

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg**  
**Fakultät Life Sciences**  
**Studiengang Ökotrophologie**

**Auswirkungen von Zuckeralkoholen auf  
Funktionalität und Zusammensetzung der  
intestinalen Mikrobiota**

**Bachelorarbeit**

**Tag der Abgabe:** 22.05.2015  
**Vorgelegt von:** Kristina Roos  
(Matrikelnr.: 2094437)

**Betreuende Prüferin:** Prof. Dr. Silya Nannen-Ottens  
**Zweite Prüferin:** Prof. Dr. Sibylle Adam

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
1. Einleitung.....	1
2. Übersicht über die Zuckeralkohole.....	3
2.1. Chemische und physikalische Eigenschaften.....	3
2.2. Sensorische Eigenschaften.....	5
2.3. Physiologische Eigenschaften und Verträglichkeit.....	6
2.4. Lebensmittelrechtlicher Status und Höchstmengen.....	8
2.5. Anwendungsgebiete.....	8
3. Methodik.....	13
4. Darstellung der Studienergebnisse.....	16
4.1. Mannitol.....	20
4.2. Maltitol.....	20
4.3. Sorbitol.....	21
4.4. Xylitol.....	21
4.5. Lactitol.....	22
5. Diskussion.....	24
6. Schlussbetrachtung und Ausblick.....	31
Zusammenfassung und Abstract.....	IV
Literaturverzeichnis.....	V
Eidesstattliche Erklärung.....	X

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Verfügbarkeit von Energie bei Erythrit und anderen Polyolen.....	6
<b>Abbildung 2:</b> Evidenzklassen.....	16
<b>Abbildung 3:</b> Übersicht über die Eigenschaften dominierender Darmbakterien- gruppen.....	27

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Typen von Zuckeralkoholen.....	4
<b>Tabelle 2:</b> Süßkraft und Süßcharakter von Zuckeralkoholen.....	5
<b>Tabelle 3:</b> Anwendungen von Zuckeralkoholen.....	10
<b>Tabelle 4:</b> Übersichtstabelle Zuckeralkohole.....	11-12
<b>Tabelle 5:</b> Verwendete Suchmaschinen und Suchbegriffe bei der Literatur- recherche.....	14-15
<b>Tabelle 6:</b> Übersicht der Studienergebnisse.....	17-19

## Abkürzungsverzeichnis

ADI	Acceptable Daily Intake
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.
EU	Europäische Union
GRAS	Generally Recognized As Safe
HSH	Hydrierte Stärkehydrolysate
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)

## 1 Einleitung

Adipositas und Übergewicht sind in der heutigen Zeit weit verbreitet. Nach Einschätzungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat sich die Anzahl der Übergewichtigen seit 1980 weltweit mehr als verdoppelt (WHO, 2014, S. 78). Verantwortlich für das hohe Gewicht der Bevölkerung werden oft eine sehr fettreiche Ernährung und ein zu hoher Zuckerkonsum gemacht. Um dem weit verbreiteten Übergewicht und den daraus entstehenden Folgeerkrankungen entgegenzuwirken, kommen nun immer mehr Produkte auf den Markt, in denen Zucker durch alternative Süßungsmittel ersetzt wird. Die Bezeichnung dieser Lebensmittel als „kalorienreduziert“ oder sogar „kalorienfrei“ weckt bei den Verbrauchern die Assoziation, durch den Verzehr bei gleich bleibendem Genuss abnehmen zu können. Bei der Produktion dieser Lebensmittel werden oft Süßstoffe oder Zuckeralkohole, auch Polyole genannt, eingesetzt, um nun den süßen Geschmack des Zuckers zu ersetzen. Hierbei reicht die Produktpalette von kalorienreduzierten Getränken über Zahnpflegekaugummis hin zu zuckerfreier, für Diabetiker geeignete Schokolade. Laut einer Studie aus dem Jahr 2012 ist der Konsum von solch kalorienreduzierten Produkten in den letzten Jahren bei Erwachsenen und auch bei Kindern in den USA deutlich gestiegen (SYLVETSKY ET AL., 2012, S. 641).

Die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Süßstoffen wird allerdings schon seit langem angezweifelt. Saccharin und Cyclamate wurden beispielsweise mit der Ausbildung von Blasen Tumoren in Verbindung gebracht, was viele weitere Untersuchungen bezüglich Karzinogenität und Genotoxizität der Stoffe nach sich zog (MUND, 2007a, S. 492; MUND, 2007b, S. 506). Zuckeralkohole hingegen gelten als für den Verzehr unbedenklich und eignen sich daher sehr gut für den Einsatz in zucker- und somit kalorienreduzierten Lebensmitteln. Sie gehören zu den unverdaulichen Kohlenhydraten und erreichen daher den Dickdarm, wo sie der Bakterienflora als Nährstoff zur Verfügung stehen. Die Darmflora des Menschen ist von großer Bedeutung für seinen allgemeinen Gesundheitszustand. Liegt sie in ihrem gesunden Gleichgewicht vor, besitzt die Darmflora zahlreiche schützende Eigenschaften, wie zum Beispiel den Abbau unerwünschter Toxine, die Verhinderung der Ansiedlung krankheitserregender Bakterien oder die „Stimulation des mukosaassoziierten Immunsystems“ (AUTENRIETH, 2000, S. 8). Neue Erkenntnisse lassen sogar vermuten, dass die Zusammensetzung der Bakterienflora des Darmes mit der Ausbildung von Übergewicht zusammenhängen kann (CLARKE ET AL., 2012, S. 197ff.). Bezüglich Zuckeralkoholen und deren Wirkungen auf die intestinale Bakterienflora gab es schon in den 1990er Jahren Untersuchungen, welche dem Zuckeralkohol Lactitol eine präbiotische

Wirkung zusprechen (KITLER ET AL., 1992). Präbiotika sind Lebensmittelinhaltsstoffe, welche durch ihren Verzehr die Darmflora und somit die Gesundheit des Menschen positiv beeinflussen können (GIBSON, ROBERFROID, 1995, S. 1405f.). Doch haben andere Zuckeralkohole eine ähnliche Wirkung? Und kann Lactitol als mögliches Präbiotikum auch Erkrankungen, bei denen der Gastrointestinaltrakt eine Rolle spielt, lindern?

Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand aktueller wissenschaftlicher Studien zu untersuchen, welche Auswirkungen Zuckeralkohole auf die Zusammensetzung und Funktionalität der intestinalen Mikrobiota haben und somit die oben genannten Fragen zu beantworten.

Um einen allgemeinen Überblick über Zuckeralkohole zu geben, werden im ersten Kapitel Grundlagen zu chemischen und physikalischen Eigenschaften, sowie zum Metabolismus und rechtlichem Status gegeben. Anschließend wird die systematische Literaturrecherche dieser Arbeit näher beschrieben. Sie wurde anhand Kriterien der evidenzbasierten Medizin und mittels der Suchmaschinen *PubMed*, *Science Direct* und *Cochrane Library* durchgeführt. Es konnten insgesamt acht relevante Studien ausgewählt werden, deren Ergebnisse im darauf folgenden Kapitel dargestellt werden. Abgeschlossen wird diese Arbeit mit einer Diskussion und einer Schlussbetrachtung, welche die gewonnenen Erkenntnisse zusammenfasst und einen Ausblick auf den weiteren Einsatz von Zuckeralkoholen wagt.

## 2 Übersicht über die Zuckeralkohole

Das folgende Kapitel gibt einen allgemeinen Überblick über die chemischen, sensorischen und physiologischen Eigenschaften von Zuckeralkoholen. Außerdem werden rechtlicher Status, Bestimmungen über Höchstmengen, sowie verschiedene Anwendungsgebiete für Zuckeralkohole dargelegt. Eine zusammenfassende Tabelle über die beschriebenen Eigenschaften der in den betrachteten Studien untersuchten Zuckeralkohole, schließt dieses Kapitel ab.

### 2.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Zuckeralkohole sind im Allgemeinen Zuckeraustauschstoffe, die einen geringeren Kaloriengehalt als Saccharose aufweisen. Zu den wichtigsten Zuckeralkoholen, oder auch Polyolen, zählen folgende Stoffe:

- Erythritol (Erythrit)
- Xylitol (Xylit)
- Mannitol (Mannit)
- Maltitol (Maltit)
- Lactitol (Lactit)
- Sorbitol (Sorbit)
- Isomalt

Mit der Ausnahme von Lactitol und Maltitol handelt es sich hierbei um natürlich vorkommende Stoffe, die Bestandteil von Früchten wie Pflaumen, Birnen, Weintrauben, oder auch verschiedenen Gemüsesorten sind (EMBUSCADO, 2006, S. 153). Aus chemischer Sicht sind Zuckeralkohole Mono- und Disaccharide, „deren reaktive Carbonylgruppe zur Alkoholgruppe reduziert ist“ (PAULUS, SEIDEL, 2007, S. 26). Damit zählen sie zu der Gruppe der Kohlenhydrate. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Einteilung in hydrierte Mono- und Disaccharide und deren Ausgangszucker.

Neben Mono- und Disacchariden existiert ebenfalls die Gruppe der hydrierten Stärkehydrolysate (HSH). Hierbei gibt der prozentuale Anteil des enthaltenen Polyols Aufschluss über die Benennung des Stoffs. Enthält ein HSH beispielsweise zu mindestens 50% Sorbitol, wird dieses HSH als Sorbitol-Sirup bezeichnet (EMBUSCADO, 2006, S. 155).

Ein besonderer Vorteil bei der Verarbeitung der Zuckeralkohole ist die hohe Stabilität gegenüber chemischen und enzymatischen Angriffen. Diese Eigenschaft führt allerdings

auch dazu, dass beim Erhitzen die manchmal erwünschte Bräunung durch die Maillard-Reaktion ausbleibt. Lactitol ist das einzige Polyol, welches bei hohen Temperaturen von 179 bis 240 °C beeinflusst bzw. umgewandelt wird (E MBUSCADO, 2006, S.159).

Typ	Zuckeralkohol	reduzierter Ausgangszucker	Anzahl der Kohlenstoff-Atome
<b>Hydrierte Monosaccharide</b>	Erythritol	Erythrose	4
	Xylitol	Xylose	5
	Sorbitol	Glucose	6
	Mannitol	Mannose	6
<b>Hydrierte Disaccharide</b>	Maltitol	Maltose	12
	Lactitol	Lactose	12
	Isomalt	Saccharose	12
<b>Mischung aus hydrierten Mono- und Disacchariden</b>	Hydrierte Glukosesirupe	Glucosesirup	

**Tabelle 1:** Typen von Zuckeralkoholen (EMBUSCADO, 2006, S. 155)

Die Hygroskopie der Zuckeralkohole ist unterschiedlich und hängt primär von der Form ab, in der sie vorliegen. So heißt es im Allgemeinen, dass nichtkristallisierbare Saccharide hygroskopisch sind (LEBENSMITTELCHEMISCHE GESELLSCHAFT, 1992, S. 74). Auf die Zuckeralkohole bezogen bedeutet dies, dass diese, die in flüssigem bzw. sirupartigem Zustand sind, die umgebende Flüssigkeit stärker an sich binden als diese, die in kristalliner Form vorliegen. Mannitol gilt als der am wenigsten hygroskopische Zuckeralkohol, während Sorbitol und Xylitol am stärksten hygroskopisch sind (DEIS, KEARSLEY, 2012, S. 338).

Eine weitere charakteristische Eigenschaft der Zuckeralkohole ist die negative Lösungswärme. Dies macht sich insbesondere dadurch bemerkbar, dass beim Verzehr im Mund ein kühlender Effekt entsteht, was bei manchen Lebensmitteln durchaus erwünscht sein kann. Unter den Polyolen weist Xylitol eine besonders hohe negative Lösungswärme auf (KRÜGER, 2007a, S. 424).

Eigenschaften wie Schmelzpunkt und Löslichkeit variieren unter den Zuckeralkoholen. Während bei Sorbitol und Xylitol der Schmelzbereich bei 92–96 °C liegt, ist dieser für Mannitol erst bei 165–168 °C erreicht (ROSENPLENTER, NÖHLE, 2007, S. 432). Bei Betrachtung der Löslichkeit ist zu erkennen, dass Sorbitol sehr gut wasserlöslich ist. So lassen sich in 100 g Wasser bei 20 °C 235 g Sorbit lösen (WEBER, 2007a, S.406). Im Gegensatz dazu ist Mannit eher schlecht in Wasser löslich (WEBER, 2007b, S. 392f.).



## 2.2 Sensorische Eigenschaften

Zuckeralkohole zeichnen sich durch einen allgemein süßen Geschmack aus. Die Süßkraft ist hier allerdings unterschiedlich und ist, außer bei Xylitol, geringer als die von Saccharose (PAULUS, SEIDEL, 2007, S. 26). In manchen Anwendungen kann diese geringe Süßkraft von Vorteil sein, denn somit kann bei Lebensmitteln durch die Verwendung von wenig süßen Zuckeralkoholen wie z.B. Lactitol eine als zu stark empfundene Süße vermieden werden, wie es bei Marzipan oder süßen Füllungen der Fall sein kann (KRÜGER, 2007b, S.365). Xylitol hat mit einer Süßkraft ähnlich der von Saccharose, die höchste Süßkraft unter den Zuckeralkoholen (KRÜGER, 2007a, S.424). Die Höhe der Süßkraft und der Süßcharakter der Polyole sind in Tabelle 2 abgebildet.

Substanz	Bereich	Süßcharakter *
Sorbit	0,4–0,7	G
Xylit	0,8–1,0	G
Mannit	0,4–0,7	G
Lactit	0,35–0,40	S
Maltit	0,65–0,9	S
Erythrit	0,6–0,8	S
Isomalt	0,3–0,5	S

\* S = ähnlich Saccharose; G = ähnlich Glucose

**Tabelle 2:** Süßkraft und Süßcharakter von Zuckeralkoholen (PAULUS, SEIDEL, 2007, S. 26)

Der Süßgeschmack aller Polyole wird generell als natürlich und zuckerähnlich ohne störende Fremdgeschmäcker beschrieben, was bei der Verwendung in Lebensmitteln einen großen Vorteil gegenüber den Süßstoffen darstellt (EMBUSCADO, 2006, S. 158).

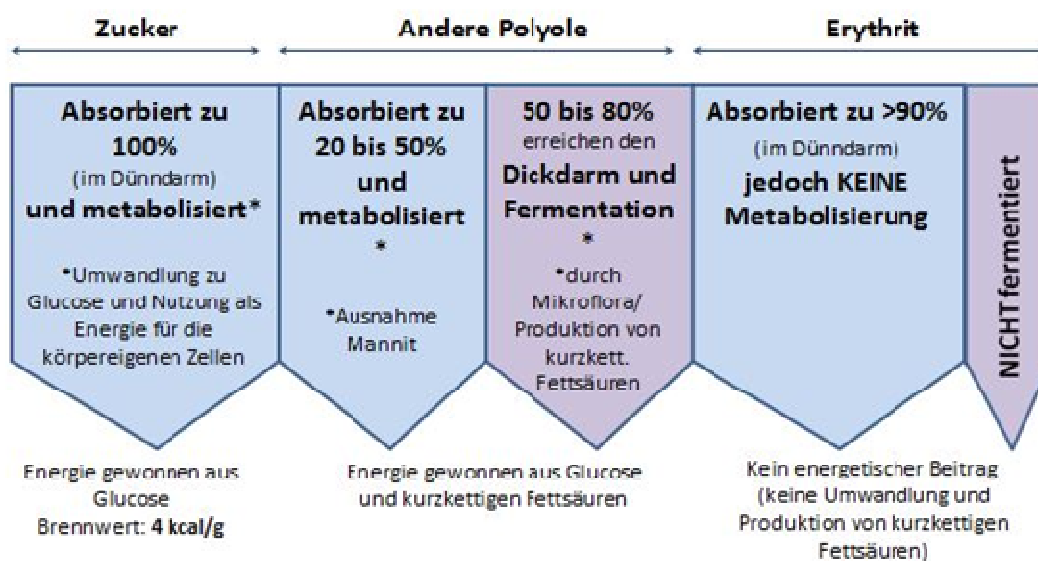
Wie schon erwähnt, zeichnen sich Zuckeralkohole unter anderem durch ihre negative Lösungswärme aus, was einen kühlenden Effekt im Mund verursacht. Im Fall von Xylitol ist dies sehr stark ausgeprägt, sodass dieser Stoff für die Produktion von Tafelsüßen ungeeignet ist (EMBUSCADO, 2006, S. 158). Bei zuckerfreien Kaugummis oder anderen mentholartigen Lebensmitteln ist dieser Kühleffekt allerdings erwünscht, sodass Xylitol in diesem Gebiet breite Anwendung findet.

Um die sensorischen Eigenschaften der Zuckeralkohole zu verbessern, können bei der Anwendung im Lebensmittel durch Kombination mit anderen Zuckeralkoholen oder auch Süßstoffen synergetische Effekte erzielt werden. So führen Süßungsmittelverhältnisse von 60% Xylitol kombiniert mit 40% Sorbitol in Kaugummis oder 80% Maltitol und 20% Xylitol in Schokolade zu einem verbesserten Süßgeschmack, der dem von Saccharose noch näher kommt (ZACHARIS, 2012, S. 349). Außerdem sind manche Zuckeralkohole wie zum Beispiel Erythritol in der Lage, in bestimmten Verhältnissen den bitteren Nachgeschmack von Süßstoffen in Lebensmitteln zu verdecken (DE COCK, 2012, S. 268f.). Diese

beobachtete Synergie ist von großer Bedeutung für den Einsatz von Zuckeraustauschstoffen in Lebensmitteln und kann die verwendeten Mengen der teilweise hochpreisigen Zuckeralkohole und Süßstoffe gering halten.

### 2.3 Physiologische Eigenschaften und Verträglichkeit

Obwohl manche Zuckeralkohole eine ähnliche Süßkraft wie Saccharose aufweisen, haben Polyole allgemein einen deutlich geringeren Brennwert als Zucker. Dies kann damit erklärt werden, dass Zuckeralkohole nicht komplett metabolisiert werden. Nur ein kleiner Teil der aufgenommenen Polyole werden passiv im Dünndarm absorbiert, während der restliche Anteil den Verdauungstrakt durchläuft und im Dickdarm durch die dort vorhandene Mikroflora fermentiert wird (MÜLLER, HUBERT, 2007, S.327). Hierbei weist der absorbierte Teil einen Brennwert von 4 kcal/g auf, so wie es bei Zucker auch der Fall ist. Durch die nur partielle Absorption ergibt sich allerdings ein für Zuckeralkohole allgemein festgelegter und geringerer Brennwert von 2,4 kcal/g (ART. 5 ABS. 1 RL 90/496/EWG). Sorbit, Mannit und Xylit können direkt absorbiert werden, während Polyole, welche als hydrierte Disaccharide vorliegen, zunächst zu Monosacchariden bzw. Dextrose umgewandelt werden müssen (MÜLLER, HUBERT, 2007, S. 326f.).



**Abbildung 1:** Verfügbarkeit von Energie bei Erythrit und anderen Polyolen (MÜLLER, HUBERT, 2007, S. 325)

Eine Ausnahme zu der oben beschriebenen Metabolisierung bildet der Zuckeralkohol Erythritol. Erythritol wird nach der oralen Aufnahme schnell und nahezu komplett im Dünndarm absorbiert (siehe Abbildung 1). Dies führt dazu, dass Erythritol nur in sehr geringen Mengen den Dickdarm erreicht und somit keine Fermentation durch Darmbakterien stattfinden kann. Stattdessen wird Erythritol unverändert über den Urin ausgeschie-

den (BORNET ET AL., 1996, S. 284). Da Erythritol nicht vom Körper metabolisiert wird, besitzt dieser Zuckeralkohol auch einen wesentlich geringeren Brennwert von 0,2 kcal/g (MÜLLER, HUBERT, 2007, S. 327).

Zuckeralkohole werden als nicht toxisch eingestuft, jedoch tritt bei unterschiedlichen aufgenommenen Mengen ein abführender Effekt auf. Da Erythritol im Dünndarm absorbiert wird und nur in minimalen Mengen in den Dickdarm gelangt, wird dieser Stoff gegenüber anderen Polyolen deutlich besser vertragen. So kann eine größere Menge Erythritol aufgenommen werden, ohne dass abdominale Symptome auftreten. Auch Maltitol zählt zu den gut verträglichen Zuckeralkoholen, sodass für die beiden Polyole Erythritol und Maltitol eine Laxations-Schwelle von 100 g/Tag festgelegt wurde. Etwas niedriger liegt diese Schwelle bei Sorbitol, Xylitol und Isomalt, nämlich bei 50 g/Tag. Lactitol ruft Beschwerden bei Dosen von 20-50 g/Tag hervor. Das am wenigsten gut verträgliche Polyol ist allerdings Mannitol, von dem bereits eine Aufnahme von ca. 20 g/Tag zu abdominalen Symptomen führen kann (EMBUSCADO, 2006, S.162).

Ein großer Vorteil der Polyole gegenüber Zucker bei der Verwendung in Lebensmitteln ist die besondere Zahnfreundlichkeit. Zuckeralkohole können nicht von Bakterien, wie zum Beispiel dem Karies verursachenden *Streptococcus mutans* im Mundraum fermentiert werden. Somit bleibt die Produktion von Säuren und Glukanen durch die ansässige Bakterienflora aus und Karies kann nicht entstehen (EMBUSCADO, 2006, S. 160f.). Bei dem Polyol Xylitol ist die Eigenschaft der Nichtkariogenität besonders ausgeprägt. Es konnte festgestellt werden, dass Xylitol sogar einen wachstumshemmenden Effekt auf *Streptococcus mutans* ausübt, was diesen Stoff besonders geeignet für zum Beispiel zuckerfreie Kaugummis macht (CAMPUS ET AL., 2009, S. 459).

Von großer Bedeutung ist außerdem, dass Zuckeralkohole nur einen geringen Glykämischen Index aufweisen und somit den Blutzuckerspiegel deutlich langsamer ansteigen lassen als Zucker. Während Saccharose moderat glykämisch wirkt, werden Polyole als niedrig bzw. sehr niedrig eingestuft. Aufgrund des geringen Glykämischen Index von maximal 30 bis 35 sind Zuckeralkohole für den Verzehr von Diabetikern und die Herstellung von niedrig-glykämischen Lebensmitteln gut geeignet (FOSTER-POWELL, HOLT, BRAND-MILLER, 2002, S. 39f.).

Im Falle von Lactitol wird außerdem die Eignung als Präbiotikum diskutiert. So soll Lactitol im Dickdarm das Wachstum von saccharolytischen Bakterien fördern und das von proteolytischen Bakterien hemmen und somit zur Darmgesundheit beitragen (ZACHARIS, STOWELL, 2012, S. 318). In dieser Ausarbeitung werden im Ergebnis- und Diskussionsteil

einige Studien reflektiert, welche diese präbiotischen Eigenschaften von Lactitol untersuchen.

## 2.4 Lebensmittelrechtlicher Status und Höchstmengen

Obwohl Zuckeralkohole zu den Kohlenhydraten gehören, sind sie keine Lebensmittel, sondern zählen rechtlich gesehen zu den Süßungsmitteln (PAULUS, SEIDEL, 2007, S.3). Mittlerweile sind alle Zuckeralkohole in der Europäischen Union für den Einsatz in Lebensmitteln zugelassen. Als letztes geschah dies bei Erythritol, welcher erst ab 2008 in allen Ländern der EU zugelassen wurde. Davor war dies nur in den Niederlanden, Belgien und Finnland der Fall. In den USA besitzt Erythritol schon seit 1996 den GRAS-Status („Generally Recognized As Safe“), während dieser Zuckeralkohol in Japan schon seit 1990 als Lebensmittelzusatzstoff eingesetzt wird (MÜLLER, HUBERT, 2007, S.328f.). Neben Erythritol besitzen die Polyole Sorbitol, Maltitol, Isomalt und Lactitol den GRAS-Status in den USA (EMBUSCADO, 2006, S.168f.). Dies bedeutet, dass diese Stoffe für die Verwendung im Lebensmittel als unbedenklich eingestuft werden.

In der EU sind Zuckeralkohole als Süßungsmittel und für andere Lebensmittelzusatzstoffe als Süßungsmittel und Farbstoffe zugelassen, was den Richtlinien Nr. 94/35/EG und 95/2/EG entnommen werden kann (KRÜGER, 2007b, S. 366). Letztere ermöglicht den Einsatz in Lebensmitteln „allgemein, mit Ausnahme von Getränken, Babynahrung und einigen spezifischen Lebensmitteln, z.B. Honig, Butter usw.“ (KRÜGER, 2007b, S. 367). Dürfen Zuckeralkohole in Lebensmitteln verwendet werden, können diese „quantum satis“, also ohne Festlegung einer Höchstmenge, eingesetzt werden. Außerdem ist aufgrund fehlender Toxizität kein ADI („Acceptable Daily Intake“) für die Gruppe der Zuckeralkohole festgelegt. Trotzdem muss das Endprodukt wegen möglicher laxativer Auswirkungen bei einem Einsatz von mehr als 10% der Trockenmasse mit dem Hinweis „*kann bei übermäßigem Verzehr abführend wirken*“ versehen werden (MÜLLER, HUBERT, 2007, S. 375).

## 2.5 Anwendungsgebiete

Primär werden Zuckeralkohole als Zuckerersatzmittel in Lebensmitteln eingesetzt. Sie werden vorrangig als Süßungsmittel in Schokoladen, Kaugummi, Hart- und Weichkaramellen, Dragees oder Kaubonbons verwendet, während Erythritol, Isomalt, Lactitol und HSH auch als Tafelsüßen eingesetzt werden können (EMBUSCADO, 2006, S. 163). Da einige Polyole wasserbindende Eigenschaften aufweisen, wird zum Beispiel Sorbitol auch als Feuchthaltemittel in Gebäck eingesetzt (TURNER, 2005).

Wegen des bereits beschriebenen kühlenden Effekts beim Verzehr von Zuckeralkoholen, wird insbesondere Xylitol in zuckerfreien Kaugummis eingesetzt (KRÜGER, 2007a, S.424). Xylitol dient hierbei nicht nur als Süßungsmittel, sondern wird auch wegen seiner Karies vorbeugenden Eigenschaften verwendet. Des Weiteren findet Xylitol in kosmetischen Produkten, wie zum Beispiel Zahnpasten und Mundwässern, sowie pharmazeutischen Produkten wie Hustensäften wegen seiner sensorischen Eigenschaften breite Anwendung (KRÜGER, 2007a, S.427).

Da Zuckeralkohole die Fähigkeit besitzen, den unerwünschten Nachgeschmack mancher Süßstoffe wie Acesulfam-K zu überdecken, werden diese oftmals beim Einsatz von Süßungsmitteln beigemischt. Hierbei ist es zusätzlich von Vorteil, dass Zuckeralkohole dem Endprodukt zusätzlich Fülle und Körper verleihen, was durch das Ersetzen von Zucker durch die sehr intensive Süße der Süßstoffe verloren geht (EMBUSCADO, 2006, S.167).

Nichthygrooskopische Polyole wie Mannitol oder Erythritol werden außerdem als Überzugs- oder Bestäubungsmittel für Süßigkeiten oder Kaugummis verwendet, um ein Klebrig- oder Feuchtwerden der Produkte zu vermeiden (EMBUSCADO, 2006, S. 165). Mannitol kann aufgrund seiner geringen Löslichkeit und Süße nur in speziellen weiteren Anwendungen eingesetzt werden (WEBER, 2007b, S.395).

Eine besondere Eigenschaft von Maltitol ist das cremige Mundgefühl beim Verzehr. Daher wird es in der Herstellung von Lebensmitteln wie Keksen oder Kuchen dazu eingesetzt, Fett zu ersetzen und somit den Kaloriengehalt weiterhin zu senken (EMBUSCADO, 2006, S. 165).

Bei der Verwendung von Zuckeralkoholen ist es allerdings üblich, mehrere Zuckeralkohole miteinander zu kombinieren. Dies hat einerseits den Vorteil der Süßoptimierung und bringt andererseits technologische und finanzielle Vorteile (KRÜGER, 2007a, S. 424).

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Anwendungsgebiete der Polyole.

<b>Polyol</b>	<b>Zuckerersatz</b>	<b>Verwendung in Lebensmitteln</b>	<b>Pharmakologische Anwendungen</b>
<b>Erythritol</b>	Tafelsüße	Schokolade, Bäckereiprodukte, Getränke	Sirups, Arzneistoffträger, Mundpflegeprodukte
<b>Xylitol</b>		Kaugummis, Pfefferminzbonbons, Kaubonbons, Hartkaramellen, diätetische Lebensmittel für Diabetiker	Halspastillen, Hustensäfte, kaubare Vitamintabletten für Kinder, Streckmittel für Portionsbeutel, Zahnpasten, Mundwässer
<b>Sorbitol</b>		Kaugummis, Süßigkeiten, gefrorene Desserts, Kekse, Kuchen, Glasuren, Füllungen, diätetische Lebensmittel für Diabetiker	Zahnpasten, Mundwässer, Hustensäfte, Cremes, flüssige Arzneimittel, parenterale Applikationen, Streckmittel für Portionsbeutel, Tabletten
<b>Mannitol</b>		Bestäubungspuder für Kaugummis, Überzugsmittel, diätetische Lebensmittel für Diabetiker	Streckmittel für Portionsbeutel, Lyophilisationsträger, Tabletten, parenterale Applikationen
<b>Maltitol</b>		Hartkaramellen, Kaugummis, Süßwaren mit Schokoladengeschmack, Schokoladenglasuren, Pastillen, Fondant, Götterspeise, Bäckereiprodukte, Eiscremes, diätetische Lebensmittel für Diabetiker	Lutschtabletten, Hustensäfte, flüssige Arzneimittel
<b>Isomalt</b>	Tafelsüße	Hartkaramellen, Toffees, Kaugummis, Kaubonbons, Kaugummiüberzug, Schokoladen, Bäckereiprodukte, Nahrungsergänzungsmittel, niedrigglykämische Produkte	Hustenbonbons, Halspastillen
<b>Lactitol</b>	Tafelsüße	Eiscremes, Schokoladen, Hart- und Weichkaramellen, Bäckereiprodukte, zuckerreduzierte Konfitüre, Kaugummis, Zuckerersatz	
<b>HSH</b>	Tafelsüße	Konfekt, Bäckereiprodukte, Hartkaramellen, Gummiarabicum-Pastillen, Kaubonbons, Buttersüßigkeiten, Toffees	Zahnpasten, Mundwässer

**Tabelle 3:** Anwendungen von Zuckeralkoholen (nach EMBUSCADO, 2006, S. 164)

	<b>Lactitol</b>	<b>Maltitol</b>	<b>Mannitol</b>	<b>Sorbitol</b>	<b>Xylitol</b>
E-Nummer	E 966	E 965	E 421	E 420	E 967
Molekulargewicht	344,32	344	182,2	182	152,15
Süßkraft (10% in Lösung)	40	90 kristallin, 50-80 Sirupe	50	50-60	100
Zustand	kristallines Pulver	kristallin/flüssig	kristallin	kristallin/flüssig	kristallin
Farbe	farblos - weiß	weiß	weiß	weiß	farblos - weiß
Farbe in Lösung	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
Trockensubstanzgehalt	Monohydrat min. 94,5%, Anhydrid min. 99,5%	99% / 75-82%	99%	99% / 70%	99,8%
Schmelzbereich	98-102 °C	144-147 °C	165-168 °C	92-96 °C	92-96 °C
Siedepunkt			290-295 °C	295 °C	216 °C
Löslichkeit in Wasser	133 g/100 g bei 20 °C	152 g/100 g bei 20 °C	22 g/100 g bei 25 °C	235 g/100 g bei 25 °C	164 g/100 g bei 25 °C
Löslichkeit in Alkohol (20 °C)			wenig löslich		ca. 1,2 g/100 ml
pH-Wert (10%ig in Wasser)	4,5-7,0	5-7 (50%ig)			5,5
Viskosität (20 °C)	sehr niedrig, ähnlich Saccharoselösung	niedrig/mittel	sehr niedrig, ähnlich Saccharoselösung	sehr niedrig, ähnlich Saccharoselösung	
Lösungswärme bei 37 °C	Monohydrat – 71,6 kJ/kg, Anhydrid – 32,8 kJ/kg	– 79,1 kJ/kg	– 121,3 kJ/kg	– 110,9 kJ/kg	– 160,8 kJ/kg
Hygroskopizität	wenig hygrosko- pisch	niedrig/mittel - hoch	niedrig	hoch	mittel
Zulassung EU	ja	ja	ja	ja	ja

**Tabelle 4:** Übersichtstabelle Zuckeralkohole (nach ROSENPLENTER, NÖHLE, 2007, S. 431ff.)

	<b>Lactitol</b>	<b>Maltitol</b>	<b>Mannitol</b>	<b>Sorbitol</b>	<b>Xylitol</b>
Gras Status USA	ja	ja	Food Additive	ja	Food Additive for special dietary purpose
Energiegehalt EU	2,4 kcal/g (10 kJ/g)	2,4 kcal/g (10 kJ/g)	2,4 kcal/g (10 kJ/g)	2,4 kcal/g (10 kJ/g)	2,4 kcal/g (10 kJ/g)
Energiegehalt USA	2,0 kcal/g (9 kJ/g)	2,1 kcal/g (9 kJ/g)	1,6 kcal/g (6,7 kJ/g)	2,6 kcal/g (10 kJ/kg)	2,4 kcal/g (10 kJ/g)
zahnfreundlich	ja	ja	ja	ja	ja
Insulinunabhängigkeit	ja	ja	ja	ja	ja
laxativ	ja (20-50 g/Tag)	ja (60-90 g/Tag)	ja (20 g/Tag)	ja (50 g/Tag)	ja (50 g/Tag)
GI/GL	sehr niedrig	niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig
Vorkommen in der Natur	nein	nein	ja	ja	ja

**Tabelle 4:** Übersichtstabelle Zuckeralkohole (nach ROSENPLENTER, NÖHLE, 2007, S. 431ff.) (Fortsetzung)



### 3 Methodik

Die systematische Recherche dieser Bachelorarbeit wurde nach den Kriterien evidenzbasierter Medizin mit Hilfe der Datenbanken *Pubmed*, *Science Direct* und *Cochrane Library* durchgeführt. Bei den Suchvorgängen in der Datenbank *Science Direct* wurde von Anfang an der Filter „Serchterm in Title, Abstract or Keyword“ verwendet, da somit die Suche deutlich auf relevante Studien eingeschränkt werden kann.

Zunächst wurden in den einzelnen Datenbanken allgemeine Suchbegriffe ohne die Verwendung von Filtern eingefügt. Ein Beispiel hierfür ist der Begriff „Polyol“ in Kombination mit „Microbiota“. Bei der gesamten Literaturrecherche wurden Suchbegriffe in englischer Sprache und Schreibweise verwendet, da die Vielzahl der veröffentlichten Studien in dieser Sprache verfasst ist und somit ein optimales Suchergebnis erzielt werden kann. Durch diese erste allgemeine Suche konnte der Umfang der Studienlage erfasst, und wenn nötig, im Anschluss diverse Filter zur Eingrenzung oder Spezifizierung der Suchergebnisse gesetzt werden. Die verwendeten Filter, sowie die genaue Verwendung der Suchbegriffe und deren Ergebnisanzahl sind in Tabelle 5 zu erkennen.

Nach dieser ersten allgemeinen Suche wurde wieder zusammen mit dem Begriff „Microbiota“ nach den einzelnen Zuckeralkoholen gesucht. Dabei ergab die Suche nach manchen Zuckeralkoholen in der Datenbank *Science Direct* keine Treffer, sodass hier die Auswahl der Filter wieder aufgehoben wurde.

Außer den oben beschriebenen Filtern wurden bei der Suche durch *Science Direct* keine weiteren Filter gesetzt. Der Grund hierfür ist eine eher geringe Anzahl der erzielten Suchergebnisse, was durch die Einschränkung in Erscheinungsjahr oder Artikelart noch weiter verstärkt werden würde. Eine Ausnahme bildet ein allgemein formulierter Suchvorgang bei der Datenbank *Pubmed*, da hier aufgrund einer sehr hohen Trefferzahl die Suche durch weitere Filter eingeschränkt wurde (siehe Tabelle 5).

Bei der genaueren Betrachtung der einzelnen ausgewählten Studien und Übersichtsartikel konnten weitere für das Thema der Arbeit relevanten Studien gefunden werden. Dies geschah einerseits über die genauere Betrachtung der einzelnen Literaturverzeichnisse oder durch Vorschläge über ähnliche Studien, die von den einzelnen Datenbanken gemacht wurden.

Eine der gefundenen Studien wurde nicht in den hierauf folgenden Teil der Ergebnisdarstellung mit einbezogen, ist aber Teil der Diskussion der Studienergebnisse.

Datenbank	Keywords	Filter	Ergebnis (Anzahl)	Relevante Studien	Dup-letten
<b>Pubmed</b>	Polyol AND Microbiota	-	4	0	
	Sugar alcohols AND Microbiota	Clinical Trial, Meta-Analysis, RCT, Review, Systematic Review	9	3	
	Mannitol AND Microbiota	-	27	0	
	Lactitol AND Microbiota	-	8	4	2
	Sorbitol AND Microbiota	-	10	1	1
	Maltitol AND Microbiota	-	2	1	1
	Isomalt AND Microbiota	-	0		
	Xylitol AND Microbiota	-	8	1	1
	Erythritol AND Microbiota	-	6	0	
<b>Science Direct</b>	Polyol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	1	0	
	Sugar alcohols AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	2	0	
	Mannitol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	7	0	
	Lactitol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	2	1	
	Sorbitol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	3	1	1
	Maltitol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	0		
	Maltitol AND Microbiota	-	50	1	1

**Tabelle 5:** Verwendete Suchmaschinen und Suchbegriffe bei der Literaturrecherche

Datenbank	Keywords	Filter	Ergebnis (Anzahl)	Relevante Studien	Dupletten
	Isomalt AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	0		
	Isomalt AND Microbiota	-	0		
	Xylitol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	28	0	
	Xylitol AND Microbiota	-	266	1	1
	Erythritol AND Microbiota	Searchterm in Title, Abstract or Keyword	1	0	
	Erythritol AND Microbiota	-	293	1	
<b>Cochrane Library</b>	Polyol AND Microbiota	-	1	0	
	Sugar alcohols AND Microbiota	-	3	3	3
	Mannitol AND Microbiota	-	3	0	
	Lactitol AND Microbiota	-	3	3	3
	Sorbitol AND Microbiota	-	2	0	
	Maltitol AND Microbiota	-	1	1	1
	Isomalt AND Microbiota	-	0		
	Xylitol AND Microbiota	-	2	0	
	Erythritol AND Microbiota	-	0		
		Weitere Studien	4		
		<b>Gesamtzahl Studien</b>	9 (1 Studie nicht in Auswertung)		

**Tabelle 5:** Verwendete Suchmaschinen und Suchbegriffe bei der Literaturrecherche (Fortsetzung)

## 4 Darstellung der Studienergebnisse

Durch die systematische Literaturrecherche konnten insgesamt acht Studien zu dem Thema, wie sich Zuckeralkohole auf die intestinale Mikrobiota auswirken, gefunden werden. Allerdings wurden nicht zu allen in der Lebensmittelindustrie verwendeten Zuckeralkoholen Studien gefunden, sodass Erythrit und Isomalt in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben. Die Zuckeralkohole Mannitol, Maltitol, Sorbitol und Xylitol werden in jeweils einer der ausgewählten Studien betrachtet, während Lactitol hier von vier Studien thematisiert wird. Alle Studien wurden in den Jahren 2005 bis 2013 veröffentlicht.

Tabelle 6 bietet eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse der betrachteten Studien. Die Einteilung in die verschiedenen Evidenzklassen, welche für die Bewertung der Studienergebnisse von großer Bedeutung ist, wurde nach den Kriterien des Deutschen Netzwerks Evidenzbasierter Medizin e.V. durchgeführt (siehe Abbildung 2).

Klasse		Anforderungen an die Studien
I	Ia	Evidenz aufgrund einer systematischen Übersichtsarbeit randomisierter, kontrollierter Studien (ev. mit Metaanalyse)
	Ib	Evidenz aufgrund mindestens einer hoch qualitativen randomisierten, kontrollierten Studie
II	IIa	Evidenz aufgrund mindestens einer gut angelegten, kontrollierten Studie ohne Randomisierung
	IIb	Evidenz aufgrund einer gut angelegten, quasi-experimentellen Studie
III		Evidenz aufgrund gut angelegter, nicht experimenteller deskriptiver Studien
IV		Evidenz aufgrund von Berichten/Meinungen von Expertenkreisen, Konsensuskonferenzen und/oder klinischer Erfahrungen anerkannter Autoritäten

Abbildung 2: Evidenzklassen (DEUTSCHES NETZWERK EVIDENZBASIERTE MEDIZIN E.V., 2007)

Autoren (Jahr)	Problem	Methodik	Ergebnis	Evidenzgrad
Maekawa et al. (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effekt von Mannitol auf die Fermentation im Dickdarm</li> <li>• Mannitol als mögl. Substrat für Butyrat- und Propionat-Produktion?</li> </ul>	<p>Zwei Teilstudien:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. weibl. Säue, n = 2; Beimpfung des zäkalen Verdauungsbreis mit Mannitol (in vitro)</li> <li>2. männl. Mäuse, n = 24; Verabreichung verschiedener Dosen D-Mannitol (50 und 100 g pro kg Futter); Kontrollgruppe vorhanden; Dauer: 22 Tage</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D-Mannitol wird von intestinalen Bakterien zu Butyrat und Propionat metabolisiert</li> <li>• Mögliches präbiotisches Potenzial von Mannitol</li> </ul>	Ila
Beards, Tuohy & Gibson (2010)	Präbiotisches Potenzial von nicht verstoffwechselbaren, kohlenhydratbasierten Süßungsmitteln und deren Verträglichkeit bei hohen Dosierungen untersuchen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n = 40 (13 Männer, 27 Frauen)</li> <li>• doppelblindes Design</li> <li>• Randomisierung</li> <li>• Intervention: Maltitol, Maltitol + Polydextrose oder Maltitol + Resistente Stärke</li> <li>• Kontrollgruppe: Saccharose</li> <li>• Dauer: insg. 6 Wochen</li> <li>• Je 2 Wochen lang Einnahme von 22,8, 34,2 und 45,6 g Süßungsmittel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maltitol + Polydextrose kann bei Dosis von tägl. 34,2 g einen positiven Effekt auf die Darmflora bzgl. Bifidobakterien, Laktobazillen und kurzkettigen Fettsäuren haben</li> <li>• Dosis wird gut vertragen</li> <li>• Evtl. präbiotischer Effekt dieser Süßstoffmischung und -dosis</li> </ul>	Ib
Sarmiento-Rubiano et al. (2007)	Effekte von Sorbitol auf Mikrobiota im Blinddarm, Dickdarm und im Stuhl (besonderer Augenmerk auf Laktobazillen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n = 17 (männl. Ratten)</li> <li>• Randomisierung</li> <li>• Kontrollgruppe vorhanden</li> <li>• Intervention: ca. 2 g Sorbitol oder 2 g Fructooligosaccharide pro Tag</li> <li>• Dauer: 16 Tage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positiver Effekt von Sorbitol auf Wachstum von <i>Lactobacillus</i>-Spezies</li> <li>• Erhöhte Produktion von Butyrat</li> </ul>	Ib

Tabelle 6: Übersicht der Studienergebnisse

Autoren (Jahr)	Problem	Methodik	Ergebnis	Evidenzgrad
Tamura, C. Hoshi & S. Hoshi (2013)	Effekt von Xylitol auf die intestinale Mikrobiota und den Isoflavonoid-Metabolismus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n = 14 (männl., spezifisch pathogenfreie Mäuse)</li> <li>• Randomisierung</li> <li>• Intervention: Diät aus 0,05% Daidzein + 5% Xylitol</li> <li>• Kontrollgruppe: Daidzein-Diät ohne Xylitol</li> <li>• Dauer: 28 Tage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plasma-Cholesterin-Werte gesunken</li> <li>• Equol-Gehalt im Urin höher</li> <li>• Fettgehalt im Stuhl höher</li> <li>• Veränderte Mikrobiota</li> <li>• Xylitol kann den Metabolismus von Daidzein beeinflussen, indem die metabolische Aktivität der intestinalen Mikrobiota verändert wird</li> </ul>	Ib
Finney et al. (2007)	Auswirkungen geringer Mengen Lactitol auf intestinale Mikrobiota, fäkalen pH-Wert und Gehalt kurzkettiger Fettsäuren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n = 75 (39 Männer, 26 Frauen)<sup>1</sup></li> <li>• Randomisierung</li> <li>• Intervention: täglich 10 g Süßungsmittel im Verhältnis 10:0 oder 5:5 (Lactitol:Saccharose)</li> <li>• Kontrollgruppe vorhanden</li> <li>• Dauer: 7 Tage</li> </ul>	Bei höchster Menge Lactitol: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg der Bifidobakterien</li> <li>• Keine Zunahme der Laktobazillen</li> <li>• Absenkung des fäkalen pH-Werts</li> <li>• Zunahme von Propan- und Butansäure</li> <li>• Mögliches präbiotisches Potenzial von Lactitol</li> </ul>	Ib
Chen et al. (2007)	Effekte von Lactitol auf intestinale Mikrobiota und Plasma-Endotoxin-Spiegel bei Patienten mit chronischer viraler Hepatitis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n = 60 (53 Männer, 7 Frauen)</li> <li>• Randomisierung</li> <li>• Kontrollgruppe: normale medizinische Behandlung</li> <li>• Intervention: zusätzlich orale Supplementation von Lactitol (15-45 g/Tag); Dauer: 3 Wochen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung der Bifidobakterien und Laktobazillen im Stuhl</li> <li>• Senkung von <i>Clostridium perfringens</i></li> <li>• Stärkere Abnahme der Plasma-Endotoxin-Werte als bei Kontrollgruppe</li> </ul>	Ib

<sup>1</sup>Angabe laut FINNEY ET AL. (2007, S. 308); 39 Männer und 26 Frauen ergeben insgesamt nur 65 Probanden

**Tabelle 6:** Übersicht der Studienergebnisse (Fortsetzung)

<b>Autoren (Jahr)</b>	<b>Problem</b>	<b>Methodik</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>Evidenzgrad</b>
Ouwehand et al. (2009)	Effekte der Kombination aus <i>Lactobacillus acidophilus</i> NCFM und Lactitol auf intestinale Mikrobiota, Darm- und Immunfunktion bei gesunden älteren Menschen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n = 47 (12 Männer, 35 Frauen, &lt; 65 Jahre alt, regulärer Konsum von nichtsteroidalen Entzündungshemmern)</li> <li>• Randomisierung</li> <li>• Doppelblindes Design</li> <li>• Kontrollgruppe: Placebo</li> <li>• Intervention: zweimal 5 g-Mischung aus Lactitol und <i>L. acidophilus</i> NCFM (10 x 10<sup>9</sup> KBE/g)</li> <li>• Studiendauer: 6 Wochen (2 Wochen Intervention)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Anzahl der Bifidobakterien und <i>L. acidophilus</i> NCFM im Stuhl</li> <li>• Höherer Prostaglandin E2-Wert</li> <li>• Fazit: Verbesserte mikrobielle Zusammensetzung und Mukosa-Funktion</li> </ul>	lb
Björklund et al. (2012)  Analysen im Rahmen der Studie von Ouwehand et al. (2009)	Effekte der Kombination aus <i>Lactobacillus acidophilus</i> NCFM und Lactitol auf die intestinale Mikrobiota bei älteren Menschen mit regulärem Konsum von nichtsteroidalen Entzündungshemmern	Siehe Ouwehand et al.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung von Laktobazillen und Bifidobakterien</li> <li>• Stabilisierender Effekt auf <i>Blautia coccoides-Eubacterium rectale-Gruppe</i> und Clostridium Cluster XI-Vab-Spiegel</li> </ul>	lb

**Tabelle 6:** Übersicht der Studienergebnisse (Fortsetzung)

## 4.1 Mannitol

Zu dem Zuckeralkohol Mannitol wurde eine Studie aus dem Jahr 2005 gefunden (MAEKAWA ET AL., 2005). Diese Studie besteht aus zwei Teilen, sodass es sich hierbei um eine Kombination aus einer in-vitro- und in-vivo-Studie handelt. In dem in-vitro-Teil dieser Studie wurden die Verdauungsprodukte zweier Säue mit 20 mmol/kg Mannitol beimpft. Anschließend wurden die Kulturen auf die Art und Menge der von der Bakterienflora produzierten kurzkettigen Fettsäuren untersucht (MAEKAWA ET AL., 2005, S. 170). In der in-vivo-Studie wurde männlichen Mäusen 50 oder 100 g pro kg Futter D-Mannitol für eine Dauer von 22 Tagen verabreicht. Wieder wurde die Konzentration von kurzkettigen Fettsäuren und mögliche Veränderungen der intestinalen Mikrobiota untersucht (MAEKAWA ET AL., 2005, S. 172f.). In dieser Studie war eine Kontrollgruppe vorhanden.

Die Untersuchungen an Mäusen ergeben, dass durch den Konsum von D-Mannitol von der Mikrobiota im Darm Propionat und insbesondere Butyrat produziert werden (MAEKAWA ET AL., 2005, S. 172). Die für diesen Effekt verantwortlichen Bakterien wurden in dieser Studie als *Clostridium indolis* und Laktobazillen definiert (MAEKAWA ET AL., 2005, S. 174). Diese Bakterienarten werden demnach in dieser Studie durch die Aufnahme von D-Mannitol stimuliert. Diese Befunde werden durch die in-vitro-Studie bestätigt. Hier kann ebenfalls festgestellt werden, dass durch die Beimpfung von Mannitol die kurzkettigen Fettsäuren Propionat und Butyrat produziert werden. Als Schlussfolgerung dieser Studie vermuten die Wissenschaftler daher ein präbiotisches Potenzial von Mannitol (MAEKAWA ET AL., 2005, S. 173ff.).

## 4.2 Maltitol

Eine gefundene Studie behandelt das Thema, wie sich Maltitol auf die Zusammensetzung der Mikrobiota auswirkt (BEARDS, TUOHY, GIBSON, 2010). Diese Studie wurde an 40 Probanden durchgeführt. Maltitol wurde hier entweder allein, zusammen mit Polydextrose oder in Kombination mit Resistenter Stärke verabreicht. Eine Kontrollgruppe war in dieser Studie ebenfalls vertreten, welche statt der Süßungsmittel Saccharose konsumierte. Die Dosen der aufgenommenen Süßungsmittel wurden in dieser Studie im Zwei-Wochen-Takt erhöht, sodass die maximale aufgenommene Menge bei 45,6 g Süßstoffgemisch lag (BEARDS, TUOHY, GIBSON, 2010, S. 703).

Die Ergebnisse dieser randomisierten und kontrollierten Doppelblindstudie zeigen einen signifikanten Anstieg von Bifidobakterien und Laktobazillen bei allen Gruppen außer der Kontrollgruppe. Außerdem sind in allen Interventionsgruppen die Populationen der Spezies *Clostridium histolyticum/perfringens*, *Faecalibacterium prausnitzii*, *Eubacterium rectale* und *Ruminococcus flavefaciens*, sowie die Anzahl der totalen Bakterien signifikant



gestiegen. Des Weiteren konnte außer bei der Kontrollgruppe ein Anstieg der kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Butyrat und Propionat festgestellt werden (BEARDS, TUOHY, GIBSON, 2010, S. 703f.). Zusammenfassend sehen die Wissenschaftler die Mischung aus Maltitol und Polydextrose bei einer Dosierung von 34,2 g als optimales Süßstoffgemisch, da hier ein nutzbringender Effekt für die intestinale Mikrobiota bei gleichzeitig guter Verträglichkeit erzielt werden kann (BEARDS, TUOHY, GIBSON, 2010, S. 706).

### 4.3 Sorbitol

Die Studie, die die Auswirkungen von Sorbitol auf die Darmflora untersucht, wurde an 17 männlichen Ratten durchgeführt (SARMIENTO-RUBIANO ET AL., 2007). Hierbei wurde das Trinkwasser der Tiere mit Sorbitol oder Fructooligosacchariden versetzt, wobei der Kontrollgruppe Wasser ohne Zusätze verabreicht wurde. Die Dauer dieses Experiments betrug 16 Tage, in denen die Tiere der Sorbitol-Gruppe im Schnitt täglich 2,07 g des Zuckeralkohols zu sich nahmen (SARMIENTO-RUBIANO ET AL., 2007, S. 696).

Die bakterielle Fermentation von Sorbitol führte in dieser Studie zu einer signifikant erhöhten Butyrat-Konzentration im Dick- und Blinddarm der Versuchstiere (SARMIENTO-RUBIANO ET AL., 2007, S. 697). Der Konsum hatte des Weiteren einen positiven Effekt auf die Bakterienvielfalt und das Wachstum der Laktobazillen. Durch eine Real-Time-quantitative-PCR konnte bei Ratten, die Sorbitol konsumierten, festgestellt werden, dass die *L. reuteri* und eine nicht eindeutig zuzuordnenden Spezies, die dominantesten *Lactobacillus*-Spezies im Stuhl der Tiere sind (SARMIENTO-RUBIANO ET AL., 2007, S. 697). Sorbitol zeigt hier einen wachstumsfördernden Effekt auf diese beiden Spezies, so konnte im Gegensatz zu der Kontrollgruppe nach dem Sorbitol-Konsum mehr als das Fünffache der *L. reuteri*-Anzahl im Dickdarm nachgewiesen werden (SARMIENTO-RUBIANO ET AL., 2007, S. 698). In weiteren Untersuchungen konnte allerdings festgestellt werden, dass diese beiden Spezies isoliert vom Gastrointestinaltrakt der Ratten nicht auf Sorbitol wachsen können, sodass in diesem Fall eine bakteriell übergreifende Fütterung möglich wäre (SARMOENTO-RUBIANO ET AL., 2007, S. 700).

### 4.4 Xylitol

Neben vielen Studien, die den Effekt von Xylitol auf die Zahngesundheit untersuchen, behandelt eine Studie das Thema, wie sich Xylitol auf die intestinale Mikrobiota und den Stoffwechsel von Daidzein auswirkt (TAMURA, HOSHI, HORI, 2013). Daidzein ist ein Isoflavon und Phytoöstrogen, welches in beträchtlichen Mengen in Sojaprodukten vorkommt und positive Effekte auf unter anderem die Knochengesundheit und Brustkrebs haben soll (BARLOW, JOHNSON, SCOFIELD, 2007, S. 38). Diese Studie aus dem Jahr 2013 wurde an 14 männlichen Mäusen durchgeführt. Die Interventionsgruppe bekam Xylitol in Kombina-

tion mit einer Daidzein-angereicherten Nahrung, während die Kontrollgruppe diese Nahrung ohne die Zugabe des Zuckeralkohols bekam (TAMURA, HOSHI, HORI, 2013, S. 24000). Nach 28 Tagen Xylitol-Konsum wurden Untersuchungen bezüglich des Isoflavonoid-Gehalts im Urin, des Fettgehalts im Stuhl und der Zusammensetzung der Darmflora unternommen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass Xylitol die Stoffwechselung von Daidzein beeinflusst, da signifikant hohe Mengen von Dihydrodaidzein im Urin der Versuchstiere nachgewiesen werden konnten (TAMURA, HOSHI, HORI, 2013, S. 23995). Außerdem konnte festgestellt werden, dass in der Xylitol-Gruppe der fäkale Fettgehalt signifikant höher war, als bei der Kontrollgruppe (TAMURA, HOSHI, HORI, 2013, S. 23997). Des Weiteren beeinflusste Xylitol die intestinale Mikrobiota, indem der Anteil der *Bacteroides*, *Prevotella* und Bifidobakterien durch den Konsum des Zuckeralkohols erhöht wird (TAMURA, HOSHI, HORI, 2013, S. 23999). Allerdings können diese beschriebenen Effekte laut den Wissenschaftlern auch durch die Erhöhung des Fettgehalts im Stuhl erklärt werden.

#### 4.5 Lactitol

Die meisten der gefundenen Studien beziehen sich auf den Zuckeralkohol Lactitol. Diese vier Studien wurden in den Jahren 2007 bis 2012 veröffentlicht, wobei alle am Menschen durchgeführt wurden. Die täglich verabreichten Dosen Lactitol lagen in den betrachteten Studien zwischen 5 und 45 g.

Eine der Studien betrachtet die Auswirkungen von Lactitol in Kombination mit der Bakterienart *Lactobacillus acidophilus* NCFM, welche sich positiv auf die Darmflora auswirken soll (OUWEHAND ET AL., 2009). Lactitol und *L. acidophilus* NCFM wurden hier älteren Menschen verabreicht, welche regelmäßig nichtsteroidale Entzündungshemmer konsumieren. In dieser randomisierten und kontrollierten Doppelblind-Studie mit einer Interventionszeit von zwei Wochen konnte ein signifikant höherer Gehalt an Bifidobakterien und *L. acidophilus* NCFM im Stuhl der Interventionsgruppe nachgewiesen werden (OUWEHAND ET AL., 2009, S. 370). Signifikante Unterschiede bezüglich der kurzkettigen Fettsäuren gibt es zwischen den Studiengruppen in dieser Studie allerdings nicht (OUWEHAND ET AL., 2009, S. 373). Die Veränderungen der intestinalen Mikrobiota zusammen mit dem Befund, dass die Konzentrationen von Spermidin und Prostaglandin E2 in der Interventionsgruppe erhöht sind, lassen die Forscher schlussfolgern, dass die Kombination von Lactitol und *L. acidophilus* NCFM als Synbiotikum im Darm wirkt und eine verbesserte Mukosafunktion zur Folge hat (OUWEHAND ET AL., 2009, S. 374). Die Studie von Björklund et al. greift die oben beschriebene Studie noch einmal auf und wertet die Ergebnisse erneut, allerdings

mit genauerem Augenmerk auf die Veränderungen der verschiedenen Bakterienarten aus (BJÖRKLUND ET AL., 2012). Zusätzlich zu den oben beschriebenen Ergebnissen kommen die Forscher hier zu dem Befund, dass die verabreichte synbiotische Kombination eine steigernde Wirkung auf Laktobazillen und möglicherweise einen stabilisierenden Effekt auf die *Blautia coccooides-Eubacterium rectale*-Gruppe und den *Clostridium* Cluster XIVab-Spiegel hat (BJÖRKLUND ET AL., 2012, S. 997).

Im Gegensatz zu der Studie von Ouwehand et al. zeigt eine Studie mit 75 Probanden durch den Konsum von täglich 10 g Lactitol eine signifikante Zunahme von Propan- und Butansäure im Stuhl der Testpersonen, was zudem eine Absenkung des fäkalen pH-Wertes zur Folge hat (FINNEY ET AL., 2007, S. 311). Lactitol wurde hier für eine Dauer von sieben Tagen verabreicht.

Alle betrachteten Studien zu dem Zuckeralkohol Lactitol haben gemeinsam, dass sich durch den Konsum von Lactitol die Anzahl der Bifidobakterien im Stuhl erhöht. Auch bezüglich der Laktobazillen ist dies bei allen Studien der Fall, mit Ausnahme der Forschungen von Finney et al.. Die Studie von Chen et al., welche an Patienten mit chronischer viraler Hepatitis durchgeführt wurde, zeigt nach dreiwöchigem Lactitol-Konsum zusätzlich einen Rückgang der *Clostridium perfringens*-Populationen und eine Absenkung der Plasma-Endotoxinwerte, was möglicherweise durch die Zunahme der Bifidobakterien und Laktobazillen zu erklären ist (CHEN ET AL., 2007, S. 101).

## 5 Diskussion

Um nun die Ergebnisse der vorhandenen Studien bewerten zu können, ist eine genauere Betrachtung der Studiendesigns nötig. Störfaktoren, welche das Studiendesign und zum Beispiel die Stichprobengröße oder –auswahl betreffen können, sollten bei klinischen Studien weitestgehend eliminiert werden, da diese das Outcome der Studie stark beeinflussen können. Um also systematische Fehler, oder auch „Bias“, zu vermeiden, werden Kontrollgruppen eingeführt, eine Randomisierung bei der Einteilung in die verschiedenen Behandlungsgruppen vorgenommen, und die Studie einfach oder besser noch doppelt verblindet. Ist eine Studie einfach verblindet, wissen nur die Probanden nicht, welche Behandlung sie erhalten, wohingegen bei doppelblinden Studien auch die Wissenschaftler oder Forscher diesbezüglich nicht eingeweiht sind (KLEIST, 2006, S. 49). Solch eine kontrollierte und randomisierte Doppelblindstudie findet man bei den acht betrachteten Studien allerdings nur in drei Fällen vor (BEARDS, TUOHY & GIBSON, 2010; OUWEHAND ET AL., 2009; BJÖRKLUND ET AL., 2012). Die restlichen Studien weisen entweder keine Verblindung oder in einem Fall sogar keine ersichtliche Randomisierung auf (MAEKAWA ET AL., 2005). Diese fehlende Randomisierung kann zu einer Verzerrung der Studienergebnisse führen, was bei der Bewertung berücksichtigt werden muss.

Außerdem kritisch zu betrachten ist die gewählte Stichprobengröße und –art der Studien. Mit 75 Probanden weist die Studie mit Lactitol von Finney et al. die höchste Teilnehmerzahl auf. Weitere Studien, besonders die Tierversuchsstudien, weisen eine deutlich geringere Stichprobengröße auf, was den Rückschluss der erlangten Ergebnisse auf die Allgemeinheit deutlich erschwert. Bei Studien mit einer geringen Probandenzahl kann es durchaus vorkommen, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen berechnet werden kann (GYSLING, 1989, S. 55). Trotzdem, dass in den vorliegenden Studien nahezu alle Ergebnisse als signifikant zu bezeichnen sind, sind diese geringen Teilnehmerzahlen sehr kritisch zu betrachten. Die Studie von Chen et al., welche die Auswirkungen von oral verabreichtem Lactitol auf chronische virale Hepatitis untersucht, wurde an insgesamt 60 Patienten durchgeführt. Allerdings waren nur sieben der Probanden weiblich, was im ersten Moment auf eine starke Ungleichverteilung der Geschlechter schließen lässt. Betrachtet man allerdings die demografische Verteilung dieser Krankheit einmal genauer, wird klar, dass die Mehrzahl der Erkrankten an Hepatitis B, also der Form, welche in dieser Studie am häufigsten der Fall ist, Männer sind (ROBERT KOCH-INSTITUT, 2014, S. 100). Somit ist die Auswahl der Studienteilnehmer trotz der geschlechtlichen Ungleichverteilung als für diesen Fall repräsentativ zu bewerten. Weiter-

hin anzumerken ist, dass die Tierversuche in diesen Studien ausschließlich an männlichen Nagern durchgeführt wurden. Dies mag daran liegen, dass die weiblichen Tiere für die Züchtung weiterer Versuchstiere sehr wichtig sind, gerade weil die Tiere in diesen Studien für bestimmte Untersuchungen getötet werden mussten.

Bei der Durchführung von Tierversuchen stellt sich zwangsläufig die Frage, ob die Ergebnisse auf den menschlichen Organismus übertragbar sind. Da Ratten und Mäuse auch zu den Säugetieren zählen, weisen diese zum Menschen ähnliche Zell- und Organfunktionen auf (SENATSKOMMISSION FÜR TIEREXPERIMENTELLE FORSCHUNG, 2004, S.18). In den betrachteten Studien liegt der Fokus allerdings auf der Mikrobiota des Darms. Die andere Zusammensetzung der Nahrung oder das Verschlucken von Fellhaaren lässt vermuten, dass die Darmflora Unterschiede zu der des Menschen aufweist. Zudem kann Stress, welcher bei Tierversuchen durchaus der Fall sein kann, ein Auslöser für Veränderungen der intestinalen Mikrobiota sein. So kann zum Beispiel durch Stressexposition die Konzentration der Laktobazillen im Darm sinken (KRÜGER ET AL., 2004, S. 5). Des Weiteren wurden in den Studien den Tieren oftmals bestimmte Formuladiäten verabreicht. Dies hat zum einen den Vorteil, dass mögliche Abweichungen durch eine unterschiedliche Ernährung ausgeschlossen werden können. Allerdings ist die Zusammensetzung der menschlichen Nahrung eindeutig komplexer, was die Extrapolation der Studienergebnisse auf den Menschen eindeutig erschwert. Für die Zuckeralkohole Mannitol, Sorbitol und Xylitol liegen in diesem Fall nur Tierversuche an Nagern vor, sodass die Bedeutung derer Ergebnisse für den Menschen mit Vorsicht betrachtet werden muss.

Ein negativer Kritikpunkt an der Studie zu dem Zuckeralkohol Mannitol ist, dass hier in der in vivo-Studie die aufgenommenen Mengen D-Mannitol der Tiere nicht ersichtlich sind. Es wird erläutert, dass pro Kilogramm der ad libitum verabreichten Nahrung 50 bzw. 100 g D-Mannitol enthalten sind und dass diese Menge nicht der üblichen Aufnahme beim Menschen entspricht (MAEKAWA ET AL., 2005, S. 170ff.). Jedoch wird in der Auswertung der Studie nicht angegeben, wie hoch die Nahrungsaufnahme und somit die aufgenommene Menge des Zuckeralkohols tatsächlich ist. Dies macht es schwierig, die Studienergebnisse mit den anderen zu vergleichen, da die konsumierte Menge D-Mannitol hier nur geschätzt werden kann. Auch bei der Studie von Chen et al. zu dem Polyol Lactitol gibt es Unterschiede bezüglich der Menge des aufgenommenen Zuckeralkohols. Hier wird die konsumierte Menge Lactitol nur allgemein beschrieben und beträgt 15 bis 45 g/Tag. Die Dosierungen waren unterschiedlich hoch, um den Stuhlgang der Patienten auf zwei- bis dreimal pro Tag einzupendeln (CHEN ET AL., 2007, S. 99). Allerdings werden bei der Darstellung die Ergebnisse dieser Studie nur verallgemeinert, sodass eventuelle Unterschiede zwischen den Dosierungen hier nicht ersichtlich werden.

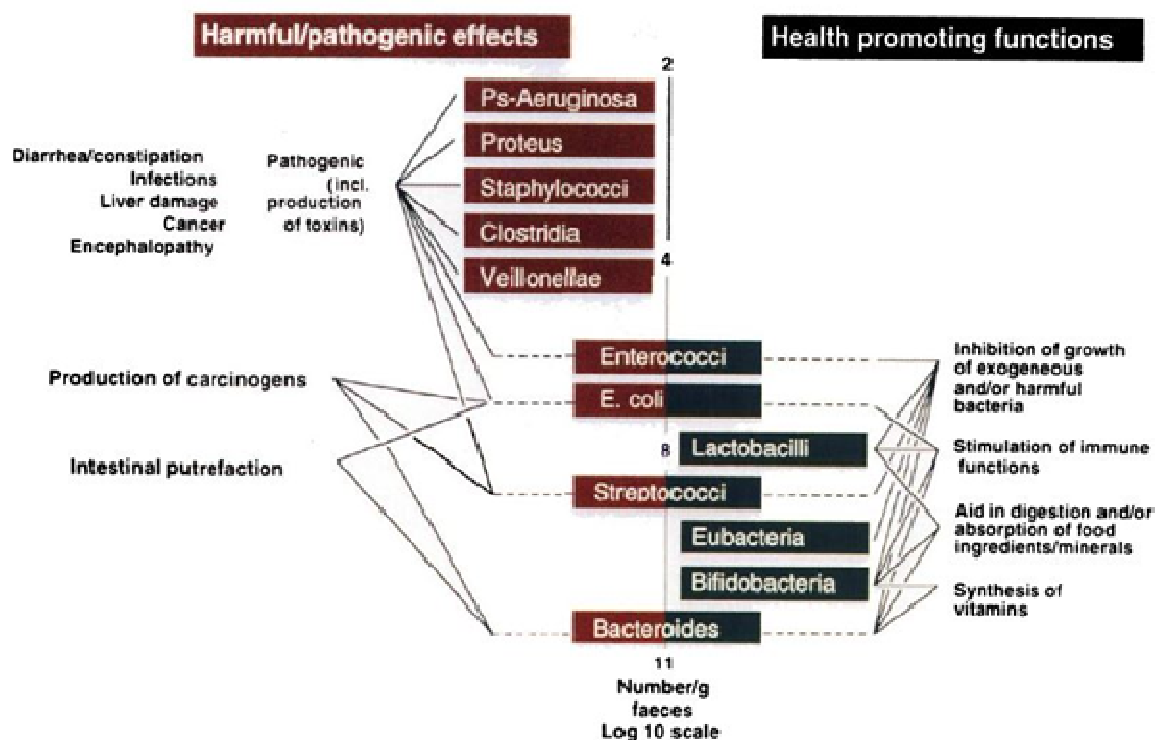
Bei der Studie von Ouwehand et al., welche die Auswirkungen von Lactitol und *L. acidophilus* NCFM auf die Darmflora älterer Menschen untersucht, ergeben sich bei der Betrachtung der Studiendurchführung möglicherweise Probleme. So werden die Stuhlproben, die zur mikrobiellen Untersuchung herangezogen werden, von den Probanden selbst entnommen und für die Dauer von 12 Stunden bei ihnen zu Hause gelagert (OUWEHAND ET AL., 2009, S.368). Die Studienteilnehmer wurden zwar darüber instruiert, wie die Stuhlprobenentnahme und –lagerung durchzuführen ist, allerdings können hier, besonders aufgrund des höheren Alters der Teilnehmer, durchaus flüchtige Fehler unterlaufen. Einer möglichen Kontamination oder Fehlern in der Lagerung der Proben hätte hier besser vorgebeugt werden müssen.

Bei einer weiteren Lactitol-Studie gibt es ebenfalls Punkte, die kritisch betrachtet werden müssen (FINNEY ET AL., 2007). Hier werden die Studienteilnehmer dazu aufgefordert, während der gesamten Studienzeit von sieben Tagen den Konsum von Milch und Fruchtsäften auf je 300 ml zu beschränken (FINNEY ET AL., 2007, S. 308). Ob die pro Tag verzehrte Menge an Fruchtsaft und Milch in der Bevölkerung unter diesem Wert liegt, ist zu bezweifeln. Laut Nationaler Verzehrsstudie II konsumierten im Zeitraum von November 2005 bis November 2006 Männer täglich im Schnitt 270 g und Frauen 232 g Obstsaft und Nektare (MAX RUBNER-INSTITUT, 2008, S. 53). Da es sich hierbei um einen Mittelwert handelt, ist davon auszugehen, dass bei manchen Menschen der Konsum deutlich höher sein kann. Die Beschränkung auf 300 ml Fruchtsaft pro Tag, wie es in dieser Studie der Fall ist, entspricht in manchen Fällen daher nicht immer der Realität. Die Ergebnisse der Studie könnten durch einen höheren Konsum eventuell anders ausfallen, weswegen die Repräsentativität der Studienergebnisse zweifelhaft ist.

Bei der Betrachtung der Methodik der verschiedenen Studien fällt auf, dass oftmals nicht das gesamte Spektrum der Darmflora betrachtet wurde. So wurde in der Studie zu Sorbitol eine Beschränkung auf die Laktobazillen vorgenommen und die restlichen Bakterienarten außer Acht gelassen (SARMIENTO-RUBIANO ET AL., 2007). Welche Auswirkungen eine orale Aufnahme von Sorbitol auf die gesamte intestinale Darmflora hat, kann auf Grundlage dieser Studie daher nicht geschlossen werden. Aus diesem Grund sollten weitere Studien durchgeführt werden.

Wenn nun die Ergebnisse aller Studien miteinander verglichen werden, wird deutlich, dass alle Studien einen positiven Effekt von Zuckeralkoholen auf die Darmflora feststellen. Außerdem werden die verabreichten Dosen trotz der abführenden Wirkung in den Studien überwiegend gut vertragen. Oftmals wird den Zuckeralkoholen sogar eine präbiotische Wirkung zugesprochen, da sie zum Beispiel den Gehalt an kurzkettigen Fettsäuren

erhöhen und das Wachstum von Laktobazillen und Bifidobakterien im Darm fördern. Nach Gibson und Roberfroid müssen Lebensmittelinhaltsstoffe bestimmte Voraussetzungen erfüllen, um als Präbiotikum bezeichnet werden zu können. Zum einen dürfen Präbiotika im Dünndarm nicht hydrolysiert oder absorbiert werden. Des Weiteren dienen sie als Substrat für ein oder mehrere gesundheitsfördernde Bakterien, wirken sich also positiv auf deren Wachstum auf und sind somit in der Lage, die Darmflora in ihrer Zusammensetzung positiv zu verändern. Ein abschließendes Kriterium für Präbiotika ist, dass durch ihre Einnahme gesundheitsfördernde luminale und systemische Effekte erzielt werden, die sich zum Beispiel durch die Aufnahme von bestimmten Fermentationsprodukten im Blut nachweisen lassen (GIBSON, ROBERFROID, 1995, S. 1406). Damit die in den Studien getesteten Zuckeralkohole also als Präbiotika bezeichnet werden können, muss zunächst geprüft werden, ob diese Kriterien eingehalten werden. Wie in Abbildung 3 zu sehen, zählen Laktobazillen und Bifidobakterien zu den nutzbringenden und sich auf die Darmgesundheit positiv auswirkenden Bakterien. Sie verhindern durch ihre Anwesenheit das Wachstum schädlicher Bakterien, stimulieren bestimmte Immunfunktionen, fördern die Verdauung und Absorption verschiedener Nahrungsinhaltsstoffe und sind sogar für die Synthese von bestimmten Vitaminen zuständig (GIBSON, ROBERFROID, 1995, S. 1403).



**Abbildung 3:** Übersicht über die Eigenschaften dominierender Darmbakteriengruppen (GIBSON, ROBERFROID, 1995, S. 1403)

Laktobazillen und Bifidobakterien werden entweder einzeln oder auch in Kombination miteinander in den vorliegenden Studien stimuliert, was im ersten Moment auf ein präbio-

tisches Potenzial hindeutet. Eine der Studien weist allerdings nicht auf eine Erhöhung der Laktobazillen hin, was möglicherweise mit der sehr kurzen Interventionsphase von nur sieben Tagen zusammenhängen könnte (FINNEY ET AL., 2007). Bei einer Studie zu Lactitol wurde nach oraler Aufnahme außerdem eine Senkung der Bakterienart *Clostridium perfringens* festgestellt. Wie in Abbildung 3 zu erkennen, gehören Clostridien zu den pathogenen Bakterien, welche die Eigenschaft haben, im Darm unerwünschte Toxine zu bilden. Die wachstumshemmende Wirkung von Lactitol auf diese Bakteriengattung und weitere in den Studien beschriebene Effekte, wie zum Beispiel ein stabilisierender Effekt auf die *Blautia coccooides-Eubacterium rectale*-Gruppe und den *Clostridium* Cluster XIVab-Spiegel (BJÖRKLUND ET AL., 2012), sind demnach weitere gesundheitsfördernde Eigenschaften und unterstützen die oben beschriebene These. In vielen der Studien wird zudem noch eine Erhöhung der kurzkettigen Fettsäuren im Darm durch den Konsum von Zuckeralkoholen beschrieben. Diese kurzkettigen Fettsäuren werden von Bakterien im Darm durch die Fermentation der Zuckeralkohole produziert und senken dadurch den pH-Wert im Dickdarm. Da pathogene Darmbakterien allerdings einen neutralen pH-Wert bevorzugen, kann dieser Mechanismus die oben beschriebene wachstumshemmende Wirkung auf pathogene Darmbakterien erklären (KRÄMER, 2011, S.137ff.). Kurzkettigen Fettsäuren werden zudem diverse positive Effekte für den Körper zugesprochen, wie zum Beispiel die Senkung des Fettsäuregehalts im Plasma und in der Leber, was unter anderem bei der Behandlung von Adipositas von Vorteil sein kann (CONTERNO ET AL., 2011, S. 247). Des Weiteren soll Butyrat wirksam bei der Prävention und Behandlung von Krebs sein (DAVIE, 2003, S. 2491f.). Bezüglich der stimulierten Bakterien und produzierten kurzkettigen Fettsäuren widersprechen sich die betrachteten Studien nicht, was die Annahme, dass Zuckeralkohole eine präbiotische Wirkung aufweisen, bestärkt. In den Fällen, bei denen manche Befunde aus anderen Studien nicht bestätigt werden konnten, kann dies damit erklärt werden, dass die Interventionszeit der Studien zu kurz war oder bestimmte Bakterienarten oder Untersuchungsmethoden nicht berücksichtigt wurden.

Welche Auswirkungen Zuckeralkohole auf die intestinale Mikroflora älterer Menschen haben, wurde in den Studien von Ouwehand et al. und Björklund et al. untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die durch die Einnahme von nichtsteroidalen Entzündungshemmern auftretenden und altersbedingten Veränderungen der intestinalen Mikrobiota entgegenwirkt werden kann. Zudem kann durch die Einnahme von Lactitol in Kombination mit *L. acidophilus* NCFM die Mukosafunktion verbessert und der Prostaglandin E2-Wert im Stuhl erhöht werden (OUWEHAND ET AL., 2009, S. 374). Diese Studie wurde allerdings an älteren Menschen durchgeführt, deren tägliche Nahrung seit Jahren einen sehr hohen Ballaststoffgehalt aufweist (OUWEHAND ET AL., 2009, S. 368). Um diese



Ergebnisse bestätigen zu können und auch Auswirkungen bei einer ballaststoffarmen Ernährung zu untersuchen, sollten daher noch weitere Studien an älteren Menschen durchgeführt werden. Studien, welche die Effekte von Zuckeralkoholen auf die Darmflora von Kleinkindern untersuchen, geben die aktuelle Datenlage allerdings nicht her. Gerade da Säuglinge steril zur Welt kommen und sich die Darmflora mit der Zeit nach der Geburt entwickelt, wäre es hier sehr von Vorteil, gesundheitsschädigende Bakterien zu minimieren und positiv wirkende zu fördern. Bei der genaueren Betrachtung der Zusammensetzung menschlicher Muttermilch fällt auf, dass die darin enthaltene Laktose zum Teil als Oligosaccharide vorliegt. Diese Oligosaccharide gelangen wie Zuckeralkohole in den Dickdarm, werden dort fermentiert und können dort präbiotische Wirkungen aufzeigen (BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG, 2012, S. 4f.). Um Kindern, welche nicht gestillt werden, diese Präbiotika nicht vorzuenthalten, werden in der Regel Galacto- und Fructooligosaccharide zur Herstellung vorgefertigter Säuglingsnahrung beigemischt. Zuckeralkohole finden durch das Verbot der Richtlinie 95/2/EG hier allerdings keine Anwendung. Außerdem ist die Verabreichung von Zuckeralkoholen aufgrund der teilweise stark abführenden Wirkung bei Säuglingen eher fragwürdig. Der Einsatz von geringen Mengen in Lebensmitteln für Kinder, welche sich nicht mehr im Säuglingsalter befinden, wäre aber eine Möglichkeit, die Darmflora der Kinder zu stabilisieren und deren Darmgesundheit zu fördern.

Während der Literaturrecherche für diese Arbeit wurde noch eine weitere Studie gefunden, die allerdings die Zusammensetzung der intestinalen Mikrobiota nur am Rande betrachtet, und daher nicht in die genauere Analyse mit einbezogen wurde. Trotzdem weist diese Studie sehr interessante Erkenntnisse bezüglich Zuckeralkoholen und deren Auswirkungen auf. So stellt diese Studie fest, dass durch die Verabreichung von Mannitol bei heranwachsenden Ratten die Aufnahme von Calcium und Magnesium im Dickdarm verbessert ist, was zu einer erhöhten Speicherung in den Knochen führt (XIAO ET AL., 2013). Dieser Effekt ist in der Studie dosisabhängig, wobei die optimale Dosis hier bei 80 mg/kg Körpergewicht liegt. Überträgt man diese Dosis auf ein 16 Kilogramm schweres Kind, läge die aufzunehmende Menge an Mannitol bei etwa 1,3 g. Da Mannitol aber als der am stärksten abführend wirkende Zuckeralkohol gilt, ist die Verabreichung bei Kindern mit besonderer Vorsicht zu betrachten. Als Grund für die verbesserte Calcium- und Magnesiumabsorption wird die bakterielle Fermentation von Mannitol vermutet (XIAO ET AL., 2013, S. 330). Um diese Ergebnisse auch für den Menschen bestätigen zu können, sollten allerdings weitere Studien durchgeführt werden.

Alle der betrachteten Studien stellen wie schon gesagt einen positiven Effekt auf die Zusammensetzung und Funktionalität der Darmflora fest. Allerdings reicht die Dauer der

Interventionsphasen bei diesen Studien nur von sieben Tagen bis höchstens sechs Wochen, so dass nur kurzzeitige Auswirkungen festgestellt werden können. Ob diese positiven Effekte auch bei einer langzeitigen Einnahme von mehreren Monaten bestehen bleiben, kann anhand dieser aktuellen Studien nicht festgestellt werden und sollte in weiteren Studien erforscht werden.

Stellt man die Eigenschaften von Zuckeralkoholen nun denen der Süßstoffe gegenüber, lassen sich deutliche Unterschiede bei der Auswirkung auf die Darmflora erkennen. In einer aktuellen und umfassenden Studie aus dem Jahr 2014 stellten Wissenschaftler fest, dass Süßstoffe, hier besonders Saccharin, eine Dysbiose im Darm zur Folge haben kann. An Ratten konnte festgestellt werden, dass die Anzahl der Bacteroidetes und Clostridiales durch den Süßstoff-Konsum gestiegen ist und sich außerdem eine deutliche Glucose-Intoleranz entwickelte. Die Ausbildung einer Glucose-Intoleranz durch Süßstoffe konnte in dieser Studie auch an Menschen festgestellt werden (SUEZ ET AL., 2014). Auch ein in üblichen Supermärkten erhältliches Süßstoffgemisch namens „Splenda“, welches auf Sucralose basiert, soll sich negativ auf die Darmflora auswirken. Durch dieses Gemisch sollen besonders nutzbringende Darmbakterien reduziert werden (ABOU-DONIA ET AL., 2008). Doch neben den in Kapitel 1 erwähnten toxikologischen und gesundheitlichen Aspekten, weisen Zuckeralkohole gegenüber Süßstoffen auch technologische Vorteile auf. Zwar besitzen Zuckeralkohole eine wesentlich geringere Süßkraft, geben aber dem Endprodukt mehr Fülle und Körper, was besonders bei der Herstellung von zuckerfreien Backwaren von großem Vorteil ist. Anders als Süßstoffe können Zuckeralkohole oft im gleichen Verhältnis wie Zucker eingesetzt werden und bedürfen daher im Lebensmittel keiner weiteren Füllstoffe, um den Volumenverlust auszugleichen. Zudem weisen Süßstoffe oft einen metallischen oder bitteren Nachgeschmack auf, welcher bei Zuckeralkoholen ausbleibt. Der etwas höhere Kaloriengehalt von Zuckeralkoholen ist hierbei außerdem zu vernachlässigen, da die verwendeten Mengen im Endprodukt nicht sehr hoch sind. Hierbei ist allerdings zu bemerken, dass die Datenlage bezüglich der Süßstoffe und ihrer Auswirkungen auf die Darmflora und die allgemeine Gesundheit von Menschen ebenfalls unzureichend ist und auch hier noch ein großes Forschungspotenzial besteht.

## 6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Die Ergebnisse der betrachteten Studien zeigen insgesamt eine positive Wirkung von Zuckeralkoholen auf die Darmflora, indem unter anderem Bifidobakterien und Laktobazillen in ihrem Wachstum gefördert, der Gehalt an kurzkettigen Fettsäuren im Darm gesteigert und somit der pH-Wert des Stuhls gesenkt wird. Frühere Studienergebnisse, welche ein präbiotisches Potenzial von Lactitol feststellten, konnten in den vorliegenden Studien zu Lactitol bestätigt werden. Des Weiteren kann sich die orale Aufnahme von Lactitol bei chronischer viraler Hepatitis in Kombination mit einer üblichen Behandlung positiv auswirken. Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass Lactitol im Kombination mit *L. acidophilus* NCFM bakteriellen Veränderungen im Darm entgegenwirken kann, welche zum einen durch ein hohes Alter und zum anderen durch die Einnahme von nichtsteroidalen Entzündungshemmern entstehen. Die vorliegenden Studien zu Mannitol, Maltitol, Sorbitol und Xylitol beobachten ebenfalls präbiotische Effekte. Die Datenlage bezüglich der Auswirkungen weiterer Zuckeralkohole ist allerdings als unzureichend zu bewerten. Um diese Befunde bestätigen zu können, sollten in Zukunft weitere Studien am Menschen durchgeführt werden, welche eine höhere Probandenzahl und eine längere Interventionszeit aufweisen. Allgemein sollten Studien, welche die Unbedenklichkeit von Stoffen beweisen, auch immer kritisch beleuchtet werden. Oftmals werden diese von Unternehmen unterstützt und finanziert, welche die Stoffe auf dem Markt vertreiben, wodurch eine Manipulation oder die absichtliche Lenkung der Ergebnisse durchaus möglich ist. Nur wenn ein möglicher Interessenkonflikt seitens der durchführenden Wissenschaftler ausgeschlossen werden kann, können die erlangten Ergebnisse als glaubwürdig eingeschätzt werden.

Laut aktuellen Einschätzungen der WHO wird das Übergewicht der europäischen Bevölkerung bis 2030 weiterhin drastisch steigen (WHO, 2015). Demnach ist anzunehmen, dass die Nachfrage bezüglich kalorien- oder zuckerfreier Lebensmittel weiterhin hoch bleibt oder sogar zunehmen wird. Zuckeralkohole könnten bei der Produktion dieser Nahrungsmittel in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Sie weisen gegenüber Süßstoffen viele sensorische, technologische und toxikologische Vorteile auf und haben möglicherweise eine gesundheitsfördernde Wirkung. Dennoch werden Zuckeralkohole Süßstoffe wie Aspartam, Acesulfam-K oder Saccharin nicht vom Markt vertreiben können, da diese in Kombination mit Zuckeralkoholen technische und geschmackliche Eigenschaften optimieren und den Kaloriengehalt weiter senken können. So wird der Trend, Süßungsmittel in Lebensmitteln miteinander zu mischen, in Zukunft wahrscheinlich weiterhin bestehen bleiben. Bei dem Konsum von Süßungsmitteln muss jedoch gleichzeitig immer

darauf hingewiesen werden, dass zuckerfreie Produkte eine gesunde Ernährung nicht ersetzen können. Laut der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) zeichnet sich eine vollwertige Ernährung unter anderem durch viel Obst, Gemüse, und reichlich Wasser aus und ist zucker-, salz- und vor allem fettarm (DGE, 2013). Werden diese Faktoren berücksichtigt und zusätzlich auch körperliche Bewegung in den Alltag integriert, sind dies gute Voraussetzungen für eine gesunde Gewichtsabnahme. Süßungsmittel wie beispielsweise Zuckeralkohole können hierbei unterstützend wirken und viele Lebensmittel für Diabetiker verfügbar machen. Verbraucher sollten daher lernen, die zum Kauf anregenden Aussagen und Versprechungen der Lebensmittelindustrie kritisch zu beurteilen. Diese Aufklärung kann zum Beispiel mittels Ärzten und Ernährungsberatern, aber auch durch einflussreiche Medien wie Funk und Fernsehen geschehen.

Neben der Verwendung in Lebensmitteln könnten Zuckeralkohole auch in weiteren Gebieten in Zukunft Anwendung finden. So zeigt Erythritol in einer Studie aus dem Jahr 2014 die Eigenschaft, toxisch auf die Taufliiegenart *Drosophila melanogaster* zu wirken, welche oft als Modellorganismus für Insekten dienen (BAUDIER ET AL., 2014). Weisen weitere Forschungen ebenfalls auf solch eine Wirkung hin, könnte Erythritol sich als ein für Menschen sicheres Insektizid eignen und das Anwendungsspektrum von Zuckeralkoholen erweitern.

Die Frage, welche Wirkungen Zuckeralkohole auf die intestinale Mikrobiota des Menschen haben, zeigt noch großen Bedarf für weitere Forschungen. Die aktuelle Studienlage bietet allerdings Hinweise auf positive Effekte und gesundheitsfördernde Eigenschaften. Ob alle Zuckeralkohole nun als Präbiotika eingestuft werden oder bei bestimmten Krankheiten förderlich sein können, kann anhand der momentanen Datenlage nicht mit Sicherheit beantwortet werden.

## Zusammenfassung

Weltweit steigt die Anzahl der übergewichtigen und adipösen Menschen stetig, während parallel ein wachsender Konsum von zucker- und kalorienfreien Lebensmitteln in den letzten Jahren beobachtet wurde. Zuckeralkohole werden oftmals aufgrund guter sensorischer und technologischer Eigenschaften eingesetzt, um in solchen Produkten Zucker zu ersetzen. Bei dem Ziel Gewicht zu verlieren und bei der Aufrechterhaltung des allgemeinen Gesundheitszustandes spielt insbesondere die Darmflora des Menschen eine zentrale Rolle. Das Ziel dieser Arbeit ist es daher, anhand aktueller Studien die Auswirkungen von Zuckeralkoholen auf die Zusammensetzung und Funktion der intestinalen Mikrobiota zu untersuchen.

In den 1990er Jahren wurden Auswirkungen von Zuckeralkoholen auf die Darmflora bereits untersucht und Lactitol als mögliches Präbiotikum diskutiert. Die Betrachtung aktueller Studien kann diese Ergebnisse bestätigen und gibt Hinweise auf eine gesundheitsfördernde Wirkung bei Erkrankungen wie chronischer viraler Hepatitis. Studien zu den Zuckeralkoholen Mannitol, Maltitol, Sorbitol und Xylitol deuten ebenfalls auf präbiotische Eigenschaften hin, wie die Stimulation von Laktobazillen und Bifidobakterien, sowie die Erhöhung von kurzkettigen Fettsäuren im Darm. Die aktuelle Datenlage ist allerdings als schlecht zu bewerten. Um eindeutige Aussagen über die Auswirkungen von Zuckeralkoholen auf die intestinale Mikrobiota zu treffen, ist daher die Durchführung weiterer randomisierter und kontrollierter Studien am Menschen nötig.

## Abstract

All over the world the number of overweight and obese humans is growing consistently and the consumption of sugar and calorie reduced foods was observed to be higher in the last years. Because of their good sensory and technological characteristics, sugar alcohols are often used to replace sugar in such products. With the goal of losing weight and in maintaining the general health, the human gut flora plays a key role. The aim of this bachelor thesis is therefore to examine the effects of sugar alcohols on the composition and function of the intestinal microbiota on the basis of current studies.

The effects of sugar alcohols on the gut flora were already investigated in the 1990s, where lactitol was discussed as a potential prebiotic. Current studies verify these findings and show evidence of a positive impact on diseases like chronic viral hepatitis. Studies on the sugar alcohols mannitol, maltitol, sorbitol and xylitol also indicate prebiotic properties like the stimulation of lactobacilli and bifidobacteria as well as the increase of short chain fatty acids in the large intestine. Due to the small amount of data available, explicit conclusions can not be drawn. Therefore, more randomized and controlled studies on humans are necessary.

## Literaturverzeichnis

- ABOU-DONIA, M. B., EL-MASRY, E. M., ABDEL-RAHMAN, A. A., MCLENDON, R. E., SCHIFFMAN, S. S. (2008). Splenda Alters Gut Microflora and Increases Intestinal P-Glycoprotein and Cytochrome P-450 in Male Rats, in: *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues*, 71. Jg., Nr. 21, S. 1415-1429
- AUTENRIETH, I. B. (2000). Die Ökologie der humanen Darmflora: physiologische und pathophysiologische Aspekte, in: *Journal für Ernährungsmedizin (Österreich)*, 2. Jg., Nr. 4
- BARLOW, J., JOHNSON, J. A. P., SCOFIELD, L. (2007). Fact Sheet on the Phytoestrogen Daidzein, in: *Breast Cancer & the Environment Research Centers (Hrsg.), Fact Sheets*, S. 38-46
- BAUDIER, K. M., KASCHOCK-MAREDA, S. D., PATEL, N., DIANGELUS, K. L., O'DONNELL, S., MAREDA, D. R. (2014). Erythritol, a Non-Nutritive Sugar Alcohol Sweetener and the Main Component of Truvia®, Is a Palatable Ingested Insecticide, in: *PLoS ONE*, 9. Jg., Nr. 6, e98949
- BEARDS, E., TUOHY, K., GIBSON, G. (2010). A human volunteer study to assess the impact of confectionery sweeteners on the gut microbiota composition, in: *British Journal of Nutrition*, 104. Jg., Nr. 5, S. 701-708
- BJÖRKLUND, M., OUWEHAND, A. C., FORSSTEN, S. D., NIKKILÄ, J., TÜHONEN, K., RAUTONEN, N., LAHTINEN, S. J. (2012). Gut microbiota of healthy elderly NSAID users is selectively modified with the administration of *Lactobacillus acidophilus* NCFM and Lactitol, in: *AGE*, 34. Jg., Nr. 4, S. 987-999
- BORNET, F. R. J., BLAYO, A., DAUCHY, F., SLAMA, G. (1996). Plasma and Urine Kinetics of Erythritol after Oral Ingestion by Healthy Humans, in: *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 24. Jg., Nr. 2, S. 280-285
- BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (Hrsg.) (2012). Unterschiede in der Zusammensetzung von Muttermilch und industriell hergestellter Säuglingsanfangs- und Folgenahrung und Auswirkungen auf die Gesundheit von Säuglingen, Stellungnahme der Nationalen Stillkommission vom 16. Juli 2012, Berlin
- CAMPUS, G., CAGETTI, M. G., SACCO, G., SOLINAS, G., MASTROBERARDINO, S., LINGSTRÖM, P. (2009). Six Months of Daily High-Dose Xylitol in High-Risk Schoolchildren: A Randomized Clinical Trial on Plaque pH and Salivary Mutans Streptococci, in: *Caries Research*, 43. Jg., Nr. 6, S. 455-461

- CHEN, C., LI, L., WU, Z., CHEN, H., FU, S. (2007). Effects of lactitol on intestinal microflora and plasma endotoxin in patients with chronic viral hepatitis, in: *Journal of Infection*, 54. Jg., Nr. 1, S. 98-102
- CLARKE, S. F., MURPHY, E. F., NILAWEERA, K., ROSS, P. R., SHANAHAN, F., O'TOOLE, P. W., COTTER, P. D. (2012). The gut microbiota and its relationship to diet and obesity – New insights, in: *Gut Microbes*, 3. Jg., Nr. 3, S. 186-202
- CONTERNO, L., FAVA, F., VIOLA, R., TUOHY, K. M. (2011). Obesity and the gut microbiota : does up-regulating colonic fermentation protect against obesity and metabolic disease?, in: *Genes & Nutrition*, 6. Jg., Nr. 3, S. 241-260
- DAVIE, J. R. (2003). Inhibition of Histone Deacetylase Activity by Butyrate, in: *The Journal of Nutrition*, 133. Jg., Nr. 7
- DE COCK, P. (2012) Erythritol, in: O'Donnell, K., Kearsley, M. W. (Hrsg.), *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*, Chichester: Wiley-Blackwell, S. 215-241
- DEIS, R. C., KEARSLEY, M. W. (2012). Sorbitol and Mannitol, in: O'Donnell, K., Kearsley, M. W. (Hrsg.), *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*, Chichester: Wiley-Blackwell, S. 331-346
- DEUTSCHES NETZWERK EVIDENZBASIERTE MEDIZIN E.V. (2007). Evidenzklassen. Deutsches Netzwerk Evidenzbasierte Medizin e.V. <http://www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/images/evidenzklassen.jpg/view>. Stand 21.04.2015
- DGE (2013). Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. <https://www.dge.de/fileadmin/public/doc/fm/10-Regeln-der-DGE.pdf>. Stand: 09.05.15
- EMBUSCADO, M. E. (2006). Polyols, in: Spillane, W. J. (Hrsg.), *Optimizing sweet taste in foods*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited
- FINNEY, M., SMULLEN, J., FOSTER, H. A., BROKX, S., STOREY, D. M. (2007). Effects of low doses of lactitol on faecal microflora, pH, short chain fatty acids and gastrointestinal symptomology, in: *European Journal of Nutrition*, 46. Jg., Nr. 6, S. 307-314
- FOSTER-POWELL, K., HOLT, S. H. A., BRAND-MILLER, J. C. (2002) International table of glycemic index and glycemic load values: 2002, in: *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76. Jg., Nr. 1, S. 5-56

- GIBSON, G. R., ROBERFROID, M. B. (1995). Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics, in: *The Journal of Nutrition*, 125. Jg., Nr. 6, S. 1401-1412
- GYSLING, E. (1989). Klinische Studien kritisch durchleuchtet, in: *pharma-kritik*, 11. Jg., Nr. 14, S. 53-56
- KITLER, M. E., LUGINBÜHL, M., LANG, O., WUHL, F., WYSS, A., LEBEK, G. (1992) Lactitol and lactulose. An in vitro comparison of their effects on the human intestinal flora, in: *Drug Investigation*, 4. Jg., Nr. 1, S. 73-82
- KLEIST, P. (2006). Randomisiert. Kontrolliert. Doppelblind. Warum?, in: *Schweizerisches Medizin Forum*, 6. Jg., Nr. 2, S. 46-52
- KRÄMER, J. (2011). Lebensmittel-Mikrobiologie, 6. völlig überarbeitete Ausgabe. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer KG
- KRÜGER, C. (2007a). Xylit, in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), Handbuch Süßungsmittel, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 417-430
- KRÜGER, C. (2007b). Lactit, in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), Handbuch Süßungsmittel, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S.360-368
- KRÜGER, M., ISMAIL, M., ISIK, K., THÄNS, K. (2004). Mikroflora des Verdauungskanals bei kleineren Heimtieren – Besonderheiten und Unterschiede, in: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., ATF (Hrsg.): Kleine Heimtiere: Diagnostik und Therapie von Erkrankungen des Verdauungsapparates – Aktueller Wissensstand, Hannover
- LEBENSMITTEL-CHEMISCHE GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1992). Zuckeralkohole und Süßstoffe. Hamburg: Behr's Verlag
- MAEKAWA, M., USHIDA, K., HOSHI, S., KASHIMA, N., AJISAKA, K., YAJIMA, T. (2005) Butyrate and propionate production from D-mannitol in the large intestine of pig and rat, in: *Microbial Ecology in Health and Disease*, 17. Jg., Nr. 3, S. 169-176
- MAX RUBNER-INSTITUT (Hrsg.) (2008). Nationale Verzehrsstudie II, Ergebnisbericht Teil 2, Karlsruhe
- MÜLLER, T., HUBERT, ST. (2007). Erythrit (E 968), in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), Handbuch Süßungsmittel, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 323-339



- MUND, H. (2007a). Cyclamate, in: in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), Handbuch Süßungsmittel, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 488-500
- MUND, H. (2007b). Saccharin, in: in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), Handbuch Süßungsmittel, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 501-513
- OECD (Hrsg.) (2010). Obesity and the Economics of Prevention: Fit not Fat, Paris: OECD Publishing
- OUWEHAND, A. C., TIIHONEN, K., SAARINEN, M., PUTAALA, H., RAUTONEN, N. (2009). Influence of a combination of Lactobacillus acidophilus NCFM and lactitol on healthy elderly: intestinal and immune parameters, in: *British Journal of Nutrition*, 101. Jg., Nr. 3, S. 367-375
- PAULUS, K. O., SEIDEL, T. (2007). Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln, in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), Handbuch Süßungsmittel, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 1-43
- RICHTLINIE 90/496/EWG DES EUROPÄISCHEN RATES VOM 24. SEPTEMBER 1990 ÜBER DIE NÄHRWERTKENNZEICHNUNG VON LEBENSMITTELN, ABI. L 276, S. 40, zuletzt geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1137/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2008, ABI. L 311, S. 1
- ROBERT KOCH-INSTITUT (Hrsg.) (2014). Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2013, Berlin
- ROSENPLENTER, K., NÖHLE, U. (Hrsg.) (2007). Handbuch Süßungsmittel. 2. vollst. Überarbeitete Auflage. Hamburg: Behr's Verlag
- SARMIENTO-RUBIANO, L. A., ZÚNIGA, M., PÉREZ-MARTÍNEZ, G., YEBRA, M. J. (2007) Dietary supplementation with sorbitol results in selective enrichment of lactobacilli in rat intestine, in: *Research in Microbiology*, 158. Jg., Nr. 8-9, S. 694-701
- SENATSKOMMISSION FÜR TIEREXPERIMENTELLE FORSCHUNG (2004). Tierversuche in der Forschung. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Bonn: Lemmens Verlags- & Mediengesellschaft
- SUEZ, J., KOREM, T., ZEEVI, D., ZILBERMAN-SCHAPIRA, G., THAISS, C. A., MAZA, O., ISRAELI, D., ZMORA, N., GILAD, S., WEINBERGER, A., KUPERMAN, Y., HARMELIN, A., KOLODKINGAL, I., SHAPIRO, H., HALPERN, Z., SEGAL, E., ELINAV, E. (2014). Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota, in: *Nature*, 514. Jg., Nr. 7521, S. 181-186

- SYLVETSKY, A. C., WELSH, J. A., BROWN, R. J., VOS, M. B. (2012). Low-calorie sweetener consumption is increasing in the United States, in: *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96. Jg., Nr. 3
- TAMURA, M., HOSHI, C., HORI, S. (2013). Xylitol Affects the Intestinal Microbiota and Metabolism of Daidzein in Adult Male Mice, in: *International Journal of Molecular Sciences*, 14. Jg., Nr. 12, S. 23993-24007
- TURNER, J. (2005). Everybody Loves Carbs. *Food Product Design*.  
<http://www.foodproductdesign.com/articles/2005/05/everybody-loves-carbs.aspx>.  
 Stand 25.04.2015
- WEBER, W. (2007a). Sorbit, in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), *Handbuch Süßungsmittel*, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 400-416
- WEBER, W. (2007b). Mannit, in: Rosenplenter, K., Nöhle, U. (Hrsg.), *Handbuch Süßungsmittel*, 2. vollst. Überarbeitete Auflage, Hamburg: Behr's Verlag, S. 386-399
- WHO (Hrsg.) (2014). *Global Status Report on noncommunicable diseases 2014*, Genf
- WHO (2015). WHO/Europe obesity data: clarification. WHO Regional Office for Europe.  
<http://www.euro.who.int/en/media-centre/sections/press-releases/2015/whoeurope-obesity-data-clarification>. Stand: 09.05.2015
- XIAO, J., LI, X., MIN, X., SAKAGUCHI, E. (2013). Mannitol improves absorption and retention of calcium and magnesium in growing rats, in: *Nutrition*, 29. Jg., Nr. 1, S. 325-331
- ZACHARIS, C. (2012). Xylitol, in: O'Donnell, K., Kearsley, M. W. (Hrsg.), *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*, Chichester: Wiley-Blackwell, S. 347-377
- ZACHARIS, C., STOWELL, J. (2012). Lactitol, in: O'Brien Nabors, L. (Hrsg.), *Alternative Sweeteners*, Boca Raton: CRC Press, S. 315-332

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 22.05.2015

---

Kristina Roos