

Aus dem Sozialpädiatrischen Zentrum für chronisch kranke Kinder
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Geschmackswahrnehmung von adipösen Kindern vor und
nach strukturierter Ernährungsumstellung**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Jacob Gohlisch
aus Berlin

Datum der Promotion: 06.03.2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Abstrakt	9
Abstract	11
1. Einleitung	13
1.1. Adipositas bei Kindern und Jugendlichen	13
1.1.1. Definition	13
1.1.2. Epidemiologie	13
1.1.3. Ätiologie	15
1.1.4. Folgen und Komorbiditäten	17
1.2. Geschmackssinn	19
1.2.1. Funktion	19
1.2.2. Aufbau des Geschmacksorgans	20
1.2.3. Geschmacksrezeptoren und Signaltransduktion	22
1.2.4. Aufbau der Geschmacksbahn und Interaktion mit anderen Sinneswahrnehmungen	25
1.3. Zusammenhang von Geschmack und Gewicht	27
1.4. Fragestellung	29
2. Angewandte Methoden	31
2.1. Beschreibung der Stichprobe	31
2.2. Ablauf der Studie	32
2.2.1. Anamnese und Anthropometrie	32
2.2.2. Geschmacksprüfung	33
2.2.3. Strukturierte Ernährungsumstellung	37

2.3. Statistik	39
3. Ergebnisse.....	41
3.1. Allgemeine Charakterisierung der Stichprobe.....	41
3.2. Ergebnisse der Geschmackstestung.....	43
3.2.1 Wahrnehmung aller Geschmacksqualitäten	43
3.2.2. Wahrnehmung der einzelnen Geschmacksqualitäten	45
3.2.3 Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Gesamtscores	47
3.2.3. Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität „süß“	51
3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	54
4. Diskussion	55
4.1. Diskussion des Probandenkollektivs	55
4.2. Diskussion der Methoden.....	57
4.2.1 Bestimmung der Körperfettmasse	57
4.2.2. Geschmackstestung	57
4.2.3. Therapieintervention.....	59
4.3. Diskussion der Ergebnisse.....	60
4.3.1. Unterschiede in der Geschmackswahrnehmung vor und nach der Therapieintervention.....	60
4.3.2. Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Geschmackswahrnehmung.....	62
4.4. Abschließende Bemerkung und Ausblick.....	64
Literaturverzeichnis	67
Eidesstattliche Versicherung	75
Lebenslauf.....	76
Danksagung	77

Abkürzungsverzeichnis

AGA	Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter
ATP	Adenosintriphosphat
BMI	Body-Mass-Index
BZfE	Bundeszentrum für Ernährung
bzw.	beziehungsweise
CALHM1	Calcium homeostasis modulator 1
cm	Zentimeter
DAG	Diacylglycerin
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DXA	Dual-Energy X-Ray Absorptiometry
ECOG	European Childhood Obesity Group
ENAC	Epithelialer Natriumkanal
et al.	et alii (und andere)
g	Gramm
G-Protein	Guaninnucleotid-bindendes Protein
ggf.	gegebenenfalls
GLP-1	Glucagon-like peptide 1
ITOF	International Obesity Taskforce
HDL	High Density Lipoprotein
HELENA	Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence
IP ₃	Inositol-1,4,5-trisphosphat
kcal	Kilokalorie
kg	Kilogramm
KgAS	Konsensusgruppe Adipositasschulung für Kinder und Jugendliche
KiGGS	Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
ml	Milliliter
MO	Medulla oblongata
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie

n	Stichprobengröße
Pap.	Papillae
PCO	Polyzystisches Ovarialsyndrom
PIP ₃	Phosphatidylinositol-3,4,5-trisphosphat
PLC	Phospholipase C
PKDL	Polycystic kidney disease like
PROP	6-n-Propylthiouracil
rNTS	rostraler Nucleus tractus solitarius
SDS	Standard Deviation Score
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
T1R, T2R	Taste Receptors 1,2
TRC	Taste Receptor Cells
TRP	Transient receptor potential cation channel
u.a.	unter anderem
V	Volt
VIP	Vasoaktives intestinales Peptid
WHO	World Health Organization

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: a) Aufbau einer Geschmacksknospe (taste bud) b) Verteilung der Geschmackspapillen mit den darin enthaltenen Geschmacksknospen auf der Zunge. Abbildung modifiziert nach Chandrashekar et al ⁵³	21
Abbildung 2: (A) Konfiguration der Geschmacksrezeptoren für bitter, süß und umami. (B) Ablauf der intrazellulären Signalkaskade nach Aktivierung der Rezeptoren im Mausmodell. Abbildung nach Liman ⁶⁰	24
Abbildung 3: Die Ernährungspyramide des Bundeszentrums für Ernährung (BZfE) ⁸⁹	38
Abbildung 4: Verteilung der Aufenthaltsdauer in Tagen	42
Abbildung 5: Veränderung des Geschmacksempfindens nach der strukturierten Ernährungsumstellung.....	44
Abbildung 6: Summenscore für die Geschmacksqualität "Umami" zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	46
Abbildung 7: Summenscore für die Geschmacksqualität "Bitter" zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	46
Abbildung 8: Summenscore für die Geschmacksqualität "Süß" zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	47
Abbildung 10: Vergleich des Ausgangsscores (Gesamtscore t0). Die Gruppe der nicht verbesserten Probanden weist einen deutlich höheren Ausgangswert auf, als die Gruppe der im Laufe der Untersuchung verbesserten Probanden.	49
Abbildung 11: Lineare Regressionsanalyse zum Zusammenhang zwischen Ausgangsscore und Entwicklung des Gesamtscores	50
Abbildung 12: Bewertung der Süß-Intensität von Stufe 4 zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklung der weltweiten Prävalenz von kindlichem Übergewicht und Adipositas. Absolute Zahlen in Millionen ³ . Daten für 2025 geschätzt.	13
Tabelle 2: Prävalenz von Übergewicht und Adipositas nach Altersgruppen in Deutschland ⁴	14
Tabelle 3: Übersicht über die verschiedenen Formen der Geschmackspapillen ^{51,53}	21
Tabelle 4: Verwendete Geschmacksstoffe und Konzentrationen.....	34
Tabelle 5: Randomisierung der Teststreifen bei den Geschmacksprüfungen zu Beginn (t0) und am Ende des Aufenthaltes (t1).....	35
Tabelle 6: Randomisierung der Teststreifen für die Intensitätsschätzung der Geschmacksqualität "süß".....	36
Tabelle 7: Alter und Geschlecht der Probanden	41
Tabelle 8: Vergleich des BMI-SDS der Probanden zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	42
Tabelle 9: Vergleich des Gesamtscores zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	44
Tabelle 10: Vergleich des Summenscores der einzelnen Geschmacksqualitäten zu den verschiedenen Messzeitpunkten	45
Tabelle 11: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse von Gesamtscore und den genannten Einflussfaktoren.....	48
Tabelle 12: Vergleich der im Gesamtscore verbesserten mit den nicht-verbesserten Probanden.....	48
Tabelle 13: Vergleich der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität "Süß" zu den verschiedenen Messzeitpunkten.....	51
Tabelle 14: Vergleich der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität "süß" zwischen den im Gesamtscore verbesserten und nicht verbesserten Probanden.....	52
Tabelle 15: Vergleich der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität "süß" zu den verschiedenen Messzeitpunkten, aufgeteilt nach der Gruppe der im Gesamtscore verbesserten und nicht verbesserten Probanden.....	53

Abstrakt

Hintergrund der vorliegenden Arbeit ist die weltweit weiterhin steigende Prävalenz von Adipositas im Kindes- und Jugendalter. Der Geschmackssinn beeinflusst entscheidend die Auswahl der Nahrungsmittel und somit die Anzahl der aufgenommenen Kalorien. Overberg et al. konnten nachweisen, dass das Geschmacksempfinden von Kindern mit einem BMI über der 97. Altersperzentile reduziert ist. Die Studienlage zur Veränderung des Geschmackssinns bei dieser Patientengruppe nach einer Ernährungsumstellung ist jedoch noch unzureichend.

In dieser Längsschnittstudie wurde das Geschmacksempfinden von 98 Kindern (BMI > der 97. Perzentile) vor (T0) und nach (T1) einer strukturierten Ernährungsumstellung in einer Rehabilitationsklinik getestet. Dies geschah mithilfe standardisierter Teststreifen, sogenannten „taste strips“. Es wurde sowohl die Erkennung der fünf Geschmacksqualitäten süß, sauer, salzig, umami und bitter getestet als auch ein überschwelliger Bewertungstest für süß durchgeführt. Zudem wurden mögliche Einflussfaktoren (u.a. Geschlecht, Alter, Raucherstatus) auf die Entwicklung des Geschmackssinns erhoben.

Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Verbesserung des Geschmackssinns im Gesamtscore über alle Geschmacksqualitäten ($p < 0,001$) nach Durchführung der Ernährungsumstellung. Bei der Betrachtung der einzelnen Geschmacksrichtungen fiel eine signifikante Verbesserung für bitter und umami auf ($p < 0,001$ bzw. $p = 0,016$). Die Wahrnehmung von süß zeigte sich ebenfalls verbessert, der p-Wert lag sehr nah an der Grenze zur statistischen Signifikanz ($p = 0,052$). Beim überschwelligen Bewertungstest für süß wurden die Papierstreifen mit der höchsten Saccharose-Konzentration nach der Ernährungsumstellung signifikant höher bewertet ($p = 0,015$) und somit als stärker süß wahrgenommen. Die Entwicklung der Testergebnisse hing wesentlich vom Ausgangscore in der ersten Testung ab ($p < 0,001$). Probanden mit einem initial hohen Gesamtscore bei T0 wiesen eine geringere Wahrscheinlichkeit auf, sich in der zweiten Testung T1 zu verbessern. Für die Faktoren Geschlecht, Alter, Raucherstatus, Aufenthaltsdauer in der Klinik und Ausmaß des Gewichtsverlusts konnte kein statistisch signifikanter Einfluss herausgearbeitet werden.

Aus den Ergebnissen folgt, dass eine strukturierte Ernährungsumstellung eine signifikante Veränderung des Geschmackssinns bewirken könnte und somit möglicherweise

nicht nur kurz- sondern auch langfristig einen positiven Einfluss auf die Gewichtsentwicklung hat. Dies ist von direkter Relevanz für die Adipositas therapie. Zudem fällt auf, dass die Verbesserung des Geschmacksempfindens auf die Geschmacksrichtungen mit G-Protein-gekoppelten Rezeptoren beschränkt war, während für die ionisch vermittelten Qualitäten sauer und salzig kein signifikanter Unterschied zu ermitteln war. Die Gründe hierfür sowie eine genauere Analyse der möglichen Einflussfaktoren sind interessante Fragestellungen für weiterführende Studien.

Abstract

The prevalence of obesity in children and adolescents continues to increase. The gustatory sense plays a key role in our choice of food and, therefore, influences our uptake of calories. A recent study by Overberg et al. showed that obese children show a significantly inferior sense of taste than children of normal weight. However, how the gustatory sense of obese children adjusts to a change of diet has not been well researched.

In this longitudinal study, the gustatory sense of 98 obese children (BMI > 97th percentile) was tested twice, both before (T0) and after (T1) a controlled change of diet during the children's stay in an obesity intervention clinic. Sensitivity for the taste qualities sweet, sour, salty, umami, and bitter as well as an intensity rating for sweet was analysed by means of impregnated 'taste strips' in different concentrations. Furthermore, data concerning potential influencing factors was collected.

The ability of the subjects to identify the different taste qualities improved significantly subsequent to the obesity intervention ($p < 0.001$). Regarding individual taste qualities, the detection rate was significantly higher for umami and bitter ($p < 0.001$ and $p = 0.016$ respectively) and very close to the threshold of statistical significance for sweet ($p = 0.052$). Regarding the intensity rating for sweet, the subjects rated the taste strips impregnated with the highest concentration of sucrose significantly higher after the intervention, thus perceiving them as sweeter than before ($p < 0.001$). There was a significant correlation between the total score at T0 and the outcome at T1. Subjects with a high score at T0 were less likely to improve at the second test T1 ($p < 0.001$). The statistical analysis could not detect a significant influence of sex, age, smoker status, duration of stay, and the final amount of weight loss.

These results show that a controlled change of diet can induce a change of gustatory perception. Such a change of diet, therefore, could have a positive short- and long-term influence on weight loss. Moreover, it was noticeable that the improvement of gustatory function was limited to the taste qualities detected by G-protein-coupled receptors, while there was no significant change for the qualities salty and sour detected by ionotropic receptors. This finding as well as the further analysis of potential influencing factors for the adjustment of the gustatory function pose interesting questions for further research.

1. Einleitung

1.1. Adipositas bei Kindern und Jugendlichen

1.1.1. Definition

Der Begriff Adipositas beschreibt eine pathologische Erhöhung des Körperfettanteils an der Gesamtkörpermasse. Da die genaue Messung des Körperfettanteils sehr aufwendig ist, hat sich der Body-Mass-Index (BMI) zur Abschätzung der Körperfettmasse durchgesetzt. Er wird aus den leicht messbaren Parametern Körpergröße und Körpergewicht errechnet:

$$\text{Body – Mass – Index (BMI)} = \text{Körpergewicht} / \text{Körpergröße}^2 (\text{kg}/\text{m}^2)$$

Die hohe Korrelation von BMI und Körperfettanteil bei Kindern und Jugendlichen wurde unter anderem von Pietrobelli et al.¹ nachgewiesen, so dass der BMI auch von der European Childhood Obesity Group (ECOG) oder der Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter (AGA) zur Definition von Übergewicht und Adipositas empfohlen wird. Während im Erwachsenenalter allerdings feste Grenzwerte zur Definition von Übergewicht und Adipositas gelten, muss der BMI bei Kindern und Jugendlichen im Vergleich mit alters- und geschlechtsspezifischen Perzentilenkurven betrachtet werden. Nach der aktuellen Leitlinie der AGA² spricht man von Übergewicht, wenn der BMI eines Kindes oberhalb des 90. Perzentils der Referenzgruppe liegt. Überschreitet der BMI das 97. Perzentil, spricht man von Adipositas und bei einem BMI oberhalb des 99,5. Perzentils von extremer Adipositas.

1.1.2. Epidemiologie

Laut einer Studie der International Obesity Taskforce (IOTF)³ hat die weltweite Prävalenz von kindlichem Übergewicht seit 2000 trotz vieler Initiativen zur Prävention der Krankheit kontinuierlich zugenommen und wird im Jahr 2025 weltweit fast 270 Millionen Kinder betreffen wie **Tabelle 1** zeigt.

Tabelle 1: Entwicklung der weltweiten Prävalenz von kindlichem Übergewicht und Adipositas. Absolute Zahlen in Millionen³. Daten für 2025 geschätzt.

	2000	2010	2013	2025
Übergewicht	199,9 (12,8%)	218,7 (13,9%)	223,8 (14,2%)	268,5 (15,8%)
Adipositas	71,4 (4,6%)	76,2 (4,8%)	77,8 (4,9%)	91,2 (5,4%)

Kindliche Adipositas ist somit ein weltweit vorhandenes Problem und wurde von der Weltgesundheitsorganisation WHO sogar als besorgniserregende Epidemie bezeichnet. Nachdem für Deutschland lange Zeit nur heterogene, schwer miteinander vergleichbare Daten vorlagen, wurde dieser Mangel durch eine Studie des Robert-Koch-Institutes behoben. Von 2003 bis 2006 wurden im Rahmen der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (KiGGS) umfassende Daten zur Prävalenz von Übergewicht und Adipositas erfasst. Dort zeigte sich, dass 15% (entspricht ca. 1,9 Millionen) der Kinder und Jugendlichen im Alter von 3-17 Jahren an Übergewicht und darunter 6,3% (ca. 800.000) an Adipositas leiden. Im Vergleich zur Referenzpopulation aus den Jahren 1980er- und 1990er-Jahren hat sich das Auftreten von Adipositas damit verdoppelt, die Prävalenz von Übergewicht ist um 50% gestiegen⁴.

Wie **Tabelle 2** zeigt, steigt die Prävalenz von Übergewicht und Adipositas mit dem Alter, signifikante Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen wurden nicht registriert. Jedoch fiel auf, dass Kinder aus Familien mit niedrigem Sozialstatus, mit Migrationshintergrund sowie mit übergewichtigen Eltern besonders häufig an Übergewicht und Adipositas leiden.

Tabelle 2: Prävalenz von Übergewicht und Adipositas nach Altersgruppen in Deutschland⁴

Alter	Prävalenz Übergewicht	Prävalenz Adipositas
3 bis 6 Jahre	9%	2,9%
7 bis 10 Jahre	15%	6,4%
14 bis 17 Jahre	17%	8,5%

Die letzten Erhebungen des statistischen Bundesamtes zeigten erfreulicherweise eine Stabilisierung und in einigen Bundesländern sogar einen leichten Rückgang der Adipositasprävalenz bei Schulanfängern⁵. In den neueren Erhebungen der oben genannten KiGGS-Studie zeigte sich ebenfalls keine weitere Zunahme der Prävalenz von Übergewicht und Adipositas⁶. Dies könnte auf ein erhöhtes Problembewusstsein und verbesserte Präventionsmaßnahmen in Deutschland hindeuten, die Prävalenz befindet sich allerdings weiterhin auf einem zu hohen Niveau, um Entwarnung zu geben.

Die weiterhin hohe Prävalenz der kindlichen Adipositas ist auch deswegen problematisch, da ein Großteil dieser Kinder im Erwachsenenalter ebenfalls ein erhöhtes Körpergewicht aufweist. Die Wahrscheinlichkeit für eine Persistenz der Adipositas bis in das Erwachsenenalter steigt dabei unter anderem mit dem Alter, in dem die Kinder und Jugendlichen erhöhte BMI-Werte aufweisen sowie mit der Schwere der Adipositas⁷.

1.1.3. Ätiologie

Die Entstehung von kindlicher Adipositas ist komplex und beruht sowohl auf genetischen Faktoren als auch auf dem Lebensstil⁸. Das Robert-Koch-Institut konnte über 60 verschiedene Faktoren identifizieren, die statistisch mit der Entstehung von Übergewicht assoziiert sind. Sie lassen sich in verhaltensbezogene Faktoren (z.B. körperliche Aktivität), biologische Faktoren (z.B. genetische Prädisposition), pränatale und frühkindliche Faktoren (z.B. Stillen), psychosoziale Faktoren (z.B. Gesundheitsbewusstsein der Eltern), verhältnisbezogene Faktoren (z.B. Spielplätze in der Wohnumgebung), Kontextfaktoren (z.B. Migrationshintergrund) sowie Maßnahmen der Prävention und Gesundheitsförderung unterteilen⁹. Einige dieser Faktoren sollen in der Folge näher beleuchtet werden.

Letztendlich sind Übergewicht und Adipositas immer die Folge einer langanhaltenden positiven Energiebilanz. Diese liegt vor, wenn die Energiezufuhr durch die Nahrung größer ist als der Energieverbrauch¹⁰. Daher wird die kalorienreiche Ernährung mit einem immer höheren Anteil an Fett und Zucker bei einem immer geringeren Anteil an Ballaststoffen häufig als einer der wichtigsten Gründe für Adipositas – nicht nur bei Kindern – genannt¹¹.

So stellten Moreno et al. im Rahmen der HELENA-Studie (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) fest, dass Jugendliche nur die Hälfte der empfohlenen Mengen an Obst und Gemüse zu sich nehmen, während der Anteil an Fleischprodukten sowie fett- und zuckerhaltigen Produkten deutlich zu hoch ist¹². Speziell die zunehmende Verbreitung von „Fastfood“ führt zu einer deutlichen Steigerung der aufgenommenen Energiemenge, da es schnell verfügbare, hochkalorische Nahrung bietet¹³.

Ebenso trägt der gestiegene Konsum von gesüßten Getränken entscheidend zur Entwicklung zu einer positiven Energiebilanz und damit zur Entstehung von Adipositas bei¹⁴. Dies betrifft vor allem die bei Kindern besonders beliebten „Softdrinks“. Aber auch Fruchtsäfte weisen einen hohen Zucker und Energiegehalt auf und können einen Anstieg des Körpergewichts begünstigen¹⁵. Dabei kommt erschwerend hinzu, dass die mit der festen

Nahrung aufgenommene Energiemenge trotz des Konsums von Softdrinks unverändert hoch bleibt¹⁶.

Die aus den zuvor genannten Gründen gestiegene Kalorienaufnahme wird zudem nicht durch einen steigenden Energieverbrauch kompensiert. Im Gegenteil, die zunehmend sitzende Lebensweise und der Bewegungsmangel in der modernen Gesellschaft bewirken, dass sich die Energiebilanz weiter verschlechtert. In der oben bereits genannten HELENA-Studie wurde festgestellt, dass Jugendliche fast drei Viertel der Tageszeit mit sitzenden Tätigkeiten verbringen¹², da sie in ihrer Freizeit immer seltener sportlichen Aktivitäten nachgehen. Eine Assoziation zwischen dem Ausmaß des Fernseh- sowie Computerspielekonsums und einem steigenden BMI bei Kindern konnte in verschiedenen amerikanischen und europäischen Studien nachgewiesen werden¹⁷⁻¹⁹.

Statistisch ist die kindliche Adipositas – wie viele weitere Erkrankungen – zumindest in den industrialisierten Ländern mit einem niedrigen sozialen Status assoziiert^{20,21}. Geringeres Einkommen und niedrigeres Bildungsniveau führen oft zu einem fehlenden Gesundheitsbewusstsein der Eltern, einem höheren Konsum von Fastfood sowie einem schlechteren Zugang zu sportlichen Aktivitäten. Des Weiteren werden Kinder aus sozial schwachen Familien seltener gestillt und weisen damit einen zusätzlichen Risikofaktor für die Entwicklung eines erhöhten Körpergewichts auf^{22,23}.

Der genetische Einfluss auf das kindliche Körpergewicht wurde in verschiedenen Studien mit Adoptivkindern und Zwillingkindern belegt. So ähnelt das Körpergewicht von Adoptivkindern eher dem ihrer leiblichen Eltern²⁴ und selbst getrennt voneinander lebende, eineiige Zwillinge weisen eine hohe Übereinstimmung des BMIs auf²⁵. Es sind jedoch nur sehr selten einzelne Genmutationen für eine Adipositas verantwortlich, vielmehr prädisponieren gewisse Risikoallele für einen erhöhten Körperfettanteil und sorgen im Zusammenspiel mit einem ungesundem Lebensstil für die Entstehung der Erkrankung²⁶.

Seltenere Ursachen (weniger als 5% aller Fälle) für eine frühmanifeste Adipositas sind schließlich genetische Defekte sowie eine durch Medikamenteneinnahme bedingte Adipositas. Die genetisch bedingten Formen lassen sich dabei noch einmal in monogene (z.B. Mutationen des Hormons Leptin²⁷) sowie syndromale Formen (z.B. Prader-Willi-Syndrom, Bardet-Biedl-Syndrom^{11,28}) unterteilen. Eine Gewichtszunahme als Nebenwirkung wurde unter anderem für Glukokortikoide²⁹ und Antipsychotika³⁰ nachgewiesen, die im Kindesalter jedoch eher selten eingesetzt werden.

1.1.4. Folgen und Komorbiditäten

Die kindliche Adipositas ist mit einer Vielzahl von kardiovaskulären, endokrinen, orthopädischen, psychosozialen und anderen Komorbiditäten assoziiert. Einige dieser Erkrankungen traten früher ausschließlich im Erwachsenenalter auf und sind nun als Folge des Übergewichts vermehrt bereits im Kindesalter anzutreffen. Die gesundheitlichen Risiken werden dabei durch die hohe Persistenz der Adipositas (siehe Abschnitt **1.1.2. Epidemiologie**) bis ins Erwachsenenalter noch einmal verstärkt³¹. Eine vollständige Auflistung aller Komorbiditäten würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, dennoch sollen einige von ihnen im Detail vorgestellt werden.

An erster Stelle sind die Auswirkungen des erhöhten Körperfettanteils auf das Herz-Kreislauf-System zu nennen. Es konnte gezeigt werden, dass es bereits im Kindesalter einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Adipositas und dem Auftreten von kardiovaskulären Risikofaktoren gibt. So wiesen Kinder mit schwerer Adipositas unter anderem erhöhte Blutfettwerte, einen niedrigen HDL-Cholesterin-Spiegel und erhöhte Blutdruckwerte auf³². Auch das Auftreten einer Insulinresistenz oder sogar eines vollständigen Typ-2-Diabetes bereits bei Jugendlichen wird durch die Adipositas gefördert, wodurch sich das kardiovaskuläre Risiko weiter erhöht^{33,34}.

Neben einem erhöhten Diabetes-Risiko sind auch weitere endokrine Störungen mit der Adipositas assoziiert, die vor allem übergewichtige Mädchen betreffen und zum Beispiel für ein früheres Einsetzen der Pubertät sorgen³⁵. Des Weiteren ist kindliches Übergewicht ein bedeutender Risikofaktor für das Polyzystische Ovarialsyndrom (PCO), das mit Zyklusstörungen und Androgenisierung einhergeht³⁶.

Im Bereich der orthopädischen und muskuloskeletalen Krankheiten sind zunächst allgemein Fehlstellungen in den Gelenkachsen zu nennen, die langfristig zu einer stärkeren Belastung der Gelenke oder einem unökonomischen Gangbild führen, das die körperliche Inaktivität und damit die Adipositas wiederum verstärkt³⁷. Des Weiteren wurden erhöhte Frakturaten bei übergewichtigen Kindern beobachtet, die sich vermutlich durch mangelnde Koordinationsfähigkeiten und damit erhöhte Sturzgefahr erklären lassen³⁸. Schließlich ist die kindliche Adipositas auch ein wichtiger Risikofaktor für die Epiphyseolysis capitis femoris, die vor allem bei Jungen im frühen Pubertätsalter auftritt und ein Abgleiten des Hüftkopfes vom Schenkelhals beschreibt³⁹.

Neben den körperlichen Schäden sind die psychosozialen Folgen des Übergewichts in Betracht zu ziehen. Durch vermehrtes Mobbing und soziale Ausgrenzung⁴⁰ vor allem in der Pubertät weisen übergewichtige Kinder eine verminderte Lebensqualität, ein sinkendes Selbstwertgefühl und in der Folge ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von psychiatrischen Erkrankungen wie Depressionen, Suchterkrankungen oder Essstörungen auf^{41,42}.

1.2. Geschmackssinn

1.2.1. Funktion

Schmecken ist neben Hören, Riechen, Sehen und Fühlen eine der fünf Hauptsinneswahrnehmungen des Menschen. Der Geschmackssinn spielt eine entscheidende Rolle bei der Auswahl unserer Nahrung. Seine Hauptaufgabe ist eine letzte Beurteilung der Nahrungsmittel vor der Aufnahme in den Verdauungstrakt, nachdem zuvor bereits der Geruch, das Aussehen oder die Textur der Nahrung bewertet wurde. Im Zusammenspiel mit anderen Sinnesorganen hilft er uns somit bei der Entscheidung, welche Nahrungsmittel wir als gefährlich und welche wir als gut für unseren Körper einstufen.⁴³

Es können fünf verschiedene Geschmacksrichtungen unterschieden werden: süß, sauer, salzig, bitter und umami (japanisch für „wohlschmeckend“).⁴³ Diese Grundgeschmacksrichtungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch eigenständige Rezeptoren auf der Zunge detektiert werden, die anschließend spezifische molekulare und zelluläre Signalwege auslösen⁴⁴. In der Tierforschung konnte bereits gezeigt werden, dass auch Fettsäuren an spezielle Rezeptoren der Geschmackszellen binden können und so eigenständige Signalkaskaden auslösen. Es bedarf jedoch noch weiterer Forschung, bevor „fettig“ als eigenständige und damit sechste Geschmacksqualität des Menschen bezeichnet werden kann⁴⁵.

Evolutionär gesehen weisen die Geschmacksrichtungen süß und umami (die durch die Aminosäure Glutamat vermittelt wird, siehe unten) auf einen hohen Energie- bzw. Nährstoffgehalt hin und werden daher positiv bewertet. Bitterer und saurer Geschmack wird vom Körper hingegen als Hinweis auf verdorbene oder giftige Nahrung aufgefasst. Die Bewertung eines salzigen Geschmacks schließlich ist konzentrationsabhängig: Niedrige Konzentrationen werden als angenehm empfunden, während hohe Konzentrationen teilweise bis zur Auslösung des Würgereflexes als Abwehrmechanismus führen⁴⁶. Dies ist an den Salzbedarf des Körpers angepasst, so dass sich bei Salzbedarf ein „Salzhunger“ ausbildet und höhere Salzkonzentrationen positiv bewertet werden.

All diese zuvor genannten Bewertungen der verschiedenen Geschmacksrichtungen sind angeboren und werden schon bei Neugeborenen und Kleinkindern beobachtet⁴⁷. Aus evolutionärer Sicht stellen sie sinnvolle Mechanismen dar, die dazu beitragen, möglichst energie- und nährstoffhaltige Nahrung aufzunehmen und den Körper so auf Hungerperi-

oden vorzubereiten. In unserer heutigen Gesellschaft mit einem permanenten Überangebot an Nahrung stellen sie jedoch eher einen Nachteil dar und tragen zur Entwicklung von Adipositas bei.

Trotz der evolutionären Prägung hängt die Bevorzugung bestimmter Nahrungsmittel und Geschmacksrichtungen auch in starkem Maße von der Ernährung ab. Selbst das Ernährungsverhalten der Mutter in der Schwangerschaft hat bereits einen Einfluss auf die Geschmackswahrnehmung und damit auf die Nahrungspräferenzen des Kindes⁴⁸.

1.2.2 Aufbau des Geschmacksorgans

Die Geschmackswahrnehmung erfolgt beim Menschen über die „taste receptor cells“ (TRC), spezialisierte Epithelzellen die sich vor allem auf dem Hauptgeschmacksorgan, der Zunge sowie auf dem Gaumen und der Epiglottis befinden⁴⁹. Sie haben eine begrenzte Lebensdauer und werden in einem Zeitraum von zwei Wochen bis zwei Monaten erneuert⁵⁰. Ihre Besonderheit ist, dass sie nicht nur als Epithelzellen sondern auch als Neurone betrachtet werden können, da sie erregbar sind, Aktionspotentiale generieren können und Synapsen mit anderen Geschmackszellen formen⁵¹. Die Geschmackszellen verfügen zudem über eine polare Ausrichtung mit Mikrovilli an der apikalen Membran, die der Oberflächenvergrößerung und somit der besseren Aufnahme von Geschmacksmolekülen dient⁵².

Die „taste receptor cells“ treten nicht einzeln auf, sondern lagern sich zwiebelschalenartig zu sogenannten Geschmacksknospen („taste buds“) zusammen, deren Anzahl beim Menschen in der Regel um die 5000 beträgt⁴⁹. Im apikalen Anteil der Geschmacksknospen, der Geschmackspore (*Porus gustatorius*, *taste pore*), treten die Geschmacksstoffe mit den Sinneszellen in Kontakt (siehe auch **Abbildung 1**).

Die Geschmacksknospen wiederum befinden sich in speziellen Oberflächenstrukturen, den sogenannten Geschmackspapillen. Sie sind beim Menschen in drei verschiedenen Formen anzutreffen sind und werden in **Tabelle 3** genauer beschrieben.

Tabelle 3: Übersicht über die verschiedenen Formen der Geschmackspapillen^{51,53}

Name	Anzahl Papillen	Enthaltene Geschmacksknospen	Lokalisation auf der Zunge
Pilzpapillen <i>Papillae fungiformes</i>	200-400	1-2	vordere zwei Drittel der Zunge
Blattpapillen <i>Papillae foliatae</i>	15-20	>100	seitlicher Zungenrand
Wallpapillen <i>Pap. circumvallatae</i>	10	>100	hinterer Bereich der Zunge

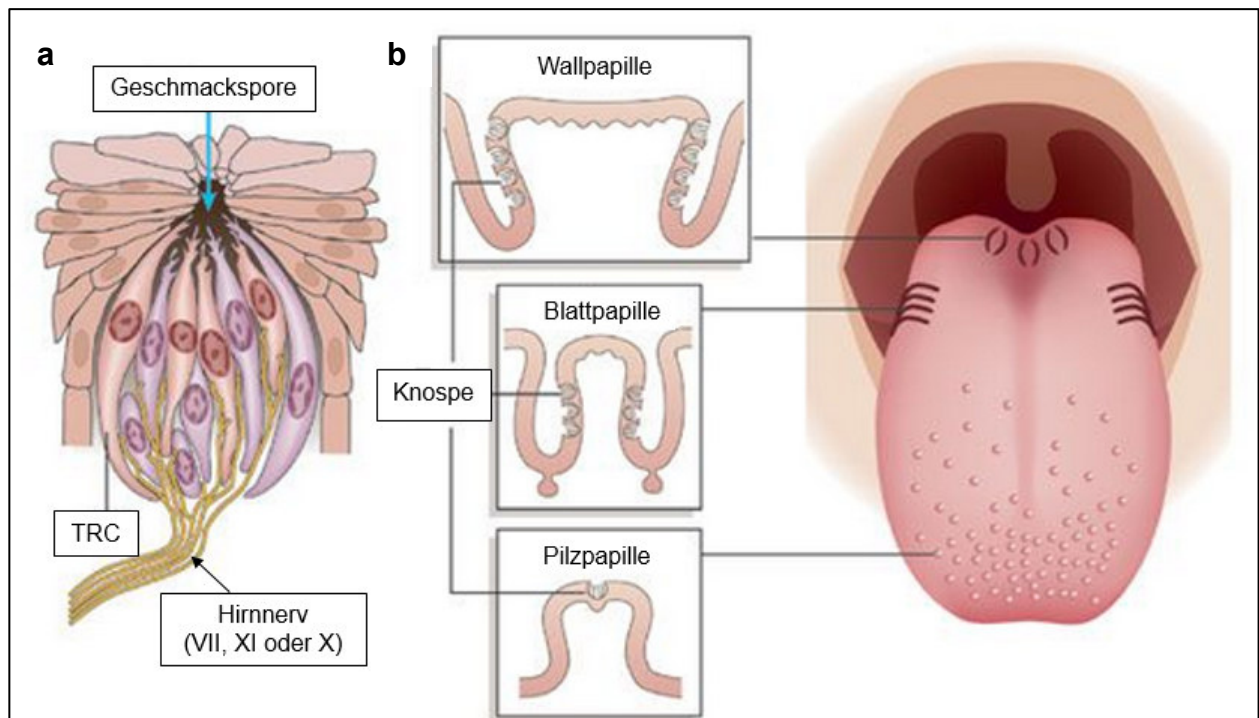


Abbildung 1: a) Aufbau einer Geschmacksknospe (taste bud): Die Geschmacksstoffe treten über die apikal gelegene Geschmackspore mit den Geschmackszellen („taste receptor cells“, TRC) in Kontakt. Basal befinden sich afferente Hirnnervenfasern, die die aufgenommenen Informationen in das Gehirn leiten. b) Verteilung der Geschmackspapillen mit den darin enthaltenen Geschmacksknospen auf der Zunge. Abbildung modifiziert nach Chandrashekar et al⁵³.

Es existiert noch eine vierte Form der Papillen, die Fadenpapillen (*Papillae filiformis*). Sie sind auf dem gesamten Zungenrücken verteilt, beinhalten jedoch keine Zellen zur Geschmackswahrnehmung. Sie verfügen aber über Sensoren zur Beurteilung der Textur und Temperatur sowie Nozizeptoren, so dass sie ebenfalls wichtige Informationen zur Bewertung eines Nahrungsmittels liefern⁴³.

Die genaue Anzahl der Geschmacksknospen und -papillen variiert sowohl in der Tierwelt als auch bei den Menschen von Individuum zu Individuum und steht dabei im direkten Zusammenhang mit dem Geschmacksempfinden. So konnte gezeigt werden, dass die Anzahl der Geschmackspapillen bei sogenannten „Supertastern“ über dem Durchschnitt liegt während Individuen mit geschädigtem Geschmackssinn auch eine niedrigere Anzahl an Papillen aufweisen^{54,55}.

1.2.3 Geschmacksrezeptoren und Signaltransduktion

Aktuell wird davon ausgegangen, dass die Empfindung von süß, bitter und umami metabotrop über G-Protein-gekoppelte Rezeptoren vermittelt wird und für alle dieser drei Geschmacksrichtungen über die gleiche Signalkaskade erfolgt. Die Reizübermittlung von sauer und salzig hingegen erfolgt ionotrop, wobei die genauen Transduktionsmechanismen noch nicht vollständig geklärt sind⁵⁶. Im folgenden Abschnitt soll der aktuelle Stand der Forschung über die genaue Konfiguration der Rezeptoren sowie ihre Signalübermittlung für jede Geschmacksrichtung kurz dargelegt werden.

Die Geschmacksempfindung **bitter** wird durch Rezeptoren der T2R-Familie vermittelt⁵⁷. Beim Menschen konnten bisher 25 Subtypen der G-Protein-gekoppelten Proteine identifiziert werden, die gemeinsam eine Vielzahl von strukturell teilweise sehr unterschiedlichen Geschmacksstoffen registrieren können⁵⁸. Dies könnte unter anderem darauf beruhen, dass die Erkennung von möglichst vielen verschiedenen bitteren – und damit potenziell toxischen – Substanzen evolutionäre Vorteile hat bzw. hatte. Die Rezeptor-Subtypen unterscheiden sich zudem in ihrer Sensitivität und Spezifität, also der Anzahl an möglichen Liganden. Dabei können sehr sensitive Rezeptoren bereits sehr schwache Konzentrationen eines Bitterstoffs registrieren, sind aber dafür oft auf sehr wenige Moleküle spezialisiert⁵⁹.

Die G-Protein-Rezeptoren der beiden positiv bewerteten Geschmacksrichtungen **süß** und **umami** gehören zur T1R-Familie und unterscheiden sich untereinander auf molekularer Ebene nur durch eine bestimmte Untereinheit. Ihre Form wird oft mit einer Venusfliegenfalle verglichen (siehe **Abbildung 2**). Im Gegensatz zu den T2R-Rezeptoren für bittere Geschmacksstoffe hat die T1R-Familie deutlich weniger Subtypen, so dass die Rezeptoren nur auf eine relativ kleine Anzahl an möglichen Liganden reagieren^{60,61}:

- Geschmacksrezeptoren für süß (bestehend aus den Untereinheiten T1R2 und T1R3) reagieren auf Zucker, künstliche Süßstoffe wie Aspartam und einige süßschmeckende Proteine wie Thaumatin⁶².
- Geschmacksrezeptoren für umami (bestehend aus den Untereinheiten T1R1 und T1R3) reagieren grundsätzlich auf mehrere Aminosäuren, beim Menschen jedoch vor allem auf Glutamat⁶³.

Die ausgelöste Signalkaskade ist für die drei metabotrop vermittelten Geschmacksrichtungen bitter, süß und umami sehr ähnlich⁶⁴. Bindet eine ausreichende Anzahl von Geschmacksmolekülen an einen Rezeptor, wird über die Aktivierung des Enzyms Phospholipase C (PLC) zunächst eine Freisetzung von Calcium-Ionen aus intrazellulären Speichern ausgelöst. Die Veränderung der Calcium-Konzentration sorgt wiederum für die Öffnung eines Natriumspezifischen-Ionenkanals (TRPM5) in der Zellmembran und somit schließlich für die Depolarisation der Zelle. Diese Depolarisation wiederum führt zur Öffnung des CALHM1-Kanals in der Zellmembran und zur Freisetzung des Neurotransmitters ATP (Adenosintriphosphat)⁶⁵.

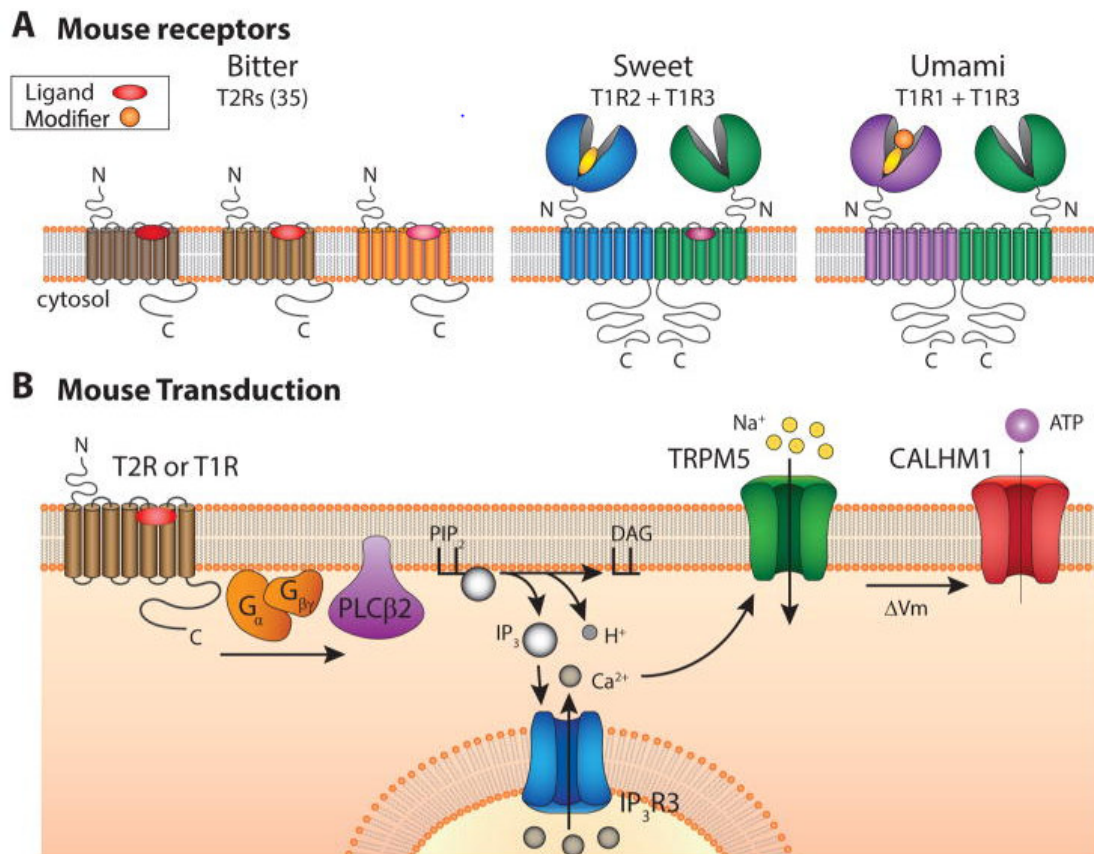


Abbildung 2: (A) Konfiguration der Geschmacksrezeptoren für bitter, süß und umami. (B) Ablauf der intrazellulären Signalkaskade nach Aktivierung der Rezeptoren im Mausmodell. Abbildung nach Liman⁶⁰.

Die Signaltransduktion der ionotropen Rezeptoren für die Geschmacksempfindungen sauer und salzig ist trotz einiger Fortschritte in den letzten Jahren weiterhin nicht vollständig geklärt.

Saurer Geschmack wird durch saure pH-Werte sowie organische Säuren ausgelöst⁶⁶. Die zuständigen Geschmackszellen verfügen über einen spezifischen Zellkanal mit noch unbekannter Konfiguration, durch den Protonen in die Zelle einströmen können⁶⁷. Zudem scheinen schwache organische Säuren auch direkt in die Zelle eindringen zu können und dort durch Verschiebung des pH-Wertes im Zytosol ein Aktionspotential auszulösen⁶⁰. Auch wenn in Tierversuchen bereits verschiedene spezifische Ionenkanäle der sauren Geschmackszellen identifiziert wurden - zuletzt unter anderem PKD2L1 und PKD2L3 (polycystic-kidney-disease-like) – bleibt unklar, welche Kanäle schließlich zur Membrandepolarisation der Zelle führen⁶⁸.

Die Geschmacksempfindung von **salzig** wird vor allem durch Natrium-Ionen ausgelöst, kann jedoch auch andere Kationen hervorgerufen werden⁶⁰. Sie ist insofern einzigartig, dass sie konzentrationsabhängig sowohl positiv als auch negativ bewertet werden kann. Dies wird durch unterschiedliche Rezeptoren sowie Ionenkanäle für niedrige und hohe Salzkonzentrationen auf den zugehörigen Geschmackszellen vermittelt:

- Niedrige Ionen-Konzentrationen werden durch epitheliale Natriumkanäle (ENaC) registriert, die grundsätzlich in vielen verschiedenen Zellen des Körpers zu finden sind, in den Geschmackszellen jedoch eine bestimmte Untereinheit aufweisen (ENaC α)⁶⁹.
- Der spezifische Sensor für hohe Salzkonzentrationen ist hingegen noch nicht bekannt. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass die negative Bewertung von stark salzigen Geschmacksstoffen auch über die Rekrutierung von Signalwegen für bitter und sauer entsteht. Wie diese Signalwege genau aktiviert werden, ist jedoch noch nicht geklärt⁴⁶.

1.2.4. Aufbau der Geschmacksbahn und Interaktion mit anderen Sinneswahrnehmungen

Der erste Schritt bei der Übermittlung der Geschmacksinformation an das Gehirn besteht in der Kommunikation zwischen den Geschmacksrezeptorzellen und den zugehörigen Hirnnervenfasern. Dies geschieht vor allem über den Neurotransmitter Adenosintriphosphat (ATP), doch scheinen auch andere Transmitter wie Serotonin oder Acetylcholin ausgeschüttet zu werden⁷⁰⁻⁷².

Die Informationen zur Art und Menge des Geschmacksstoffs werden anschließend über drei Hirnnerven weitergeleitet: Der Nervus facialis (VII. Hirnnerv) versorgt über die Chorda tympani die vorderen zwei Drittel der Zunge sowie den Gaumen, während das hintere Drittel der Zunge sowie der Pharynx von Nervenästen des Nervus glossopharyngeus und Nervus vagus versorgt werden (IX. bzw. X. Hirnnerv)⁷³. Neben der Übermittlung der Geschmacksinformation zum Gehirn sind diese Nerven auch für die Auslösung des Schluck- und Würgereflexes verantwortlich, die über den Hirnstamm verschaltet sind und eine große Rolle in der Nahrungsaufnahme spielen⁷⁴.

Ausgehend von den Geschmackszellen der Mundhöhle ziehen die Hirnnervenfasern zunächst zum Hirnstamm, genauer gesagt zum rostralen Anteil des Nucleus tractus solita-

rius (rNTS) in der Medulla Oblongata (MO). Von dort gelangen die Fasern über den Nucleus ventralis posterior des Thalamus primär zum Gyrus postcentralis, zum Operculum und zur Inselregion. Weitere Geschmacksareale finden sich im orbitofrontalen Kortex, wo die bewusste Wahrnehmung der Geschmacksstoffe stattfindet^{73,75}. Schließlich gibt es zur emotionalen Bewertung des Geschmacks weitere Signalwege zu der Amygdala, dem Hippocampus und anderen Kerngebieten des limbischen Systems⁷⁶.

Die Bewertung von Geschmacksinformationen erfolgt immer in Interaktion mit anderen Sinneswahrnehmungen. Bereits der Nucleus tractus solitarius im Hirnstamm erhält trigeminale Afferenzen (V. Hirnnerv) aus der Mundhöhle, die unter anderem Informationen über die Konsistenz und Temperatur der aufgenommenen Nahrungsbestandteile liefern. In den höheren Geschmacksarealen werden visuelle und olfaktorische Informationen integriert, so dass die Bewertung der Nahrung weit über die fünf Grundgeschmacksrichtungen hinausgeht⁷³.

1.3. Zusammenhang von Geschmack und Gewicht

Die Geschmackswahrnehmung beeinflusst die Nahrungsaufnahme und somit die Entwicklung des Körpergewichts⁷⁷. Wie stark der Einfluss ist und ob es einen Zusammenhang zwischen einer Reduktion des Körpergewichts und einer Verbesserung der Geschmackswahrnehmung gibt, konnte bisher nicht eindeutig belegt werden. Im folgenden Abschnitt sollen die wichtigsten mit Kindern durchgeführten Studien zu diesen Fragestellungen kurz vorgestellt werden.

Sowohl Pasquet et al.⁷⁸ als auch Overberg et al.⁷⁹ testeten das Geschmacksempfinden von Kindern mit einem BMI über der 97. Perzentile und stellten die Ergebnisse einer normalgewichtigen Kontrollgruppe gegenüber. Pasquet und Kollegen zeigten, dass die Probanden mit überhöhtem Körpergewicht ein besseres Geschmacksempfinden für die Qualitäten „süß“ und „salzig“ aufweisen; sie erzielten sowohl bei den Wahrnehmungsschwellen in der Intensitätsbewertung bessere Ergebnisse. Overberg et al. erzielten gegenteilige Ergebnisse: Die Probanden mit einem erhöhten BMI konnten die verschiedenen Geschmacksrichtungen insgesamt signifikant schlechter identifizieren und hatten insbesondere Probleme bei der Erkennung der Qualitäten „umami“, „salzig“ und „bitter“. Zudem stufen diese Probanden verschiedene Süßkonzentrationen signifikant niedriger ein als die Kontrollgruppe.

Ein großes Augenmerk in der Forschung zu Geschmack und Gewicht liegt weiterhin auf der Fähigkeit, den Bitterstoff PROP (6-n-Propylthiouracil) zu schmecken. Verschiedene Arbeitsgruppen befassten sich mit der Hypothese, dass „PROP-Taster“ nicht nur Bitterstoffe, sondern auch andere Geschmacksrichtungen intensiver wahrnehmen können und daher weniger gesüßte sowie energieärmere Nahrungsmittel bevorzugen würden. Die Ergebnisse zu dieser Fragestellung waren jedoch widersprüchlich, da nur bei den Jungen die „PROP-Taster“ wie vermutet niedrigere BMI-Werte aufwiesen als die „Non-Taster“, während bei den Mädchen kein Zusammenhang zwischen dem PROP-Status und dem BMI nachgewiesen werden konnte^{80,81}.

Auch zu der Hypothese, dass eine Gewichtsreduktion zu einer Verbesserung des Geschmacksempfindens beitragen kann liegen bisher widersprüchliche Erkenntnisse vor. Alexy und Kollegen⁸² konnten in ihrer 2010 durchgeführten Studie keine signifikante Veränderung der Geschmackswahrnehmung oder der Nahrungspräferenzen nach einer Gewichtsreduktion bei den jugendlichen Probanden (BMI > 97. Perzentile) feststellen. Bei

dieser Studie befanden sich die Probanden jedoch zwischen den Messzeitpunkten nicht in einem festen und vergleichbaren Umfeld, so dass viele verschiedene Einflussfaktoren auf die Geschmackswahrnehmung aufgetreten sein könnten.

Sauer und Kollegen⁸³ führten 2017 Geschmackstests bei Kindern während ihres Aufenthaltes in einer Adipositas-Rehabilitationsklinik durch; hier wurden die äußeren Einflussfaktoren also reduziert. Sie konnten nachweisen, dass sich die Wahrnehmung von „sauer“ nach einer Gewichtsreduktion verbessert, während sich die Wahrnehmung von „süß“ verschlechtert. In der zugehörigen Kontrollgruppe konnten keine Veränderungen der Geschmackswahrnehmung beobachtet werden.

Als Begründung für die inkonsistente Datenlage – die sich auch bei Studien mit Erwachsenen Probanden zeigt – ist zunächst die unterschiedliche Form der Geschmackstestung zu nennen. Teilweise wurden Präferenzen getestet, teilweise Wahrnehmungsschwellen und teilweise wurden überschwellige Bewertungstest durchgeführt. Die Vergleichbarkeit der Arbeiten wird dadurch erheblich erschwert. Insgesamt wird jedoch deutlich, dass die bisherige Datenlage zu diesem Thema unzureichend ist und weitere Nachforschungen erstrebenswert sind.

1.4. Fragestellung

Diese Arbeit zielt vor allem darauf ab, den Einfluss einer strukturierten Ernährungsumstellung auf den Geschmackssinn von Kindern und Jugendlichen mit einem erhöhten BMI zu untersuchen. Des Weiteren sollen die Gewichtsentwicklung, Alter, Geschlecht und die Länge des stationären Aufenthaltes als mögliche Einflussfaktoren der Geschmackswahrnehmung analysiert werden. Zu diesem Zweck wurde der Geschmackssinn von 102 Kinder- und Jugendlichen vor und nach einer Teilnahme an einer strukturierten Adipositas-therapie in einer Rehabilitationsklinik untersucht sowie einmalige Befragungen und Messungen zu den oben genannten Einflussfaktoren durchgeführt.

Die bisher zu diesem Thema vorliegenden Studien liefern widersprüchliche Ergebnisse und weisen zum Teil nur relativ kleine Probandenkollektive auf. Zudem existiert bisher keine Arbeit, die die Erkennung von allen fünf Grundgeschmacksrichtungen untersucht. Insgesamt ist die Anzahl an Längsschnittstudien zur Geschmacksentwicklung bei Kindern- und Jugendlichen weiterhin unzureichend.

Die Haupthypothese dieser Arbeit besagt, dass eine strukturierte Ernährungsumstellung die Geschmackswahrnehmung von Kindern und Jugendlichen mit einem erhöhten BMI verbessert. Des Weiteren sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Kann eine Korrelation zwischen dem Ausmaß der Gewichtsreduktion und Verbesserung des Geschmacksempfindens nachgewiesen werden?
- Können das Alter, das Geschlecht oder der Raucherstatus als Einflussfaktoren für die Entwicklung des Geschmackssinns identifiziert werden?
- Steigt die Wahrscheinlichkeit auf eine Verbesserung des Geschmackssinns mit der Dauer der Therapieintervention?

2. Angewandte Methoden

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 102 Kinder und Jugendliche im Alter von 6-18 Jahren anhand einer Längsschnittstudie vor und nach einer strukturierten Ernährungsumstellung hinsichtlich ihres Geschmacksempfindens untersucht.

Die Untersuchungen wurden in einer Rehabilitationsklinik für Kinder und Jugendliche im Zeitraum zwischen Juni und Dezember 2015 durchgeführt. Vor Beginn der Studie wurde die Zustimmung der Ethikkommission (EA2/049/15) eingeholt.

2.1. Beschreibung der Stichprobe

Die Studienteilnehmer waren Patienten* der Rehabilitationsklinik, die dort aufgrund ihrer Adipositas über mehrere Wochen stationär betreut wurde. Die Patienten wurden analog zu den Untersuchungen von Overberg et al.⁷⁹ nach den folgenden Ein- und Ausschlusskriterien rekrutiert:

Einschlusskriterien:

- BMI über der 97. Perzentile der alters- und geschlechtsspezifischen Referenzgruppe nach Kromeyer-Hauschild⁸⁴
- Alter 6 bis 18 Jahre
- altersentsprechende Entwicklung
- Einwilligung nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung (gemeinsam mit den Erziehungsberechtigten)

Ausschlusskriterien:

- akute oder chronische Erkrankungen, die das Geruchs- und Geschmacksempfinden beeinflussen (z.B. Infekte der oberen Luftwege)
- akute oder chronische Erkrankungen, die die Gewichtsentwicklung beeinflussen (z.B. Hyper-/Hypothyreose, Morbus Cushing)
- Medikamenteneinnahme, die die Gewichtsentwicklung beeinflusst (z.B. Cortison-Therapie)

* Wenn weibliche und männliche Personen gleichermaßen gemeint sind, wird im Folgenden aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Schreibweise verwendet.

2.2. Ablauf der Studie

Die Patienten der Rehabilitationsklinik und ihre Erziehungsberechtigten erhielten bereits im Voraus per Post Informationen zu einer möglichen Teilnahme an der Studie. Am Ankunftstag wurden sie erneut gezielt angesprochen und über den Ablauf der Studie aufgeklärt. Anschließend wurde bei Interesse an der Studienteilnahme die Einverständniserklärung von den Probanden und ihren Erziehungsberechtigten unterschrieben.

Die Untersuchungen im Rahmen der Studie verteilten sich auf zwei Testtermine, einen zu Beginn und einen am Ende des Aufenthaltes in der Rehabilitationsklinik. Bei diesen Terminen wurden anthropometrische Messungen sowie Geschmacksprüfungen durchgeführt, beim ersten Testtermin zusätzlich noch eine ausführliche Anamnese. Durch die Durchführung der Studie in einer Rehabilitationsklinik wurde sichergestellt, dass alle Probanden während des Studienzeitraums einem vergleichbaren, strukturierten Tagesablauf mit genauen Vorgaben zur Ernährung und Bewegung nach den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) und der Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter (AGA) durchliefen.

Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungsteile detailliert beschrieben.

2.2.1 Anamnese und Anthropometrie

Jeder Patient der Rehabilitationsklinik wird nach seiner Ankunft ausführlich von den Klinikärzten untersucht und gemeinsam mit seinen Erziehungsberechtigten befragt. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung des Körpergewichts, eventuellen Vorerkrankungen und einer Medikamentenanamnese. Die Angaben aus den Eingangsuntersuchungen wurden für die Studiendurchführung ausgewertet und ggf. gezielt durch eigene Erhebungen – zum Beispiel zu Störungen des Geschmackssinns oder akuten Infektionen der oberen Atemwege – ergänzt.

Die Körpergröße der Probanden wurde mit einem Stadiometer (Firma Seca) auf 0,1 cm genau ermittelt, das Körpergewicht mit einer digitalen Waage (Firma Kern) auf 0,1 kg genau bestimmt. Anschließend wurde der Quotient aus Körpergewicht und Körperlänge zum Quadrat (kg/m^2) berechnet und somit der BMI bestimmt. Da der absolute Zahlenwert des BMI im Kindesalter aufgrund von physiologischen Änderungen der Körperfettmasse nicht aussagekräftig ist, wurden zur Einordnung der Werte die alters- und geschlechtsspezifischen Perzentilen nach Kromeyer-Hauschild⁸⁴ herangezogen. Die Referenzwerte

beziehen sich zwar auf Daten aus den Jahren 1985 bis 1999, werden aber vom Robert-Koch-Institut weiterhin für die Definition von Adipositas im Kindes- und Jugendalter empfohlen⁸⁵. Neben dem BMI wurde außerdem der SDS-BMI (Standard Deviation Score) berechnet, der beschreibt um ein wie viel Faches der BMI-Wert eines Probanden über (bzw. unter) dem BMI-Median der alters- und geschlechtsspezifischen Referenzgruppe liegt. Dies ermöglicht gerade bei extrem hohen BMI-Werten einen besseren Vergleich als die Betrachtung der Perzentilen, da sich erst eine starke Gewichtsreduktion auch in einer Verbesserung der Perzentile niederschlägt.

2.2.2. Geschmacksprüfung

2.2.2.1. Testmethode

Die Geschmackstestung zielte nicht auf die spezielle Überprüfung von einzelnen gustatorischen Arealen ab, sondern auf die Fähigkeit der Probanden, einen in der gesamten Mundhöhle präsentierten Geschmack zu identifizieren. Sie wurde daher mit einem validierten, sogenanntem Ganzmundtest durchgeführt.

Es wurden „taste-strips“ verwendet, die sich in der Testung von Kindern und Jugendlichen bereits bewährt haben⁷⁹ und außerdem eine gute Test-Retest-Validität aufweisen⁸⁶. Dabei handelt es sich um standardisierte Teststreifen aus imprägniertem Filterpapier, die vom Arbeitsbereich „Riechen und Schmecken“ der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der Universität Dresden unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Hummel hergestellt und für die Studie zur Verfügung gestellt wurden.

Die Teststreifen wurden in fünf verschiedenen Geschmacksrichtungen und jeweils vier verschiedenen Konzentrationen hergestellt. Dabei sollte die niedrigste Konzentration von etwa der Hälfte aller Probanden und die höchste Konzentration von nahezu allen Probanden wahrgenommen werden. **Tabelle 4** fasst die verwendeten Substanzen und ihre Konzentration für die verschiedenen Teststufen zusammen.

Tabelle 4: *Verwendete Geschmacksstoffe und Konzentrationen*

Geschmacks- qualität	Geschmacks- stoff	Konzentration in g/ml			
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Süß	Saccharose	0,05	0,1	0,2	0,4
Sauer	Zitronensäure	0,05	0,09	0,165	0,3
Salzig	Natriumchlorid	0,016	0,04	0,1	0,25
Umami	Natriumglutamat	0,016	0,04	0,1	0,25
Bitter	Chininhydrochlorid	0,0004	0,0009	0,0024	0,006

2.2.2.2 Ablauf der Geschmacksprüfung

Die Geschmacksprüfungen wurden genau wie alle weiteren Untersuchungen und Befragungen mit jedem Probanden einzeln in einem abgetrennten Raum durchgeführt, um die Konzentration der Kinder und Jugendlichen nicht zu stören. Die Probanden wurden gebeten, eine Stunde vor der Untersuchung nicht zu essen, nur Wasser zu trinken und keinen Kaugummi zu kauen.

Vor Beginn der Geschmackstestung wurden zunächst der Ablauf sowie die möglichen Antwortoptionen (einschließlich der Option „geschmacklos“) ausführlich erklärt und schriftlich dargelegt. Bei Bedarf erfolgte vor allem bei den jüngeren Kindern eine Erklärung der einzelnen Geschmacksrichtungen, zum Beispiel „sauer wie eine Zitrone“ oder „herzhaft, fleischig“ für „umami“. Den Probanden wurden jedoch keine Probe-Teststreifen vor Beginn der Testung angeboten.

Anschließend wurden die 22 Teststreifen (fünf Geschmacksstoffe in jeweils vier Konzentrationen und zwei blanko-Streifen als Negativkontrolle) in ansteigender Konzentration und randomisierter Ordnung den Probanden angeboten. Die Reihenfolge der Teststreifen wurde dabei zwischen der ersten und zweiten Geschmacksprüfung verändert, um einen Lerneffekt auszuschließen. **Tabelle 5** zeigt die Randomisierung der Teststreifen.

Tabelle 5: Randomisierung der Teststreifen bei den Geschmacksprüfungen zu Beginn (t_0) und am Ende des Aufenthaltes (t_1). Die Zahlen hinter den Geschmacksqualitäten beziehen sich auf die Konzentrationsstufen aus **Tabelle 4**.

Test- streifen	Substanz		Test- streifen	Substanz	
	t0	t1		t0	t1
1	sauer 4	bitter 4	12	umami 2	sauer 2
2	umami 4	süß 4	13	salzig 2	bitter 2
3	salzig 4	umami 4	14	süß 2	süß 2
4	süß 4	salzig 4	15	blanko	salzig 2
5	bitter 4	sauer 4	16	bitter 2	blanko
6	umami 3	süß 3	17	sauer 2	umami 2
7	sauer 3	bitter 3	18	salzig 1	sauer 1
8	blanko	salzig 3	19	bitter 1	umami 1
9	salzig 3	blanko	20	süß 1	bitter 1
10	bitter 3	sauer 3	21	umami 1	süß 1
11	süß 3	umami 3	22	sauer 1	salzig 1

Das imprägnierte Ende des Teststreifens wurde von den Probanden auf die Zunge gelegt und einige Sekunden gelutscht, bis die Geschmackssubstanz freigegeben wurde. Die wahrgenommene Geschmacksqualität wurde erfragt und auf dem Antwortbogen vom Untersucher vermerkt. Zwischen den einzelnen Teststreifen spülten die Probanden ihren Mund mit Leitungswasser.

Während der gesamten Untersuchungen erhielten die Kinder und Jugendlichen keinerlei Rückmeldung oder Tipps, ob die Geschmacksqualitäten richtig oder falsch identifiziert wurden.

Im Anschluss an die Überprüfung der Identifizierung von Geschmacksqualitäten wurde mit den gleichen Teststreifen eine Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität „süß“ durchgeführt. Den Probanden wurden dabei vier Teststreifen mit unterschiedlichen Konzentrationen des süßen Geschmackstoffes sowie ein blanko-Streifen als Negativkontrolle in randomisierter Reihenfolge vorgelegt (siehe **Tabelle 6**).

Tabelle 6: Randomisierung der Teststreifen für die Intensitätsschätzung der Geschmacksqualität "süß". Die Zahlen hinter der Geschmacksqualität beziehen sich erneut auf die Konzentration des Geschmacksstoffes aus **Tabelle 4**.

Teststreifen	Konzentration	
	t0	t1
1	süß 3	süß 4
2	süß 1	süß 2
3	süß 2	blanko
4	blanko	süß 1
5	süß 4	süß 3

Auch bei dieser Geschmacksprüfung mussten die Probanden vor jedem Teststreifen ihren Mund mit Leitungswasser ausspülen.

Die Geschmacksintensität wurde wie in den Untersuchungen von Anliker et al.⁸⁷ und Overberg et al.⁷⁹ auf einer 5-stufigen Skala bewertet, wobei Stufe 1 „kein Geschmack“ und Stufe 5 „das intensivste vorstellbare süß“ bedeutete. Die Skala wurde vor Beginn der Testung ausführlich erklärt und das Verständnis anhand eines Beispiels überprüft.

Während der anschließenden Testung bewerteten die Probanden jeden Teststreifen einzeln, ohne Möglichkeit zur nachträglichen Korrektur. Ebenso wie bei der Prüfung der Identifizierung der Geschmacksqualitäten erfolgte keine Rückmeldung zur Richtigkeit der genannten Intensitätsstufen.

2.2.3. Strukturierte Ernährungsumstellung

Zwischen den zwei Geschmacksprüfungen unterzogen sich alle Probanden im Rahmen ihres Aufenthaltes in der Rehabilitationsklinik einer strukturierten Ernährungsumstellung, die gemeinsam mit anderen Therapiebausteinen (zum Beispiel Schulungsprogramme, Bewegungstherapie) zur Behandlung der Adipositas eingesetzt wurde. Das Therapiekonzept und somit auch die Ernährungsumstellung richten sich nach den jeweils aktuellen Leitlinien der Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter (AGA)² und den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE).

Ziel der Adipositas therapie war daher nicht eine kurzfristige, massive Reduktion des Körpergewichts auf ein Normal- oder Idealgewicht, sondern ein langfristiger Therapieerfolg mit langsamer Reduktion des Körpergewichts zunächst in der Klinik und anschließender Fortführung der Gewichtsabnahme zu Hause. Die Ernährungsumstellung stützte sich gemäß den AGA-Leitlinien auf folgende Prinzipien:

- Beschränkung der Kalorienzufuhr auf 1.200-1.800 kcal pro Tag je nach Alter und Größe
- „Optimierte Mischkost“: Reichlich (energiefreie) Getränke und pflanzliche Lebensmittel, mäßig tierische Lebensmittel, sparsam fett- und zuckerreiche Lebensmittel⁸⁸
- Energiezufuhr zu ca. 15% aus Protein, 30% aus Fett und 55% aus Kohlenhydraten
- Verteilung der Energiemenge auf sechs Mahlzeiten (zwei Obstmahlzeiten, zwei Brotmahlzeiten, eine warme Hauptmahlzeit, eine Kaffeemahlzeit) zur Vermeidung von unkontrolliertem „Zwischendurchessen“

Die praktische Umsetzung dieser Prinzipien erfolgte mithilfe der Ernährungspyramide des Bundeszentrums für Ernährung (BZfE) die in **Abbildung 3** dargestellt ist. Sie bietet eine auch für Kinder verständliche Orientierung, welche Nahrungsmittel in welchen Mengen täglich zugeführt werden sollten. Die Pyramide beinhaltet ein Ampelsystem, das die Lebensmittel zunächst grob in die Klassen „reichlich“ (grün), „mäßig“ (gelb) und „sparsam“ (rot) einteilt.

Zur weiteren Differenzierung dieser Klassen und zum besseren Verständnis der Mengenangaben wird anschließend mithilfe der Pyramide eine genaue Portionsanzahl für die verschiedenen Nahrungsmittelarten angegeben. Die Größe der Portion wird dabei auch in der Rehabilitationsklinik mit dem sogenannten Handmodell ermittelt: Jede Portion, also

ein Kästchen der Pyramide, ist ungefähr so groß ist wie die eigene Hand.



Abbildung 3: Die Ernährungspyramide des Bundeszentrums für Ernährung (BZfE)⁸⁹

Die Kinder in der Rehabilitationsklinik nehmen gemäß den Vorgaben der AGA-Leitlinie pro Tag drei Hauptmahlzeiten und drei Zwischenmahlzeiten zu sich. Frühstück, Kaffeemahlzeit und Abendessen werden in Form eines Buffets angeboten, dessen Lebensmittel durch die Ampelfarben der Ernährungspyramide gekennzeichnet sind. Die Kinder stellen sich ihre Mahlzeiten unter der Anleitung von Erziehern und Ernährungsfachkräften selbst zusammen, um im Erkennen und Auswählen der richtigen Lebensmittel geschult zu werden.

Süßwaren, süße Getränke oder fettreiche Snacks zählen zu den „Extras“ der Pyramide und dürfen daher nur in kleinen Mengen zugeführt werden. Ein komplettes Verbot würde gerade bei Kindern die Attraktivität der fett- und zuckerreichen Nahrungsmittel steigern und ist somit nicht sinnvoll.

Bei den jüngsten Kindern darf jeden Tag nach dem Mittagessen eine kleine Portion (etwa eine geschlossene Hand voll) dieser „Extras“ genascht werden, bei den etwas älteren Kindern gibt es drei „Naschtage“ pro Woche. An diesen Tagen dürfen die Kinder dann eine Portion bzw. ein Glas voll „Extras“ essen oder trinken.

Während des Aufenthaltes in der Klinik bestand zudem striktes Rauch- und Alkoholverbot.

2.3. Statistik

Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS) Version 23.0.

Zur allgemeinen Beschreibung der Probandengruppe wurden die Daten zunächst hinsichtlich Alters – und Geschlechtsverteilung ausgewertet. Anschließend wurden ihre anthropometrischen Daten wie Körpergröße und -gewicht zu den verschiedenen Messzeitpunkten analysiert.

Die Ergebnisse der Geschmacksprüfung wurden wie folgt analysiert: Zunächst wurde durch Summation aller richtig erkannten Geschmacksqualitäten ein Gesamtscore gebildet. Im nächsten Schritt wurden die Ergebnisse der Probanden zu den verschiedenen Messzeitpunkten verglichen, wobei nicht nur der Gesamtscore sondern auch der Summenscore für die einzelnen Geschmacksqualitäten verglichen wurden.

Um mögliche Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Gesamtscores herauszuarbeiten, wurde zunächst eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Hierbei wurde der Zusammenhang zwischen verschiedenen Faktoren – wie zum Beispiel Alter, Geschlecht oder Gewichtsentwicklung – und einer möglichen Verbesserung bei der zweiten Geschmackstestung geprüft.

Außerdem wurde die Stichprobe anhand der Ergebnisse der Geschmackstestung in eine Gruppe der im Gesamtscore verbesserten und eine Gruppe der im Gesamtscore nicht-verbesserten Probanden aufgeteilt. Anschließend wurden diese beiden Gruppen hinsichtlich ihrer genauen Zusammensetzung und ihren Ergebnissen in den einzelnen Geschmacksprüfungen verglichen, um so möglicherweise weitere Einflussfaktoren auf die Geschmacksentwicklung zu identifizieren.

Da es sich ausschließlich um nicht normalverteilte Daten handelt, wurde bei der Auflistung der Ergebnisse jeweils der Median sowie das erste und dritte Quartil angegeben. Für die stetigen oder ordinalen Variablen wurde als Test auf statistische Signifikanz bei unverbundenen Stichproben der Mann-Whitney-U-Test und bei verbundenen Stichproben der Wilcoxon-Test angewendet. Für die kategorialen Variablen wurde die Signifikanz mithilfe des Chi-Quadrat-Tests geprüft.

Testunterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurden als statistisch signifikant gewertet. Bei p-Werten über 0,001 wurde der exakte Werte angegeben, bei kleineren Werten wurde $p < 0,001$ vermerkt.

3. Ergebnisse

3.1. Allgemeine Charakterisierung der Stichprobe

Die im Rahmen dieser Studie untersuchte Stichprobe setzte sich aus 102 Probanden zusammen, von denen vier Probanden nach Auswertung der Ergebnisse der Geschmackstestung aus der endgültigen Analyse ausgeschlossen wurden. Diese vier Probanden hatten bei mindestens einer der Geschmackstestungen beide Negativkontrollen - bestehend aus geschmacklosen Teststreifen - falsch bewertet. Somit ergab sich eine Studienpopulation von insgesamt 98 Kinder und Jugendlichen.

Der Einschluss in die Studie erfolgte bei einer manifesten Adipositas nach den alters- und geschlechtsspezifischen Perzentilen des BMI nach Kromeyer-Hausschild. Bei sechs Probanden erfolgte der Einschluss obwohl der BMI-Wert zwischen der 95. und 97. Perzentile lag und somit nach BMI keine Adipositas, sondern nur ein Übergewicht bestand. Diese Probanden verfügten jedoch über eine ausgeprägte abdominelle Adipositas mit einem Taillenumfang über der 97. alters- und geschlechtsspezifischen Perzentile.

Die Ergebnisse der Erhebungen von Alter und Geschlecht der Probanden sind in **Tabelle 7** zusammengefasst.

Tabelle 7: Alter und Geschlecht der Probanden

Alter (Jahre) bei der ersten Messung	
Median [1. 3. Quartil]	13,7 [11,6 15,4]
Altersspanne	6,1 – 18,3
Geschlecht	
Weiblich	54,1% (n=53)
Männlich	45,9% (n=45)

Des Weiteren wurde die Nationalität der Eltern erfragt. Lediglich acht der Probanden wiesen mindestens ein nicht-deutsches Elternteil auf, so dass auf eine getrennte Betrachtung dieser Untergruppe im weiteren Verlauf der Arbeit verzichtet wurde.

Es wurden zwei Untersuchungen mit jedem Probanden durchgeführt, eine zu Beginn und eine am Ende des Aufenthaltes in der Rehabilitationsklinik. Die Aufenthaltsdauer in der Klinik und damit der Zeitabstand zwischen beiden Messungen betrug im Median 37 Tage. Der kürzeste Abstand belief sich dabei auf 18 Tage, der längste Abstand auf 55 Tage. Die Verteilung der Aufenthaltsdauer ist in **Abbildung 4** dargestellt.

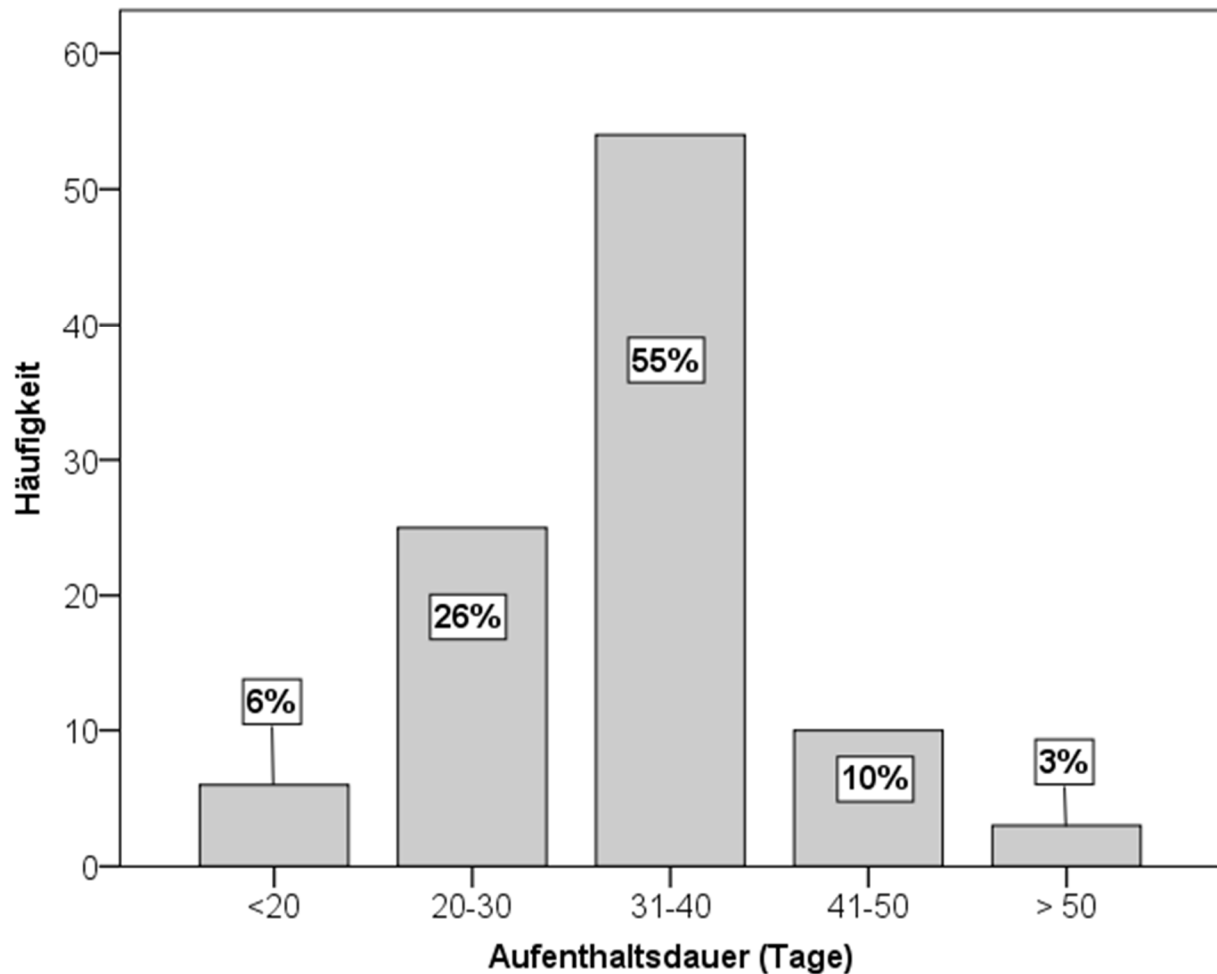


Abbildung 4: Verteilung der Aufenthaltsdauer in Tagen

Als Maß für die Gewichtsentwicklung der Kinder wurde der BMI-SDS verwendet, der beschreibt, um ein wie viel Faches der BMI-Wert eines Probanden über (bzw. unter) dem BMI-Median der alters- und geschlechtsspezifischen Referenzgruppe liegt.

Bei der ersten Messung t_0 lag dieser Wert im Median bei 2,56, bei der zweiten Messung betrug der Median 2,31. Der BMI-SDS war dabei zum Ende des Aufenthaltes in der Rehabilitationsklinik (Messung t_1) statistisch signifikant niedriger als bei der ersten Messung t_0 zu Beginn des Aufenthaltes (siehe **Tabelle 8**).

Tabelle 8: Vergleich des BMI-SDS der Probanden zu den verschiedenen Messzeitpunkten. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

BMI-SDS	t_0	t_1	p-Wert
Median [1. 3. Quartil]	2,56 [2,17 3,09]	2,31 [1,84 2,84]	< 0,001*
Spannweite	1,59 – 4,36	1,23 – 4,23	

*Wilcoxon-Test

3.2. Ergebnisse der Geschmackstestung

3.2.1 Wahrnehmung aller Geschmacksqualitäten

Zur Messung der Geschmackswahrnehmung wurden den Probanden imprägnierte Teststreifen in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Für jede richtig erkannte Geschmacksqualität wurde ein Punkt vergeben. Die Summe aller für die fünf Geschmacksqualitäten „süß“, „sauer“, „salzig“, „umami“ und „bitter“ erzielten Punkte ergab den Gesamtscore. Die Bewertungen der als Negativkontrollen fungierenden Blanko-Streifen wurden im Gesamtscore nicht berücksichtigt. Somit konnten bei fünf Geschmacksqualitäten und vier unterschiedlichen Konzentrationen mögliche Punktwerte zwischen 0 und 20 Punkten erreicht werden.

Der höchste erzielte Punktwert lag bei 18, der niedrigste bei 3 Punkten. Die Geschmacksqualität „süß“ wurde über alle Messungen gesehen am häufigsten richtig erkannt, gefolgt von „bitter“.

Die häufigsten Verwechslungen traten zwischen den Geschmacksqualitäten „salzig“ und „umami“ auf, die mit deutlichem Abstand zweithäufigsten Verwechslungen zwischen „salzig“ und „sauer“. Die Teststreifen der Geschmacksqualität „bitter“ wurden am häufigsten als geschmacklos bezeichnet.

Insgesamt erzielten 60 Probanden bei der zweiten Messung (T1) am Ende des Aufenthaltes in der Rehabilitationsklinik einen höheren Gesamtscore als bei der ersten Messung (T0) zu Beginn des Aufenthaltes (siehe **Abbildung 5**).

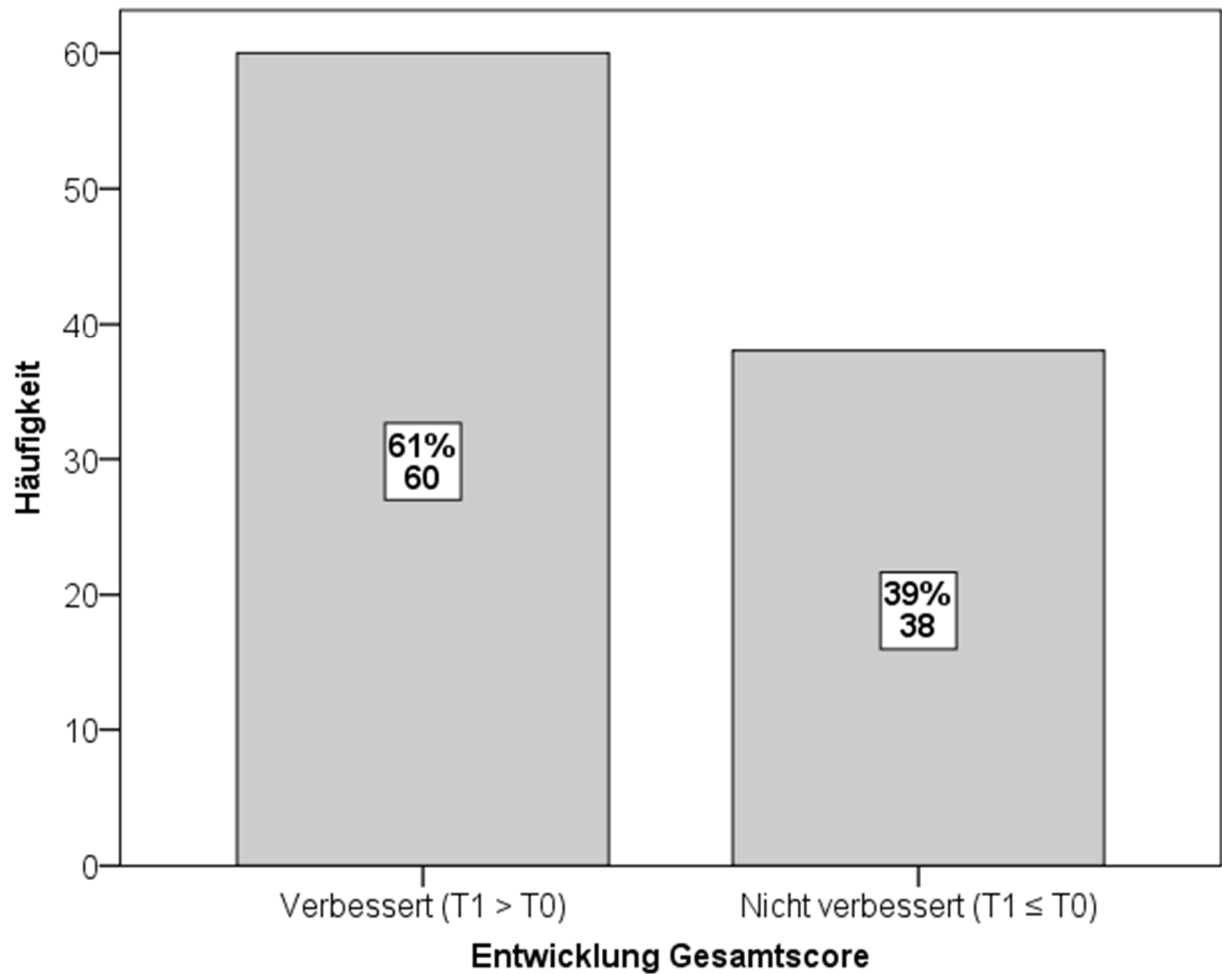


Abbildung 5: Veränderung des Geschmacksempfindens nach der strukturierten Ernährungsumstellung.

In der statistischen Analyse konnte mit Hilfe des Wilcoxon-Tests gezeigt werden, dass die Probanden bei der zweiten Messung einen signifikant höheren Gesamtscore erreichten als beim ersten Geschmackstest (siehe **Tabelle 9**).

Tabelle 9: Vergleich des Gesamtscores zu den verschiedenen Messzeitpunkten. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

Gesamtscore	<i>t0</i>	<i>t1</i>	<i>p</i> -Wert
Median [1. 3. Quartil]	12 [9 14]	13 [11 15]	< 0,001*
Spannweite	3 – 18	3 – 18	

*Wilcoxon-Test.

3.2.2. Wahrnehmung der einzelnen Geschmacksqualitäten

Des Weiteren wurde ein Summenscore für jede einzelne Geschmacksqualität ermittelt, wobei für jeden richtig identifizierten Teststreifen wieder ein Punkt vergeben wurde. Bei vier Teststreifen pro Geschmacksrichtung ergab sich somit jeweils ein Punktwert zwischen 0 und 4.

Die statistische Auswertung ergab einen signifikant höheren Summenscore für die Geschmacksqualitäten „umami“ und „bitter“ nach Abschluss der Ernährungsumstellung. Der p-Wert für die Geschmacksqualität „süß“ lag mit 0,052 sehr nah an der Grenze zur statistischen Signifikanz. Bei den anderen Geschmacksqualitäten gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten (siehe **Tabelle 10**).

Tabelle 10: Vergleich des Summenscores der einzelnen Geschmacksqualitäten zu den verschiedenen Messzeitpunkten. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

Geschmacksqualität	Zeitpunkt	Median [1. 3. Quartil]	p-Wert*
süß	t0	4 [3 4]	0,052
	t1	4 [3 4]	
sauer	t0	2 [1 3]	0,844
	t1	2 [1 3]	
salzig	t0	2,5 [1 3]	0,513
	t1	2 [1 3]	
umami	t0	1 [0 2]	<0,001
	t1	2 [1 3]	
bitter	t0	2 [1 4]	0,016
	t1	3 [2 4]	

*Wilcoxon-Test.

In **Abbildung 6** und **Abbildung 7** wird die verbesserte Wahrnehmung von „umami“ bzw. „bitter“ noch einmal veranschaulicht. Zum ersten Messzeitpunkt konnte weniger als die Hälfte der Probanden (n=44) mehr als einen Teststreifen der Kategorie „umami“ richtig identifizieren, nach Abschluss der Ernährungsumstellung gelang dies über 60% (n=62).

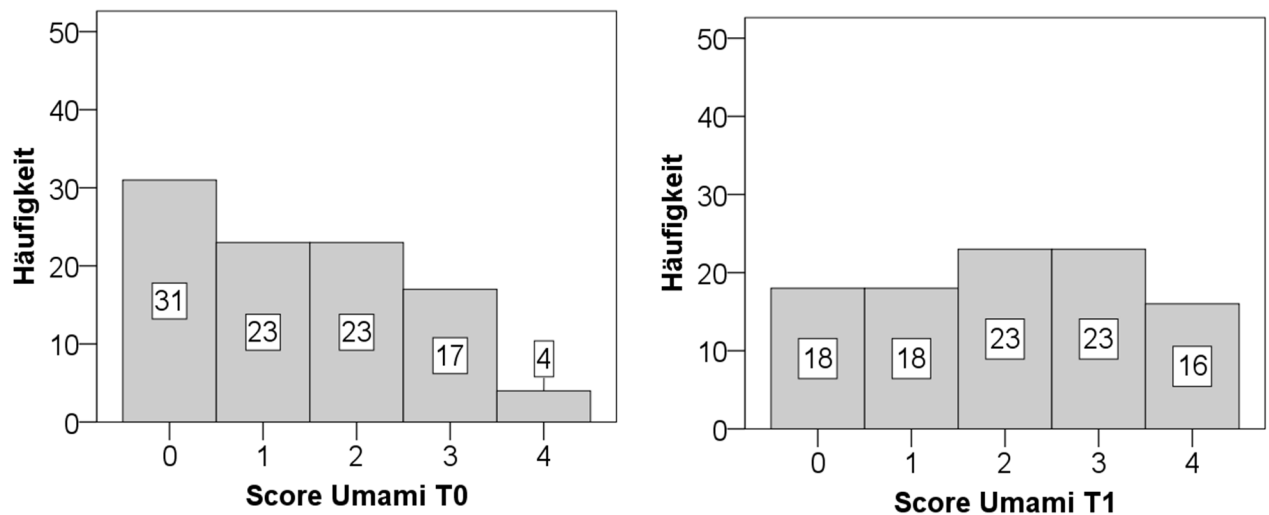


Abbildung 6: Summenscore für die Geschmacksqualität "Umami" zu den verschiedenen Messzeitpunkten.

Im Vergleich zu „umami“ war die initiale Erkennung der Geschmacksrichtung „bitter“ zwar etwas besser, doch auch dort zeigten sich die Probanden nach Abschluss der Therapie noch einmal verbessert. So gelang es über 60% der Probanden (n=62) beim zweiten Messzeitpunkt, mehr als zwei der Teststreifen richtig zu identifizieren. Beim ersten Messzeitpunkt vor Beginn der Therapie erreichte hingegen weniger als die Hälfte der Kinder und Jugendlichen einen Summenscore von drei oder mehr Punkten (n=48).

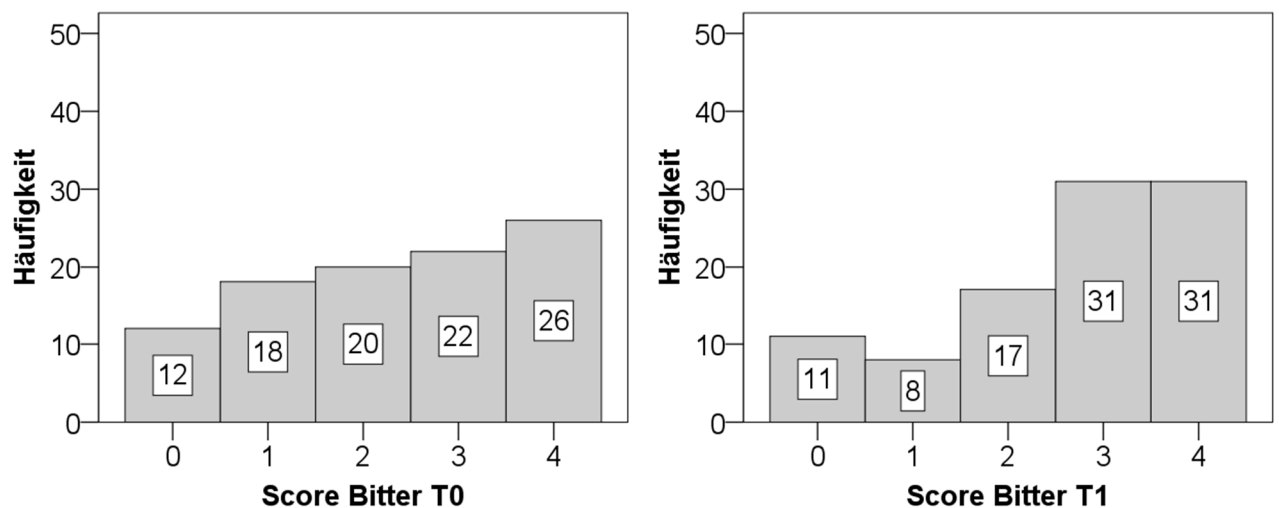


Abbildung 7: Summenscore für die Geschmacksqualität "Bitter" zu den verschiedenen Messzeitpunkten

Bei der Erkennung Geschmacksrichtung süß wiesen die Probanden bereits vor Beginn der Ernährungsumstellung eine hohe Erfolgsrate auf. Auch hier ließ sich jedoch noch eine Verbesserung erzielen, da zum zweiten Testzeitpunkt fast 75% alle Teststreifen richtig identifizierten (n=73, siehe **Abbildung 8**).

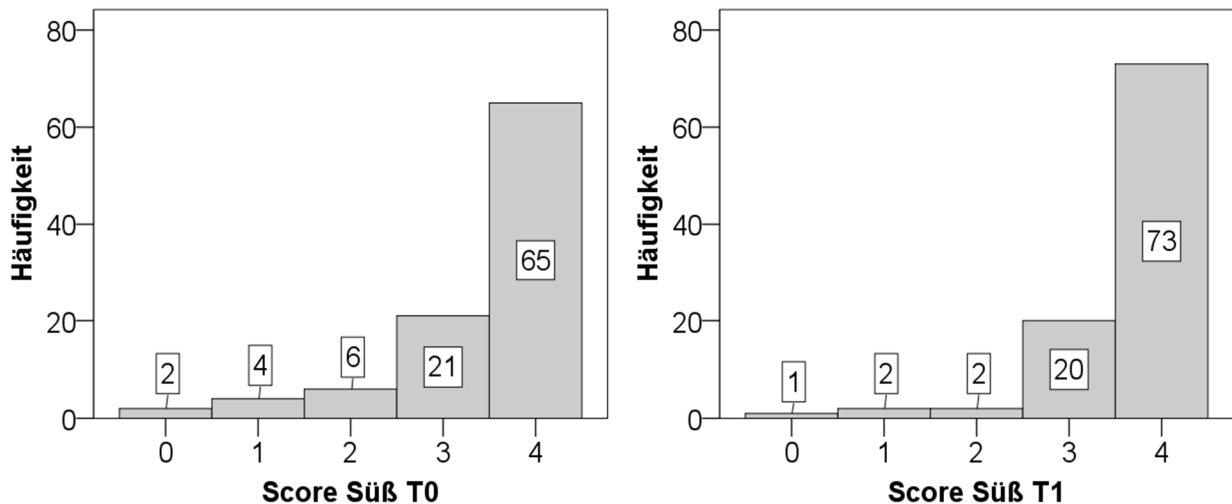


Abbildung 8: Summenscore für die Geschmacksqualität "Süß" zu den verschiedenen Messzeitpunkten

3.2.3 Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Gesamtscores

Um die Einflussfaktoren auf eine Verbesserung im Gesamtscore zu ermitteln wurde eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Die Analyse der Variablen Alter, Geschlecht, Aufenthaltsdauer und Veränderung des BMI-SDS konnte jedoch keinen statistisch signifikanten Einflussfaktor aufzeigen. Lediglich der Einfluss des Gesamtscores zum ersten Messzeitpunkt war statistisch signifikant und zeigte, dass Probanden mit einem hohen Ausgangsscore eine geringere Wahrscheinlichkeit hatten, sich bei der zweiten Messung zu verbessern. Die ausführlichen Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse sind in **Tabelle 11** dargestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse von Gesamtscore und den genannten Einflussfaktoren. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

Einflussfaktor	Regressionskoeffizient	p-Wert
Alter t0	0,087	0,270
Geschlecht	-0,186	0,664
Aufenthaltsdauer	0,001	0,977
Abnahme BMI-SDS	-4,146	0,107
Gesamtscore t0	0,272	0,001

Im nächsten Schritt wurde die Gruppe der im Gesamtscore verbesserten Probanden mit der Gruppe der im Gesamtscore nicht-verbesserten Probanden verglichen. Auch hier ergab sich bei der Analyse der getesteten Einflussfaktoren nur für den Ausgangsscore (*Gesamtscore t0*) ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (siehe **Tabelle 12**).

Tabelle 12: Vergleich der im Gesamtscore verbesserten mit den nicht-verbesserten Probanden. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

	Verbessert (n=60)	Nicht verbessert (n=38)	p-Wert
Geschlecht	51,7% ♀ 48,3% ♂	57,9% ♀ 42,1% ♂	0,547**
Raucher	16,7%	15,8%	0,909**
Aufenthaltsdauer*	36,5 [25,25 39]	38 [27 40]	0,234***
Alter t0*	13,3 [11,5 15,1]	14,3 [11,7 15,9]	0,306***
Gesamtscore t0*	11 [8 13]	13,5 [11,5 15]	<0,001***
BMI-SDS t0*	2,61 [2,34 3,09]	2,42 [2,12 3,02]	0,120***
Δ BMI-SDS*	-0,24 [-0,32 -0,19]	-0,29 [-0,44 -0,19]	0,120***

*Jeweils Angabe von Median [1. | 3. Quartil]

Chi-Quadrat-Test *Mann-Whitney-U-Test

Abbildung 9 veranschaulicht den Unterschied im Ausgangsscore zwischen beiden Gruppen. Vor Beginn der Therapie konnten die im Verlauf verbesserten Probanden im Median nur elf „taste-strips“ korrekt identifizieren, während die Gruppe der im Verlauf nicht-verbesserten Probanden im Median bereits einen Score von 13,5 erreichte.

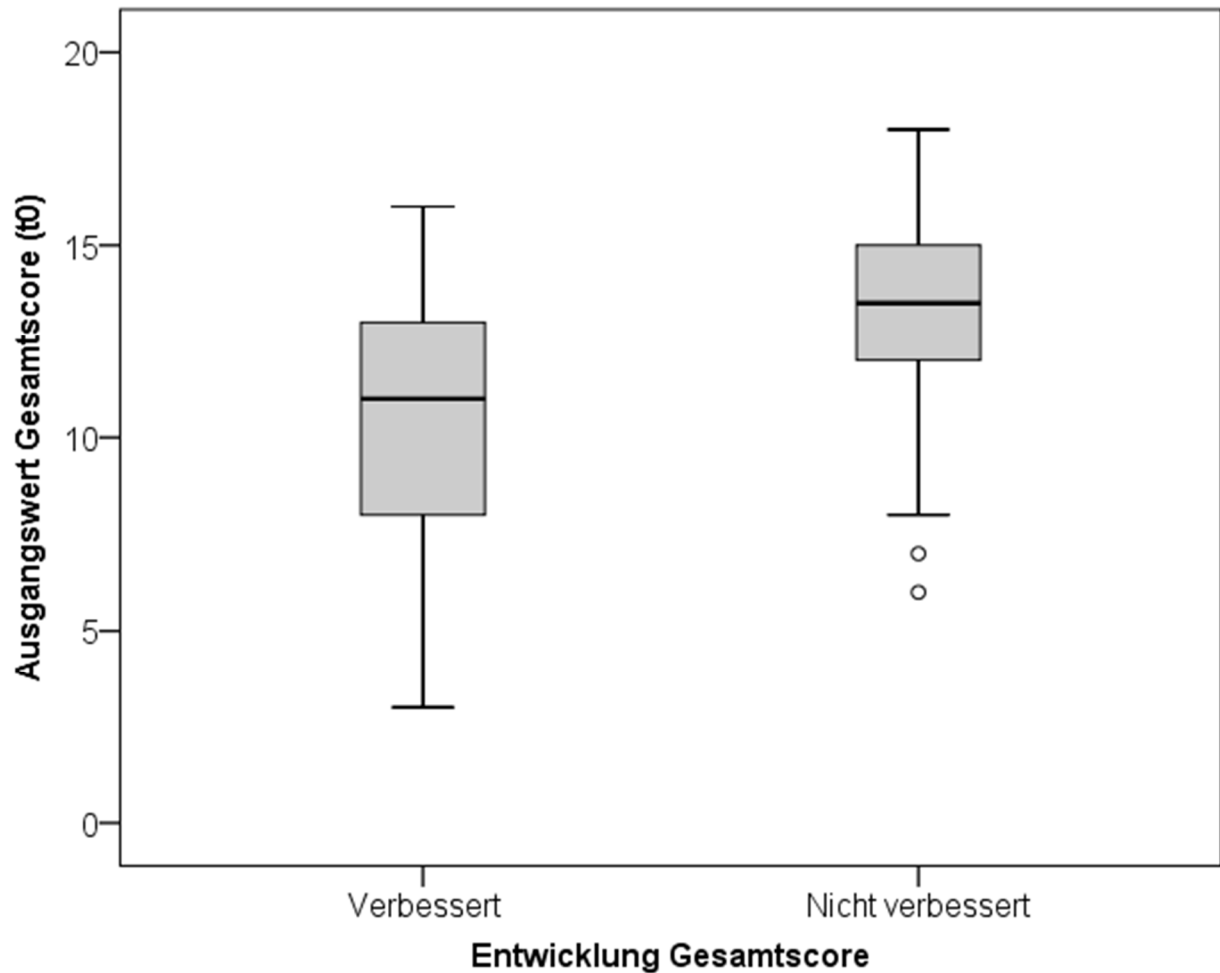


Abbildung 9: Vergleich des Ausgangsscores (Gesamtscore t_0). Die Gruppe der nicht verbesserten Probanden weist einen deutlich höheren Ausgangswert auf, als die Gruppe der im Laufe der Untersuchung verbesserten Probanden.

Die lineare Regressionsanalyse zum Zusammenhang zwischen Ausgangsscore und Entwicklung des Gesamtscores ergab einen Regressionskoeffizienten von $-0,34$ bei einem p-Wert von unter $0,001$ und war damit statistisch signifikant (siehe **Abbildung 10**).

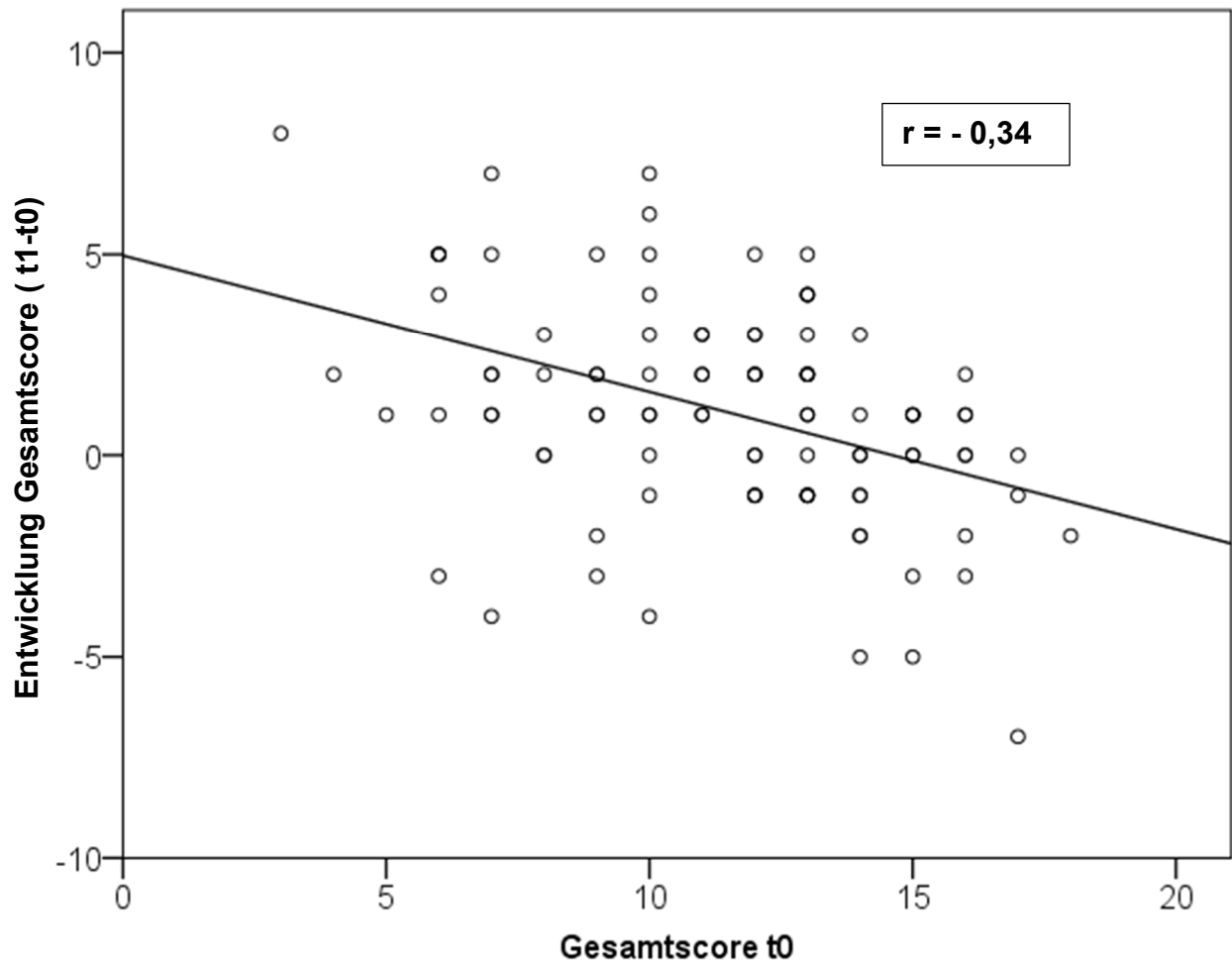


Abbildung 10: Lineare Regressionsanalyse zum Zusammenhang zwischen Ausgangsscore und Entwicklung des Gesamtscores

3.2.3. Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität „süß“

Zunächst wurde wie auch beim Test zur Erkennung der Geschmacksqualitäten die gesamte Gruppe der Probanden analysiert und ihre Werte für die Intensitätsschätzung zu den verschiedenen Messzeitpunkten verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die höchste Stufe der Süß-Streifen (Stufe 4) am Ende des Aufenthaltes signifikant höher bewertet wurde als zu Beginn (siehe **Tabelle 13** und **Abbildung 11**).

Tabelle 13: Vergleich der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität "Süß" zu den verschiedenen Messzeitpunkten. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

Süß-Intensität	Zeitpunkt	Median [1. 3. Quartil]	p-Wert*
Stufe 1	t0	1 [1 1]	0,684
	t1	1 [1 1]	
Stufe 2	t0	2 [2 2]	0,614
	t1	2 [2 2]	
Stufe 3	t0	2 [2 3]	0,824
	t1	2 [2 3]	
Stufe 4	t0	4 [4 5]	0,015
	t1	4 [4 5]	

*Wilcoxon-Test

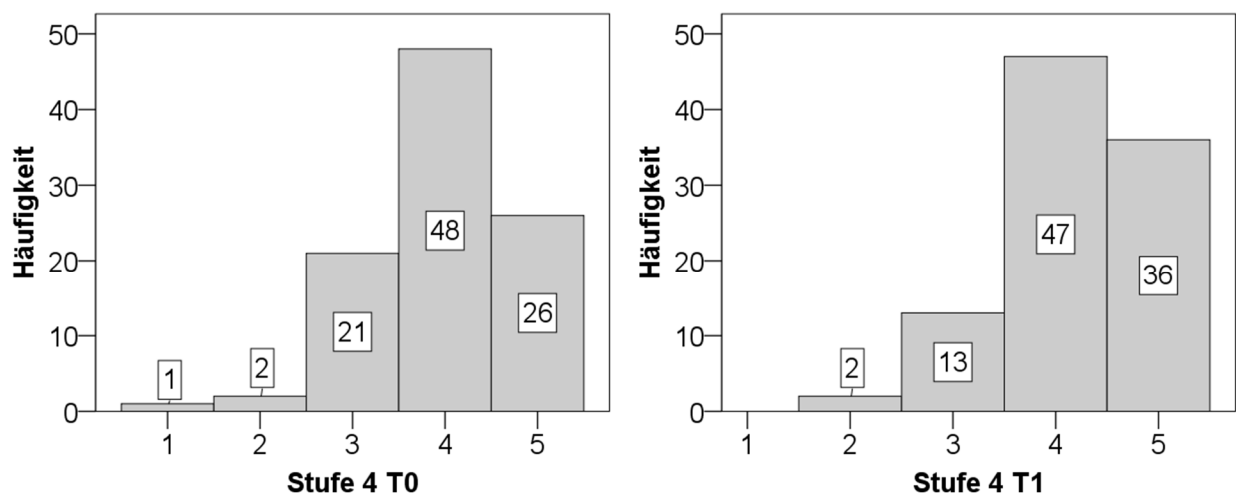


Abbildung 11: Bewertung der Süß-Intensität von Stufe 4 zu den verschiedenen Messzeitpunkten.

Anschließend wurde auch für die Bewertung der Süß-Intensität die Gruppe der im Gesamtscore verbesserten Probanden mit der Gruppe der im Gesamtscore nicht verbesserten Probanden verglichen. In der Einschätzung der verschiedenen Stufen ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Lediglich bei den Teststreifen mit der geringsten Süß-Intensität (Stufe 1) war der p-Wert für die zweite Messung mit 0,083 an der Grenze zur statistischen Signifikanz (siehe **Tabelle 14**).

Tabelle 14: Vergleich der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität "süß" zwischen den im Gesamtscore verbesserten und nicht verbesserten Probanden

Süß-Intensität	Zeitpunkt	Verbessert*	Nicht Verbessert*	p-Wert**
Stufe 1	t0	1 [1 1]	1 [1 2]	0,655
	t1	1 [1 2]	1 [1 1]	0,083
Stufe 2	t0	2 [2 2]	2 [2 2]	0,969
	t1	2 [2 2]	2 [2 2]	0,912
Stufe 3	t0	2 [2 3]	2 [2 3]	0,635
	t1	2 [2 3]	2 [2 3]	0,304
Stufe 4	t0	4 [4 5]	4 [3 4]	0,328
	t1	4 [4 5]	4 [4 5]	0,237

*Jeweils Angabe von Median [1. | 3. Quartil]; **Mann-Whitney U Test

Es fiel allerdings auf, dass die nicht-verbesserten Probanden keine der Intensitätsstufen im zweiten Testversuch signifikant höher oder niedriger bewerteten. Bei den verbesserten Probanden hingegen wurde die höchste Intensitätsstufe (Stufe 4) nach der Ernährungsumstellung signifikant höher bewertet (siehe **Tabelle 15**).

Tabelle 15: Vergleich der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität "süß" zu den verschiedenen Messzeitpunkten, aufgeteilt nach der Gruppe der im Gesamtscore verbesserten und nicht verbesserten Probanden. Signifikante Werte sind durch dicke Schrift hervorgehoben.

Süß-Intensität	Gruppe	t0*	t1*	p-Wert**
Stufe 1	Verbessert	1 [1 1]	1 [1 2]	0,425
	Nicht verbessert	1 [1 2]	1 [1 1]	0,143
Stufe 2	Verbessert	2 [2 2]	2 [2 2]	0,849
	Nicht verbessert	2 [2 2]	2 [2 2]	0,480
Stufe 3	Verbessert	2 [2 3]	2 [2 3]	0,953
	Nicht verbessert	2 [2 3]	2 [2 3]	0,783
Stufe 4	Verbessert	4 [4 5]	4 [4 5]	0,034
	Nicht verbessert	4 [3 4]	4 [4 5]	0,201

*Jeweils Angabe von Median [1. | 3. Quartil]; **Wilcoxon-Test

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Stichprobe von 98 Probanden zu Beginn und am Ende ihres Aufenthaltes in einer Adipositas-Rehabilitationsklinik für Kinder- und Jugendliche hinsichtlich ihres Geschmacksempfindens untersucht. Zwischen den beiden Messzeitpunkten ließ sich eine signifikante Reduktion des BMIs feststellen.

Bei der Analyse der Geschmackstestung wurde zunächst der Gesamtscore betrachtet, der sich am Ende des Aufenthaltes signifikant verbessert zeigte. Anschließend wurden die Ergebnisse für die einzelnen Geschmacksrichtungen analysiert und eine statistisch signifikante Verbesserung der Studienpopulation für die Geschmacksrichtungen „bitter“ und „umami“ festgestellt. Bei der Geschmacksqualität „süß“ lag der p-Wert zudem sehr nah an der Grenze zur statistischen Signifikanz.

Um die Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Geschmacksempfindens zu bestimmen wurde eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt sowie die Gruppe der verbesserten Probanden mit der Gruppe der nicht-verbesserten Probanden verglichen. Hier zeigte sich der Ausgangswert im Geschmacksscore als signifikanter Einflussfaktor, da Probanden mit niedrigem Ausgangsscore eine höhere Wahrscheinlichkeit zur Verbesserung im Verlauf aufwiesen.

In der Intensitätsschätzung für die Geschmacksqualität „süß“ zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei der Bewertung der Teststreifen mit der höchsten Saccharosekonzentration, diese wurden am Ende des Aufenthaltes in der Rehabilitationsklinik als stärker süß eingeschätzt als zu Beginn.

4. Diskussion

Adipositas bei Kindern und Jugendlichen ist eine Erkrankung multifaktorieller Genese, wobei der Ernährung eine entscheidende Rolle zugesprochen wird¹¹. Die Ernährung wiederum wird stark durch den Geschmackssinn beeinflusst, da er für die abschließende Prüfung und Bewertung von Nahrungsmitteln zuständig ist⁴³. Insofern liegt die Hypothese nahe, dass der Geschmackssinn und die Gewichtsentwicklung sich gegenseitig beeinflussen. Die Datenlage zu dieser Thematik ist jedoch gerade für Kinder und Jugendliche noch unzureichend und lieferte zum Teil widersprüchliche Ergebnisse.

Ziel dieser Studie war es, den Geschmackssinn von Kindern und Jugendlichen mit Adipositas vor und nach einer multimodalen stationären Therapie inklusive strukturierter Ernährungsumstellung zu testen.

Um die Ergebnisse angemessen bewerten zu können, werden zunächst die eingesetzten Methoden kritisch diskutiert. Anschließend sollen die Ergebnisse selbst diskutiert sowie mit anderen Studien verglichen werden. Zum Abschluss erfolgt ein Ausblick auf die klinischen und wissenschaftlichen Konsequenzen der gewonnenen Erkenntnisse.

4.1. Diskussion des Probandenkollektivs

Bei den Probanden handelte es sich um Kinder und Jugendliche, die einen Therapieaufenthalt in einer Adipositas-Rehabilitationsklinik absolvierten. Sie wiesen teilweise eine sehr ausgeprägte Adipositas sowie Folgeerkrankungen wie eine Hyperlipidämie oder einen arteriellen Hypertonus auf. Patienten mit akuten oder chronischen Erkrankungen, die das Geschmacksempfinden oder die Gewichtsentwicklung beeinflussen können, wurden durch Befragung ermittelt und von der Teilnahme ausgeschlossen.

Für diese Arbeit wurden die Daten von 98 Kindern und Jugendlichen ausgewertet, damit liegt die Probandenanzahl deutlich über der vergleichbaren Arbeit von Sauer und Kollegen⁸³.

Die Geschlechterverteilung innerhalb der Probandengruppe fiel leicht zu Gunsten der Mädchen aus (53 Mädchen gegenüber 45 Jungen), ist aber insgesamt als ausgeglichen zu werten. Die Altersspanne der Probanden reichte von 6 bis 18 Jahren und wies insgesamt eine Überzahl an älteren Kindern der Altersklasse 14 bis 18 Jahre auf. Dies liegt vermutlich unter anderem darin begründet, dass die Prävalenz von kindlicher Adipositas in Deutschland mit dem Alter zunimmt⁴. Zusätzlich ist zu vermuten, dass Jugendliche

eine höhere Motivation zur Gewichtsreduktion aufweisen und somit Reha-Angebote eher beanspruchen als jüngere Kinder. Schließlich müssen jüngere Kinder auch in der Regel von einem Elternteil begleitet werden, was die Organisation einer langfristigen stationären Therapie deutlich erschwert.

Die Studiengruppe wies nur einen geringen Anteil von Kindern mit Migrationshintergrund auf, obwohl in dieser Gruppe eine hohe Prävalenz der kindlichen Adipositas besteht⁴. Dies liegt darin begründet, dass sowohl Angebote zur Prävention als auch zur Therapie durch die Familien mit Migrationshintergrund im Durchschnitt seltener genutzt werden⁹⁰. Somit erklärt sich auch der geringe Anteil an nicht-deutschstämmigen Kindern in der Studienpopulation, da die Probanden ausschließlich in der Rehabilitationsklinik rekrutiert wurden.

4.2. Diskussion der Methoden

4.2.1 Bestimmung der Körperfettmasse

Die genaue Bestimmung der Körperfettmasse ist unter anderem mit der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)⁹¹, der Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)⁹² sowie vielen weiteren Methoden möglich, die im klinischen Alltag jedoch auf Grund ihrer Kosten oder ihren Nebenwirkungen nicht praktikabel sind. Daher hat sich der Body-Mass-Index (BMI), errechnet aus den leicht erhebbaren Parametern Körpergröße und -Gewicht, zur Einschätzung des Körperfettanteils durchgesetzt. Auch für Kinder und Jugendliche konnte nachgewiesen werden, dass der BMI stark mit der Körperfettmasse korreliert und anderen Methoden zu ihrer Abschätzung überlegen ist^{1,93,94}. Er wird daher auch in der aktuellen Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter (AGA) als Schätzmaß für den Körperfettanteil sowohl für Screening- als auch für Verlaufsuntersuchungen empfohlen².

Da die Körperfettmasse bei Kindern und Jugendlichen physiologischen Veränderungen unterliegt, werden alters- und geschlechtsspezifische Perzentilkurven zur Einordnung herangezogen. Gemäß den Vorgaben der AGA² wurden dabei die Referenzwerte nach Kromeyer-Hauschild⁸⁴ verwendet und ab der 90. Perzentile von Übergewicht, ab der 97. Perzentile von Adipositas sowie ab der 99,5. Perzentile von extremer Adipositas gesprochen. Diese cut-off Werte ermöglichen auch einen nahezu kontinuierlichen Übergang zu den BMI-Grenzwerten für Erwachsene und ihr Überschreiten ist mit einem erhöhten Mortalitätsrisiko assoziiert^{2,95}.

4.2.2. Geschmackstestung

Zur Prüfung der Geschmackswahrnehmung wurde das Teststreifenverfahren eingesetzt. Diese Testmethode wurde bereits in einer Vielzahl von Studien sowohl mit Erwachsenen⁸⁶ als auch mit Kindern⁷⁹ angewendet.. Nachdem die „taste strips“ zunächst nur für die Geschmacksrichtungen süß, sauer, salzig und bitter zur Verfügung standen, können sie inzwischen auch für die Geschmacksrichtung umami eingesetzt werden⁹⁶.

Der größte Vorteil dieser Testmethode im Vergleich mit anderen gängigen Verfahren wie der Drei-Tropfen-Methode oder der Elektrogustometrie ist die einfache Handhabbarkeit, so dass sie von erwachsenen Patienten sogar selbst durchgeführt werden könnte^{97,98}. Damit ist sie prädestiniert für den Einsatz bei Kindern. Auch die Test-Retest-Reliabilität

ist vergleichbar mit anderen Methoden der Geschmackstestung⁸⁶. Zudem ist die Testdauer bei diesem Verfahren verhältnismäßig kurz, so dass die Konzentration der Kinder nicht übermäßig beansprucht wird. Schließlich weisen die Papierstreifen auch eine lange Haltbarkeit auf und können problemlos gelagert werden.

Die zwei Geschmacksprüfungen wurden jeweils mit jedem Kind einzeln in einem ruhigen Raum durchgeführt, so dass möglichst wenig Ablenkung bestand und die richtige Durchführung genau überwacht werden konnte. Sie fanden meist am Vormittag statt, wobei auf einen ausreichenden Abstand zur letzten Mahlzeit (mindestens eine Stunde) geachtet wurde. Das Testverfahren wurde auch von den jüngeren Kindern schnell verstanden und sorgte durch die Anordnung der Geschmacksproben in steigender Intensität für zunehmende Erfolgserlebnisse.

Auch wenn ein Lerneffekt durch den langen Zeitabstand zwischen den Prüfungen unwahrscheinlich ist und in anderen Studien nicht beobachtet wurde⁸³, wurde die Randomisierung der Streifen bei der zweiten Prüfung erneut verändert, um einen Lerneffekt zu verhindern.

Wie bereits in vorherigen Arbeiten beobachtet, traten die häufigsten Verwechslungen zwischen den Geschmacksrichtungen „salzig“ und „umami“ sowie „salzig“ und „sauer“ auf. Dies könnte darauf beruhen, dass diese Geschmacksqualitäten im Alltag oft gemeinsam vorkommen, zum Beispiel in Chips oder Salatdressings^{79,86,99}.

Am Ende der Geschmacksprüfung wurde ein Summenscore aus den richtig erkannten Teststreifen mit Ausnahme der geschmacklosen blanko-Papierstreifen gebildet, so dass jeder Proband einen Wert zwischen 0 und 20 Punkten erzielen konnte. Anhand dieses Scores konnte eine zusammenfassende Aussage über die gesamte Geschmacksfunktion getätigt werden. Ein Nachteil dieses Summenscore ist jedoch, dass Verwechslungen und Nichterkennen einer Geschmacksrichtung nicht unterschieden werden.

Neben dem Gesamtscore wurde auch ein Score für jede einzelne Geschmacksrichtung gebildet, bei dem jeweils zwischen 0 und 4 Punkten erzielt werden konnten. Hiermit konnte genauer differenziert werden, in welchen Geschmacksrichtungen sich die Probanden besonders verbessern konnten. Trotz der geringen Spannweite der Ergebnisse in diesem Messverfahren konnten hierbei signifikante Unterschiede für einige Geschmacksqualitäten nachgewiesen werden (siehe Abschnitt **4.3.1. Unterschiede in der Geschmackswahrnehmung vor und nach der Therapieintervention**).

4.2.3. Therapieintervention

Alle Kinder der Rehabilitationsklinik und somit auch alle Probanden der Studie wurden nach dem gleichen multimodalen Therapiekonzept behandelt. Somit war sichergestellt, dass alle Probanden sich nach den Richtlinien des BZfE (siehe **Abschnitt 2.2.3. Strukturierte Ernährungsumstellung**) ernähren, was durch die betreuenden Pädagogen überwacht wurde. Neben der Ernährungsumstellung als zentralem Baustein waren unter anderem Bewegungsangebote, Ernährungsberatungen und psychotherapeutische Gespräche Teil der Therapieintervention. Der Erfolg des Therapiekonzeptes lässt sich an der Entwicklung des Gewichts und des BMI-SDS ablesen. Alle Probanden konnten während des Aufenthaltes ihr Körpergewicht und somit auch ihren BMI verringern.

Die Durchführung der Untersuchungen im Rahmen einer stationären Therapie ist als Stärke der Studie zu werten, da hierdurch alle Probanden den gleichen Bedingungen unterlagen. Allein die Aufenthaltsdauer und damit der Abstand zwischen den Messzeitpunkten variierte innerhalb des Probandenkollektivs. Dies ermöglichte jedoch, die Dauer der Therapieintervention als weiteren Faktor auf die Veränderung der Geschmackswahrnehmung zu untersuchen.

4.3. Diskussion der Ergebnisse

4.3.1. Unterschiede in der Geschmackswahrnehmung vor und nach der Therapieintervention

Bisher existieren nur wenige Studien, die die Entwicklung des Geschmacksempfindens von Kindern mit Adipositas im Rahmen einer Ernährungsumstellung untersuchen. In der Studie von Alexy et al.⁸² konnte keine Veränderung der Geschmackswahrnehmung festgestellt werden, in der Untersuchung von Sauer et al.⁸³ zeigte sich eine verbesserte Erkennung von „sauer“ und eine verschlechterte Erkennung von „süß“. Da die Rahmenbedingungen und Testmethoden zwischen den beiden Studien erheblich variieren, ist der Vergleich der Ergebnisse deutlich erschwert (siehe **Abschnitt 1.3. Zusammenhang von Geschmack und Gewicht**).

Die Ergebnisse der Geschmackstestung in der vorliegenden Arbeit zeigten eine signifikante Verbesserung der Geschmackswahrnehmung nach Abschluss der multimodalen stationären Therapie, was sich im gestiegenen Gesamtscore zum zweiten Messzeitpunkt widerspiegelt. Die Haupthypothese der Arbeit konnte somit bestätigt werden.

Bei Betrachtung der einzelnen Geschmacksrichtungen fiel eine signifikante Verbesserung des Scores für die Qualitäten „bitter“ und „umami“ auf. Der p-Wert für „süß“ liegt ebenfalls sehr nah an der Grenze zur statistischen Signifikanz und könnte auf eine verbesserte Erkennung dieser Geschmacksqualität hindeuten. Für die Geschmacksrichtungen „sauer“ und „salzig“ konnten hingegen keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Dies widerspricht den Ergebnissen der Studie von Sauer und Kollegen⁸³. Ein möglicher Grund hierfür könnte die unterschiedlich lange Dauer zwischen den Messzeitpunkten sein, die bei Sauer et al. mit im Durchschnitt 26 Tagen deutlich kürzer war als in der vorliegenden Studie.

Als zusätzliche Testung der Geschmacksempfindung wurde eine Intensitätsschätzung für „süß“ durchgeführt. Dort zeigte sich bei der höchsten Konzentrationsstufe eine signifikant veränderte Einschätzung: Die Geschmacksstreifen wurden nach der Therapieintervention als „süßer“ wahrgenommen als vor Beginn der Therapie. Bei der Betrachtung der Untergruppe der im Gesamtscore verbesserten Probanden wurde zudem die niedrigste Konzentrationsstufe nach der Therapie höher bewertet, der p-Wert lag sehr nah der Grenze zur statistischen Signifikanz. Aus diesen beiden Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die Probanden nach der Therapie stärker für die Wahrnehmung von „süß“

sensibilisiert waren. Dies spricht somit auch für einen langfristigen Therapieeffekt, da die Kinder und Jugendlichen ihrem Aufenthalt in der Rehabilitationsklinik auch weniger stark gesüßte Speisen bereits als „süß“ wahrnehmen. Im Umkehrschluss deuten die Ergebnisse außerdem darauf hin, dass das Geschmacksempfinden der Kinder zuvor durch die unausgewogene Ernährung mit einem zu hohen Anteil an Zucker und Süßstoffen reduziert wurde. Insofern sollten politische Bestrebungen zur gesünderen Ernährung (zum Beispiel erhöhte Steuern auf stark gesüßte Getränke oder Werbeverbote) weiterhin unterstützt werden.

Die signifikante Verbesserung der Probanden in den oben genannten Kategorien ist insofern besonders bemerkenswert, da sie mit einer relativ geringen Anzahl von Teststreifen erzielt wurde und bei maximal 20 möglichen Punkten schon eine einzelne falsche Bewertung großen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. Dies gilt demnach in besonderem Maße für die Intensitätsschätzung, bei der nur jeweils ein einzelner Teststreifen für jede Intensitätsstufe zum Einsatz kam. Ein Testverfahren mit einer höheren Anzahl von Teststreifen, zum Beispiel durch mehrere Streifen einer Geschmacksrichtung für jede Konzentrationsstufe, würde eine größere Differenzierung der Ergebnisse ermöglichen und könnte die sich abzeichnenden Tendenzen bestätigen.

Bei allen Ergebnissen der Geschmackstestung ist allerdings nicht auszuschließen, dass die Veränderungen zumindest teilweise nur natürliche Fluktuationen der Geschmackswahrnehmung darstellen und auch ohne die Therapieintervention aufgetreten wären. In der Untersuchung von Overberg et al.⁷⁹ erzielte eine Gruppe von Probanden mit einem BMI über der 97. Perzentile mithilfe der gleichen Testmethode jedoch sehr ähnliche Ergebnisse wie die Kinder und Jugendlichen bei der ersten Erhebung in der vorliegenden Studie. Somit erscheint eine signifikante natürliche Fluktuation des Geschmackssinns eher unwahrscheinlich.

Des Weiteren muss hinterfragt werden, inwiefern die verbesserten Testergebnisse in der zweiten Messung nur durch einen Lerneffekt und nicht durch einen empfindlicheren Geschmackssinn bedingt sind. Dies ist aus mehreren Gründen unwahrscheinlich:

- In den Untersuchungen von Müller und Kollegen⁸⁶ zeigte sich eine hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei Geschmackstestungen mit den in der vorliegenden Studie ebenfalls verwendeten „taste strips“.

- Es lag ein Zeitraum von durchschnittlich 34 Tagen zwischen den beiden Untersuchungen und die Reihenfolge der Teststreifen wurde bei jeder Messung unterschiedlich randomisiert.
- Die Kinder erhielten keinerlei Rückmeldung darüber, ob sie eine Geschmacksrichtung korrekt identifiziert hatten.
- Bei einem Lerneffekt wäre eine Verbesserung in jeder oder zumindest einem Großteil der getesteten Geschmacksqualitäten zu erwarten, die Probanden erzielten jedoch nur für „umami“, „bitter“ und „süß“ bessere Ergebnisse.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass bei den über G-Protein gekoppelte Rezeptoren vermittelten Geschmacksqualitäten „umami“, „bitter“ und „süß“ eine Verbesserung des Geschmacksempfindens durch die Ernährungsumstellung erreicht werden konnte. Bei den ionotrop vermittelten Geschmacksrichtungen „sauer“ und „salzig“ konnte hingegen keine Veränderung beobachtet werden. Die Ursachen hierfür können durch die vorliegende Studie nicht geklärt werden, stellen aber interessante Fragestellungen für zukünftige Studien dar. Es wäre zum Beispiel denkbar, dass eine verbesserte Wahrnehmung der ionotrop vermittelten Geschmacksrichtungen erst nach einer noch länger andauernden Ernährungsumstellung festzustellen ist.

4.3.2. Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Geschmackswahrnehmung

Die Einflussfaktoren auf die Veränderung der Geschmackswahrnehmung wurden zunächst mithilfe einer logistischen Regressionsanalyse analysiert. Zusätzlich wurde das Probandenkollektiv anhand der Ergebnisse in den Geschmackstestungen in zwei Gruppen aufgeteilt: Die Gruppe der im Verlauf verbesserten und der im Verlauf nicht-verbesserten Probanden. Diese beiden Gruppen wurden anschließend miteinander verglichen.

Sowohl in der logistischen Regressionsanalyse als auch im Vergleich der oben genannten Gruppen zeigte sich der Ausgangsscore in der Geschmackstestung (*Gesamtscore t0*) als signifikanter Einflussfaktor. Konkret bedeutet dies, dass Probanden mit einem hohen Ausgangsscore – und somit einem bereits vor der Therapie gut differenziertem Geschmackssinn – seltener eine Verbesserung in der zweiten Geschmackstestung erreichen konnten. Bei den Probanden mit initial schlechten Ergebnissen bestand hingegen eine hohe Chance auf eine Verbesserung durch den Aufenthalt in der Rehabilitationsklinik. Auffällig ist, dass die Spannweite in der ersten Messung sehr hoch war (von 3 bis

max. 18 Punkten). Dies könnte unter anderem darauf beruhen, dass die Geschmackswahrnehmung zu einem gewissen Anteil auch genetisch geprägt ist, auch wenn das genaue Ausmaß unklar bleibt. Es konnte aber nachgewiesen werden, dass einige Menschen über eine höhere Dichte von Geschmackspapillen verfügen und Bitterstoffe wahrnehmen, die für andere geschmackslos bleiben¹⁰⁰. Für die Adipositas therapie könnte dies bedeuten, dass Patienten mit initial schlechter Geschmackswahrnehmung besonders von einer Ernährungsumstellung profitieren.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Gewichtsreduktion und der Veränderung des Geschmackssinns bestand nicht. Der Einfluss von Alter, Geschlecht dem Raucherstatus, sowie der Aufenthaltsdauer der Probanden war ebenfalls nicht signifikant. Die Nebenhypothesen der Arbeit konnten somit nicht bestätigt werden. Diese Faktoren müssten ggf. in Studien mit größeren Probandenkollektiven und länger andauernder Therapieintervention genauer untersucht werden, um einen Einfluss herauszuarbeiten. So wies die Stichprobe der vorliegenden Arbeit nur sehr wenige Raucher auf, wodurch der Nachweis eines statistisch signifikanten Unterschieds zwischen Rauchern und Nichtrauchern deutlich erschwert wird.

Insgesamt handelte es sich um eine sehr homogene Studienpopulation mit ausschließlich Kindern, die an Adipositas leiden. Dies ist für die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Probanden von Vorteil, erschwert jedoch die Identifikation von Einflussfaktoren auf die Geschmackswahrnehmung.

4.4. Abschließende Bemerkung und Ausblick

Übergewicht und Adipositas stellen eines der größten Gesundheitsprobleme unserer Zeit dar, weshalb die Forschung zu Prävention und Therapie dieser Krankheitsbilder von großer Bedeutung ist. Der Geschmackssinn als entscheidender Faktor in der Nahrungsauswahl ist dabei von besonderem Interesse, seine Wechselwirkungen mit der Gewichtsentwicklung und dem Ernährungsverhalten sind jedoch gerade bei Kindern noch unzureichend erforscht. Diese Arbeit hatte daher den Anspruch, wichtige Erkenntnisse zum Einfluss einer Ernährungsumstellung und Gewichtsreduktion auf den Geschmackssinn zu gewinnen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Geschmackswahrnehmung von an Adipositas leidenden Kindern und Jugendlichen durch eine strukturierte Ernährungsumstellung verbessert. In der Analyse der einzelnen Geschmacksrichtungen zeigten sich die Probanden dabei in den G-Protein gekoppelten Geschmacksrichtungen „umami“ und „bitter“ verbessert, der Wert für „süß“ lag an der Grenze zur statistischen Signifikanz. Ein Testverfahren mit höherer Differenzierung - zum Beispiel durch eine höhere Anzahl an Teststreifen - könnte die in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse verdeutlichen. Bereits jetzt wird jedoch ersichtlich, dass eine strukturierte Ernährungsumstellung nicht nur kurzfristig eine Gewichtsreduktion erwirkt, sondern auch langfristig durch ein verbessertes Geschmacksempfinden zu einer gesünderen Ernährung beitragen könnte und somit einen zentralen Baustein der Adipositastherapie darstellt.

Nicht nur im Erkennen der verschiedenen Geschmacksrichtungen, auch in der Intensitätsschätzung für „süß“ zeigten sich die Probanden nach der Therapieintervention teilweise verbessert. Eine vergleichbare Untersuchung für andere Geschmacksrichtungen, zum Beispiel für die oft in ungesunden Lebensmitteln vorkommende Geschmacksqualität „umami“, ist anzustreben und könnte weitere Indizien für einen nachhaltigen Therapieerfolg liefern.

Die Hypothesen zu möglichen Einflussfaktoren auf eine Verbesserung des Geschmackssinns konnten in dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Diese Fragestellung bleibt jedoch weiterhin von großem Interesse und sollte ggf. durch ein spezifischeres Studiendesign weiter untersucht werden. So könnten zum Beispiel mehrere Geschmackstestungen an genau festgelegten Messzeitpunkten während einer Ernährungsumstellung erfolgen, um die Mindestdauer einer erfolgreichen Therapieintervention zu eruieren.

Schließlich gilt es auch, die molekularen und hormonellen Mechanismen hinter der Veränderung des Geschmackssinns weiter zu erforschen. Für das im Fettgewebe produzierte Hormon Leptin konnte ein Einfluss auf die Wahrnehmung von „süß“ nachgewiesen werden¹⁰¹ und das vasoaktive intestinale Peptid (VIP)¹⁰² scheint einen Einfluss auf bitteren, süßen und sauren Geschmack zu haben. Weitere Hormone wie GLP-1 (Glucagon-like peptide), Oxytocin oder Insulin nehmen beeinflussen ebenfalls den Geschmackssinn, insgesamt ist die Modulation der Geschmackszellen aber noch nicht ausreichend verstanden⁷⁷. Die in der vorliegenden Studie beobachtete Verbesserung der über G-Protein-Rezeptoren vermittelten Geschmacksrichtungen könnte ein interessanter Ansatz für weitere Forschungen auf molekularbiologischer Ebene sein. Neben der Frage, welche Hormone für die verbesserte Wahrnehmung verantwortlich sind, könnte auch erforscht werden, ob sie G-Protein-gekoppelte Rezeptoren schneller an eine Veränderung des Ernährungsverhaltens anpassen als ionotrope Rezeptoren.

Zusammen mit den Ergebnissen von folgenden Studien könnten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dazu genutzt werden, um individualisierte Therapiekonzepte bei Kindern und Jugendlichen mit Adipositas zu erstellen. So könnten zum Beispiel Kinder mit hohen Wahrnehmungsschwellen für „süß“ und „umami“ besonders für diese Geschmacksqualitäten sensibilisiert werden, um die Mengen an süßen oder umami-haltigen Speisen zu reduzieren und so einen nachhaltigen Therapieerfolg zu erzielen. Hiermit könnte einer der Gründe für Adipositas erfolgreich bekämpft werden, wobei weitere medizinische und gesellschaftliche Anstrengungen nötig sein werden, um die steigende Prävalenz der Krankheit aufzuhalten.

Literaturverzeichnis

1. Pietrobelli A, Faith MS, Allison DB, Gallagher D, Chiumello G, Heymsfield SB. Body mass index as a measure of adiposity among children and adolescents: a validation study. *J Pediatr* 1998;132:204-10.
2. Wabitsch M, Kunze D. Konsensbasierte (S2) Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Prävention von Übergewicht und Adipositas im Kindes- und Jugendalter. Version 15.10.2015; www.a-g-a.de. 2015.
3. Lobstein T, Jackson-Leach R. Planning for the worst: estimates of obesity and comorbidities in school-age children in 2025. *Pediatr Obes* 2016;11:321-5.
4. Kurth BM, Schaffrath Rosario A. [The prevalence of overweight and obese children and adolescents living in Germany. Results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2007;50:736-43.
5. (DGE) DGfE. DGE aktuell: Presseinformation 03/2017. 2017.
6. Schienkiewitz A, Brettschneider A-K, Damerow S, Schaffrath Rosario A. Übergewicht und Adipositas im Kindes- und Jugendalter in Deutschland – Querschnittergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends. *Journal of Health Monitoring* 2018.
7. Kumar S, Kelly AS. Review of Childhood Obesity: From Epidemiology, Etiology, and Comorbidities to Clinical Assessment and Treatment. *Mayo Clin Proc* 2017;92:251-65.
8. Silventoinen K, Kaprio J. Genetics of tracking of body mass index from birth to late middle age: evidence from twin and family studies. *Obes Facts* 2009;2:196-202.
9. Varnaccia G, Zeiher J, Lange C, Jordan S. Adipositasrelevante Einflussfaktoren im Kindesalter - Aufbau eines bevölkerungsweiten Monitorings in Deutschland. *Journal of Health Monitoring* 2017.
10. Butte NF, Christiansen E, Sørensen TI. Energy imbalance underlying the development of childhood obesity. *Obesity (Silver Spring)* 2007;15:3056-66.
11. Speiser PW, Rudolf MC, Anhalt H, Camacho-Hubner C, Chiarelli F, Eliakim A, Freemark M, Gruters A, HersHKovitz E, Iughetti L, Krude H, Latzer Y, Lustig RH, Pescovitz OH, Pinhas-Hamiel O, Rogol AD, Shalitin S, Sultan C, Stein D, Vardi P, Werther GA, Zadik Z, Zuckerman-Levin N, Hochberg Z, Group OCW. Childhood obesity. *J Clin Endocrinol Metab* 2005;90:1871-87.

12. Moreno LA, Gottrand F, Huybrechts I, Ruiz JR, Gonzalez-Gross M, DeHenauw S. Nutrition and Lifestyle in European Adolescents: The HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study. *Advances in Nutrition: An International Review Journal* 2014;5:615S-23S.
13. Powell LM, Nguyen BT. Fast-food and full-service restaurant consumption among children and adolescents: effect on energy, beverage, and nutrient intake. *JAMA Pediatr* 2013;167:14-20.
14. Malik VS, Pan A, Willett WC, Hu FB. Sugar-sweetened beverages and weight gain in children and adults: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2013;98:1084-102.
15. Wang YC, Bleich SN, Gortmaker SL. Increasing caloric contribution from sugar-sweetened beverages and 100% fruit juices among US children and adolescents, 1988-2004. *Pediatrics* 2008;121:e1604-14.
16. Ludwig DS, Peterson KE, Gortmaker SL. Relation between consumption of sugar-sweetened drinks and childhood obesity: a prospective, observational analysis. *Lancet* 2001;357:505-8.
17. Falbe J, Rosner B, Willett WC, Sonnevile KR, Hu FB, Field AE. Adiposity and different types of screen time. *Pediatrics* 2013;132:e1497-505.
18. Epstein LH, Roemmich JN, Robinson JL, Paluch RA, Winiewicz DD, Fuerch JH, Robinson TN. A randomized trial of the effects of reducing television viewing and computer use on body mass index in young children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2008;162:239-45.
19. Stettler N, Signer TM, Suter PM. Electronic games and environmental factors associated with childhood obesity in Switzerland. *Obes Res* 2004;12:896-903.
20. Wang Y, Lim H. The global childhood obesity epidemic and the association between socio-economic status and childhood obesity. *Int Rev Psychiatry* 2012;24:176-88.
21. Rogers R, Eagle TF, Sheetz A, Woodward A, Leibowitz R, Song M, Sylvester R, Corriveau N, Kline-Rogers E, Jiang Q, Jackson EA, Eagle KA. The Relationship between Childhood Obesity, Low Socioeconomic Status, and Race/Ethnicity: Lessons from Massachusetts. *Child Obes* 2015;11:691-5.
22. Gibbs BG, Forste R. Socioeconomic status, infant feeding practices and early childhood obesity. *Pediatr Obes* 2014;9:135-46.

23. Grummer-Strawn LM, Mei Z, System CfDCaPPNS. Does breastfeeding protect against pediatric overweight? Analysis of longitudinal data from the Centers for Disease Control and Prevention Pediatric Nutrition Surveillance System. *Pediatrics* 2004;113:e81-6.
24. Sørensen TI, Holst C, Stunkard AJ. Adoption study of environmental modifications of the genetic influences on obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998;22:73-81.
25. Stunkard AJ, Harris JR, Pedersen NL, McClearn GE. The body-mass index of twins who have been reared apart. *N Engl J Med* 1990;322:1483-7.
26. Huang T, Hu FB. Gene-environment interactions and obesity: recent developments and future directions. *BMC Med Genomics* 2015;8 Suppl 1:S2.
27. Wabitsch M, Funcke JB, Lennerz B, Kuhnle-Krahl U, Lahr G, Debatin KM, Vatter P, Gierschik P, Moepps B, Fischer-Posovszky P. Biologically inactive leptin and early-onset extreme obesity. *N Engl J Med* 2015;372:48-54.
28. Reinehr T, Hinney A, de Sousa G, Austrup F, Hebebrand J, Andler W. Definable somatic disorders in overweight children and adolescents. *J Pediatr* 2007;150:618-22, 22.e1-5.
29. Huscher D, Thiele K, Gromnica-Ihle E, Hein G, Demary W, Dreher R, Zink A, Buttgerit F. Dose-related patterns of glucocorticoid-induced side effects. *Ann Rheum Dis* 2009;68:1119-24.
30. Reekie J, Hosking SP, Prakash C, Kao KT, Juonala M, Sabin MA. The effect of antidepressants and antipsychotics on weight gain in children and adolescents. *Obes Rev* 2015;16:566-80.
31. Juonala M, Magnussen CG, Berenson GS, Venn A, Burns TL, Sabin MA, Srinivasan SR, Daniels SR, Davis PH, Chen W, Sun C, Cheung M, Viikari JS, Dwyer T, Raitakari OT. Childhood adiposity, adult adiposity, and cardiovascular risk factors. *N Engl J Med* 2011;365:1876-85.
32. Skinner AC, Perrin EM, Moss LA, Skelton JA. Cardiometabolic Risks and Severity of Obesity in Children and Young Adults. *N Engl J Med* 2015;373:1307-17.
33. Molnár D. The prevalence of the metabolic syndrome and type 2 diabetes mellitus in children and adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004;28 Suppl 3:S70-4.
34. Pinhas-Hamiel O, Dolan LM, Daniels SR, Standiford D, Khoury PR, Zeitler P. Increased incidence of non-insulin-dependent diabetes mellitus among adolescents. *J Pediatr* 1996;128:608-15.

35. Kaplowitz PB, Slora EJ, Wasserman RC, Pedlow SE, Herman-Giddens ME. Earlier onset of puberty in girls: relation to increased body mass index and race. *Pediatrics* 2001;108:347-53.
36. Legro RS, Arslanian SA, Ehrmann DA, Hoeger KM, Murad MH, Pasquali R, Welt CK, Society E. Diagnosis and treatment of polycystic ovary syndrome: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 2013;98:4565-92.
37. Taylor ED, Theim KR, Mirch MC, Ghorbani S, Tanofsky-Kraff M, Adler-Wailes DC, Brady S, Reynolds JC, Calis KA, Yanovski JA. Orthopedic complications of overweight in children and adolescents. *Pediatrics* 2006;117:2167-74.
38. Schönau E. [Childhood and adolescent obesity--consequences for the locomotor system and treatment options. Musculoskeletal complications of overweight children and adolescents]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2013;56:528-31.
39. Manoff EM, Banffy MB, Winell JJ. Relationship between Body Mass Index and slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop* 2005;25:744-6.
40. Griffiths LJ, Wolke D, Page AS, Horwood JP, Team AS. Obesity and bullying: different effects for boys and girls. *Arch Dis Child* 2006;91:121-5.
41. Strauss RS. Childhood obesity and self-esteem. *Pediatrics* 2000;105:e15.
42. Schwimmer JB, Burwinkle TM, Varni JW. Health-related quality of life of severely obese children and adolescents. *JAMA* 2003;289:1813-9.
43. Gravina SA, Yep GL, Khan M. Human biology of taste. *Ann Saudi Med* 2013;33:217-22.
44. Roper SD. The taste of table salt. *Pflugers Arch* 2015;467:457-63.
45. Besnard P, Passilly-Degrace P, Khan NA. Taste of Fat: A Sixth Taste Modality? *Physiol Rev* 2016;96:151-76.
46. Oka Y, Butnaru M, von Buchholtz L, Ryba NJ, Zuker CS. High salt recruits aversive taste pathways. *Nature* 2013;494:472-5.
47. Nicklaus S, Boggio V, Issanchou S. [Gustatory perceptions in children]. *Arch Pediatr* 2005;12:579-84.
48. Trout KK, Wetzel-Effinger L. Flavor learning in utero and its implications for future obesity and diabetes. *Curr Diab Rep* 2012;12:60-6.
49. Chaudhari N, Roper SD. The cell biology of taste. *J Cell Biol* 2010;190:285-96.

50. Perea-Martinez I, Nagai T, Chaudhari N. Functional cell types in taste buds have distinct longevities. *PLoS One* 2013;8:e53399.
51. Medler KF. Calcium signaling in taste cells. *Biochim Biophys Acta* 2015;1853:2025-32.
52. Feng P, Huang L, Wang H. Taste bud homeostasis in health, disease, and aging. *Chem Senses* 2014;39:3-16.
53. Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJ, Zuker CS. The receptors and cells for mammalian taste. *Nature* 2006;444:288-94.
54. Bartoshuk LM, Duffy VB, Miller IJ. PTC/PROP tasting: anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiol Behav* 1994;56:1165-71.
55. Zuniga JR, Chen N, Phillips CL. Chemosensory and somatosensory regeneration after lingual nerve repair in humans. *J Oral Maxillofac Surg* 1997;55:2-13; discussion -4.
56. Iwata S, Yoshida R, Ninomiya Y. Taste transductions in taste receptor cells: basic tastes and moreover. *Curr Pharm Des* 2014;20:2684-92.
57. Chandrashekar J, Mueller KL, Hoon MA, Adler E, Feng L, Guo W, Zuker CS, Ryba NJ. T2Rs function as bitter taste receptors. *Cell* 2000;100:703-11.
58. Jaggupilli A, Howard R, Upadhyaya JD, Bhullar RP, Chelikani P. Bitter taste receptors: Novel insights into the biochemistry and pharmacology. *Int J Biochem Cell Biol* 2016;77:184-96.
59. Behrens M, Meyerhof W. Mammalian bitter taste perception. *Results Probl Cell Differ* 2009;47:203-20.
60. Liman ER, Zhang YV, Montell C. Peripheral coding of taste. *Neuron* 2014;81:984-1000.
61. Yarmolinsky DA, Zuker CS, Ryba NJ. Common sense about taste: from mammals to insects. *Cell* 2009;139:234-44.
62. Nelson G, Hoon MA, Chandrashekar J, Zhang Y, Ryba NJ, Zuker CS. Mammalian sweet taste receptors. *Cell* 2001;106:381-90.
63. Kurihara K. Umami the Fifth Basic Taste: History of Studies on Receptor Mechanisms and Role as a Food Flavor. *Biomed Res Int* 2015;2015:189402.
64. Zhang Y, Hoon MA, Chandrashekar J, Mueller KL, Cook B, Wu D, Zuker CS, Ryba NJ. Coding of sweet, bitter, and umami tastes: different receptor cells sharing similar signaling pathways. *Cell* 2003;112:293-301.

65. Zhang Z, Zhao Z, Margolskee R, Liman E. The transduction channel TRPM5 is gated by intracellular calcium in taste cells. *J Neurosci* 2007;27:5777-86.
66. Huang YA, Maruyama Y, Stimac R, Roper SD. Presynaptic (Type III) cells in mouse taste buds sense sour (acid) taste. *J Physiol* 2008;586:2903-12.
67. Chang RB, Waters H, Liman ER. A proton current drives action potentials in genetically identified sour taste cells. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2010;107:22320-5.
68. Kawaguchi H, Yamanaka A, Uchida K, Shibasaki K, Sokabe T, Maruyama Y, Yanagawa Y, Murakami S, Tominaga M. Activation of polycystic kidney disease-2-like 1 (PKD2L1)-PKD1L3 complex by acid in mouse taste cells. *J Biol Chem* 2010;285:17277-81.
69. Chandrashekar J, Kuhn C, Oka Y, Yarmolinsky DA, Hummler E, Ryba NJ, Zuker CS. The cells and peripheral representation of sodium taste in mice. *Nature* 2010;464:297-301.
70. Huang YA, Roper SD. Intracellular Ca(2+) and TRPM5-mediated membrane depolarization produce ATP secretion from taste receptor cells. *J Physiol* 2010;588:2343-50.
71. Finger TE, Danilova V, Barrows J, Bartel DL, Vigers AJ, Stone L, Hellekant G, Kinnamon SC. ATP signaling is crucial for communication from taste buds to gustatory nerves. *Science* 2005;310:1495-9.
72. Huang YJ, Maruyama Y, Lu KS, Pereira E, Plonsky I, Baur JE, Wu D, Roper SD. Mouse taste buds use serotonin as a neurotransmitter. *J Neurosci* 2005;25:843-7.
73. Simon SA, de Araujo IE, Gutierrez R, Nicolelis MA. The neural mechanisms of gustation: a distributed processing code. *Nat Rev Neurosci* 2006;7:890-901.
74. Spector AC, Glendinning JI. Linking peripheral taste processes to behavior. *Curr Opin Neurobiol* 2009;19:370-7.
75. Breslin PA, Huang L. Human taste: peripheral anatomy, taste transduction, and coding. *Adv Otorhinolaryngol* 2006;63:152-90.
76. Sowards TV. Dual separate pathways for sensory and hedonic aspects of taste. *Brain Res Bull* 2004;62:271-83.
77. Loper HB, La Sala M, Dotson C, Steinle N. Taste perception, associated hormonal modulation, and nutrient intake. *Nutr Rev* 2015;73:83-91.
78. Pasquet P, Frelut ML, Simmen B, Hladik CM, Monneuse MO. Taste perception in massively obese and in non-obese adolescents. *Int J Pediatr Obes* 2007;2:242-8.

79. Overberg J, Hummel T, Krude H, Wiegand S. Differences in taste sensitivity between obese and non-obese children and adolescents. *Arch Dis Child* 2012;97:1048-52.
80. Keller KL, Tepper BJ. Inherited taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil in diet and body weight in children. *Obes Res* 2004;12:904-12.
81. Keller KL, Reid A, MacDougall MC, Cassano H, Song JL, Deng L, Lanzano P, Chung WK, Kissileff HR. Sex differences in the effects of inherited bitter thiourea sensitivity on body weight in 4-6-year-old children. *Obesity (Silver Spring)* 2010;18:1194-200.
82. Alexy U, Schaefer A, Sailer O, Busch-Stockfisch M, Reinehr T, Kunert J, Kersting M. Sensory preferences and discrimination ability of children before and after an obesity intervention. *Int J Pediatr Obes* 2010;5:116-9.
83. Sauer H, Ohla K, Dammann D, Teufel M, Zipfel S, Enck P, Mack I. Changes in Gustatory Function and Taste Preference Following Weight Loss. *J Pediatr* 2017;182:120-6.
84. Kromeyer-Hauschild K. Definition, Anthropometric und deutsche Referenzwerte für BMI. In: Wabitsch M, Kiess W, Hebebrand J, Zwiauer K, eds. *Adipositas bei Kindern und Jugendlichen: Grundlagen und Klinik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2005:3-15.
85. Robert-Koch-Institut. Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zu Gesundheit von Kinder und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS). 2013.
86. Mueller C, Kallert S, Renner B, Stiasny K, Temmel AF, Hummel T, Kobal G. Quantitative assessment of gustatory function in a clinical context using impregnated "taste strips". *Rhinology* 2003;41:2-6.
87. Anliker JA, Bartoshuk L, Ferris AM, Hooks LD. Children's food preferences and genetic sensitivity to the bitter taste of 6-n-propylthiouracil (PROP). *Am J Clin Nutr* 1991;54:316-20.
88. Alexey U, Clausen K, Kersting M. Die Ernährung von Kindern und Jugendlichen nach dem Konzept der Optimierten Mischkost. *Ernährungsumschau* 2008;55:168-75.
89. Die Ernährungspyramide: Eine für alle. 2017. at <https://www.bzfe.de/inhalt/die-aid-ernaehrungspyramide-640.html>.)

90. Wiegand S, Babitsch B. [Therapeutic approaches for obesity and comorbidities in young immigrants]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2013;56:543-50.
91. Kamba M, Meshitsuka S, Iriguchi N, Koda M, Kimura K, Ogawa T. Measurement of relative fat content by proton magnetic resonance spectroscopy using a clinical imager. *J Magn Reson Imaging* 2000;11:330-5.
92. Laskey MA. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Nutrition* 1996;12:45-51.
93. Zhao D, Zhang Y. Body mass index (BMI) predicts percent body fat better than body adiposity index (BAI) in school children. *Anthropol Anz* 2015;72:257-62.
94. Mei Z, Grummer-Strawn LM, Pietrobelli A, Goulding A, Goran MI, Dietz WH. Validity of body mass index compared with other body-composition screening indexes for the assessment of body fatness in children and adolescents. *Am J Clin Nutr* 2002;75:978-85.
95. Freedman DS, Sherry B. The validity of BMI as an indicator of body fatness and risk among children. *Pediatrics* 2009;124 Suppl 1:S23-34.
96. Mueller CA, Pintscher K, Renner B. Clinical test of gustatory function including umami taste. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2011;120:358-62.
97. Wolf A, Varga L, Wittibschlager L, Renner B, Mueller CA. A self-administered test of taste function using "Taste Strips". *Int Forum Allergy Rhinol* 2016;6:362-6.
98. Schuster B, Iannilli E, Gudziol V, Landis BN. Gustatory testing for clinicians. *B-ENT* 2009;5 Suppl 13:109-13.
99. Ahne G, Erras A, Hummel T, Kobal G. Assessment of gustatory function by means of tasting tablets. *Laryngoscope* 2000;110:1396-401.
100. Garcia-Bailo B, Toguri C, Eny KM, El-Sohemy A. Genetic variation in taste and its influence on food selection. *OMICS* 2009;13:69-80.
101. Nakamura Y, Sanematsu K, Ohta R, Shirosaki S, Koyano K, Nonaka K, Shigemura N, Ninomiya Y. Diurnal variation of human sweet taste recognition thresholds is correlated with plasma leptin levels. *Diabetes* 2008;57:2661-5.
102. Martin B, Shin YK, White CM, Ji S, Kim W, Carlson OD, Napora JK, Chadwick W, Chapter M, Waschek JA, Mattson MP, Maudsley S, Egan JM. Vasoactive intestinal peptide-null mice demonstrate enhanced sweet taste preference, dysglycemia, and reduced taste bud leptin receptor expression. *Diabetes* 2010;59:1143-52.

Eidesstattliche Versicherung

Ich, Jacob Gohlisch, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Geschmackswahrnehmung von adipösen Kindern vor und nach strukturierter Ernährungsumstellung“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

29.12.2019

Jacob Gohlisch

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

29.12.2019

Jacob Gohlisch

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Frau PD Dr. Susanna Wiegand für die Überlassung des Promotionsthemas sowie für die ausgesprochen geduldige und kompetente Betreuung bedanken. Ihre zahlreichen Vorschläge, Anregungen und stets konstruktiven Korrekturen haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Auch Johanna Overberg, Jana Brauchmann, Carmen Cristina Ciupitu-Plath und Andrea Ernert danke ich für die zahlreichen Hilfestellungen bei der Vorbereitung, Datenerhebung sowie der statistischen Auswertung meiner Promotion.

Herrn Prof. Dr. Thomas Hummel, Leiter des interdisziplinären Zentrums „Riechen und Schmecken“ der Universitätsklinik Dresden, danke ich für die zuvorkommende Bereitstellung des Testmaterials.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Kinder-Rehabilitationsklinik Beelitz-Heilstätten gebührt ebenfalls mein herzlicher Dank für die große Hilfsbereitschaft und unkomplizierte Zusammenarbeit, ohne sie wäre die Durchführung der Untersuchungen kaum möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die mit viel Freude und Interesse an den Untersuchungen teilgenommen haben.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben und es mir ermöglicht haben, diesen Weg zu gehen. Ebenso gebührt meiner Freundin Sinem ein großes Dankeschön für ihre Geduld und liebevolle Unterstützung.