



# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

der Technischen Universität München

(Leitung: Univ.-Prof. Dr. M. Halle)

## **Pulswellenanalyse zur Bestimmung des Gefäßstatus im Kindes- und Jugendalter – Beeinflussung des Augmentationsindex durch körperliche Aktivität**

Mailin Borsche

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität

München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Medizin**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. M. Halle

2. Priv.-Doz. Dr. A. Preßler

Die Dissertation wurde am 30.03.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 07.12.2016 angenommen.



# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abkürzungsverzeichnis.....  | 7  |
| 1 Einleitung .....  | 10 |
| 2 Wissenschaftlicher Hintergrund .....  | 12 |
| 2.1 Übergewicht und Adipositas .....  | 12 |
| 2.1.1 Prävalenz von Übergewicht und Adipositas.....                             | 12 |
| 2.1.2 Definition von Übergewicht und Adipositas.....                            | 14 |
| 2.1.3 Auswirkungen von Übergewicht und Adipositas .....                         | 16 |
| 2.2 Gefäßveränderungen .....  | 18 |
| 2.2.1 Übersicht über das kardiovaskuläre System.....                            | 18 |
| 2.2.2 Aufbau der Gefäße .....   | 19 |
| 2.2.3 Eigenschaften der unterschiedlichen Gefäßabschnitte.....                  | 21 |
| 2.2.4 Pathogenese der Arteriosklerose.....                                      | 22 |
| 2.2.5 Auswirkung von Übergewicht und Adipositas auf die Gefäße.....             | 23 |
| 2.2.6 Diagnostik der Gefäßveränderungen .....                                   | 24 |
| 2.3 Die Pulswellenanalyse.....  | 24 |
| 2.3.1 Beschreibung der Pulswellenparameter .....                                | 26 |
| 2.3.2 Zentraler und peripherer Blutdruck .....                                  | 26 |
| 2.3.3 Pulsdruck und arterieller Mitteldruck.....                                | 28 |
| 2.3.4 Augmentation und Augmentationsindex .....                                 | 29 |
| 2.3.4.1 Augmentation .....  | 29 |
| 2.3.4.2 Augmentationsdruck und Augmentationsindex.....                          | 31 |
| 2.3.5 Die Pulswellengeschwindigkeit .....                                       | 34 |
| 2.3.6 Zusammenhang zwischen Blutwerten und Pulswellenparametern .....           | 35 |
| 2.4 Auswirkungen körperlicher Aktivität auf den Gesundheitszustand .....        | 35 |
| 2.4.1 Definition von „körperlicher Aktivität“ und „sportlicher Aktivität“ ..... | 35 |
| 2.4.2 Körperliche Aktivität im Erwachsenenalter.....                            | 36 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.4.3   | Bedeutung der körperlichen Aktivität im Kindesalter.....  | 37 |
| 2.4.4   | Auswirkung von körperlicher Aktivität auf die Gefäße.....                                       | 39 |
| 2.4.4.1 | Einfluss der körperlichen Aktivität auf die Intima-Media-Dicke .....                            | 40 |
| 2.4.4.2 | Einfluss von körperlicher Aktivität auf den Augmentationsindex.....                             | 41 |
| 2.5     | Maßnahmen zur Prävention von Gefäßerkrankungen.....   | 41 |
| 2.6     | Fragestellung der Arbeit .....  | 42 |
| 3       | Material und Methoden .....   | 44 |
| 3.1     | Teilnehmer des JuvenTUM Projektes.....  | 44 |
| 3.1.1   | Rekrutierung der Teilnehmer .....   | 44 |
| 3.1.2   | Randomisierung der Teilnehmer.....  | 44 |
| 3.2     | Intervention.....   | 45 |
| 3.2.1   | Ziele der Intervention .....  | 45 |
| 3.2.2   | Interventionsmaßnahmen für Schüler .....  | 46 |
| 3.2.3   | Interventionsmaßnahmen für Lehrer.....  | 47 |
| 3.2.4   | Interventionsmaßnahmen für Eltern.....  | 47 |
| 3.3     | Untersuchungen in „JuvenTUM Stufe 3“ .....  | 48 |
| 3.3.1   | Erfassung der Gefäßfunktion mit Pulswellenanalyse .....   | 48 |
| 3.3.1.1 | Durchführung der Pulswellenanalyse .....  | 48 |
| 3.3.1.2 | Bearbeitung der Daten.....  | 51 |
| 3.3.1.3 | Statistik.....  | 52 |
| 3.3.2   | Erfassung der Gefäßstruktur über die retinale Mikrozirkulation .....                            | 52 |
| 3.3.3   | Anthropometrie .....  | 53 |
| 3.3.4   | Blutdruckmessung .....  | 53 |
| 3.3.5   | Bestimmung der Blutparameter .....  | 53 |
| 3.3.6   | Fragebogen.....   | 54 |
| 3.3.6.1 | Erfassung der körperlichen Aktivität und des Medienkonsums.....                                 | 54 |
| 3.3.6.2 | Erfassung des Gesundheitswissens, der Lebensqualität und<br>des sozio-ökonomischen Status ..... | 54 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.3.6.3 | Erfassung des Ernährungsverhaltens.....   | 55 |
| 3.3.7   | Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit.....  | 55 |
| 4       | Ergebnisse .....  | 56 |
| 4.1     | Beschreibung der Basisdaten zu Projektbeginn .....  | 56 |
| 4.1.1   | Anthropometrische Parameter und peripherer Blutdruck zu<br>Projektbeginn .....  | 57 |
| 4.1.2   | Blutparameter zu Projektbeginn.....   | 58 |
| 4.1.3   | Pulswellenparameter zu Projektbeginn.....   | 58 |
| 4.1.4   | Körperliche Aktivität zu Projektbeginn.....   | 59 |
| 4.2     | Vergleichbarkeit der Stichproben .....  | 60 |
| 4.2.1   | Vergleichbarkeit von Alter, Größe und Gewicht .....   | 60 |
| 4.2.2   | Vergleichbarkeit der Pulswellenparameter.....   | 61 |
| 4.2.3   | Vergleichbarkeit der körperlichen Aktivität .....   | 62 |
| 4.3     | Vergleich der Ausgangswerte zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe<br>zu Projektbeginn.....                                     | 62 |
| 4.3.1   | Vergleich der Pulswellenparameter zwischen Kontroll- und<br>Interventionsgruppe zu Projektbeginn.....                               | 62 |
| 4.3.2   | Vergleich der körperlichen Aktivität zwischen Kontroll- und<br>Interventionsgruppe zu Projektbeginn.....                            | 64 |
| 4.4     | Veränderung der Pulswellenparameter vom ersten bis zum vierten<br>Projektjahr .....   | 65 |
| 4.4.1   | Veränderung der Pulswellenparameter innerhalb der Kontrollgruppe<br>und innerhalb der Interventionsgruppe im Projektverlauf.....    | 65 |
| 4.4.2   | Vergleich der Gruppenunterschiede zwischen Kontroll- und<br>Interventionsgruppe im Projektverlauf.....                              | 66 |
| 4.5     | Veränderung der körperlichen Aktivität im Projektverlauf .....  | 67 |
| 4.5.1   | Veränderung der körperlichen Aktivität innerhalb der Kontrollgruppe<br>und innerhalb der Interventionsgruppe im Projektverlauf..... | 67 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.5.2   | Vergleich der Entwicklung der körperlichen Aktivität zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe im Projektverlauf..... | 69  |
| 4.6     | Korrelationen zwischen Pulswellenparametern, Anthropometrie, Blutparametern und körperlicher Aktivität.....            | 70  |
| 4.6.1   | Korrelationen zwischen Pulswellenparametern und Anthropometrie ....  | 70  |
| 4.6.1.1 | Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI in den einzelnen Projektjahren .....                                   | 72  |
| 4.6.2   | Korrelationen zwischen Pulswellenparametern und Blutparametern ....  | 73  |
| 4.6.3   | Korrelationen zwischen Pulswellenparametern, körperlicher Aktivität, Sitzzeit und Medienkonsum .....                   | 75  |
| 4.6.3.1 | Korrelation zwischen Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität in den Projektjahren .....                      | 77  |
| 4.7     | Multiple lineare Regressionsanalyse .....  | 78  |
| 4.7.1   | Zusammenhang zwischen der Intervention und der Veränderung des zentralen Augmentationsindex.....                       | 79  |
| 4.7.2   | Zusammenhang zwischen dem Aktivitätsniveau und der Veränderung des zentralen Augmentationsindex .....                  | 80  |
| 5       | Diskussion.....  | 82  |
| 6       | Zusammenfassung.....   | 97  |
| 7       | Abstract (deutsch).....  | 99  |
| 8       | Abstract (englisch) .....  | 102 |
| 9       | Anhang.....  | 105 |
| 9.1     | Abbildungsverzeichnis.....   | 105 |
| 9.2     | Tabellenverzeichnis.....   | 107 |
| 9.3     | Literaturverzeichnis .....   | 109 |
|         | Danksagung .....   | 119 |
|         | Selbstständigkeitserklärung.....   | 120 |

# Abkürzungsverzeichnis

|         |  |
|---------|--|
| A.      | Arterie                                    |
| Abb.    | Abbildung                                  |
| AI      | Augmentationsindex                         |
| BMI     | Body-Mass-Index                            |
| BMI-SDS | BMI Standard Deviation Score               |
| bzw.    | beziehungsweise                            |
| CDC     | Centers for Disease Control and Prevention |
| cm      | Zentimeter                                 |
| CRP     | C-reaktives Protein                        |
| d       | Tag  |
| Delta   | Differenz                                  |
| dl      | Deziliter                                  |
| eNOS    | endotheliale Stickstoffmonoxid-Synthase    |
| et al.  | „und andere“                               |
| gr.     | groß                                       |
| HDL     | High-density-Lipoprotein                   |
| IS      | Interventionsschule                        |
| kg      | Kilogramm                                  |
| KI      | Konfidenzintervall                         |
| km      | Kilometer                                  |
| kPa     | Kilopascal                                 |

|                    |  |
|--------------------|--|
| KS                 | Kontrollschule   |
| KiGGS              | Kinder- und Jugendgesundheitssurvey  |
| KINDL <sup>R</sup> | Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen ab drei Jahren |
| LDL                | Low-density-Lipoprotein  |
| li.                | links  |
| m                  | Meter  |
| M.                 | Musculus   |
| MAP                | Mittlerer arterieller Druck  |
| mg                 | Milligramm   |
| min                | Minuten  |
| mmHg               | Millimeter Hydrargyrum (Quecksilber)   |
| ms                 | Millisekunde   |
| MW                 | Mittelwert   |
| m <sup>2</sup>     | Quadratmeter   |
| NO                 | Stickstoffmonoxid  |
| n                  | Anzahl   |
| p                  | statistische Signifikanz   |
| PC                 | Personal Computer  |
| PWV                | Pulswellengeschwindigkeit  |
| P1                 | Druckkurve durch den Auswurf des Schlagvolumens  |
| P2                 | Maximum der reflektierten Pulswelle  |
| r                  | Korrelationskoeffizient  |

|                |  |
|----------------|--|
| re.            | rechts                                       |
| ROS            | reaktive Sauerstoffspezies                   |
| R <sup>2</sup> | Regressionskoeffizient                       |
| s              | Sekunde                                      |
| SD             | Standardabweichung                           |
| StBA           | statistisches Bundesamt                      |
| SVA-T          | Static Retinal Vessel Analyser               |
| t              | Zeit   |
| Tab.           | Tabelle                                      |
| TG             | Triglyceride                                 |
| T2DM           | Diabetes Mellitus Typ 2                      |
| USDHHS         | U.S. Department of Health and Human Services |
| V              | Vene   |
| V1             | Visit 1                                      |
| V2             | Visit 2                                      |
| WHO            | World Health Organization                    |
| >              | „größer als“                                 |
| <              | „kleiner als“                                |
| %              | Prozent                                      |

# 1 Einleitung

Weltweit ist eine starke Abnahme der körperlichen Aktivität zu verzeichnen (WHO 2014). Durch den technischen Fortschritt spielt körperliche Aktivität in Bereichen wie Verkehr, Arbeit und Freizeit eine immer geringere Rolle. Voraussichtlich wird körperliche Aktivität in den industrialisierten Staaten in den nächsten Jahrzehnten weiter sinken (Hillman and Schott 2013, Ng and Popkin 2012). Der körperlichen Aktivität in der Kindheit kommt eine besondere Bedeutung zu. Einen inaktiven Lebensstil lernt man in Kindheit und Jugend. Er wird meist bis in das Erwachsenenalter beibehalten und verstärkt. Dabei ist Inaktivität in der Kindheit mit dem Risiko assoziiert als Erwachsener übergewichtig zu werden (Manz et al. 2014). Gleichzeitig mit der Zunahme der Inaktivität steigt daher auch die Prävalenz von Übergewicht und Adipositas. Adipositas im Kindesalter geht mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität im Erwachsenenalter einher. So ist bei Adipositas das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, die in Deutschland die häufigste Todesursache darstellen, erhöht (StBA 2013). Dabei ist das kardiovaskuläre Risiko umso höher, je früher die Adipositas im Kindesalter beginnt (Grimmer et al. 2008, Freedman et al. 2001). Frühzeitige Diagnostik ist deshalb der erste Schritt zur Prävention von Herzkreislaufgeschäden im Erwachsenenalter.

Eine Möglichkeit das Gesundheitsverhalten von Kindern nachhaltig zu verbessern bieten schulbasierte Präventionsprojekte. Bisher wurde der Erfolg der Projekte meist anhand des BMI der Kinder gemessen (Waters et al. 2011, Harris et al. 2009). Doch die Messung mittels BMI hat viele Nachteile, so wird z.B. die Muskelmasse bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Außerdem hat der BMI im Kindesalter über das kardiovaskuläre Risiko einen indirekten prognostischen Wert. Im Gegensatz dazu erlauben degenerative Veränderungen der Gefäße, die sich bereits im Kindesalter nachweisen lassen, präzisere Voraussagen (Meyer et al. 2007, Raekallio et al. 1990). Hierfür wurden in den letzten Jahren Methoden entwickelt mit denen diese frühzeitigen Gefäßveränderungen diagnostiziert werden können. Eine dieser Methoden ist die Pulswellenanalyse. Sie ist nicht invasiv, leicht auch bei größeren Fallzahlen anzuwenden und leistet eine Aussage über die Gefäßelastizität.

Das hier dargestellte Interventionsprogramm JuvenTUM hat die Intention den Gefäßstatus bei Schulkindern zu analysieren, einen positiven Effekt auf die

kindlichen Gefäße zu erzielen und diesen nachzuweisen. Mit dieser Maßnahme wurde den Schülern Anregung und Gelegenheit zur körperlichen Aktivität, Anleitung zu gesundheitsbewusster Lebensweise und laufende Überprüfung der individuellen Gefäßveränderung geboten. Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist die Beeinflussung des Gefäßstatus durch die Intervention mithilfe der Pulswellenanalyse.

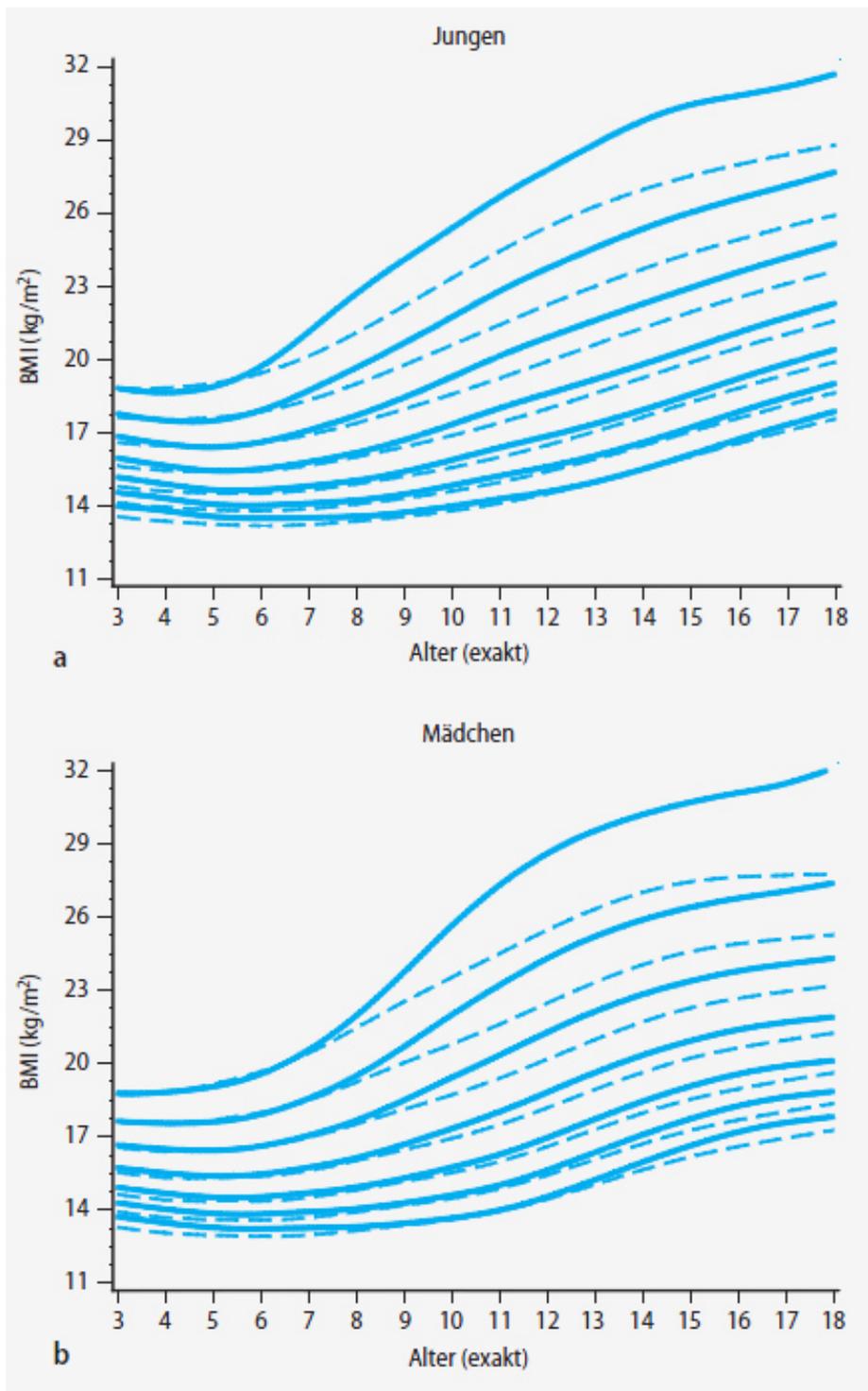
## 2 Wissenschaftlicher Hintergrund

### 2.1 Übergewicht und Adipositas

#### 2.1.1 Prävalenz von Übergewicht und Adipositas

Der Anteil übergewichtiger und adipöser Menschen zeigt weltweit einen starken Anstieg (Mensink et al. 2013). Aktuell gibt es weltweit fast zwei Milliarden übergewichtige Erwachsene und eine halbe Milliarde adipöse. Die Prävalenz von Übergewicht und Adipositas ist zurzeit am höchsten auf dem amerikanischen Kontinent und zeigt selbst in Schwellen- und Entwicklungsländern eine ansteigende Tendenz. Im weltweiten Vergleich befindet sich in Deutschland die Prävalenz von Übergewicht (54,8%) und Adipositas (21,9%) im Erwachsenenalter im Mittelfeld (WHO 2014). Im Vergleich zu im Jahr 2010 erhobenen Daten bedeutet dies einen Anstieg der Prävalenz von Übergewicht um 1,7% und einen Anstieg der Prävalenz von Adipositas um 1,6% (WHO 2011).

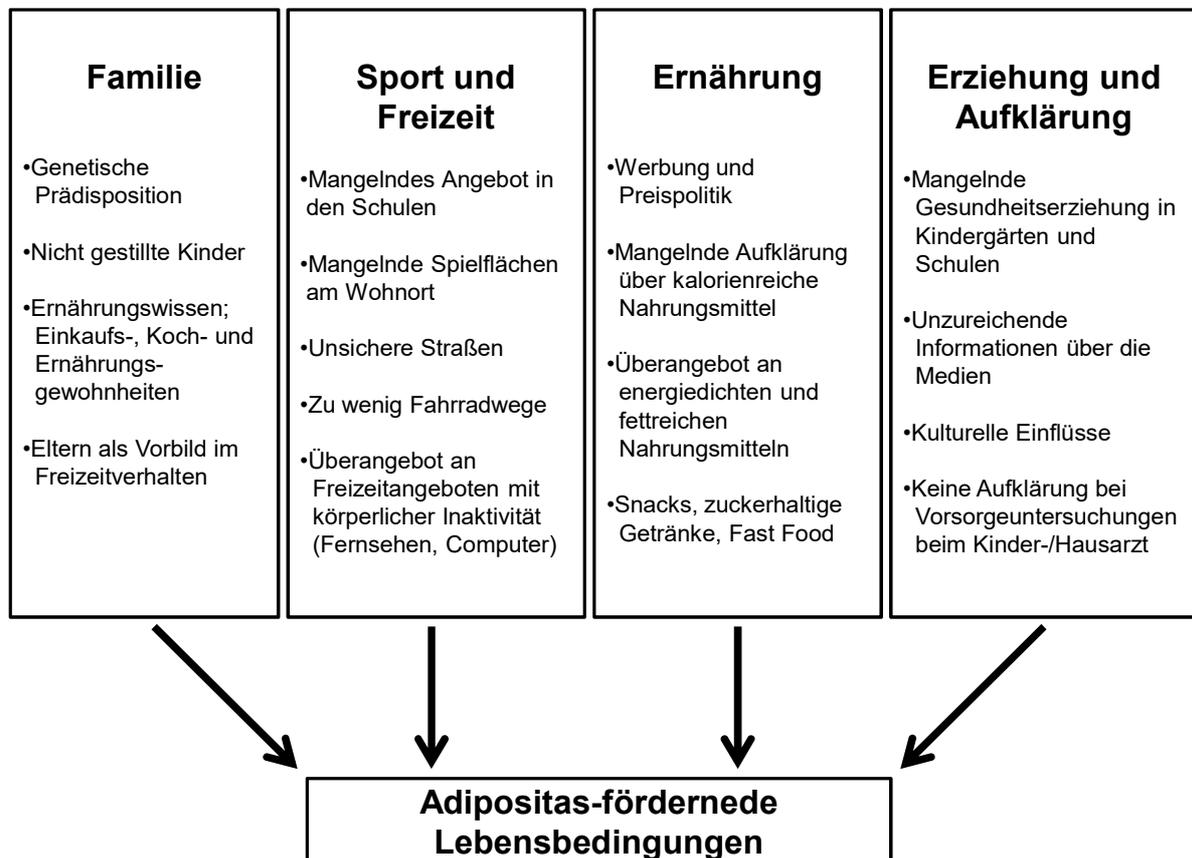
Auch im Kindesalter ist in den letzten Jahren der Anteil übergewichtiger und adipöser Kinder gestiegen. Laut den 2007 veröffentlichten Daten der KiGGS Studie waren in Deutschland ca. 17,0% der 14- bis 17-Jährigen Jugendlichen übergewichtig und 8,5% adipös. Der Anteil der adipösen Jugendlichen stieg mit zunehmendem Alter (Kurth 2007). Vergleicht man die Daten mit Untersuchungen aus den 1990er Jahren ist festzustellen, dass der Anteil der Übergewichtigen (inklusive den Adipösen) um 50,0% gestiegen ist (Kromeyer-Hauschild 2001). In der Gruppe der 14- bis 17-Jährigen hat sich der Anteil der adipösen Jugendlichen verdreifacht (Abb.1) (Kurth 2007). In Schuleingangsuntersuchungen zeigte sich aktuell eine Stagnation der Adipositasprävalenz bei Schulkindern. Allerdings stieg der Anteil der Kinder mit extremer Adipositas weiterhin an (Wabitsch et al. 2013).



**Abbildung 1. BMI-Perzentile der KIGGS Studie für Jungen und Mädchen;** die durchgezogenen Linien zeigen die BMI-Perzentilen basierend auf den Ergebnissen der KIGGS Studie von 2003 bis 2006; die gestrichelten Linien zeigen die BMI-Perzentilen basierend auf den Referenzdaten von Kromeyer-Hauschild aus den Jahren 1985 bis 1999 (Kurth 2007)

Die Ursachen der steigenden Adipositasprävalenz sind vielseitig (Abb. 2). Somatische Erkrankungen sind nur in weniger als 1% die Ursache für Übergewicht (Reinehr 2010). Zu den Ursachen gehören nicht beeinflussbare Faktoren wie

genetische Prädisposition, aber auch beeinflussbare Faktoren wie das Ernährungs- und Bewegungsverhalten (Wabitsch 2004). Weiterhin beeinflusst der erhöhte Fernseh- und Computerkonsum und die damit einhergehende körperliche Inaktivität die Entstehung von Übergewicht im Kindesalter (Stettler et al. 2004).



**Abbildung 2. Ursachen für die Zunahme von Übergewicht im Kindesalter** (nach Wabitsch 2004)

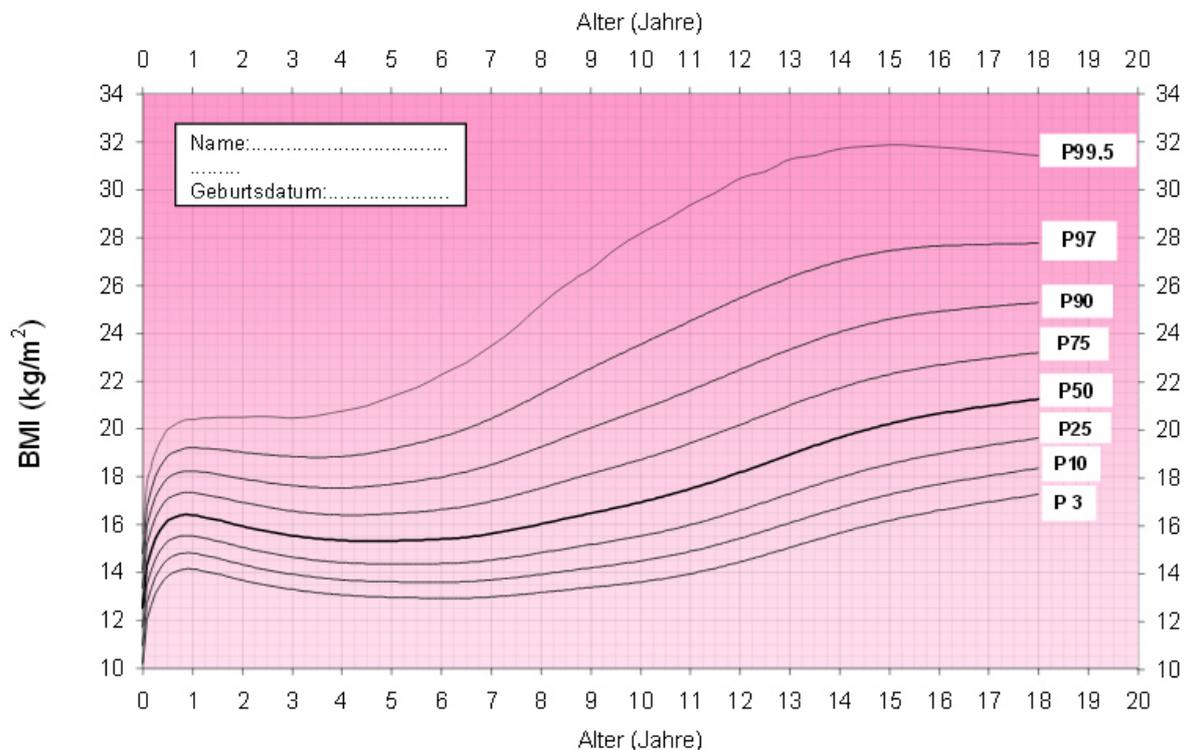
## 2.1.2 Definition von Übergewicht und Adipositas

Laut der Deutschen Adipositas-Gesellschaft ist Adipositas definiert als eine über das Normalmaß hinausgehende Vermehrung des Körperfetts. Als Berechnungsgrundlage dient der Body-Mass-Index (BMI). Dieser wird aus dem Quotienten von Körpergewicht und Körpergröße berechnet ( $\text{kg/m}^2$ ) (DAG 2012). Bei Erwachsenen spricht man von Übergewicht ab einem  $\text{BMI} \geq 25 \text{ kg/m}^2$  und ab einem  $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$  von Adipositas (Tab.1) (WHO 2000).

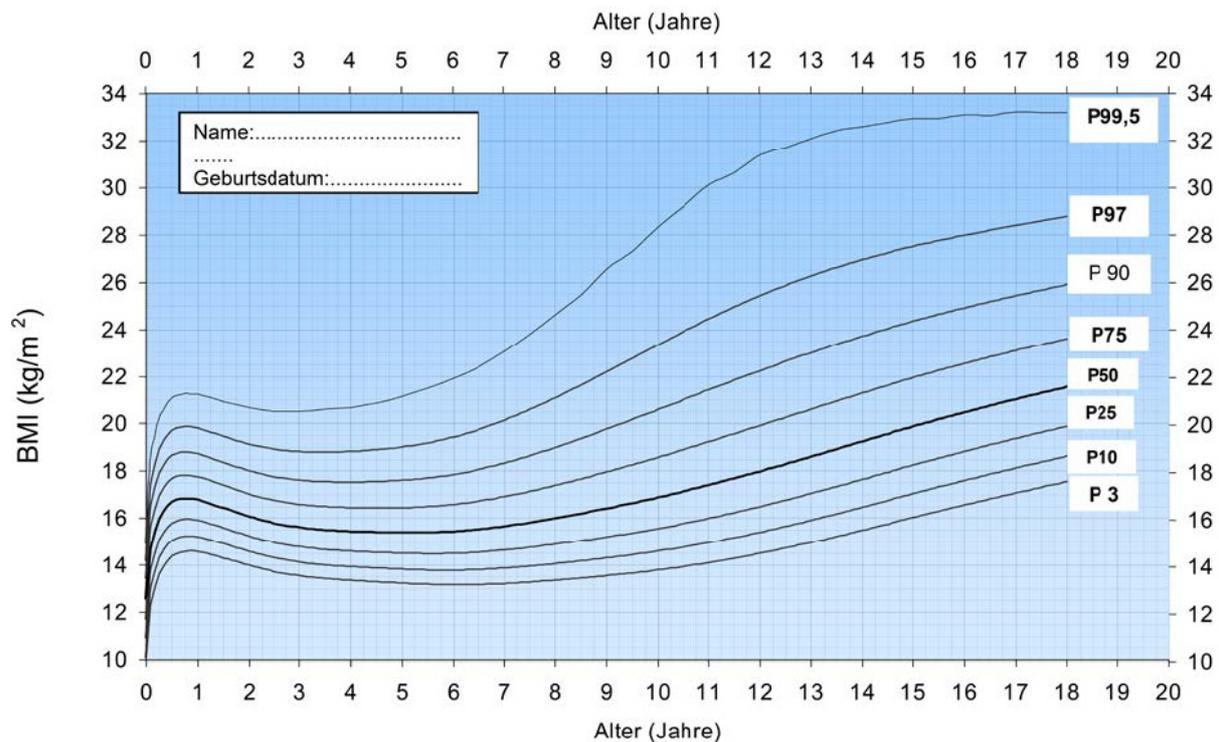
**Tabelle 1. Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI (WHO 2000, DAG 2012)**

| Kategorie           | BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | Risiko für Begleiterkrankungen des Übergewichts |
|---------------------|--------------------------|---|
| Untergewicht        | < 18,5                   | niedrig   |
| Normalgewicht       | 18,5 – 24,9              | durchschnittlich                                |
| Übergewicht         | ≥ 25,0                   |   |
| Präadipositas       | 25 – 29,9                | gering erhöht                                   |
| Adipositas Grad I   | 30 – 34,9                | erhöht  |
| Adipositas Grad II  | 35 – 39,9                | hoch  |
| Adipositas Grad III | ≥ 40                     | sehr hoch                                       |

Bei Kindern erfolgt die Gewichtsklassifikation auf Grund geschlechts- und altersspezifischer Besonderheiten anhand von Perzentilen. Laut der „Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter“ beginnt Übergewicht bei Kindern ab einem BMI über der 90. Perzentile und Adipositas ab einem BMI über der 97. Perzentile. Von extremer Adipositas wird ab einem BMI über der 99,5. Perzentile gesprochen (Abb.3,4) (AGA 2012).



**Abbildung 3. Perzentilenkurven für Mädchen im Alter von 0-18 Jahren (Kromeyer-Hauschild 2001, AGA 2012)**



**Abbildung 4. Perzentilenkurven für Jungen im Alter von 0-18 Jahren** (Kromeyer-Hauschild 2001, AGA 2012)

### 2.1.3 Auswirkungen von Übergewicht und Adipositas

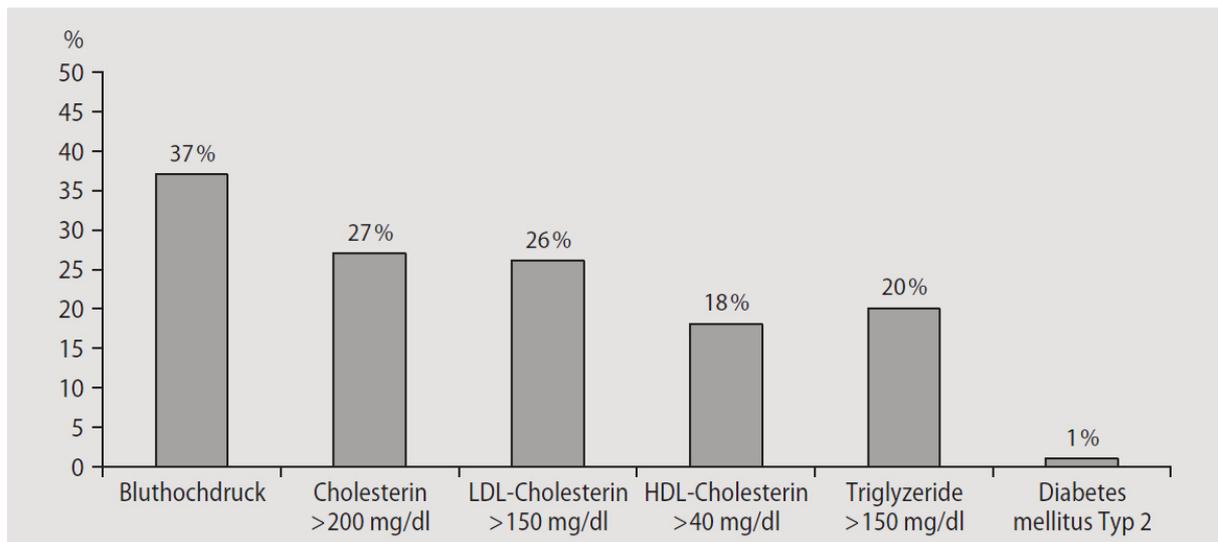
Übergewichtige Kinder haben eine hohe Wahrscheinlichkeit auch im Erwachsenenalter übergewichtig zu sein (Mossberg 1989). Adipositas geht mit einem erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko im Erwachsenenalter einher (Petz 2013). Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die mit Übergewicht im Kindesalter assoziierten Erkrankungen (Tab. 2).

**Tabelle 2. Folgen von Übergewicht im Kindes- und Jugendalter**  
(Wabitsch 2004, Ebbeling et al. 2002)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Kardiovaskulär</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dyslipidämie</li> <li>• Hypertonie</li> <li>• Koagulopathie</li> <li>• Chronische Entzündungen</li> <li>• Endotheliale Dysfunktion</li> </ul> |
| <b>Gastrointestinal</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gallensteine</li> <li>• Fettleber</li> </ul>  |
| <b>Endokrin</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ-2-Diabetes</li> <li>• Pubertas praecox</li> <li>• Polyzystisches Ovar-Syndrom (Mädchen)</li> <li>• Hypogonadismus (Jungen)</li> </ul>     |
| <b>Renal</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Glomerulosklerose</li> </ul>  |
| <b>Muskuloskeletal</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Epiphyseolysis capitis femoris</li> <li>• Genu valgum</li> <li>• Spreizfüße</li> </ul>  |
| <b>Pulmonal</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlafapnoe</li> <li>• Asthma</li> </ul>  |
| <b>Neurologisch</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pseudotumor cerebri</li> </ul>  |
| <b>Psychosozial</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erniedrigtes Selbstwertgefühl</li> <li>• Depression</li> <li>• Essstörungen</li> </ul>  |

Zu den Folgen des Übergewichts im Kindesalter gehören eine arterielle Hypertonie, eine Hypercholesterinämie mit Erhöhung des LDL-/HDL-Quotienten, eine Hypertriglyzeridämie und eine gestörte Glukosetoleranz. Diese Veränderungen werden auch als prämetabolisches Syndrom bezeichnet. Bei der Murnauer Komorbiditätsstudie, die von 1998 bis 2001 mit 520 Teilnehmern durchgeführt wurde, zeigte sich bei 35% der adipösen Kinder ein prämetabolisches Syndrom (Wabitsch 2004). Das prämetabolische Syndrom geht mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und Diabetes mellitus einher.

Eine Untersuchung in Deutschland an einem Kollektiv von über 1000 übergewichtigen Kindern zeigte, dass bei einem Drittel der Kinder eine arterielle Hypertonie und bei einem Viertel eine Fettstoffwechselstörung vorlag. Etwa ein Prozent der untersuchten Kinder war an einem Diabetes mellitus Typ 2 erkrankt (Abb.5) (Reinehr 2010).



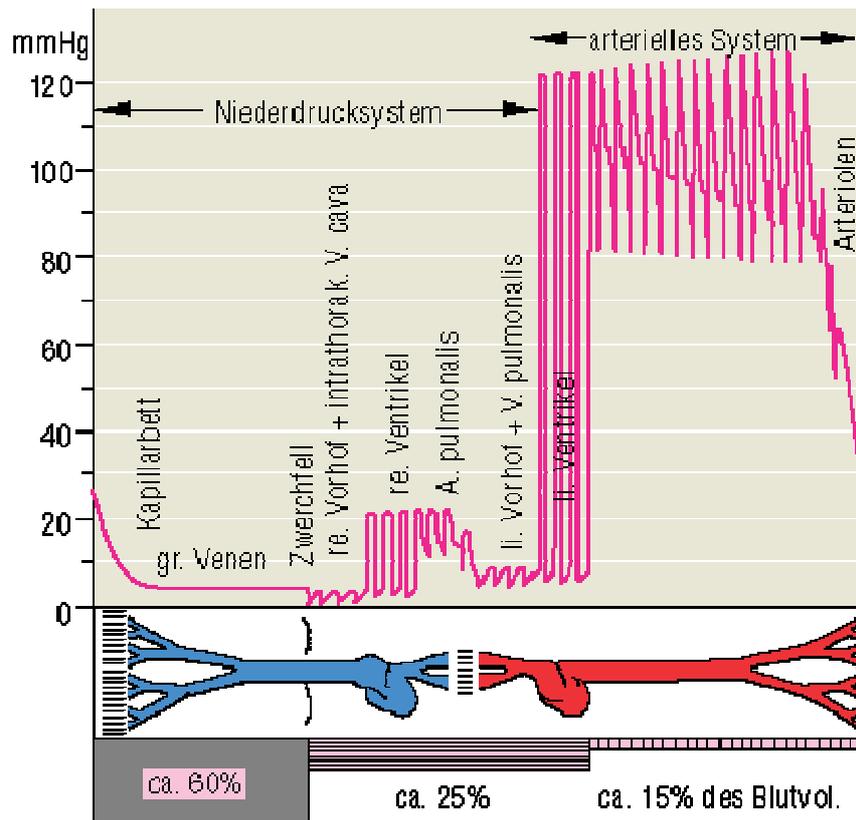
**Abbildung 5. Häufigkeit kardiovaskulärer Risikofaktoren bei übergewichtigen Kindern in Deutschland** (n = 1004) (Reinehr 2010, Reinehr et al. 2005)

Außerdem geht Übergewicht häufig mit psychosozialen Problemen wie geringem Selbstbewusstsein, reduzierten sozialen Netzwerken und sozialer Ausgrenzung einher (Zwick et al. 2011).

## 2.2 Gefäßveränderungen

### 2.2.1 Übersicht über das kardiovaskuläre System

Für den Transport des Blutes in die Nähe der einzelnen Zellen eines Organismus sind das Herz und das Gefäßsystem zuständig. Das Gefäßsystem besteht aus den Blut- und Lymphgefäßen. Innerhalb des Blutgefäßsystems wird zwischen Arterien, Kapillaren und Venen unterschieden. Das Blut fließt vom Herzen durch die Arterien und wird so im Körper verteilt. Die Venen führen das Blut wieder zurück zum Herzen. In den Kapillaren vollzieht sich der Gas- und Stoffaustausch. Durch die Pumpleistung des Herzens wird der Blutfluss in dem geschlossenen Gefäßsystem gewährleistet (Schünke et al. 2007).



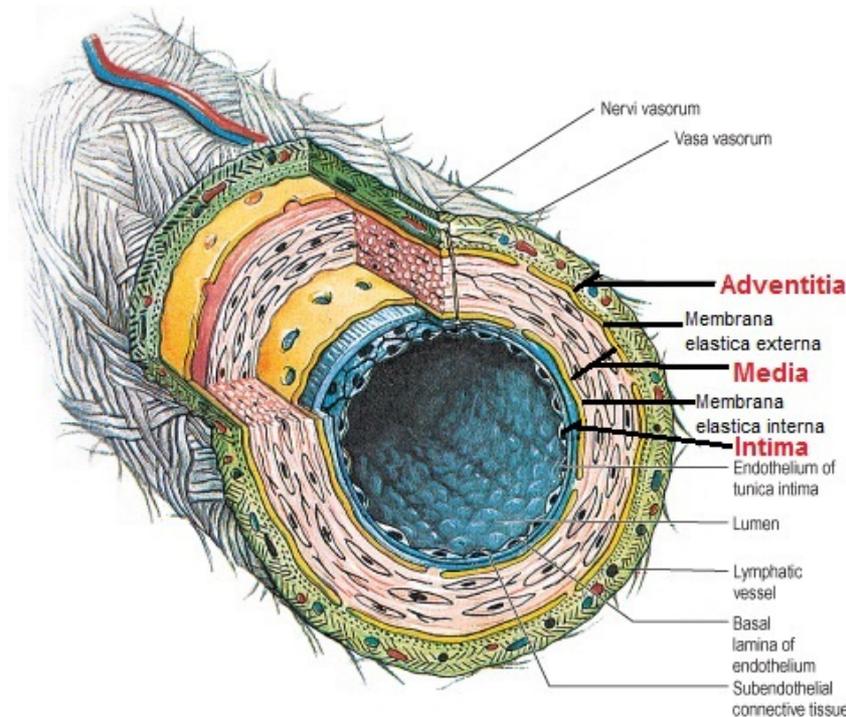
**Abbildung 6. Die verschiedenen Druckverhältnisse im venösen Niederdrucksystem und im arteriellen Hochdrucksystem** (Reiche 2003)

Der Transport des Blutes im Kreislaufsystem erfolgt entlang eines Druckgefälles. Dieses kommt durch den unterschiedlich hohen Blutdruck im arteriellen und venösen Gefäßsystem zustande. Das arterielle System wird auch als Hochdrucksystem bezeichnet. In ihm herrscht ein mittlerer Blutdruck von ca. 100 mmHg (13,3 kPa). Das venöse System wird auch als Niederdrucksystem bezeichnet. Hier liegen die Werte für den Blutdruck normalerweise bei maximal 20 mmHg (2,6 kPa) (Abb. 6) (Schünke et al. 2007).

## 2.2.2 Aufbau der Gefäße

Obwohl sich die Gefäße in der Abfolge der einzelnen Wandschichten ähneln, zeigen sie im Aufbau entsprechend den wechselnden Erfordernissen in den verschiedenen Kreislaufabschnitten große lokale Unterschiede: die Arterien, die relativ hohem Druck ausgesetzt sind, sind dementsprechend dickwandig, während die Venen, in denen ein geringerer intravasaler Druck herrscht, dünnere Wände sowie größere

Gefäßquerschnitte haben. In der terminalen Strombahn, den Kapillaren, sind die Wandschichten für den besseren Stoffaustausch reduziert (Schünke et al. 2007).



**Abbildung 7. Darstellung der einzelnen Gefäßschichten am Beispiel einer elastischen Arterie** (nach (Standring 2005))

Man unterscheidet drei verschiedene Wandschichten in den Gefäßen. Sie werden von innen nach außen als Tunica interna (Intima), Tunica media (Media) und Tunica externa (Adventitia) bezeichnet (Abb. 7) (Schünke et al. 2007).

Die Tunica intima ist aus einer Lage spindelförmiger, in Richtung des Gefäßverlaufs ausgerichteter Endothelzellen aufgebaut. Diese liegen an einer Basalmembran und dem dünnen Stratum subendotheliale. Sie besteht aus lockerem Bindegewebe und ist manchmal von glatten Muskelzellen durchsetzt. Bei Arterien des muskulären Typs gibt es eine Membrana elastica interna, die sich zwischen Tunica intima und Tunica media befindet (Schünke et al. 2007, Moll and Moll 2006).

Die Tunica media enthält annähernd zirkulär angeordnete glatte Muskelzellen (Myozyten). Zwischen diesen liegen elastische und kollagene Fasern sowie Proteoglykane. Einige größere Arterien des muskulären Typs enthalten zusätzlich eine Membrana elastica externa, die aus einem elastischen Fasernetz besteht und an die Tunica externa grenzt (Moll and Moll 2006).

Ähnlich wie die Tunica intima ist die Tunica externa aus längsgerichteten Elementen aufgebaut. Diese bestehen zum Großteil aus Bindegewebe, das von Kollagen vom Typ I durchsetzt ist. Über die Tunica externa verlaufen vegetative Nerven zur Muskulatur. Besonders bei großen Gefäßen ziehen über die Tunica externa die Vasa vasorum. Diese versorgen etwa das äußere Drittel der Gefäßwand (Schünke et al. 2007, Moll and Moll 2006).

Die Wandschichten erfüllen verschiedene Funktionen. Durch die Tunica intima findet der Stoff-, Flüssigkeits- und Gasaustausch statt. Die Tunica media dient der Regulierung des Blutflusses. Die Tunica externa bettet die Gefäße in die Umgebung ein (Schünke et al. 2007).

### 2.2.3 Eigenschaften der unterschiedlichen Gefäßabschnitte

Die Arterien werden aufgrund des Wandbaues in Arterien vom elastischen Typ und Arterien vom muskulären Typ unterteilt.

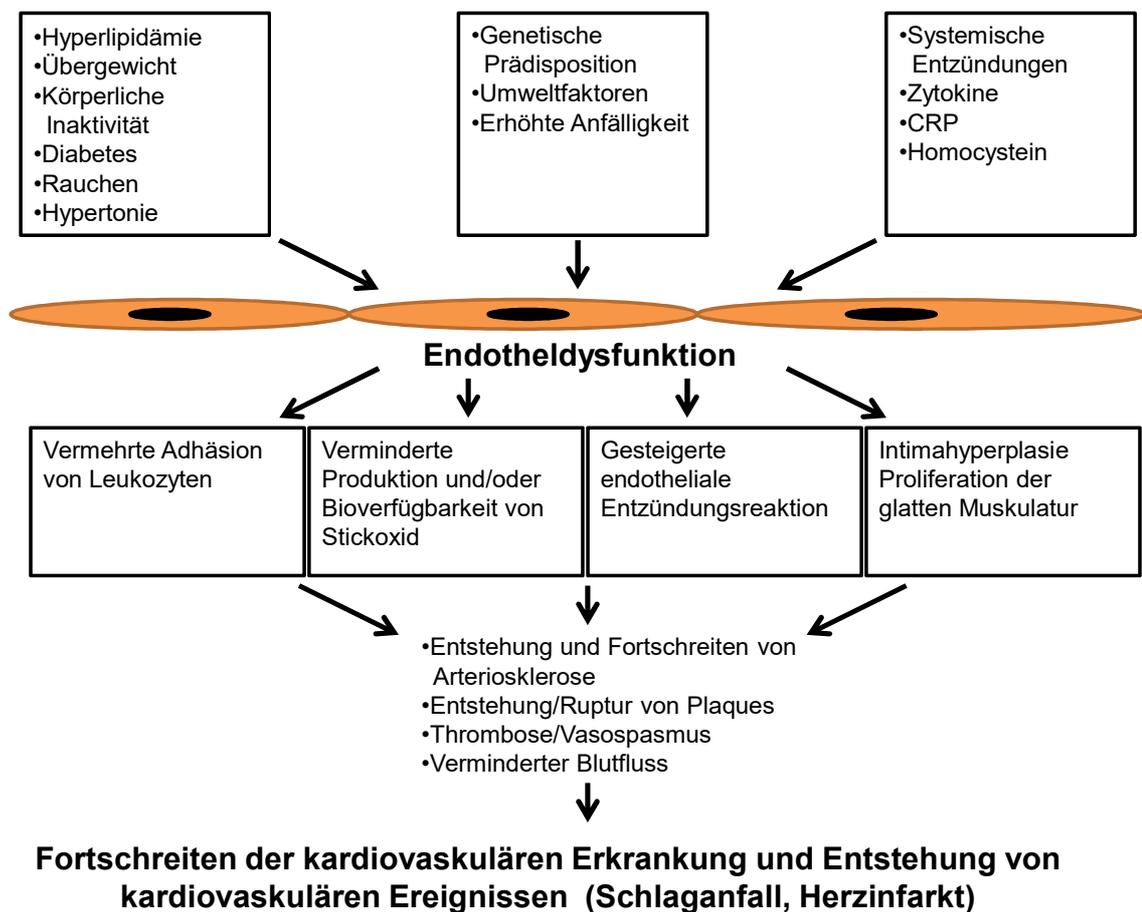
Die herznahen Arterien sind Arterien vom elastischen Typ. Zu ihnen zählen Aorta, Truncus brachiocephalicus, A. carotis communis, A. subclavia, A. iliaca communis und Truncus pulmonalis. Durch die Kontraktion der Herzkammern in der Systole wird das Blut schlagartig in die Gefäße gepresst. In der Diastole hingegen stockt der Blutfluss aus dem Herzen. Die Arterien vom elastischen Typ haben eine besondere Eigenschaft. Man bezeichnet diese in Anlehnung an den technischen Druck-Windkessel als „Windkesselfunktion“. Die Wand der Gefäße kann sich relativ stark dehnen. In der Systole wird das vom Herzen ausgeworfene Blutvolumen unter Erweiterung der Arterienwand aufgenommen. Die in der Gefäßwand entstehende Dehnungsenergie wird gespeichert. In der folgenden Diastole wird durch elastische Rückstellung des Gefäßlumens ein kontinuierlicher Blutstrom erzeugt. Das zuvor gedehnte Gefäß kehrt so wieder in seine Ausgangsposition zurück. Durch dieses Prinzip werden Blutdruckspitzen verhindert (Schünke et al. 2007, Moll and Moll 2006).

Die herzfernen Arterien sind Arterien vom muskulären Typ. Sie können durch Vasokonstriktion und Vasodilatation den Gefäßdurchmesser verändern. So kann der

Widerstand und mit ihm die lokale Durchblutung reguliert werden (Schünke et al. 2007).

## 2.2.4 Pathogenese der Arteriosklerose

Bei der Arteriosklerose handelt es sich um eine systemische Erkrankung, die Auswirkungen auf die Intima großer und mittelgroßer Gefäße hat (Böger and Sydow 2007). Es sind einige Risikofaktoren, die zur Entstehung der Arteriosklerose beitragen, bekannt. Zu ihnen gehören schon länger bekannte Faktoren wie Hypercholesterinämie, Hypertonie, Diabetes und Rauchen. Aber auch körperliche Inaktivität und Adipositas werden als Risikofaktoren angesehen (Abb.8) (Groner et al. 2006).



**Abbildung 8. Pathogenese der Arteriosklerose und kardiovaskulärer Erkrankungen** (nach (Groner et al. 2006, Widlansky et al. 2003))

Diese Risikofaktoren bewirken eine Schädigung des Endothels. Nachfolgend kommt es zu oxidativem Stress, daraufhin findet bei den Zellen des Endothels vermehrt Apoptose statt. Dabei wird das Endothel durchlässiger und Leukozyten wandern ein. Weiterhin kommt es zur verstärkten Adhäsion der Leukozyten an der Gefäßwand. Makrophagen immigrieren in die Intima und nehmen dort Lipide auf. Dadurch entstehen sogenannten Schaumzellen. Die Gefäßveränderungen schreiten von Kindheit an über Jahrzehnte unbemerkt fort und es bilden sich Plaques (Groner et al. 2006, Ross 1999). Diese bestehen aus Ablagerungen von Fettsubstanz, vermehrten glatten Muskelzellen, vermehrter Extrazellulärmatrix und Kalziumablagerungen (Ulfig 2005). Durch diesen Mechanismus kommt es zur Einengung des Arterienlumens. Dabei wird das nachgeschaltete Gewebe weniger durchblutet und Angina pectoris, koronare Herzerkrankung oder periphere arterielle Verschlusskrankheit können entstehen. Rupturiert ein Plaque, kann es durch eine Thrombusbildung zu einem akuten Gefäßverschluss kommen. Die Folge kann ein Schlaganfall oder ein Herzinfarkt sein (Groner et al. 2006, Ross 1999).

### 2.2.5 Auswirkung von Übergewicht und Adipositas auf die Gefäße

Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen treten bei übergewichtigen Kindern verstärkt auf. Zu ihnen zählen beispielsweise Hypertonie, Fettstoffwechselstörungen, Diabetes und Arteriosklerose (Meyer et al. 2007). In einigen Studien konnte eine Korrelation des BMI im Kindesalter mit kardiovaskulären Erkrankungen im Erwachsenenalter gezeigt werden (Owen et al. 2009). Dabei ist für das vaskuläre Risiko das Ausmaß der Adipositas entscheidend (Meyer et al. 2007). Außerdem ist es umso höher, je früher die Adipositas im Kindesalter beginnt (Grimmer et al. 2008, Freedman et al. 2001). Die frühen Gefäßveränderungen sind bereits im Kindesalter nachweisbar. So wurden in Autopsiestudien der Gefäße verstorbener Kinder mit Dyslipidämie und Diabetes mellitus Typ 1 arteriosklerotische Plaques gefunden (Meyer et al. 2007, Raekallio et al. 1990). Auch anhand der Intima-Media-Dicke konnte bereits im frühen Kindesalter arteriosklerotische Veränderung bei Adipositas festgestellt werden (Reinehr 2010).

## 2.2.6 Diagnostik der Gefäßveränderungen

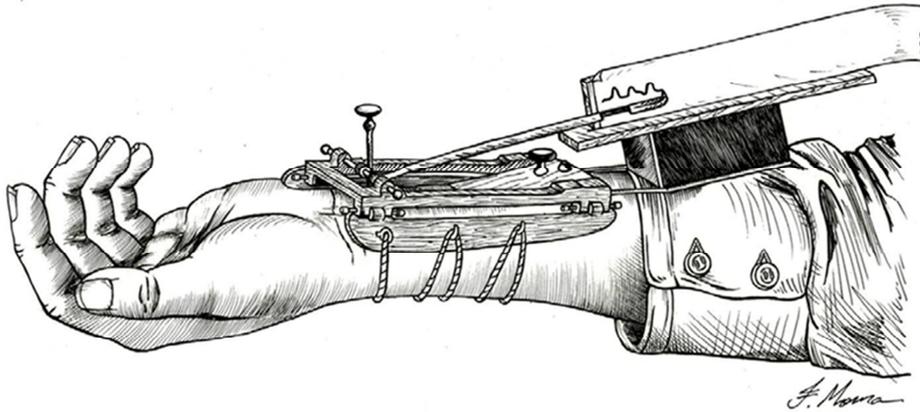
Für die Prävention kardiovaskulärer Ereignisse ist die Früherkennung der Gefäßveränderungen wichtig. Dazu stehen verschiedene Methoden zur Verfügung:

Die Messung der flussvermittelten Vasodilatation peripherer Arterien mittels hochauflösenden Ultraschalls ist eine Methode, um Gefäßveränderungen nachzuweisen. Im Rahmen der Arteriosklerose-Entstehung kommt es zur verminderten Stickoxidfreisetzung (Groner et al. 2006). Bei der Untersuchung wird der Blutfluss einer peripheren Arterie (zum Beispiel der A. radialis) kurzzeitig unterbrochen (Watts et al. 2004). Das Gefäß reagiert hierauf mit einer Dilatation, die durch Stickoxid vermittelt wird. Bei Arteriosklerose ist eine verringerte Dilatation zu erwarten. Die Dilatation kann mit hochauflösendem Ultraschall dargestellt werden (Kelm 2002).

Eine weitere Messmethode ist die Bestimmung der Intima-Media-Dicke mit Hilfe von hochauflösendem Ultraschall. Meist wird die Intima-Media-Dicke der A. carotis knapp unterhalb der Carotisbifurkation gemessen. Die Intima-Media Dicke korreliert mit kardiovaskulären Ereignissen wie Herzinfarkt und Schlaganfall (Uthoff et al. 2008). Bei adipösen Kindern konnte ein Zusammenhang zwischen der Intima-Media-Dicke und dem Blutdruck, der Dyslipidämie, der Nüchtern-glucose und dem hoch sensitiven CRP festgestellt werden (Reinehr 2010).

## 2.3 Die Pulswellenanalyse

Das Prinzip der Pulswellenanalyse geht auf den Franzosen Étienne-Jules Marey zurück. Dieser entwickelte 1860 mit dem sogenannten Sphygmograph ein Gerät zur direkten arteriellen Pulswellenaufzeichnung. Dabei wird ein Druckabnehmer über der A. radialis platziert. Dieser gibt die dort detektierten pulsatischen Druckschwankungen weiter an einen Transducer, der sie wiederum auf einer Schreibunterlage visualisiert (Abb. 9) (J. Baulmann 2010).



**Abbildung 9 Sphygmograph von Marey (1860)** Ein Druckabnehmer über der A. radialis gibt die pulsatilen Druckschwankungen an einen Transducer weiter, der sie auf einer Schreibunterlage visualisiert (Sa da Fonseca et al. 2014, Nelson et al. 2010)

Seit den 1990er-Jahren wird nach demselben Prinzip tonometrisch hochauflösend die Pulswelle gemessen und computergestützte ausgewertet. Dies bezeichnet man als Pulswellenanalyse. Mittlerweile ist die große prognostische Aussagekraft dieser Methode gut belegt. Mit Hilfe der Pulswellenanalyse können Gefäßalterung, Gefäßerkrankungen und eine erhöhte linksventrikuläre Nachlast erkannt werden. Anhand verschiedener Pulswellenparameter kann man die arterielle Gefäßsteifigkeit messen und so Gefäßveränderungen diagnostizieren (J. Baulmann 2010).

„Arterielle Gefäßsteifigkeit“ beschreibt strukturelle und funktionelle Gefäßeigenschaften und wird teilweise als Synonym gebraucht für die Begriffe Arteriosklerose, Gefäßverkalkung oder biologisches Gefäßalter. Das Gegenteil der Gefäßsteifigkeit ist die Gefäßelastizität, die auch als Gefäßcompliance bezeichnet wird (Baulmann et al. 2013). Die Gefäßsteifigkeit ist ein unabhängiger Vorhersagewert für die kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität (Ring et al. 2014). Dies gilt sowohl für Risikopatienten mit terminaler Niereninsuffizienz oder Diabetes, als auch für die Allgemeinbevölkerung (Baulmann et al. 2013).

Insgesamt ist Messung der Gefäßsteifigkeit eine sehr sensitive Methode, um pathophysiologisch frühe Gefäßveränderungen zu detektieren und damit einen wichtigen Beitrag in der Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen zu leisten. Das Verfahren der Gefäßsteifigkeitsmessung hat viele Vorteile. Die Methode ist nicht invasiv und die Messergebnisse sind mit hoher Validität reproduzierbar. Außerdem ist die leichte Durchführbarkeit zu nennen. Da die Messungen nur 3-10 min dauern, sind sie gut in den Klinik oder Praxisalltag zu integrieren. Weiterhin ist eine einfache

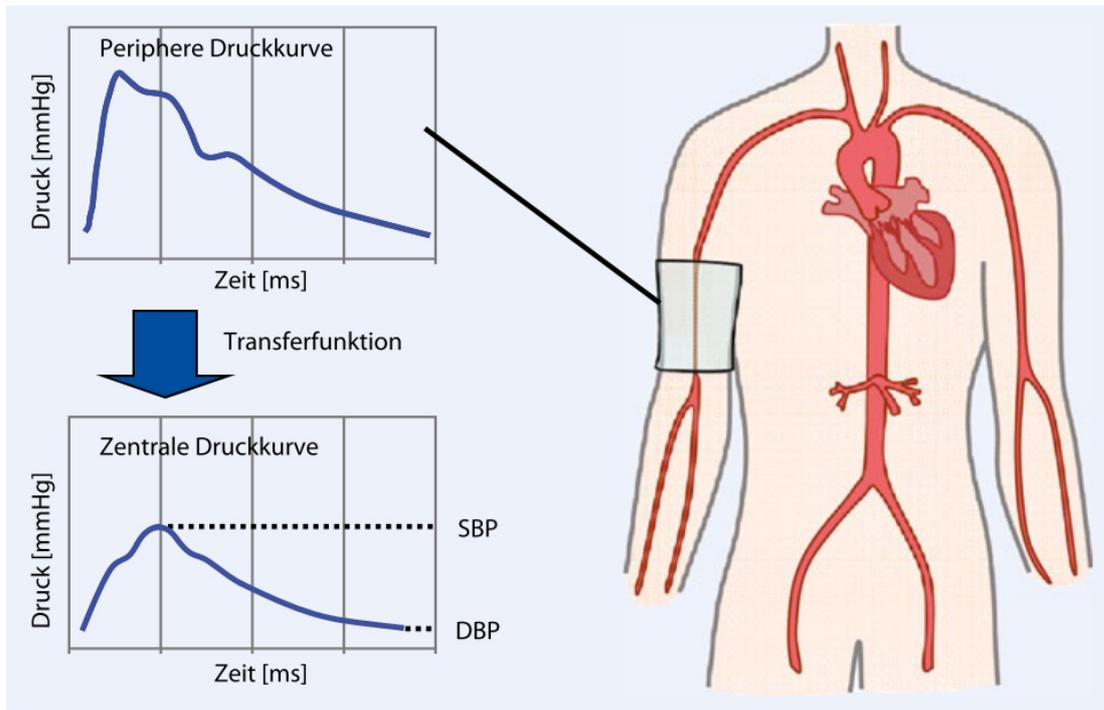
klinische Verlaufsbeobachtung, Therapieüberwachung und -steuerung möglich. Es kann eine aussagekräftige Leitlinien-konforme Risikostratifizierung mit hoher prognostischer Relevanz durchgeführt werden (Baulmann et al. 2013). Ein Vorteil gegenüber einer Blutdruckmessung ist, dass die Messung weniger Schwankungen unterliegt (Cruickshank et al. 2009). Es ist außerdem möglich die Gefäßsteifigkeitsmessung mit einer ambulanten 24 Stunden Blutdruckmessung zu kombinieren. Auch für den Patienten gibt es Vorteile der Gefäßsteifigkeitsmessung. So wird die Compliance der Patienten erhöht, wenn das biologische Gefäßalter anschaulich visualisiert wird (Baulmann et al. 2013).

### 2.3.1 Beschreibung der Pulswellenparameter

Bei der Pulswelle handelt es sich um eine Druckwelle, die von der Kontraktion des Herzens erzeugt wird (Mengden 2008). Es gibt einige Parameter, die die Pulswelle beeinflussen und sie charakterisieren.

### 2.3.2 Zentraler und peripherer Blutdruck

Früher konnte der zentrale Blutdruck nur invasiv beispielweise bei einer Herzkatheteruntersuchung bestimmt werden. Mittlerweile ist es möglich mit Hilfe einer Transferfunktion von der peripheren Druckkurve auf die zentrale Druckkurve zu schließen (Abb. 10). Von der zentralen Druckkurve können dann verschiedene Parameter wie zentraler systolischer Blutdruck und Augmentationsindex abgeleitet werden. Die periphere Druckkurve kann entweder mit einem Tonometer an der A. radialis oder mit einer besonders empfindlichen Blutdruckmanschette oszillometrisch am Oberarm abgeleitet werden (Nürnberger 2012).



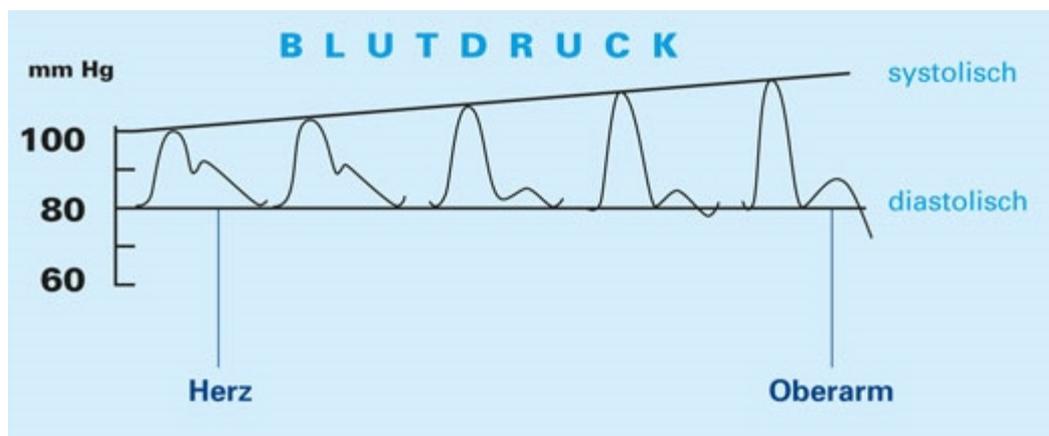
**Abbildung 10. Schematische Darstellung der nicht-invasiven Messung des zentralen arteriellen Blutdrucks:** Der Blutdruck sowie die Pulscurve werden oszillometrisch mit einer Oberarmmanschette aufgezeichnet. Von der peripheren Druckkurve wird über eine validierte Transferfunktion die zentrale Druckkurve abgeleitet, anhand derer die Gefäßfunktionsparameter (zentraler aortaler Blutdruck, Augmentationsindex, Pulswellengeschwindigkeit) berechnet werden (Nürnberg 2012).

Durch seine Nähe zum Herzen und der Halsschlagader kommt dem zentralen Blutdruck eine wichtige Bedeutung in der Früherkennung kardiovaskulärer Erkrankungen zu (Mengden 2008). Ein hoher zentral-aortaler Blutdruck führt eher zu Organschäden und damit zu Herz-Kreislauferkrankungen als ein hoher peripherer Blutdruck (Baulmann et al. 2013). Es hat sich gezeigt, dass die Gefäße körperlich aktiver Menschen, die regelmäßig Ausdauersport betreiben, deutlich seltener an Elastizität im Alter verlieren und somit der zentrale Blutdruckwert bei ihnen weniger ansteigt (Mengden 2008).

Der systolische Blutdruck entsteht durch die Auswurfkraft des Herzens. Im arteriellen Gefäßsystem ist er der maximal herrschende Druck und beschreibt den maximalen Ausschlag der Pulswelle. Er unterscheidet sich je nach Ort der Messung, da die Steifigkeit der Arterien von zentral nach peripher zunimmt. Misst man den Blutdruck in Nähe des Herzens, so ist der systolische Blutdruck niedriger als der peripher gemessene Druck. Durch die Pulswellenreflexion steigt die Höhe des systolischen Blutdrucks von der zentral gelegenen Aorta zu der peripher gelegenen A. brachialis

(bzw. A. femoralis) (Abb. 11). Dies wird als Pulsdruckamplifikation bezeichnet (Weber 2008). Mit dem Alter und der damit zunehmenden Gefäßsteifigkeit kommt es zu einem Anstieg des zentralen systolischen Blutdrucks (O'Rourke et al. 2001).

Der diastolische Blutdruck beschreibt den im arteriellen System herrschenden Dauerdruck. Er entspricht dem kleinsten herrschenden Druck im arteriellen Gefäßsystem. Er unterliegt nur geringen Schwankung und ist für die koronare Perfusion von Bedeutung (Weber 2008). Der zentrale diastolische Blutdruck ist geringfügig höher als der peripher gemessene Druck (Abb.11) (Mengden 2008).



**Abbildung 11. Blutdruck in den großen Arterien in Abhängigkeit vom Messort;** Zentral ist der systolische Blutdruck niedriger als der periphere Blutdruck; der zentrale diastolische Blutdruck ist etwas höher als der periphere Blutdruck (Mengden 2008)

### 2.3.3 Pulsdruck und arterieller Mitteldruck

Der Pulsdruck ist definiert als die Differenz zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck. Im Vergleich zu dem Mitteldruck variiert er stärker je nach Pulswellenkurve (Zheng et al. 2008). Der Pulsdruck wird beeinflusst von dem kardialen Auswurf, der Arteriensteife und der Pulswellenreflexion. Mit ihm kann eine Aussage über die arterielle Gefäßsteifigkeit getroffen werden (Mackenzie et al. 2002).

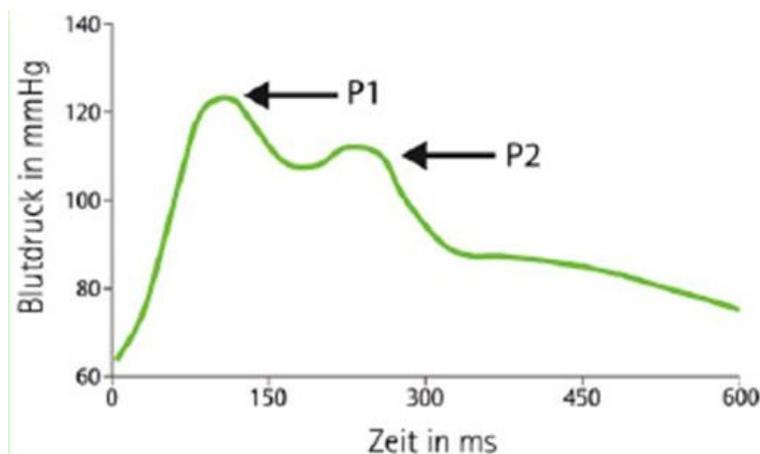
Der arterielle Mitteldruck beschreibt den Mittelwert des Blutdrucks im Gefäßsystem. Er ist relativ unabhängig von systolischen oder diastolischen Druckschwankungen und damit weitestgehend konstant (Weber 2008). Der arterielle Mitteldruck gilt als Perfusionsdruck der Organe. Er wird beeinflusst von der Leistung des Herzens, dem systemischen Widerstand und dem zentralen Venendruck (Herth 2008).

Pulsdruck und Mitteldruck gelten als Prädiktoren für das kardiovaskuläre Risiko. Dabei ist der Pulsdruck eher mit Erkrankungen der Koronargefäße und der Mitteldruck eher mit Schlaganfällen in Zusammenhang zu setzen (Zheng et al. 2008).

## 2.3.4 Augmentation und Augmentationsindex

### 2.3.4.1 Augmentation

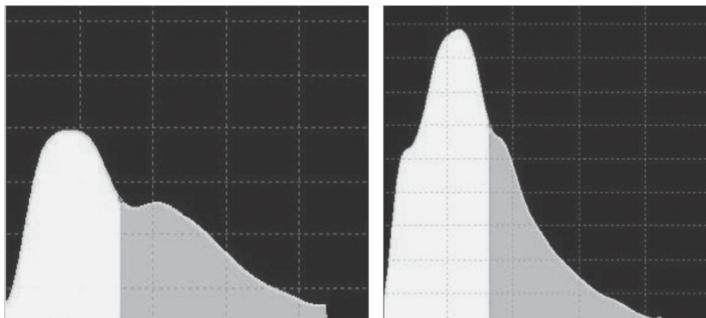
Die aortale Pulscurve zeigt charakteristischerweise einen Verlauf mit zwei Gipfeln. Der erste Gipfel kommt durch die Kontraktion des linken Ventrikels zustande und wird auch als „P1“ bezeichnet. Der zweite Gipfel entsteht durch die Reflexion der Pulswelle und wird „P2“ genannt (Abb.12) (Nürnberger et al. 2004).



**Abbildung 12. Zweigipfliger Verlauf der Pulswelle;** P1: Druckkurve durch den Auswurf des Schlagvolumens; P2: Maximum der reflektierten Pulswelle; die Form der Pulswelle ergibt sich aus der Überlagerung der primären sowie der reflektierten Druckwelle (Enverdis 2012, Nürnberger et al. 2004)

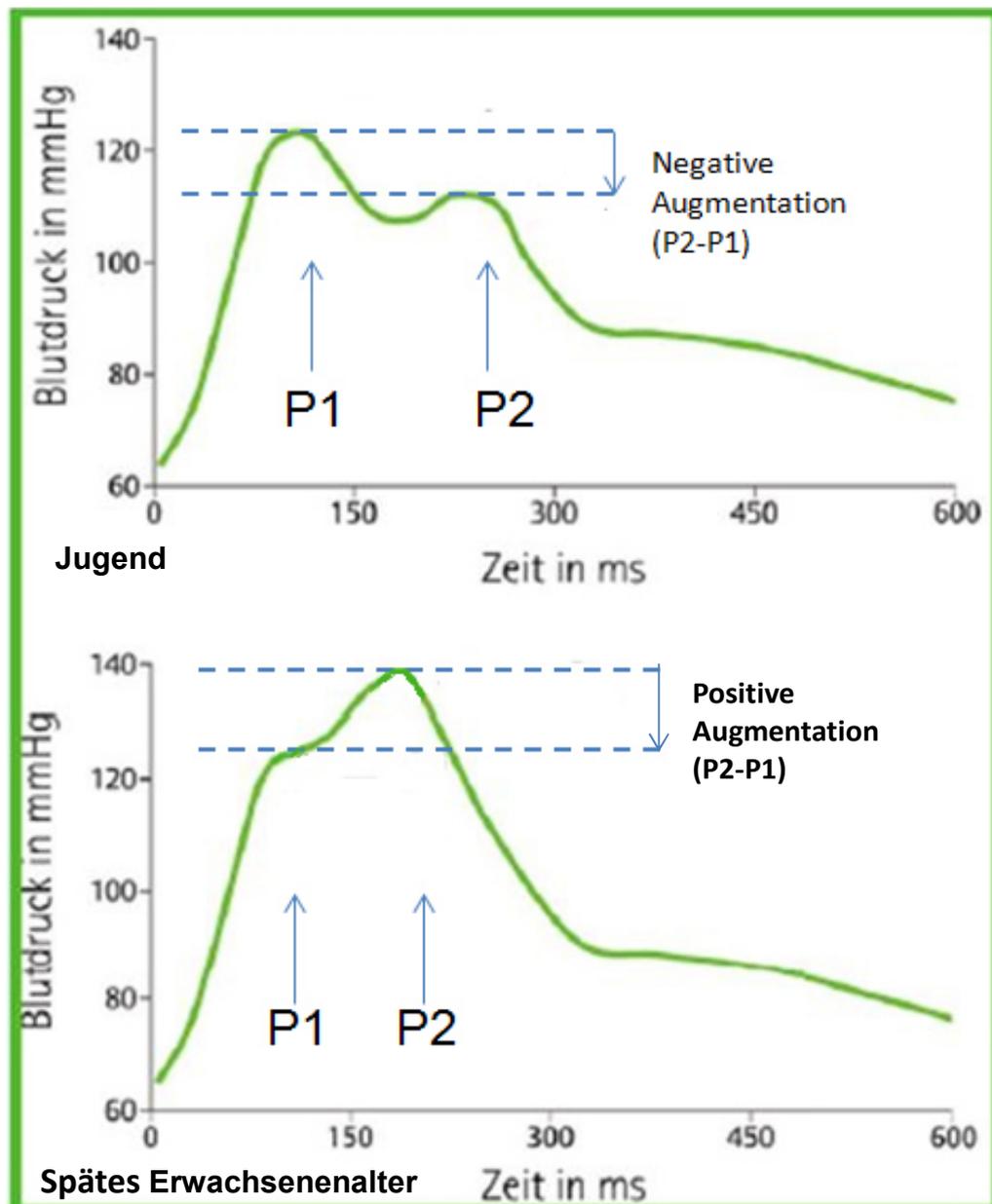
Die Pulswellenreflexion ist für ein „Augmentation“ genanntes Phänomen verantwortlich. Die Kontraktion des linken Ventrikels in der Systole bewirkt den Transport des Blutes. Dadurch entsteht eine Druckwelle, die sich entlang der Aorta und der Arterien ausbreitet. Trifft sie auf Stellen mit Impedanzänderung, wie beispielsweise Bifurkationen oder die Übergänge der kleinen Arterien in die Arteriolen, kommt es zur Reflexion der Druckwelle. Die Druckkurve setzt sich zusammen aus der Summe antegrader und reflektierter Wellen. Bei gesunden,

jungen Personen erreicht der Großteil der reflektierten Welle die ascendierende Aorta nach Aortenklappenschluss in der frühen Diastole desjenigen Herzzyklus, in dem die antegrade Welle entstanden ist. Dies erhöht den diastolischen Blutdruck. Die Koronarperfusion, die in der Diastole stattfindet, wird gefördert. Ältere Personen hingegen haben eine höhere Pulswellengeschwindigkeit. Bei ihnen erreicht die reflektierte Welle die ascendierende Aorta schon vor Aortenklappenschluss in der Systole. Dies bewirkt eine Erhöhung des systolischen Blutdrucks und dadurch bedingt auch eine erhöhte Nachlast (Abb. 13) (Weber 2010). Kommt es zur Entwicklung einer Linksherzhypertrophie, steigt der myokardiale Sauerstoffbedarf. Ein hypertrophiertes Herz benötigt mehr Zeit für die Kontraktion und die Relaxation, dadurch verlängert sich die Systolendauer. Dies verstärkt die systolische Blutdruckaugmentation durch die reflektierte Welle. Der verminderte diastolische Blutdruck und die relativ verkürzte Diastolendauer hingegen führen zu einer Verminderung der myokardialen Durchblutung. Die beschriebenen Mechanismen können zur Ausbildung einer Herzinsuffizienz führen (Baulmann et al. 2010, Nichols 2005).



**Abbildung 13. Aortale Druckkurve;** Die linke Abbildung zeigt die aortale Druckkurve bei jungen, gesunden Personen; auf der rechten Abbildung sieht man die Druckkurve eines älteren Patienten mit Hypertonie und Linksherzhypertrophie. Die weiß dargestellte Fläche kennzeichnet die Systole und damit die Nachlast, diese ist bei älteren Personen durch die verfrühte und erhöhte Pulswellenreflektion erhöht. Die graue Fläche stellt die diastolische Druckkurve und damit die Sauerstoffversorgung des linken Ventrikels dar, sie ist bei älteren Personen vermindert (Weber 2008)

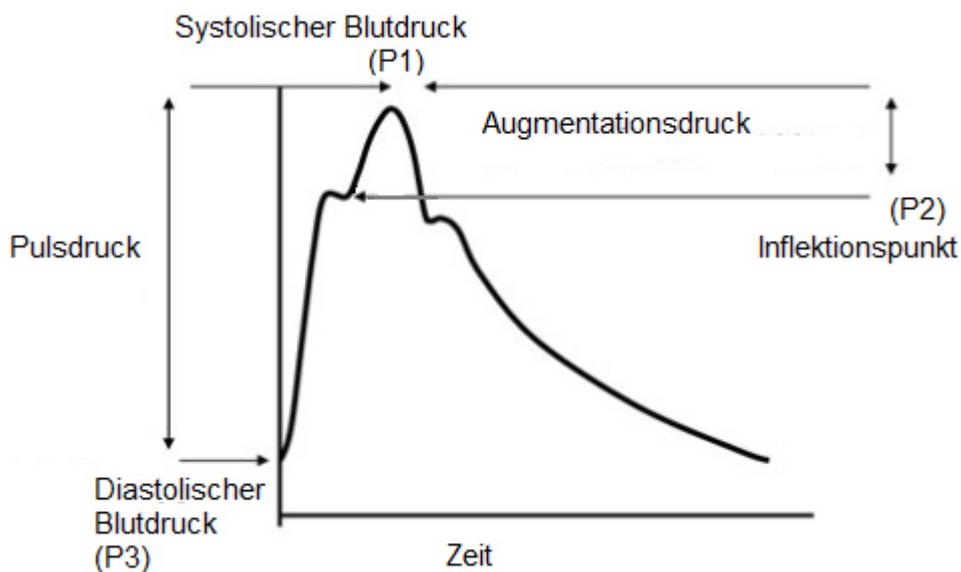
Bei jungen Menschen tritt die reflektierte Pulswelle in der späten Systole auf. Deshalb ist der erste Gipfel (P1) höher als der zweite Gipfel (P2). Bei Berechnung der Differenz von P2 und P1 resultiert eine negative Augmentation ( $P2 - P1$ ). Im hohen Erwachsenenalter trifft die reflektierte Pulswelle früher ein. Dadurch wird der zweite Druckgipfel (P2) erhöht. Die Differenz von P2 und P1 und damit die Augmentation sind positiv ( $P2 - P1$ ) (Abb.14) (Nürnbergger et al. 2004).



**Abbildung 14. Darstellung der Veränderung der aortalen Pulswelle im Alter;** der obere Teil der Abbildung zeigt die Pulswelle eines jungen Menschen; der untere Teil der Abbildung stellt die Pulswelle im hohen Alter dar (nach (Enverdis 2012, Nürnberger et al. 2004).

#### 2.3.4.2 Augmentationsdruck und Augmentationsindex

Der Zeitpunkt an dem die reflektierte Druckwelle in der ascendierenden Aorta eintrifft wird Inflektionspunkt genannt. Die Steigerung des Druckes in der Aorta von dem Inflektionspunkt bis zum systolischen Blutdruck bezeichnet man als Augmentationsdruck. Der Augmentationsindex ist der Quotient aus Augmentationsdruck und Pulsdruck (Abb.15) (Weber 2008).



**Abbildung 15. Darstellung der Druckkurve der Arteria Carotis;** der Anstieg zwischen dem dem Inflektionspunkt (P2) und dem systolischen Druck (P1) wird Augmentationsdruck genannt; der Quotient aus Augmentationsdruck und Pulsdruck ergibt den Augmentationsindex in Prozent (nach (Laurent 2006)).

Verschiedene physiologische Größen beeinflussen den Augmentationsindex (Tab. 3). Der Augmentationsindex steigt altersabhängig mit der zunehmenden arteriellen Gefäßsteifigkeit. Der Anstieg ist in jungem Lebensalter besonders ausgeprägt (Nürnberger et al. 2003, McEniery et al. 2005).

Weiterhin beeinflusst die Körpergröße indirekt den Augmentationsindex. Bei größeren Menschen benötigt die reflektierte Pulswelle mehr Zeit bis zur Ankunft in der proximalen Aorta, wodurch die Augmentation des systolischen Blutdruckes bei größeren Menschen im Durchschnitt geringer ausfällt (McGrath 2001). Da Frauen im Mittel kleiner sind als Männer, haben sie durchschnittlich einen höheren Augmentationsindex (Hayward and Kelly 1997).

In einer Studie mit 76 jungen Männern konnte eine positive Korrelation zwischen dem diastolischen Blutdruck und dem Augmentationsindex nachgewiesen werden (Nürnberger et al. 2003).

Erhöht sich die Herzfrequenz, kommt es zur Abnahme des Augmentationsindex (McGrath 2001). Durch die erhöhte Herzfrequenz verlagert sich die reflektierte Welle in die Diastole. Damit flacht sich der zweite Gipfel der Pulswelle ab (Wilkinson 2000).

Um standardisierte Werte für den Augmentationsindex zu erhalten werden die Werte daher auf eine Herzfrequenz von 75 Schlägen pro Minute umgerechnet.

**Tabelle 3. Einflussgrößen des Augmentationsindex** (Nürnberger et al. 2004)

| <b>Einflussgrößen des Augmentationsindex</b> |  |
|--|--|
| <b>Alter</b>                                 | <b>Positiv:</b> Der Augmentationsindex steigt mit zunehmendem Alter an als Ausdruck einer altersabhängigen Zunahme der Gefäßsteifigkeit.   |
| <b>Größe</b>                                 | <b>Negativ:</b> Der Augmentationsindex steht in negativem Verhältnis zur Körpergröße. Bei größeren Menschen fällt die reflektierte Pulswelle später in die aortale Systole ein und führt damit zu einer geringfügigeren Erhöhung des aortalen Blutdrucks.  |
| <b>Geschlecht</b>                            | <b>Frau &gt; Mann:</b> bei Frauen liegt der Augmentationsindex durchschnittlich etwas höher als bei Männern. Dieser Unterschied steht in Abhängigkeit von der Körpergröße.   |
| <b>Herzfrequenz</b>                          | <b>Negativ:</b> Der Augmentationsindex zeigt eine negative Korrelation zur Herzfrequenz. Mit zunehmender Herzfrequenz verkürzt sich die Systolendauer. Die reflektierte Pulswelle fällt dadurch relativ später in die aortale Systole ein.   |
| <b>Blutdruck</b>                             | <b>Positiv:</b> In Abhängigkeit vom Studienkollektiv sind systolischer und/oder diastolischer Blutdruck als wichtige Einflussgrößen beschrieben worden. Bei jungen, gesunden, männlichen Probanden ohne Herz-Kreislaufkrankungen ist der diastolische Blutdruck die wichtigste hämodynamische Einflussgröße. |

Generell ist der Augmentationsindex ein standardisierter Parameter zur Beurteilung der Pulswellenreflexion auf die aortale Pulswellenkurve. Er ist für die Einschätzung der arteriellen Gefäßelastizität wichtig (Nürnberger et al. 2004). Außerdem wurde in einer Studie gezeigt, dass er ein unabhängiger Prädiktor für die Mortalität bei Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz ist (London et al. 2001). Weiterhin wurde bei Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz herausgefunden, dass der Augmentationsindex mit der linksventrikulären Masse positiv korreliert (Marchais et al. 1993).

Der Augmentationsindex zeigt eine gute Korrelation mit etablierten kardiovaskulären Risikoscores wie beispielsweise dem Framingham-Risk-Score. Dieser errechnet das 10-Jahres-Risiko eines Myokardinfarktes durch Gewichtung von Alter, Geschlecht, Gesamt-Cholesterin, HDL-Cholesterin, Blutdruck und Rauchen. Bei der Analyse von drei Studien mit insgesamt fast 700 koronarerkrankten Teilnehmern konnte gezeigt werden, dass der Augmentationsindex mit Re-Stenose, Progression der koronaren Herzkrankheit und Gesamtmortalität korrelierte (Baulmann et al. 2013).

### 2.3.5 Die Pulswellengeschwindigkeit (pulse wave velocity-PWV)

Neben dem zentralen Blutdruck und dem Augmentationsindex ist die Pulswellengeschwindigkeit ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der arteriellen Elastizität. Sie ist definiert als die Geschwindigkeit, mit der die systolische Druckwelle aus dem Herzen in den großen Arterien den Organismus durchläuft (Middeke 2013).

Die Formel der Pulswellengeschwindigkeit lautet:

$$\text{PWV (m/s)} = \text{Strecke}/\Delta t$$

( $\Delta t$ : die Zeit, die die Pulswelle benötigt, um eine Strecke zwischen zwei Messpunkten des arteriellen Gefäßbaumes zurückzulegen (Mackenzie et al. 2002))

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Pulswelle ist invers abhängig von der Dehnbarkeit der Arterie und steigt mit dem Alter an. So ist die Messung der PWV ein Maß für die regionale Elastizität und damit auch für die regionale arterielle Gefäßsteifigkeit (Weber 2008). Die Entwicklung der Gefäßsteifigkeit wird durch Risikofaktoren wie Bluthochdruck, Rauchen, Zucker- und Fettstoffwechselstörungen und erhöhtem Salzkonsum beschleunigt (Middeke 2013).

In einer 2012 veröffentlichten Studie wurden 501 Kinder im Alter von 8 bis 18 Jahren im Hinblick auf Hypertonie, Übergewicht und verschiedene Pulswellenparameter untersucht. Die Pulswellengeschwindigkeit (PWV) war bei älteren Kindern und bei Kindern mit Hypertonie oder Blutdruckwerten an der Grenze zur Hypertonie erhöht. In der Studie zeigte sich auch, dass normalgewichtige Kinder niedrigere PWV-Werte als adipöse Kinder hatten (Lurbe et al. 2012).

Auch in einer Studie von Sakuragi mit 573 Kindern mit einem durchschnittlichen Alter von  $10,1 \pm 0,3$  Jahren zeigte sich ein Zusammenhang der Pulswellengeschwindigkeit mit dem BMI, dem Taillenumfang und dem prozentualen Körperfett. Darüber hinaus wurde hier auch noch eine negative Korrelation mit der kardiovaskulären Fitness und der Schrittzahl pro Tag nachgewiesen (Sakuragi et al. 2009).

## 2.3.6 Zusammenhang zwischen Blutwerten und Pulswellenparametern

In einer Studie mit 893 Kindern und Jugendlichen mit einem Durchschnittsalter von 18,9 Jahren konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der arteriellen Gefäßsteifigkeit und dem Quotient aus Triglycerid- und HDL-Cholesterinwerten (TG/HDL-C) gezeigt werden. Je nach Pulswellengeschwindigkeit, Augmentationsindex und Dehnbarkeit der A. brachialis wurden die Teilnehmer in Gruppen mit „leichter“ (n = 227), „mittlerer“ (n = 288) und „hoher“ (n = 379) arterieller Gefäßsteifigkeit eingeteilt. Es zeigte sich im Vergleich der drei Gruppen, dass der Quotient aus Triglycerid- und HDL-Cholesterinwerten mit der arteriellen Gefäßsteifigkeit anstieg und mit höherer Pulswellengeschwindigkeit ( $p \leq 0,001$ ) und verminderter Dehnbarkeit der A. brachialis ( $p \leq 0,001$ ) einherging. Für den Augmentationsindex konnte nur im Vergleich der Gruppen mit „leichter“ und „hoher“ arterieller Gefäßsteifigkeit festgestellt werden, dass der Quotient aus Triglycerid- und HDL-Cholesterinwerten mit einem höheren Augmentationsindex einherging ( $p \leq 0,059$ ) (Urbina 2013).

## 2.4 Auswirkungen körperlicher Aktivität auf den Gesundheitszustand

### 2.4.1 Definition von „körperlicher Aktivität“ und „sportlicher Aktivität“

Der Begriff der „körperlichen Aktivität“ ist definiert als „jegliche durch die Skelettmuskulatur hervorgebrachte körperliche Bewegung, die den Energieverbrauch über den Grundumsatz anhebt“ (Manz et al. 2014).

Die „sportliche Aktivität“ hingegen beschreibt „nur solche körperliche Aktivitäten, die geplant, strukturiert und wiederholt ausgeführt werden und das Ziel des Leistungserhalts oder einer Leistungssteigerung haben“ (Manz et al. 2014)

Das Sporttreiben wird wiederum in den „organisierten Sport“ und den „nicht organisierten Sport“ unterteilt. Zu dem „organisierten Sport“ zählen der Schulsport und der Vereinssport. In die Kategorie des „nicht organisierten Sports“ gehören die sogenannten „informellen sportlichen Aktivitäten“. Hierzu zählen vor allem der Freizeitsport wie beispielsweise Skateboard fahren in der Peergroup oder Fußballspielen in der Nachbarschaft (Diehl et al. 2014, De Bock 2012).

## 2.4.2 Körperliche Aktivität im Erwachsenenalter

Das „U.S. Department of Health and Human Services“ hat positive Effekte von regelmäßiger körperlicher Aktivität auf die Gesundheit im Erwachsenenalter zusammengefasst (Tab.4). Zu diesen zählen neben der Prävention von Herz-Kreislaufkrankungen auch die Prävention einiger Tumorerkrankungen (Pahmeier and Tiemann 2013, USDHHS 2008). Da dies die beiden häufigsten Todesursachen in den westlichen Industrienationen sind und in Deutschland für knapp drei Viertel aller Todesfälle verantwortlich sind, kommt diesem Effekt der körperlichen Aktivität eine besondere Bedeutung zu. So waren laut dem statistischen Bundesamt im Jahr 2012 in Deutschland von den gesamten Todesfällen 40,2% auf Herz-Kreislaufkrankungen und 26,3% auf bösartige Neubildungen zurückzuführen (StBA 2013).

**Tabelle 4. Wirkung sportlicher Aktivität auf Krankheitsrisiken;** in jeder Kategorie in der Rangfolge nach der Stärke der Evidenz aufgelistet (nach (Pahmeier and Tiemann 2013, USDHHS 2008))

|                 |   |
|-----------------|---|
| kardiovaskulär  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vermindertes Risiko für ischämische Herzkrankheiten</li> <li>• vermindertes Risiko für Schlaganfall</li> <li>• vermindertes Risiko für Bluthochdruck</li> </ul>  |
| metabolisch     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vermindertes Risiko für das metabolische Syndrom</li> <li>• günstige Beeinflussung der Blutfette</li> <li>• vermindertes Risiko für Diabetes mellitus Typ II</li> <li>• Prävention der Körpergewichtszunahme</li> <li>• Gewichtsreduktion, besonders bei gleichzeitiger Kalorienreduktion</li> <li>• Reduktion von Abdominalfett</li> <li>• Gewichtserhalt nach Körpergewichtsreduktion</li> </ul> |
| muskuloskeletal | <ul style="list-style-type: none"> <li>• verbesserte kardiovaskuläre und muskuläre Fitness</li> <li>• vermindertes Risiko für Stürze</li> <li>• vermindertes Risiko für Oberschenkelhalsfrakturen</li> <li>• erhöhte Knochendichte</li> </ul>   |
| neoplastisch    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vermindertes Risiko für Darmkrebs</li> <li>• vermindertes Risiko für Brustkrebs</li> <li>• vermindertes Risiko für Lungenkrebs</li> <li>• vermindertes Risiko für Gebärmutterkrebs</li> </ul>  |
| psychosozial    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion von Depression</li> <li>• verbesserte kognitive Funktion (bei älteren Menschen)</li> <li>• Verbesserung der Aktivitäten des täglichen Lebens (bei älteren Menschen)</li> <li>• verbesserte Schlafqualität</li> </ul>   |

### 2.4.3 Bedeutung der körperlichen Aktivität im Kindesalter

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt Kindern und Jugendlichen mindestens 60 min pro Tag körperlich aktiv zu sein. Die körperliche Aktivität sollte mäßig anstrengende Phasen (z.B. zu Fuß gehen) und auch anstrengende Phasen mit Kräftigungsübungen (z.B. gezieltes Sporttreiben) beinhalten (Manz et al. 2014, World Health Organization 2010).

Im Rahmen der KiGGS-Studie des Robert Koch-Instituts in Berlin wurde die sportliche Aktivität von 10.426 Kindern und Jugendlichen im Alter von 3 bis 17

Jahren analysiert. Laut den Ergebnissen waren 77,5% der Kinder und Jugendlichen sportlich aktiv. 59,7% der Kinder trieben Sport in einem Verein. Die Empfehlung der WHO, dass die Kinder täglich mindestens 60 Minuten körperlich aktiv sein sollten, wurde von 27,5% der Teilnehmer erreicht. Mit steigendem Alter nahm der Anteil der Kinder, die die WHO-Empfehlung erfüllten, kontinuierlich ab. So waren es im Vorschulalter 51,5% der Kinder, bei den 7- bis 10-Jährigen 31,0%, bei den 11- bis 13-Jährigen 14,8% und bei den 14- bis 17-Jährigen nur noch 11,5%. Weiterhin zeigte sich bei Kindern mit einer hohen Bildschirmmediennutzung (Fernsehen, Spielkonsole, PC) eine Assoziation mit einer geringeren Sportbeteiligung (Manz et al. 2014).

Auch bei Kindern konnten positive Auswirkungen der körperlichen Aktivität beschrieben werden. So werden physische Gesundheitsressourcen wie Ausdauer und Kraft gefördert. Aber auch psychosoziale Gesundheitsressourcen wie das Selbstwertgefühl werden gestärkt (Rehaag et al. 2011). Risikofaktoren wie Übergewicht, Bluthochdruck oder erhöhte Blutzuckerwerte werden vermindert (Hey et al. 2012). Weiterhin konnte bei einer Studie mit 1235 Jugendlichen, deren körperliche Aktivität sieben Tage lang mit einem Beschleunigungssensor (Akzelerometer) gemessen wurde, gezeigt werden, dass körperlich aktivere Kinder höhere HDL-Cholesterin-Werte und niedrigere Triglycerid-Werte haben (LeBlanc 2010).

Auch Beschwerden und Missbefinden wie Rückenprobleme, depressive Stimmungslagen, schnelle Ermüdung oder psychosomatische Probleme können sich durch körperliche Aktivität bessern (Hey et al. 2012). Weiterhin gibt es Hinweise, dass körperliche Aktivität in einem positiven Zusammenhang mit der schulischen Leistungsfähigkeit steht (Hillman et al. 2008).

Inaktivität in der Kindheit geht mit einem erhöhten Risiko einher als Erwachsener übergewichtig zu werden. Ein inaktiver Lebensstil bleibt häufig bis in das Erwachsenenalter bestehen. Deshalb ist die körperliche Aktivität in der Kindheit besonders beachtenswert (Manz et al. 2014).

## 2.4.4 Auswirkung von körperlicher Aktivität auf die Gefäße

Das einschichtige Endothel der inneren Gefäßwand beeinflusst den Vasotonus durch Freisetzung von Vasokonstriktoren und Vasodilatoren. Zu den Vasodilatoren zählt das von der endothelialen Stickstoffmonoxid-Synthase (eNOS) gebildete Stickstoffmonoxid (NO) (Espinola-Klein and Münzel 2008). Außer der Gefäßrelaxation hat Stickstoffmonoxid anti-arteriosklerotische Wirkungen. Zu ihnen zählen die verminderte endotheliale Adhäsion und Einwanderung von Makrophagen sowie die Reduktion der Oxidation von Lipoproteinen, geringere Schaumzellbildung und verminderte Proliferation glatter Muskelzellen (Halle 2004).

Die endotheliale Dysfunktion bezeichnet eine Vorstufe der Arteriosklerose, die mit inflammatorischen Prozessen und einer eingeschränkten Fähigkeit zur Gefäßdilataion einhergeht (Brinkmann et al. 2011). Eine wichtige Rolle bei der Entstehung der endothelialen Dysfunktion spielen die reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und der oxidative Stress. Die reaktiven Sauerstoffspezies schädigen zelluläre Membranen, aktivieren proinflammatorische Mechanismen und verringern die Bioverfügbarkeit von antiinflammatorischem Stickstoffmonoxid (Rösen 2002).

Regelmäßige, körperliche Aktivität erhöht die endogene antioxidative Kapazität und reduziert den oxidativen Stress. Dies geschieht durch die Hochregulierung antioxidativer Enzyme und die Erhöhung von körpereigenen nicht-enzymatischen Antioxidantien (Brinkmann et al. 2011). Dieser Effekt der körperlichen Aktivität wurde in einer Studie mit 23 Männern und 18 Frauen im Alter von 28 bis 41 Jahren untersucht. Die Teilnehmer absolvierten ein 20-wöchiges Trainingsprogramm, das drei- bis viermal pro Woche stattfand. Dabei wurde die Belastungsdauer schrittweise von anfangs 10 min auf 60 min gesteigert. Nach dem Trainingsprogramm konnte ein Anstieg des Antioxidans Glutathion im Blut und ein Anstieg der Glutathion-Reduktase-Aktivität in den Erythrozyten nachgewiesen werden (Evelo et al. 1992).

Weiterhin kommt es bei regelmäßiger, körperlicher Aktivität zu einem unterdrückenden Effekt auf reaktive Sauerstoffspezies bildende Systeme wie das NADPH-Oxidase-System (Brinkmann et al. 2011). Dies zeigt eine Studie mit männlichen Teilnehmern mit einem Durchschnittsalter von  $63 \pm 2$  Jahren bei der nach vier-wöchigem Training die Interventionsgruppe (n = 22) im Vergleich zur

Kontrollgruppe (n = 23) geringere NADPH-Oxidase-Level hatte ( $2,1 \pm 0,3$  gegenüber  $4,9 \pm 0,4$  mU/mg) und geringere Produktion reaktiver Sauerstoffspezies aufwies ( $0,02 \pm 0,01$  gegenüber  $0,06 \pm 0,02$  Einheiten). Das Training dauerte vier Wochen und wurde dreimal täglich für zehn Minuten auf dem Fahrradergometer und für zehn Minuten auf dem Ruderergometer durchgeführt (Adams et al. 2005).

Ein weiterer Effekt der körperlichen Aktivität ist, dass das Wirken von Scherkräften auf das Endothel zu einer Steigerung der Stickstoffmonoxidfreisetzung führt (Green et al. 2004). Die Transportkapazität für L-Arginin, das eine Vorstufe für Stickstoffmonoxid darstellt, wird erhöht und die endotheliale-Stickstoffmonoxid-Synthase-Aktivität gesteigert. Außerdem wird die extrazelluläre Superoxid-Dismutase vermehrt exprimiert, die einen vorzeitigen Abbau von Stickstoffmonoxid verhindert (Hambrecht 2001).

Weiterhin geht körperliche Aktivität mit einer Verbesserung des kardiovaskulären Risikoprofils einher. Das Ergebnis von vier Metaanalysen zur Auswirkung körperlicher Aktivität mit Probandenzahlen zwischen 400.000 und 800.000 ergab, dass regelmäßige körperliche Aktivität die Gesamtmortalität signifikant um 22–34% und die kardiovaskuläre Mortalität um 27–35% senkt (Löllgen 2012).

#### 2.4.4.1 Einfluss der körperlichen Aktivität auf die Intima-Media-Dicke

Die Intima-Media-Dicke großer Gefäße erlaubt Aussagen über arteriosklerotische Veränderungen und gilt damit als Prädiktor für kardiovaskuläre Ereignisse (Schmidt-Trucksass and Weisser 2011). In einer Studie mit 22 Männern ( $51 \pm 2$  Jahre) verringerte sich die Intima-Media-Dicke der A. Femoralis nach einer 12-wöchigen Trainingseinheit mit täglichem Walking von  $0,65 \pm 0,05$  mm auf  $0,56 \pm 0,05$  mm (Dinenno 2001).

Eine aktuelle Metaanalyse untersuchte den Einfluss der körperlichen Aktivität auf die Intima-Media-Dicke. Dabei wurden vier randomisierte, kontrollierte Studien (n = 162) und zwei Kohortenstudien (n = 217) aus den Jahren 2003 bis 2013 analysiert. Für die Intima-Media-Dicke ergab sich in den randomisierten, kontrollierten Studien keine signifikante absolute Veränderung (p = 0,33) und keine signifikante relative Veränderung (p = 0,35) in der Interventionsgruppe. Für die Kohortenstudien ergab

sich eine signifikante, absolute Veränderung ( $p < 0,001$ ) und eine signifikante, relative Veränderung ( $p = 0,003$ ) der Intima-Media-Dicke (Huang et al. 2015).

#### 2.4.4.2 Einfluss von körperlicher Aktivität auf den Augmentationsindex

Der Augmentationsindex stellt einen sehr wichtigen Parameter in der Früherkennung vaskulärer Veränderungen dar. Im Erwachsenenalter konnte bei 263 Teilnehmern ( $55,85 \pm 12,21$  Jahre; 59,30% weiblich) eine inverse Assoziation der körperlichen Aktivität mit dem Augmentationsindex nachgewiesen werden. Die körperliche Aktivität wurde sieben Tage lang mit einem Beschleunigungssensor in „Impulse pro Minute“ gemessen (Gomez-Marcos et al. 2014). Auch bei 548 Jugendlichen mit einem Durchschnittsalter von 17,9 Jahren konnte eine negative Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und körperlicher Aktivität festgestellt werden. Die körperliche Aktivität wurde mit Hilfe eines Beschleunigungssensors sieben Tage lang in Bewegung pro Minute gemessen (Edwards et al. 2012).

## 2.5 Maßnahmen zur Prävention von Gefäßerkrankungen

Es ist möglich der Entstehung und dem Fortschreiten der Gefäßveränderungen im Kindesalter entgegen zu wirken. So konnte gezeigt werden, dass eine Gewichtsreduzierung mit einer Abnahme der Intima-Media-Dicke einhergeht. Ein Gewichtsstillstand von mehr als einem Jahr bewirkt eine Verbesserung der medizinischen Komorbidität der Adipositas (Reinehr 2010). Für die Prävention von Übergewicht im Kindes- und Jugendalter ist es wichtig, dass sie auf verschiedenen erzieherischen Ebenen stattfindet (Abb. 16) (Müller 2006). Hierzu gehört neben dem Einfluss in der Familie auch der Einfluss in der Schule. Schulprojekte bringen die Möglichkeit mit sich das Gesundheitsverhalten der Kinder nachhaltig zu beeinflussen und damit zur Prävention von Übergewicht und Adipositas im Kindesalter beizutragen. Es hat viele Vorteile ein Präventionsprojekt in der Schule durchzuführen. So verbringen die Kinder einen großen Teil ihrer Zeit in der Schule, durch die Schulpflicht werden alle Kinder mit in das Projekt eingeschlossen und die

Lehrer können mit einbezogen werden. Außerdem können Schulhof und Turnhalle für das Interventionsprojekt genutzt werden (Kumanyika et al. 2008).

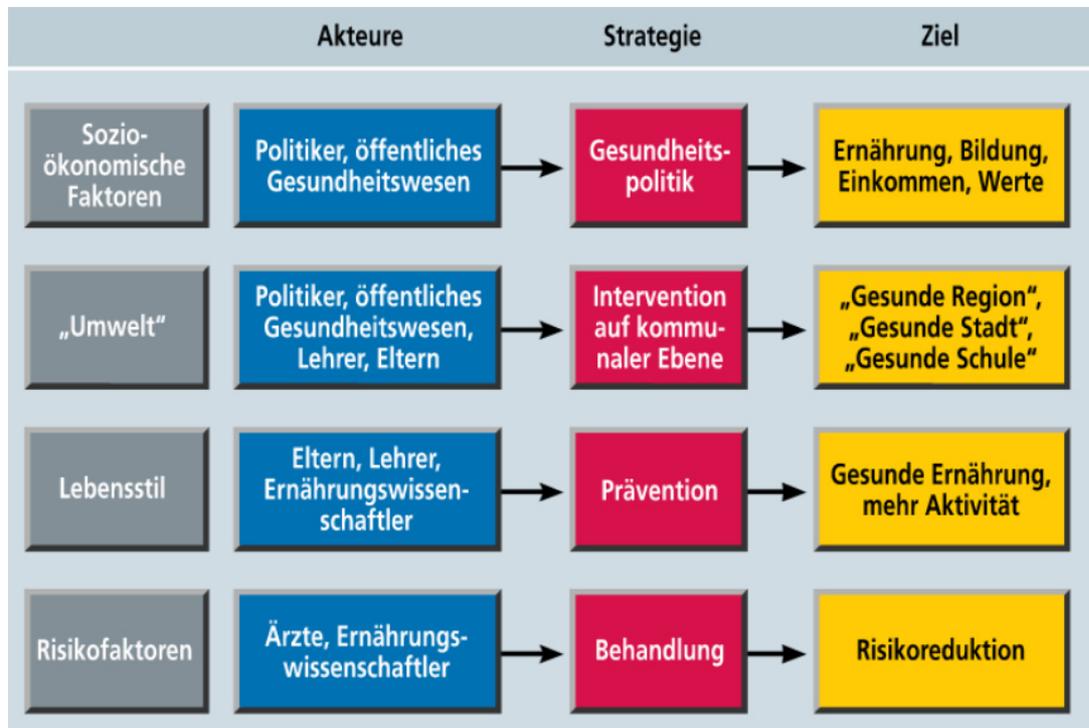


Abbildung 16. Prävention von Adipositas auf verschiedenen Ebenen (Müller 2006)

## 2.6 Fragestellung der Arbeit

Die Adipositasprävalenz und die körperliche Inaktivität im Kindesalter nehmen in Deutschland immer mehr zu (WHO 2014). Dies wirkt sich negativ auf die Gesundheit der Kinder aus. So lassen sich degenerative Veränderungen der Gefäße bereits im Kindesalter nachweisen (Meyer et al. 2007, Raekallio et al. 1990). Dabei ist das kardiovaskuläre Risiko umso höher ist, je früher die Adipositas im Kindesalter beginnt (Grimmer et al. 2008, Freedman et al. 2001). Für die Prävention von Folgeerkrankungen ist es wichtig diese Gefäßveränderungen möglichst früh zu erkennen. Die Pulswellenanalyse ist hierfür eine geeignete Messmethode. Sie ist nicht invasiv, leicht durchzuführen und gut reproduzierbar. Einen wichtigen

Parameter der Pulswellenanalyse stellt der Augmentationsindex dar mit dem die arterielle Gefäßsteifigkeit eingeschätzt werden kann.

Im Rahmen der JuvenTUM-Studie, einem schulbasierte Präventionsprojekt, wurden mit Hilfe der nicht-invasiven Applanationstonometrie die Pulswellenparameter der Schüler über vier Jahre analysiert und damit Rückschlüsse auf den Gefäßzustand der Kinder gezogen. In der vorliegenden Arbeit soll überprüft werden, inwieweit der Augmentationsindex durch körperliche Aktivität im Kindesalter beeinflusst wird.

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Teilnehmer des JuvenTUM Projektes

#### 3.1.1 Rekrutierung der Teilnehmer

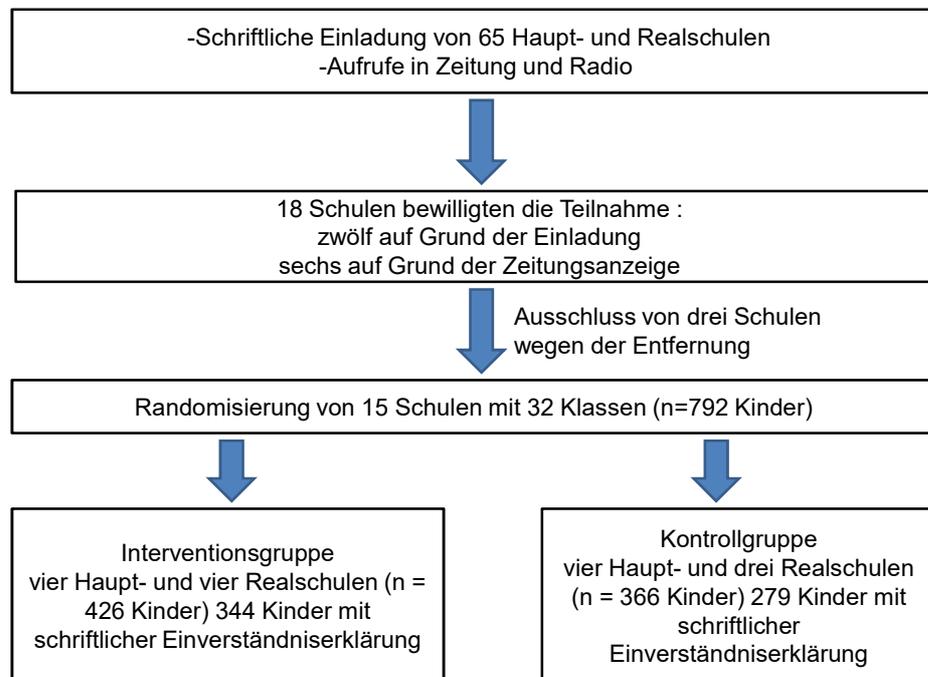
Im Sommer 2008 wurden 65 Haupt- und Realschulen in München und Umgebungen schriftlich zu dem Projekt eingeladen (Abb. 17). Zusätzlich wurden Schulen durch Anzeigen in der Zeitung und Aufrufen im lokalen Radiosender auf das Projekt aufmerksam gemacht. Zwölf Schulen entschieden sich auf Grund der schriftlichen Einladung für die Teilnahme. Sechs Schulen meldeten sich an, nachdem sie durch die Zeitungsanzeige auf das Programm aufmerksam gemacht wurden. Die teilnehmenden Schulen willigten ein, sich über vier Jahre an dem Projekt zu beteiligen und entweder in Kontroll- oder Interventionsschule eingeteilt zu werden. Drei der Schulen wurden ausgeschlossen, da sie über 30 km von München entfernt lagen. Bei den 15 teilnehmenden Schulen handelte es sich um acht Haupt- und sieben Realschulen. Zwölf der Schulen lagen im Stadtgebiet, während die übrigen drei Schulen außerhalb von München lokalisiert waren. Die 32 an dem Projekt beteiligten Klassen enthielten insgesamt 792 Kinder.

Die Studie war von der Ethikkommission der Technischen Universität München genehmigt worden und es wurden die Prinzipien der Deklaration von Helsinki berücksichtigt (Seoul, 2008). Nur die Werte und Fragebögen von Kindern mit einer schriftlichen Einverständniserklärung wurden bei der Datenanalyse berücksichtigt. Es wurde nur Blut von Kindern mit entsprechender Einverständniserklärung der Eltern entnommen.

#### 3.1.2 Randomisierung der Teilnehmer

Per Los erfolgte die Einteilung in Interventions- und Kontrollschulen. Es wurden die gesamten Schulen randomisiert, um in den Schulen selbst eine Beeinflussung der Projektteilnehmer zwischen Klassen mit und ohne Intervention zu verhindern.

Bei den Interventionsschulen handelte es sich um vier Haupt- und vier Realschulen mit insgesamt 426 Schülern, von denen 344 eine schriftliche Einverständniserklärung ihrer Eltern hatten. Bei den Kontrollschulen handelte es sich um vier Haupt- und drei Realschulen mit insgesamt 366 Kindern. Von diesen Schülern hatten 279 eine schriftliche Einverständniserklärung (Abb.17).



**Abbildung 17. Rekrutierung und Einteilung der Schulen** (n= Anzahl der Teilnehmer) (Siegrist et al. 2011)

## 3.2 Intervention

### 3.2.1 Ziele der Intervention

Das Ziel des Projektes war, das Gesundheitsverhalten der Schüler nachhaltig zu fördern und damit Übergewicht, Adipositas und deren Folgeerkrankungen vorzubeugen. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Ziele (Tab. 5). Die Zeit in und außerhalb der Schule, in der die Kinder pro Woche körperlich aktiv sind, sollte erhöht werden, wobei die Anzahl der Tage, an denen die Schüler mindestens

eine Stunde aktiv sind, steigen sollte. Dies wurde anhand eines standardisierten Fragebogens überprüft. Neben der Steigerung der physischen Aktivität und der Förderung von gesunder Ernährung sollte auch der Medienkonsum der Schüler durch das Projekt reduziert werden.

Ein weiteres Ziel des JuvenTUM Projektes war es, das Bewusstsein für Gesundheit auch außerhalb der Schule und auch nach dem Ende des Projektes zu erhalten. Dies sollte durch Einbeziehung der Lehrer und Eltern erreicht werden.

**Tabelle 5. Ziele des JuvenTUM Projektes** (nach (Siegrist et al. 2011))

- Erhöhung der Anzahl der Tage mit körperlicher Aktivität > 60 min / Tag (innerhalb und außerhalb der Schule)
- Prävention früher makro- und mikrovaskulärer Gefäßveränderungen (arterielle Steifigkeit, Durchmesser der Retinagefäße)
- Reduzierung kardiometabolischer Risikofaktoren (Triglyzeride, LDL-Cholesterin, HDL-Cholesterin, Glucose, hsCRP, IL-6, Adiponectin)
- Senkung der Prävalenz von Übergewicht (BMI, Taillenumfang, Gesamthautfaltendicke)
- Verbesserung der motorischen Fähigkeiten und körperlichen Fitness („Münchener Fitnessstest“)
- Normalisierung des systolischen und diastolischen Blutdrucks
- Zunahme der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (anhand eines Fragebogens (KINDL<sup>R</sup>) gemessen)
- Veränderung von Lebensgewohnheiten (körperliche Aktivität, Essgewohnheiten, Rauchen, Medienkonsum)

### 3.2.2 Interventionsmaßnahmen für Schüler

In den Interventionsschulen erhielten die Kinder und Jugendlichen einmal pro Woche eine Unterrichtsstunde zu dem Thema Gesundheit. Die Unterrichtseinheiten waren in sogenannte Module aufgeteilt. Themen dieser Module waren beispielsweise Sport im Verein, gesunde Ernährung, gesundes Trinkverhalten, Medienkompetenz oder

Wohlbefinden und Entspannung. Die Anzahl der „Lifestyle“-Stunden war so ausgelegt, dass die Lehrer in den Klassen etwa 70% der „Lifestyle“-Stunden-Vorschläge im Laufe eines Schuljahres durchführen sollten. Zusätzlich wurde an einer Schule ein mehrwöchiges Fußballturnier organisiert und an zwei Schulen wurden Tanzaufführungen einstudiert.

Um die körperliche Aktivität der Schüler zu verstärken wurden in mehreren Schulen Spielgeräte für den Pausenhof zur Verfügung gestellt und Materialien für Entspannungseinheiten bereitgestellt. Außerdem wurde mehrmals ein gesundes Frühstück finanziell unterstützt, um gesundes Essverhalten in den Interventionsklassen zu stärken. In Zusammenarbeit mit Sportvereinen wurden den Schülern Schnupperstunden für verschiedene Sportarten angeboten. In Kooperation mit Jugendbeamten der Polizei wurden Projekte zu den Themen „Medien“ und „Sucht“ durchgeführt. An einigen Schulen präsentierten die Kinder das Projekt intern ihren Mitschülern.

### 3.2.3 Interventionsmaßnahmen für Lehrer

Mehrmals im Jahr fanden Treffen zwischen den Leitern des Projektes und den Lehrern statt, in denen diese Informationen zu gesundheitsbezogenen Unterrichtsthemen sowie Arbeitsblätter für die Schüler erhielten.

Im Rahmen des Projektes wurden darüber hinaus Fortbildungen für die Lehrer organisiert. Themen waren beispielsweise „der gesunde Lehrer als Vorbild für die Schüler“ oder „Stressmanagement im Alltag“.

### 3.2.4 Interventionsmaßnahmen für Eltern

Zweimal im Jahr fand ein Elternabend statt, der die Themen „Gesundheit, Bewegung und gesunde Ernährung“ behandelte. Zusätzlich erhielten alle Eltern zu jedem Gesundheitsmodul einen Elterninformationsbrief mit aktuellen Informationen über verschiedene gesundheitsspezifische Themen sowie Anregungen und Tipps für den

Familienalltag. Außerdem wurden bis zwei Mal pro Jahr Eltern-Kind-Aktionen angeboten, wie beispielsweise Eltern-Kind-Kochen.

### 3.3 Untersuchungen in „JuventUM Stufe 3“

Im Untersuchungszeitraum über vier Jahre wurden die Schüler einmal im Jahr untersucht (Tab. 6).

**Tabelle 6. Übersicht über die Untersuchungen der vier Projektjahre V1 bis V4**

| Untersuchung   | 11/12 2008<br>(V1) | 6/7 2009<br>(V2) | 6/7 2010<br>(V3) | 6/7 2011<br>(V4) |
|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| Gefäßstruktur  | X                  | X                | X                | X                |
| Gefäßfunktion  | X                  | X                | X                | X                |
| Anthropometrie | X                  | X                | X                | X                |
| Blutentnahme   | X                  | X                | X                | X                |
| Fragebogen     | X                  | X                | X                | X                |
| Fitnessstest   | X                  | X                | X                | X                |

Die Untersuchungen wurden in den Schulen während der Unterrichtszeit in separaten Räumen durchgeführt. Im Folgenden wird beschrieben, welche Daten erhoben wurden.

#### 3.3.1 Erfassung der Gefäßfunktion mit Pulswellenanalyse

##### 3.3.1.1 Durchführung der Pulswellenanalyse

Die arterielle Gefäßsteifigkeit wurde mit dem nicht invasiven Sphygmograph (SphygmoCor SCOR-Px, 2006 AtCor Medical Pty. Ltd., Sydney Australien) erfasst. Mit Hilfe dieses Gerätes können frühe makrovaskuläre Veränderungen erkannt werden. Es handelt sich um ein etabliertes Messverfahren, das in zahlreichen

Studien bei Erwachsenen angewandt wurde und gut reproduzierbar ist (Williams et al. 2006, Filipovsky et al. 2000).

Der Sphygmograph nutzt das Verfahren der nicht-invasiven Applanationstonometrie, um die periphere Pulswelle aufzuzeichnen. Über den an der A. brachialis gemessenen Blutdruck erfolgt die Kalibrierung der Pulswelle (Baulmann et al. 2010). Die SphygmoCor Software errechnet anhand der peripheren Wellen die zentrale Pulswelle (AtCorMedical 2008, Lehmann 1998, Chen et al. 1997). Aus der zentralen Pulscurve können dann der zentrale Blutdruck sowie die Augmentation und der Augmentations-Index, der eine enge Korrelation zum kardiovaskulären Risiko zeigt, ermittelt werden (Nürnbergger et al. 2004).

Das SphygmoCor Gerät beinhaltet ein stabförmiges Messgerät mit der Größe eines Stiftes an dessen Ende sich ein Tonometer befindet und das über ein Kabel mit einer Station verbunden ist, die wiederum an einen Computer angeschlossen wird (Abb. 18).



**Abbildung 18. Das SphygmoCor Gerät** (AtCorMedical 2011)

Bei der Untersuchung wird der Drucksensor des Sphygmographens auf die rechte A. radialis proximal des Handgelenks bei leichter Dorsalextension der Hand platziert. Dabei wird die Arterie durch das Tonometer leicht gegen den darunter liegenden Knochen gedrückt (Abb.19). So kann eine Druckkurve mit dem Tonometer aufgezeichnet werden. Der Untersucher verändert solange den Winkel des stabförmigen Messinstrumentes bis auf dem Computer ein reines Signal erscheint.

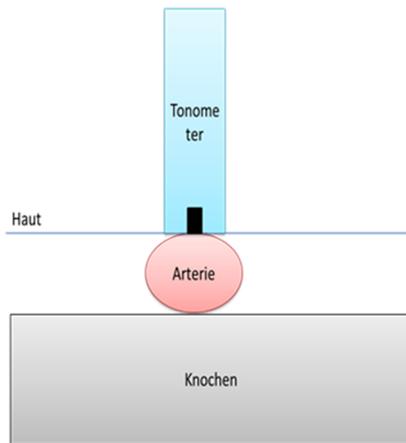


Abbildung 19. Stark vereinfachte Darstellung der Messung mit dem SphygmoCor Tonometer (nach (Mackenzie et al. 2002))

Mit der SphygmoCor Software können die gemessenen Pulswellen angezeigt und ausgewertet werden. Die in den letzten 10 Sekunden der Messung aufgenommenen Wellen werden übereinandergelegt. Entscheidend für die Messung ist der Operator-Index. Dieser ist ein Maß für die Qualität der Messung und kann Werte von 0 bis 100 annehmen, wobei der Wert 100 die höchste Qualität darstellt. Ausschlaggebend für die Qualität sind die durchschnittliche Höhe der Pulswelle innerhalb der jeweiligen Messung, die Variationen der Pulswellenhöhe und die Abweichung innerhalb des diastolischen Verlaufs.

Im Rahmen dieses Projekts fanden die Messungen mit dem Sphygmographen abgeschirmt von äußeren Einflüssen in einem ruhigen, abgedunkelten Raum statt. Die Untersuchung wurde im Liegen durchgeführt und die Schüler wurden gebeten sich während der Messung zu entspannen und nicht zu sprechen. Nach einer Ruhephase von wenigen Minuten wurde mit der Pulswellenanalyse begonnen.

Wurde ein Operator-Index von 100 erreicht, wurde nur eine Pulswellen-Messung beim jeweiligen Schüler durchgeführt. Weiterhin wurden bei Operator-Index-Werten von 90 bis 99 zwei, bei Operator-Index-Werten von 80 bis 89 drei und bei Operator-Index-Werten von 75 bis 79 vier Messungen erhoben. Werte mit einem Operator Index unter 75 wurden aus der Auswertung ausgeschlossen.

Zu Beginn des Projektes ergaben 35,4% (208 Kinder) der Messungen einen Operator Index zwischen 90 und 100. Bei 32,0% (188 Kinder) der Messungen lag der

Operator Index zwischen 80 und 89 und bei 10,4% (61 Kinder) zwischen 75 und 79. Die Messungen von 130 Kindern (22,2%) wurden verworfen, da kein Operator Index über 74 erreicht werden konnte.

Im vierten Projektjahr ergaben 60,0% (277 Kinder) der Messungen einen Operator Index zwischen 90 und 100. Bei 34,4% (159 Kinder) der Messungen lag der Operator Index zwischen 80 und 89 und bei 4,7% (22 Kinder) zwischen 75 und 79. Die Messungen von vier Kindern (0,9%) wurden verworfen, da kein Operator Index über 74 erreicht werden konnte.

### 3.3.1.2 Bearbeitung der Daten

Die Datenbank mit den Pulswellenparametern wurde folgendermaßen erstellt: Die Daten wurden aus dem SphygmoCor-Programm in eine Excel Tabelle übertragen. Von den Parametern wurden für diese Analysen elf wesentliche Parameter ausgewählt: Zentraler systolischer Blutdruck, zentraler diastolischer Blutdruck, zentraler Mitteldruck, Augmentationsdruck auf die Herzfrequenz von 75/min umgerechnet, Augmentationsindex auf die Herzfrequenz von 75/min umgerechnet, zentraler Pulsdruck, peripherer Augmentationsindex, peripherer systolischer Blutdruck, peripherer diastolischer Blutdruck, peripherer P1 (erstes Maximum der Pulswelle) und peripherer P2 (zweites Maximum der Pulswelle).

Im nächsten Schritt wurden die Daten je nach Operator Index bearbeitet: Gab es eine Messung mit einem Operator-Index von 100 wurde diese Messung für die Auswertung verwendet. Bei einer Messung mit einem Operator-Index von über 90 wurde diese übernommen. Gab es mehrere Messungen mit einem Operator-Index von über 90 wurde aus den Daten des jeweiligen Parameters der Mittelwert berechnet. Falls es keine Messung mit einem Operator-Index von über 90 gab, wurde der Wert aus der Messung mit dem Operator-Index über 80 übernommen. Gab es mehrere Messungen mit einem Operator-Index über 80, wurde aus diesen Daten der Mittelwert berechnet. Waren keine Werte mit einem Operator Index von über 80 vorhanden, wurde aus den Messungen mit einem Operator-Index von 75 bis 79 der Mittelwert gebildet. Falls es nur Messungen mit einem Operator Index von

unter 75 gab, wurden diese Werte wegen ihrer Ungenauigkeit bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

### 3.3.1.3 Statistik

Die Daten wurden in SPSS für Windows Version 20.0 (SPSS Inc., USA) übertragen und ausgewertet. Es wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und Konfidenzintervalle berechnet. Die Korrelationsanalysen erfolgten nach Pearson und nach Spearman. Mit dem T-Test nach Student wurde die Gleichheit der Mittelwerte unabhängiger bzw. gepaarter Stichproben auf statistische Signifikanz geprüft.

Die Normalverteilung der Pulswellenparameter wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test und dem Shapiro-Wilk-Test bei den Daten des ersten Projektjahres (V1) und bei den Daten der Kinder, die sowohl im ersten als auch im vierten Projektjahr teilgenommen hatte (V1 und V4), überprüft.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test lehnt häufig bei großen Fallzahlen, wie bei der JuvenTUM-Studie, selbst bei sehr geringen Abweichungen von der Normalverteilung die Normalverteilungsannahme ab (Bland 2000). Daher wurde die Normalverteilung grafisch durch Histogramme und durch den Vergleich von Mittelwert und Median überprüft. Das Ergebnis der Überprüfung wies auf eine Normalverteilung der Daten hin.

Als Signifikanzniveau aller statistischer Berechnungen wurde  $p < 0,05$  verwendet. Alle p-Werte über diesem Wert wurden als statistisch nicht signifikant, p-Werte  $< 0,05$  als statistisch signifikant und p-Werte  $< 0,01$  als hochsignifikant angesehen.

### 3.3.2 Erfassung der Gefäßstruktur über die retinale Mikrozirkulation

Mittels einer SVA-T Kamera für den Augenhintergrund (Static Retinal Vessel Analyser, Imedos System UG, Jena) konnte der Durchmesser der retinalen Arteriolen und Venolen bestimmt werden. Es handelt sich dabei um eine nicht invasive

Methode zur Bestimmung der retinalen Mikrozirkulation ohne Weittropfen der Augen. Es wurden jeweils zwei Bilder des rechten Augenhintergrunds der Kinder gemacht, die dann halbautomatisch analysiert wurden.

### 3.3.3 Anthropometrie

Die Bestimmung der Anthropometriewerte wurde von geschulten wissenschaftlichen MitarbeiterInnen des Lehrstuhls nach einem standardisierten Untersuchungsprotokoll durchgeführt. Mit einer Balancewaage wurde das Gewicht der Kinder und Jugendlichen auf 0,1 kg genau in Unterwäsche und barfuß bestimmt. Die Körpergröße wurde auf 0,1 cm genau mit einem Stadiometer gemessen. Weiterhin wurde der Oberarmumfang gemessen, der Bauchumfang in entspannter Position über dem Nabel horizontal bestimmt und die Hautfaltendicke an M. biceps, M. triceps, subscapular und supra-iliacal mit einem Kaliper erfasst.

### 3.3.4 Blutdruckmessung

Der systolische und diastolische Blutdruck wurde an der rechten A. brachialis im Liegen nach einer Ruhephase von 5 min gemessen. Bei einem Oberarmumfang unter 25 cm wurden die Werte mit einer Kinder-Blutdruckmanschette und bei einem Oberarmumfang ab 25 cm mit einer Erwachsenen-Blutdruckmanschette erhoben.

### 3.3.5 Bestimmung der Blutparameter

Den Schülern wurde am Morgen des Untersuchungstages zwischen 8 Uhr und 10 Uhr in der Ellenbeuge 12 ml Blut abgenommen, wobei die Kinder nüchtern waren. Im Blut wurden jeweils Fettstoffwechselfparameter (Triglyceride, Gesamtcholesterin, LDL- und HDL-Cholesterin) und Entzündungsmarker (u.a. hoch sensitives CRP) bestimmt.

### 3.3.6 Fragebogen

Jedes teilnehmende Kind füllte zu jedem Untersuchungszeitpunkt einen standardisierten Fragebogen aus. Dieser enthielt Fragen zur Ernährung, zur körperlichen Aktivität, zur Familie, zum Freizeitverhalten der Kinder, zur Lebensqualität und zum sozio-ökonomischen Status.

#### 3.3.6.1 Erfassung der körperlichen Aktivität und des Medienkonsums

Die körperliche Aktivität der Schüler wurde mit dem standardisierten Aktivitätsfragebogen aus dem Motorik-Modul der KiGGS-Studie (Opper et al. 2007) erfasst. Er enthält Fragen zu folgenden Themen: Schulsport, körperliche Aktivität im Alltag, Sport im Verein, Motive des Sporttreibens, Sportverhalten von Familienmitgliedern und Freunden.

Die beiden ersten Fragen sind validiert (Prochaska et al. 2001) und berücksichtigen die aktuellen Leitlinien der WHO (World Health Organization 2010) und des CDC (Centers for Disease Control and Prevention 2011) zur Aktivität bei Kindern. Sie lauten: „An wie vielen Tagen warst du letzte Woche mindestens 60 Minuten körperlich so aktiv, dass du ins Schwitzen oder außer Atem gekommen bist?“ bzw. „An wie vielen Tagen einer normalen Woche bist du mindestens 60 Minuten körperlich so aktiv, dass du ins Schwitzen oder außer Atem kommst?“.

Die körperliche Inaktivität wurde durch Fragen nach Fernsehgewohnheiten und Umfang der Computernutzung erfasst.

#### 3.3.6.2 Erfassung des Gesundheitswissens, der Lebensqualität und des sozio-ökonomischen Status

Der Fragebogen beinhaltete 47 Fragen, die das Gesundheitswissen der Schüler zu Themen wie beispielsweise Übergewicht und Folgeerkrankungen erfassten.

Mit den Fragen des KINDL<sup>R</sup>-Fragebogens wurde die Lebensqualität der Kinder erfasst. Dieser beinhaltet Fragen zum Selbstwert und Wohlbefinden und ist ein validierter Fragebogen, der in der KiGGS-Studie und international Verwendung findet (Ravens-Sieberer et al. 2008).

Der sozio-ökonomische Status und der Migrationshintergrund wurden mit Fragen zu der Nationalität sowie der Schulbildung und der beruflichen Stellung der Eltern erfasst.

### 3.3.6.3 Erfassung des Ernährungsverhaltens

Das Ernährungsverhalten wurde mit 25 Fragen erfasst, wobei die Schüler Verzehrhäufigkeit bestimmter Nahrungsmittel und Getränke angaben. Weiterhin wurden sie nach Alkoholkonsum und Rauchen gefragt.

### 3.3.7 Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Die körperliche Leistungsfähigkeit wurde mit einem sportmotorischen Leistungstest, dem „Münchner Fitnesstest“, erfasst. Der Fitnesstest fand an einem zusätzlichen Untersuchungstag in der Turnhalle statt.

## 4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projektes „Kinder und Jugendliche als Gesundheitsexperten – JuvenTUM Stufe 3“ zu Beginn des Projektes im November und Dezember 2008 (Visit 1, V1) und zur Untersuchung im vierten Projektjahr im Juni und Juli 2011 (Visit 4, V4) beschrieben. Abbildung 20 zeigt eine Übersicht über die Anzahl der untersuchten Kinder.

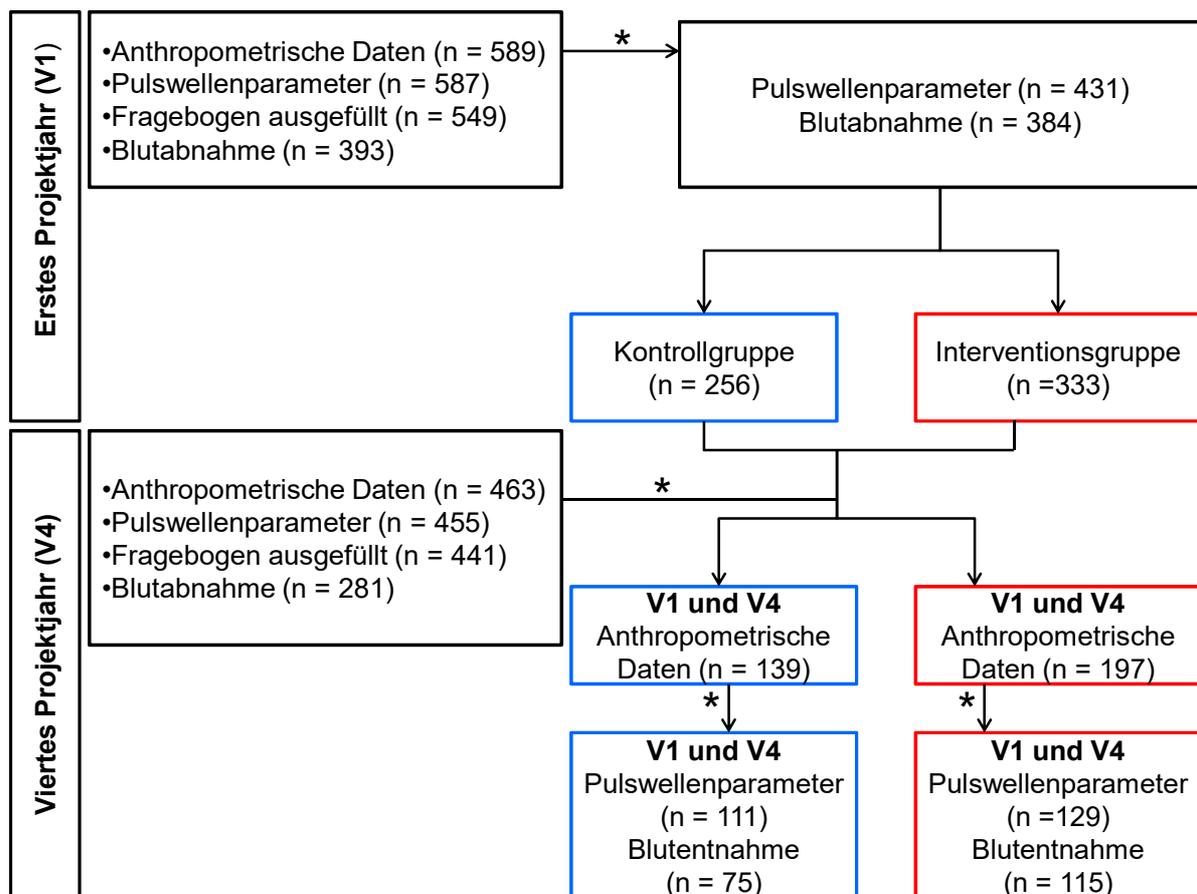


Abbildung 20. Übersicht über die Anzahl der im ersten und vierten Projektjahr untersuchten Kinder (n = Anzahl der untersuchten Kinder; \* = Kinder mit kompletten Datensatz)

### 4.1 Beschreibung der Basisdaten zu Projektbeginn

Zu Beginn der Studie (V1) im November 2008 wurden von 589 Kindern anthropometrische Daten erhoben. 549 Kinder füllten den Fragebogen aus und von

393 Kindern konnten Blutparameter analysiert werden. Von 587 Kindern wurden die Pulswellenparameter mit dem SphygmoCor Gerät gemessen. 457 der Messungen hatten einen Operator Index über 74. Bei 431 dieser Kinder lagen Pulswellenmessungen und anthropometrische Daten vor. Nur diese Kinder wurden bei den Berechnungen berücksichtigt (Abb.20).

#### 4.1.1 Anthropometrische Parameter und peripherer Blutdruck zu Projektbeginn

Von den 589 Kindern mit anthropometrischer Datenerhebung waren 252 (42,8%) weiblich und 337 (57,2%) männlich. Zu Beginn des Projektes betrug das durchschnittliche Alter der Kinder  $10,6 \pm 0,7$  Jahre, das Gewicht  $41,9 \pm 10,9$  kg, die Körpergröße  $147,2 \pm 7,6$  cm, der BMI  $19,2 \pm 3,6$  kg/m<sup>2</sup>, der Bauchumfang  $64,6 \pm 8,2$  cm und der prozentuale Körperfettanteil  $20,3 \pm 6,2$  % (Tab. 7).

Der durchschnittliche Blutdruck (n = 584) lag bei  $119 \pm 10$  mmHg für den peripheren systolischen Blutdruck und  $74 \pm 8$  mmHg für den peripheren diastolischen Blutdruck (Tab. 7).

**Tabelle 7. Anthropometrische Parameter und peripherer Blutdruck zu Projektbeginn**

| Parameter                      | n   | Mittelwert $\pm$ SD | Median | Minimum | Maximum |
|--------------------------------|-----|---------------------|--------|---------|---------|
| Alter (Jahre)                  | 589 | $10,6 \pm 0,7$      | 11,0   | 9       | 13      |
| Gewicht (kg)                   | 589 | $41,9 \pm 10,9$     | 39,5   | 24,2    | 102,7   |
| Körpergröße (cm)               | 589 | $147,2 \pm 7,6$     | 146,3  | 128,8   | 175,4   |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )       | 589 | $19,2 \pm 3,6$      | 18,3   | 11,6    | 34,9    |
| Bauchumfang (cm)               | 589 | $64,6 \pm 8,2$      | 63,0   | 51,0    | 108,0   |
| Körperfettanteil (%)           | 589 | $20,3 \pm 6,2$      | 20     | 7       | 36      |
| Systolischer Blutdruck (mmHg)  | 584 | $119 \pm 10$        | 120    | 95      | 150     |
| Diastolischer Blutdruck (mmHg) | 584 | $74 \pm 8$          | 70     | 55      | 100     |

(n = Anzahl der Probanden; SD = Standardabweichung)

## 4.1.2 Blutparameter zu Projektbeginn

Zu Projektbeginn wurde bei 384 Kindern zusätzlich zur anthropometrischen Datenerhebung Blut abgenommen. Der durchschnittliche Cholesterinspiegel lag bei  $175 \pm 28$  mg/dl für das Gesamtcholesterin, bei  $89 \pm 19$  mg/dl für das LDL-Cholesterin und bei  $65 \pm 14$  mg/dl für das HDL-Cholesterin. Die Mittelwerte für die Triglyceride betragen  $81 \pm 44$  mg/dl, für den Blutzucker  $80 \pm 13$  mg/dl und für das hochsensitive CRP  $0,115 \pm 0,244$  mg/l (Tab. 8).

**Tabelle 8. Blutparameter zu Projektbeginn**

| Parameter                 | n   | Mittelwert $\pm$ SD | Median | Minimum | Maximum |
|---------------------------|-----|---------------------|--------|---------|---------|
| Gesamtcholesterin (mg/dl) | 381 | $175 \pm 28$        | 174    | 100     | 274     |
| LDL-Cholesterin (mg/dl)   | 380 | $89 \pm 19$         | 88     | 38      | 160     |
| HDL-Cholesterin (mg/dl)   | 381 | $65 \pm 14$         | 64     | 28      | 114     |
| Triglyceride (mg/dl)      | 379 | $81 \pm 44$         | 69     | 22      | 358     |
| Blutzucker (mg/dl)        | 381 | $80 \pm 13$         | 80     | 49      | 110     |
| Hochsensitives CRP (mg/l) | 381 | $0,115 \pm 0,244$   | 0,040  | 0,000   | 2,280   |

(n = Anzahl der Probanden; SD = Standardabweichung)

## 4.1.3 Pulswellenparameter zu Projektbeginn

Die Mittelwerte der mit dem SphygmoCor Gerät gemessenen Pulswellenparameter betragen für den zentralen systolischen Blutdruck  $101,7 \pm 7,7$  mmHg, den zentralen diastolischen Blutdruck  $75,0 \pm 7,4$  mmHg, den zentralen Pulsdruck  $26,8 \pm 5,9$  mmHg, den zentralen Mitteldruck  $88,4 \pm 7,2$  mmHg, den zentralen Augmentationsdruck  $2,3 \pm 3,1$  mmHg und für den Augmentationsindex  $7,6 \pm 10,2$  % (Tab. 9).

**Tabelle 9. Pulswellenparameter zu Projektbeginn**

| Parameter                                | n   | Mittelwert ± SD | Median | Minimum | Maximum |
|--|-----|-----------------|--------|---------|---------|
| zentraler systolischer Blutdruck (mmHg)  | 431 | 101,7 ± 7,7     | 102,0  | 80,0    | 127,0   |
| zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg) | 431 | 75,0 ± 7,4      | 73,0   | 56,0    | 101,0   |
| zentraler Pulsdruck (mmHg)               | 431 | 26,8 ± 5,9      | 26,0   | 11,0    | 45,0    |
| zentraler Mitteldruck (mmHg)             | 431 | 88,4 ± 7,2      | 88,0   | 70,0    | 109     |
| Zentraler Augmentationsdruck (mmHg)      | 428 | 2,3 ± 3,1       | 2,0    | -5,0    | 12,0    |
| zentraler Augmentationsindex (%)         | 428 | 7,6 ± 10,2      | 8,0    | -20,0   | 31,0    |

(n = Anzahl der Probanden; SD = Standardabweichung)

#### 4.1.4 Körperliche Aktivität zu Projektbeginn

Im ersten Projektjahr füllten 549 Schüler den Fragebogen zur körperlichen Aktivität aus (V1). Die körperliche Aktivität wurde unter anderem erfasst mit den validierten Fragen „An wie vielen Tagen warst du letzte Woche mindestens 60 Minuten körperlich so aktiv, dass du ins Schwitzen oder außer Atem gekommen bist?“ und „An wie vielen Tagen einer normalen Woche bist du mindestens 60 Minuten körperlich so aktiv, dass du ins Schwitzen oder außer Atem kommst?“ (Tab.10).

**Tabelle 10. Körperliche Aktivität zu Projektbeginn**

| Parameter   | n   | Mittelwert ± SD | Median | Minimum | Maximum |
|---|-----|-----------------|--------|---------|---------|
| Aktivität mindestens 60 min. in der letzten Woche (Tage/Woche)    | 549 | 3,2 ± 1,9       | 3,0    | 0       | 7       |
| Aktivität mindestens 60 min. in einer normalen Woche (Tage/Woche) | 549 | 3,0 ± 1,9       | 3,0    | 0       | 7       |

(n = Anzahl der Probanden; SD = Standardabweichung)

## 4.2 Vergleichbarkeit der Stichproben

Im 4. Projektjahr im Juni und Juli 2011 (V4) wurden von 463 Kindern anthropometrische Daten erhoben. Von 455 Kindern wurden die Pulswellenparameter mit dem SphygmoCor Gerät bestimmt. 441 Kinder füllten den Fragebogen zur körperlichen Aktivität aus und von 281 Kindern wurde Blut abgenommen.

336 Kinder wurden sowohl im ersten (V1) als auch im vierten Projektjahr (V4) hinsichtlich ihrer anthropometrischen Daten untersucht. Innerhalb dieser Gruppe gab es 240 Kinder von denen Pulswellenparameter im ersten und im vierten Projektjahr erfasst wurden (V1 und V4). Davon waren 111 Schüler auf Kontrollschulen und 129 auf Interventionsschulen.

303 Schüler füllten sowohl im ersten als auch im vierten Projektjahr den Fragebogen aus (V1 und V4). Davon waren 129 auf Kontrollschulen und 174 auf Interventionsschulen.

Es wurde die Vergleichbarkeit der Kinder, die nur im ersten Projektjahr untersucht wurden und der Stichprobe mit kompletten Datensatz überprüft. Im Folgenden wird für die Daten der Kinder, die nur im ersten Projektjahr untersucht wurden, die Bezeichnung „Querschnittsdaten“ (V1 ohne V4) verwendet. Die Daten der Kinder, die im ersten und vierten Jahr untersucht wurden, werden im Folgenden als „Längsschnittsdaten“ (V1 und V4) bezeichnet.

### 4.2.1 Vergleichbarkeit von Alter, Größe und Gewicht

Tabelle 11 zeigt den Vergleich der Querschnittsdaten (V1 ohne V4) mit den Längsschnittsdaten (V1 und V4) hinsichtlich Alter, Größe und Gewicht der Schüler. Die Kinder der Gesamtstichprobe ( $n = 349$ ) und die Kindern mit vollständigem Datensatz ( $n = 240$ ) waren bezüglich Alter ( $p = 0,460$ ), Größe ( $p = 0,495$ ) und Gewicht ( $p = 0,499$ ) vergleichbar (Tab. 11).

**Tabelle 11. Alter, Größe und Gewicht zu Projektbeginn**

| Parameter     | Querschnittsdaten<br>(V1 ohne V4; n = 349)<br>Mittelwert ± SD | Längsschnittsdaten<br>(V1 und V4; n = 240)<br>Mittelwert ± SD | p-Wert |
|---------------|---|---|--------|
| Alter (Jahre) | 10,6 ± 0,7  | 10,6 ± 0,7  | 0,460  |
| Größe (cm)    | 148,0 ± 7,6   | 147,4 ± 7,7   | 0,495  |
| Gewicht (kg)  | 42,2 ± 11,5   | 41,6 ± 9,9  | 0,499  |

(T-Test für unabhängige Stichproben; n = Anzahl der Teilnehmer; SD = Standardabweichung)

## 4.2.2 Vergleichbarkeit der Pulswellenparameter

Tabelle 12 zeigt den Vergleich der Querschnittsdaten (V1 ohne V4) mit den Längsschnittsdaten (V1 und V4) hinsichtlich der Pulswellenparameter. Alle Pulswellenparameter waren vergleichbar.

**Tabelle 12. Vergleich der Pulswellenparameter zu Projektbeginn**

| Parameter                                   | Querschnittsdaten<br>(V1 ohne V4) |     | Längsschnittsdaten<br>(V1 und V4) |     | P-Wert |
|---|-----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|--------|
|   | Mittelwert<br>± SD                | n   | Mittelwert<br>± SD                | N   |        |
| zentraler systolischer Blutdruck<br>(mmHg)  | 101,9 ± 8,3                       | 190 | 101,7 ± 7,3                       | 241 | 0,748  |
| zentraler diastolischer Blutdruck<br>(mmHg) | 75,4 ± 7,6                        | 190 | 74,6 ± 7,3                        | 241 | 0,264  |
| zentraler Pulsdruck<br>(mmHg)               | 26,4 ± 6,0                        | 190 | 27,0 ± 5,9                        | 241 | 0,283  |
| zentraler Mitteldruck<br>(mmHg)             | 88,7 ± 7,6                        | 190 | 88,2 ± 6,8                        | 241 | 0,439  |
| zentraler Augmentationsdruck<br>(mmHg)      | 2,4 ± 3,4                         | 189 | 2,3 ± 2,9                         | 239 | 0,689  |
| zentraler Augmentationsindex<br>(%)         | 7,7 ± 11,1                        | 189 | 7,5 ± 9,4                         | 239 | 0,875  |

(T-Test für unabhängige Stichproben n = Anzahl der Teilnehmer; SD = Standardabweichung)

### 4.2.3 Vergleichbarkeit der körperlichen Aktivität

Tabelle 13 zeigt den Vergleich der Querschnittsdaten (V1 ohne V4) mit den Längsschnittsdaten (V1 und V4) hinsichtlich der körperlichen Aktivität. Die Daten waren vergleichbar.

**Tabelle 13. Mittelwerte der Anzahl der Tage, die die Schüler zu Projektbeginn angaben in der letzten bzw. einer normalen Woche mindestens 60 Minuten körperlich aktiv gewesen zu sein**

|   | Querschnittsdaten<br>(V1 ohne V4; n = 246) | Längsschnittsdaten<br>(V1 und V4; n = 303) | p-Wert |
|---|--|--|--------|
|   | Mittelwert $\pm$ SD                        | Mittelwert $\pm$ SD                        |        |
| Aktivität mindestens 60 min. in der letzten Woche (Tage/Woche)    | 3,3 $\pm$ 2,0                              | 3,2 $\pm$ 2,0                              | 0,807  |
| Aktivität mindestens 60 min. in einer normalen Woche (Tage/Woche) | 3,0 $\pm$ 2,0                              | 3,0 $\pm$ 1,8                              | 0,734  |

(T-Test für unabhängige Stichproben; n = Anzahl der Teilnehmer; SD = Standardabweichung)

## 4.3 Vergleich der Ausgangswerte zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zu Projektbeginn

### 4.3.1 Vergleich der Pulswellenparameter zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zu Projektbeginn (V1)

Zu Projektbeginn hatten die Interventionskinder einen durchschnittlichen Wert für den zentralen systolischen Blutdruck von  $102,4 \pm 7,8$  mmHg und die Kontrollkinder von  $100,8 \pm 6,6$  mmHg (Gruppenunterschied  $p > 0,05$ ). In den Interventionsschulen lag der durchschnittliche Wert für den zentralen diastolischen Blutdruck mit  $76,0 \pm 7,4$  mmHg signifikant höher als in den Kontrollschulen mit  $73,0 \pm 6,8$  mmHg (Gruppenunterschied  $p = 0,001$ ). Der durchschnittliche zentrale Pulsdruck lag in den Interventionsschulen bei  $26,4 \pm 5,6$  mmHg und in den Kontrollschulen bei  $27,7 \pm 5,8$  mmHg (Gruppenunterschied  $p > 0,05$ ). Die Interventionskinder hatten mit  $89,2 \pm 7,2$  mmHg einen signifikant höheren durchschnittlichen Wert für den zentralen Mitteldruck als Kontrollkinder mit  $87,1 \pm 6,2$  mmHg (Gruppenunterschied  $p = 0,020$ ).

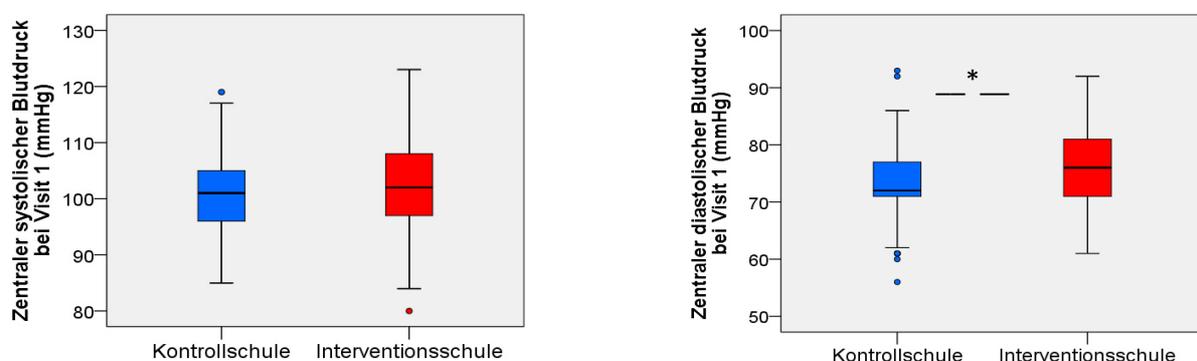
Der durchschnittliche Augmentationsdruck war in den Interventionsschulen mit  $1,8 \pm 2,9$  mmHg signifikant niedriger als in den Kontrollschulen mit  $2,8 \pm 2,7$  mmHg (Gruppenunterschied  $p = 0,008$ ). Der durchschnittliche Augmentationsindex zeigte in den Interventionsschulen mit  $6,1 \pm 9,8$  mmHg signifikant niedrigere Werte als in den Kontrollschulen mit  $9,3 \pm 8,7$  mmHg (Gruppenunterschied  $p = 0,008$ ) (Tab. 14).

**Tabelle 14. Vergleich der Mittelwerte der Pulswellenparameter zu Projektbeginn zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe**

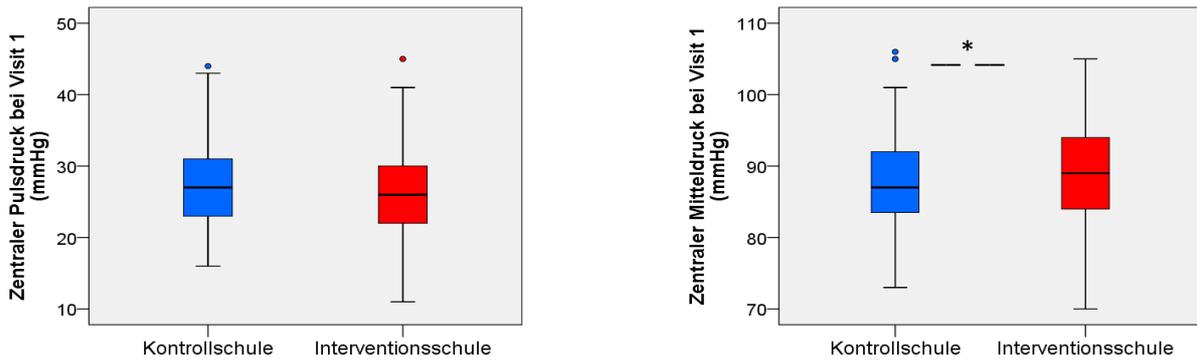
|  |    | n   | Mittelwert $\pm$ SD | Mittlere Differenz (95% KI) | p-Wert |
|--|----|-----|---------------------|-----------------------------|--------|
| Zentraler systolischer Blutdruck (mmHg)  | KS | 111 | $100,8 \pm 6,6$     | 1,6 (-0,2 bis 3,5)          | 0,078  |
|  | IS | 129 | $102,4 \pm 7,8$     |                             |        |
| zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg) | KS | 111 | $73,0 \pm 6,8$      | 3,0 (1,2 bis 4,9)           | 0,001  |
|  | IS | 129 | $76,0 \pm 7,4$      |                             |        |
| Zentraler Pulsdruck (mmHg)               | KS | 111 | $27,7 \pm 5,8$      | -1,3 (-2,8 bis 0,2)         | 0,080  |
|  | IS | 129 | $26,4 \pm 5,6$      |                             |        |
| zentraler Mitteldruck (mmHg)             | KS | 111 | $87,1 \pm 6,2$      | 2,1 (0,3 bis 3,8)           | 0,020  |
|  | IS | 129 | $89,2 \pm 7,2$      |                             |        |
| zentraler Augmentationsdruck (mmHg)      | KS | 110 | $2,8 \pm 2,7$       | -1,0 (-1,7 bis -0,3)        | 0,008  |
|  | IS | 128 | $1,8 \pm 2,9$       |                             |        |
| zentraler Augmentationsindex (%)         | KS | 110 | $9,3 \pm 8,7$       | -3,2 (-5,6 bis -0,8)        | 0,008  |
|  | IS | 128 | $6,1 \pm 9,8$       |                             |        |

(T-Test für unabhängige Stichproben; n = Anzahl der Teilnehmer; KS = Kontrollschule; IS = Interventionsschule; SD = Standardabweichung; KI = Konfidenzintervall)

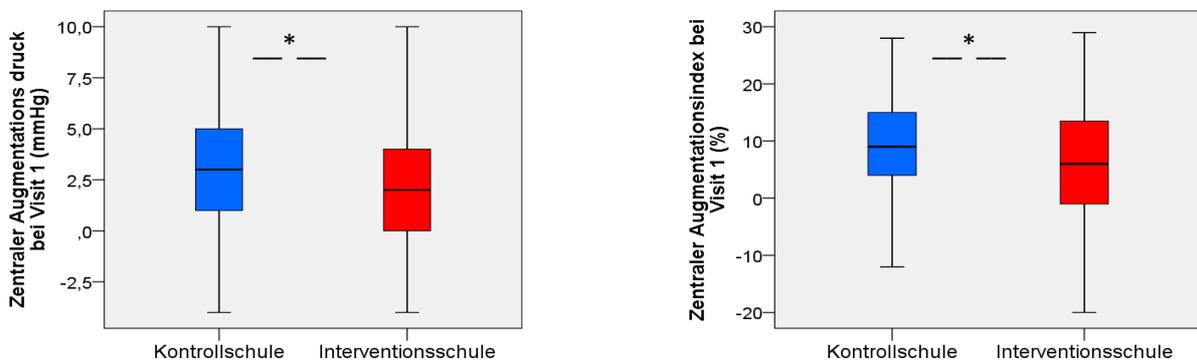
Die folgenden Boxplot-Diagramme (Abbildungen 21 bis 23) zeigen die graphische Darstellung der Pulswellenparameter in den Kontroll- und Interventionsschule zu Projektbeginn.



**Abbildung 21. Zentraler systolischer und zentraler diastolischer Blutdruck\* zu Projektbeginn in Abhängigkeit vom Schultyp**



**Abbildung 22. Zentraler Pulsdruck und zentraler Mitteldruck zu Projektbeginn in Abhängigkeit vom Schultyp**



**Abbildung 23. Zentraler Augmentationsdruck und zentraler Augmentationsindex zu Projektbeginn in Abhängigkeit vom Schultyp**

\* = Signifikanter Gruppenunterschied

#### 4.3.2 Vergleich der körperlichen Aktivität zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zu Projektbeginn (V1)

Tabelle 15 zeigt, dass es zu Projektbeginn zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Angaben zur körperlichen Aktivität gab.

**Tabelle 15. Vergleich der Mittelwerte der körperlichen Aktivität zu Projektbeginn zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe**

|   |    | n   | Mittelwert<br>± SD | Mittlere Differenz<br>(95% KI) | p-Wert |
|---|----|-----|--------------------|--------------------------------|--------|
| Aktivität mindestens 60 min. in der letzten Woche (Tage/Woche)    | KS | 129 | 3,1 ± 2,0          | 0,3 (-0,2 bis 0,7)             | 0,235  |
|   | IS | 174 | 3,3 ± 2,0          |                                |        |
| Aktivität mindestens 60 min. in einer normalen Woche (Tage/Woche) | KS | 129 | 2,9 ± 1,8          | 0,1 (0,3 bis 0,5)              | 0,531  |
|   | IS | 174 | 3,0 ± 1,8          |                                |        |

(T-Test für unabhängige Stichproben; n = Anzahl der Teilnehmer; KS = Kontrollschule; IS = Interventionsschule; SD = Standardabweichung; KI = Konfidenzintervall)

## 4.4 Veränderung der Pulswellenparameter vom ersten bis zum vierten Projektjahr

Wesentliche Fragestellung der Arbeit war, ob die Intervention der ersten vier Projektjahre eine Veränderung der Pulswellenparameter hervorgerufen hat.

### 4.4.1 Veränderung der Pulswellenparameter innerhalb der Kontrollgruppe und innerhalb der Interventionsgruppe im Projektverlauf

Bei den Schülern der Kontrollgruppe verringerte sich der zentrale systolische Blutdruck von  $100,8 \pm 6,6$  mmHg auf  $96,6 \pm 9,0$  mmHg, der zentrale Pulsdruck von  $27,7 \pm 5,8$  mmHg auf  $23,2 \pm 5,9$  mmHg und der Augmentationsindex von  $9,3 \pm 8,7$  mmHg auf  $0,8 \pm 2,2$  mmHg im Projektverlauf signifikant ( $p < 0,001$ ). Der zentrale Mitteldruck verringerte sich signifikant von  $87,1 \pm 6,2$  mmHg auf  $84,2 \pm 8,7$  mmHg ( $p = 0,003$ ). Der zentrale diastolische Blutdruck und der zentrale Augmentationsdruck blieben weitgehend unverändert ( $p > 0,05$ ) (Tab. 16).

In der Interventionsgruppe zeigte sich eine signifikante Verringerung für den zentralen systolischen Blutdruck von  $102,4 \pm 7,8$  mmHg auf  $96,9 \pm 11,3$  mmHg, den zentralen Mitteldruck von  $89,2 \pm 7,2$  mmHg auf  $84,4 \pm 8,9$  mmHg und den Augmentationsindex von  $6,1 \pm 9,8$  % auf  $1,0 \pm 2,7$  % ( $p < 0,001$ ). Der zentrale

diastolische Blutdruck nahm von  $76,0 \pm 7,4$  mmHg auf  $73,3 \pm 8,3$  mmHg und der zentrale Pulsdruck von  $26,4 \pm 5,6$  mmHg auf  $23,6 \pm 9,7$  mmHg signifikant ab ( $p = 0,004$ ). Bei dem Augmentationsdruck war ein Anstieg von  $1,8 \pm 2,9$  mmHg auf  $3,5 \pm 10,6$  mmHg zu verzeichnen ( $p = 0,046$ ) (Tab.16).

**Tabelle 16. Veränderungen der Pulswellenparameter innerhalb der Kontrollgruppe und innerhalb der Interventionsgruppe im Projektverlauf**

|  |    | n   | V1<br>(MW $\pm$ SD) | V4<br>(MW $\pm$ SD) | Mittlere Differenz<br>(95% KI) | p-Wert |
|--|----|-----|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------|
| zentraler<br>systolischer<br>Blutdruck (mmHg)  | KS | 111 | 100,8 $\pm$ 6,6     | 96,6 $\pm$ 9,0      | 4,2 (2,2 bis 6,1)              | <0,001 |
|  | IS | 129 | 102,4 $\pm$ 7,8     | 96,9 $\pm$ 11,3     | 5,5 (3,2 bis 7,9)              | <0,001 |
| zentraler<br>diastolischer<br>Blutdruck (mmHg) | KS | 111 | 73,0 $\pm$ 6,8      | 73,4 $\pm$ 6,8      | -0,4 (-2,4 bis 1,6)            | 0,681  |
|  | IS | 129 | 76,0 $\pm$ 7,4      | 73,3 $\pm$ 8,3      | 2,7 (0,9 bis 4,7)              | 0,004  |
| zentraler<br>Pulsdruck (mmHg)                  | KS | 111 | 27,7 $\pm$ 5,8      | 23,2 $\pm$ 5,9      | 4,5 (2,99 bis 6,1)             | <0,001 |
|  | IS | 129 | 26,4 $\pm$ 5,6      | 23,6 $\pm$ 9,7      | 2,8 (0,9 bis 4,7)              | 0,004  |
| zentraler<br>Mitteldruck (mmHg)                | KS | 111 | 87,1 $\pm$ 6,2      | 84,2 $\pm$ 8,7      | 2,9 (1,0 bis 4,7)              | 0,003  |
|  | IS | 129 | 89,2 $\pm$ 7,2      | 84,4 $\pm$ 8,9      | 4,8 (2,9 bis 6,7)              | <0,001 |
| Zentraler<br>Augmentations-<br>druck (mmHg)    | KS | 110 | 2,8 $\pm$ 2,7       | 3,2 $\pm$ 8,8       | -0,4 (-2,1 bis 1,2)            | 0,584  |
|  | IS | 128 | 1,8 $\pm$ 2,9       | 3,5 $\pm$ 10,6      | -1,7 (-3,4 bis 0,0)            | 0,046  |
| zentraler<br>Augmentations-<br>index (%)       | KS | 110 | 9,3 $\pm$ 8,7       | 0,8 $\pm$ 2,2       | 8,5 (7,0 bis 10,1)             | <0,001 |
|  | IS | 128 | 6,1 $\pm$ 9,8       | 1,0 $\pm$ 2,7       | 5,1 (3,5 bis 6,6)              | <0,001 |

(T-Test bei gepaarten Stichproben; V1 = erstes Projektjahr; V4 = viertes Projektjahr; n = Anzahl der Teilnehmer; KS = Kontrollschule; IS = Interventionsschule; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; KI = Konfidenzintervall)

#### 4.4.2 Vergleich der Gruppenunterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe im Projektverlauf

Bezüglich der Veränderungen zeigte sich in den Kontroll- und Interventionsschulen für den zentralen systolischen Blutdruck ( $p = 0,374$ ), für den zentralen Pulsdruck ( $p =$

0,175), für den zentralen Mitteldruck ( $p = 0,154$ ) und für den zentralen Augmentationsdruck ( $p = 0,248$ ) kein signifikanter Gruppenunterschied (Tab. 17).

Der Anstieg des zentralen diastolischen Blutdrucks in der Kontrollgruppe um  $0,4 \pm 10,6$  mmHg und der Abfall des zentralen diastolischen Blutdrucks in der Interventionsgruppe um  $2,7 \pm 10,7$  mmHg ergab einen signifikanten Gruppenunterschied ( $p = 0,021$ ). In den Interventionsschulen zeigt der zentrale Augmentationsindex mit  $5,1 \pm 9,0$  % einen geringeren Abfall als in den Kontrollschulen mit  $8,5 \pm 8,3$  % und damit einen signifikanten Gruppenunterschied ( $p = 0,003$ ) (Tab.17).

**Tabelle 17. Vergleich der Pulswellenparameterveränderungen zwischen den Kontroll- und Interventionsschulen**

|  |    | n   | Mittelwert $\pm$ SD | Mittlere Differenz<br>(95% KI) | p-Wert |
|--|----|-----|---------------------|--------------------------------|--------|
| Zentraler systolischer Blutdruck (mmHg)  | KS | 111 | $4,2 \pm 10,4$      | -1,3 (-4,5 bis 1,7)            | 0,374  |
|  | IS | 129 | $5,5 \pm 13,3$      |                                |        |
| zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg) | KS | 111 | $-0,4 \pm 10,6$     | -3,1 (-5,9 bis 0,5)            | 0,021  |
|  | IS | 129 | $2,7 \pm 10,7$      |                                |        |
| Zentraler Pulsdruck (mmHg)               | KS | 111 | $4,5 \pm 8,2$       | 1,7 (-0,8 bis 4,2)             | 0,175  |
|  | IS | 129 | $2,8 \pm 10,9$      |                                |        |
| zentraler Mitteldruck (mmHg)             | KS | 111 | $2,9 \pm 9,9$       | -1,9 (-4,6 bis 0,7)            | 0,154  |
|  | IS | 129 | $4,8 \pm 10,9$      |                                |        |
| zentraler Augmentationsdruck (mmHg)      | KS | 110 | $-0,4 \pm 8,5$      | 1,3 (-1,1 bis 3,7)             | 0,284  |
|  | IS | 128 | $-1,7 \pm 9,7$      |                                |        |
| zentraler Augmentationsindex (%)         | KS | 110 | $8,5 \pm 8,3$       | 3,4 (1,2 bis 5,7)              | 0,003  |
|  | IS | 128 | $5,1 \pm 9,0$       |                                |        |

(T-Test für unabhängige Stichproben; n = Anzahl der Teilnehmer; KS = Kontrollschule; IS = Interventionsschule; SD = Standardabweichung; KI = Konfidenzintervall)

## 4.5 Veränderung der körperlichen Aktivität im Projektverlauf

### 4.5.1 Veränderung der körperlichen Aktivität innerhalb der Kontrollgruppe und innerhalb der Interventionsgruppe im Projektverlauf

Die durchschnittliche körperliche Aktivität der „letzten Woche“ erhöhte sich in der Kontrollgruppe von  $3,0 \pm 2,0$  Tage auf  $3,6 \pm 2,1$  Tage ( $p = 0,020$ ) und in der Interventionsgruppe von  $3,3 \pm 2,0$  Tage auf  $3,9 \pm 1,8$  Tage ( $p = 0,001$ ) signifikant (Tab.18).

Die durchschnittliche körperliche Aktivität der „normalen Woche“ zeigte im Projektverlauf in der Kontrollgruppe einen Anstieg von  $2,9 \pm 1,8$  Tage auf  $3,2 \pm 1,8$  Tage ( $p = 0,118$ ). In der Interventionsgruppe erhöhte sich der durchschnittliche Wert für die körperliche Aktivität der „normalen Woche“ signifikant von  $3,0 \pm 1,8$  Tage auf  $3,5 \pm 1,7$  Tage ( $p = 0,002$ ) (Tab.18).

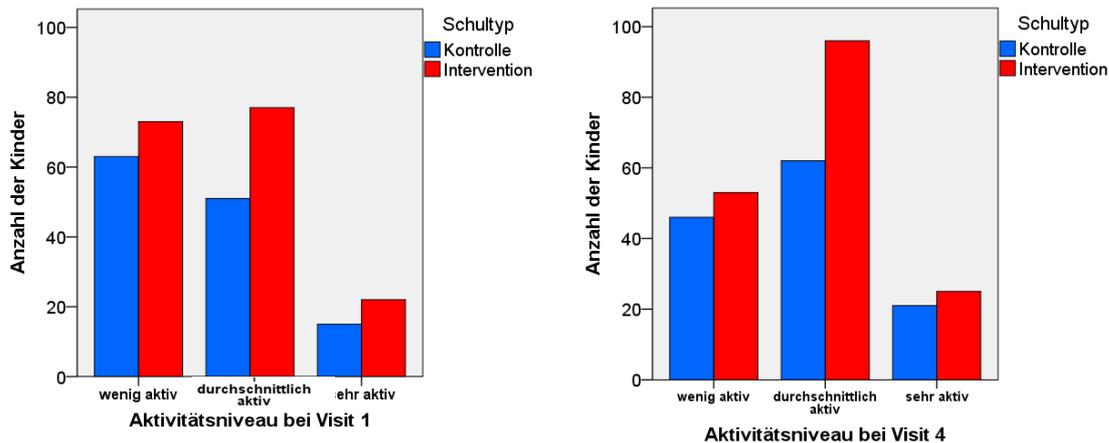
**Tabelle 18. Anzahl der Tage, an denen die Schüler mindestens 60 Minuten körperlich aktiv waren**

|  |    | V1            |     | V4            |     | Mittlere Differenz<br>(95% KI) | p-Wert |
|--|----|---------------|-----|---------------|-----|--------------------------------|--------|
|  |    | MW<br>SD      | ± n | MW ± SD       | n   |                                |        |
| Aktivität in der<br>letzten Woche<br>(Tage/ Woche)       | KS | $3,0 \pm 2,0$ | 129 | $3,6 \pm 2,1$ | 129 | -0,6 (-1,0 bis -0,9)           | 0,020  |
|  | IS | $3,3 \pm 2,0$ | 174 | $3,9 \pm 1,8$ | 174 | -0,6 (-0,9 bis -0,2)           | 0,001  |
| Aktivität in<br>einer normalen<br>Woche (Tage/<br>Woche) | KS | $2,9 \pm 1,8$ | 129 | $3,2 \pm 1,8$ | 129 | -0,3 (-0,8 bis 0,1)            | 0,118  |
|  | IS | $3,0 \pm 1,8$ | 174 | $3,5 \pm 1,7$ | 174 | -0,5 (-0,8 bis -0,2)           | 0,002  |

(T-Test bei gepaarten Stichproben; Aktivität in der letzten Woche = „An wie vielen Tagen warst du letzte Woche mindestens 60 Minuten körperlich so aktiv, dass du ins Schwitzen oder außer Atem gekommen bist?“; Aktivität in einer normalen Woche = „An wie vielen Tagen einer normalen Woche bist du mindestens 60 Minuten körperlich so aktiv, dass du ins Schwitzen oder außer Atem kommst?“; V1 = erstes Projektjahr; V4 = viertes Projektjahr; n = Anzahl der Teilnehmer; KS = Kontrollschule; IS = Interventionsschule; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; KI = Konfidenzintervall)

Abbildung 24 zeigt die Veränderung des Aktivitätsniveaus der Kinder in den Kontroll- und Interventionsschulen im Projektverlauf. In den Kontrollschulen ( $n = 129$ ) verringerte sich der Anteil der Kinder, die 2 oder weniger Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind, von 48,8% (63 Kinder) auf 35,7% (46 Kinder). Der Anteil der Kinder, die 3 bis 5 Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind, stieg von 39,5% (51 Kinder) auf 48,1% (62 Kinder). Die Anzahl der Kinder, die 5 oder mehr Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind, stieg von 15 Kindern (11,6%) auf 21 Kinder (16,3%).

In den Interventionsschulen (n = 174 Kinder) ging der Anteil der Kinder, die 2 oder weniger Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind, von 42,0% (73 Kinder) auf 30,5% (53 Kinder) zurück. Der Anteil der Kinder, die 3 bis 5 Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind, stieg von 44,3% (77 Kinder) auf 55,2% (96 Kinder). Die Anzahl der Kinder, die 5 oder mehr Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind, stieg von 22 Kindern (12,6%) auf 25 Kinder (14,4%) (Abb. 24).



**Abbildung 24. Veränderung des Aktivitätsniveaus in Kontroll- und Interventionsgruppe im Projektverlauf** (wenig aktiv = Kinder, die 2 oder weniger Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind; durchschnittlich aktiv = Kinder, die 3-5 Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind; sehr aktiv = Kinder, die 5 oder mehr Tage in der Woche mindestens 60 min. aktiv sind)

#### 4.5.2 Vergleich der Entwicklung der körperlichen Aktivität zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe im Projektverlauf

Für die körperliche Aktivität der „letzten Woche“ zeigte sich zwischen Kontrollschulen ( $0,6 \pm 2,2$  Tage/Woche) und Interventionsschulen ( $0,6 \pm 2,7$  Tage/Woche) kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,978$ ; Tab.19).

Die körperliche Aktivität einer „normalen Woche“ zeigte in den Interventionsschulen ( $0,5 \pm 2,4$  Tage/Woche) einen etwas höheren Anstieg als in den Kontrollschulen ( $0,3 \pm 2,1$  Tage/Woche). Der Gruppenunterschied war nicht signifikant ( $p = 0,543$  Tab.19).

**Tabelle 19. Vergleich der Aktivitätsveränderung zwischen den Kontroll- und Interventionsschulen**

|   |    | n   | Mittelwert ± SD | Mittlere Differenz (95% KI) | p-Wert |
|---|----|-----|-----------------|-----------------------------|--------|
| Aktivität mindestens 60 min. in der letzten Woche (Tage/Woche)    | KS | 129 | -0,6 ± 2,2      | 0,0 (-0,6 bis 0,6)          | 0,978  |
|   | IS | 174 | -0,6 ± 2,7      |                             |        |
| Aktivität mindestens 60 min. in einer normalen Woche (Tage/Woche) | KS | 129 | -0,3 ± 2,1      | -0,2 (-0,7 bis 0,4)         | 0,543  |
|   | IS | 174 | -0,5 ± 2,4      |                             |        |

(T-Test für unabhängige Stichproben; n = Anzahl der Teilnehmer; KS = Kontrollschule; IS = Interventionsschule; SD = Standardabweichung; KI = Konfidenzintervall)

## 4.6 Korrelationen zwischen Pulswellenparametern, Anthropometrie, Blutparametern und körperlicher Aktivität

### 4.6.1 Korrelationen zwischen Pulswellenparametern und Anthropometrie

Tabelle 20 zeigt, dass der zentrale systolische Blutdruck mit dem BMI ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ), dem BMI-SDS ( $r = 0,26$ ;  $p < 0,001$ ), dem Bauchumfang ( $r = 0,25$ ;  $p < 0,001$ ) und dem Körperfettanteil ( $r = 0,26$ ;  $p < 0,001$ ) schwach korrelierte.

Der zentrale diastolische Blutdruck zeigte ebenfalls eine schwache Korrelation mit dem BMI ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ), dem BMI-SDS ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ), dem Bauchumfang ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) und dem Körperfettanteil ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ).

Der zentrale Mitteldruck korrelierte schwach mit dem BMI ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ), dem BMI-SDS ( $r = 0,24$ ;  $p < 0,001$ ), dem Bauchumfang ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ) und dem Körperfettanteil ( $r = 0,25$ ;  $p < 0,001$ ).

**Tabelle 20. Korrelation zwischen Anthropometrie und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn**

|  |   | BMI          | BMI-SDS      | Bauchumfang (cm) | Körperfettanteil (%) |
|--|---|--------------|--------------|------------------|----------------------|
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )                 | r | 1            | <b>0,95*</b> | <b>0,94*</b>     | <b>0,89*</b>         |
|  | p |              | <0,001       | <0,001           | <0,001               |
|  | N | 606          | 606          | 606              | 606                  |
| BMI-SDS                                  | r | <b>0,95*</b> | 1            | <b>0,88*</b>     | <b>0,89*</b>         |
|  | p | <0,001       |              | <0,001           | <0,001               |
|  | N | 606          | 606          | 606              | 606                  |
| Bauchumfang (cm)                         | r | <b>0,94*</b> | <b>0,88*</b> | 1                | <b>0,84*</b>         |
|  | p | <0,001       | <0,001       |                  | <0,001               |
|  | N | 606          | 606          | 606              | 606                  |
| Körperfettanteil (%)                     | r | <b>0,89*</b> | <b>0,89*</b> | <b>0,84*</b>     | 1                    |
|  | p | <0,001       | <0,001       | <0,001           |                      |
|  | N | 606          | 606          | 606              | 606                  |
| Zentraler systolischer Blutdruck (mmHg)  | r | <b>0,23*</b> | <b>0,26*</b> | <b>0,25*</b>     | <b>0,26*</b>         |
|  | p | <0,001       | <0,001       | <0,001           | <0,001               |
|  | N | 433          | 433          | 433              | 433                  |
| Zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg) | r | <b>0,22*</b> | <b>0,23*</b> | <b>0,22*</b>     | <b>0,23*</b>         |
|  | p | <0,001       | <0,001       | <0,001           | <0,001               |
|  | N | 433          | 433          | 433              | 433                  |
| Zentraler Pulsdruck (mmHg)               | r | 0,04         | 0,05         | 0,05             | 0,04                 |
|  | p | 0,451        | 0,304        | 0,310            | 0,364                |
|  | N | 433          | 433          | 433              | 433                  |
| Zentraler Mitteldruck (mmHg)             | r | <b>0,22*</b> | <b>0,24*</b> | <b>0,23*</b>     | <b>0,25*</b>         |
|  | p | <0,001       | <0,001       | <0,001           | <0,001               |
|  | N | 433          | 433          | 433              | 433                  |
| zentraler Augmentationsdruck (mmHg)      | r | -0,04        | -0,02        | -0,03            | 0,04                 |
|  | p | 0,459        | 0,745        | 0,505            | 0,366                |
|  | N | 430          | 430          | 430              | 430                  |
| zentraler Augmentationsindex (%)         | r | -0,04        | -0,02        | -0,05            | 0,04                 |
|  | p | 0,439        | 0,691        | 0,354            | 0,401                |
|  | N | 430          | 430          | 430              | 430                  |

(\* = Die Korrelation ist signifikant)

#### 4.6.1.1 Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI in den einzelnen Projektjahren

Im ersten Projektjahr zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und dem BMI. Zur weiteren Überprüfung wurde die Korrelation zwischen Augmentationsindex und dem BMI im zweiten, dritten und vierten Projektjahr untersucht. Es konnte in keinem der Projektjahre eine signifikante Korrelation festgestellt werden (Tab. 21).

**Tabelle 21 Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI in den Projektjahren**

| Projektjahr |   | Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI |
|-------------|---|---|
| Visit 1     | r | -0,04   |
|             | p | 0,439   |
|             | N | 430   |
| Visit 2     | r | -0,08   |
|             | p | 0,071   |
|             | N | 504   |
| Visit 3     | r | 0,01  |
|             | p | 0,911   |
|             | N | 469   |
| Visit 4     | r | 0,09  |
|             | p | 0,061   |
|             | N | 444   |

Weiterhin wurde die Korrelation des Augmentationsindexes mit dem BMI in der Gruppe übergewichtigen Schüler betrachtet. Es ergab sich für keines der Projektjahre eine signifikante Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI (Tab. 22).

**Tabelle 22 Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI in den Projektjahren in der Gruppe der Übergewichtigen**

| Projektjahr |   | Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI |
|-------------|---|---|
| Visit 1     | r | -0,08   |
|             | p | 0,409   |
|             | N | 110   |
| Visit 2     | r | -0,01   |
|             | p | 0,910   |
|             | N | 136   |
| Visit 3     | r | -0,07   |
|             | p | 0,438   |
|             | N | 122   |
| Visit 4     | r | 0,16  |
|             | p | 0,096   |
|             | N | 113   |

#### 4.6.2 Korrelationen zwischen Pulswellenparametern und Blutparametern

Es wurden keine wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Blutparametern zu Projektbeginn und den Pulswellenparametern gefunden. Lediglich bei den Triglyceriden konnte ein sehr schwacher Zusammenhang mit dem zentralen systolischen Blutdruck ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,043$ ), dem zentralen Mitteldruck ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,039$ ), dem zentralen Augmentationsdruck ( $r = 0,17$ ;  $p = 0,004$ ) und dem zentralen Augmentationsindex ( $r = 0,18$ ;  $p = 0,003$ ) gefunden werden (Tab. 23).

**Tabelle 23. Korrelation zwischen Blutwerten und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn**

|   |   | Cholesterin<br>(gesamt)<br>(mg/dl) | HDL-<br>Cholesterin<br>(mg/dl) | LDL-<br>Cholesterin<br>(mg/dl) | Triglyceride<br>(mg/dl) | Blutzucker<br>(mg/dl) | Hoch-<br>sensitives<br>CRP<br>(mg/dl) |
|---|---|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Cholesterin<br>(gesamt)<br>(mg/dl)                | r | 1                                  | <b>0,31*</b>                   | <b>0,93*</b>                   | <b>0,29*</b>            | -0,04                 | 0,05                                  |
|   | p |                                    | <0,001                         | <0,001                         | <0,001                  | 0,384                 | 0,304                                 |
|   | N | 394                                | 394                            | 393                            | 392                     | 394                   | 394                                   |
| HDL-<br>Cholesterin<br>(mg/dl)                    | r | <b>0,31*</b>                       | 1                              | 0,01                           | <b>-0,37*</b>           | -0,03                 | 0,02                                  |
|   | p | <0,001                             |                                | 0,917                          | <0,001                  | 0,555                 | 0,751                                 |
|   | N | 394                                | 394                            | 393                            | 392                     | 394                   | 394                                   |
| LDL-<br>Cholesterin<br>(mg/dl)                    | r | <b>0,93*</b>                       | 0,01                           | 1                              | <b>0,32*</b>            | -0,02                 | 0,08                                  |
|   | p | <0,001                             | 0,917                          |                                | <0,001                  | 0,675                 | 0,131                                 |
|   | N | 393                                | 393                            | 393                            | 391                     | 393                   | 393                                   |
| Triglyceride<br>(mg/dl)                           | r | <b>0,29*</b>                       | <b>-0,37*</b>                  | <b>0,32*</b>                   | 1                       | 0,05                  | 0,01                                  |
|   | p | <0,001                             | <0,001                         | <0,001                         |                         | 0,339                 | 0,857                                 |
|   | N | 392                                | 392                            | 391                            | 392                     | 392                   | 392                                   |
| Blutzucker<br>(mg/dl)                             | r | -0,04                              | -0,03                          | -0,02                          | -0,05                   | 1                     | -0,04                                 |
|   | p | 0,384                              | 0,555                          | 0,675                          | 0,339                   |                       | 0,483                                 |
|   | N | 394                                | 394                            | 393                            | 392                     | 394                   | 394                                   |
| hochsensitives<br>CRP (mg/dl)                     | r | 0,05                               | 0,02                           | 0,08                           | 0,01                    | -0,04                 | 1                                     |
|   | p | 0,304                              | 0,751                          | 0,131                          | 0,857                   | 0,483                 |                                       |
|   | N | 394                                | 394                            | 393                            | 392                     | 394                   | 394                                   |
| Zentraler<br>systolischer<br>Blutdruck<br>(mmHg)  | r | 0,05                               | -0,09                          | 0,08                           | <b>0,12*</b>            | 0,03                  | 0,02                                  |
|   | p | 0,443                              | 0,136                          | 0,192                          | 0,043                   | 0,600                 | 0,761                                 |
|   | N | 280                                | 280                            | 279                            | 278                     | 280                   | 280                                   |
| Zentraler<br>diastolischer<br>Blutdruck<br>(mmHg) | r | 0,08                               | -0,01                          | 0,09                           | 0,10                    | -0,02                 | 0,08                                  |
|   | p | 0,210                              | 0,896                          | 0,157                          | 0,092                   | 0,799                 | 0,196                                 |
|   | N | 280                                | 280                            | 279                            | 278                     | 280                   | 280                                   |
| Zentraler<br>Pulsdruck<br>(mmHg)                  | r | -0,03                              | -0,11                          | < 0,01                         | 0,04                    | 0,06                  | -0,07                                 |
|   | p | 0,617                              | 0,058                          | 0,974                          | 0,470                   | 0,308                 | 0,234                                 |
|   | N | 280                                | 280                            | 279                            | 278                     | 280                   | 280                                   |
| Zentraler<br>Mitteldruck<br>(mmHg)                | r | 0,06                               | -0,04                          | 0,08                           | <b>0,12*</b>            | 0,01                  | 0,01                                  |
|   | p | 0,333                              | 0,466                          | 0,184                          | 0,039                   | 0,925                 | 0,334                                 |
|   | N | 280                                | 280                            | 279                            | 278                     | 280                   | 280                                   |
| zentraler<br>Augmentationsd<br>ruck (mmHg)        | r | < 0,01                             | -0,07                          | 0,02                           | <b>0,17*</b>            | -0,10                 | 0,01                                  |
|   | p | 0,99                               | 0,24                           | 0,80                           | 0,004                   | 0,108                 | 0,936                                 |
|   | N | 279                                | 279                            | 278                            | 277                     | 279                   | 279                                   |
| zentraler<br>Augmentat<br>ionsindex<br>(%)        | r | < 0,01                             | -0,06                          | 0,02                           | <b>0,18*</b>            | -0,10                 | 0,03                                  |
|   | p | 0,947                              | 0,307                          | 0,697                          | 0,003                   | 0,099                 | 0,647                                 |
|   | N | 279                                | 279                            | 278                            | 277                     | 279                   | 279                                   |

(\* = Die Korrelation ist signifikant)

### 4.6.3 Korrelationen zwischen Pulswellenparametern, körperlicher Aktivität, Sitzzeit und Medienkonsum

Tabelle 24 zeigt, dass im ersten Projektjahr der Augmentationsdruck mit der körperlichen Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,13$ ;  $p = 0,013$ ), der körperlichen Aktivität der „letzten Woche“ ( $r = -0,14$ ;  $p = 0,005$ ) und dem Aktivitätsniveau ( $r = -0,13$ ;  $p = 0,013$ ) sehr schwach korrelierte.

Der Augmentationsindex korrelierte sehr schwach mit der körperlichen Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,11$ ;  $p = 0,032$ ), der körperlichen Aktivität der „letzten“ Woche“ ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,018$ ) und dem Aktivitätsniveau ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,02$ ) (Tab. 24).

Die Zeit, die die Kinderangaben unter der Woche an einem Tag sitzend zu verbringen, beschreibt die „Sitzzeit“. Diese korrelierte sehr schwach mit dem zentralen Pulsdruck ( $r = 0,16$ ;  $p = 0,003$ ; Tab. 24).

Der Medienkonsum beschreibt die Zeit, die die Kinder unter der Woche an einen Tag mit Fernsehen, Computer- oder „Playstation“-Spielen verbringen. Dieser korrelierte stark mit der „Sitzzeit“ ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,001$ ) und schwach mit dem zentralen Pulsdruck ( $r = 0,16$ ;  $p = 0,002$ ) (Tab. 24).

**Tabelle 24. Korrelation zwischen der körperlichen Aktivität und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn**

|   |   | Aktivität mindestens 60 min. in einer normalen Woche (Tage/Woche) | Aktivität mindestens 60 min. in der letzten Woche (Tage/Woche) | Aktivitätsniveau | „Sitzzeit“ (h/d) | Medienkonsum (h/d) |
|---|---|---|--|------------------|------------------|--------------------|
| Aktivität mindestens 60 min. in einer normalen Woche (Tage/Woche) | r | 1   | <b>0,89*</b>   | <b>0,92*</b>     | -0,08            | -0,07              |
|   | p |   | <0,001   | <0,001           | 0,071            | 0,126              |
|   | N | 533   | 527  | 533              | 497              | 500                |
| Aktivität mindestens 60 min. in der letzten Woche (Tage/Woche)    | r | <b>0,89*</b>  | 1  | <b>0,82*</b>     | -0,07            | -0,06              |
|   | p | <0,001  |  | <0,001           | 0,101            | 0,196              |
|   | N | 527   | 527  | 527              | 510              | 505                |
| Aktivitätsniveau  | r | <b>0,93*</b>  | <b>0,82*</b>   | 1                | -0,07            | -0,06              |
|   | p | <0,001  | <0,001   |                  | 0,144            | 0,200              |
|   | N | 533   | 527  | 548              | 510              | 514                |
| Sitzzeit (h/d)  | r | -0,08   | -0,07  | -0,07            | 1                | <b>0,94*</b>       |
|   | p | 0,071   | 0,101  | 0,144            |                  | <0,001             |
|   | N | 497   | 510  | 510              | 510              | 510                |
| Medienkonsum (h/d)  | r | -0,07   | -0,06  | -0,06            | <b>0,94*</b>     | 1                  |
|   | p | 0,126   | 0,196  | 0,200            | <0,001           |                    |
|   | N | 500   | 505  | 514              | 510              | 514                |
| Zentraler systolischer Blutdruck (mmHg)                           | r | -0,04   | -0,05  | < 0,01           | 0,08             | 0,07               |
|   | p | 0,491   | 0,336  | 0,948            | 0,128            | 0,176              |
|   | N | 379   | 377  | 388              | 362              | 363                |
| Zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg)                          | r | 0,02  | 0,01   | 0,02             | -0,05            | -0,06              |
|   | p | 0,681   | 0,794  | 0,649            | 0,341            | 0,235              |
|   | N | 379   | 377  | 388              | 362              | 363                |
| Zentraler Pulsdruck (mmHg)  | r | -0,07   | -0,08  | -0,02            | <b>0,16*</b>     | <b>0,16*</b>       |
|   | p | 0,180   | 0,133  | 0,713            | 0,003            | 0,002              |
|   | N | 379   | 377  | 388              | 362              | 363                |
| Zentraler Mitteldruck (mmHg)                                      | r | < 0,01  | -0,01  | 0,02             | -0,01            | -0,02              |
|   | p | 0,988   | 0,830  | 0,718            | 0,914            | 0,662              |
|   | N | 379   | 377  | 388              | 362              | 363                |
| zentraler Augmentationsdruck (mmHg)                               | r | <b>-0,13*</b>   | <b>-0,14*</b>  | <b>-0,13*</b>    | -0,07            | -0,05              |
|   | p | 0,013   | 0,005  | 0,013            | 0,217            | 0,336              |
|   | N | 376   | 374  | 385              | 359              | 360                |
| zentraler Augmentationsindex (%)                                  | r | <b>-0,11*</b>   | <b>-0,12*</b>  | <b>-0,12*</b>    | -0,07            | -0,06              |
|   | p | 0,032   | 0,018  | 0,015            | 0,167            | 0,296              |
|   | N | 376   | 374  | 385              | 359              | 360                |

(\* = Die Korrelation ist signifikant)

#### 4.6.3.1 Korrelation zwischen Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität in den Projektjahren

Zur weiteren Überprüfung wurde die Korrelation zwischen der körperlichen Aktivität und dem Augmentationsindex in den einzelnen Projektjahren untersucht. Es ergab sich nur für das erste Projektjahr eine schwache Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität einer normalen Woche ( $r = -0,11$ ;  $p = 0,032$ ; Tab. 25). In den anderen Projektjahren zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen der körperlichen Aktivität und dem Augmentationsindex.

**Tabelle 25. Korrelation zwischen Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität in einer normalen Woche**

| Projektjahr |   | Korrelation zwischen Augmentationsindex (%) und der körperlichen Aktivität in einer normalen Woche (Tage/Woche) |
|-------------|---|---|
| Visit 1     | r | <b>-0,11*</b>   |
|             | p | 0,032   |
|             | N | 376   |
| Visit 2     | r | -0,08   |
|             | p | 0,105   |
|             | N | 472   |
| Visit 3     | r | 0,00  |
|             | p | 0,954   |
|             | N | 446   |
| Visit 4     | r | -0,08   |
|             | p | 0,116   |
|             | N | 412   |

(\* = Die Korrelation ist signifikant)

Weiterhin wurde die Korrelation zwischen der körperlichen Aktivität und dem Augmentationsindex in einzelnen Gruppen mit kardiovaskulären Risikofaktoren untersucht. Dabei wurde die Gruppe der übergewichtigen Schüler betrachtet und, da der systolische Blutdruck einen wichtigen kardiovaskulären Risikofaktor darstellt, die Gruppe der Kinder mit einem peripheren systolischen Blutdruck von über 130 mmHg

(Kannel 1996). In der Gruppe der Übergewichtigen ergab sich in keinem der Projektjahre eine signifikante Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität einer normalen Woche. Auch in der Gruppe der Kinder mit einem peripheren systolischen Blutdruck von über 130 mmHg zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität einer normalen Woche (Tab.26).

**Tabelle 26. Korrelation zwischen Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität einer normalen Woche in der Gruppe der übergewichtigen Kinder und der Kinder mit einem peripheren systolischen Blutdruck  $\geq 130$  mmHg**

| Projektjahr |   | Korrelation zwischen Augmentationsindex (%)<br>und der körperlichen Aktivität in einer normalen Woche<br>(Tage/Woche) |  |
|-------------|---|---|--|
|             |   | Gruppe der Kinder mit<br>Übergewicht  | Gruppe der Kinder mit systolischem<br>Blutdruck > 130 mmHg |
| Visit 1     | r | -0,07   | -0,04  |
|             | p | 0,492   | 0,580  |
|             | N | 99  | 181  |
| Visit 2     | r | 0,00  | -0,04  |
|             | p | 0,987   | 0,590  |
|             | N | 123   | 234  |
| Visit 3     | r | 0,07  | -0,04  |
|             | p | 0,446   | 0,571  |
|             | N | 118   | 221  |
| Visit 4     | r | -0,07   | -0,14  |
|             | p | 0,483   | 0,065  |
|             | N | 101   | 184  |

## 4.7 Multiple lineare Regressionsanalyse

Mithilfe der multiplen linearen Regressionsanalyse können Zusammenhänge zwischen einer abhängigen Variable und mehreren erklärenden Variablen aufgezeigt werden. Als abhängige Variable wurde die Veränderung des zentralen

Augmentationsindex im Projektverlauf (Visit 1 bis Visit 4) gewählt und der Zusammenhang mit der Intervention geprüft.

Weiterhin wurden der Zusammenhang zwischen der Veränderung des zentralen Augmentationsindex und der Veränderung des Aktivitätsniveaus im Projektverlauf dargestellt.

Zusätzlich wurden die Zusammenhänge zwischen der Veränderung des zentralen Augmentationsindex und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn analysiert.

#### 4.7.1 Zusammenhang zwischen der Intervention und der Veränderung des zentralen Augmentationsindex

Die multiple Regressionsanalyse zeigt, dass 93,8% ( $R^2 = 0,938$ ) der Veränderung des zentralen Augmentationsindex im Projektverlauf mit den Parametern Intervention, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1, zentraler Mitteldruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1 und zentraler Augmentationsindex bei Visit 1 erklärt werden können (Tab. 27).

**Tabelle 27. Modellzusammenfassung des multiplen linearen Regressionsmodells für  $\Delta$  zentraler Augmentationsindex und die Intervention**

| R     | $R^2$ | Korrigiertes $R^2$ |
|-------|-------|--------------------|
| 0,968 | 0,938 | 0,936              |

Tabelle 28 zeigt einen signifikanten Zusammenhang für den zentralen systolischen Blutdruck bei Visit 1 ( $p = 0,047$ ), den zentralen Mitteldruck bei Visit 1 ( $p = 0,001$ ) und den Zentralen Augmentationsindex bei Visit 1 ( $p < 0,001$ ). Der Zusammenhang mit den anderen unabhängigen Variablen Intervention, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1 und zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1 war nicht signifikant.

**Tabelle 28. Multiple lineare Regressionsanalyse für  $\Delta$  zentraler Augmentationsindex und die Intervention**

|  | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | p-Wert |
|--|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|
|  | Regressionskoeffizient              | Standardfehler | $\beta$                       |        |
| (Konstante)  | -1,869                              | 2,099          |                               | 0,374  |
| Intervention   | -0,475                              | 0,303          | -0,027                        | 0,118  |
| Zentraler systolischer Blutdruck (mmHg) bei Visit 1  | -0,604                              | 0,302          | -0,500                        | 0,047  |
| Zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg) bei Visit 1 | 0,107                               | 0,297          | 0,089                         | 0,718  |
| Zentraler Pulsdruck (mmHg) bei Visit 1               | 0,392                               | 0,294          | 0,262                         | 0,184  |
| Zentraler Mitteldruck (mmHg) bei Visit 1             | 0,510                               | 0,148          | 0,394                         | 0,001  |
| Zentraler Augmentationsdruck (mmHg) bei Visit 1      | 0,228                               | 0,219          | 0,074                         | 0,301  |
| Zentraler Augmentationsindex (%) bei Visit 1         | 0,799                               | 0,064          | 0,854                         | <0,001 |

( $\Delta$  zentraler Augmentationsindex als abhängige Variable und Intervention, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1, zentraler Mitteldruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsindex bei Visit 1 als unabhängige Variablen ( $\Delta$  = Differenz zwischen den Werten aus dem ersten Projektjahr und den Werten aus dem vierten Projektjahr))

#### 4.7.2 Zusammenhang zwischen dem Aktivitätsniveau und der Veränderung des zentralen Augmentationsindex

Die multiple Regressionsanalyse zeigt, dass 94,1% ( $R^2 = 0,941$ ) der Veränderung des zentralen Augmentationsindex im Projektverlauf mit den Parametern  $\Delta$  Aktivitätsniveau, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1, zentraler Mitteldruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1 und zentraler Augmentationsindex bei Visit 1 erklärt werden können ( $\Delta$  = Differenz zwischen den Werten aus dem ersten Projektjahr und den Werten aus dem vierten Projektjahr; Tab. 29).

**Tabelle 29. Modellzusammenfassung des multiplen linearen Regressionsmodells für  $\Delta$  zentraler Augmentationsindex und  $\Delta$  Aktivitätsniveau**

| R     | R <sup>2</sup> | Korrigiertes R <sup>2</sup> |
|-------|----------------|-----------------------------|
| 0,971 | 0,943          | 0,941                       |

Tabelle 30 zeigt einen signifikanten Zusammenhang für den zentralen Mitteldruck bei Visit 1 ( $p = 0,015$ ) und den zentralen Augmentationsindex bei Visit 1 ( $p < 0,001$ ). Der Zusammenhang mit den anderen unabhängigen Variablen  $\Delta$  Aktivitätsniveau, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1 und zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1 war nicht signifikant.

**Tabelle 30. Multiple lineare Regressionsanalyse für  $\Delta$  zentraler Augmentationsindex und  $\Delta$  Aktivitätsniveau**

|  | Nicht standardisierte Koeffizienten |                | Standardisierte Koeffizienten | p-Wert |
|--|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------|
|  | Regressionskoeffizient              | Standardfehler | $\beta$                       |        |
| (Konstante)  | -1,612                              | 2,110          |                               | 0,446  |
| $\Delta$ Aktivitätsniveau                            | -0,235                              | 0,164          | -0,025                        | 0,154  |
| Zentraler systolischer Blutdruck (mmHg) bei Visit 1  | -0,343                              | 0,304          | -0,303                        | 0,262  |
| Zentraler diastolischer Blutdruck (mmHg) bei Visit 1 | 0,001                               | 0,291          | 0,001                         | 0,997  |
| Zentraler Pulsdruck (mmHg) bei Visit 1               | 0,198                               | 0,292          | 0,141                         | 0,498  |
| Zentraler Mitteldruck (mmHg) bei Visit 1             | 0,353                               | 0,144          | 0,291                         | 0,015  |
| Zentraler Augmentationsdruck (mmHg) bei Visit 1      | 0,205                               | 0,234          | 0,070                         | 0,383  |
| Zentraler Augmentationsindex (%) bei Visit 1         | 0,801                               | 0,070          | 0,876                         | <0,001 |

( $\Delta$  zentraler Augmentationsindex als abhängige Variable und  $\Delta$  Aktivitätsniveau, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1, zentraler Mitteldruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsindex bei Visit 1 als unabhängige Variablen ( $\Delta$  = Differenz zwischen den Werten aus dem ersten Projektjahr und den Werten aus dem vierten Projektjahr))

## 5 Diskussion

Adipositas im Kindesalter hat erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit (Wabitsch 2004). So können bei übergewichtigen Kindern bereits degenerative Veränderungen der Gefäße nachgewiesen werden. Einblicke in den Gefäßzustand der Kinder liefert die nicht-invasiven Applanationstonometrie, die die Pulswelle untersucht. Mit Hilfe dieser Methode wurden über vier Jahre im Rahmen des schulbasierten Präventionsprojekts „Kinder und Jugendliche als Gesundheitsexperten – JuvenTUM Stufe 3“ verschiedene Pulswellenparameter zur Abschätzung der Gefäßfunktion von Kindern und Jugendlichen untersucht.

Die wesentliche Frage dieser Arbeit war zu prüfen, inwieweit der Augmentationsindex durch körperliche Aktivität im Kindesalter beeinflusst wird. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der körperlichen Aktivität im Kindesalter und dem Augmentationsindex konnte nicht nachgewiesen werden: Im ersten Projektjahr zeigte sich eine sehr schwache inverse Korrelation der körperlichen Aktivität mit dem Augmentationsindex (Aktivität der „letzten Woche“ ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,018$ ); Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,11$ ;  $p = 0,032$ ) und Aktivitätsniveau ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,015$ )).

Weiterhin konnte im ersten Projektjahr eine Korrelation des BMI mit dem zentralen systolischen Blutdruck ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ), dem zentralen diastolischen Blutdruck ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) und dem zentralen Mitteldruck ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) gezeigt werden.

In den weiteren Projektjahren gab es keinerlei Zusammenhang zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität. Auch in Gruppen mit kardiovaskulären Risikofaktoren, wie bei den Kindern mit einem peripheren systolischen Blutdruck von über 130 mmHg und den übergewichtigen Kindern, konnte keine Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität nachgewiesen werden.

Weiterhin wurde der Effekt der vierjährigen Intervention des JuvenTUM-Projektes auf den Gefäßzustand der Kinder geprüft. Für den Augmentationsindex konnte keine positive Auswirkung der Intervention nachgewiesen werden: Der

Augmentationsindex sank in den Kontrollschulen (von  $9,3 \pm 8,7$  auf  $0,8 \pm 2,2$ ) stärker als in den Interventionsschulen (von  $6,1 \pm 9,8$  auf  $1,0 \pm 2,7$ ) ( $p = 0,003$ ). Allein der zentrale diastolische Blutdruck zeigte in den Interventionsschulen im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikanten Abfall (Interventionsschulen: von  $76,0 \pm 7,4$  mmHg auf  $73,3 \pm 8,3$  mmHg; Kontrollschulen: von  $73,0 \pm 6,8$  mmHg auf  $73,4 \pm 6,8$  mmHg;  $p = 0,021$ ). Für alle anderen Pulswellenparameter war die Entwicklung im Projektverlauf bei den Kindern in den Kontroll- und Projektschulen vergleichbar.

Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit diskutiert.

Eine wesentliche Untersuchungsgröße dieser Arbeit war der Augmentationsindex, der sich aus dem Verhältnis von Augmentation zu Pulsdruck errechnet. Die Augmentation gibt das Ausmaß der Pulswellenreflektion wieder und ist abhängig von der Gefäßelastizität. Der Augmentationsindex nimmt daher in der Früherkennung vaskulärer Veränderung eine wichtige Stellung ein.

In der vorliegenden Arbeit konnte nur eine sehr schwache inverse Korrelation der körperlichen Aktivität im Kindesalter mit dem Augmentationsindex nachgewiesen werden. Die sehr schwache inverse Korrelation der Aktivität der „letzten Woche“ ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,018$ ), der Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,11$ ;  $p = 0,032$ ) und des Aktivitätsniveaus ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,015$ ) steht eventuell damit in Zusammenhang, dass die meisten Kinder keine Risikofaktoren und noch keine ausgeprägten Gefäßveränderungen hatten. Weiterhin wurde überprüft, ob der Einfluss der körperlichen Aktivität auf den Augmentationsindex bei Kindern mit kardiovaskulären Risikofaktoren, das heißt Übergewicht oder hohen Blutdruckwerten, stärker wäre. Hierfür wurde der Einfluss körperlicher Aktivität auf den Augmentationsindex bei diesen Kindern untersucht. Bei der JuvenTUM-Studie waren zu Projektbeginn 134 Kinder übergewichtig bzw. adipös. Auch in dieser Gruppe ergab sich keine signifikante Korrelation von der körperlichen Aktivität und dem Augmentationsindex (Aktivität der „letzten Woche“ ( $r = -0,04$ ;  $p = 0,688$ ); Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,02$ ;  $p = 0,855$ ); Aktivitätsniveau ( $r < 0,01$ ;  $p = 0,990$ )). Der systolische Blutdruck gilt als wichtiger kardiovaskulärer Risikofaktor (Kannel 1996). 181 der Kinder hatten zu Projektbeginn einen peripheren systolischen Blutdruck von über 130 mmHg. Auch hier ergab sich keine signifikante Korrelation von der körperlichen

Aktivität und dem Augmentationsindex (Aktivität der „letzten Woche“ ( $r = -0,10$ ;  $p = 0,198$ ); Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,04$ ;  $p = 0,580$ ); Aktivitätsniveau ( $r = -0,04$ ;  $p = 0,557$ )). Dieses Ergebnis zeigt, dass bei Kindern mit den kardiovaskulären Risikofaktoren Übergewicht oder hohem Blutdruck die Korrelation nicht nachzuweisen ist.

In der vorliegenden Arbeit konnte kein ausgeprägter Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Augmentationsindex nachgewiesen werden. Bisherige Studien konnten eine inverse Korrelation des Augmentationsindex mit der körperlichen Aktivität nachweisen, diese war aber häufig sehr schwach.

In einer Studie mit 263 Teilnehmern mit einem Durchschnittsalter von  $55,9 \pm 12,2$  Jahren wurde die körperliche Aktivität mit einem Akzelerometer gemessen. Anhand dieser Werte wurde die Tageszeit in „Sitzzeit“, „leichte Aktivität“, „moderate Aktivität“ und „starke Aktivität“ eingeteilt. Mit Hilfe des SphygmoCor-Gerätes wurden die Pulswellengeschwindigkeit und der zentrale und periphere Augmentationsindex ermittelt. Studienteilnehmer, die einen höheren Anteil ihres Tages mit „moderater“ oder „starker“ körperlicher Aktivität verbrachten, wiesen einen geringeren zentralen Augmentationsindex auf. Jedoch ergab sich hierfür nur eine sehr schwache Korrelation ( $r = 0,18$ ;  $p < 0,01$ ) (Gomez-Marcos et al. 2014).

Bei 670 Jugendlichen im Alter von  $18,1 \pm 3,3$  Jahren konnte eine negative Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und körperlicher Aktivität festgestellt werden. Die körperliche Aktivität wurde mit einem Akzelerometer gemessen. Es zeigte sich, dass Teilnehmer mit geringer körperlicher Aktivität höhere Werte für den Augmentationsindex hatten (Beta-Koeffizient =  $-4,52$ ;  $p < 0,001$ ). Das Ergebnis legt eine höhere Gefäßsteifigkeit bei körperlicher Inaktivität im Jungendalter nahe (Urbina et al. 2010).

Eine Studie von Edwards et al. mit 548 Jugendlichen und jungen Erwachsenen zeigte dieselbe Tendenz. Das durchschnittliche Alter der Teilnehmer lag bei  $17,9 \pm 3,5$  Jahren. Es wurden verschiedene Parameter der Gefäßsteifigkeit erhoben. So wurde die Pulswellengeschwindigkeit und der Augmentationsindex mit dem SphygmoCor Gerät bestimmt. Die körperliche Aktivität wurde mithilfe eines Beschleunigungssensors gemessen. Die Teilnehmer wurden je nach Aktivität in drei Gruppen mit niedriger, mittlerer und hoher körperlicher Aktivität eingeteilt. Alle

gemessenen Pulswellenparameter wiesen auf eine geringere Gefäßsteifigkeit in der Gruppe mit hoher körperlicher Aktivität hin. So war der Blutdruck signifikant niedriger (systolisch ( $p < 0,001$ ); diastolisch ( $p < 0,001$ ); mittlerer arterielle Druck ( $p = 0,006$ )) und auch die Pulswellengeschwindigkeit war signifikant niedriger ( $p < 0,001$ ). Der Augmentationsindex war in der Gruppe mit niedriger körperlicher Aktivität signifikant höher ( $p < 0,001$ ) und deutet damit auf den negativen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Augmentationsindex hin. Bei Teilnehmern mit Diabetes Mellitus Typ 2 konnte ein signifikanter Zusammenhang der Pulswellengeschwindigkeit mit der körperlichen Aktivität nachgewiesen werden ( $p = 0,009$ ) (Edwards et al. 2012).

An jüngeren Kindern mit einem Alter von ca. 10 Jahre konnte ebenfalls eine negative Korrelation der körperlichen Aktivität mit dem Augmentationsindex festgestellt werden. In einer kleinen Studie mit 22 Teilnehmern wurden die Kinder in drei Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe ( $n = 6$ ) nahm an einem 4-wöchigen Trainingsprogramm teil. Das Trainingsprogramm dauerte 6 h pro Tag und fand 5 Tage die Woche statt. Es beinhaltete 4 h körperliche Aktivität pro Tag, sowie Entspannungsübungen und Unterricht zu gesunder Ernährung. Die zweite Gruppe ( $n = 6$ ) nahm an einem 8-wöchigen Trainingsprogramm teil. Eine dritte Gruppe ( $n = 10$ ) diente als Kontrollgruppe und wurde gebeten, ihr gewohntes Leben in dem Zeitraum fortzuführen. Die Messungen wurden vor Beginn der Intervention und nach 4 bzw. 8 Wochen am Ende der Intervention erhoben. Sowohl in der Gruppe mit 4 wöchiger Trainingseinheit als auch in der Gruppe mit 8-wöchiger Trainingseinheit kam es zu einem Abfall des Augmentationsindex ( $p = 0,049$ ). Auch in der Kontrollgruppe kam es zu einer Abnahme des Augmentationsindex, die jedoch nicht signifikant war. Der mittlere arterielle Druck sank in allen drei Gruppen. Der Abfall war nur in der Gruppe mit 8-wöchiger Trainingseinheit signifikant ( $p = 0,003$ ). Die von Meucci et al untersuchten Kinder waren etwas jünger als die im JuvenTUM-Projekt untersuchten Kinder. Die JuvenTUM-Studie ist mit einer wesentlich höheren Fallzahl der Studie von Meucci in der Aussagekraft überlegen (Meucci et al. 2013).

Die weltweite Abnahme der körperlichen Aktivität im Kindesalter liegt vor allem an der Veränderung der Freizeitgestaltung. Der Anteil der Zeit, die Kinder am Computer oder vor dem Fernseher verbringen steigt immer mehr. In der JuvenTUM-Studie

zeigte die Sitzzeit eine starke Korrelation mit dem Medienkonsum ( $r = 0,94$ ;  $p = 0,001$ ) und eine sehr schwache Korrelation mit dem BMI ( $r = 0,15$ ;  $p = 0,001$ ). Außerdem korrelierte die Sitzzeit schwach mit dem zentralen Pulsdruck ( $r = 0,16$ ;  $p = 0,002$ ). Eine signifikante Korrelation der Sitzzeit mit dem Augmentationsindex konnte nicht festgestellt werden ( $r = -0,07$ ;  $p = 0,167$ ).

Bisherige Studien konnten ein Zusammenhang von körperlicher Inaktivität und dem Augmentationsindex feststellen. Die Studie von Urbina zeigte eine positive Korrelation des Augmentationsindex mit geringer körperlicher Aktivität ( $p = 0,0001$ ) (Urbina et al. 2010). Auch O'Donovan zeigte in einer Studie mit 53 Männern mit einem Durchschnittsalter von 51 Jahren eine positive Korrelation von Inaktivität und Augmentationsindex ( $r = 0,48$ ,  $p < 0,001$ ) (O'Donovan et al. 2014). In der Studie von Gomez-Marcos ergab sich ein sehr schwacher positiver Zusammenhang zwischen der Sitzzeit und dem Augmentationsindex ( $r = 0,10$ ;  $p < 0,05$ ) (Gomez-Marcos et al. 2014).

In dieser Arbeit wurde weiterhin der Zusammenhang zwischen Augmentationsindex und BMI untersucht. Im Rahmen des JuvenTUM-Projektes wurde im ersten Projektjahr von 589 Schülern der BMI bestimmt. Dieser lag durchschnittlich bei Mädchen mit  $19,5 \pm 3,8 \text{ kg/m}^2$  und bei Jungen mit  $19,2 \pm 3,7 \text{ kg/m}^2$  im Bereich des Normalgewichtes. Es konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem BMI und dem Augmentationsindex im ersten Projektjahr festgestellt werden ( $r = -0,04$ ;  $p = 0,439$ ). In den anderen Projektjahren konnte ebenfalls keine Korrelation des Augmentationsindex mit dem BMI gezeigt werden. Auch bei Subgruppenanalyse der übergewichtigen und adipösen Kinder zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen dem BMI und dem Augmentationsindex ( $r = -0,18$ ;  $p = 0,19$ ). Im Gegensatz dazu konnten andere Studien einen positiven Zusammenhang zwischen dem Augmentationsindex und Übergewicht zeigen. So wurden in einer Studie 26 Frauen in die Gruppen „schlank“ ( $n = 14$ ; BMI von  $18,5$  bis  $24,9 \text{ kg/m}^2$ ) und „übergewichtig“ ( $n = 12$ ; BMI von  $25$  bis  $34,9 \text{ kg/m}^2$ ) eingeteilt. Die Gruppe der „schlanken“ Teilnehmer hatte signifikant niedrigere Werte für den Augmentationsindex als die Gruppe der „Übergewichtigen“ ( $50,08 \pm 4,7$  gegenüber  $120,79 \pm 2,17$ ;  $p = 0,001$ ).

Weiterhin zeigte der BMI eine positive Korrelation mit dem Augmentationsindex ( $r = 0,814$ ;  $p < 0,001$ ) (Pal and Radavelli-Bagatini 2013).

In einer weiteren Studie mit 670 Jugendlichen mit einem Durchschnittsalter von ca. 18 Jahren wurde der Augmentationsindex bei Übergewicht und bei Diabetes Mellitus Typ 2 untersucht. Hierfür wurden die Teilnehmer eingeteilt in die Gruppen „schlank“ ( $n = 231$ ; BMI < 85. Perzentile), „übergewichtig“ ( $n = 234$ ; BMI > 95. Perzentile) und „Diabetes Mellitus Typ 2“ ( $n = 195$ ; 93 % hatten einen BMI  $\geq 85$ . Perzentile; bei 80% lag der BMI  $\geq 95$ . Perzentile). Das Ergebnis zeigte, dass die „schlanken“ Teilnehmer den niedrigsten Augmentationsindex hatten. Die „übergewichtigen“ Teilnehmer hatten einen höheren Augmentationsindex und die Teilnehmer mit Diabetes Mellitus Typ 2 hatten den höchsten Augmentationsindex. Die Werte für den Augmentationsindex in der Gruppe der „schlanken“ Teilnehmer waren signifikant niedriger als in der Gruppe der „übergewichtigen“ Teilnehmer ( $-0,5 \pm 10,8$  gegenüber  $2,7 \pm 11,6$ ;  $p = 0,002$ ) und signifikant niedriger als in der „Diabetes mellitus Typ 2“-Gruppe ( $-0,5 \pm 10,8$  gegenüber  $6,6 \pm 11,3$ ;  $p < 0,001$ ). In der Gruppe der „Übergewichtigen“ hatte der Augmentationsindex signifikant niedrigere Werte als in der „Diabetes mellitus Typ 2“-Gruppe ( $2,7 \pm 11,6$  gegenüber  $6,6 \pm 11,3$ ;  $p < 0,001$ ) (Urbina et al. 2010).

An 684 weiblichen Zwillingen im Alter zwischen 18 und 71 Jahren wurde im Rahmen einer Studie der Zusammenhang zwischen Augmentationsindex, Adipositas und Lebensstil untersucht. Als Teilnehmer wurden Zwillinge gewählt, um den Einfluss von anthropometrischen Parametern und Lebensstilfaktoren unabhängig von genetischen Faktoren zu beurteilen. Das zentrale Bauchfett zeigte eine sehr schwache Korrelation mit dem Augmentationsindex, unabhängig von Lebensstil und genetischen Faktoren ( $r = 0,11$ ;  $p = 0,004$ ) (Greenfield et al. 2003).

Bei 12-jährigen Kindern konnte nachgewiesen werden, dass eine mediterrane Ernährung mit einem niedrigen Augmentationsindex einhergeht (Beta-Koeffizient =  $-0,114$ ;  $p = 0,026$ ). Als mediterrane Ernährung wurde in der Studie der häufige Verzehr von weitestgehend unverarbeiteten Nahrungsmitteln, Lebensmitteln mit geringem glykämischen Index, Meeresfrüchten, Fisch, Hülsenfrüchten, Nüssen, Olivenöl und Blattgemüse definiert (Lydakis et al. 2012).

In der Früherkennung von kardiovaskulären Erkrankungen kommt dem zentralen Blutdruck eine wichtige Bedeutung zu. Erhöhte zentrale Blutdruckwerte gehen häufiger mit Herz-Kreislaufkrankungen einher, als es bei Menschen mit normalem zentralem Blutdruck der Fall ist (Mengden 2008). Ein hoher zentral-aortaler Blutdruck führt eher zu Organschäden als ein hoher peripherer Blutdruck (Baulmann et al. 2013). In dieser Arbeit wurde deshalb der Zusammenhang zwischen dem BMI und dem zentralen Blutdruck untersucht. Es konnte eine Korrelation des BMI festgestellt werden mit dem zentralen systolischen Blutdruck ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ), dem zentralen diastolischen Blutdruck ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) und dem zentralen Mitteldruck ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ). Im Erwachsenenalter wurde bereits ein Zusammenhang zwischen Blutdruck und Übergewicht nachgewiesen (Suter 2009). Das hier beschriebene Ergebnis zeigt, dass dieser Zusammenhang auch im Kindesalter besteht und deutet damit auf frühe Auswirkungen von Übergewicht auf das kardiovaskuläre System hin.

Bei Betrachtung der Blutwerte in der JuvenTUM-Studie zeigte sich eine sehr schwache positive Korrelation der Triglyceride mit dem zentralen systolischen Blutdruck ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,043$ ), dem zentralen Mitteldruck ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,039$ ), dem zentralen Augmentationsdruck ( $r = 0,17$ ;  $p = 0,004$ ) und dem zentralen Augmentationsindex ( $r = 0,18$ ;  $p = 0,003$ ). Vom peripheren Blutdruck ist bekannt, dass eine Assoziation von Hypertonie mit Hypertriglyceridämie besteht (Klör 1992). Der Zusammenhang zwischen erhöhten Triglyceridwerten und einem erhöhten Augmentationsindex, als Zeichen einer erhöhten arteriellen Gefäßsteifigkeit, wurde im Erwachsenenalter beschrieben (Männer:  $r = 0,21$ ,  $p < 0,05$ ; Frauen:  $r = 0,26$ ,  $p < 0,05$ ) (Aznaouridis et al. 2007). Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit konnte diesen Zusammenhang im Kindesalter nicht eindeutig nachweisen.

Bisher wurde im Erwachsenenalter für das Cholesterin im Blut ein positiver Zusammenhang mit dem Augmentationsindex beschrieben. So hatte in einer Studie die Gruppe mit erhöhtem Gesamtcholesterin im Serum (Gesamtcholesterin  $> 6.5$  mmol/l;  $n = 68$ ) einen signifikant höheren Augmentationsindex als die Kontrollgruppe ( $n = 68$ ) ( $24,8 \pm 11,3\%$  gegenüber  $15,6 \pm 12,1\%$ ;  $p < 0,001$ ) (Wilkinson et al. 2002). Dieser Zusammenhang konnte bei den Kindern in der JuvenTUM-Studie nicht gefunden werden (Gesamtcholesterin:  $r = < 0,01$ ;  $p = 0,947$ ; LDL-Cholesterin:  $r = 0,02$ ;  $p = 0,697$ ).

Ein wichtiger Bestandteil der Arbeit ist die Fragestellung, wie sich der Augmentationsindex im Laufe des Älterwerdens der Kinder entwickelt. Im Zeitraum vom ersten bis zum vierten Projektjahr sank der Augmentationsindex sowohl in den Kontrollschulen (von  $9,3 \pm 8,7$  auf  $0,8 \pm 2,2$ ;  $p < 0,001$ ) als auch in den Interventionsschulen (von  $6,1 \pm 9,8$  auf  $1,0 \pm 2,7$ ;  $p < 0,001$ ). Bei Erwachsenen ist bekannt, dass der Augmentationsindex mit dem Lebensalter ansteigt (Mitchell et al. 2004). Erklärt wird der Anstieg des Augmentationsindex im Alter mit der Abnahme der Gefäßelastizität. Im Laufe des Älterwerdens werden die elastischen Fasern der Gefäße durch steifere Kollagenfasern ersetzt (Nichols 2005). Der bei Erwachsenen bekannte Anstieg des Augmentationsindex mit dem Alter findet sich hier nicht. Jedoch ist zu bedenken, dass sich in den vier Jahren die Körpergröße der Kinder erhöht hat. Die Körpergröße zeigt eine negative Korrelation mit dem Augmentationsindex (Nürnberger et al. 2004). Bei größeren Menschen braucht die reflektierte Pulswelle länger bis zur Ankunft in der proximalen Aorta. Dies ist der Grund, warum die Augmentation des systolischen Blutdruckes bei größeren Menschen im Durchschnitt geringer ausfällt (McGrath 2001). Die Körpergröße hatte mit 147,0 cm im ersten Projektjahr bzw. 163,1 cm im vierten Projektjahr in den Interventionsschulen und 147,2 cm im ersten Projektjahr bzw. 163,3 cm im vierten Projektjahr in den Kontrollschulen vergleichbare Werte. In beiden Gruppen sind die Schüler durchschnittlich 16,1 cm gewachsen und es besteht daher kein Unterschied im Wachstum der Kinder zwischen Kontroll- und Interventionsschulen im Projektverlauf. Daher könnte die Verringerung des Augmentationsindex in beiden Gruppen auch auf das Wachstum der Kinder zurück zu führen sein.

Nachfolgend wird die Auswirkung der Intervention auf die Pulswellenparameter dargestellt. Es ergaben sich nur für den diastolischen Blutdruck ( $p = 0,021$ ) und den Augmentationsindex ( $p = 0,003$ ) signifikante Gruppenunterschiede, die auf einen Interventionseffekt hindeuten.

Der Augmentationsindex ist im Projektverlauf sowohl in den Kontrollschulen (von  $9,3 \pm 8,7$  auf  $0,8 \pm 2,2$ ;  $p < 0,001$ ) als auch in den Interventionsschulen (von  $6,1 \pm 9,8$  auf  $1,0 \pm 2,7$ ;  $p < 0,001$ ) gesunken. Betrachtet man den Gruppenunterschied fällt auf, dass der Augmentationsindex in den Kontrollschulen stärker gesunken ist als in den Interventionsschulen ( $p = 0,003$ ). Es deutet darauf hin, dass die Verbesserung der

Gefäßelastizität in Kontrollschulen stärker ausgeprägt war als in den Interventionsschulen. Das bedeutet, dass in Bezug auf den Einfluss der Intervention auf den Augmentationsindex kein eindeutiger Effekt nachgewiesen werden kann. Eventuell dominieren altersbedingte Veränderungen, die in beiden Gruppen eine Rolle spielen. Eine solche Veränderung könnte beispielsweise der bereits beschriebene Zuwachs an Körpergröße sein, der invers mit dem Augmentationsindex korreliert. Eventuell hatte das Wachstum einen stärkeren Einfluss auf den Augmentationsindex als die Intervention. Eine weitere Einflussgröße des Augmentationsindex ist der diastolische Blutdruck. Niedrige diastolische Blutdruckwerte gehen mit einem niedrigen Augmentationsindex einher. In den Interventionsschulen ist der diastolische Blutdruck gesunken. Dies könnte den Abfall des Augmentationsindex in den Interventionsschulen erklären.

Ein weiterer Erklärungsversuch für den gesunkenen Augmentationsindex in beiden Gruppen könnte die körperliche Aktivität sein. Diese ist in Kontroll- und Interventionsschulen gestiegen. Im Erwachsenenalter ist bekannt, dass ein Zusammenhang zwischen der körperlichen Aktivität und dem Augmentationsindex besteht (Gomez-Marcos et al. 2014, O'Donovan et al. 2014). Die gesunkenen Werte für den Augmentationsindex sind eventuell auf die gesteigerte körperliche Aktivität zurückzuführen.

Außerdem verringerten sich in den Interventionsschulen die Werte für den zentralen systolischen Blutdruck (von  $102,4 \pm 7,8$  mmHg auf  $96,9 \pm 11,3$  mmHg;  $p < 0,001$ ), den zentralen diastolischen Blutdruck (von  $76,0 \pm 7,4$  mmHg auf  $73,3 \pm 8,3$  mmHg;  $p < 0,001$ ), den zentralen Pulsdruck (von  $26,4 \pm 5,6$  mmHg auf  $23,6 \pm 9,7$  mmHg;  $p = 0,004$ ) und den zentralen Mitteldruck (von  $89,2 \pm 7,2$  mmHg auf  $84,4 \pm 8,9$  mmHg;  $p < 0,001$ ). Bei dem Augmentationsdruck war ein Anstieg zu verzeichnen (von  $1,8 \pm 2,9$  mmHg auf  $3,5 \pm 10,6$  mmHg;  $p = 0,046$ ). Insgesamt konnte man also bei allen Pulswellenparametern (außer dem Augmentationsdruck) einen Abfall in den Interventionsschulen beobachten. Im Vergleich zu der Kontrollgruppe ergab sich nur für den diastolischen Blutdruck ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,021$ ; Interventionsgruppe: von  $76,0 \pm 7,4$  mmHg auf  $73,3 \pm 8,3$  mmHg; Kontrollgruppe: von  $73,0 \pm 6,8$  mmHg auf  $73,4 \pm 6,8$  mmHg). Der diastolische Blutdruck ist also in den Kontrollschulen leicht gestiegen, während er in den Interventionsschulen im Projektverlauf gesunken ist. Dies kann als Anzeichen

eines Interventionseffekts gewertet werden. Ein Grund könnte die in der Interventionsgruppe gestiegene körperliche Aktivität sein. Die Auswirkung der körperlichen Aktivität auf den Blutdruck hat im Kindesalter eine große Bedeutung. So geht ein hoher Blutdruck im Kindesalter mit einem erhöhten Risiko für einen hohen Blutdruck im Erwachsenenalter einher und ist eng mit einem gesteigerten kardiovaskulären Risiko assoziiert (Zwiauwer 2005).

Die Senkung des Blutdrucks durch körperliche Aktivität konnte bereits in einer Studie mit 44 übergewichtigen und 22 normalgewichtigen Kindern mit einem Durchschnittsalter von  $8,9 \pm 1,5$  Jahren nachgewiesen werden. Nach einem 3 monatigen Trainingsprogramm, das aus drei Mal wöchentlicher 60 minütiger körperlicher Aktivität bestand, zeigte sich eine Verringerung des systolischen Blutdrucks ( $p = 0,003$ ), des diastolischen Blutdrucks ( $p = 0,009$ ), des BMI- z-score ( $p = 0,04$ ) und des abdominales Fettes ( $p = 0,0007$ ) (Farpour-Lambert et al. 2009).

Um dem Anstieg der Adipositasprävalenz im Kindesalter und der steigenden Inaktivität entgegen zu wirken wurden bereits einige Interventionsprojekte durchgeführt. Jedoch war der langfristige Erfolg der meisten bisherigen Projekte im Hinblick auf einen gesunden Lebensstil und Übergewicht der Kinder eher gering. Zur Überprüfung der Erfolge von Interventionsprojekten wurden einige Metaanalysen durchgeführt. So zeigt eine Metaanalyse der Ergebnisse von 19 Interventionsstudien mit insgesamt 3 576 Teilnehmern, dass die Teilnehmer der Interventionsgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen mit geringerer Wahrscheinlichkeit übergewichtig oder adipös wurden (Odds Ratio: 0,74; 95%-Konfidenzintervall: 0,60 - 0,92). In den länger als ein Jahr andauernden Interventionsstudien war für die Teilnehmer die Wahrscheinlichkeit übergewichtig oder adipös zu werden geringer als in den Interventionsstudien, die weniger als sechs Monate dauerten (Odds Ratio: 0,81; 95%-Konfidenzintervall: 0,68 – 0,92). In den Interventionsgruppen konnte im Vergleich zu den Kontrollgruppen kein signifikanter Abfall des BMIs nachgewiesen werden (durchschnittliche Differenz:  $-0,62 \text{ kg/m}^2$ ; 95%-Konfidenzintervall:  $-1,39 - 0,14$ ) (Gonzalez-Suarez et al. 2009). Auch eine Metaanalyse von 18 Interventionsprojekten mit insgesamt 18 141 Kindern zeigte, dass keine Verringerung des BMIs bewirkt werden konnte (durchschnittliche Differenz:  $-0,05 \text{ kg/m}^2$ , 95%-Konfidenzintervall:  $-0,19 - 0,10$ ) (Harris et al. 2009).

Eine weitere Metanalyse von 22 Interventionsstudien mit insgesamt 57 203 Schulkindern kam zu dem Ergebnis, dass eine kombinierte Intervention über Ernährung, Bewegung und Modifikation des TV-Verhaltens am effektivsten ist. Dabei ist für den Erfolg der Intervention die Steigerung der körperlichen Aktivität im Alltag bedeutender als die Veränderung des Ernährungs- und Essverhaltens (Brandt et al. 2010).

Die meisten der bisher durchgeführten Interventionsstudien untersuchten Kinder im Alter von sieben bis zehn Jahren. In der JuvenTUM-Studie waren die Kinder im ersten Projektjahr durchschnittlich  $10,6 \pm 0,7$  Jahre und im vierten Projektjahr  $13,7 \pm 0,6$  Jahre. Kinder mit einem Alter zwischen zehn und 14 Jahren wurden bisher nur wenig untersucht. Dabei wird in diesem Alter ein fester Lebensstil entwickelt, der durch die Intervention beeinflusst und damit zu lang anhaltenden positiven Effekten führen kann (Brandt et al. 2010).

In der vorliegenden Arbeit wurde überprüft, ob sich die Intervention im Rahmen des JuvenTUM-Projekts auf die körperliche Aktivität ausgewirkt hat. Die Schüler in den Interventionsschulen waren zu Projektbeginn durchschnittlich  $3,3 \pm 2,0$  Tage der „letzten Woche“ mindestens 60 min körperlich aktiv und  $3,0 \pm 1,8$  Tage einer „normalen Woche“ mindestens 60 min körperlich aktiv. In den Kontrollschulen waren es zu Projektbeginn durchschnittlich  $3,0 \pm 2,0$  Tage der „letzten Woche“ und  $2,9 \pm 1,8$  Tage einer „normalen Woche“. Im Projektverlauf erhöhte sich in der Interventionsgruppe die durchschnittliche körperliche Aktivität der „letzten Woche“ (von  $3,3 \pm 2,0$  Tage auf  $3,9 \pm 1,8$  Tage;  $p = 0,001$ ) und einer „normalen Woche“ (von  $3,0 \pm 1,8$  Tage auf  $3,5 \pm 1,7$  Tage;  $p = 0,002$ ) signifikant. Auch in den Kontrollschulen ergab sich eine Zunahme der körperlichen Aktivität, diese war jedoch nicht signifikant. Die WHO Empfehlung für Kinder von mindestens 60 Minuten körperlicher Aktivität pro Tag wurde im vierten Projektjahr von 404 Schülern (97,7 %) nicht erfüllt. 27 Schülern (6,3%) erfüllten die WHO Empfehlung davon waren 16 Schüler aus der Interventionsgruppe und 11 Schüler aus der Kontrollgruppe. Vergleicht man die Veränderungen der körperlichen Aktivität in den Kontroll- und Interventionsschulen zeigt sich kein signifikanter Gruppenunterschied in der Entwicklung der körperlichen Aktivität im Projektverlauf. Das heißt, dass kein signifikanter Einfluss der Intervention auf die angegebene körperliche Aktivität nachgewiesen werden konnte. Gründe hierfür sind vielfältig. In den Kontrollschulen könnte der Effekt der „sozialen

Erwünschtheit“ bei den inzwischen älter gewordenen Kindern zu höheren Angaben bei den Fragen zur körperlichen Aktivität im Fragebogen geführt haben. Auch das Wissen der Schüler in den Kontrollschulen an einer Studie teilzunehmen, die offensichtlich das Thema Gesundheit und körperliche Aktivität hat, könnte zu erhöhten Angaben im Fragebogen oder auch zu tatsächlich erhöhter körperlicher Aktivität geführt haben. Kinder in den Interventionsschulen haben eventuell auch gelernt, ihre tatsächliche Aktivität realistischer einzuschätzen.

Mithilfe der multiplen linearen Regressionsanalyse wurden die Zusammenhänge zwischen der Veränderung des zentralen Augmentationsindex im Projektverlauf und der Intervention sowie den Pulswellenparametern zu Projektbeginn überprüft. Es zeigte sich, dass 93,8% ( $R^2 = 0,938$ ) der Veränderung des zentralen Augmentationsindex im Projektverlauf mit den Parametern Intervention, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1, zentraler Mitteldruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1 und zentraler Augmentationsindex bei Visit 1 erklärt werden können. Der Zusammenhang war signifikant für den zentralen systolischen Blutdruck bei Visit 1 ( $p = 0,047$ ), den zentralen Mitteldruck bei Visit 1 ( $p = 0,001$ ) und den zentralen Augmentationsindex bei Visit 1 ( $p < 0,001$ ). Der Zusammenhang mit den anderen unabhängigen Variablen wie der Intervention war nicht signifikant. Das heißt, dass unter Einbeziehung der Ausgangswerte für die Pulswellenparameter kein signifikanter Einfluss der Intervention auf die Veränderung des Augmentationsindex festgestellt werden konnte. Weiterhin könnten körperliche Veränderungen, wie das Wachstum und die beginnende Pubertät den Interventionseffekt beeinflusst haben.

Mit der multiplen linearen Regressionsanalyse wurden auch die Zusammenhänge zwischen der Veränderung des zentralen Augmentationsindex im Projektverlauf und der Änderung des Aktivitätsniveaus sowie den Pulswellenparametern zu Projektbeginn überprüft. Es zeigte sich, dass 94,1% ( $R^2 = 0,941$ ) der Veränderung des zentralen Augmentationsindex im Projektverlauf mit den Parametern „Änderung des Aktivitätsniveaus“, zentraler systolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler diastolischer Blutdruck bei Visit 1, zentraler Pulsdruck bei Visit 1, zentraler Mitteldruck bei Visit 1, zentraler Augmentationsdruck bei Visit 1 und zentraler Augmentationsindex bei Visit 1 erklärt werden können. Jedoch ergab sich nur für den

zentralen Mitteldruck bei Visit 1 ( $p = 0,015$ ) und den zentralen Augmentationsindex bei Visit 1 ( $p < 0,001$ ) ein signifikanter Zusammenhang. Der Zusammenhang mit den anderen unabhängigen Variablen wie der Änderung der Aktivitätsniveaus war nicht signifikant. Das heißt, dass unter Einbeziehung der Ausgangswerte für die Pulswellenparameter kein signifikanter Einfluss des gestiegenen Aktivitätsniveaus auf die Veränderung des Augmentationsindex festgestellt werden konnte.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser Arbeit sind besondere Limitationen zu bedenken.

Das SphygmoCor-Messgerät mit dem die Pulswellenparameter erhoben wurden ist bisher nur für Erwachsene validiert. Für Kinder existieren derzeit keine Normwerte und es gibt nur wenige Studien zur Pulswellenanalyse im Kindesalter. Deswegen können die bei Kindern ermittelten Werte nur untereinander verglichen werden und lassen sich nicht den Normwerten Erwachsener zuordnen. Dies muss bei der Interpretation der vorliegenden Daten beachtet werden.

Außerdem wäre für die Pulswellenmessung manchmal mehr Zeit erforderlich gewesen, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Dies war aber wegen des begrenzten Zeitrahmens bei dem Untersuchungsablauf in der Schule nicht möglich. Dennoch wurde versucht bei jedem Kind die bestmögliche Qualität der Messung zu erreichen.

Der Pulswellenanalyse wird eine zusätzliche manuelle Blutdruckmessung zugrunde gelegt. Die Werte wurden vor der Pulswellenmessung in die SphygmoCor Software eingetragen. Obwohl die Blutdruckwerte nach einer vorgeschriebenen Ruhephase erhoben wurden, konnte eine Blutdruckveränderung vor oder während der Messung zum Beispiel durch Aufregung nicht ausgeschlossen werden. Eine mehrmalige Blutdruckmessung hätte eventuell genauere Werte ergeben. Dies wurde aufgrund der zeitlichen Begrenzung der Untersuchung auf die Unterrichtsdauer bei den Kindern nicht durchgeführt. Gleichwohl wurde vor der Blutdruckmessung auf die Einhaltung der Ruhephase geachtet.

Die körperliche Aktivität wurde anhand eines Fragebogens erfasst. Somit handelt es sich nicht um objektivierte, sondern subjektive Angaben, die nur bedingt valide sind. Auch der Effekt der „sozialen Erwünschtheit“ kann dabei nicht ganz ausgeschlossen

werden. Weiterhin kann es sein, dass die Schüler in der Interventionsgruppe durch die Intervention ihre Aktivität eventuell kritischer und genauer bewerten als die Schüler der Kontrollgruppe. Eine objektivierbare Messung mittels Akzelerometer hätte genauere Messdaten ergeben. Dies wäre aber mit einem erheblichen Mehraufwand für die Studie und die teilnehmenden Lehrer und Schüler verbunden gewesen.

Bisher gibt es nur wenige Daten zur Pulswellenanalyse im Kindes- und Jugendalter. Das schulbasiertes Präventionsprojekt JuvenTUM leistet daher einen wichtigen Beitrag zur Beurteilung der Bedeutung der Pulswellenanalyse im Kindesalter. Dabei wurde nicht nur die Funktion der Gefäße mittels der Pulswellenanalyse untersucht, sondern in einem großen Umfang Daten erhoben. Diese Daten sollten die Zusammenhänge und Einflussfaktoren von Adipositas, körperlicher Aktivität und früher Gefäßveränderungen klären.

Eine Stärke der Studie ist die hohe Fallzahl. Im ersten Projektjahr wurden von 587 Teilnehmern und im vierten Projektjahr wurden von 455 Teilnehmern die Pulswellenparameter analysiert. Dadurch wird der Einfluss einzelner Kinder auf die Berechnungen und die Verzerrung durch einzelne statistische Ausreißer vermindert. Weitere Stärken sind das randomisierte Studiendesign, die weitestgehende Gleichverteilung der Geschlechter innerhalb der Stichprobe und der relativ lange Untersuchungszeitraum von vier Jahren.

Die Pulswellenanalyse wurde von zwei gut geschulten Untersuchern durchgeführt. Sie ist eine nicht-invasive und gut reproduziere Methode, die sich zur Erfassung von Veränderungen im Gefäßsystem gut eignet. Sie wurde schon in zahlreichen Studien bei Erwachsenen angewandt und konnte bei den Kindern problemlos durchgeführt werden.

Zusammenfassend konnte in dieser Arbeit eine sehr schwache inverse Korrelation der körperlichen Aktivität mit dem Augmentationsindex, ein Abfall des Augmentationsindex im Projektverlauf, eine positive Korrelation des BMI mit dem zentralen Blutdruck, eine sehr schwache, positive Korrelation der Triglyceride mit zentralen Pulswellenparametern und ein signifikanter Abfall des zentralen diastolischen Blutdrucks in den Interventionsschulen festgestellt werden.

Weitere Effekte der Intervention auf die Pulswellenparameter werden sich eventuell erst längerfristig zeigen. Die Schüler haben das Projekt gut angenommen und gut mitgearbeitet. Außerdem wurde vermittelt, dass sie durch die Selbstwirksamkeit ihres Verhaltens mit körperlicher Aktivität und gesunder Ernährung ihre Gesundheit beeinflussen können.

## 6 Zusammenfassung

Die Prävalenz von Adipositas im Kindesalter nimmt immer mehr zu (WHO 2014). Kindliche Adipositas geht mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität im Erwachsenenalter einher. So ist bei Adipositas das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, die in Deutschland die häufigste Todesursache darstellen, erhöht (StBA 2013). Dabei ist das kardiovaskuläre Risiko umso höher, je früher die Adipositas im Kindesalter beginnt (Grimmer et al. 2008, Freedman et al. 2001). Man kann degenerative Veränderungen der Gefäße bereits im frühen Kindes- und Jugendalter nachweisen (Meyer et al. 2007, Raekallio et al. 1990). Eine einfach durchführbare, nicht-invasive und leicht reproduzierbare Messmethode für die Gefäßveränderungen stellt die Applanationstonometrie dar. Ein Parameter dieser Pulswellenanalyse ist der Augmentationsindex, der Auskunft über den Gefäßzustand gibt. Ausgehend von dieser Diagnostik ist es möglich durch rechtzeitige Prävention Folgeschäden zu verhindern oder zu verringern.

Mit Hilfe dieser nicht-invasiven Bestimmung der Gefäßsteifigkeit wurden im Rahmen des Projektes „Kinder und Jugendliche als Gesundheitsexperten - JuvenTUM Stufe 3“ die Pulswellendaten von 431 Kindern erhoben und damit Rückschlüsse auf den Gefäßzustand gezogen. Das vierjährige Gesundheitsprojekt hat zum Ziel, gesundes Verhalten im Bereich Bewegung und Ernährung zu fördern und somit Übergewicht und dessen Folgeerkrankungen vorzubeugen.

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit der Augmentationsindex durch körperliche Aktivität im Kindesalter beeinflusst wird. Dieser Zusammenhang ist im Erwachsenenalter bekannt, aber im Kindesalter bisher nur wenig erforscht. Es konnte im ersten Projektjahr eine inverse Korrelation der körperlichen Aktivität im Kindesalter mit dem Augmentationsindex nachgewiesen werden. Jedoch ist festzustellen, dass die inverse Korrelation der körperlichen Aktivität mit dem Augmentationsindex sehr schwach war.

Außerdem konnte zu Projektbeginn eine sehr schwache positive Korrelation der Triglyceride mit dem zentralen systolischen Blutdruck, dem zentralen Mitteldruck, dem zentralen Augmentationsdruck und dem zentralen Augmentationsindex gezeigt werden.

Ein weiteres Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist, dass eine Korrelation des BMI mit dem zentralen systolischen Blutdruck, dem zentralen diastolischen Blutdruck und dem zentralen Mitteldruck festgestellt werden konnte. Dieser Zusammenhang zeigt, dass Adipositas schon im Kindesalter kardiovaskuläre Risikofaktoren wie Blutdruckerhöhung mit sich bringt. Dies verdeutlicht die Relevanz einer Adipositasprävention im frühen Kindesalter.

Weiterhin wurde untersucht, inwieweit sich der Augmentationsindex im Laufe des Älterwerdens der Kinder entwickelt. Im Zeitraum vom ersten bis zum vierten Projektjahr sank der Augmentationsindex sowohl in den Kontrollschulen als auch in den Interventionsschulen. Ein Grund hierfür könnte die in beiden Gruppen gestiegene Körpergröße sein. In den Kontrollschulen fiel der Augmentationsindex stärker als in den Interventionsschulen.

In dieser Arbeit wurde weiterhin untersucht, inwieweit die Intervention die Pulswellenparameter und die körperliche Aktivität der Kinder im Projektverlauf beeinflusst hat. Zwar ergaben sich in den Interventionsschulen im Projektverlauf eine Steigerung der körperlichen Aktivität und eine Verringerung des Augmentationsindex, jedoch war der Gruppenvergleich zu den Kontrollschulen nicht signifikant.

Weiterhin konnte ein signifikanter Abfall des zentralen diastolischen Blutdrucks in den Interventionsschulen im Vergleich zu den Kontrollschulen nachgewiesen werden. Der in den Interventionsschulen gesunkene zentrale diastolische Blutdruck kann als Effekt der Intervention gewertet werden.

Die Pulswellenanalyse war an den Kindern problemlos durchführbar. Sie wurde von den Schülern gut angenommen und das biologische Gefäßalter wurde anschaulich visualisiert. Da es in der Literatur nur wenige Untersuchungen zur Pulswellenanalyse im Kindesalter gibt, wäre es längerfristig hilfreich Normwerte für die Pulswellenparameter im Kindesalter zu festzulegen. Damit wäre es möglich die im Rahmen der JuenTUM-Studie erhobenen, umfassenden Pulswellendaten besser einzuordnen.

## 7 Abstract (deutsch)

### **Pulswellenanalyse zur Bestimmung des Gefäßstatus im Kindes- und Jugendalter – Beeinflussung des Augmentationsindex durch körperliche Aktivität**

#### **Hintergrund**

Die Adipositasprävalenz und die körperliche Inaktivität im Kindesalter nehmen immer mehr zu (WHO 2014). Dies wirkt sich negativ auf die Gesundheit der Kinder aus. So lassen sich degenerative Veränderungen der Gefäße bereits im Kindesalter nachweisen (Meyer et al. 2007, Raekallio et al. 1990). Dabei ist das kardiovaskuläre Risiko umso höher, je früher die Adipositas im Kindesalter beginnt (Grimmer et al. 2008, Freedman et al. 2001). Für die Prävention von Folgeerkrankungen ist es wichtig diese Gefäßveränderungen möglichst früh zu erkennen. Die Pulswellenanalyse ist hierfür eine geeignete Messmethode. Sie ist nicht invasiv, leicht durchzuführen und gut reproduzierbar. Mit dem Augmentationsindex, einem wichtigen Parameter der Pulswellenanalyse, kann die arterielle Gefäßsteifigkeit eingeschätzt werden. Primäre Fragestellung dieser Arbeit war die Beeinflussung des Augmentationsindex durch körperliche Aktivität im Kindesalter.

#### **Material und Methodik**

Im diagnostischen Teil des randomisierten schulbasierten Präventionsprojekts wurden die Pulswellenparameter von 431 Schülern über einen Zeitraum von vier Jahren analysiert. Im Rahmen der Studie wurden neben den Pulswellenparametern (zentraler systolischer Blutdruck, zentraler diastolischer Blutdruck, zentraler Mitteldruck, zentraler Pulsdruck, Augmentationsdruck, Augmentationsindex, peripherer systolischer Blutdruck, peripherer diastolischer Blutdruck, peripherer P1 (erstes Maximum der Pulswelle) und peripherer P2 (zweites Maximum der Pulswelle)), umfassende Anthropometriewerte (u.a. Körpergewicht, Körpergröße, Oberarmumfang, Bauchumfang, Hautfaltendicke) bestimmt. Weiterhin erfolgten eine

Bestimmung verschiedener Blutparameter (u.a. Fettstoffwechselfparameter und Entzündungsmarker) und eine Erfassung der körperlichen Aktivität und des gesundheitsbezogenen Verhaltens mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens. Der intentionale Teil bestand aus einem Interventionsprogramm mit regelmäßigem Unterricht zu gesundheitsbezogenen Themen sowie Förderung von körperlicher Aktivität in Schule und Freizeit, beispielsweise durch die Bereitstellung von Materialien und Kooperation mit Sportvereinen. Die Eltern und Lehrer wurden eng in das Projekt mit einbezogen.

## **Ergebnisse**

Im Folgenden werden die Ergebnisse aufgeführt:

1. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der körperlichen Aktivität und dem Augmentationsindex konnte nicht nachgewiesen werden. Im ersten Projektjahr zeigte sich eine sehr schwache inverse Korrelation der körperlichen Aktivität mit dem Augmentationsindex (Aktivität der „letzten Woche“ ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,018$ ); Aktivität einer „normalen Woche“ ( $r = -0,11$ ;  $p = 0,032$ ) und Aktivitätsniveau ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,015$ )).
2. Im ersten Projektjahr wurde eine Korrelation des BMI mit dem zentralen systolischen Blutdruck ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ), dem zentralen diastolischen Blutdruck ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) und dem zentralen Mitteldruck ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) nachgewiesen.
3. Zu Projektbeginn konnte eine sehr schwache positive Korrelation der Triglyceride mit dem zentralen systolischen Blutdruck ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,043$ ), dem zentralen Mitteldruck ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,039$ ), dem zentralen Augmentationsdruck ( $r = 0,17$ ;  $p = 0,004$ ) und dem zentralen Augmentationsindex ( $r = 0,18$ ;  $p = 0,003$ ) gezeigt werden.
4. In den weiteren Projektjahren gab es keinerlei Zusammenhang zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität. Auch in Gruppen mit kardiovaskulären Risikofaktoren, wie bei den Kindern mit einem peripheren systolischen Blutdruck von über 130 mmHg und den übergewichtigen Kinder, konnte keine Korrelation zwischen dem Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität nachgewiesen werden.

5. Im Projektverlauf sank der Augmentationsindex in den Kontrollschulen (von  $9,3 \pm 8,7$  auf  $0,8 \pm 2,2$ ) stärker als in den Interventionsschulen (von  $6,1 \pm 9,8$  auf  $1,0 \pm 2,7$ ) ( $p = 0,003$ ).

6. Allein der zentrale diastolische Blutdruck zeigte in den Interventionsschulen im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikanten Abfall (Interventionsschulen: von  $76,0 \pm 7,4$  mmHg auf  $73,3 \pm 8,3$  mmHg; Kontrollschulen: von  $73,0 \pm 6,8$  mmHg auf  $73,4 \pm 6,8$  mmHg;  $p = 0,021$ ). Für alle anderen Pulswellenparameter war die Entwicklung im Projektverlauf bei den Kindern in den Kontroll- und Projektschulen vergleichbar.

## **Diskussion**

Es konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und dem Augmentationsindex nachgewiesen werden. Das gilt auch für die Betrachtung der Risikogruppen mit Übergewicht und systolischem Blutdruck von über 130 mmHg. Eventuell waren die Gefäßveränderungen der Kinder zu gering ausgeprägt. Weiterhin wurde die körperliche Aktivität anhand eines Fragebogens erfasst. Somit handelt es sich nicht um objektivierte, sondern subjektive Angaben, die nur bedingt valide sind. Auch, wenn die Pulswellenanalyse bei der Fragestellung kein eindeutiges Ergebnis liefern konnte, war sie als Methode an den Kindern problemlos durchführbar. Sie wurde von den Schülern gut angenommen und das biologische Gefäßalter wurde anschaulich visualisiert. Da es in der Literatur nur wenige Untersuchungen zur Pulswellenanalyse im Kindesalter gibt, wäre es längerfristig hilfreich Normwerte für die Pulswellenparameter im Kindesalter zu festzulegen. Damit wäre es möglich die im Rahmen der JuenTUM-Studie erhobenen, umfassenden Pulswellendaten besser einzuordnen.

## 8 Abstract (englisch)

### **Pulse wave analysis to determine vascular status in children and adolescents – Influence of physical activity on the augmentation index**

#### **Introduction**

The prevalence of obesity and a lack of proper physical activity during childhood are currently increasing (WHO 2014). This has a negative impact on children's health. Degenerative vascular changes can already be found in children (Meyer et al. 2007, Raekallio et al. 1990). The earlier obesity begins, the higher the cardiovascular risk profile (Freedman et al. 2001). To prevent secondary complications, it is important to detect these vascular changes as early as possible. Pulse wave analysis proves to be a suitable method. It is non-invasive, easy to perform and very reproducible. The augmentation index, an important parameter of pulse wave analysis, is a good indicator for arterial stiffness.

The main goal of this thesis is to analyze whether the augmentation index can be influenced by physical activity during childhood.

#### **Methods**

In a randomized school-based prevention program, pulse wave analysis parameters were analyzed in 431 students over four years. In the course of this trial different pulse wave analysis parameters (central systolic blood pressure, central diastolic blood pressure, mean arterial pressure, central pulse pressure, augmentation pressure, augmentation index, peripheral systolic blood pressure, peripheral diastolic blood pressure, peripheral P1 (first maximum of the pulse wave) and peripheral P2 (second maximum of the pulse wave)) and different anthropometry values (e.g. weight, height, upper arm circumference, abdominal girth, skin fold thickness) were analyzed. Furthermore different blood parameters (among others, lipid profile and inflammation markers) were determined and physical activity and health-related behavior assessed using a standardized questionnaire. The intervention comprised

of regular courses on health relevant issues and the encouragement of physical activity in school and at home. This was achieved through the supply of materials and cooperation with sport clubs. Parents and teachers were highly involved in the project.

## Results

The findings are presented below:

1. No definite connection between physical activity and the augmentation index could be found. During the first year of the project a weak inverse correlation between physical activity and the augmentation index (activity during the last week ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,018$ ); activity during an average week ( $r = -0,11$ ;  $p = 0,032$ ) and level of activity ( $r = -0,12$ ;  $p = 0,015$ )) was seen.
2. During the first year of the project, a correlation between the BMI and the central systolic blood pressure ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ), the central diastolic blood pressure ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) and the central mean pressure ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,001$ ) was observed.
3. At the start of the project a very weak positive correlation of triglycerides with the central systolic blood pressure ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,043$ ), the central medium pressure ( $r = 0,12$ ;  $p = 0,039$ ), the central augmentation pressure ( $r = 0,17$ ;  $p = 0,004$ ) and the central augmentation index ( $r = 0,18$ ;  $p = 0,003$ ) was observed.
4. Over the years of the project there was no connection between the augmentation index and physical activity. Even in groups with cardiovascular risk factors, e.g. obese children or children with a systolic blood pressure over 130 mmHg, there was no correlation between the augmentation index and physical activity observed.
5. Over the course of the project the augmentation index decreased in the control-schools (from  $9,3 \pm 8,7$  to  $0,8 \pm 2,2$ ) to a higher degree than in the intervention-schools (from  $6,1 \pm 9,8$  to  $1,0 \pm 2,7$ ) ( $p = 0,003$ ).
6. Solely the central diastolic blood pressure showed a significant decrease in intervention-schools as compared to the control group (intervention-schools: from  $76,0 \pm 7,4$  mmHg to  $73,3 \pm 8,3$  mmHg; control-schools: from  $73,0 \pm 6,8$  mmHg to

73,4 ± 6,8 mmHg; p = 0,021). All other pulse wave analysis parameters were unchanged in the intervention groups compared to control groups.

## **Conclusion**

No definite connection between physical activity and the augmentation index could be found. This also applies to risk groups with cardiovascular risk factors, e.g. obese children or children with a systolic blood pressure over 130 mmHg. The vascular changes of the children may have been too unpronounced. Furthermore, the physical activity was determined by using a standardized questionnaire. Thus, the data is not objective but rather subjective and only conditionally valid. Although the pulse wave analysis could not provide a conclusive result, it was an appropriate method of implement with the children. It was well received by the students and the biological vascular age was visualized. Since there is limited literature on pulse wave analysis in childhood, it would be helpful to establish normal values for pulse wave parameters in childhood. This would make it possible to better classify childhood pulse wave data within the JuenTUM study.

# 9 Anhang

## 9.1 Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1. BMI-Perzentile der KiGGS Studie (Kurth 2007).....  | 13 |
| Abbildung 2. Ursachen für die Zunahme von Übergewicht im Kindesalter<br>(nach (Wabitsch 2004)) .....  | 14 |
| Abbildung 3. Perzentilenkurven für Mädchen im Alter von 0-18 Jahren (Kromeyer-<br>Hauschild 2001, AGA 2012).....                                | 15 |
| Abbildung 4. Perzentilenkurven für Jungen im Alter von 0-18 Jahren (Kromeyer-<br>Hauschild 2001, AGA 2012).....                                 | 16 |
| Abbildung 5. Häufigkeit kardiovaskulärer Risikofaktoren bei übergewichtigen<br>Kindern in Deutschland (Reinehr 2010, Reinehr et al. 2005) ..... | 18 |
| Abbildung 6. Die verschiedenen Druckverhältnisse im venösen Niederdrucksystem<br>und im arteriellen Hochdrucksystem (Reiche 2003).....          | 19 |
| Abbildung 7. Darstellung der einzelnen Gefäßschichten am Beispiel einer<br>elastischen Arterie (nach (Standring 2005)) .....                    | 20 |
| Abbildung 8. Pathogenese der Arteriosklerose und kardiovaskulärer Erkrankungen<br>(nach (Groner et al. 2006, Widlansky et al. 2003) .....       | 22 |
| Abbildung 9. Sphygmograph von Marey (1860) .....  | 25 |
| Abbildung 10. Schematische Darstellung der nicht-invasiven Messung des zentralen<br>arteriellen Blutdrucks (Nürnberger 2012). .....             | 27 |
| Abbildung 11. Blutdruck in den großen Arterien in Abhängigkeit vom Messort<br>(Mengden 2008).....   | 28 |
| Abbildung 12. Zweigipfliger Verlauf der Pulswelle (Nürnberger et al. 2004, Enverdis<br>2012) .....  | 29 |
| Abbildung 13. Aortale Druckkurve (Weber 2008) .....   | 30 |
| Abbildung 14. Darstellung der Veränderung der aortalen Pulswelle im Alter (nach<br>(Nürnberger et al. 2004, Enverdis 2012)). .....              | 31 |
| Abbildung 15. Darstellung der Druckkurve der Arteria Carotis<br>(nach (Laurent 2006)).....  | 32 |
| Abbildung 16. Prävention von Adipositas auf verschiedenen Ebenen (Müller 2006)  | 42 |
| Abbildung 17. Rekrutierung und Einteilung der Schulen (Siegrist et al. 2011) .....  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 18. Das SphymoCor Gerät (AtCorMedical 2011).....   | 49 |
| Abbildung 19. Stark vereinfachte Darstellung der Messung mit dem SyphmoCor<br>Tonometer (nach (Mackenzie et al. 2002)).....        | 50 |
| Abbildung 20. Übersicht über die Anzahl der im ersten und vierten Projektjahr<br>untersuchten Kinder .....                         | 56 |
| Abbildung 21. Zentraler systolischer und zentraler diastolischer Blutdruck zu<br>Projektbeginn in Abhängigkeit vom Schultyp .....  | 63 |
| Abbildung 22. Zentraler Pulsdruck und zentraler Mitteldruck zu Projektbeginn in<br>Abhängigkeit vom Schultyp .....                 | 64 |
| Abbildung 23. Zentraler Augmentationsdruck und zentraler Augmentationsindex zu<br>Projektbeginn in Abhängigkeit vom Schultyp ..... | 64 |
| Abbildung 24. Veränderung des Aktivitätsniveaus in Kontroll- und<br>Interventionsgruppe im Projektverlauf .....                    | 69 |

## 9.2 Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1. Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI (WHO 2000, DAG 2012).....  | 15 |
| Tabelle 2. Folgen von Übergewicht im Kindes- und Jugendalter (Ebbeling et al. 2002, Wabitsch 2004).....   | 17 |
| Tabelle 3. Einflussgrößen des Augmentationsindex (Nürnberger et al. 2004).....  | 33 |
| Tabelle 4. Wirkung sportlicher Aktivität auf Krankheitsrisiken; (nach (Pahmeier and Tiemann 2013, USDHHS 2008)) .....   | 37 |
| Tabelle 5. Ziele des JuvenTUM Projektes (nach (Siegrist et al. 2011)).....  | 46 |
| Tabelle 6. Übersicht über die Untersuchungen der vier Projektjahre V1 bis V4 .....  | 48 |
| Tabelle 7. Anthropometrische Parameter und peripherer Blutdruck zu Projektbeginn.....   | 57 |
| Tabelle 8. Blutparameter zu Projektbeginn.....  | 58 |
| Tabelle 9. Pulswellenparameter zu Projektbeginn.....  | 59 |
| Tabelle 10. Körperliche Aktivität zu Projektbeginn.....   | 59 |
| Tabelle 11. Alter, Größe und Gewicht zu Projektbeginn.....  | 61 |
| Tabelle 12. Vergleich der Pulswellenparameter zu Projektbeginn.....   | 61 |
| Tabelle 13. Mittelwerte der Anzahl der Tage, die die Schüler zu Projektbeginn angaben in der letzten bzw. einer normalen Woche mindestens 60 Minuten körperlich aktiv gewesen zu sein ..... | 62 |
| Tabelle 14. Vergleich der Mittelwerte der Pulswellenparameter zu Projektbeginn zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe .....   | 63 |
| Tabelle 15. Vergleich der Mittelwerte der körperlichen Aktivität zu Projektbeginn zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe .....  | 65 |
| Tabelle 16. Veränderungen der Pulswellenparameter innerhalb der Kontrollgruppe und innerhalb der Interventionsgruppe im Projektverlauf .....  | 66 |
| Tabelle 17. Vergleich der Pulswellenparameterveränderungen zwischen den Kontroll- und Interventionsschulen .....  | 67 |
| Tabelle 18. Anzahl der Tage, an denen die Schüler mindestens 60 Minuten körperlich aktiv waren.....   | 68 |
| Tabelle 19. Vergleich der Aktivitätsveränderung zwischen den Kontroll- und Interventionsschulen.....  | 70 |

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 20. Korrelation zwischen Anthropometrie und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn.....  | 71 |
| Tabelle 21. Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI in den Projektjahren .....  | 72 |
| Tabelle 22. Korrelation zwischen Augmentationsindex und BMI in den Projektjahren in der Gruppe der Übergewichtigen.....   | 73 |
| Tabelle 23. Korrelation zwischen Blutwerten und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn.....  | 74 |
| Tabelle 24. Korrelation zwischen der körperlichen Aktivität und den Pulswellenparametern zu Projektbeginn .....   | 76 |
| Tabelle 25. Korrelation zwischen Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität in einer normalen Woche .....  | 77 |
| Tabelle 26. Korrelation zwischen Augmentationsindex und der körperlichen Aktivität einer normalen Woche in der Gruppe der übergewichtigen Kinder und der Kinder mit einem peripheren systolischen Blutdruck $\geq 130$ mmHg.. | 78 |
| Tabelle 27. Modellzusammenfassung des multiplen linearen Regressionsmodells für $\Delta$ zentraler Augmentationsindex und die Intervention .....  | 79 |
| Tabelle 28. Multiple lineare Regressionsanalyse für $\Delta$ zentraler Augmentationsindex und die Intervention.....   | 80 |
| Tabelle 29. Modellzusammenfassung des multiplen linearen Regressionsmodells für $\Delta$ zentraler Augmentationsindex und $\Delta$ Aktivitätsniveau .....   | 81 |
| Tabelle 30. Multiple lineare Regressionsanalyse für $\Delta$ zentraler Augmentationsindex und $\Delta$ Aktivitätsniveau .....   | 81 |

## 9.3 Literaturverzeichnis

- Adams, Volker, Axel Linke, Nicolle Kränkel, Sandra Erbs, Stephan Gielen, Sven Möbius-Winkler, Jan F Gummert, Friedrich Wilhelm Mohr, Gerhard Schuler, Rainer Hambrecht "Impact of Regular Physical Activity on the Nad (P) H Oxidase and Angiotensin Receptor System in Patients with Coronary Artery Disease." *Circulation* 111, no. 5 (2005): 555-62.
- AGA, Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter;.(2012). Leitlinien. ([http://www.adipositas-gesellschaft.de/fileadmin/PDF/Leitlinien/AGA\\_S2\\_Leitlinie.pdf](http://www.adipositas-gesellschaft.de/fileadmin/PDF/Leitlinien/AGA_S2_Leitlinie.pdf)). Stand: 12.08.14
- AtCorMedical.(2008). Das Referenzsystem Zur Nichtinvasiven Messung Des Zentralen Blutdruckes. (<http://www.atcormedical.com/pdf/German/SphygmoCor%20CP%20%28German%29.pdf>). Stand: 29.10.2013
- AtCorMedical.(2011). System Components ([www.atcormedical.cn/demo/images/pic1.jpg](http://www.atcormedical.cn/demo/images/pic1.jpg)). Stand: 15.03.13
- Aznaouridis, Konstantinos, Charalambos Vlachopoulos, Ioanna Dima, Nikolaos Ioakeimidis, and Christodoulos Stefanadis. "Triglyceride Level Is Associated with Wave Reflections and Arterial Stiffness in Apparently Healthy Middle-Aged Men." *Heart* 93, no. 5 (May 1, 2007 2007): 613-14.
- Baulmann, J., C.-P. Herzberg;, and T. Störk. "Die Renaissance Von Pulswellengeschwindigkeit, Augmentation Und Zentralem Aortendruck Als Determinanten Des Kardiovaskulären Risikos." *Medizinische Welt* no. 1/2013 (2013).
- Baulmann, J., T. Weber, K. Mortensen. "Messmethoden Der Arteriellen Gefäßsteifigkeit." *Austrian Journal of Hypertension* 14, no. 2 (2010): 18-24.
- Baulmann, J., J. Nurnberger, J. Slany, R. Schmieder, A. Schmidt-Trucksass, D. Baumgart, P. Cremerius, O. Hess, K. Mortensen, T. Weber. "[Arterial Stiffness and Pulse Wave Analysis]." *Dtsch Med Wochenschr* 135 Suppl 1 (Mar 2010): 4-14.
- Bland, Martin. *An Introduction to Medical Statistics*. Oxford Medical Publications. 3rd ed. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2000.
- Böger, Reiner, and Karsten Sydow. "Arteriosklerose Und Durchblutungsstörungen." Chap. 20 In *Pharmakotherapie*, edited by Björn Lemmer and Kay Brune. Springer-Lehrbuch, Springer Berlin Heidelberg, 2007: 299-322.
- Brandt, S., A. Moß, S. Berg, and M. Wabitsch. "Schulbasierte Prävention Der Adipositas." [In German]. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53, no. 2 (2010/02/01 2010): 207-20.
- Brinkmann, Christian, Robert H. G. Schwinger, and Klara Brixius. "Körperliche Aktivität Und Endotheliale Dysfunktion Bei Typ-2-Diabetikern: Über Die Rolle Von Stickstoffmonoxid Und Oxidativem Stress." [In German]. *Wiener Medizinische Wochenschrift* 161, no. 11-12 (2011/06/01 2011): 305-14.

- Centers for Disease Control and Prevention, CDC.(2011). How Much Physical Activity Do Children Need? (<http://www.cdc.gov/physicalactivity/everyone/guidelines/children.html>). Stand: 17.07.13
- Chen, C. H., E. Nevo, B. Fetics, P. H. Pak, F. C. Yin, W. L. Maughan, and D. A. Kass. "Estimation of Central Aortic Pressure Waveform by Mathematical Transformation of Radial Tonometry Pressure. Validation of Generalized Transfer Function." *Circulation* 95, no. 7 (Apr 1 1997): 1827-36.
- Cruickshank, J. K., M. Rezailashkajani, and G. Goudot. "Arterial Stiffness, Fatness, and Physical Fitness: Ready for Intervention in Childhood and across the Life Course?". *Hypertension* 53, no. 4 (Apr 2009): 602-4.
- DAG, Deutsche Adipositas Gesellschaft.(2012). (<http://www.adipositas-gesellschaft.de/index.php?id=39>). Stand: 12.08.14
- De Bock, F.:. *Handbuch Bewegungsförderung Und Gesundheit*, . Bewegungsförderung Im Kindes- Und Jugendalter. Bern: Huber, 2012.
- Diehl, Katharina, Freia De Bock, and Sven Schneider. "Bedeutung Der Sportlichen Aktivität Für Kinder Und Jugendliche Aus Soziologischer Und Pädagogischer Perspektive." In *Aktiv Und Gesund?*, edited by Simone Becker, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014: 311-29.
- Dineno, F. A., Tanaka, H., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., Eskurza, I., DeSouza, C. A. and Seals, D. R. . "Regular Endurance Exercise Induces Expansive Arterial Remodelling in the Trained Limbs of Healthy Men." *The Journal of Physiology* 534, no. 1 (2001): 287-95.
- Ebbeling, Cara B., Dorota B. Pawlak, and David S. Ludwig. "Childhood Obesity: Public-Health Crisis, Common Sense Cure." *The Lancet* 360, no. 9331 (2002): 473-82.
- Edwards, N. M., S. R. Daniels, R. P. Claytor, P. R. Khoury, L. M. Dolan, T. R. Kimball, and E. M. Urbina. "Physical Activity Is Independently Associated with Multiple Measures of Arterial Stiffness in Adolescents and Young Adults." *Metabolism* 61, no. 6 (Jun 2012): 869-72.
- Enverdis.(2012). enverdis GmbH, (<http://www.enverdis.com/de/wp-content/uploads/2013/07/PWV2.jpg>). Stand: 05.07.14
- Espinola-Klein, C, and T Münzel. "Oxidativer Stress Und Endothelfunktion: Welche Bedeutung Hat Das Geschlecht?". *Blickpunkt der Mann* 6, no. 4 (2008): 29-31.
- Evelo, C. T. A., N. G. M. Palmén, Y. Artur, and G. M. E. Janssen. "Changes in Blood Glutathione Concentrations, and in Erythrocyte Glutathione Reductase and Glutathione S-Transferase Activity after Running Training and after Participation in Contests." [In English]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 64, no. 4 (1992/07/01 1992): 354-58.
- Farpour-Lambert, Nathalie J., Yacine Aggoun, Laetitia M. Marchand, Xavier E. Martin, François R. Herrmann, and Maurice Beghetti. "Physical Activity Reduces Systemic Blood Pressure and Improves Early Markers of Atherosclerosis in Pre-Pubertal Obese Children." *Journal of the American College of Cardiology* 54, no. 25 (2009): 2396-406.

- Filipovsky, J., V. Svobodova, and L. Pecen. "Reproducibility of Radial Pulse Wave Analysis in Healthy Subjects." [In eng]. *J Hypertens* 18, no. 8 (Aug 2000): 1033-40.
- Freedman, David S, Laura Kettel Khan, William H Dietz, Sathanur R Srinivasan, and Gerald S Berenson. "Relationship of Childhood Obesity to Coronary Heart Disease Risk Factors in Adulthood: The Bogalusa Heart Study." *Pediatrics* 108, no. 3 (2001): 712-18.
- Gomez-Marcos, M. A., J. I. Recio-Rodriguez, M. C. Patino-Alonso, C. Agudo-Conde, L. Lasasa-Medina, E. Rodriguez-Sanchez, J. A. Maderuelo-Fernandez, L. Garcia-Ortiz, and Evident Group. "Relationship between Objectively Measured Physical Activity and Vascular Structure and Function in Adults." *Atherosclerosis* 234, no. 2 (März 18 2014): 366-72.
- Gonzalez-Suarez, Consuelo, Anthea Worley, Karen Grimmer-Somers, and Valentine Dones. "School-Based Interventions on Childhood Obesity: A Meta-Analysis." *American Journal of Preventive Medicine* 37, no. 5 (11// 2009): 418-27.
- Green, Daniel J., Andrew Maiorana, Gerry O'Driscoll, and Roger Taylor. "Effect of Exercise Training on Endothelium-Derived Nitric Oxide Function in Humans." *The Journal of Physiology* 561, no. 1 (2004): 1-25.
- Greenfield, Jerry R., Katherine Samaras, Lesley V. Campbell, Arthur B. Jenkins, Paul J. Kelly, Tim D. Spector, and Christopher S. Hayward. "Physical Activity Reduces Genetic Susceptibility to Increased Central Systolic Pressure Augmentation: A Study of Female Twins." *Journal of the American College of Cardiology* 42, no. 2 (2003): 264-70.
- Grimmer, Y., J. Vitt, C. Jennen-Steinmetz, K. Becker, M. H. Schmidt, and M. Laucht. "Hohe Persistenz Von Übergewicht Bei Kindern Der Mannheimer Risikokinderstudie." [In German]. *Monatsschrift Kinderheilkunde Zeitschrift für Kinder- und Jugendmedizin* 156, no. 4 (2008/04/01 2008): 365-70.
- Groner, J. A., M. Joshi, and J. A. Bauer. "Pediatric Precursors of Adult Cardiovascular Disease: Noninvasive Assessment of Early Vascular Changes in Children and Adolescents." *Pediatrics* 118, no. 4 (Oct 2006): 1683-91.
- Halle, M. "Sekundärprävention Der Koronaren Herzerkrankung: Einfluss Von Körperlichem Training Auf Morphologie Und Funktion Der Koronargefäße." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55, no. 3 (2004): 66-69.
- Hambrecht, S. Gielen; G. Schuler; R. "Exercise Training in Coronary Artery Disease and Coronary Vasomotion." *Circulation*. 103 (2001): 1-6.
- Harris, K. C., L. K. Kuramoto, M. Schulzer, and J. E. Retallack. "Effect of School-Based Physical Activity Interventions on Body Mass Index in Children: A Meta-Analysis." *CMAJ* 180, no. 7 (Mar 31 2009): 719-26.
- Hayward, C. S., and R. P. Kelly. "Gender-Related Differences in the Central Arterial Pressure Waveform." [In eng]. *J Am Coll Cardiol* 30, no. 7 (Dec 1997): 1863-71.
- Herth, F; Messmann, H; Haverkamp,W. *Internistische Intensivmedizin: Methoden - Diagnose - Therapie* Georg Thieme Verlag, 2008.

- Hey, S., S. N. Löffler, K. Walter, A. Grund, N. E. W. König, and K. Bös. "Kurzzeitige Aktive Und Passive Regenerationspausen." [In German]. *Prävention und Gesundheitsförderung* 7, no. 2 (2012/05/01 2012): 120-26.
- Hillman, C., and N Schott. "Der Zusammenhang Von Fitness, Kognitiver Leistungsfähigkeit Und Gehirnzustand Im Schulkindalter ". *Zeitschrift für Sportpsychologie* 20, no. 1/2013 (2013).
- Hillman, Charles H., Kirk I. Erickson, and Arthur F. Kramer. "Be Smart, Exercise Your Heart: Exercise Effects on Brain and Cognition." *Nat Rev Neurosci* 9, no. 1 (01//print 2008): 58-65.
- Huang, C., J. Wang, S. Deng, Q. She, and L. Wu. "The Effects of Aerobic Endurance Exercise on Pulse Wave Velocity and Intima Media Thickness in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* (2015)
- Kannel, W. B. "Blood Pressure as a Cardiovascular Risk Factor: Prevention and Treatment." *JAMA* 275, no. 20 (1996): 1571-76.
- Kelm, Malte. *Flow-Mediated Dilatation in Human Circulation: Diagnostic and Therapeutic Aspects*. Vol. 282,2002. Journal Article.
- Klör, H. U. "Hypertonie Und Triglyceride." Chap. 3 In *Atherogenität Der Triglyceride*, Vieweg+Teubner Verlag, 1992: 22-28.
- Kromeyer-Hauschild, K; Wabitsch, M; Kunze, D "Perzentile Für Den Body-Mass-Index Für Das Kindes- Und Jugendalter Unter Heranziehung Verschiedener Deutscher Stichproben.". *Monatsschr Kinderheilk* 149 (2001): 807–18.
- Kumanyika, Shiriki K., Eva Obarzanek, Nicolas Stettler, Ronny Bell, Alison E. Field, Stephen P. Fortmann, Barry A. Franklin, B. Gillman, M. Lewis, C. Poston, W. Stevens, J. Hong. "Population-Based Prevention of Obesity: The Need for Comprehensive Promotion of Healthful Eating, Physical Activity, and Energy Balance: A Scientific Statement from American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Interdisciplinary Committee for Prevention (Formerly the Expert Panel on Population and Prevention Science)." *Circulation* 118, no. 4 (July 22, 2008 2008): 428-64.
- Kurth, BM; Schaffrath Rosario, A. "Die Verbreitung Von Übergewicht Und Adipositas Bei Kindern Und Jugendlichen in Deutschland. Ergebnisse Des Bundesweiten Kinder- Und Jugendgesundheitsveys (Kiggs)". *Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 50: (2007): 736–43.
- Laurent, S.; Cockcroft, J.; van Bortel, L.; Boutouyrie, P.; Giannattasio, C.; Hayoz, D., Pannier, B.; Vlachopoulos, C.; Wilkinson, I.; Struijker-Boudier, H.. "Expert Consensus Document on Arterial Stiffness: Methodological Issues and Clinical Applications." *European Heart Journal* no. 27 (2006): 2588–605.
- LeBlanc, Janssen. "Dose-Response Relationship between Physical Activity and Dyslipidemia in Youth." *Can J Cardiol* 26, no. 6 (2010): 201-05.
- Lehmann, E. D. "Estimation of Central Aortic Pressure Waveform by Mathematical Transformation of Radial Tonometry Pressure Data." *Circulation* 98, no. 2 (Jul 14 1998): 186-7.

- Löllgen, H., Löllgen, D. "Risikoreduktion Kardiovaskulärer Erkrankungen Durch Körperliche Aktivität." [In German]. *Der Internist* 53, no. 1 (2012-01-01 2012): 20-29.
- London, G. M., J. Blacher, B. Pannier, A. P. Guerin, S. J. Marchais, and M. E. Safar. "Arterial Wave Reflections and Survival in End-Stage Renal Failure." *Hypertension* 38, no. 3 (2001): 434-38.
- Lurbe, E., I. Torro, C. Garcia-Vicent, J. Alvarez, J. A. Fernandez-Fornoso, and J. Redon. "Blood Pressure and Obesity Exert Independent Influences on Pulse Wave Velocity in Youth." *Hypertension* 60, no. 2 (Aug 2012): 550-5.
- Lydakis, C., E. Stefanaki, S. Stefanaki, E. Thalassinou, M. Kavousanaki, and D. Lydaki. "Correlation of Blood Pressure, Obesity, and Adherence to the Mediterranean Diet with Indices of Arterial Stiffness in Children." *Eur J Pediatr* 171, no. 9 (Sep 2012): 1373-82.
- Mackenzie, I. S., I. B. Wilkinson, and J. R. Cockcroft. "Assessment of Arterial Stiffness in Clinical Practice." [In eng]. *QJM* 95, no. 2 (Feb 2002): 67-74.
- Manz, K., R. Schlack, C. Poethko-Müller, G. Mensink, J. Finger, and T. Lampert. "Körperlich-Sportliche Aktivität Und Nutzung Elektronischer Medien Im Kindes- Und Jugendalter." [In German]. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 57, no. 7 (2014/07/01 2014): 840-48.
- Marchais, S. J., A. P. Guerin, B. M. Pannier, B. I. Levy, M. E. Safar, and G. M. London. "Wave Reflections and Cardiac Hypertrophy in Chronic Uremia. Influence of Body Size." *Hypertension* 22, no. 6 (1993): 876-83.
- McEnery, C. M., Yasmin, I. R. Hall, A. Qasem, I. B. Wilkinson, J. R. Cockcroft, and Acct Investigators. "Normal Vascular Aging: Differential Effects on Wave Reflection and Aortic Pulse Wave Velocity: The Anglo-Cardiff Collaborative Trial (Acct)." *J Am Coll Cardiol* 46, no. 9 (Nov 1 2005): 1753-60.
- McGrath, J. "Impact of Physical and Physiological Factors on Arterial Function." *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 28, no. 12 ( 2001): 1104-07.
- Mengden. "Zentraler Blutdruck Gewinnt an Bedeutung." *Druckpunkt*, no. 2 (2008): 24-25.
- Mensink, G. B., A. Schienkiewitz, M. Haftenberger, T. Lampert, T. Ziese, and C. Scheidt-Nave. "[Overweight and Obesity in Germany: Results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (Deps1)]." *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 56, no. 5-6 (May 2013): 786-94.
- Meucci, M., C. D. Curry, C. Baldari, L. Guidetti, C. Cook, and S. R. Collier. "Effect of Play-Based Summer Break Exercise on Cardiovascular Function in Adolescents." *Acta Paediatr* 102, no. 1 (Jan 2013): 24-8.
- Meyer, A., U. Lenschow, G. Kundt, M. Brunk, and W. Kienast. "Frühe Gefäßveränderungen Bei Adipösen Kindern." [In German]. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 155, no. 3 (2007/03/01 2007): 274-80.

- Middeke, Martin. "Augmentation Des Aortalen Blutdruckes - Ursachen, Kardiale Folgen Und Konsequenzen Für Die Antihypertensive Therapie." *Aktuelle Kardiologie* 2, no. 03 (2013): 151-56.
- Mitchell, G. F., H. Parise, E. J. Benjamin, M. G. Larson, M. J. Keyes, J. A. Vita, R. S. Vasan, and D. Levy. "Changes in Arterial Stiffness and Wave Reflection with Advancing Age in Healthy Men and Women: The Framingham Heart Study." *Hypertension* 43, no. 6 (Jun 2004): 1239-45.
- Moll, K., and M. Moll. *Anatomie*. Urban & Fischer in Elsevier, 2006.
- Mossberg, Hans-Olof. "40-Year Follow-up of Overweight Children." *The Lancet* 334, no. 8661 (8/26/ 1989): 491-93.
- Müller, Manfred J.; Reinehr, Thomas; Hebebrand, Johannes. "Prevention and Treatment of Child and Adolescent Obesity – Societal as Well as Behavioural Approaches Are Needed." *Dtsch Arztebl Int* 103 (2006).
- Nelson, Matthew R., Jan Stepanek, Michael Cevette, Michael Covalciuc, R. Todd Hurst, and A. Jamil Tajik. "Noninvasive Measurement of Central Vascular Pressures with Arterial Tonometry: Clinical Revival of the Pulse Pressure Waveform?". *Mayo Clinic Proceedings* 85, no. 5 (2010): 460-72.
- Ng, S. W., and B. M. Popkin. "Time Use and Physical Activity: A Shift Away from Movement across the Globe." *Obesity Reviews* 13, no. 8 (2012): 659-80.
- Nichols, O'Rourke . *Mcdonald'S Blood Flow in Arteries*. 5th Edition ed. London: Hodder Arnold, 2005.
- Nichols, Wilmer W. "Clinical Measurement of Arterial Stiffness Obtained from Noninvasive Pressure Waveforms." *American Journal of Hypertension* 18, no. S1 (January 1, 2005 2005): 3-10.
- Nürnbergger, J. "[Importance of Central and Peripheral Blood Pressure for Adjustment of Arterial Hypertension]." *Herz* 37, no. 7 (Nov 2012): 735-41.
- Nürnbergger, J., A. Mitchell, R. R. Wenzel, T. Philipp, and R. F. Schäfer. "Pulswellenreflexion." [In De]. *Dtsch med Wochenschr* 129, no. 03 (15.01.2004): 97-102.
- Nürnbergger, J., A. Opazo Saez, S. Dammer, A. Mitchell, R. R. Wenzel, T. Philipp, and R. F. Schafers. "Left Ventricular Ejection Time: A Potential Determinant of Pulse Wave Velocity in Young, Healthy Males." *J Hypertens* 21, no. 11 (Nov 2003): 2125-32.
- O'Donovan, Cuisle, Fiona E Lithander, Tara Raftery, John Gormley, Azra Mahmud, and Juliette Hussey. "Inverse Relationship between Physical Activity and Arterial Stiffness in Adults with Hypertension." *Journal of physical activity & health* 11, no. 2 (2014): 272-77.
- O'Rourke, Michael F., Alfredo Pauca, and Xiong-Jing Jiang. "Pulse Wave Analysis." *British Journal of Clinical Pharmacology* 51, no. 6 (2001): 507-22.
- Opper, E., A. Worth, M. Wagner, and K. Bos. "[the Module "Motorik" in the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (Kiggs). Motor Fitness and Physical Activity of Children and Young People]." *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50, no. 5-6 (May-Jun 2007): 879-88.

- Owen, C. G., P. H. Whincup, L. Orfei, Q. A. Chou, A. R. Rudnicka, A. K. Wathern, S. J. Kaye, J. G. Eriksson, C. Osmond, and D. G. Cook. "Is Body Mass Index before Middle Age Related to Coronary Heart Disease Risk in Later Life? Evidence from Observational Studies." *International Journal Of Obesity (Lond)* 33, no. 8 (Aug 2009): 866-77.
- Pahmeier, Iris, and Michael Tiemann. "Sport Und Gesundheit." Chap. 18 In *Sport*, edited by Arne Güllich and Michael Krüger. Bachelor, Springer Berlin Heidelberg, 2013: 655-96.
- Pal, Sebely, and Simone Radavelli-Bagatini. "Association of Arterial Stiffness with Obesity in Australian Women: A Pilot Study." *The Journal of Clinical Hypertension* 15, no. 2 (2013): 118-23.
- Petz, S. *Adipositas: Auswirkungen Und Folgen Für Kinder Im Grundschulalter*. Bachelor + Master Publishing, 2013.
- Prochaska, J. J., J. F. Sallis, and B. Long. "A Physical Activity Screening Measure for Use with Adolescents in Primary Care." *Arch Pediatr Adolesc Med* 155, no. 5 (May 2001): 554-9.
- Raekallio, J., J. Hirvonen, H. Laaksonen, M. Mottonen, T. Nikkari, E. Pesonen, S. Yla-Herttuala, and H. K. Akerblom. "Histological and Histochemical Studies on Local Coronary Wall Thickenings (Cushions) in Finnish Children Who Died Violently. Cardiovascular Risk in Young Finns?" [In eng]. *APMIS* 98, no. 2 (Feb 1990): 137-42.
- Ravens-Sieberer, U., M. Erhart, N. Wille, M. Bullinger, and Bella study group. "Health-Related Quality of Life in Children and Adolescents in Germany: Results of the Bella Study." *Eur Child Adolesc Psychiatry* 17 Suppl 1 (Dec 2008): 148-56.
- Rehaag, Regine, Gabriele Tils, Frank Waskow, HansPeter Brandl-Bredenbeck, Ralf Sygusch, Hanna-Kathrin Kraaibeek, and Catrin Drewes. "Die Rolle Von Ernährung Und Bewegung." Chap. 5 In *Gesund Jung?!*, Springer Berlin Heidelberg, 2011: 95-124
- Reiche, Dagmar.(2003). Roche Lexikon Medizin. Urban & Fischer Verlag, ([http://www.gesundheit.de/sites/default/files/images/roche/pics/a26754.000-1\\_big.gif](http://www.gesundheit.de/sites/default/files/images/roche/pics/a26754.000-1_big.gif)). Stand: 27.06.14
- Reinehr, T., W. Andler, C. Denzer, W. Siegried, H. Mayer, and M. Wabitsch. "Cardiovascular Risk Factors in Overweight German Children and Adolescents: Relation to Gender, Age and Degree of Overweight." *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 15, no. 3 (Jun 2005): 181-7.
- Reinehr, Thomas. "Gefäßveränderungen Bei Stoffwechselerkrankungen Im Kindes- Und Jugendalter." Chap. 13 In *Gefäßkrankungen Im Kindes- Und Jugendalter*, edited by Siamak Pourhassan and Wilhelm Sandmann, Steinkopff, 2010: 136-46.
- Ring, M., M. J. Eriksson, J. R. Zierath, and K. Caidahl. "Arterial Stiffness Estimation in Healthy Subjects: A Validation of Oscillometric (Arteriograph) and Tonometric (Sphygmocor) Techniques." *Hypertens Res* (Jul 24 2014).

- Rösen, P. "Endotheliale Dysfunktion: Ein Synonym Für Funktionelle Atherosklerose." *Journal für Kardiologie-Austrian Journal of Cardiology* 9, no. 12 (2002): 556-62.
- Ross, Russell. "Atherosclerosis — an Inflammatory Disease." *New England Journal of Medicine* 340, no. 2 (1999): 115-26.
- Sa da Fonseca, L., M. Mota-Gomes, and L. Rabelo "Radial Applanation Tonometry as an Adjuvant Tool in the Noninvasive Arterial Stiffness and Blood Pressure Assessment." *World Journal of Cardiovascular Diseases* Vol.04No.05 (2014): 11.
- Sakuragi, S., K. Abhayaratna, K. J. Gravenmaker, C. O'Reilly, W. Sriksalanukul, M. M. Budge, R. D. Telford, and W. P. Abhayaratna. "Influence of Adiposity and Physical Activity on Arterial Stiffness in Healthy Children: The Lifestyle of Our Kids Study." *Hypertension* 53, no. 4 (Apr 2009): 611-6.
- Schmidt-Trucksass, A., and B. Weisser. "[Vascular Aging, Arterial Hypertension and Physical Activity]." *Dtsch Med Wochenschr* 136, no. 46 (Nov 2011): 2367-71.
- Schünke, M., E. Schulte, and U. Schumacher. *Prometheus Allgemeine Anatomie Und Bewegungssystem*. Thieme, 2007.
- Siegrist, M., H. Hanssen, C. Lammell, B. Haller, and M. Halle. "A Cluster Randomised School-Based Lifestyle Intervention Programme for the Prevention of Childhood Obesity and Related Early Cardiovascular Disease (Juventum 3)." *BMC Public Health* 11 (2011): 258.
- Standring, Susan. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 39 ed. Vol. 1600, London: Churchill Livingstone Elsevier, 2005.
- StBA, (Statistisches Bundesamt). "Gesundheit Todesursachen in Deutschland." Wiesbaden, 2013.
- Stettler, N., T. M. Signer, and P. M. Suter. "Electronic Games and Environmental Factors Associated with Childhood Obesity in Switzerland." [In eng]. *Obes Res* 12, no. 6 (Jun 2004): 896-903.
- Suter, Paolo M. "Körpergewicht Und Hypertonie." *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin* 05 (2009).
- Ulfig. *"Kurzlehrbuch Histologie"*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2005.
- Urbina, E. M., T. R. Kimball, P. R. Khoury, S. R. Daniels, and L. M. Dolan. "Increased Arterial Stiffness Is Found in Adolescents with Obesity or Obesity-Related Type 2 Diabetes Mellitus." *J Hypertens* 28, no. 8 (Aug 2010): 1692-8.
- Urbina, E. M.;Philip R. Khoury, Connie E. McCoy, Lawrence M. Dolan, Stephen R. Daniels, Thomas R. Kimball. "Triglyceride to Hdl-C Ratio and Increased Arterial Stiffness in Children, Adolescents, and Young Adults ". *Pediatrics* 131, no. 4 (2013): 1082-90.
- USDHHS, (U.S. Department of Health and Human Services). "Physical Activity Guidelines for Americans.", 76. WASHINGTON, 2008.
- Uthoff, H., D. Staub, A. Meyerhans, M. Hochuli, B. Bundi, H. P. Schmid, and B. Frauchiger. "Intima-Media Thickness and Carotid Resistive Index: Progression over 6 Years and Predictive Value for Cardiovascular Events." [In De]. *Ultraschall in Med* 29, no. 06 (15.12.2008 2008): 604-10.

- Wabitsch, M. "[Obese Children and Adolescents in Germany. A Call for Action]." *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 47, no. 3 (Mar 2004): 251-5.
- Wabitsch, M., W. Kiess, M. Neef, and T. Reinehr. "Adipositas Bei Kindern Und Jugendlichen." Chap. 8 In *Adipositas*, edited by Alfred Wirth and Hans Hauner, Springer Berlin Heidelberg, 2013: 367-88.
- Waters, E, A de Silva Sanigorski, BJ Hall, T Brown, KJ Campbell, Y Gao, R Armstrong, L Prosser, and CD Summerbell. "Interventions for Preventing Obesity in Children (Review)." *Cochrane collaboration*, no. 12 (2011): 1-212.
- Watts, K., P. Beye, A. Siafarikas, E. A. Davis, T. W. Jones, G. O'Driscoll, and D. J. Green. "Exercise Training Normalizes Vascular Dysfunction and Improves Central Adiposity in Obese Adolescents." *J Am Coll Cardiol* 43, no. 10 (May 19 2004): 1823-7.
- Weber. "Grundlagen: Zentraler Blutdruck, Pulswellenreflexion, Pulswellengeschwindigkeit." *Journal für Hypertonie*, no. 14 (2010): 9-13.
- Weber. "Pulswellengeschwindigkeit Zentraler Blutdruck Und Augmentationsindex – "Neue" Parameter Zur Beschreibung Eines Endorganschadens Der Arteriellen Strombahn Bei Hypertonie.Pathophysiologie, Methodik, Prognostische Bedeutung, Empfehlungen." *Journal für Hypertonie* no. 12 (2008): 7-13.
- WHO, World Health Organization;. "Global Status Report on Noncommunicable Diseases ", (2014): 298.
- WHO, World Health Organization;. "Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2010." ( 2011).
- WHO, World Health Organization. " Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Who Technical Report." no. 894 (2000).
- Widlansky, Michael E., Noyan Gokce, Jr John F. Keaney, and Joseph A. Vita. "The Clinical Implications of Endothelial Dysfunction." *Journal of the American College of Cardiology* 42, no. 7 (2003): 1149-60.
- Wilkinson, Ian B., Krishna Prasad, Ian R. Hall, Anne Thomas, Helen MacCallum, David J. Webb, Michael P. Frenneaux, and John R. Cockcroft. "Increased Central Pulse Pressure and Augmentation Index in Subjects with Hypercholesterolemia." *Journal of the American College of Cardiology* 39, no. 6 (2002): 1005-11.
- Wilkinson, IB; MacCallum H, Flint L, Cockcroft JR, Newby DE, Webb DJ. "The Influence of Heart Rate on Augmentation Index and Central Arterial Pressure in Humans.". *The Journal of Physiology*. 525 (2000): 263-70.
- Williams, B., P. S. Lacy, S. M. Thom, K. Cruickshank, A. Stanton, D. Collier, A. D. Hughes, H. Thurston, M. O'Rourke. "Differential Impact of Blood Pressure-Lowering Drugs on Central Aortic Pressure and Clinical Outcomes: Principal Results of the Conduit Artery Function Evaluation (Cafe) Study." *Circulation* 113, no. 9 (Mar 7 2006): 1213-25.
- World Health Organization, WHO. *Global Recommendations on Physical Activity for Health*. Genf: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2010.

- Zheng, L., Z. Sun, J. Li, R. Zhang, X. Zhang, S. Liu, J. Li, C. Xu, D. Hu, and Y. Sun. "Pulse Pressure and Mean Arterial Pressure in Relation to Ischemic Stroke among Patients with Uncontrolled Hypertension in Rural Areas of China." *Stroke* 39, no. 7 (Jul 2008): 1932-7.
- Zwiauer, K. "Blutdruck Und Kardiale Veränderungen." Chap. 21 In *Adipositas Bei Kindern Und Jugendlichen*, edited by Martin Wabitsch, Wieland Kiess, Johannes Hebebrand and Karl Zwiauer, Springer Berlin Heidelberg, 2005: 178-83.
- Zwick, Michael; Jürgen, Deuschle, and Ortwin Renn. *Übergewicht Und Adipositas Bei Kindern Und Jugendlichen*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2011.

# Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. med. M. Halle danke ich für die Möglichkeit, an seinem Lehrstuhl für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München meine Doktorarbeit durchführen zu können.

Ganz besonders bedanke ich mich bei Frau Dr. phil. Monika Siegrist für ihre ausgezeichnete Unterstützung, ihre Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten, ihre konstruktiven Ratschläge, vielfältigen Anmerkungen und Korrekturen. Sie war jederzeit für Fragen offen und gab schnell Rückmeldung.

Meinem Betreuer Herrn Dr. med. Henner Hanssen danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Dissertation.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Bernhard Haller für die Unterstützung bei der statistischen Datenanalyse und Interpretation.

Weiterhin möchte ich mich bei meiner Kommilitonin Verena Willige bedanken, da sie mich auf die Idee gebracht hat meine Dissertation am Lehrstuhl für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin zu beginnen.

# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die hier vorgelegte Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

München, den 04.02.2016