eine wichtige Grundlage und zwingende Voraussetzung für den Leistungs- und Spitzensport (Fichtner, 2018, S. 74), egal ob für azyklische oder zyklische Bewegungen (Steinhöfer, 2008, S. 172) bzw. für azyklische Beschleunigungsleistungen (Steinhöfer, 2008, S. 179).

Die Reaktionszeiten im Alter zwischen der 5. und 8. Schulstufe können zur Talentfindung herangezogen werden, weil

- die elementaren Schnelligkeitseigenschaften am besten im frühen Schulkindesalter und in der ersten puberalen Phase trainierbar sind (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 615). Speziell in diesem Altersbereich sollte darauf geschaut werden, dass die Schülerinnen und Schüler genügend Möglichkeiten bekommen sich zu bewegen, um durch ihre intrinsische Motivation das Beste aus der Bewegungszeit rauszuholen.
- es für eine Verbesserung der grob- und feinmotorischen Bewegungen wichtig ist, neuronale Bahnen so zu trainieren, dass sie sich genau mit dem gewünschten Bewegungsmuster verhalten (Majumdar & Robergs, 2011, S. 479). Es wäre deshalb gut,

wenn der Sportunterricht bzw. das Training unter fachkundiger Aufsicht einer Lehrkraft, einer fachkundigen Trainerin oder einem fachkundigen Trainer durchgeführt wird und zusätzlich noch versucht wird, eigene vorgegebene Ziele zu erreichen.

- die Kinder im vorpubertären Alter zur Bewegung leichter zu motivieren sind als später. Deshalb hat vor dem 10. Lebensjahr der motivationale Aspekt und das freizeitliche sportliche Übungsangebot einen großen Einfluss auf die jetzige und spätere Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler (Hebestreit, 2002, S. 9).
- bei der Bewegungsschnelligkeit die Widerstände gering sind, wo neuromuskuläre Steuerungsprozesse im Vordergrund stehen (Steinhöfer, 2008, S. 173). Eine Boxschlagbewegung ist mit der Bewegung der praktischen Testung direkt vergleichbar. Um die Armkraft und so auch die Schnellkraft zu erhöhen, können Liegestütze als reaktive Übungen eingesetzt werden (Kapitel 29) (Pauls, 2011).

All diese Argumente können nur bedeuten: „Mehr Bewegungsangebote in diesem Alter in den Schulen und in der Freizeit!“

9 Ausblick und Anregung

Wollen die Schülerinnen und Schüler bei Spportsportarten gut sein, dann spielt die Reaktionsschnelligkeit eine große Rolle (Weineck, Optimales Training, 2007, S. 639).

Für den Schulsport wäre es nach den Ergebnissen für die Kinder und Jugendlichen wichtig, dass in der Schulstunde im Fach „Bewegung und Sport“ mehr Wert auf Kraftübungen und Koordinationsübungen gelegt wird, da ein starker Zusammenhang mit der Reaktionsschnelligkeit besteht.

Eine über diese Arbeit hinausgehende Frage könnte also weiterhin sein, ob die Schülerinnen und Schüler im Sportunterricht mehr zu fordern sind und dadurch indirekt für Sportarten, wo die Reaktionsschnelligkeit leistungsbestimmend ist, gefördert werden. Zumindest gibt es im Internet und in der Literatur für den Schulsportunterricht genügend einfache und aufbauende Übungen zur Verbesserung der Kraft und weiter zur Reaktionsschnelligkeit. Dies als Pädagoge umzusetzen, könnte ein Ziel sein.

Das Freizeitverhalten sagt aus, dass die Knaben öfters als Mädchen einen Sportverein besuchen (Griebler & Winkler, 2012, S. 6) bzw. nehmen die Knaben öfters an Ball-, Kampf- oder Motorsporteinheiten im Verein teil als Mädchen (Eidgenossenschaft, 2016). Das könnte ein weiterer Grund zu einem höheren Kraftniveau sein, das wiederum eine bessere Reaktionsschnelligkeit ergeben würde.

Folgende Fragen wurden immer wieder während der Aufbereitung der Messdaten gestellt:

- Was hätte man noch besser machen können?
- Was würde man das nächste Mal anders machen?

Diesbezüglich hätte man noch weitere Daten auf der Strichliste dokumentieren können wie z.B.: Händigkeit, welche Sportarten in der Freizeit ausgeübt werden, wie lange in der Freizeit für welche Sportart trainiert wird.

Zusätzlich wäre noch abzuklären, ob die Schülerinnen und Schüler vor der Testung vielleicht psychisch angespannt waren, und deshalb langsamere Reaktionszeiten hatten. Oder waren sie psychisch ermüdet, was sich im Sport mit langsameren Reaktionszeiten widerspiegelt (Froböse, 2018, S. 78).

Um diese Studie weiter zu führen könnten im Frühwinter 2020 die gleichen Schülerinnen und Schüler nochmals getestet werden. Hier könnte man dann auch die Veränderungen von der 5. zur 8. und weiters von der 8. Schulstufe zur 12. Schulstufe erfassen und so statistisch auswerten. Dies wäre sicherlich ein großer Gewinn für die Wissenschaft.

Kognitive Faktoren, wie visuelle Wahrnehmung und motorische Kontrolle, Koordination und Strategie, sind für PC-, Laptop- oder Fernsehbildschirmgames wichtig. Spielt man diese, absolviert öfters Reaktionstests im Internet (<http://egopont.com>, [Abfragetest REST-COM](#), [Dekodierungstest VIPER-NAM](#), [Wiedererkennungstest WOM-REST](#), [Resolutionstest REST-SPER](#), [Geschwindigkeitstest REST-HECOOR](#), [Verarbeitungstest REST-INH](#)) bzw. ist man in der Freizeit E-Sportlerin oder E-Sportler, dann wäre dies mit einem visuellen Trainingsprogramm vergleichbar. Dies würde zu einer Verbesserung bestimmter visueller Fähigkeiten führen (Schwab & Memmert, 2012, S. 630) und könnte für die Programmierung und Durchführung von E-Sportwettkampfspielen nützlich sein. Diese Branche hat mittlerweile Milliarden-Dollar-Umsätze.

Weitere Anregungen und Denkanstöße wären:

- Man kann den Reaktionszeitenunterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe, der Geschlechter vom Gesichtsfeld zum Blick- und Blickumfeld vergleichen. Denn den Blick auf die Umgebung, den richtigen Ort, den Gegner zu richten und diese Information zu verarbeiten, ist im Sport mit hoher Sehschärfe im fovealen Sehen oder im peripheren Sehen wichtig (Vater, Kredel, & Hossner, 2017).

Wollte man die Messdaten hingehend auf einen Lerneffekt (wenn die ersten Reaktionszeiten langsamer sind als die letzten) untersuchen, kämen für manche Schülerinnen und Schüler eine vielleicht ungewohnte Körper- und Positionshaltung zum Tragen. Diese kann sich negativ auf die Reaktionszeit auswirken. Erst wenn die neuen Positionen entsprechend geübt werden, werden die Reaktionszeiten wieder kürzer (Grosser M. , 2007, S. 84).

In Zukunft kann dieser oder ein ähnlicher Testaufbau zur Normierung, mit der Erstellung einer Eich-/ Normtabelle, herangezogen werden.

Diese Forschungsergebnisse können als Motivation für Athletinnen und Athleten fungieren. Weiters kommen die Erkenntnisse aus diesen Forschungsergebnissen zwischen Sportlern und Nichtsportlern von Wahrnehmungs- und Reaktionszeiten der Sportbranche zugute, insbesondere im Indoorathletik- und Sporttraining, und sie bieten die Möglichkeit, das Potenzial eines Einzelnen in seinem Sport zu identifizieren (Kuan, Zuhairi, Manan, Knight, & Rokiah, 2018, S. 137).

Mein Wunsch wäre, dass die Bewegung in der Gesellschaft wieder mehr gefördert und gefordert wird. Auch im Schulsystem sollte, speziell in den Jahren, wo die Kinder am leichtesten sportmotorisch lernen (Meinel & Schnabel, Bewegungslehre Sportmotorik, 2007, S. 291), im Sportunterricht mehr Bewegung durch gut ausgebildete und motivierte Lehrkräfte erfolgen. Leider ist dies auf der Stundentafel der Volksschule, Neuen Mittelschule und des Gymnasiums nicht ersichtlich (siehe Abb. 81: Stundentafeln vom Pflichtgegenstand Bewegung und Sport).

Stundentafeln Pflichtgegenstand Bewegung & Sport

	1. Schulstufe	2. Schulstufe	3. Schulstufe	4. Schulstufe	Summe	
Volksschule	3	3	2	2	10	
	5. Schulstufe	6. Schulstufe	7. Schulstufe	8. Schulstufe	Summe	Summe bei autonomer Stundentafel
Hauptschule	4	4	3	3	14	12-18
Sport- hauptschule	8	7,5	7	7	29,5	28-30
Ski- hauptschule	12	12	11,5	12	47,5	46-48
Allgemein bildende höhere Schule (AHS)	4	4	4	3	15	13-19
AHS-Sport- gymnasium	7	7	8	8	30	

○

Abb. 81: Stundentafeln vom Pflichtgegenstand Bewegung und Sport (<http://www.bewegung.ac.at>, 2018)

10 Anhänge und Dokumente

10.1 Bestätigungen



Herrn
Johannes Tribelnig
Per E-Mail: j.tribelnig@tele2.at

Sachbearbeiterin:
Sabine Hössl
t: +43 2742 280 4133
f: +43 2742 280 1111
e: sabine.hoessl@lsr-noe.gv.at

Präs.-420/2195-2017

Datum: 05.10.2017

Betrifft:
Genehmigung der Durchführung einer empirischen Untersuchung

Der Landesschulrat für Niederösterreich genehmigt die Durchführung der vorgelegten praktischen Testung von SchülerInnen im Rahmen der Diplomarbeit zum Thema „Hand-Auge Koordination im Vergleich“ durch Herrn Johannes Tribelnig.

Die Untersuchung, bei der die „Hand-Auge-Reaktionszeit“ von Schülerinnen und Schülern mit Hilfe des Fit-Light-Trainers durchgeführt wird, darf in dem vorliegenden Umfang antragsgemäß an folgenden niederösterreichischen Schulen durchgeführt werden.

NNÖMS Hollabrunn 310052
NNÖMS Wullersdorf 310112
BG/BRG Hollabrunn 310016

Auf die Einhaltung der Datenschutzbestimmungen darf hingewiesen werden, außerdem ist vor Beginn der Untersuchung das Einverständnis der Eltern bzw. Erziehungsberechtigten und die Zustimmung der jeweiligen Direktion einzuholen. Die an dieser Untersuchung teilnehmenden Schülerinnen und Schüler sind vor Beginn der Untersuchung ausdrücklich auf die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme hinzuweisen, außerdem ist deren völlige Anonymität im Rahmen der Diplomarbeit jedenfalls zu wahren.

Es ist darauf zu achten, dass die Durchführung der Untersuchung nur die unbedingt erforderliche Zeit, längstens jedoch eine Unterrichtsstunde in Anspruch nimmt.

Für den Amtsführenden Präsidenten

Mag. L o i b l

Hofrat

Elektronisch gefertigt

Signaturwert	f2d18cb506ad490b85c97f48c2dbd2ba	
	Unterzeichner	Landesschulrat fuer Niederösterreich
	Datum/Zeit-UTC	05.10.2017 17:10:52
	Aussteller-Zertifikat	CN=a-sign-corporate-light-02, OU=a-sign-corporate-light-02, O=A-Trust Ges. f. Sicherheitssysteme im elektr. Datenverkehr GmbH, C=AT
	Serien-Nr.	710400110544
Prüfinformation	Informationen zur Prüfung der elektronischen Signatur finden Sie unter: https://www.a-trust.at/pdfverify Informationen zur Prüfung des Ausdrucks finden Sie unter: http://www.lsr-noe.gv.at/amtsignatur-bildmarke.html	
Hinweis	Dieses Dokument wurde amtssigniert. Auch ein Ausdruck dieses Dokuments hat gemäß § 20 E-Government-Gesetz die Beweiskraft einer öffentlichen Urkunde.	

Parteienverkehr
Dienstag 8-12 Uhr

<http://www.lsr-noe.gv.at>
office@lsr-noe.gv.at
DVR: 0064394

Amtsstunden
Mo.-Fr. 8-16 Uhr

Abb. 83: Bestätigung vom Landesschulrat Seite 2

Sehr geehrte Erziehungsberechtigte!

Im Rahmen meiner Diplomarbeit bitte ich Sie, dass Ihr Kind bei einer Testung zur „Hand-Auge-Reaktion“ anonym, freiwillig und kostenlos teilnehmen darf.

Diese praktische Testung wird zur Reaktionszeitmessung im Fachbereich der Bewegungslehre verwendet. Mit Hilfe der erhobenen Daten über die Hand-Auge-Reaktionsgeschwindigkeit wird im Anschluss die Datenanalyse (Verringerung der Reaktionszeit zwischen 5. und 8. Schulstufe) erfolgen, und in meiner Diplomarbeit aufbereitet.

Praktische Testbeschreibung:

- Die SchülerInnen sitzen am Stuhl vor dem Tisch, auf dem Fitlights (leuchtende Sensoren) angebracht sind.
- In vorprogrammierten Abständen leuchten diese Sensoren auf.
- Die SchülerInnen müssen nun versuchen, möglichst schnell mit den Handflächen den aufleuchtenden Sensor zu berühren, sodass der nächste Sensor den Befehl bekommt, aufzuleuchten.
- Die Zeitdifferenz der Auslösung und Berührung wird digital gespeichert.
- Diese Zeitdifferenzen (Reaktionszeit der Hand-Auge-Reaktion) werden für meine Diplomarbeit benötigt.



Wenn es Sie interessiert, dann können Sie sich auf <https://qr1.at/5m6pst> ein Kurzvideo über eine ähnliche Testung anschauen (oder den nebenstehenden QR-Code scannen).



Die Durchführung des Tests wird von mir in der Schule betreut und durchgeführt. Sie dauert mit einer kurzen Erklärung ca. 5 Minuten.

Bei der Testung werden keine personenbezogenen Daten eingeholt. Sie ist somit vollständig anonym. Die erfassten Messdaten werden digital gespeichert und ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet.

Herzlichen Dank für Ihre Unterstützung.

Mit freundlichen Grüßen,

Johannes Tribelnig

Student an der Universität Wien - Bewegung und Sport

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Johannes Tribelnig', located to the right of the typed name.

Einverständniserklärung des/der Erziehungsberechtigten zur Testung
„Hand-Auge-Reaktion im Vergleich“

Ich bin damit

- ☐ einverstanden,
- ☐ nicht einverstanden,

dass mein Kind, Klasse, im Rahmen der Testung zur „Hand-Auge-Reaktion im Vergleich“ teilnimmt.

Ort, Datum

Unterschrift eines Erziehungsberechtigten

Abb. 84: Einverständniserklärung

10.2 Ergänzende Abbildungen für Theorie, Methode und Material

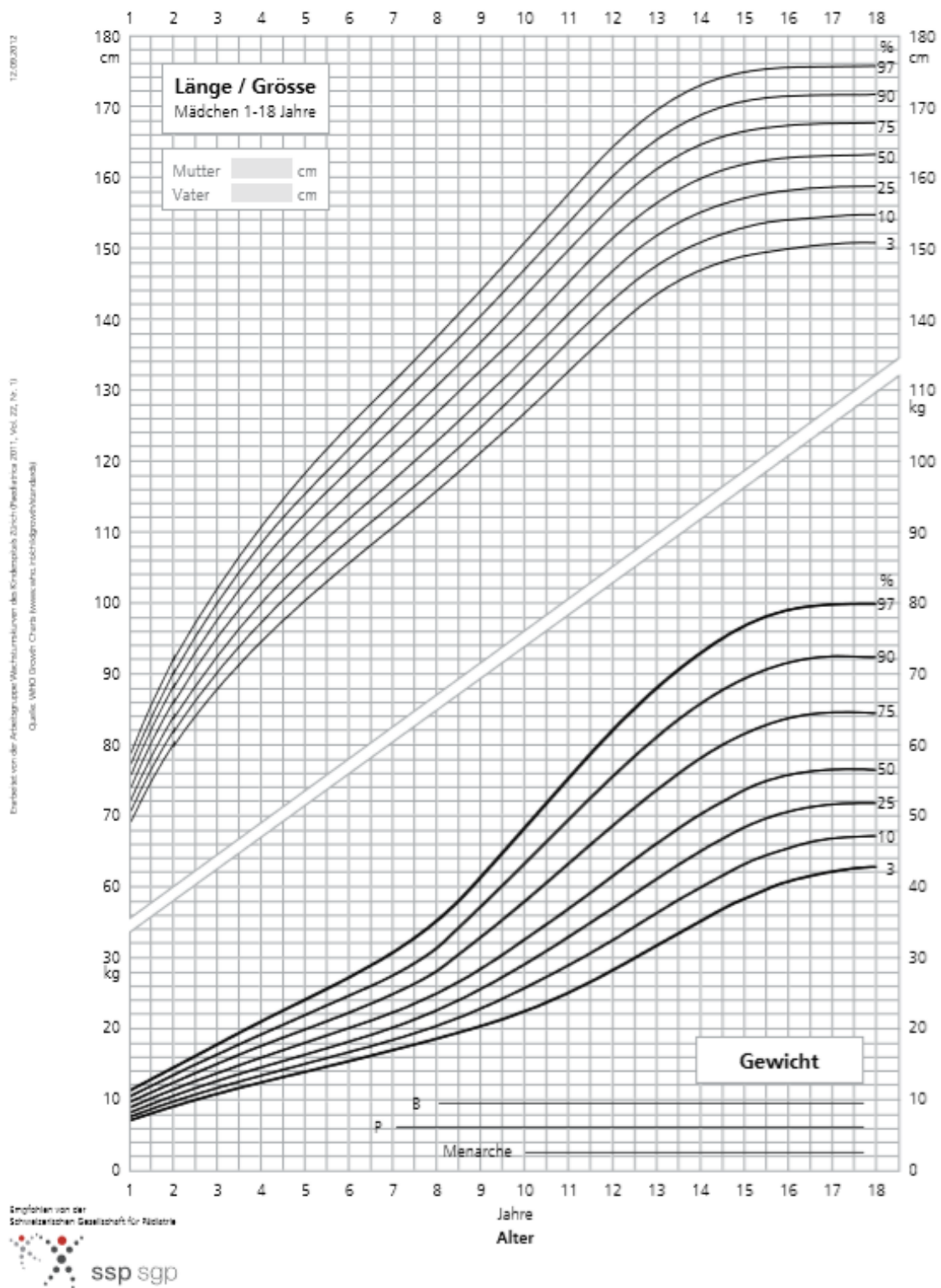


Abb. 85: Länge / Größe der Mädchen in der Schweiz (Oskar, 2012, Vol 22, Nr. 1, S. 15)

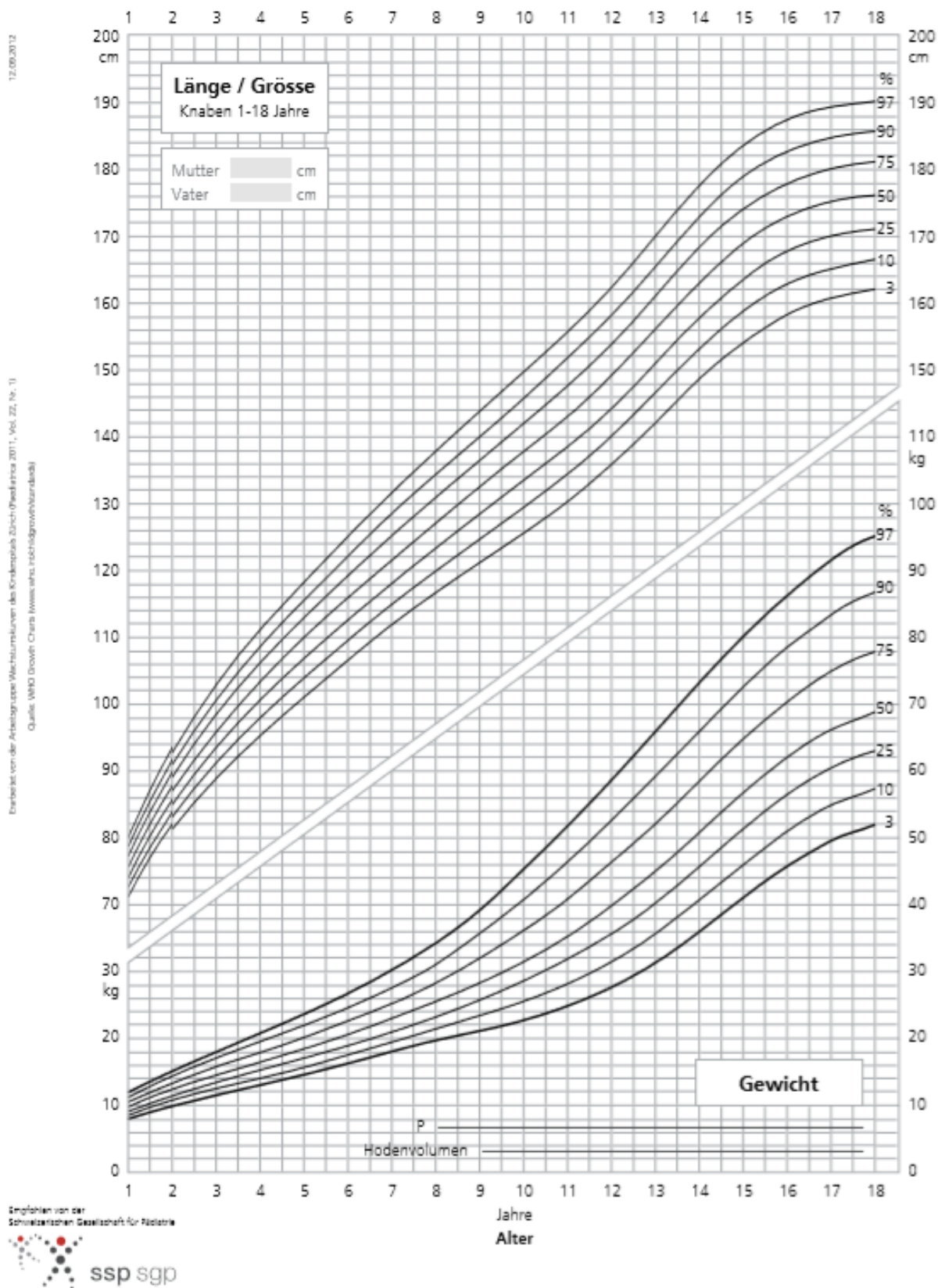


Abb. 86: Länge / Grösse der Knaben in der Schweiz (Oskar, 2012, Vol 22, Nr. 1, S. 4)

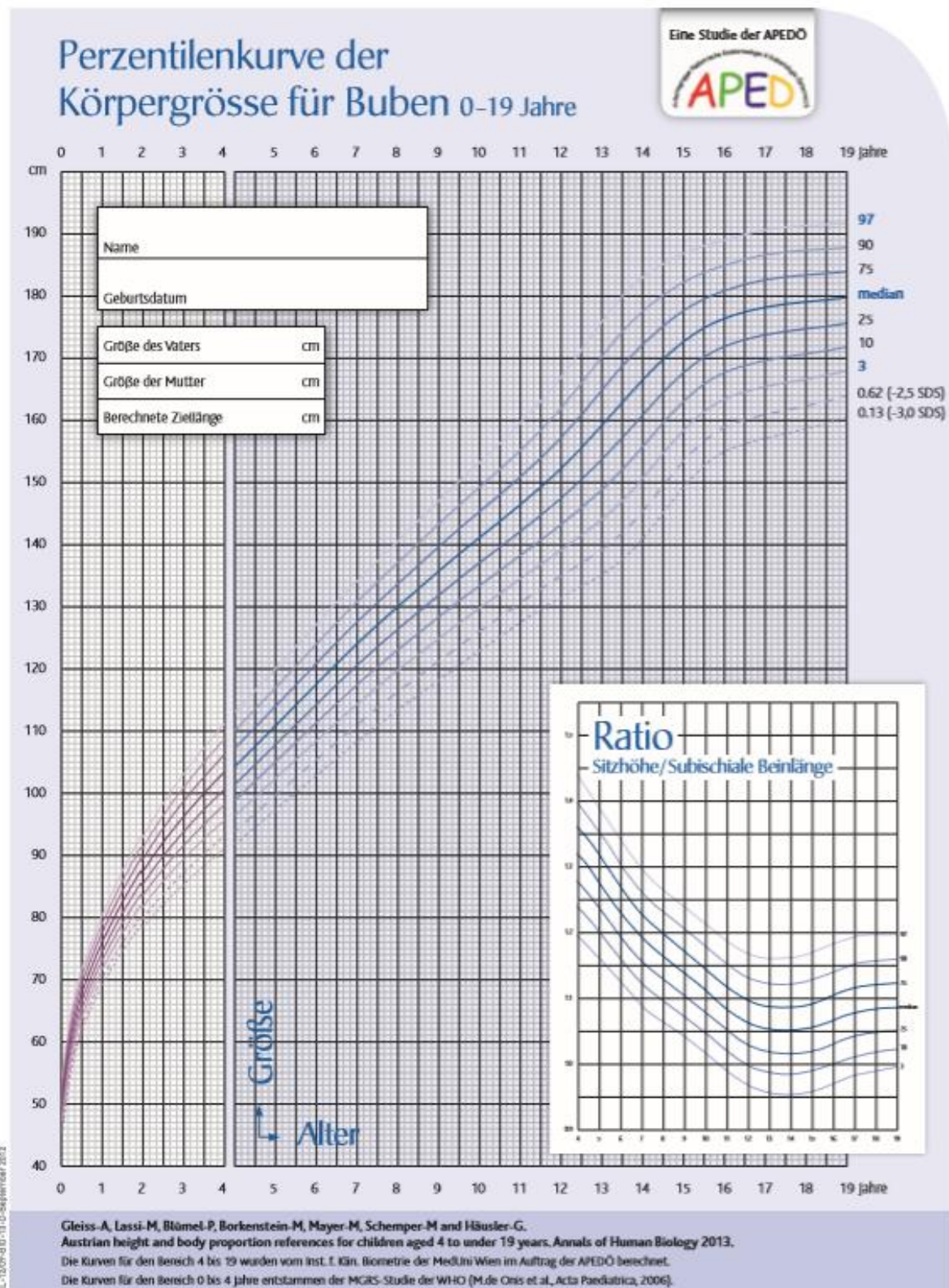


Abb. 87: Körpergröße Knaben Österreich (Gleiss, et al., 2013, S. 1)

<https://kinderklinik.meduniwien.ac.at/fileadmin/kinderklinik/pdf/APED%C3%96PerzentileBuben.pdf>

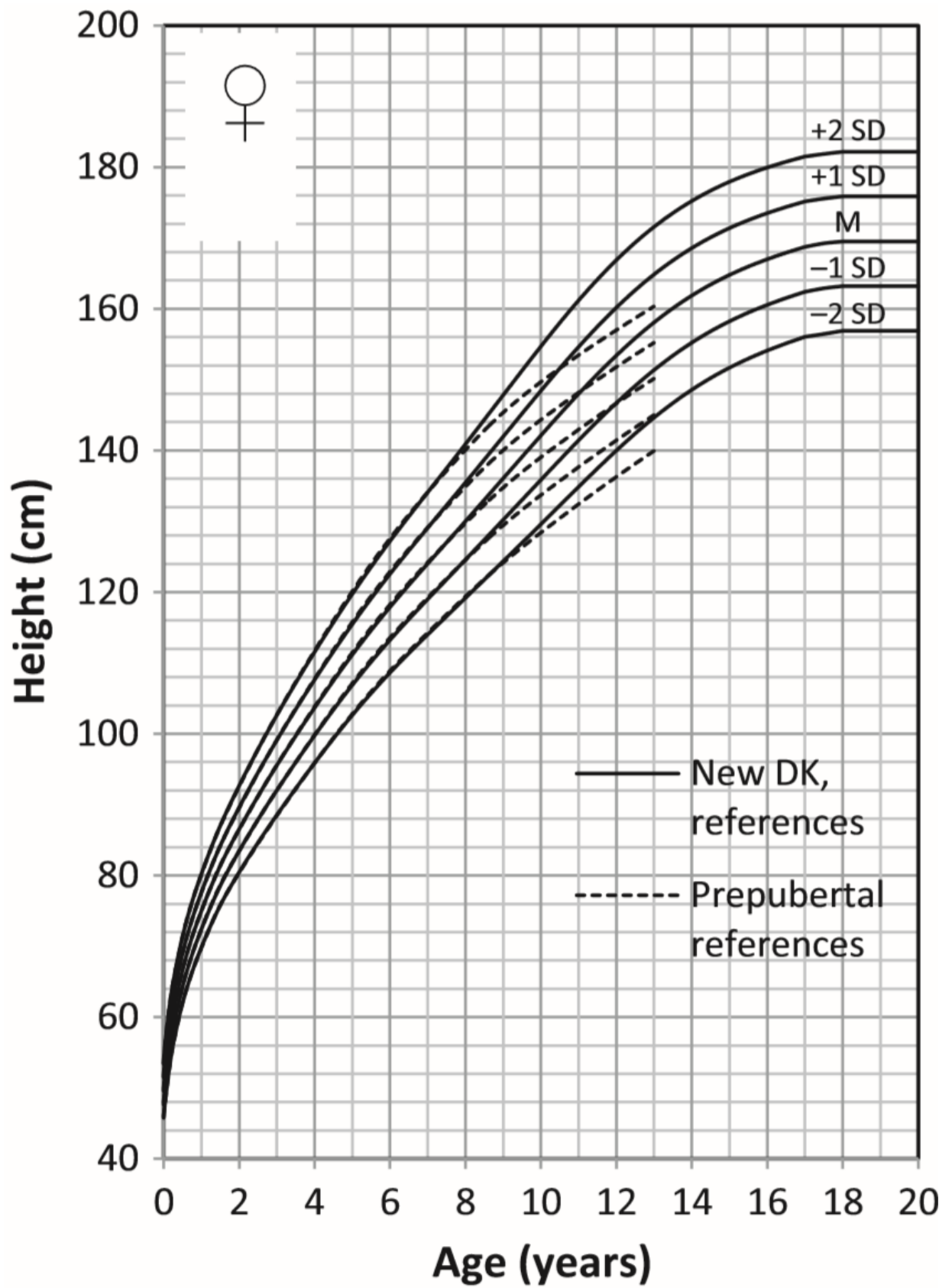


Abb. 88: Größe Mädchen Dänemark (Tinggaard, 2013, S. 218)

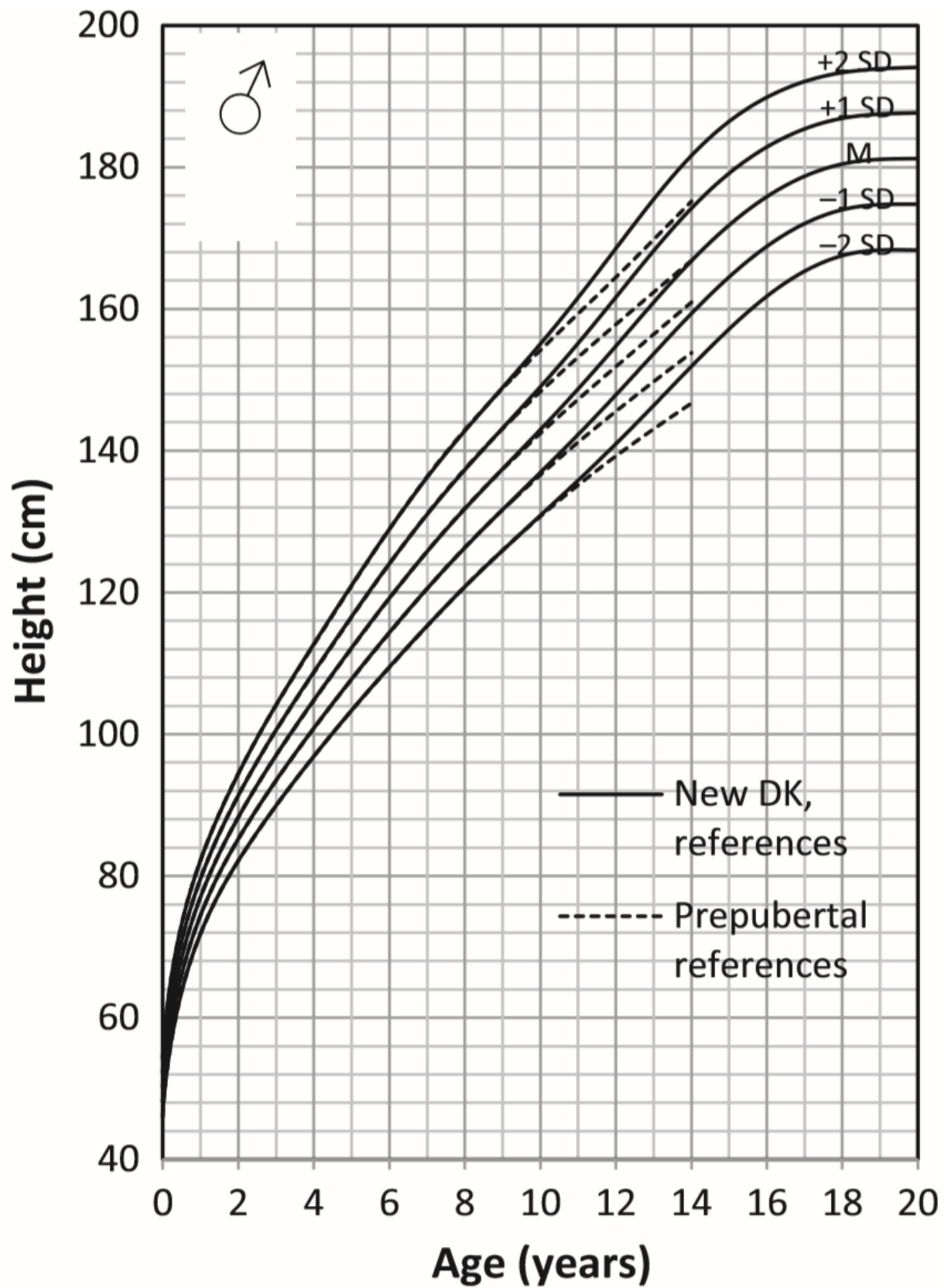


Abb. 89: Größe Knaben Dänemark (Tinggaard, 2013, S. 218)

10.3 Tabellen

Tab. 32: Berechnung der Fitlightsabständeunterschiede

Alter	Geschlecht	Körpergröße / Körperlänge (Robert Koch Institut 2013)	Größe von Mädchen und Jungen in Deutschland	Oberarmlänge von Mädchen und Jungen in Deutschland	Länge / Größe in der Schweiz	Körpergröße Knaben Österreich	Größe Dänemark	Durchschnitt Körpergröße
10 Jahre	weiblich	141,18	144,20	29,90	137,00		143,00	141,35
10 Jahre	männlich	141,55	143,90	29,90	142,00	140,00	144,00	142,29
13,5 Jahre	weiblich	161,33			158,00		160,00	159,78
13,5 Jahre	männlich	163,10			160,00	164,00	164,00	162,78
13 Jahre	weiblich		161,40	33,80				161,40
13 Jahre	männlich		162,90	34,00				162,90
14 Jahre	weiblich		163,70	34,40				163,70
14 Jahre	männlich		170,30	35,80				170,30
Körpergrößenverhältnis 10 Jahre (5. Schulstufe) zu 13,5 Jahre (8. Schulstufe)					13 % kleiner			
Oberarmlängenverhältnis 10 Jahre (5. Schulstufe) zu 13,5 Jahre (8. Schulstufe)					13 % kleiner			

Tab. 33: Körpergröße / Körperlänge Mädchen (Neuhauser, Schienkiewitz, Schaffrath Rosario, Dortschy, & Kurth, 2013, S. 21)

Perzentile für Körperlänge/Körpergröße (in cm) bei Mädchen im Alter von 0 Monaten bis 18 Jahren (KIGGS 2003–2006; Perinataldaten 1995–2000)
[nach: Ann Hum Biol 2011, 38:121–130, Copyright 2011 Informa UK Ltd.; Voigt et al. 2006, Geburtsh Frauenheilk 66:956–970]

Alter*	P3	P10	P25	P50 (Median)	P75	P90	P97	L	S
0,0 Monate	47,17	48,49	49,82	51,32	52,85	54,17	55,48		
1,0 Monate	50,56	51,95	53,36	54,94	56,53	57,93	59,32		
2,0 Monate	53,06	54,52	55,99	57,63	59,27	60,74	62,19		
3,0 Monate	55,09	56,59	58,11	59,81	61,50	63,02	64,53		
4,0 Monate	57,56	59,07	60,60	62,30	64,00	65,53	67,04	1,0000	0,0404
5,0 Monate	59,79	61,30	62,83	64,54	66,24	67,77	69,28	1,0000	0,0391
6,0 Monate	61,74	63,25	64,78	66,48	68,19	69,72	71,23	1,0000	0,0379
7,0 Monate	63,45	64,96	66,49	68,19	69,89	71,42	72,93	1,0000	0,0369
8,0 Monate	64,99	66,50	68,03	69,73	71,43	72,96	74,47	1,0000	0,0361
9,0 Monate	66,41	67,93	69,46	71,16	72,87	74,40	75,91	1,0000	0,0355
10,0 Monate	67,75	69,28	70,82	72,53	74,24	75,78	77,31	1,0000	0,0350
11,0 Monate	69,03	70,56	72,11	73,84	75,57	77,12	78,65	1,0000	0,0347
12,0 Monate	70,23	71,78	73,35	75,09	76,84	78,41	79,95	1,0000	0,0344
15,0 Monate	73,48	75,10	76,73	78,54	80,36	81,99	83,60	1,0000	0,0342
18,0 Monate	76,29	77,98	79,69	81,59	83,49	85,21	86,90	1,0000	0,0346
21,0 Monate	78,72	80,49	82,28	84,28	86,27	88,06	89,83	1,0000	0,0351
2,0 Jahre	80,93	82,78	84,65	86,73	88,81	90,69	92,53	1,0000	0,0356
2,5 Jahre	85,08	87,08	89,10	91,34	93,58	95,60	97,59	1,0000	0,0364
3,0 Jahre	89,06	91,19	93,35	95,75	98,15	100,31	102,45	1,0000	0,0372
3,5 Jahre	92,69	94,95	97,24	99,79	102,34	104,64	106,90	1,0000	0,0379
4,0 Jahre	96,00	98,39	100,82	103,51	106,20	108,62	111,01	1,0000	0,0385
4,5 Jahre	99,24	101,76	104,31	107,15	109,98	112,54	115,06	1,0000	0,0393
5,0 Jahre	102,50	105,15	107,83	110,82	113,80	116,49	119,14	1,0000	0,0399
5,5 Jahre	105,61	108,38	111,19	114,31	117,43	120,23	123,00	1,0000	0,0404
6,0 Jahre	108,54	111,42	114,34	117,59	120,83	123,75	126,64	1,0000	0,0409
6,5 Jahre	111,29	114,29	117,32	120,69	124,06	127,10	130,09	1,0000	0,0414
7,0 Jahre	113,89	117,00	120,15	123,65	127,15	130,31	133,42	1,0000	0,0420
7,5 Jahre	116,40	119,64	122,92	126,56	130,20	133,48	136,71	1,0000	0,0427
8,0 Jahre	118,92	122,29	125,70	129,49	133,29	136,70	140,07	1,0000	0,0434
8,5 Jahre	121,39	124,90	128,45	132,40	136,35	139,90	143,41	1,0000	0,0442
9,0 Jahre	123,83	127,48	131,17	135,28	139,39	143,08	146,73	1,0000	0,0450
9,5 Jahre	126,30	130,09	133,92	138,18	142,43	146,26	150,05	1,0000	0,0457
10,0 Jahre	128,92	132,82	136,78	141,18	145,57	149,53	153,44	1,0000	0,0462
10,5 Jahre	131,75	135,76	139,82	144,33	148,84	152,89	156,90	1,0000	0,0463
11,0 Jahre	134,86	138,94	143,06	147,65	152,24	156,37	160,44	1,0000	0,0461
11,5 Jahre	138,15	142,25	146,41	151,04	155,66	159,82	163,92	1,0000	0,0454
12,0 Jahre	141,46	145,55	149,70	154,31	158,92	163,07	167,17	1,0000	0,0443
12,5 Jahre	144,49	148,55	152,65	157,22	161,78	165,89	169,94	1,0000	0,0430
13,0 Jahre	146,98	150,98	155,03	159,53	164,03	168,08	172,08	1,0000	0,0418
13,5 Jahre	148,94	152,89	156,89	161,33	165,78	169,78	173,73	1,0000	0,0409
14,0 Jahre	150,47	154,38	158,34	162,74	167,14	171,10	175,01	1,0000	0,0401
14,5 Jahre	151,63	155,51	159,44	163,81	168,18	172,11	175,99	1,0000	0,0395
15,0 Jahre	152,46	156,32	160,23	164,58	168,92	172,83	176,69	1,0000	0,0391
15,5 Jahre	153,02	156,86	160,76	165,09	169,42	173,31	177,16	1,0000	0,0389
16,0 Jahre	153,34	157,18	161,07	165,39	169,71	173,60	177,43	1,0000	0,0387
16,5 Jahre	153,46	157,30	161,18	165,50	169,82	173,70	177,54	1,0000	0,0387
17,0 Jahre	153,51	157,34	161,23	165,54	169,86	173,74	177,57	1,0000	0,0386
17,5 Jahre	153,63	157,46	161,34	165,65	169,97	173,85	177,68	1,0000	0,0386
18,0 Jahre	153,76	157,59	161,46	165,77	170,08	173,96	177,78	1,0000	0,0385

* exaktes Alter in Jahren (der Wert für z. B. 5 Jahre gilt approximativ für Kinder von 4,75 bis unter 5,25 Jahren)

Tab. 34: Körperlänge / Körpergröße Jungen (Neuhauser, Schienkiewitz, Schaffrath Rosario, Dortschy, & Kurth, 2013, S. 20)

20		Anthropometrie und Blutdruck		Körperlänge/Körpergröße				ROBERT KOCH-INSTITUT	
Perzentile für Körperlänge/Körpergröße (In cm) bei Jungen im Alter von 0 Monaten bis 18 Jahren (KIGGS 2003–2006; Perinataldaten 1995–2000) [nach: Ann Hum Biol 2011, 38:121–130, Copyright 2011 Informa UK Ltd.; Voigt et al. 2006, Geburtsh Frauenheilk 66:956–970]									
Alter *	P3	P10	P25	P50 (Median)	P75	P90	P97	L	S
0,0 Monate	47,77	49,17	50,58	52,09	53,69	55,10	56,41		
1,0 Monate	51,59	52,99	54,42	55,99	57,62	59,09	60,51		
2,0 Monate	54,49	55,90	57,35	58,97	60,64	62,16	63,67		
3,0 Monate	56,84	58,26	59,72	61,39	63,09	64,66	66,24		
4,0 Monate	59,50	60,91	62,38	64,04	65,75	67,31	68,89	0,1285	0,0390
5,0 Monate	61,83	63,25	64,71	66,37	68,07	69,63	71,21	0,1119	0,0375
6,0 Monate	63,84	65,25	66,71	68,37	70,07	71,62	73,19	0,0959	0,0363
7,0 Monate	65,58	66,99	68,45	70,10	71,79	73,35	74,91	0,0806	0,0354
8,0 Monate	67,10	68,51	69,97	71,63	73,32	74,88	76,44	0,0661	0,0347
9,0 Monate	68,46	69,88	71,34	73,01	74,70	76,26	77,83	0,0524	0,0341
10,0 Monate	69,70	71,13	72,60	74,28	75,99	77,56	79,14	0,0395	0,0337
11,0 Monate	70,86	72,30	73,79	75,48	77,20	78,79	80,38	0,0276	0,0335
12,0 Monate	71,95	73,41	74,92	76,63	78,37	79,98	81,60	0,0167	0,0334
15,0 Monate	74,98	76,50	78,08	79,88	81,71	83,40	85,10	-0,0111	0,0337
18,0 Monate	77,72	79,33	80,99	82,88	84,82	86,61	88,40	-0,0320	0,0342
21,0 Monate	80,24	81,93	83,67	85,66	87,69	89,57	91,46	-0,0472	0,0348
2,0 Jahre	82,57	84,32	86,14	88,21	90,33	92,29	94,26	-0,0580	0,0352
2,5 Jahre	86,78	88,67	90,64	92,88	95,18	97,30	99,45	-0,0698	0,0362
3,0 Jahre	90,55	92,59	94,72	97,14	99,63	101,93	104,25	-0,0713	0,0375
3,5 Jahre	93,96	96,14	98,41	101,00	103,66	106,12	108,61	-0,0646	0,0385
4,0 Jahre	97,12	99,43	101,83	104,56	107,38	109,98	112,61	-0,0512	0,0393
4,5 Jahre	100,12	102,54	105,06	107,94	110,89	113,62	116,39	-0,0320	0,0400
5,0 Jahre	103,04	105,58	108,22	111,23	114,33	117,18	120,08	-0,0075	0,0407
5,5 Jahre	105,97	108,62	111,37	114,51	117,74	120,72	123,74	0,0219	0,0412
6,0 Jahre	108,90	111,66	114,52	117,78	121,13	124,22	127,35	0,0562	0,0416
6,5 Jahre	111,95	114,81	117,76	121,13	124,59	127,77	130,99	0,0960	0,0417
7,0 Jahre	115,03	117,98	121,03	124,51	128,06	131,34	134,64	0,1413	0,0419
7,5 Jahre	117,98	121,03	124,19	127,77	131,44	134,81	138,20	0,1915	0,0420
8,0 Jahre	120,68	123,83	127,09	130,79	134,57	138,04	141,53	0,2448	0,0424
8,5 Jahre	123,16	126,43	129,80	133,62	137,52	141,10	144,70	0,3008	0,0428
9,0 Jahre	125,50	128,90	132,39	136,35	140,38	144,08	147,78	0,3598	0,0434
9,5 Jahre	127,69	131,23	134,86	138,98	143,16	146,98	150,82	0,4219	0,0442
10,0 Jahre	129,77	133,47	137,27	141,55	145,91	149,88	153,86	0,4881	0,0452
10,5 Jahre	131,76	135,64	139,61	144,09	148,64	152,78	156,91	0,5590	0,0464
11,0 Jahre	133,72	137,80	141,98	146,68	151,43	155,76	160,07	0,6371	0,0478
11,5 Jahre	135,72	140,02	144,42	149,35	154,33	158,85	163,34	0,7246	0,0492
12,0 Jahre	137,87	142,42	147,04	152,22	157,42	162,13	166,80	0,8249	0,0505
12,5 Jahre	140,36	145,16	150,02	155,43	160,86	165,75	170,59	0,9434	0,0517
13,0 Jahre	143,40	148,42	153,50	159,13	164,73	169,77	174,73	1,0830	0,0523
13,5 Jahre	146,94	152,13	157,35	163,10	168,80	173,89	178,88	1,2386	0,0520
14,0 Jahre	150,75	155,97	161,20	166,93	172,59	177,61	182,52	1,3973	0,0505
14,5 Jahre	154,53	159,67	164,77	170,35	175,83	180,68	185,40	1,5454	0,0481
15,0 Jahre	157,94	162,88	167,78	173,12	178,35	182,97	187,45	1,6711	0,0452
15,5 Jahre	160,72	165,44	170,12	175,20	180,18	184,57	188,82	1,7691	0,0426
16,0 Jahre	162,74	167,28	171,78	176,66	181,44	185,64	189,72	1,8391	0,0405
16,5 Jahre	164,09	168,51	172,88	177,62	182,26	186,34	190,30	1,8857	0,0391
17,0 Jahre	164,97	169,30	173,59	178,24	182,78	186,79	190,66	1,9158	0,0382
17,5 Jahre	165,59	169,87	174,09	178,68	183,16	187,11	190,93	1,9374	0,0376
18,0 Jahre	166,11	170,33	174,51	179,04	183,47	187,37	191,14	1,9551	0,0371

* exaktes Alter in Jahren (der Wert für z. B. 5 Jahre gilt approximativ für Kinder von 4,75 bis unter 5,25 Jahren)

Tab. 35: Größe und Oberarmlänge von Mädchen und Jungen in Deutschland (Stolzenberg, Kahl, & Bergmann, 2007, S. 662)

Tabelle 1

Mittelwerte (Konfidenzintervalle) von Körpergröße und -gewicht, Kopfumfang und Oberarmlänge nach Alter und Geschlecht					
Alter (Jahre)	Geschlecht	Körpergröße (cm) MW (95 %-KI)	Körpergewicht (kg) MW (95 %-KI)	Kopfumfang (cm) MW (95 %-KI)	Oberarmlänge (cm) MW (95 %-KI)
0	Jungen	70,2 (69,6–70,8)	8,5 (8,3–8,6)	44,4 (44,2–44,7)	13,5 (13,3–13,7)
0	Mädchen	68,3 (67,8–68,8)	7,8 (7,6–7,9)	43,2 (43,0–43,4)	13,0 (12,9–13,2)
1	Jungen	82,9 (82,3–83,4)	11,4 (11,3–11,6)	48,2 (48,1–48,4)	16,3 (16,1–16,5)
1	Mädchen	81,5 (81,0–81,9)	10,8 (10,7–11,0)	46,9 (46,7–47,0)	16,0 (15,9–16,2)
2	Jungen	92,9 (92,5–93,4)	14,1 (13,9–14,3)	49,9 (49,7–50,0)	18,4 (18,2–18,5)
2	Mädchen	91,1 (90,7–91,5)	13,3 (13,1–13,5)	48,6 (48,5–48,8)	18,0 (17,9–18,2)
3	Jungen	101,2 (100,7–101,6)	16,4 (16,2–16,6)	50,7 (50,5–50,8)	20,2 (20,0–20,3)
3	Mädchen	100,0 (99,5–100,4)	15,8 (15,6–16,0)	49,6 (49,5–49,7)	19,8 (19,6–19,9)
4	Jungen	108,0 (107,5–108,5)	18,4 (18,1–18,7)	51,3 (51,1–51,4)	21,5 (21,3–21,7)
4	Mädchen	107,2 (106,7–107,7)	18,1 (17,8–18,4)	50,3 (50,1–50,4)	21,3 (21,1–21,5)
5	Jungen	114,8 (114,2–115,3)	20,7 (20,4–21,1)	51,9 (51,7–52,0)	23,1 (22,9–23,2)
5	Mädchen	114,3 (113,8–114,8)	20,5 (20,1–20,9)	50,9 (50,8–51,1)	22,9 (22,7–23,1)
6	Jungen	121,2 (120,7–121,8)	23,7 (23,3–24,1)	52,3 (52,1–52,4)	24,6 (24,4–24,7)
6	Mädchen	120,7 (120,1–121,2)	23,2 (22,9–23,6)	51,6 (51,4–51,7)	24,4 (24,2–24,6)
7	Jungen	127,9 (127,3–128,4)	27,2 (26,7–27,8)	52,7 (52,6–52,9)	26,2 (26,0–26,4)
7	Mädchen	126,4 (125,9–126,9)	26,1 (25,6–26,5)	51,7 (51,6–51,9)	25,8 (25,6–26,0)
8	Jungen	133,8 (133,2–134,4)	30,8 (30,1–31,5)	53,2 (53,0–53,4)	27,4 (27,2–27,6)
8	Mädchen	132,4 (131,7–133,1)	29,8 (29,1–30,4)	52,2 (52,1–52,4)	27,2 (27,0–27,4)
9	Jungen	138,7 (138,1–139,3)	33,8 (33,1–34,5)	53,5 (53,3–53,6)	28,8 (28,5–29,0)
9	Mädchen	138,0 (137,4–138,6)	33,8 (33,1–34,5)	52,6 (52,4–52,7)	28,5 (28,3–28,8)
10	Jungen	143,9 (143,4–144,5)	38,3 (37,6–39,1)	53,8 (53,7–54,0)	29,9 (29,7–30,1)
10	Mädchen	144,2 (143,5–144,9)	38,4 (37,4–39,4)	53,2 (53,0–53,4)	29,9 (29,7–30,2)
11	Jungen	149,8 (149,0–150,5)	43,2 (42,2–44,3)	54,1 (53,9–54,3)	31,3 (31,0–31,5)
11	Mädchen	150,8 (150,1–151,5)	43,8 (42,8–44,9)	53,6 (53,4–53,8)	31,3 (31,0–31,6)
12	Jungen	155,1 (154,3–155,9)	47,3 (46,2–48,5)	54,5 (54,4–54,7)	32,4 (32,2–32,7)
12	Mädchen	157,3 (156,6–158,0)	50,3 (49,0–51,5)	54,1 (53,9–54,3)	32,9 (32,6–33,1)
13	Jungen	162,9 (162,0–163,8)	54,2 (52,9–55,5)	55,1 (54,9–55,2)	34,0 (33,8–34,3)
13	Mädchen	161,4 (160,8–162,1)	54,3 (53,0–55,5)	54,6 (54,5–54,8)	33,8 (33,5–34,0)
14	Jungen	170,3 (169,6–171,1)	61,2 (59,9–62,4)	55,6 (55,5–55,8)	35,8 (35,5–36,0)
14	Mädchen	163,7 (163,1–164,3)	57,7 (56,2–59,2)	54,8 (54,7–55,0)	34,4 (34,1–34,6)
15	Jungen	175,1 (174,3–175,8)	66,4 (65,0–67,7)	56,1 (55,9–56,3)	36,9 (36,7–37,2)
15	Mädchen	165,0 (164,3–165,7)	59,9 (58,6–61,3)	54,9 (54,7–55,0)	34,5 (34,2–34,7)
16	Jungen	177,6 (176,9–178,3)	70,5 (69,0–71,9)	56,6 (56,5–56,8)	37,6 (37,3–37,8)
16	Mädchen	165,7 (165,0–166,3)	61,2 (60,1–62,3)	55,1 (54,9–55,3)	34,6 (34,3–34,9)
17	Jungen	178,2 (177,5–178,9)	71,6 (70,3–72,9)	56,7 (56,5–56,9)	37,7 (37,4–37,9)
17	Mädchen	165,2 (164,4–165,9)	61,8 (60,6–62,9)	54,9 (54,7–55,0)	34,7 (34,4–34,9)

Tab. 36: Sequenzprogrammierung der Testung mit dem FITLIGHT-Trainer

Step	Fitlightnummer	Distanz	Stoss Sensibilität	Timeout	Verzögerung	Fitlightfarbe	Fitlight Modus	Licht Modus	LED Modus	Beep Modus
1	1	10 cm	1	2,90 s	1,0 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
2	2	10 cm	1	3 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
3	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
4	3	10 cm	1	3 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
5	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
6	4	10 cm	1	3 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
7	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
8	5	10 cm	1	3 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
9	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
10	6	10 cm	1	3 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
11	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
12	7	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
13	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
14	4	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
15	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
16	5	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
17	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
18	2	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
19	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
20	5	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
21	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
22	3	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
23	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
24	6	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
25	1	10 cm	1	3 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
26	4	10 cm	1	3 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
27	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
28	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
29	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
30	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
31	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
32	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
33	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
34	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus

35	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
36	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
37	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
38	4	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
39	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
40	5	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
41	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
42	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
43	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
44	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
45	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
46	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
47	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
48	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
49	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
50	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
51	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
52	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
53	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
54	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
55	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
56	4	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
57	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
58	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
59	1	10 cm	1	5 s	0,7 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
60	5	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
61	1	10 cm	1	5 s	0,6 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
62	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
63	1	10 cm	1	5 s	0,6 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
64	5	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
65	1	10 cm	1	5 s	0,5 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
66	4	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
67	1	10 cm	1	5 s	0,5 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
68	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
69	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
70	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
71	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
72	4	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
73	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
74	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
75	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
76	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus

77	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
78	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
79	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
80	5	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
81	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
82	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
83	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
84	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
85	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
86	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
87	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
88	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
89	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
90	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
91	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
92	6	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
93	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
94	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
95	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
96	5	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
97	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
98	4	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
99	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
100	3	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
101	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
102	5	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
103	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
104	4	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
105	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
106	7	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus
107	1	10 cm	1	5 s	0,4 s	gelb	Dist.	V. L.	Std.	Aus
108	2	10 cm	1	5 s	0,05 s	grün	Dist.	N. C.	Std.	Aus

11 Literaturverzeichnis

- Ahonen, J., Lahtinen, T., Sandström, M., & Pogliani, G. (2003). *Sportmedizin & Trainingslehre*. Stuttgart: Schattauer GmbH.
- Akarsu, S., Çalsikan, E., & Dane, S. (2009). *Tübitak, Academic Journals*. Von <http://journals.tubitak.gov.tr: http://journals.tubitak.gov.tr/medical/issues/sag-09-39-6/sag-39-6-8-0809-44.pdf> abgerufen
- Arbeitswissenschaften, I. A. (März 2018). <http://www.iip.kit.edu>. Von <http://www.iip.kit.edu/downloads/arbeitsplatzgestaltung.pdf> abgerufen
- Badtke, G. (2010). *Sportmedizin für Ärzte: Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH.
- Balkó, Š. (19. 05 2017). *CEON BIBLIOTEKA NAUKI*. Von <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.psjd-94072e92-a1ee-43b1-aef2-7a2b9b8d07e8> abgerufen
- Balz, E., Bräutigam, M., Miethling, W.-D., & Wolters, P. (2011). *Empirie des Schulsports*. Aachen: Mayer & Mayer Verlag.
- Becker-Carus, C., & Wendt, M. (2017). *Allgemeine Psychologie*. Berlin: Springer Verlag GmbH.
- Behringer, M. (2011). *Deutsche Sporthochschule Köln*. Von eSport: Hochschulschriften Zentralbibliothek: http://esport.dshs-koeln.de/310/1/Biomedizinische_Grundlagen_zum_Krafttraining_im_Kindes-_und_Jugendalter_0.1_-_Behringer.pdf abgerufen
- Bergmann, M. (2010). *Nervensystem und Sinnesorgane*. Mannheim: Bibliographisches Institut AG.
- Bianco, V., Di Russo, F., Livio Perria, R., & Berchiccia, M. (2016). *Science Direct*. Von <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306452216306960> abgerufen
- Dawes, J. (2019). *Developing Agility and Quickness*. Champaign: Human Kinetics.
- Dekan, d. S. (2015). *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*. Leipzig: Lehmanns Verlag.
- Diekmann, A. (2010). *Empirische Sozialforschung: Grundlagen, Methoden, Anwendungen*. Reinbek bei Hamburg: Rororo.
- Dietrich, M. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.

- Eidgenossenschaft, S. (2016). *Schweizerische Eidgenossenschaft*. Von <https://www.jugendundsport.ch/de/ueber-j-s/statistik/j-s-statistiken-2016.html#ui-collapse-200> abgerufen
- Fetz, F. (1971). *Allgemeine Methodik der Leibesübungen*. Wien: Österreichischer bundsverlag für Unterricht, Wissenschaft und Kunst.
- Fichtner, I. (2018). *Technologien im Leistungssport 3*. Leipzig: Mayer & Mayer.
- Fischer, H. (1995). *Entwicklung der visuellen Wahrnehmung*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- FitlightSportsCorp. (2014). *fitLight Trainer Benutzersystem*. Aurora: Fitlight Sports Corp.
- Froböse, I. (2018). *Leistung messen & steigern*. München: Gräfe und Unzer Verlag GmbH.
- Geese, R., & Hillebrecht, M. (1995). *Schnelligkeitstraining*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Gleiss, A., Lassi, M., Blümel, P., Borkenstein, M., Mayer, M., Schemper, M., & Häusler, G. (2013). <https://kinderklinik.meduniwien.ac.at/fileadmin/kinderklinik/pdf/APED%C3%96PerzentileBuben.pdf>. *Studie der APEDÖ*.
- Gossauer, A. (2006). *Struktur und Reaktivität der Biomoleküle*. Zürich: Verlag Helvetica Chimica Acta.
- Grafinger, M. (2010). *Mototherapie bei Kindern*. Berlin: Pro BUSINESS GmbH.
- Granacher, U., Kriemler, S., Gollhofer, A., & Zahner, L. (2009). <https://www.germanjournalsportsmedicine.com/>. Von German Journal of Sports Medicine: https://www.germanjournalsportsmedicine.com/fileadmin/content/archiv2009/heft02/11_uebersicht_granacher_bb%5B1%5D.pdf abgerufen
- Griebler, R., & Winkler, P. (2012). <http://www.noe.gv.at>. Von Land Niederösterreich: http://www.noe.gv.at/noe/Gesundheitsvorsorge-Forschung/Kinder-_und_Jugendgesundheit_in_NOE.pdf abgerufen
- Grosser, M. (2007). *Schnelligkeitstraining*. München: BLV buchverlag GmbH & Co.KG.
- Grosser, M., & Renner, T. (2007). *Schnelligkeitstraining*. München: BLV Buchverlag GmbH & Co.KG.
- Grosser, M., & Starischka, S. (1998). *Das neue Konditionstraining*. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Güllich, A., & Krüger, M. (2013). *Sport: Das Lehrbuch für das Sportstudium*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Hagendorfer, H., Krummenacher, J., Müller, H.-J., & Schubert, T. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Hahn, U. (2007). *Physik für Ingenieure*. München: Odenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Hebestreit, H. (2002). *Kinder- und Jugendsportmedizin*. Stuttgart: Thieme.
- Hirtz, P. (1997). *Sportmotorik*. Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Hirtz, P. (2012). *PRAXISideen*. Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Hirtz, P., & Nüske, F. (1994). *Motorische Entwicklung in der Diskussion*. Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Hottenrott, K., & Neumann, G. (2014). *Trainingswissenschaft : ein Lehrbuch in 14 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- <http://www.bewegung.ac.at>. (2018). Von Sport und Bewegung in den Schulen Österreichs: <http://www.bewegung.ac.at/fileadmin/abteilung/Studentafeln.pdf> abgerufen
- Irving, H. (2016). *Physics of the Human Body*. New York: Springer International Publishing Switzerland.
- Izquierdo, M. (2007). *Publice*. Von <http://publice.info/articulo/desarrollo-de-la-fuerza-en-el-deportista-joven-811-sa-657cfb2718b6ab> abgerufen
- Karnath, H.-O., & Thier, P. (2012). *Kognitive Neurowissenschaften*. Berlin - Heidelberg: Springer.
- Konczak, J. (2003). *Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Kralle, J. (2011). *Faserspezifisches Training: Theorie + Praxis*. Norderstedt: Books on Demand GmbH.
- Kuan, Y. M., Zuhairi, N. A., Manan, F. A., Knight, V. F., & Rokiah, O. (2018). *Malaysian Journal of Public Health Medicine*. Von <http://www.mjphm.org.my>: [http://www.mjphm.org.my/mjphm/journals/2018%20-%20Special%20Volume%20\(1\)/VISUAL%20REACTION%20TIME%20AND%20VISUAL%20ANTICIPATION%20TIME%20BETWEEN%20ATHLETES%20AND%20NON-ATHLETES.pdf](http://www.mjphm.org.my/mjphm/journals/2018%20-%20Special%20Volume%20(1)/VISUAL%20REACTION%20TIME%20AND%20VISUAL%20ANTICIPATION%20TIME%20BETWEEN%20ATHLETES%20AND%20NON-ATHLETES.pdf) abgerufen
- Lang, F., & Lang, P. (2007). *Basiswissen Physiologie*. Heidelberg: Springer Medizinverlag.
- Leonhart, R. (2008). *Psychologische Methodenlehre / Statistik*. München: Ernst Reinhardt GmbH & Co KG Verlag.

- Linß, W. (1999). *Histologie*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Lüdemann, R. (2016). *Belastungsinduzierte Veränderungen der Kraft : zum Einfluss konditioneller Belastungen im Ringen auf die Maximal- und Schnellkraft*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Majumdar, S., & Robergs, R. (2011). *The Science of Speed: Determinants of Performance in the 100 m Sprint*. Von International Journal of Sports Science & Coaching: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/1747-9541.6.3.479> abgerufen
- McCall, R. (2010). *Physics of the human body*. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press.
- Mechling, H., & Jörn, M. (2003). *Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre*. Schorndorf: Hofmann Verlag.
- Meincke, I., & Theuerkauf, H. (1985). *Wissensspeicher Biologie*. Thund und Frankfurt am main: Verlag Harri Deutsch.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (1998). *Bewegungslehre - Sportmotorik*. Berlin: Sportverlag Berlin GmbH.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre Sportmotorik*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Metall-Berufsgenossenschaft, N. (März 2018). *Mensch und Arbeitsplatz*. Von <http://www.gesundheitimbetrieb.de>: http://www.gesundheitimbetrieb.de/fileadmin/upload/downloads/BGI_523_Mensch_und_Arbeitsplatz.pdf abgerufen
- Mikesky, O. (1994). *NCBI*. Von Medicine & Science in Sports & Exercise: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8201908> abgerufen
- Neuhauser, H., Schienkiewitz, A., Schaffrath Rosario, A., Dortschy, R., & Kurth, B.-M. (2013). Körperlänge/Körpergröße. In R. Koch-Institut, *Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes* (S. 21 und 22). Berlin: RKI-Hausdruckerei.
- Oskar, J. (2012, Vol 22, Nr. 1). Wachstumskurven. *SWISS Society of Paediatrics*, 4-15.
- Pauls, J. (2011). *Krafttraining - Die 100 Prinzipien*. München: Stiebner Verlag.
- Paulsen, F., & Waschke, J. (2010). *Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen Tabellen zu Muskeln, Gelenken und Nerven*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Pöppel, E., & Bullinger, M. (1994). *Medizinische Psychologie und Soziologie*. Weinheim: Chapman & Hall GmbH.
- Preim, B. (1999). *Entwicklung interaktiver Systeme*. Berlin: Springer.

- Putz, R., & Pabst, R. (2006). *Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen - Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Putz, R., & Pabst, R. (2006). *Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen - Kopf, Hals, obere Extremität*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden 1*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden 2*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Remschmidt, H. (2008). *Kinder- und Jugendpsychiatrie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Röhler, R. (1995). *Sehen und erkennen*. Heidelberg: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Rosenkötter, H. (2012). *Motorik und Wahrnehmung im Kindesalter*. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Sackmann, E., & Merkel, R. (2010). *Lehrbuch der Biophysik*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Schandry, R. (2016). *Biologische Psychologie*. Weinheim: Beltz Verlag.
- Schenk, J., & Rigoll, G. (2010). *Mensch- Maschine- Kommunikation*. Berlin-Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft*. Heidelberg: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmidt, R., & Schaible, H. (2006). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Schmidtke, H. (1993). *Ergonomie*. München: Carl Hanser Verlag.
- Schnabel, G. (2002). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf*. Aachen: Mayer & Mayer.
- Schnabel, G., Harre, H., & Krug, J. (2008). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Schwab, S., & Memmert, D. (2012). *ResearchGate*. Von www.researchgate.net: www.researchgate.net/publication/258035342_The_Impact_of_a_Sports_Vision_Training_Program_in_Youth_Field_Hockey_Players abgerufen
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1991). *Taschenatlas der Physiologie*. München: Thieme.
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2007). *Taschenatlas Physiologie*. Stuttgart: Thieme.

- Steinhöfer, D. (2008). *Athletiktraining im Sportspiel*. Münster: Phillippka-Sportverlag.
- Stolzenberg, H., Kahl, H., & Bergmann, K. E. (2007). Körpermaße bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. In R.-K. Institut, *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2007* (S. 659-662). Berlin: Springer Medizin Verlag.
- Tinggaard, J. (2013). The 2014 Danish references from birth to 20 years for height, weight and body mass index. *Acta Pædiatrica*, 214-223.
- Ungerer, D. (1971). *Zur Theorie des somomotorischen Lernens*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.
- Vater, C., Kredel, R., & Hossner, E.-J. (2017). <https://www.researchgate.net/>. Von ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/321875449_Examining_the_functionality_of_peripheral_vision_From_fundamental_understandings_to_applied_sport_science/download abgerufen
- Von der Assen, C. (2016). *Crash-Kurs Psychologie: Semester 1*. Hamburg: Springer.
- Weineck, J. (2004). *Optimales Training*. Ballingen: Spitta Verlag GmbH & Co.KG.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training*. Balingen: Spittta Verlag GmbH & Co.KG.
- Wellsow, V. (2012). *Volkskrankheit Depression*. Hamburg: Diplomica Verlag 2012.
- Wick, D. (2009). *Biomechanik im Sport*. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Wiemann, K. (2018). *Biomechanik und Bewegungslehre des Sports*. Von <http://www.biowiss-sport.de/>: <http://www.biowiss-sport.de/forschungsprojekte-arbeiten/explosivkraft-des-muskels/> abgerufen
- Wiemann, K., & Gretz, D. (1993). *Biomechanik und Bewegungslehre des Sports*. Von <http://www.biowiss-sport.de/>: <http://www.biowiss-sport.de/wp-content/uploads/2015/02/explo.pdf> abgerufen
- Willimczik, K. (1989). *Biomechanik der Sportarten*. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Zawieja, M. (2016). *Leistungsreserve Athletiktraining*. Münster: Philippka-Sportverlag GmbH & Co.KG.

12 Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

a	Beschleunigung
Abb.	Abbildung
ATP	Adenosintriphosphat
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka, ungefähr
cm	Zentimeter
Dist.	Distanz
f	Frequenz
F	Kraft
Js	Joulesekunde
ΔL	erhöhte bzw. erniedrigte Leuchtdichte
h	Planck'sches Wirkungsquantum $6,63 \cdot 10^{-34}$ Js
H	informationstheoretische Entropie
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)
ν	Frequenz des Lichtes mit rund 10^{15} s^{-1}
h ν	Licht
$\log_2$	Logarithmus mit der Basis 2
L	Referenzleuchtdichte
m	Masse
m/s	Meter pro Sekunde (Geschwindigkeitseinheit)
ms	Millisekunden
mV	Millivolt (10^{-3} Volt)
M	Drehmoment
n	Anzahl
ΔN	Differenz der Wiederholungen
N. C.	Nur Center
nm	Nanometer (10^{-9} m)
Nm	Newtonmeter
P	Leistung
r	Radius
[s]	Sekunde als Einheit

s	Weg (bei $v = s/t$)
t	Zeit
Δt	Zeitintervall
Std.	Standard
Tab.	Tabelle
THz	Terahertz (10^{12} Hz)
Δv	Differenz der Geschwindigkeiten
v	Geschwindigkeit
VIS	visuell sichtbares Licht
V. L.	Voll Licht
z. B.	zum Beispiel
Δx	Wegdifferenz (zurückgelegter Weg)
ZNS	Zentralnervensystem
%	Prozent
°	Grad

13 Definitionen - Begriffsbestimmungen

Effektor:

Effektoren sind Gewebe, Drüsen oder Organe, die mit efferenten Nerven verknüpft sind und die auf die vom Gehirn kommenden Erregungen reagieren oder die Rezeptoren für bestimmte Hormone besitzen und auf deren Ausschüttung reagieren.

Wird z. B. ein Muskel durch einen Nerv angeregt, sich zusammenzuziehen, so ist der Muskel ein Effektor (Schmidt & Schaible, 2006, S. 6) (Schmidt & Schaible, 2006, S. 41) (Lang & Lang, 2007, S. 347).

Effektorfitlight:

Effektorfitlight ist jenes Fitlight, welches einen Effektor (siehe oben) anspricht, und es dadurch zu einer Bewegungsausführung durch Muskeln kommt.

14 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 76).....	15
Abb. 3: Spektrum des Lichts (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 77).....	16
Abb. 2: Grad der Stimulation jedes Konus für monochromatisches blaues, grünes, gelbes und oranges Licht (Irving, 2016, S. 797).....	16
Abb. 4: Schnitt durch das menschliche Auge (Schandry, 2016, S. 239).....	17
Abb. 5: Aufbau der Netzhaut und ihre Verschaltung (Schandry, 2016, S. 241).....	18
Abb. 6: Aufbau von Zapfen und Stäbchen, Feinbau und synaptische Verbindung am Fuß eines Stäbchens (Schandry, 2016, S. 242).....	19
Abb. 7: spektrale Empfindlichkeit der S-, M- und L-Zapfen (Schenk & Rigoll, 2010, S. 49).....	20
Abb. 8: Normierte Absorptionskurve der menschlichen Fotopigmente (Schmidt & Schaible, 2006, S. 282).....	20
Abb. 9: Bewegungsrichtungen bei Zug der 6 Augenmuskeln (Schmidt & Schaible, 2006, S. 253).....	21
Abb. 10: Parameter des Sehraumes (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 1041)	22
Abb. 11: Unterschiedsschwelle Leuchtdichte (Silbernagl & Despopoulos, 1991, S. 307).....	23
Abb. 12: Kontrast (Silbernagl & Despopoulos, 1991, S. 313).....	24
Abb. 13: Der Sehvorgang, modifiziert (Bergmann, 2010, S. 70).....	25
Abb. 14: Sensorpotenzial (Silbernagl & Despopoulos, Taschenatlas Physiologie, 2007, S. 361).....	25
Abb. 15: Typische Bestandteile der Nervenzelle (Schandry, 2016, S. 47)	26
Abb. 16: Überblick Sehbahn (Putz & Pabst, 2006, S. 371).....	27
Abb. 17: Primäre und sekundäre visuelle Sehrinde (Schandry, 2016, S. 158).....	28
Abb. 18: Homunculus (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 54)	29
Abb. 19: Vereinfachtes Wirkungsgefüge motorischer Systeme (Schandry, 2016, S. 215).....	30
Abb. 20: Feinbau des Rückenmarks (Schandry, 2016, S. 114).....	31
Abb. 21: Neuromuskuläre Übertragung in der quergestreiften Muskulatur (Schandry, 2016, S. 200).....	32
Abb. 22: Nerven der oberen Extremitäten (Putz & Pabst, 2006, S. 195).....	33
Abb. 23: Schema der verschiedenen Ebenen zur Entstehung der un- und willkürlichen Bewegung (Konczak, 2003, S. 85)	34
Abb. 24: Verarbeitungsstufen zwischen Reiz und Reaktion (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 9).....	35
Abb. 25: Reizreaktionsleitungsbeziehung (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 75)	35
Abb. 26: Funktion des Gehirns (Pöppel & Bullinger, 1994, S. 27)	36
Abb. 27: Recall- (Open-loop) und Recognition- (Closed-loop) Modell (Güllich & Krüger, 2013, S. 219)	38
Abb. 28: Skelett Vorderansicht (Meincke & Theuerkauf, 1985, S. 106)	40

Abb. 29: Knochen und Gelenke der oberen Extremität (Putz & Pabst, 2006, S. 134)....	41
Abb. 30: Halsmuskeln (Putz & Pabst, Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen - Kopf, Hals, obere Extremität, 2006, S. 120)	42
Abb. 31: Muskeln von Arm und Brustkorb (Putz & Pabst, 2006, S. 162)	43
Abb. 32: Hick´sche Gesetz. Die Wahlreaktionszeit (CRT) steigt mit zunehmender Anzahl (N) der Reaktionsalternativen logarithmisch an (Güllich & Krüger, 2013, S. 216).....	45
Abb. 33 motorische Schnelligkeitsfähigkeiten aus praktischer Sicht (Grosser M. , 2007, S. 18).....	46
Abb. 34: Sitzposition für Gestaltung des Sehraumes (Arbeitswissenschaften, 2018, S. 16)	48
Abb. 35: Maße des Greifraumes in normaler Arbeitshöhe (Metall- Berufsgenossenschaft, 2018, S. 19)	49
Abb. 36: Gestaltung des Greifraumes (Arbeitswissenschaften, 2018, S. 14).....	49
Abb. 37: FITLIGHT-Tablet mit der Einstiegsoberfläche.....	51
Abb. 38: FITLIGHT LED	51
Abb. 39: Screenshots vom Netzwerktest mit den Fitlights	53
Abb. 40: Screenshot vom FITLIGHT-Tablet – Startfitlight mit Effektorfitlight	54
Abb. 41: Screenshot vom FITLIGHT-Tablet: Effektorfitlight mit Startfitlight.....	54
Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung.....	58
Abb. 43: Grundplatte mit den Markierungen für die Fitlights (5. und 8. Schulstufe).....	60
Abb. 44: Grundplatte mit den aufgelegten Fitlights für die 5. Schulstufe.....	60
Abb. 45: Grundplatte mit den aufgelegten Fitlights für die 8. Schulstufe.....	61
Abb. 46: denkbare Wahlmöglichkeiten	62
Abb. 47: Testperson bei der Vortestung von oben fotografiert.....	66
Abb. 48: Testperson bei der Vortestung von der Seite fotografiert.....	66
Abb. 49: verwendete Gesamtdauer, allgemeine Begrüßung und praktische Testung	67
Abb. 50: verwendete Zeit bei der praktischen Testung und der Aufschlüsselung	67
Abb. 51: Testungsprotokollvorlage der 1f vom BG / BRG Hollabrunn	71
Abb. 52:Screenshot der importierten Daten vom FITLIGHT-Tablet als csv-Datei in Excel	71
Abb. 53: Screenshot der importierten und für die Statistik relevanten Daten	72
Abb. 54: Teilnehmende Schulen Es zeigt sich, dass knapp zwei Drittel (63%) der Testpersonen zum Zeitpunkt der Testung das BG/BRG Hollabrunn, knapp ein Viertel (24%) die NMS Hollabrunn und ein Achtel (13%) die NMS Wullersdorf besuchen (siehe Tab. 13: Teilnehmende Schulen und Abb. 54: Teilnehmende Schulen sowie Tab. 14: Teilnehmende Schulen mit Unterteilung in 5. und 8. Schulstufe).....	76
Abb. 55: Teilnehmende Schulen mit Unterteilung in 5. und 8. Schulstufe.....	77
Abb. 56: Geschlechtsverteilung (n=308).....	77
Abb. 57: Geschlechtsverteilung mit Aufteilung in 5. und 8. Schulstufe (n=308)	78
Abb. 58: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler (n=308)	79

Abb. 59: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler aufgeteilt in 5. und 8. Schulstufe sowie in Mädchen und Knaben (n=308).....	80
Abb. 60: Einfacher Boxplot zu den Reaktionszeiten und Effektorfitlights inklusive der nummerierten Ausreißer	81
Abb. 61: Messdatensätze: blau inklusive der Ausreißer, rot Ausreißer und grün verwendete Messdatensätze für die Statistik	83
Abb. 62: Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bezüglich Schulstufen und Geschlecht.....	85
Abb. 63: Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bezüglich der Schulstufen, des Geschlechts und der einzelnen Effektorfitlights.....	85
Abb. 64: Liniendiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe	90
Abb. 65: Streudiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe	91
Abb. 66: Reizleitung (Becker-Carus & Wendt, 2017, S. 33)	95
Abb. 67: Bei Knaben besser (Hirtz, PRAXISideen, 2012, S. 26)	95
Abb. 68: Unterschied Reaktion und Wahlreaktion (Hirtz & Nüske, Motorische Entwicklung in der Diskussion, 1994, S. 48)	96
Abb. 69: Entwicklung der Reaktionsfähigkeit (Hirtz, Sportmotorik, 1997, S. 215)	97
Abb. 70: Liniendiagramm der mittleren Reaktionszeiten der 5. und 8. Schulstufe aufgeteilt in die Effektorfitlights	98
Abb. 71: Entwicklung der komplexen Reaktionszeiten zwischen 7 und 24 Jahre (Hirtz, Sportmotorik, 1997, S. 228)	99
Abb. 72: Reaktionszeiten Unterschied weiblich zu männlich.....	100
Abb. 73: Liniendiagramm der 5. Schulstufe nach dem Geschlecht und den Effektorfitlight unterteilt.....	102
Abb. 74: Liniendiagramm der 8. Schulstufe nach dem Geschlecht unterteilt.....	103
Abb. 75: Liniendiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, der 5. und 8. Schulstufe	104
Abb. 76: Streudiagramm der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, 5. und 8. Schulstufe.....	105
Abb. 77: schematische Darstellung des Rekrutierungsprinzips (ST Slow Twitch, FTO Fast Twitch oxidativ, FTG Fast Twitch glykolytisch (Grosser & Starischka, Das neue Konditionstraining, 1998, S. 56).....	106
Abb. 78: Möglicher Fasereinsatz bei der Bewegung (Grosser & Starischka, Das neue Konditionstraining, 1998, S. 57).....	107
Abb. 79: Muskelkraftmomente bei maximaler Kontraktion von drei verschiedenen Muskeln mit verschiedener Fasertypzusammensetzung (Wiemann & Gretz, Biomechanik und Bewegungslehre des Sports, 1993, S. 14)	108
Abb. 80: Muskelleistung vor und nach dem Krafttraining (Wick, 2009, S. 97)	112
Abb. 81: Stundentafeln vom Pflichtgegenstand Bewegung und Sport (http://www.bewegung.ac.at , 2018).....	116
Abb. 82: Bestätigung vom Landesschulrat Seite 1.....	117
Abb. 83: Bestätigung vom Landesschulrat Seite 2.....	118

Abb. 84: Einverständniserklärung	119
Abb. 85: Länge / Größe der Mädchen in der Schweiz (Oskar, 2012, Vol 22, Nr. 1, S. 15)	120
Abb. 86: Länge / Größe der Knaben in der Schweiz (Oskar, 2012, Vol 22, Nr. 1, S. 4)	121
Abb. 87: Körpergröße Knaben Österreich (Gleiss, et al., 2013, S. 1)	122
Abb. 88: Größe Mädchen Dänemark (Tinggaard, 2013, S. 218)	123
Abb. 89: Größe Knaben Dänemark (Tinggaard, 2013, S. 218)	124

Tab. 1: Sinnessysteme	14
Tab. 2: Wahrnehmung der Umwelt durch das Auge - modifiziert (Schmidtke, 1993, S. 508)	21
Tab. 3: Zeitkomponenten der Reaktionszeit (Güllich & Krüger, 2013, S. 478)	44
Tab. 4: für die Testung wichtige Programmiermöglichkeiten, Beschreibung dieser und Zusammenhang mit der Testung	55
Tab. 5: Auszug aus der Sequenzprogrammierung	56
Tab. 6: Größenvergleich (Körpergröße und Oberarmlänge) zur Berechnung der anthropometrischen Unterschiede von der 5. zur 8. Schulstufe	59
Tab. 7: Abstände der Effektorfitlights zum Startfitlight im Unterschied zwischen 5. und 8. Schulstufe (siehe Abb. 42: Aufbau der praktischen Testung)	61
Tab. 8: Antwortmöglichkeiten: Welche Hand bewegt sich zum Effektorfitlight	63
Tab. 9: Versuchspersonen bei den Vortestungen	63
Tab. 10: Zeitlicher Ablauf der Testung	67
Tab. 11: Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf die Testung	68
Tab. 12: Praktische Testung	69
Tab. 13: Teilnehmende Schulen	76
Tab. 14: Teilnehmende Schulen mit Unterteilung in 5. und 8. Schulstufe	76
Tab. 15: Geschlechtsverteilung in den Schulstufen (n=308)	77
Tab. 16: Übersicht Urstichprobe (Anzahl der Schülerinnen und Schüler mit Messdaten)	78
Tab. 17: Händigkeit bei der Testung der Schülerinnen und Schüler aufgeteilt in 5. und 8. Schulstufe sowie in Mädchen und Knaben (n=308)	79
Tab. 18: Verwendung nur der rechten bzw. linken Hand (n=308)	80
Tab. 19: Gegenüberstellung Urstichprobe und verwendete Stichprobe	82
Tab. 20: Anzahl der Mädchen und Knaben der 5. und 8. Schulstufe in der ursprünglichen Stichprobe und nach der Messdatenreduktion (n=308 (93+88+66+61) reduziert auf n=190 (48+51+52+39))	82
Tab. 21: Messdaten für die statistische Auswertung mit Aufschlüsselung der Schulstufe, des Geschlechts und der Effektorfitlights	84
Tab. 22: Gruppenstatistik 5. / 8. Schulstufe	86
Tab. 23: Gruppenstatistik geschlechtlich unterteilt	87

Tab. 24: Gruppenstatistik weiblich / männlich der 5. Schulstufe.....	88
Tab. 25: Gruppenstatistik weiblich / männlich der 8. Schulstufe.....	88
Tab. 26: Einfaktorielle ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe.....	89
Tab. 27: statistische Kennzahlen der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich 5., männlich 5., weiblich 8. und männlich 8. Schulstufe	90
Tab. 28: Die 20 besten Ergebnisse unterteilt in Schulstufe und Geschlecht	101
Tab. 29: Einfaktorielle ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, der 5. und 8. Schulstufe	104
Tab. 30: statistische Kennzahlen der einfaktoriellen ANOVA mit den Gruppen weiblich, männlich, 5. und 8. Schulstufe	105
Tab. 31: Kontraktionszeiten und Verkürzungsgeschwindigkeiten der Fasertypen (Wiemann & Gretz, Biomechanik und Bewegungslehre des Sports, 1993, S. 2)107	
Tab. 32: Berechnung der Fitlightsabständeunterschiede	125
Tab. 33: Körpergröße / Körperlänge Mädchen (Neuhauser, Schienkiewitz, Schaffrath Rosario, Dortschy, & Kurth, 2013, S. 21)	126
Tab. 34: Körperlänge / Körpergröße Jungen (Neuhauser, Schienkiewitz, Schaffrath Rosario, Dortschy, & Kurth, 2013, S. 20)	127
Tab. 35: Größe und Oberarmlänge von Mädchen und Jungen in Deutschland (Stolzenberg, Kahl, & Bergmann, 2007, S. 662).....	128
Tab. 36: Sequenzprogrammierung der Testung mit dem FITLIGHT-Trainer	129