

**Untersuchung zu gastrointestinalen Beschwerden
und Befindlichkeit bei Flugpersonal
auf Langstreckenflügen:
Einfluss von Kabinendruck und Nahrung.**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
im Fachbereich Erziehungswissenschaften an der Bergischen
Universität Wuppertal

Vorgelegt von
Heidmarie Hinninghofen
aus Mülheim an der Ruhr

Wuppertal 2005

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20060547

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20060547>]

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Beeinträchtigungen der Gesundheit durch Langstreckenflüge.....	1
1.2	Bisherige Untersuchungen zu gastrointestinalen Beschwerden.....	3
1.3	Physikalische Bedingungen in der Luftfahrt.....	5
1.3.1	Atmosphäre, Luftdruck und Sauerstoff.....	5
1.3.2	Wirkung des Sauerstoffmangels.....	6
1.3.3	Wirkung der Luftdruckminderung.....	9
1.4	Druckkabinen moderner Verkehrsflugzeuge.....	11
1.5	Nahrungsaufnahme und Verarbeitung	13
1.5.1	Aufbau und Funktion des Gastrointestinaltrakts	14
1.5.2	Das enterische Nervensystem	15
1.5.3	Nahrungsaufnahme, Transport und Resorption.....	17
1.6	Zusammensetzung der Nahrung	19
1.6.1	Ballaststoffe in der Ernährung	19
1.6.2	Wirkung der Ballaststoffe im Verdauungstrakt.....	21
1.7	Physiologie der Magenfunktion	22
1.7.1	Messung der Magentransitzeit mittels Atemgasanalyse	25
1.7.2	Messprinzip von Atemtests.....	25
1.7.3	Der ¹³ C-Oktansäure Atemtest zur Magenentleerungsmessung	26
1.7.4	Massenspektroskopie und Infrarot-Spektroskopie	27
1.7.5	„Lag-Phase“ und Magenentleerungshalbwertzeit	27
1.7.6	Pathologische Magenentleerungszeiten	28
1.8	Gastrointestinale Symptome und Lebensqualität.....	28
1.8.1	Gastrointestinale Beschwerden und gastrointestinale Funktion	28
1.8.2	Gastrointestinale Beschwerden und Lebensqualität	30
1.9	Fragestellung und Ziel der vorliegenden Arbeit	31
2.	Experiment I: Flugbegleiterbefragung	33
2.1	Methoden Flugbegleiterbefragung	33
2.1.1	Versuchspersonen	33

2.1.2	Versuchsplan	33
2.1.3	Abhängige Variablen	33
2.1.4	Versuchsdurchführung.....	33
2.1.5	Verarbeitung und statistische Auswertung der Daten.....	34
2.2	Ergebnisse Flugbegleiterbefragung.....	35
2.2.1	Variable Blähbeschwerden	35
2.2.2	Variable Stuhlgang	36
2.2.3	Variable Essen	37
2.2.4	Grafische Darstellung zum Gesamtergebnis.....	38
2.2.5	Summarische Ergebnisdarstellung Experiment I.....	39
2.3	Diskussion Flugbegleiterbefragung	40
3.	Experiment II: Bodenuntersuchung	42
3.1	Methoden Bodenuntersuchung	42
3.1.1	Versuchspersonen.....	42
3.1.2	Versuchsdesign	42
3.1.3	Unabhängige Variable: Standardmahlzeit	43
3.1.4	Abhängige Variablen.....	43
3.1.4.1	AV: Magenentleerungszeit	44
3.1.4.2	AV: Herzrate und Blutdruck.....	44
3.1.4.3	AV: Intestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit.....	44
3.1.5	Versuchsdurchführung.....	44
3.1.6	Statistische Auswertung	45
3.2	Ergebnisse	45
3.2.1	Magenentleerungszeit.....	46
3.2.2	Herzrate	47
3.2.3	Blutdruck	48
3.2.4	Symptom: Bauchschmerzen	49
3.2.5	Symptom: Völlegefühl im Oberbauch	50
3.2.6	Symptom: Blähbeschwerden	51
3.2.7	Symptom: Windabgang	52
3.2.8	Symptom: Aufstoßen.....	53
3.2.9	Allgemeine Befindlichkeit.....	54

3.2.10	Symptom: Sodbrennen	55
3.3	Diskussion Bodenstudie Experiment II	56
3.3.1	Die Magenentleerungshalbwertszeit ($n/2$)	56
3.3.2	Herzrate und Blutdruck	59
3.3.3	Symptome und Befindlichkeit	61
4	Experiment III: Kabinenstudie	64
4.1	Einleitung	64
4.2	Methode	65
4.2.1	Versuchspersonen	65
4.2.2	Versuchsdesign	66
4.2.3	Unabhängige Variablen	67
4.2.3.1	UV: Flughöhe: 2500m vs. 1000m	67
4.2.3.2	UV: Ballaststoffgehalt der Standardmahlzeit: 2g vs. 20g	67
4.2.4	Abhängige Variablen	68
4.2.4.1	AV: Magentransitzeit	68
4.2.4.2	AV: Herzrate und Blutdruck	68
4.2.4.3	AV: Intestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit	68
4.2.5	Versuchsdurchführung	68
4.2.5.1	Besonderheiten bei Durchführung und Auswertung	69
4.2.6	Statistische Auswertung	70
4.3	Ergebnisse	70
4.3.1	Magenentleerung	71
4.3.2	Herzrate	72
4.3.3	Blutdruck	73
4.3.4	Ergebnisse der Fragebögen	75
4.3.4.1	Symptom: Bauchschmerzen	76
4.3.4.2	Symptom: Völlegefühl im Oberbauch	77
4.3.4.3	Symptom: Blähbeschwerden	78
4.3.4.4	Symptom: Windabgang	79
4.3.4.5	Symptom: Aufstoßen	80
4.3.4.6	Allgemeine Befindlichkeit	81
4.3.4.7	Symptom: Sodbrennen	82

4.4	Diskussion Experiment III	83
4.4.1	Magenentleerungshalbwertszeit $T_{(1/2)}$	83
4.4.1.1	Magenentleerung auf der Flughöhe 1000m	83
4.4.1.2	Magenentleerung auf der Flughöhe 2500m	84
4.4.1.2.1	Historische Untersuchungen zur Magenentleerung bei Unterdruck.....	86
4.4.1.2.2	Mechanismen der Höhenanpassung	87
4.4.1.2.3	Autonome Steuerung gastrointestinaler Funktionen.....	88
4.4.1.2.4	pH-Wert in Magen/Dünndarm und Magenentleerung	89
4.4.1.2.5	Ballaststoffe und Magenentleerung	92
4.4.1.2.6	Gastrointestinale Gasausdehnung und Magenentleerung	92
4.4.2	Herzrate und Blutdruck.....	95
4.4.3	Symptome Völlegefühl und Blähungen auf der Flughöhe 2500m	97
4.4.3.1	Gastrointestinale Gasretention und Symptome	98
4.4.3.2	Gastraler pH-Wert und Symptome	99
4.4.3.3	Gastrointestinale Gasausdehnung und Symptome	100
5.	Zusammenfassende Diskussion.....	102
6.	Literatur	111
7.	Anhang	A1

Diese Arbeit wurde mit Unterstützung eines Stipendiums der Flughafen Frankfurt Stiftung angefertigt.

1 Einleitung

Die Fortbewegung in der Luft hat die Menschen seit jeher fasziniert und zur Beschreibung und Entwicklung unterschiedlichster Flugapparate geführt, angefangen mit Ikarus über die ersten Ballonfahrer und die Gebrüder Wright bis hin zur Mondlandung. 1919 wurden die ersten regelmäßigen zivilen Passagierflüge mit der von Hugo Junkers in Dessau entwickelten und gebauten F13 gestartet. Die F13 war der Prototyp des Ganzstahlflugzeugs und war mit 4 Passagierplätzen ausgestattet. Den Durchbruch für die Passagierluftfahrt brachte jedoch erst 20 Jahre später die Entwicklung der Überdruckkabine für Flugzeuge. Die mit 33 Passagierplätzen ausgestattete Boeing 307 startete als erstes mit Überdruckkabine ausgestattetes Flugzeug ihren Jungfernflug im Dezember 1938.

Abbildung 1: Boeing 307 Stratoliner

Die Boeing 307; erstes mit Überdruckkabine ausgestattetes Flugzeug. Der Jungfernflug fand im Dezember 1938 statt.



Erst diese technische Entwicklung machte es möglich über der Wetterzone, und damit gefahrloser und schneller zu fliegen. Das fliegen in großen Höhen ist nur durch die Entwicklung dieser Überdruckkabinen möglich geworden. In der Druckkabine eines Flugzeuges wird der Sauerstoffmangel aufgrund des geringeren Drucks in großen Höhen dadurch beherrscht, dass in der Kabine ein relativ hoher Druck im Vergleich zum umgebenden atmosphärischen Luftdruck gehalten wird. Die Entwicklung des Düsenantriebs führte schließlich dazu, dass auch große Strecken von einem Kontinent zum anderen, über mehrere Zeitzonen, in relativ kurzer Zeit zurückgelegt werden konnten.

1.1 Beeinträchtigungen der Gesundheit durch Langstreckenflüge

Dabei hat sich gezeigt, dass die schnelle Überwindung mehrerer Zeitzonen, wie dies bei Interkontinentalflügen der Fall ist, zu einer Beeinträchtigung des

Befindens führen kann. Die mit Langstreckenflügen verbundenen massiven physiologischen Veränderungen stellen für Reisende und insbesondere für das Flugpersonal ein ernstzunehmendes Problem dar. Wissenschaftliche Untersuchungen hierzu finden seit den frühen 30er Jahren statt (Strughold, 1939, 1952). Beschwerden umfassen unterschiedliche Ausprägungen von Verwirrung, Desorientierung bezüglich Zeit und Ort, Schmerzen unterschiedlichster Art, Verdauungsprobleme, Verminderung der geistigen und körperlichen Leistungsfähigkeit, sowie Störungen des Schlaf-Wachrhythmus (Holley et al., 1981). Eine Desynchronisation zeigt sich bei den verschiedenen physiologischen Rhythmen: Schlaf-Wach-Rhythmus, Körpertemperatur, Herzrate, Atmung, Blutdruck, Entwässerung und Hormonausschüttung (Stepanova, 1974).

Flüge über mehrere Zeitzonen verursachen bei bis zu 78% der Flieger Schlafstörungen, die in 30% der Fälle länger als 3 Folgenächte anhalten (Lavemhe, 1968). Bei weiblichen Flugbegleitern zeigten sich signifikant häufiger Unregelmäßigkeiten im Menstruationszyklus und diesbezüglich stärkere Beschwerden (Preston et al. 1973; Shmidova, 1966). Die Resynchronisation der einzelnen Rhythmen variiert erheblich (Wegmann, 1986; Hawkins, 1978; Klein & Wegmann, 1980; Wever, 1979). Bei einer Zeitverschiebung von 6 Stunden in östlicher Richtung wird die Pre-Flug-Leistungsfähigkeit nach ca. 2 Tagen erreicht, während der Schlaf-Wach-Rhythmus ca. 2-3 Tage benötigt, die Körpertemperatur ca. 5 Tage, und die Kortisolausschüttung bis zu 8 Tagen, um eine vollständige Anpassung zu erreichen (Aschoff, 1976).

Die Anpassung bei Flügen in westlicher Richtung findet schneller statt als bei Flügen in östlicher Richtung (Stepanova, 1974; Hawkins, 1978; Klein, 1980; Halberg, 1977; Aschoff, 1975). Bei Flügen von Deutschland in die USA ist eine 95%ige Resynchronisation nach ca. 3 Tagen zu erwarten, während in umgekehrter Richtung bis zu 8 Tage benötigt werden. Dieses Phänomen wird als „asymmetrischer Effekt“ bezeichnet (Aschoff, 1978). Die Tatsache, dass soziale Interaktion und Outdoor-Aktivitäten am Ankunftsort zur beschleunigten Resynchronisation beitragen (Wegmann, 1974), hat bisher jedoch wenig Auswirkungen auf die Dienstplangestaltung gehabt. Insgesamt wurde der

Untersuchung von Schlaf- und Konzentrationsstörungen sowie verminderter Leistungsfähigkeit nach Langstreckenflügen viel Aufmerksamkeit und Forschungsarbeit gewidmet. Relativ wenig Beachtung wurde bisher gastrointestinalen Störungen geschenkt, die jedoch mit 41% (Lavernhe, 1972) einen großen Anteil der gesundheitlichen Klagen sowohl bei Fluggästen als auch bei Flugpersonal ausmachen und einen erheblichen Kostenfaktor insbesondere für die Fluggesellschaften darstellen.

Eine häufige Klage nach Langstreckenflügen sind Hungergefühle zu ungewöhnlichen Zeiten und gastrointestinale Beschwerden verschiedenster Art. Die Nahrungsaufnahme selbst wird nicht als eigentlicher Zeitgeber für den menschlichen Organismus angesehen (Aschoff, 1970; Graeber, 1978), jedoch beeinflusst sie andere rhythmische Variablen wie Hormonausschüttung, Blutdruck und Herzrate.

Bisherige Studien haben gezeigt, dass die Organisation der internen menschlichen Rhythmen außerordentlich komplex ist. Wichtige Variablen sind externe Zeitgeber, Arbeitsbelastung, Arbeitsbedingungen (Kabinendruck, Schichtarbeit), Zusammensetzung der Nahrung sowie die Zeit der Nahrungsaufnahme.

In den vergangenen Jahren sind zahlreiche Untersuchungen zur Belastung und Beanspruchung des Cockpit-Personals durchgeführt worden. Das Tätigkeitsfeld des Kabinenpersonals wurde dagegen nur vereinzelt wissenschaftlich untersucht. Diese wenigen Untersuchungen stützen sich auf Fragebogen sowie auf Aktometerdaten (Aktivitätsmessungen) und Tagebuchaufzeichnungen. Diese Untersuchungen ergaben, dass Crews, die auf der Langstrecke eingesetzt werden, mehr Probleme haben als diejenigen, die auf der Kurzstrecke arbeiten. Medizinisch relevante Symptome waren hier Rückenbeschwerden, Schlafstörungen, häufige Erkältungen sowie Magen- und Darmprobleme (Haugli et al., 1994).

1.2 Bisherige Untersuchungen zu gastrointestinalen Beschwerden

In einer Fragebogenerhebung (Enck et al., 1995) zeigte sich bei Mitarbeitern einer Charterfluggesellschaft eine signifikant erhöhte Inzidenz gastrointestinaler Symptome für das fliegende Personal auf

Langstreckenflügen im Vergleich zum Bodenpersonal und dem Personal auf Kurzstrecken. Die Beschwerden beim Kabinenpersonal waren höher als bei der Cockpitbesatzung. Bei den geschilderten Symptomen handelte es sich um Sodbrennen, Aufstoßen, Völlegefühl, Blähungen und Schmerzen. Ein Symptomkomplex, der allgemein als Dyspepsie bezeichnet wird. Im Vergleich mit Kurzstreckenpersonal wurden diese Symptome signifikant häufiger vom Kabinenpersonal auf Langstreckenflügen genannt ($p < 0.001$). Das Symptom abdominale Schmerzen wurde bei Langstreckenpersonal in 11% der Fälle genannt, während es bei Personal auf der Kurzstrecke keine Erwähnung fand ($p < 0.001$). Mit den Beschwerden stieg die Anzahl der Arztbesuche sowie die Fehltage aus Krankheitsgründen und verschlechterte sich die Befindlichkeit. Mit stärkeren intestinalen Beschwerden sank gleichzeitig die Zufriedenheit mit dem Beruf und dem Privatleben (Enck et al., 1995). Diese Befunde stimmen überein mit Ergebnissen von Giger und Brignoli (1998), wonach Personen mit regelmäßigen Beschwerden des oberen Gastrointestinaltrakts häufiger auf Grund dieser Symptome der Arbeit fern bleiben (11% vs. 3%) und im Durchschnitt schlechtere Werte bei Lebensqualitätsfragebögen erzielen (Lebensqualitätsindex: PGWBI 74 vs. 90) als Personen mit nur gelegentlichen Beschwerden.

Das Personal auf Langstreckenflügen gab in der Befragung von Enck und Mitarbeitern (1995) selteneren Tabakgenuss sowie einen geringeren Konsum von Alkohol an als das Bodenpersonal. Weiterhin fand sich ein bewussteres Ernährungsverhalten bezüglich regelmäßiger Mahlzeiten und vermehrter Aufnahme an Ballaststoffen.

Die Beschwerden des Flugpersonals könnten ernährungsbedingt durch hohe Ballaststoffzufuhr sein, oder durch den niedrigen Kabinendruck hervorgerufen werden, der eine Ausdehnung der Gase in Körperhöhlen verursacht. Eine Verursachung durch eine erhöhte Stressbelastung infolge von Schichtarbeit und Jet-lag ist ebenfalls möglich. In der vorliegenden Arbeit sollte der Zusammenhang zwischen Ballaststoffgehalt der Nahrung, gastrointestinalen Symptomen, allgemeiner Befindlichkeit und Umgebungsdruck untersucht werden. Einleitend wird daher zunächst die Situation auf Langstreckenflügen und die

Beeinflussung des menschlichen Organismus durch zunehmende Höhe geschildert. Des Weiteren wird ein Überblick über die Funktionen des Verdauungssystems und der Nahrungsverarbeitung gegeben. Hierbei soll näher auf die Funktionen des Magens, aber auch auf dessen Störungen und deren diagnostischer Aufdeckung und mögliche Ursachen eingegangen werden, da die geschilderten Symptome vielfach durch Veränderungen oder Störungen der Magenfunktion erklärt werden können (Frieling, 1992). Die Bedeutung von Ballaststoffen in der Nahrung und für die Verdauungsmechanismen wird ebenfalls in diesem Zusammenhang erläutert werden.

1.3 Physikalische Bedingungen in der Luftfahrt

1.3.1 Atmosphäre, Luftdruck und Sauerstoff

Flugzeuge, die auf der Langstrecke eingesetzt werden, bewegen sich üblicherweise auf einer Reishöhe zwischen 10 und 12,5 km. In dieser Höhe herrschen wesentlich andere Bedingungen als auf der Erdoberfläche. Die gesamte Lufthülle, die die Erde umgibt, wird als Atmosphäre bezeichnet. Die Luft der Atmosphäre ist ein Gemisch von Gasen, das sich volumenmäßig zusammensetzt aus: Stickstoff (78,09%), Sauerstoff (20,95%), Argon (0,93%), Kohlensäure (0,03%) sowie aus Spuren von Wasserstoff, Ozon, Radon und Wasserdampf. Da Gase stark kompressibel sind, stellt man bei Betrachtung der Druckverhältnisse in der Atmosphäre fest, dass der Luftdruck mit steigender Höhe abnimmt. Der Teildruck eines Gases entspricht seinem Anteil am Gesamtdruck der beteiligten Gase. Für atmosphärische Luft ist der Teildruck (Partialdruck) für Sauerstoff $\frac{1}{5}$ (21%) des Gesamtluftdrucks: Auf Meereshöhe also $\frac{1}{5}$ von 760 mmHg = 152 mmHg (bei 15°C). Auch in 12.000m Höhe ist der Sauerstoffanteil noch $\frac{1}{5}$, mit zunehmender Höhe sinkt jedoch der Gesamtdruck und damit die absolute Zahl der Moleküle in der Raumeinheit. Dies bedeutet, dass in 12.000m der Sauerstoffpartialdruck (P_{O2}) noch $\frac{1}{5}$ von 145 mmHg Gesamtdruck beträgt, also 30,2 mmHg (bei -56,5°C, siehe Anhang A1).

Die höchstgelegenen menschlichen Siedlungen findet man in den Anden, in einer Höhe von etwa 5300m. Diese Höhe stellt, nach Akklimatisation, für den

Menschen wahrscheinlich die Grenze der Höhenverträglichkeit auf Dauer dar. In 5500m Höhe beträgt der Gesamtluftdruck noch 380 mmHg und damit der Sauerstoffpartialdruck 1/5 davon: 80 mmHg (bei -21 °C). Vergleichende Untersuchungen an Hochlandbewohnern und Bewohnern auf Meereshöhe haben ergeben, dass die autonome Kontrolle der Homöostase erhebliche Unterschiede zwischen diesen Gruppen aufweist (Passino et al., 1996). Der menschliche Organismus wird also mit zunehmender Höhe sowohl durch den veränderten Luftdruck als auch durch den veränderten Sauerstoffgehalt der Luft beeinflusst.

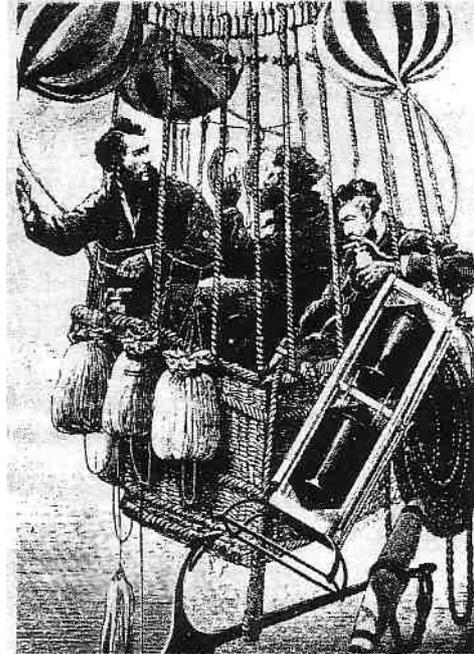
1.3.2 Wirkung des Sauerstoffmangels

Der menschliche Körper ist dem Leben auf der Erdoberfläche angepasst. Da er keinen Sauerstoff speichern kann wie dies bei Fett oder Eiweiß der Fall ist, wird der Sauerstoffmangel durch Abnahme des Sauerstoffpartialdrucks in der Atmosphäre bei steigender Höhe zum Problem. Das Absinken des Sauerstoffpartialdruckes in der Einatemluft auf einen für den Organismus unzureichenden Wert ist die Ursache der Höhenkrankheit. Hierunter fallen verschiedene, durch Sauerstoffmangel ausgelöste Störungen: Verminderung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit, Ermüdung, Willensschwäche, Atemnot, Tachykardie, Schwindel, Erbrechen, Kopfschmerzen, Apathie oder Euphorie. Die kritische Zone liegt bei 7000m. Der O₂-Partialdruck unterschreitet hier 35 mmHg, wodurch lebensbedrohende zentralnervöse Störungen auftreten, die nur innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne reversibel sind. Viele Ballonfahrer und später auch Piloten fielen diesem Sauerstoffmangel zum Opfer. Die erste Darstellung der Höhenwirkung des Fliegens im Freiballon lieferte Tissandier, ein erfahrener französischer Ballonpilot, im Jahre 1875. Im Verlauf dieses Fluges wollten er und seine Begleiter die künstliche Sauerstoffatmung erproben, um so größere Höhen erreichen zu können. Der tragisch verlaufende Ballonflug führte in eine Höhe von über 8000m. Die Sauerstoffzufuhr versagte, seine beiden Begleiter Sivel und Croce-Spinelli kamen ums Leben, er selbst erlitt ein schweres Barotrauma beider Ohren durch den zu schnellen Abstieg des Ballons. Die Darstellung ist als erste flugmedizinische Abhandlung in die Geschichte der

Luftfahrtmedizin eingegangen (Bert, 1878).

Abbildung 2: Ballonfahrer

1875 stieg der Ballon Zenith auf eine Höhe von 28.820 ft. Auf Anraten **des** Physiologen P. Bert führten die Ballonfahrer Sauerstoffbehälter mit sich, deren Gebrauch sie zuvor in der Unterdruckkammer geübt hatten. Dennoch kamen zwei der drei Ballonfahrer auf diesem Flug ums **Leben**, **da** sie offenbar die Gefahr unterschätzten.



Die Sauerstoffversorgung des Körpers wird normalerweise dadurch gesichert, dass infolge des Druckgefälles von der Außenwelt zum Blut hin die Sauerstoffmoleküle in die Kapillaren der Alveolen diffundieren. Dort werden sie zunächst physikalisch gelöst und dann unmittelbar chemisch im Blut gebunden. Die Diffusion von Sauerstoff in den Körper ist jedoch nur möglich, wenn von der Außenluft zur Zelle hin ein ausreichendes Druckgefälle besteht. In Meereshöhe beträgt der Sauerstoffpartialdruck in der Atemluft ca. 160 mmHg (nach Erwärmung auf 37°C und vollständiger Sättigung mit Wasserdampf in den zuführenden Atemwegen), in der Zelle herrscht ein Druck von ca. 40 mmHg. Mit zunehmender Höhe verringert sich dieses Sauerstoffdruckgefälle mehr und mehr (Sauerstoffkaskade s. Abbildung 3). Durch den geringeren Sauerstoffpartialdruck in der Umgebung verringert sich letztendlich auch der Sauerstoffpartialdruck in der Lunge und damit die Sauerstoffsättigung des Blutes. Bei Sauerstoffmangel gerät der Organismus in den Zustand der Hypoxämie. In der Folge nimmt beim Gesunden beim Höhengaufstieg das Atemminutenvolumen zu, entweder durch Zunahme der Atemfrequenz und/oder der Atemamplitude. Auf einer Höhe von 2250m ist das Atemminutenvolumen normalerweise um etwa 10% gestiegen. Die Folge ist ein verminderter arterieller P_O2 (Hypokapnie) (Wiesinger, 1956). Neben

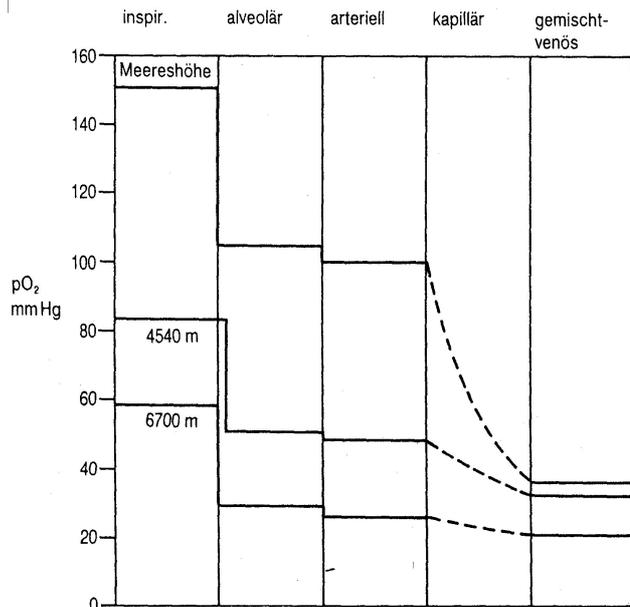


Abbildung 3: Sauerstoffkaskade

Partialdruck des Sauerstoffs (P_{O2}) in der Inspirationsluft und in den verschiedenen Kreislaufabschnitten bis zum venösen Schenkel bei Bewohnern auf Meereshöhe, Hochlandbewohnern und akklimatisierten Kletterern auf 6700m Höhe. In großer Höhe ist die Kaskade wesentlich flacher. Lohmazzi, F. Gurtner, H.P. (1981) Höhengaufenthalt und Flugreisen bei Herzkranken. Schweizer Medizin. Wochenschrift, 111 (18): 618-624.

der Umstellung der Atmung tritt bei Sauerstoffmangel in großen Höhen eine Reaktion des gesamten Kreislaufs ein. Dieser Anpassungsvorgang wird überwiegend durch eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems hervorgerufen (Tromp, 1972; Saito et al., 1988). Akuter Sauerstoffmangel stimuliert die oxygen-sensitiven Chemorezeptoren in der Karotis und im Hirnstamm und erhöht die efferente sympathische Aktivität. Hierdurch bedingt kommt es zu einer Vasokonstriktion, die der hypoxisch ausgelösten Vasodilatation entgegenwirkt und den arteriellen Blutdruck zunächst konstant hält (Duplain et al., 1999; Hansen & Sander, 2003). Mit zunehmender Höhe steigt durch die Abnahme des Vagotonus zunächst die Herzfrequenz. Über 2500m nimmt dann auch das Schlagvolumen des Herzens zu, und im EKG finden sich deutliche Veränderungen im kardialen Erregungsablauf. Gesunde Menschen reagieren auf zunehmende Höhe mit steigendem systolischen und sinkendem diastolischen Blutdruck, also mit einer Verbreiterung der Druckamplitude (Grossmann, 1985). Da zentralnervöse Ganglienzellen sehr empfindlich auf Sauerstoffmangel reagieren, kann es in Höhen ab 3000m bereits zu einer Einschränkung der kognitiven Fähigkeiten kommen. Individuell unterschiedlich kommt es in einer Höhe zwischen 2000m und 3000m zu den oben beschriebenen kompensatorischen Reaktionen des Organismus. Bis zu einer Höhe von 4000m ist aufgrund der kompensatorischen Vorgänge bei Gesunden in der Regel kein Leistungsabfall zu verzeichnen. Dieser Bereich bis zum Beginn der Leistungsminderung (ca.

3500m bis 4000m) wird Kompensationszone genannt. Bei ca. 4000m liegt die „Störungsschwelle“, da jetzt die Störungen der physiologischen Organfunktionen manifest werden. Insbesondere die Störungen des Zentralnervensystems treten ab 4000m deutlich in Erscheinung. Auch andere Störungen können vom Organismus nicht mehr kompensiert werden, die Zone zwischen 4000m und 6000m wird daher die „Zone der unvollständigen Kompensation“ genannt. 6000m wird als kritische Schwelle bezeichnet: Zwischen 6000m und 8000m setzen Tremor, Muskelzuckungen, rascher Anstieg von Puls und Atmung ein, sowie eine Bewusstseinstäubung, die schließlich in Bewusstlosigkeit übergeht. In der Folge kommt es zu Krämpfen und schließlich zum Atemstillstand und zu Herzversagen (Strughold, 1939).

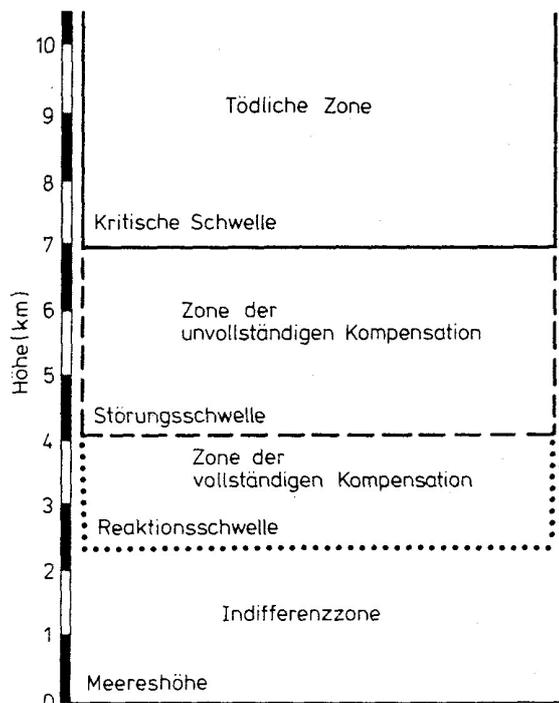


Abbildung 4: Höhenwirkungsschwellen
Graphische Darstellung der Höhenwirkungsschwellen nach Strughold, 1939.

1.3.3 Wirkung der Luftdruckverminderung

Der sinkende Luftdruck mit steigender Höhe führt ebenfalls zu physiologischen Veränderungen im menschlichen Körper. Nach dem Boyle-Mariott-Gasgesetz ist das Volumen eines Gases bei konstanter Temperatur umgekehrt proportional dem Druck. Sinkt also der Druck eines Gases auf die Hälfte, so nimmt das Gas das doppelte des Anfangsvolumen ein. Daraus folgt, dass verglichen mit dem Volumen auf Meereshöhe, in der Atmosphäre in 10.000m Höhe eine bestimmte Gasmenge sich auf das 4fache ihres

Ausgangsvolumens ausdehnt, in 16.000m gar auf das 10fache Volumen (s. Tabelle 1). Diese Gleichung gilt für trockene Gase. Gas in Körperhöhlen ist

Tabelle 1:

Gasausdehnung in Körperhöhlen in Abhängigkeit des Umgebungsdrucks (Hageisten, 1963).

Kabinendruckhöhe		Relativer Rauminhalt der Körperluft
Meter	Feet	
Meereshöhe		1.0
1 600	5 000	1.2
3 300	10 000	1.5
5 000	15 000	1.9
6 600	20 000	2.4

jedoch mit Wasserdampf gesättigt. Bei einer Körpertemperatur von 37°C beträgt der Wasserdampfdruck 47 mmHg und bewirkt eine zusätzliche Volumenausdehnung. Betroffen sind die gashaltigen Körperhöhlen von Magen und Darm, sowie die Knochenhöhlen des Schädels, einschließlich der Zähne und des Mittelohrs.

Im Gastrointestinaltrakt befindet sich normalerweise zwischen 0,5 und 1 Liter Gas. Bei Abnahme des Umgebungsdrucks kommt es daher zu einer Vergrößerung des Bauchumfangs und zum Hochdrängen des Zwerchfelles. Hierdurch können Symptome wie Unwohlsein, Übelkeit und Schmerzen verursacht werden. Bei den Knochenhöhlen ist eine Ausdehnung des Gasvolumens nur möglich, wenn die anatomisch vorhandenen Ausführgänge durchgängig sind. Selbst kleinste Gasansammlungen z. B. in Füllungen der Zähne können bei schnellem Höhenanstieg zu heftigen Schmerzen führen (Grossmann, 1985). Die Eustachische Röhre (Tube) verbindet das Mittelohr mit dem Nasenrachenraum, sie öffnet sich beim Gähnen und Schlucken reflektorisch. Bei Druckänderungen (Auf- oder Abstieg) kann durch das Öffnen der Tuben das Gasvolumen im Mittelohr an die jeweiligen Druckverhältnisse angepasst werden, damit das Trommelfell optimal schwingungsfähig bleibt. Ist dieser Ausgleich nicht möglich, wird das Trommelfell überdehnt, die Folgen sind Schmerzen und Hörstörungen, bis hin zu Verletzungen des Trommelfells (Moser& Frank, 1988).

1.4 Druckkabinen moderner Verkehrsflugzeuge

Um gefahrlos mit dem Flugzeug längere Strecken in großen Höhen zurücklegen zu können, musste man also Piloten und Passagiere hermetisch von der Atmosphäre abschließen. Das Fliegen in großen Höhen hat auch ökonomische Vorteile: Je höher ein Flugzeug fliegt, umso weniger Treibstoff wird benötigt, da die Reibung aufgrund der geringeren Luftdichte mit steigender Höhe abnimmt.

Tabelle 2:
Kabinendruckhöhe und
Flugzeugtyp (Renemann &
Pettet, 1984).

Flugzeugtyp	Reisehöhe	Kabinendruckhöhe
B-737	10400	2400
BAC-11, B-727, B-707	10600	2400
B-720, DC-10,	12100	2300
DC-8	12100	2100
B-747	12500	2250
Concorde, TU 144	22700	2400

Mit zunehmender Höhe werden jedoch die Anforderungen an die Flugzeugkonstruktion höher, wenn bestimmte Qualitätsstandards bezüglich der Sicherheit gehalten werden sollen und ein gesundheitlich unbedenklicher Transport der Passagiere gewährleistet sein soll. Die heute üblichen Flughöhen und damit auch die Kabinendruckhöhen stellen einen Kompromiss aus finanziellen, flugzeugtechnischen und medizinischen Überlegungen dar. Limitierende Faktoren für die maximal tolerierbare Kabinendruckhöhe aus medizinischer Sicht stellen die Hypoxie, die Auswirkungen eines plötzlichen Druckabfalls, und die Gasausdehnung im Gastrointestinaltrakt dar. Weiterhin ist die Druckänderungsgeschwindigkeit beim Auf- und Abstieg von Bedeutung. Zu schnelle oder ruckartige Änderungen des Kabineninnendrucks können beim Druckausgleich zu Verletzungen, dem Barotrauma der Nasennebenhöhlen und/oder des Mittelohres führen.

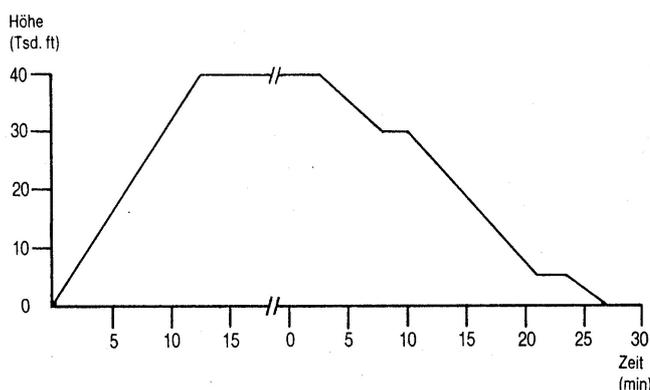


Abbildung 5: Auf und Abstieg

Kabinendruckhöhe während des Auf- und Abstiegs eines Passagierflugzeuges während eines Fluges bis 40.000 ft und zurück zum Boden. Aus: Sharp, G.R.: The pressure cabin. In: Aviation Medicine, Hrsg.: Dhenin, G. London, Tri-Med Books Limited 1978: 151-176.

So ist auch bei Dekompressionsunfällen (Enthermetisierung der Kabine) nicht der absolute atmosphärische Umgebungsdruck, sondern das Kabinendruckgefalle entscheidend. Internationale Bestimmungen sehen daher vor, dass bei plötzlicher Dekompression durch Notabstieg innerhalb von 10 Minuten die Sicherheitshöhe von 4600m erreicht werden muss. Die maximal zulässige Differenz zwischen atmosphärischem Druck und Kabinenbinnendruck beträgt daher bei den heute meistgeflogenen Verkehrsflugzeugen auf Langstrecken etwa 0,6 atm und entspricht dem hydrostatischen Belastungsdruck einer 6m hohen Wassermasse, die auf die gesamte Innenfläche der Kabinenwand einwirkt. Langstreckenverkehrsflugzeuge haben in der Regel eine Reiseflughöhe von ca. 10 bis 12,5 km mit einer Kabinendruckhöhe von ca. 2100m - 2400m (« 0,76 atm) unter einem Außendruck von 0,19 atm mit dem Differenzdruck von 0,57 atm. Kurzstreckenflugzeuge fliegen auf Grund konstruktiver Gegebenheiten in etwas geringeren Höhen (7600 bzw. 10400 m), mit Kabinenhöhen von 1800m bis 2400m (Rutenfranz & Renemann, 1989). Üblicherweise wird der Druck in der Kabine beim Aufstieg bis zu einer Flughöhe von ca. 4400m (= 430mmHg) konstant auf 760mmHg gehalten. Ab dieser Höhe wird ein Überdruck von ca. 370mmHg (ca. 50kPa) gegenüber der Außenatmosphäre gehalten (Kressin, 1990). In einer Untersuchung während 204 kommerziellen Passagierflügen amerikanischer Fluggesellschaften fand Cotrell bei 60 Flügen Kabinendruckhöhen von über 2200m und eine Spitzen-Kabinendruckhöhe von 2717m (Cotrell, 1988).

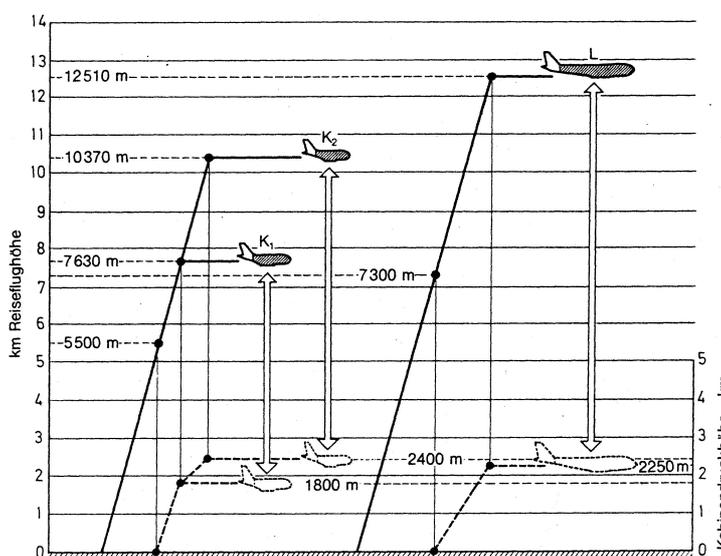


Abbildung 6: Flughöhen-Kabinendruckhöhen

Kabinendruckhöhe am Beispiel eines Langstreckenverkehrsflugzeuges L in 12,5 km Reiseflughöhe, dessen Druckkabine auf eine Kabinendruckhöhe von 2250 m (=0,76 atm) eingestellt ist (1atm =1013hPa). Bei dem Aussendruck in 12510m Höhe von 180 hPa (= 0,18atm) beträgt der Differenzdruck, (d. h. der relative Überdruck in der Flugzeugkabine) $0,76\text{atm} - 0,18\text{atm} = 0,58\text{ atm}$ (nach J. Rutenfranz et al., 1989).

Bei einer Kabinendruckhöhe von 2100m beträgt der atmosphärische Sauerstoffpartialdruck ca. 111 mmHg, in den Alveolen 66 mmHg, im arteriellen Blut etwa 60 mmHg. Bei dieser Sauerstoffspannung ist das Hämoglobin noch zu 90% mit Sauerstoff gesättigt. Auf dieser Höhe ist beim Gesunden noch keine gravierende ventilatorische, hämodynamische oder metabolische Reaktion anzunehmen (McFarland, 1971). Bei Kabinenhöhen über 1500m kommt es zu einer Verschiebung des gastralen pH-Werts in den sauren Bereich (Truchaud, 1976). Gase in Körperhöhlen dehnen sich bei einer Kabinendruckhöhe von 2100m auf ca. den 1,3-fachen Rauminhalt aus, einem Wert, der bei Gesunden zu keinen ernsthaften Beschwerden führt (Grossmann, 1985).

Da das Flugpersonal auf Langstreckenflügen in der Untersuchung von Enck et al. (1995) überwiegend über gastrointestinale Beschwerden klagte, soll im Folgenden ein Überblick über die Funktionen des Verdauungssystems und der Nahrungsverarbeitung gegeben werden. Da Beschwerden des oberen Gastrointestinaltrakts signifikant häufiger genannt wurden, wird insbesondere auf die Funktionen des Magens, aber auch auf dessen Funktionsstörungen und deren diagnostischer Aufdeckung sowie auf mögliche Ursachen eingegangen. Die Bedeutung von Ballaststoffen in der Nahrung wird ebenfalls in diesem Zusammenhang erläutert.

1.5 Nahrungsaufnahme und Verarbeitung

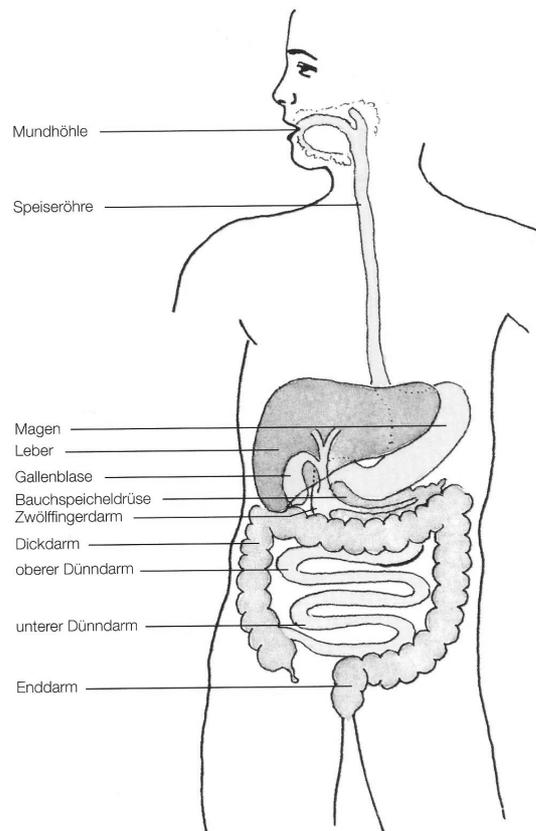
Zur Aufrechterhaltung seiner Funktionen benötigt der menschliche Körper Energie, die aus den Nahrungsmitteln gewonnen wird.

Unsere Nahrungsmittel bestehen aus Nährstoffen, Vitaminen, Salzen, Spurenelementen, Geschmacks- und Ballaststoffen sowie Wasser. Als Nährstoffe im engeren Sinne werden Eiweiße, Fette und Kohlenhydrate bezeichnet, sie werden in bestimmtem Umfang für den Bau- und Betriebsstoffwechsel benötigt. Die aufgenommene Nahrung wird im Gastrointestinaltrakt in resorbierbare Bestandteile zerlegt, die dann aus dem Darmlumen über die Darmschleimhaut in das Blut oder die Lymphe

aufgenommen werden.

1.5.1 Aufbau und Funktionen des Gastrointestinaltrakts

Die aufgenommene Nahrung wird im Gastrointestinaltrakt verarbeitet und verwertet. Der Gastrointestinaltrakt besteht aus einem durchlaufenden Rohr vom Mund bis zum Anus mit den Abschnitten Oropharynx, Ösophagus,



Die Verdauungsorgane des Menschen

Abbildung 7: Gastrointestinaltrakt
Schematische Darstellung des Gastrointestinaltrakts.

Magen, Dün- und Dickdarm, in welche die Ausführgänge der exkretorischen Drüsen: Mundspeicheldrüsen, Pankreas und Leber einmünden. Der Gastrointestinaltrakt stellt eine funktionelle Einheit dar, da nur alle Teilfunktionen gemeinsam die Aufgabe der Resorption erfüllen können. Die Funktionen des Gastrointestinaltrakt bestehen aus: Zerlegung der Nahrung, Transport des Speisebreis, Reservoirfunktionen und Resorption. Die resorbierbaren Bestandteile werden über die Darmschleimhaut in das Blut

oder die Lymphe aufgenommen. Die Kontrolle und Koordination der motorischen und sekretorischen Funktionen des Gastrointestinaltrakts unterliegt überwiegend den Neuronen des enterischen Nervensystems.

1.5.2 Das enterische Nervensystem

Der Gastrointestinaltrakt verfügt über die größte Ansammlung von Nervenzellen außerhalb des Zentralnervensystems (ZNS); das enterische Nervensystem (ENS). Morphologisch besteht das ENS aus unterschiedlich geformten Nervengeflechten, die die gesamte Darmwand in mehreren Ebenen durchziehen. Die intramuralen Nervenzellen gruppieren sich zu größeren Ansammlungen, den enterischen Ganglien. Diese sind durch Nervenfaserverstränge zu ganglionären Netzwerken verbunden. Die ganglionären Plexus befinden sich zum einen zwischen Ring- und Längsmuskulatur (Plexus myentericus), zum anderen in verschiedenen „Etagen“ der Submucosa (Plexus submucosi) (Krammer et al., 1997).

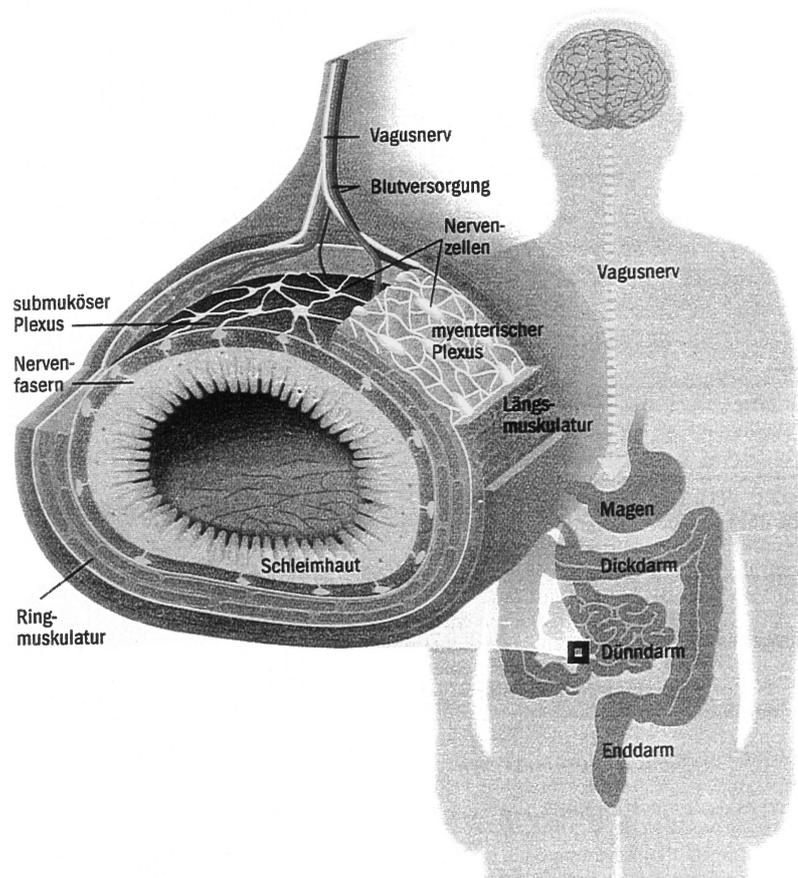


Abbildung 8: Das enterische Nervensystem (ENS)

Aufbau des enterischen Nervensystems (Der Spiegel (10), 1996).

Ein Ausdruck der funktionellen Komplexität des Systems stellt die Formenvielfalt der enterischen Nervenzellen dar. Stach (1989) konnte mehr als 6 unterschiedliche Nervenzelltypen identifizieren. Die enterischen Nervenzellen lassen sich auch aufgrund ihrer Neurotransmitter charakterisieren (Gershon et al., 1994). Die komplexen Verschaltungen von intrinsischen afferenten Neuronen, Intemeuronen und inhibitorischen bzw. exhibitorischen Motoneuronen zu intramuralen Reflexbögen ermöglichen es dem ENS eine Vielzahl seiner Funktionen weitgehend unabhängig von zentralnervösen Einflüssen auszuüben (Furness et al., 1995). Die Vermittlung und Koordinierung intestinaler Motilität unterliegt ebenfalls überwiegend der Kontrolle des ENS. Die gastrointestinale Motilität wird durch langsame Potentialwellen gesteuert, die von Schrittmacherzellen ausgehen. Sie weist im Nüchternzustand und nach der Nahrungsaufnahme unterschiedliche Aktivitätsmuster auf. Eine Vielzahl von endo-, para- und neurokrinen Substanzen ist an der Steuerung der Sekretion, der Motilität, der lokalen Durchblutung, des Schleimhautwachstums und der Resorption beteiligt. Die klassischen gastrointestinalen Hormone sind Gastrin, Sekretin, Cholezystokinin und GIP (gastric inhibiting polypeptide), die auf spezifische Reize hin in das Blut abgegeben werden und auf bestimmte Effektorzellen wirken. Darüber hinaus gibt es eine Fülle von biologisch aktiven Polypeptiden, die eine hormonähnliche Wirkung auf den Gastrointestinaltrakt ausüben. Verschiedene gastrointestinale Hormone kommen auch im zentralen und peripheren Nervensystem vor. Für manche Neuropeptide, die bisher nur im Gehirn bekannt waren, wie Enkephaline und Endorphine, wurden Opioidrezeptoren im Darm identifiziert. Die Freisetzung der gastrointestinalen Hormone und Peptide geschieht über eine Vagusaktivierung, und über die Rezeptoren der gastrointestinalen endokrinen Zellen, die auf bestimmte Substanzen im Darmlumen reagieren und die Freisetzung der Hormone aus den Zellen bewirken.

Die extrinsischen sympathischen und parasympathischen Nervenfasern stellen die Verbindung zwischen verschiedenen Darmabschnitten, dem ENS und dem zentralen Nervensystem (ZNS) dar (Frieling, 1993). Neuroanatomisch bildet der Vagus die wichtigste Verbindung zwischen dem

Gastrointestinaltrakt und dem ZNS, 80% seiner Fasern sind afferent. Sympathikus und Parasympathikus wirken modulierend auf das enterische Nervensystem. Der Parasympathikus wirkt überwiegend fördernd, indem z.B. eine zunehmende Aktivierung die Motilität in der Longitudinal- und Zirkulärmuskulatur der Darmwand erhöht, und die Sphinkteren erschlaffen lässt. Die Aktivierung des Sympathikus bewirkt eine Abnahme der Motilität, sowie eine Kontraktion der Sphinkteren und eine Vasokonstriktion der abdominalen Blutgefäße, hat also überwiegend hemmende Konsequenzen. Informationen von Mechano- und Chemorezeptoren sowie von Nozizeptoren werden über viszerale Afferenzen an das Zentralnervensystem weitergeleitet, und führen zur Wahrnehmung oder zur Auslösung vegetativer Reflexe.

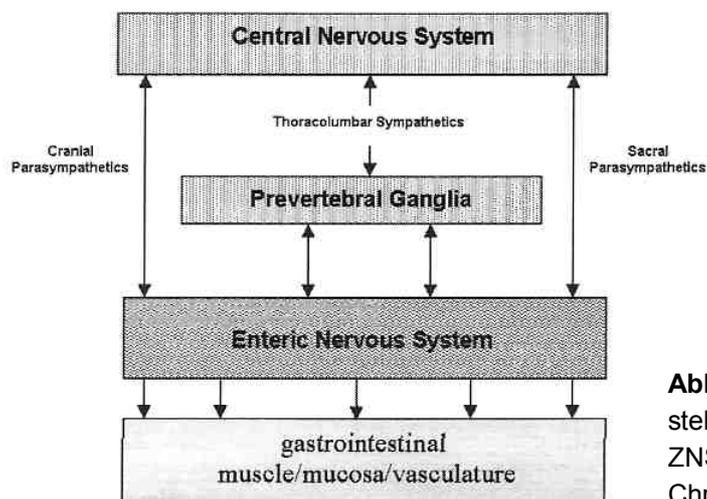


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen ZNS, ANS und ENS (nach Christensen, 1991).

1.5.3 Nahrungsaufnahme, Transport und Resorption

Aufgenommene feste Nahrung wird in der Mundhöhle durch Kauen zerkleinert und durch Einspeicheln des Bissens in einen gleitfähigen Zustand überführt.

Magen

Im Magen werden die geschluckten Speisen gespeichert, weiter zerkleinert und homogenisiert (Chymus). Die Magenmukosa sezerniert täglich 2-3 Liter Magensaft, dessen wesentliche Bestandteile Salzsäure, Pepsinogene, Schleim (Muzin) und Bikarbonat sind. Bereits zu Beginn der Nahrungsaufnahme tritt ein Teil der Nahrung in den Dünndarm über und beeinflusst die weitere Verdauung. Die Magensekretion ist neural und humoral gesteuert. Im Nüchternzustand wird nur wenig, neutrales bis leicht alkalisches Sekret abgegeben, bei Nahrungsaufnahme dagegen kommt es zur Bildung

von stark saurem (pH = 0.8 - 1.5), enzymreichen Sekret. In der Nüchternphase (interdigestive Phase) wird nur ca. 15% des Volumens sezerniert, das bei maximaler Stimulation gebildet werden kann. Als Ursache für diese gastrinabhängige Basalsekretion vermutet man die Grundaktivität des Vagus. Neben der direkten Aktivierung der Salzsäure (HCL) bildenden Belegzellen über einen muskarinergen Rezeptor, wirkt der N. Vagus auch indirekt über die Freisetzung von Gastrin auf die Belegzellen. Im Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme wird eine zephal, eine gastrale und eine intestinale Phase der Magensekretion unterschieden. Die zephal Phase ist zentralnervös induziert. Von verschiedenen Strukturen des ZNS gehen Nervenimpulse über den N. Vagus zum Magen. Ausgelöst werden diese Efferenzen durch die Erwartung, den Anblick und Geruch sowie den Geschmack des Essens. Die zephal Phase bewirkt ca. 45% der maximalen Sekretion. Die gastrale Phase wird durch die Dehnung des Magens infolge der Nahrungsaufnahme und chemisch durch Nahrungsbestandteile ausgelöst. Der Dehnungsstimulus wird reflektorisch, afferent und efferent über den N. Vagus vermittelt. Bei pH-Werten <3 im Antrum wird über eine negative Rückkopplung die HCL- und Pepsinogensekretion gehemmt. Die gastrale Phase bewirkt ca. 50% der maximalen Magensekretion. Die intestinale Phase der Magensekretion wird durch die Dünndarmdehnung sowie durch Eiweiße und Eiweißabbauprodukte im Dünndarm eingeleitet. In der intestinalen Phase werden auch sekretionshemmende Rückkopplungsmechanismen wichtig. Befindet sich saurer (pH < 4), stark fetthaltiger oder hyperosmolarer Chymus im Dünndarm, so kommt es zur Freisetzung von Sekretin, wodurch die Magenentleerung und die HCL-Sekretion gehemmt wird. Die intestinale Phase trägt nur zu 5% zur maximalen Sekretion bei. Nach einer Verweildauer von 1-5 Stunden erfolgt die portionsweise Entleerung des Speisebreis in das Duodenum.

Dünndarm

Der Dünndarm gliedert sich in drei Abschnitte: das Duodenum, das Jejunum und das Ileum. Im Dünndarm erfolgt eine Durchmischung des Chymus mit den Verdauungssekreten durch rhythmische Segmentationen, Pendelbewegungen und stempelartige Zottenkontraktionen. Gesteuert werden

diese Vorgänge durch die myogene Automatie und durch das enterische Nervensystem. Hauptaufgabe des Dünndarms ist die Resorption von Wasser, Elektrolyten, Nährstoffen, Vitaminen und Spurenelementen. Erleichtert wird die Stoffaufnahme durch eine relativ hohe Permeabilität des Dünndarmepithels. Am Ende des Dünndarms kontrolliert ein ca. 4cm langes Segment den Übertritt von Chymus in den Dickdarm.

Kolon

Im Kolon wird der Darminhalt durchmischt, eingedickt und gespeichert; 3-4 mal täglich auftretende propulsive Massenbewegungen verlagern den Darminhalt in Richtung Rektum. Anaerobe Bakterien des Dickdarms spalten unverdaute und unverdauliche Nahrungsstoffe und produzieren Vitamin K, Ammoniak, Methan, H₂ und kurzkettige Fettsäuren. Stuhldrang und Defäkation werden über die Aktivitäten des enterischen Nervensystems, vegetative und somatische Efferenzen gesteuert.

1.6 Zusammensetzung der Nahrung

Unsere Nahrungsmittel bestehen aus Nährstoffen, Vitaminen, Salzen, Spurenelementen, Geschmacks- und Ballaststoffen sowie Wasser. Nährstoffe im engeren Sinne sind Eiweiße, Fette und Kohlenhydrate. Zur Erhaltung des Organismus müssen Mindestmengen sowie ein bestimmtes Verhältnis dieser Nährstoffe eingehalten werden. So sollte der Anteil der Kohlenhydrate mindestens 50% der Gesamtenergiezufuhr ausmachen. Kohlenhydrate unterscheidet man nach der Anzahl der Zuckerbausteine, sie sind wichtige Energielieferanten für die Zellen. Das Gehirn deckt seinen Energiebedarf fast ausschließlich über Glukose, während die Skelettmuskulatur bei Kohlenhydratmangel auf Fettsäureverbrennung ausweichen kann. Die für den Menschen wichtigen Kohlenhydrate sind fast ausschließlich pflanzlicher Herkunft. Obst, Gemüse, Kartoffeln, Getreide und Hülsenfrüchte enthalten neben diesen verdaulichen auch für den Menschen unverdauliche Kohlenhydrate, sogenannte Ballaststoffe.

1.6.1 Ballaststoffe in der Ernährung

Ballaststoffe sind Bestandteile pflanzlicher Zellen, die von den

Verdauungssekreten des Menschen nicht in resorbierbare Bestandteile aufgespalten werden können. Sie werden auch als Pflanzenfasern oder nicht verwertbare Kohlenhydrate bezeichnet, im Englischen „dietary fibre“. Der Begriff umfasst eine Gruppe von Verbindungen, überwiegend handelt es sich um Gerüstsubstanzen der pflanzlichen Zellwand. Alle Ballaststoffe, mit Ausnahme des Lignins, sind chemisch gesehen Kohlenhydrate oder Kohlenhydratderivate. Es sind Polysaccharide, die sich in der Art der Bausteine und im Aufbau der Kettenstruktur unterscheiden. Je nach ihrem Aufbau sind Ballaststoffe in unterschiedlichem Umfang in der Lage, Wasser an- bzw. einzulagern. Sie werden daher auch in lösliche (Quellstoffe) und unlösliche (Faserstoffe) Ballaststoffe unterschieden. Lösliche Ballaststoffe erhöhen die Viskosität des Chymus und werden im Darm leicht fermentiert. Pektine zählen zu den löslichen Ballaststoffen und können ein Vielfaches ihres eigenen Gewichts an Wasser aufnehmen.

In heißem Wasser lösen sie sich kolloidal. Unlösliche Ballaststoffe haben keinen Einfluss auf die Viskosität und werden nur langsam und teilweise fermentiert, sie beschleunigen den Kolontransit. Zellulose und Hemizellulose sind wenig, Lignin ist nicht quellfähig. Diese Ballaststoffarten werden als unlösliche Ballaststoffe bezeichnet (de Groot-Böhlhoff, 1976).

Bezüglich Vorkommen und Bedeutung für den Menschen sind Zellulose,

Tabelle 3:

Auflistung von löslichen und unlöslichen Ballaststoffen.

lösliche Ballaststoffe	unlösliche Ballaststoffe
Aus pflanzlichen Zellwänden:	Aus pflanzlichen Zellwänden:
<i>Pektine</i>	<i>Zellulose</i>
Aus Samen des Johannisbrotbaumes:	<i>Hemizellulose</i>
<i>Carubin</i>	<i>Lignin</i>
Aus der Guarbohne:	
<i>Guar</i>	
Aus Algen:	
<i>Carrageen</i>	
<i>Furcelleran</i>	
<i>Agar-Agar</i>	
<i>Alginat</i>	

Hemizellulose, Pektin und Lignin die wichtigsten Ballaststoffe. Die Zusammensetzung der unterschiedlichen Arten zum Gesamtballaststoffgehalt einer Pflanzenart kann, abhängig von Pflanzenart, Sorte, Wachstumsbedingungen, Alter und Weiterverarbeitung stark variieren. In Getreide ist Hemizellulose die vorherrschende Ballaststoffart, wogegen Pektine nur in geringen Mengen vorkommen. In Obst und Gemüse ist der Hemizelluloseanteil geringer, während Zellulose und Pektine vorherrschen. In jungen, noch nicht verholzten Pflanzen ist der Gehalt an Lignin sehr gering, in ausgereiften harten Samen (Getreidekörner) steigt er an.

1.6.2 Wirkung der Ballaststoffe im Verdauungstrakt

Den Ballaststoffen werden im gesamten Verdauungstrakt eine Vielzahl von Wirkungen zugeschrieben:

Im **Magen** kommt es im Wesentlichen zu Energieverdünnung, Volumenvergrößerung und Erhöhung des Sättigungsgefühls. Des Weiteren kommt es zu einer verzögerten Magenentleerung als Folge erhöhter Viskosität des Chymus, hauptsächlich hervorgerufen durch lösliche Ballaststoffe (Eastwood & Brydon, 1985), sowie zu einer Beeinflussung der Ausschüttung von Enzymen und Gallensäure.

Im **Dünndarm** kommt es vorrangig zu einer beschleunigten Passage sowie ebenfalls zu einer gesteigerten Enzymausschüttung. Alle verwertbaren Inhaltsstoffe der Nahrung (Protein, Fett, Stärke, Zucker) werden im Magen und Dünndarm in kleine Bruchstücke gespalten und von der Dünndarmschleimhaut resorbiert. Da für den Abbau der Ballaststoffe im Dünndarm die Enzyme fehlen, gelangen sie fast unverändert in den Dickdarm. Die im **Dickdarm** angesiedelten anaeroben Darmbakterien verfügen über Enzyme, mit deren Hilfe sie Teile der Ballaststoffe in kurzkettige Fettsäuren und Gase abbauen (fermentieren). Die über das Rektum ausgeschiedene Gasmenge beträgt im Schnitt 600ml/Tag. Durch ballaststoffreiche Ernährung kann diese Menge sich auf das 10fache erhöhen. Überwiegend werden lösliche Ballaststoffe umgebaut, während unlösliche weniger stark fermentiert werden, insbesondere wenn sie in Verbindung mit Lignin vorkommen. Der Umfang des bakteriellen Abbaus hängt also mit der Art und der

Zusammensetzung der Ballaststoffkomponenten in einem Lebensmittel zusammen. Weitere Einflussfaktoren auf diesen Vorgang sind die Verweildauer des Speisebreis im Dickdarm, die Partikelgröße der Ballaststoffe sowie die Gewöhnung an ballaststoffreiche Kost (Scheppach & Kasper, 1985). Als Endprodukte des bakteriellen Abbaus entstehen vor allem Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure. Diese kurzkettigen Fettsäuren können aus dem Dickdarm resorbiert und energetisch genutzt werden. Bis zu 70% des Brennwertes der abgebauten Ballaststoffe sind für den Menschen verwertbar (Smith & Bryant, 1979). Ballaststoffe, die im Dickdarm nicht fermentiert werden, binden im Darmlumen Wasser, wodurch das Stuhlvolumen erhöht und die Darmmotilität verbessert wird. Die empfohlene tägliche

Ballaststoffzufuhr beträgt 35g/Tag (DGE-aktuell, 17/2001). Die tägliche Ballaststoffzufuhr in den Industriestaaten Europas und in Nordamerika ist relativ gering. Bingham ermittelte 1979 in England eine mittlere Ballaststoffzufuhr von 19,9g/Tag bei einem Range von 8 - 32g/Tag. Kasper fand 1980 in Bayern einen mittleren Ballaststoffverzehr von 22,0g/Tag.

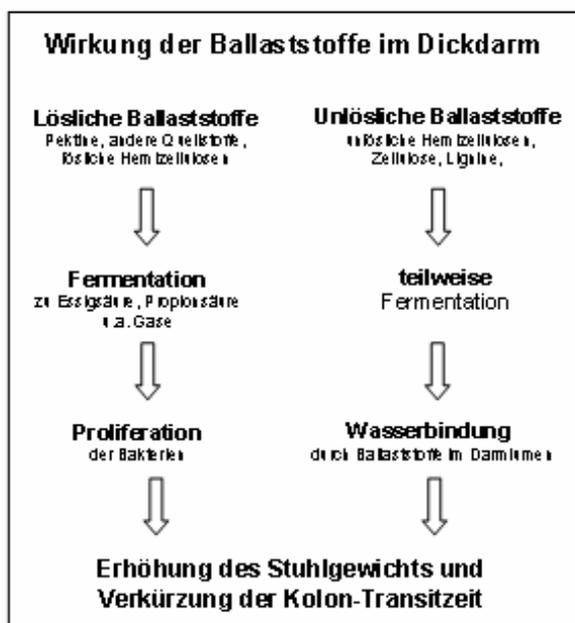


Abbildung 10: Wirkung der Ballaststoffe
Schematische Darstellung der Ballaststoffwirkungen im Dickdarm.

1.7 Physiologie der Magenfunktion

Der Magen kann funktionell in zwei Abschnitte unterteilt werden: Einem proximalen Abschnitt, der aus Kardia und proximalen Korpus (Fundus) besteht, sowie einem distalen Abschnitt, bestehend aus mittlerem und distalem Korpus, Antrum und Pylorus.

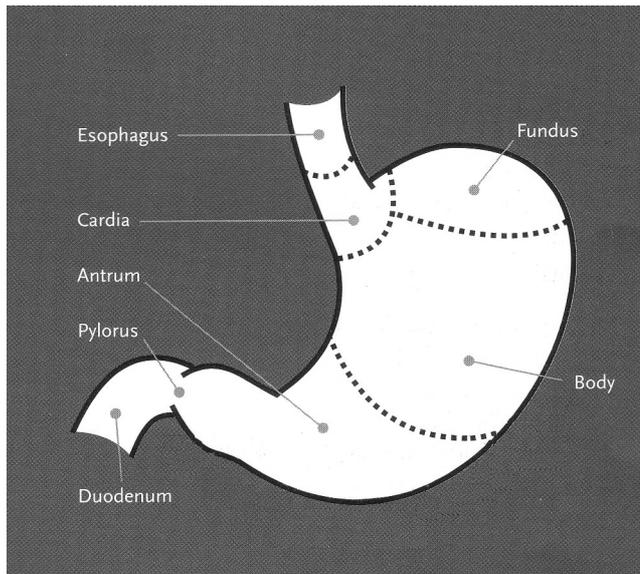


Abbildung 11: Magen

Schematische Darstellung des Magens und seiner funktionellen Abschnitte.

Der proximale Abschnitt erfüllt eine Reservoirfunktion und kann große Mengen Nahrung aufnehmen, ohne dass es zu einer intragastralen Druckänderung kommt. Gewährleistet wird dies durch eine an den Schluckakt gekoppelte Phase der Tonusverminderung, die durch eine längere Phase der adaptiven Relaxation gefolgt wird. Diese Relaxationsphase wird unmittelbar durch die gastrische Distention induziert. Dieser Mechanismus gestattet die Aufnahme eines Nahrungsvolumens von bis zu zwei Litern, wenn der intragastrische Druckanstieg 10 mmHg nicht übersteigt. Im Gegensatz zur tonischen Kontraktion des proximalen Magens herrschen im distalen Magen phasische Kontraktionen vor. Sie entstehen durch rhythmische spontane Depolarisation der glatten Muskelzellen. Im oberen bis mittleren Korpusdrittel, an der großen Kurvatur findet sich die höchste Depolarisationsfrequenz von 3 - 4 Entladungen pro Minute. Während der Nahrungsaufnahme wandern die peristaltischen Kontraktionen von hier nach distal und bewegen so die festen Nahrungsbestandteile in Richtung Pylorus. Nahrungspartikel, die kleiner als 1mm sind, können den Pylorus passieren. Alle größeren Partikel werden durch eine beinahe lumenverschießende Antrum-Pylorus-Kontraktion zurück in den Magen gepresst und dabei weiter zerkleinert.

In der Nüchternphase, der sogenannten interdigestiven Motilitätsphase werden feste Nahrungspartikel entleert, die größer als 1 bis 2 mm sind. Diese Phase wird durch eine zyklische elektromechanische Aktivität, den „migrating

motor complex" bestimmt und tritt etwa alle 100 bis 120 Minuten in der Nüchternphase auf. Sie kann in vier Phasen unterteilt werden. Phase 1 kann dabei als Ruhephase bezeichnet werden, Phase 2 weist eine geringe intermittierende Aktivität auf, beide zusammen dauern im Normalfall zwischen 30 und 70 Minuten. In der Phase 3 kommt es für etwa 5 bis 10 Minuten zu einer heftigen propulsiven Aktivität, die mit einer antropylorischen Relaxation verbunden ist, in der dann die größeren Nahrungspartikel aus dem Magen entleert werden. Die Phase 4 bildet den Übergang dieser maximalen Kontraktionsamplituden zur Ruhephase.

Bedeutung der Magentransitzeit

Die Magenentleerung von Flüssigkeiten verläuft grundsätzlich anders als die fester Nahrung, sie ist überwiegend als eine Funktion des Druckgradienten zwischen Magen und Duodenum anzusehen. So wird isotone Kochsalzlösung in einer für Flüssigkeiten typischen exponentiellen Funktion entleert. Dies ist jedoch nicht mehr der Fall, sobald die Flüssigkeit Kohlehydrate, Fette oder Proteine enthält. Diese veränderte Magenentleerung für Flüssigkeiten wird Chemorezeptoren zugeschrieben, die überwiegend im Duodenum und im Jejunum lokalisiert sind (McHugh & Moran, 1979).

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich, dass die Verweildauer des Speisebreis im Magen einen erheblichen Einfluss auf die Resorption der Nahrung hat. Die Verweildauer der festen und flüssigen Nahrung im Magen ist, wie oben beschrieben von der gastralen Motorik, aber auch von verschiedenen Parametern der Nahrung selbst abhängig. Die Magenentleerung wird z.B. von der Temperatur der Mahlzeit (Verhagen et al., 1998), der Nährstoffzusammensetzung, dem Kaloriengehalt, dem Volumen (Hunt et al., 1985), sowie der Dichte, Osmolarität und Viskosität des Mageninhalts (Rüssel & Bass, 1985) beeinflusst. Darüber hinaus interagieren andere Faktoren wie Blutzuckerspiegel, Elektrolythaushalt (Frazer et al., 1990) Körperposition (Horowitz et al., 1993) oder körperliche Aktivität (Marzio et al., 1991) mit den vorgenannten Parametern. Die Magenentleerungszeit zeigt eine große intra- und interindividuelle Variabilität. Es finden sich

geschlechts- und altersabhängige Unterschiede (Madsen, 1992; Hermansson et al., 1996) ebenso wie Auswirkungen des Body Mass Index (BMI) oder der bevorzugten Nahrung (Gear et al., 1981). Die Magentransitzeit wird auch zu diagnostischen Zwecken genutzt. So ist die Verweilzeit fester Nahrung im Magen eine Größe, die bei der Optimierung der Diabetes mellitus-Therapie eine wesentliche Rolle spielt. Aber auch andere Symptome, z.B. dyspeptische Beschwerden wie Völlegefühl, Blähungen oder Sodbrennen können durch eine pathologische Magenentleerungszeit verursacht werden (Frieling et al., 1992; Maes et al., 1997).

1.7.1 Messung der Magentransitzeit mittels Atemgasanalyse

Goldstandard der Magenentleerungsmessung für diagnostische Zwecke ist die Funktionsszintigraphie mit radioaktiv markierten Testmahlzeiten. Diese Methode erfordert jedoch einen sehr hohen apparativen und finanziellen Aufwand und hat zusätzlich den Nachteil der Strahlenbelastung für den Betroffenen (Urbain & Charkes, 1995). Für klinische Fragestellungen haben sich daher sehr bald nach ihrer Entwicklung nicht-invasive und strahlungsfreie Atemtests durchgesetzt. Für die Fragestellungen der gastroenterologischen Funktionsdiagnostik stehen heute eine Vielzahl von Atemtests zur Verfügung. Ihre Spezifität erhalten diese Tests durch die Auswahl des verabreichten Substrats und der Testbedingungen. Messungen der Magenentleerungszeit mit festen Testmahlzeiten werden mit dem ¹³C-Oktanoid-Atemtest durchgeführt (Ghoos et al., 1993; Rating & Langhans, 1997). Grundsätzliche Voraussetzung ist, dass die Oxidation des verabreichten Substrats Aussagen über eine geschwindigkeitsbestimmende Komponente liefert, die mit der zeitabhängigen Messung in der Atemluft erfasst werden soll.

1.7.2 Messprinzip von Atemtests

Allen Atemtests liegt ein gemeinsames Prinzip zugrunde: Das Verhältnis der Isotope in einer bestimmten chemischen Verbindung ist eine charakteristische Größe für die Entstehung und Herkunft dieser Substanz. Bei biologischen Prozessen wie Stoffwechselfvorgängen kann diese Eigenschaft dazu genutzt werden, die Kinetik und den Ablauf der Prozesse näher zu bestimmen. Hierzu

wird das Isotopenverhältnis auf der Eingangsseite durch Einnahme eines isotopenangereicherten Präparats verändert. Diese Veränderung pflanzt sich über die Zwischenprodukte bis zum Endprodukt fort und kann durch Messung des Isotopenverhältnisses (hier in der Exhalationsluft) verfolgt werden. Aus der Höhe und dem zeitlichen Verlauf können kinetische Parameter bestimmt werden. Bei biologischen Systemen bietet sich wegen seiner zentralen Rolle das Kohlenstoffisotopenverhältnis für solche Bestimmungen an. Der menschliche Organismus enthält in seinem Kohlenstoffanteil bereits 1,01% ^{13}C . Eine verabreichte Tracerdosis ^{13}C führt zu einer Änderung dieser natürlichen Ausgangsgröße, die dann auch messtechnisch erfasst werden kann (Haisch et al., 1996). Bei verschiedenen Atemtests werden den Patienten Substrate verabreicht, bei denen das Isotop ^{13}C auf 99% angereichert wurde.

1.7.3 Der ^{13}C -Oktansäure Atemtest zur Magenentleerungsmessung

Die Methode der indirekten Magenentleerungsmessung mittels ^{13}C -Oktansäureatemtest wurde in seiner heute angewandten Form 1993 von Ghooos und Mitarbeitern entwickelt. Mit dieser Methode kann die Messung der Magenentleerung einer festen Testmahlzeit nicht invasiv, strahlungsfrei und einfach durchgeführt werden. ^{13}C -Oktansäure ist eine mittelkettige Fettsäure und enthält ein stabiles Kohlenstoffisotop. Die ^{13}C -Oktansäure wird nach der Magenpassage von den Epithelzellen des Dünndarms rasch absorbiert. In der Leber wird die Substanz überwiegend zu $^{13}\text{C}\text{CO}_2$ metabolisiert, das in der Atemluft nachweisbar ist. Die Freisetzung der mit ^{13}C -Oktansäure markierten Substanz aus dem Magen stellt die geschwindigkeitsbestimmende Größe für die Anreicherung von $^{13}\text{C}\text{CO}_2$ in der Atemluft dar, da die Metabolisierungsphase in der Leber vernachlässigt werden kann. Der zeitliche Verlauf des $^{13}\text{C}\text{CO}_2$ Anstiegs in der Exhalationsluft kann daher als Maß für die Magenentleerung herangezogen werden (Pfaffenbach et al., 1995; Ghooos et al., 1999).

1.7.4 Massenspektroskopie und Infrarot-Spektroskopie

Die Messung des Isotopenverhältnisses wurde anfangs durch die apparativ sehr aufwendige Massenspektroskopie (IRMS) vorgenommen. Ein grundsätzlich anderes Messprinzip liegt der Infrarotspektroskopie zugrunde, ein mittlerweile etabliertes Messverfahren zur quantitativen Bestimmung der Konzentration von Gasen in Luft oder in anderen Gasen (Lembcke, 1997). Dabei wird die Absorption des Lichts einer schmalbandigen Lichtquelle in einer Gasmischung bei jeder Wellenlänge mit einem dispersiven Element (Gitter, Prisma) gemessen (sogen. konventionelle IR-Spektroskopie). Bei der nicht-dispersiven Infrarotspektroskopie (NDIR) werden eine breitbandige Lichtquelle und ein akustooptischer Detektor benutzt, der nur auf die Wellenlängen anspricht, bei denen das zu messende Gas absorbiert. Die Konzentration des zu messenden Gases wird aus dem Unterschied der Absorption des eingestrahlenen Lichts in einer Referenzgaszelle und der Messgaszelle bestimmt. Die nicht-dispersive IR-Spektroskopie zur Konzentrationsbestimmung von $^{13}\text{C}\text{O}_2$ und $^{12}\text{C}\text{O}_2$ beruht darauf, dass die Absorptionsspektren der asymmetrischen Streckenschwingungs-Moden beider Moleküle fast vollständig getrennt sind und deshalb Interferenzen, die die Konzentrationsbestimmung beeinträchtigen könnten, von vornherein sehr klein sind. Beim Vergleich von IRMS und NDIRS ergab sich eine hohe Korrelation der Ergebnisse (Schadewaldt et al., 1997). Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Atemgasuntersuchungen wurden mit dem Infrarot Isotopen Analysator IRIS (NDIRS) der Fa. Wagner Analysen Technik GmbH durchgeführt (siehe Anhang A2).

1.7.5 „Lag-Phase“ und Magenentleerungshalbwertszeit

Das typische Entleerungsmuster für Flüssigkeiten mit geringem Kaloriengehalt entspricht einer Exponentialfunktion, während die Entleerung von fester Nahrung einer linearen Funktion entspricht, mit einer initialen Verzögerung, der sogenannten „Lag-Phase“ (Minami & McCallum, 1984; Moore et al, 1981). Zur Charakterisierung der Magenentleerungsgeschwindigkeit wird in der Regel der Zeitpunkt angegeben, zu dem die Hälfte der markierten Nahrung

den Magen verlassen hat ($T_{1/2}$). Bei allen Magenentleerungsmessungen muss eine inter- und intraindividuelle Varianz der Messdaten und eine Beeinflussung der Daten durch Ernährungsweise (Vegetarier), Rauchen, Körpergewicht, Alter, sowie durch circadiane Rhythmen und Geschlecht berücksichtigt werden (Gill et al., 1987; Goo et al., 1987; Wegener et al., 1988; Wright et al., 1983).

1.7.6 Pathologische Magenentleerungszeiten

Pathologische Magenentleerungszeiten resultieren aus primären Störungen des Gastrointestinaltrakts, seiner nervalen und humoralen Versorgung sowie generalisierten Störungen der glatten Muskulatur (Camilleri et al., 1984). Eine Beschleunigung der Magenentleerung findet sich z.B. beim Ulcus duodeni, beim Zollinger-Ellison-Syndrom, sowie nach gastraler und trunkulärer Vagotomie (Kelly, 1984). Häufigste Ursache für eine verzögerte Magenentleerung ist die diabetische Gastroparese, des Weiteren können Kollagenosen, Dystrophia myotonica, Sklerodermie oder Polymyositis verursachend sein. Anorexia nervosa und Dyspepsie gehen ebenfalls häufig mit einer verzögerten Magenentleerung einher (McCallum & Lange, 1986; Ricci & McCallum, 1983).

1.8 Gastrointestinale Symptome und Lebensqualität

1.8.1 Gastrointestinale Beschwerden und gastrointestinale Funktion

In der Untersuchung von Enck et al. (1995) klagten Flugbegleiter besonders häufig über Beschwerden des oberen Gastrointestinaltrakts wie z.B. Blähungen und Völlegefühl. Diese Beschwerden gehören zum Symptomkomplex der Dyspepsie. Typische Symptome sind epigastrische Schmerzen, Blähungen, Aufstoßen, postprandiales Völlegefühl, Übelkeit, Sodbrennen, und Erbrechen. Etwa 5% der Patienten einer hausärztlichen Praxis beschreiben diese Symptome (McQuaid, 1998). Etwa 25% der Bevölkerung leiden irgendwann im Laufe ihres Lebens unter derartigen Beschwerden. Alle Altersgruppen sind betroffen, Frauen häufiger als Männer (Riecken, 2002). Nur bei etwa der Hälfte der Patienten findet sich im Rahmen der Diagnostik ein organisches Korrelat für die Beschwerden, die andere

Hälfte weist keine strukturellen Veränderungen im Bereich des Gastrointestinaltrakts auf. In diesen Fällen spricht man von einer funktionellen Dyspepsie (Malfertheiner, 2001), da Untersuchungen an dieser Patientengruppe immer wieder Anlass dazu gegeben haben, funktionelle Abweichungen als Ursache für die Beschwerden zu deklarieren. So wurden die Symptome Völlegefühl nach der Nahrungsaufnahme und Erbrechen mit einer verzögerten Magenentleerung für feste Nahrung in Zusammenhang gebracht, die sich auch tatsächlich in bis zu 40% der Patienten finden lässt. In einer 1998 von Quartero et al. durchgeführten Metaanalyse kommen die Autoren zu dem Schluss, dass Patienten mit Dyspepsie durchschnittlich eine 1,5fach verzögerte Magenentleerungszeit im Vergleich zu Personen ohne Beschwerden haben. Andere Untersucher weisen jedoch darauf hin, dass eine verzögerte Magenentleerung allein nicht Ursache für die geschilderten Beschwerden sein kann (Talley et al., 2001). Des Weiteren wurde mit verschiedenen Untersuchungstechniken (Szintigraphie und Ultraschall) bei 30-40% der Patienten mit dyspeptischen Beschwerden eine von der Norm abweichende intragastrale Verteilung der Nahrung festgestellt (Troncon et al., 1994; Gilja et al., 1996). Es fand sich einheitlich ein beschleunigter Transport der Nahrung vom proximalen zum distalen Magenabschnitt. Ein Großteil der Studien hat entweder nur den proximalen oder nur den distalen Magenabschnitt untersucht, was zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen bzgl. der Ursachen für diese veränderte Verteilung führte. Beide Magenabschnitte können anatomisch klar von einander unterschieden werden, dies kann aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass sie funktionell eine Einheit bilden. Diese Überlegungen leiteten eine 2003 von Caldarella et al. durchgeführte Studie. Die Autoren fanden eine höhere Sensitivität für Distention sowohl des proximalen als auch des distalen Magenabschnitts und einen Zusammenhang zwischen antraler Distention und einer verminderten Reflex-Relaxation des Fundus bei Patienten mit Dyspepsie im Vergleich zu Gesunden. Die Autoren schlossen daraus, dass eine gestörte Anpassungsfähigkeit des proximalen Magens zu einem beschleunigten Transfer des Chymus in ein hypersensitives Antrum führt und dadurch die Beschwerden ausgelöst werden. Ein dritter funktioneller Komplex der bei

Dyspepsiepatienten häufig als verändert beschrieben wird, ist die Wahrnehmung visceraler Stimuli. Ein Großteil der Studien richtete sich auf die Untersuchung mechanischer Stimuli, aber auch die Sensitivität gegenüber bestimmter Nährstoffe wurde untersucht (Barbera et al., 1995). Diese Untersuchungen ergaben, dass 60-70% der Patienten mit Dyspepsie hypersensitiv auf den Fettgehalt einer Mahlzeit reagieren, während eine glucosereiche Mahlzeit keine verstärkten Symptome hervorruft (Feinle et al., 2001). Die Chemorezeptoren für Nährstoffe, Säure und Osmolarität finden sich in der Schleimhaut des Dünndarms, vermittelt über vagale Afferenzen wird von hier aus die gastrale Motilität inhibiert. Dysfunktionen in der neuronalen Verarbeitung wurden verschiedentlich als mitverursachende Faktoren für dyspeptische Beschwerden identifiziert (Smart & Atkinson, 1987; Holtmann et al., 1998). So fand sich in einigen Patienten mit Dyspepsie eine reduzierte Freisetzung von Pankreaspolyeptiden nach einer Schein-Mahlzeit, was als Hinweis auf eine gestörte efferente Vagusfunktion interpretiert wurde (Greydanus et al., 1991). Nach Wood (1999) transportieren die efferenten parasympathischen Fasern Signale für die Aktivierung von in der Darmwand gelegenen, ausgedehnten integrierten Schaltkreisen des ENS. Hierdurch erklärt sich der starke Einfluss einer geringen Anzahl efferenter vagaler Fasern (ca. 10-15% der vagalen Fasern sind efferent) auf die Motilität und andere Effektorsysteme in ausgedehnten Regionen von Magen und Dünndarm.

1.8.2 Gastrointestinale Beschwerden und Lebensqualität

Beim Flugpersonal fand sich eine signifikante negative Korrelation zwischen Symptomwert und allgemeiner Zufriedenheit mit der Gesundheit und der persönlichen Situation. Dieselbe Beziehung fanden Wilhelmsen et al. (1995) bei einem Vergleich zwischen Patienten mit Dyspepsie und Duodenalulkus. Patienten mit Dyspepsie wiesen geringere Werte im Lebensqualitätsindex auf, beklagten einen signifikant größeren Einfluss ihrer Symptome auf ihre Arbeit, ihr soziales Leben und psychologisches Wohlbefinden.

Bereits seit Jahren gibt es Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen gastrointestinalen Erkrankungen und Lebensqualität. Bei Untersuchungen zur Lebensqualität kamen Talley et al. (1986) zu dem Schluss, dass

psychologische Faktoren wie Neurotizismus, Angst und Depression häufiger bei Patienten mit Dyspepsie vorhanden sind als bei Kontrollpersonen ohne Dyspepsie, während Persönlichkeitsstörungen nicht häufiger nachgewiesen wurden. Andere Untersucher postulierten einen Zusammenhang zwischen „stressful life events“ und Dyspepsie (Haug et al., 1995). Talley und Mitarbeiter (1998) fanden in einer gemeindebasierten Befragung, dass Personen mit dyspeptischen Beschwerden generell höhere Stressbelastungen haben, unabhängig davon, ob sie wegen ihrer gastrointestinalen Symptome einen Arzt aufsuchen oder nicht. Es ist denkbar, dass Stress, vermittelt durch das autonome Nervensystem, gastrointestinale Motilitätsstörungen und dyspeptische Beschwerden verursacht (Haug et al., 1994), zumal sich bei 40% aller Patienten eine verzögerte Magenentleerung findet (Quartero et al., 1998). Eine Untersuchung in Schweden fand bei Patienten mit Dyspepsie im Vergleich mit Gesunden eine geringer ausgeprägte Überzeugung, auf ihre Situation am Arbeitsplatz Einfluss nehmen zu können (Westenberg & Thoerell, 1997).

1.9 Fragestellung der vorliegenden Arbeit

Die von Enck und Mitarbeitern (1995) durchgeführte Befragung konnte eine stärkere Belastung des fliegenden Personals auf der Langstrecke mit gastrointestinalen Beschwerden vom dyspeptischen Typ nachweisen. Mit stärker ausgeprägten gastrointestinalen Beschwerden stieg die Anzahl der Arztbesuche und Krankheitstage und sank die Befindlichkeit sowie die Zufriedenheit mit Beruf und Privatleben. Beim fliegenden Personal fand sich ein höheres Gesundheitsbewusstsein (weniger Raucher, geringerer Alkoholkonsum) als beim Bodenpersonal sowie ein bewussteres Ernährungsverhalten bezüglich regelmäßiger Mahlzeiten und vermehrter Aufnahme an Ballaststoffen.

Durch die zurückliegenden Untersuchungen konnten bisher keine kausalen Faktoren für die erhöhten gastrointestinalen Beschwerden beim Flugpersonal nachgewiesen werden. Die vorliegenden Ergebnisse lenken jedoch das Interesse auf drei mögliche Hypothesen:

1. Die Beschwerden könnten durch die verstärkte Aufnahme von Ballaststoffen ernährungsbedingt sein.
2. Die Beschwerden könnten durch den Kabinendruck hervorgerufen werden.
3. Die Beschwerden könnten durch die höhere Stressbelastung auf Grund von Nachtschicht und Jet Lag verursacht werden.

In der vorliegenden Arbeit sollte der Zusammenhang zwischen Ballaststoffgehalt der Nahrung, gastrointestinalen Symptomen, allgemeiner Befindlichkeit und Umgebungsdruck untersucht werden. Für die Untersuchung dieser Fragestellung wurden drei Experimente geplant und durchgeführt:

Experiment I

Stündliche Erhebung der Variablen: Nahrungsaufnahme, Blähbeschwerden und Stuhlgang, bei 45 Flugbegleiterinnen vor, während und nach einem Umlauf auf der Route Frankfurt - San Francisco.

Experiment II

In einer experimentellen Untersuchung an 30 gesunden Probanden sollte geklärt werden, ob verstärkte Blähbeschwerden und andere gastrointestinale Beschwerden und Funktionsstörungen bereits durch die Nahrungszusammensetzung, insbesondere durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt hervorgerufen werden.

Experiment III

In diesem Experiment sollte mit Hilfe einer Unterdruckkammer untersucht werden, welchen Effekt der auf Langstreckenflügen herrschende Kabinendruck nach dem Verzehr von Mahlzeiten mit unterschiedlichem Ballaststoffgehalt auf die Magenentleerung, gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit sowie auf Herzrate und Blutdruck hat.

2 Experiment I: Flugbegleiterbefragung

Basierend auf den bereits diskutierten Veröffentlichungen sollten aktuelle Daten zum Ernährungs- und Stuhlverhalten des Flugpersonals auf Langstreckenflügen erhoben werden. Hierzu wurden die Ereignisse: Nahrungsaufnahme, Blähbeschwerden und Stuhlgang vor, während und nach einem Umlauf stündlich erfasst.

2.1 Methoden Flugbegleiterbefragung

2.1.1 Versuchspersonen

45 Flugbegleiterinnen im Alter von 24 bis 38 Jahren (Mittelwert: 31,26; SD = 4,0 Jahre) wurden auf der Route Frankfurt - San Francisco - Frankfurt (9 Zeitzonen) befragt. 9 Versuchsteilnehmerinnen arbeiteten in der First Class, 18 in der Business Class und 18 in der Economy Class. Diese Verteilung entspricht in etwa der Gesamtverteilung bei der Luftverkehrsgesellschaft. Die Durchführung der Erhebung war so geplant, dass Beeinträchtigungen der dienstlichen und privaten Aktivitäten so gering wie möglich gehalten wurden.

2.1.2 Versuchsplan

Es handelt sich um eine Felduntersuchung mit stündlicher Befragung der Teilnehmer über insgesamt 186 Stunden (Näheres siehe unter Versuchsdurchführung).

2.1.3 Abhängige Variablen

Es wurden die Variablen Nahrungsaufnahme, Blähbeschwerden und Stuhlgang erfasst. Die Items wurden mittels DIN A5 Karten während der Wachperioden stündlich beantwortet. Erfragt wurde das Vorhandensein / Auftreten der drei Variablen in den vergangenen 60 Minuten (ja/nein).

2.1.4 Versuchsdurchführung

Auf der Nordatlantikstrecke findet der Hinflug tagsüber und der Rückflug während der Nacht (Mitteleuropäische Zeit/Mitteleuropäische Sommerzeit) statt. Der Hinflug dauerte im Mittel 11:07 Stunden, der Rückflug im Mittel 10:17 Stunden. Die Erhebungen wurden auf insgesamt 13 Umläufen im Zeitraum Juni 1997 bis Juni 1998 durchgeführt (Anhang A3).

Die zeitliche Dauer der Einzeluntersuchungen umfasste einen Tag, 24 Stunden vor einem Umlauf, den Umlauf selbst und einen Tag direkt nach dem Umlauf. Zum Umlauf gehören der Hinflug, die Zeit zwischen den Flügen (das Layover) und der Rückflug.

Tabelle 4:

Schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Befragung.

Prä - Flug			F R A - S F O - F R A			Post - Flug		
-3	-2	-1	H influg	Layover	Rückflug	1	2	3
Ab 20.00' stündlich			stündlich	stündlich	stündlich	Stündlich		

2.1.5 Verarbeitung und statistische Auswertung der Daten

Als statistisches Auswertungsprogramm wurde für alle Analysen der vorliegenden Arbeit SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Version 11.0 verwendet. Bei statistischen Prüfungen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% für die zweiseitige Fragestellung zugrundegelegt.

Die Auswertung der binären Daten erfolgte mittels einer Häufigkeitsanalyse für die Klassifizierungen Flug / kein Flug. Vorverarbeitung der Daten: Über die gesamte Beobachtungszeit ergibt sich für jede Person und jede Variable eine binäre Datenreihe.

Vp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Tag	Uhrzeit:																						
1	19:00																						
1	20:00					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	21:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	22:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	23:00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	00:00	1			0	0	0					0	0	0	0	0				0			0
2	01:00													0									0
2	02:00																						
2	03:00																						
2	04:00																						
2	05:00																						
2	06:00									0													
2	07:00							0				0							0				
2	08:00							0	0			0					0					0	
2	09:00				0	0				0					0	0	0	0	0	0		0	0
2	10:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11:00	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	12:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	14:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	17:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	18:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	19:00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	21:00	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	22:00	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	23:00	1		0	0	0	0	0	1		0	0	1	0		0			0		0	0	0
3	00:00		0	0	0	0	0	0	1				1	0				1			0		0
3	01:00													0									

Abbildung 12: Exemplarische Darstellung der erhobenen binären Daten für die Flugbegleiter 1 bis 22 und die Variable Blähungen (1 = ja, 0 = nein) vom Beginn der Aufzeichnungen bis zum Ende der ersten Wachperiode.

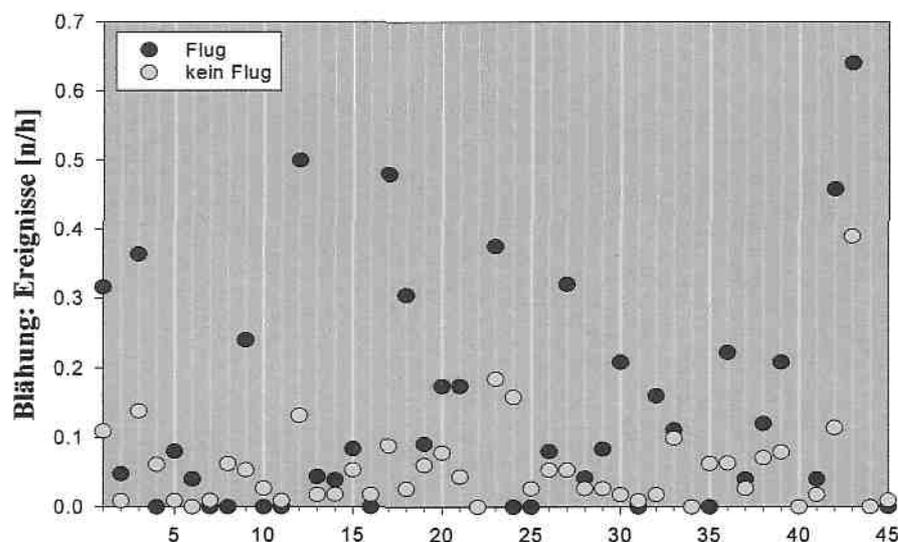
Für jede Person wurde für jede Variable die mittlere Auftretenshäufigkeit pro Stunde getrennt für Flugzeiten und Nicht-Flugzeiten ermittelt. Hierbei wurden nur die Stunden der Wachperioden im Gesamterhebungszeitraum berücksichtigt. Die so erhaltenen Daten wurden mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ausgewertet.

2.2 Ergebnisse Flugbegleiterbefragung

Die Ergebnisse für die 45 Flugbegleiterinnen werden im Folgenden zunächst getrennt für jede Variable und dann als Gesamtergebnis für die Stichprobe dargestellt.

2.2.1 Variable Blähbeschwerden

Dargestellt ist die Häufigkeit des Ereignisses pro Stunde für jede Versuchsperson. Bei 31 von 45 Versuchspersonen sind Blähbeschwerden während des Fluges häufiger als während der Zeit kein Flug.



Person Abbildung 13: Grafische Darstellung der Häufigkeit pro Stunde für jede Versuchsperson für die Variable Blähbeschwerden.

Tabelle 5:

Ergebnisse zur Variable Blähungen.

	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Wilcoxon
Kein Flug	.0564	.0676	.00	.39	p = < .001
Flug	.1349	.1652	.00	.64	

Für die Variable Blähbeschwerden ergibt sich für den Zeitraum Flug gemittelt über alle 45 Flugbegleiter eine Auftretenshäufigkeit von 0,1349 pro Stunde, während die Häufigkeit für den Zeitraum kein Flug nur 0,0564 Ereignisse pro Stunde beträgt. Dieser Unterschied ist statistisch hochsignifikant ($p < 0.001$).

2.2.2 Variable Stuhlgang

Dargestellt ist die Häufigkeit des Ereignisses pro Stunde für jede Versuchsperson. 30 der 45 Flugbegleiterinnen hatten während Hin- und Rückflug keinen Stuhlgang. In der verbleibenden Gruppe von 15 Personen, die auch während der Flüge Stuhlgang hatten, war die Häufigkeit pro Stunde für 8 Teilnehmer in diesem Zeitraum höher als in der Nicht-Flug Zeit.

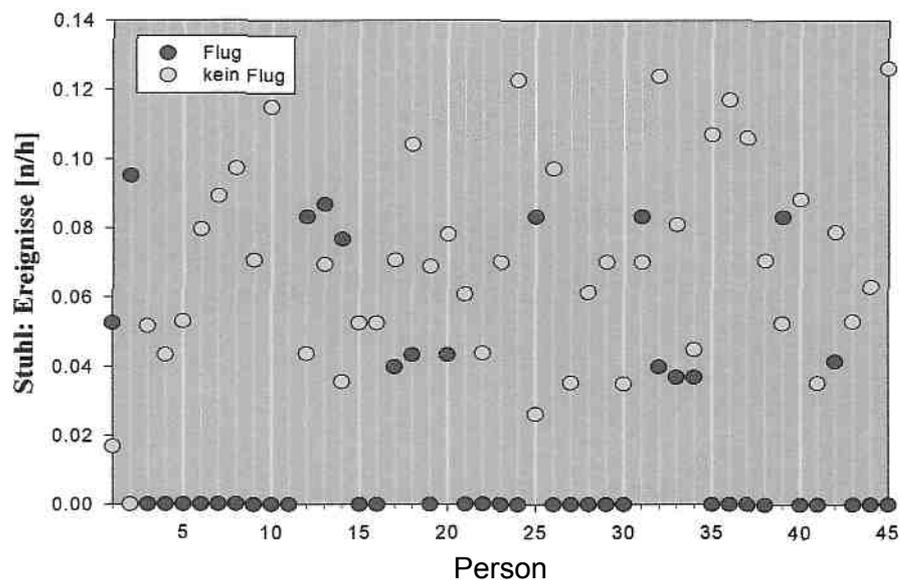


Abbildung 15: Grafische Darstellung für die Variable Stuhlgang. Dargestellt ist die Häufigkeit pro Stunde für jede Versuchsperson.

Tabelle 6:

Ergebnisse zur Variable Stuhlgang.

	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Wilcoxon
Kein Flug	.0717	.0340	.00	.18	p = < .001
Flug	.0204	.0319	.00	.10	

Für die Variable Stuhlgang ergibt sich für Hin- und Rückflug gemittelt über alle 45 Flugbegleiter eine Auftretenshäufigkeit von 0,02044 pro Stunde, während die Häufigkeit für den Zeitraum kein Flug 0,0717 Ereignisse pro Stunde beträgt. Dieser Unterschied ist statistisch hochsignifikant ($p < 0.001$).

2.2.3 Variable Essen

Dargestellt ist die Häufigkeit des Ereignisses pro Stunde. Neununddreißig der 45 Flugbegleiterinnen essen im Durchschnitt während des Fluges häufiger als während der Nicht-Flug Zeiten. Für sechs der Teilnehmerinnen trifft dies nicht zu, sie zeigen für beide Zeiträume sehr ähnliche Häufigkeiten für die Variable Essen.

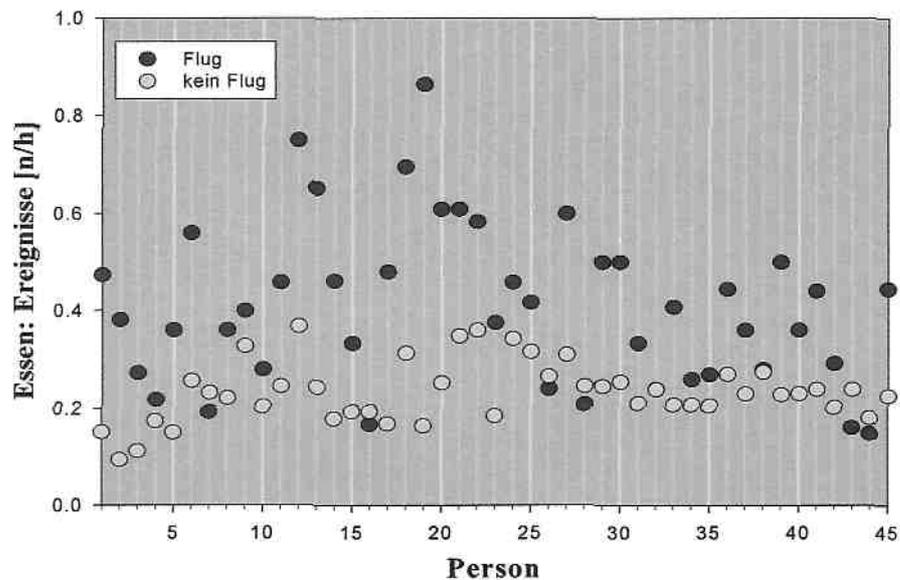


Abbildung 15: Grafische Darstellung für die Variable Essen. Dargestellt ist die Häufigkeit pro Stunde für jede Versuchsperson.

Tabelle 7:

Ergebnisse zur Variable Essen.

	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Wilcoxon
Kein Flug	.2333	.062	.09	.37	p=<.001
Flug	.4087	.163	.15	.86	

Für die Variable Essen ergibt sich für den Zeitraum Flug gemittelt über alle 45 Flugbegleiterinnen eine Auftretenshäufigkeit von 0,4087 pro Stunde, während die Häufigkeit für den Zeitraum kein Flug nur 0,2333 Ereignisse pro Stunde beträgt. Dieser Unterschied ist statistisch hochsignifikant ($p < 0.001$).

2.2.4 Grafische Darstellung zum Gesamtergebnis

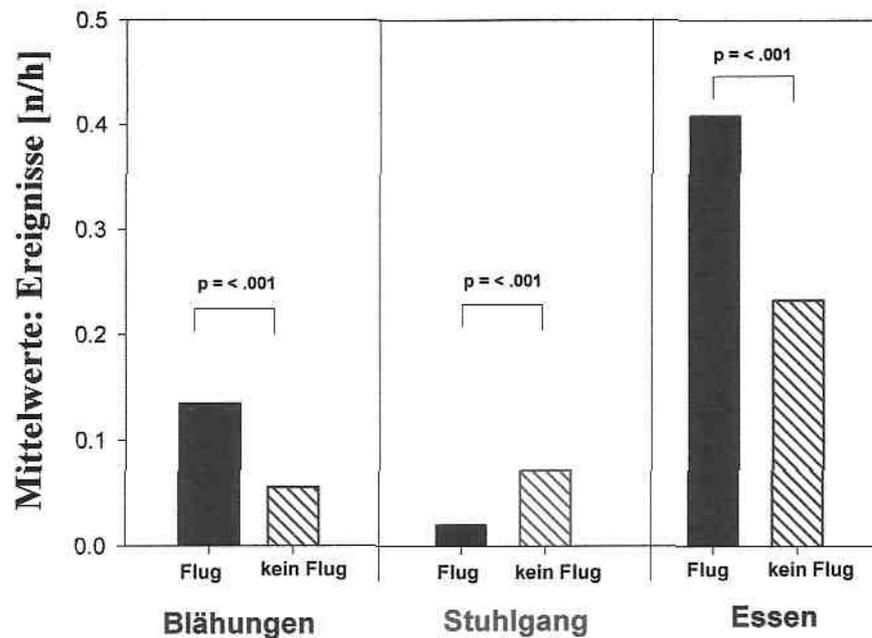


Abbildung 16: Grafische Darstellung der Ergebnisse (Ereignisse pro Stunde) für alle drei Variablen. Die Balken repräsentieren die Gruppenmittelwerte getrennt nach Flug und kein Flug.

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichungen (Ereignisse pro Stunde) für die Gesamtstichprobe.

	Blähungen		Stuhlgang		Essen	
	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Kein Flug	0,06	0,07	0,07	0,03	0,23	0,06
Flug	0,13	0,17	0,02	0,03	0,41	0,16

Der Unterschied zwischen Flug und kein Flug ist für alle drei Variablen signifikant ($p < 0,001$). Während die Variablen Nahrungsaufnahme und Blähbeschwerden für den Zeitraum Flug höhere Werte als für den Zeitraum kein Flug erreichen, ist dies bei der Variable Stuhlgang umgekehrt, hier ergeben sich niedrigere Werte für den Flug (Wilcoxon-Test siehe Anhang A4).

2.2.5 Summarische Ergebnisdarstellung Experiment I

Um Informationen über die Ernährungs- und Verdauungsgewohnheiten der Flugbegleiterinnen zu erhalten, wurde pro Stunde jede der Variablen Blähbeschwerden, Stuhlgang und Essen abgefragt. Über die gesamte Beobachtungsdauer von 186 Stunden ergibt sich so für jede Person eine binäre Datenreihe. Um die Häufigkeit des Auftretens der Variablen vergleichen zu können, wurde für jede Person und jede Variable für den Zeitraum Flug und kein Flug die durchschnittliche Häufigkeit pro Stunde errechnet. Die Gruppenwerte für die Zeiträume Flug und kein Flug wurden mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verglichen. Der Unterschied zwischen Flug und kein Flug erwies sich für jede der drei Variablen als signifikant. Die grafische Darstellung Abb. 16 veranschaulicht dieses Ergebnis.

Blähbeschwerden

Vier der untersuchten Flugbegleiterinnen (9%) waren während der gesamten Erhebungszeit beschwerdefrei. Weitere zehn Personen (22%) gaben keine Blähbeschwerden für Hin- und Rückflug an, hatten aber Beschwerden während der Zeit kein Flug. Eine Versuchsperson (2%) zeigte mit insgesamt 60 ermittelten Ereignissen ein durchgehendes Beschwerdebild für den gesamten Erhebungszeitraum. Für die übrigen 30 Probandinnen (67%) ergab sich gegenüber den anderen Versuchsphasen ein gehäuftes Auftreten von Blähbeschwerden während des Hin- und Rückflugs.

Stuhlgang

Im Vergleich mit den Nicht-Flug-Zeiten änderte sich für die Zeiten des Hin- und Rückfluges die Auftretenshäufigkeit für die Variable Stuhlgang sehr deutlich. Mit $n=30$ verneinte die Mehrzahl der Flugbegleiterinnen (67%) die Frage nach Stuhlgang komplett, sowohl für den Hinflug als auch für den Rückflug. Für 8 Teilnehmerinnen (18%) ergab sich für die Zeit von Hin- und Rückflug eine erhöhte Stuhlgangsfrequenz (0,05 - 0,09 Ereignisse / Std.) im Vergleich zur Zeit kein Flug. Umgerechnet zeigte sich für diese Personen eine Stuhlgangsfrequenz für die Flugzeiten von 1,2 - 2,1 pro Tag.

Essen

Auch für die Variable Essen ergab sich im Mittel eine gegenüber den übrigen Versuchsphasen veränderte Häufigkeit während des Hin- und Rückfluges. Während des Fluges wurde im Schnitt doppelt so häufig gegessen wie in der Zeit kein Flug. 39 der 45 Teilnehmerinnen (87%) aßen häufiger während der Flugzeiten. Versuchsperson Nr. 19 wies hier den stärksten Unterschied auf, sie aß während des Fluges mehr als 5-mal so häufig wie zu den übrigen Zeiten (0,864 vs. 0,164 n/h). Nur bei sechs Teilnehmerinnen (13%) zeigte sich ein umgekehrtes Verhältnis, sie nahmen während der Flugzeiten seltener Nahrung zu sich. Bei diesen 6 Personen unterscheidet sich die Häufigkeit der Nahrungsaufnahme zwischen Flug und kein Flug fast nicht, zudem liegen die Häufigkeiten im unteren Bereich der Stichprobe.

2.3 Diskussion Flugbegleiterbefragung

Insgesamt ergab sich für die drei erfragten Ernährungs- und Verdauungsvariablen eine erhebliche Beeinflussung durch den Hin- bzw. Rückflug. Während der Flüge nahm die Häufigkeit der Nahrungsaufnahme zu, dagegen wurde offensichtlich das Aufsuchen der Toilette von vielen Flugbegleiterinnen während der Flugzeiten vermieden. Das Symptom Blähungen trat während der Flugzeiten ebenfalls gehäuft auf. Die Verhaltensweise während des Fluges häufiger Nahrung aufzunehmen und gleichzeitig die Stuhlentleerung zu unterdrücken, könnte eine Ursache für die während des Fluges verstärkt auftretenden Blähungen sein. 1984 wurde von Youle und Read nachgewiesen, dass rektale Distention die Magenentleerung verlangsamt und die Ankunft einer Testmahlzeit im Zäkum hinauszögert. Die freiwillige Unterdrückung einer Defäkation bis zu einer Woche führte bei gesunden Probanden zu einer Verlängerung der Kolontransitzeit, insbesondere durch einen Anstieg der Transitzeit im Rektosigmoid und im absteigenden Kolon (Klauser et al., 1990). Im Tierversuch mit Yucatan Minischweinen wurde der gleiche Effekt bei einer rektalen Distention über 6 Stunden nachgewiesen (Musial et al., 1992) Die Autoren diskutierten einen Reflexmechanismus, der die Kolontransitzeit verlangsamt, solange sich Stuhl im Rektum befindet. Eine längere Verweilzeit des Speisebreis im Kolon führt

zu einer verstärkten Fermentierung der Nahrungspartikel durch Darmbakterien und damit zu einer vermehrten Bildung von Darmgasen (Wisker et al., 1996). Diese könnte die Ursache für dyspeptische Beschwerden wie Blähungen und Völlegefühl sein.

Gastrointestinale Beschwerden könnten auch durch den erniedrigten Kabinendruck gegenüber dem atmosphärischen Druck auf der Erdoberfläche hervorgerufen werden. In Langstreckenflugzeugen herrscht mit Erreichen der Reiseflughöhe ein barometrischer Druck, der gegenüber Meereshöhe um ca. 25% verringert ist. Gas in Körperhöhlen erfährt entsprechend dem Boyle-Mariotteschen Gesetz unter Druckverminderung eine Volumenausdehnung. Im Gastrointestinaltrakt befindet sich normalerweise zwischen 0,5 und 1,0 Liter Gas. Bei einer Kabinenhöhe von 2400m steigt das Volumen einer gegebenen Gasmenge auf das 1,34fache (Hageisten & Nolte, 1963). Die resultierende Symptomskala reicht von Völlegefühl über Blähungen, Unwohlsein und Übelkeit bis zu akutem Schmerz und Kollaps (Grossmann, 1985). Wie eine Befragung 1995 (Enck et al.) ergeben hatte, nehmen Flugbegleiter auf Langstreckenflügen vermehrt ballaststoffreiche Nahrung zu sich. In der von uns durchgeführten Befragung wurde die Zusammensetzung und Menge der von den Flugbegleiterinnen verzehrten Nahrung nicht protokolliert. In einer experimentellen Untersuchung sollte zunächst geklärt werden, ob verstärkte Blähbeschwerden und andere gastrointestinale Beschwerden evtl. bereits durch die Nahrungszusammensetzung, insbesondere durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt hervorgerufen werden.

3 Experiment II: Bodenuntersuchung

Im vorliegenden Experiment sollte untersucht werden, wie sich ein Unterschied im Ballaststoffgehalt einer Standardmahlzeit bei gesunden Versuchspersonen in einem Laborraum unter atmosphärischem Normaldruck auf gastrointestinale Symptome, allgemeine Befindlichkeit, Herzrate, Blutdruck und Magenentleerungszeit auswirkt.

3.1 Methoden Bodenuntersuchung

3.1.1 Versuchspersonen

Es wurden nur männliche Versuchspersonen untersucht, da seit langem der Zusammenhang zwischen Menstruationszyklus und Aktivierung des autonomen Nervensystems sowie gastrointestinaler Funktionen bekannt ist. So ist der Sympathikotonus in der Lutealphase erhöht, und es fand sich ebenfalls eine verlängerte Magentransitzeit für diese Zyklusphase (Wald et al., 1981; Gill et al., 1987; Yildirim et al., 2002). Der Einschluss weiblicher Probanden in die Studie hätte einen erheblichen Mehraufwand gefordert, da es in diesem Fall notwendig gewesen wäre, die Zyklusphase experimentell zu kontrollieren.

Es nahmen 30 gesunde männliche Probanden im Alter zwischen 21 und 40 Jahren ($26,07 \pm 4,17$ Jahre) mit einem mittleren BMI von $22,98 (\pm 2,29)$ kg/m² an dem 4-stündigen Experiment teil. Die Versuchspersonen wurden durch Aushänge angeworben. Ausschlussgründe waren Lebensmittelallergien, Magen-Darm- oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes sowie Dauermedikationen. Vor Einschluss in das Experiment wurden die Probanden über den Ablauf des Experiments aufgeklärt. Von allen Probanden liegen Einverständniserklärungen vor (Aushang, zur Anwerbung s. Anhang A5-A6; Alter/BMI s. Anhang A7).

3.1.2 Versuchsdesign

In einem 2-Gruppen-Plan erhielten 15 Personen eine ballaststoffarme Standardmahlzeit und 15 Personen eine ballaststoffreiche Standardmahlzeit. Die Untersuchung fand in einem Seminarraum des Instituts für Allgemeine Psychologie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf statt. Die Probanden

erschieden nach einer mindestens 10-stündigen Nüchternphase jeweils um 8.00 Uhr und wurden per Zufall den Versuchsbedingungen (2g vs. 20g Ballaststoffe) zugeordnet.

Tabelle 9:

Versuchsdesign von Experiment II.

uV1: 2 g Ballaststoffe	uV2: 20 g Ballaststoffe
15 Personen	15 Personen

3.1.3 Unabhängige Variable: Standardmahlzeit

Ballaststoffgehalt der Standardmahlzeit: 2g vs. 20g. Die Standardmahlzeit sollte Atemtest tauglich sein und weitgehend einer „normalen“ Mahlzeit entsprechen, insbesondere hinsichtlich Geschmack, Konsistenz und Kaloriengehalt. Der Nährstoffgehalt sollte für beide Abstufungen der unabhängigen Variablen möglichst ähnlich sein. Nach einer Magenentleerungsstudie von Velchik et al. (1989) führt ein Kaloriengehalt >300 und <600 Kalorien zu geringer intraindividuelle Variabilität bei mittlerer interindividueller Variabilität. Standardmahlzeit ballaststoffarm (2g): Spiegelei markiert mit 100 µl ¹³C-Octansäure 10g Butter, 60g Weißbrot (eine Scheibe), 250ml Apfelsaft. Standardmahlzeit ballaststoffreich (20g): Spiegelei markiert mit 100 µl ¹³C-Octansäure

10g Butter, 120g Vollkornbrot (eine Scheibe), 250ml Apfelsaft unter Zusatz von 9g Ballaststoffpulver (Ballaststoffpulver: Ressource Benefiber, Novartis Nutrition GmbH, Celle; Nähere Angaben zur Mahlzeit (Nährstoffgehalt) siehe Anhang A8).

3.1.4 Abhängige Variablen

Magenentleerungszeit

Herzrate, Blutdruck

Gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit

3.1.4.1 AV: Magenentleerungszeit

Die Magentransitzeit-Messung wurde nach dem üblichen Prozedere mit Hilfe eines ^{13}C -Octanoid Atemtests durchgeführt. Diese Untersuchung dauert 4 Stunden, dem Probanden ist es während dieser Zeit nicht gestattet seinen Sitzplatz zu verlassen. Nach nächtlicher Nüchternphase und der Abgabe von 2 Baseline-Atemproben verzehrten die Probanden die Standardmahlzeit innerhalb von 10 Minuten. Anschließend gaben die Probanden 16x alle 15 Minuten eine Atemprobe ab. Die Atemproben wurden sofort nach Beendigung des Experiments mit dem Infrarot Isotopen Analysator IRIS (Firma: Wagner Analysen Technik, Bremen) ausgewertet. Für die Gruppenvergleiche wurde die Magenentleerungs-Halbwertszeit ($T_{1/2}$) zugrunde gelegt. (Angaben zum Gerät und Berechnung der Parameter siehe Anhang A9)

3.1.4.2 AV: Herzrate und Blutdruck

Herzrate und Blutdruck wurde nach Riva Rocci mittels Oberarmmanschette und Manometer (Firma Boso „Luxus“, Jungingen, Deutschland) gemessen. Die Herzrate wird in Schläge pro Minute (bpm) angegeben, der Blutdruck in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg).

3.1.4.3 AV: Intestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit

Symptome (Bauchschmerzen, Völlegefühl, Blähbeschwerden, Windabgang, Aufstoßen, Sodbrennen) und allgemeine Befindlichkeit wurden durch Selbstrating auf einer 5-stufigen Skala erhoben (nie / selten / hin und wieder / meistens / die ganze Zeit, Fragebogen siehe Anhang A10).

3.1.5 Versuchsdurchführung

Die Probanden erschienen um 8.00 Uhr morgens nach 12-stündiger Nüchternphase. Nach randomisierter Zuweisung der Versuchsbedingung (ballaststoffreiche oder ballaststoffarme Standardmahlzeit) und einer Ruhepause von 10 Minuten wurde zu den abhängigen Variablen Herzrate, Blutdruck, allgemeine Befindlichkeit und Symptome die Baseline erhoben. Die Baselinemessung dient insbesondere dazu um a priori Unterschiede zwischen den Gruppen auszuschließen. Nach Abgabe von zwei Baseline-Atemproben

für die Durchführung der ^{13}C -Magentransitzeitbestimmung wurde die Testmahlzeit verzehrt und anschließend 16x alle 15 Minuten eine Atemprobe abgegeben. Während des Experiments wurden stündlich Herzrate, Blutdruck, allgemeine Befindlichkeit und Symptome erhoben.

3.1.6 Statistische Auswertung

Als statistisches Auswertungsprogramm wurde für alle Analysen der vorliegenden Arbeit SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Version 11.0 verwendet. Bei interferenzstatistischen Prüfungen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% für die zweiseitige Fragestellung zugrundegelegt. Bei Messwiederholungsanalysen wurden Greenhouse-Geisser korrigierte p-Werte zugrundegelegt. Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnov-Test.

3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse für die 30 Probanden werden im Folgenden für jede Variable im Gruppenvergleich (ballaststoffarm vs. ballaststoffreich) dargestellt und beschrieben. Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in den Parametern: Alter, Größe, Gewicht, und Body Mass Index (BMI).

Es fanden sich ebenfalls keine signifikanten Baseline-Unterschiede in den abhängigen Variablen.

Herzrate, Blutdruck:

Für die Variablen Herzrate und Blutdruck wurden die Vergleiche mittels Varianzanalyse für Messwiederholungen durchgeführt.

Magenentleerungszeit:

Für die Gruppenvergleiche wurde die Magenentleerungs-Halbwertszeit (T1/2) zugrunde gelegt. Die Vergleiche wurden mittels Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt.

Gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit:

Symptome und allgemeine Befindlichkeit wurden auf einer 5-stufigen Skala (nie = 1, selten = 2, hin und wieder = 3, meistens = 4, immer = 5) erhoben. Die Verläufe der abhängigen Variablen gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit wurden zunächst mit einer Varianzanalyse für

Messwiederholungen auf Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten innerhalb einer Bedingung geprüft. Da die Verläufe der Variablen über die Zeit keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, wurden die Daten innerhalb der Bedingungen über die Gruppe aggregiert und die Gruppenmittelwerte verglichen, um den Gesamteffekt des experimentellen Vorgehens zwischen den Gruppen zu vergleichen. Da der Kolmogorov-Smirnoff Test keine signifikante Abweichung zwischen der empirischen Verteilung der Daten und einer Normalverteilung feststellte, wurden diese Gruppenvergleiche mittels T-Tests für abhängige bzw. unabhängige Gruppen durchgeführt.

3.2.1 Magenentleerungszeit

Der statistische Vergleich der Magenentleerungshalbwertszeiten ($T_{1/2}$) ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Die $T_{1/2}$ der Gruppe mit hohem Ballaststoffgehalt beträgt im Mittel 223,5 Minuten und ist damit 41,87 Minuten länger als die mittlere Transitzeit in der Gruppe mit niedrigem Ballaststoffgehalt (181,63).

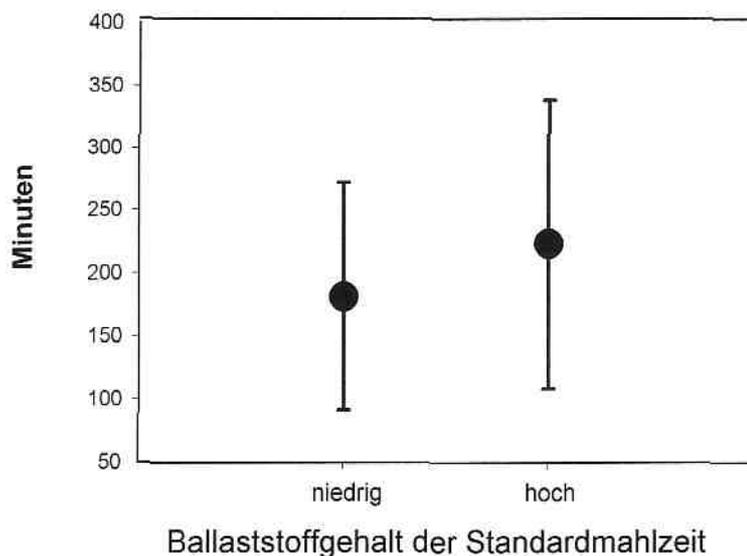


Abbildung 17: Grafische Darstellung der Mittelwerte der Magentransitzeit für beide Gruppen. Die Auswertung mittels Mann-Whitney-U-Test ergab keinen signifikanten Gruppenunterschied.

Tabelle 10:

Deskriptive Statistik zur Magenentleerungshalbwertszeit ($T_{1/2}$ [min]).

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Mann-Whitney-U-Test
niedrig	181.63	90.41	79.04	402.75	nicht signifikant
hoch	223.50	115.13	87.76	398.79	

3.2.2 Herzrate

Dargestellt ist die Herzrate von der Baseline bis zum Ende des Atemtests. Die varianzanalytische Auswertung der Herzrate ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Ballaststoffgruppen. Die Herzraten-Mittelwerte sanken für beide Gruppen im Verlauf des Experiments leicht ab. In der Gruppe mit niedrigem Ballaststoffgehalt von 69,67 Schläge pro Minute auf 61,87 Schläge pro Minute. In der Gruppe mit hohem Ballaststoffgehalt verlangsamte sich die Herzrate von 71,27 Schlägen pro Minute auf 59,27 Schläge pro Minute.

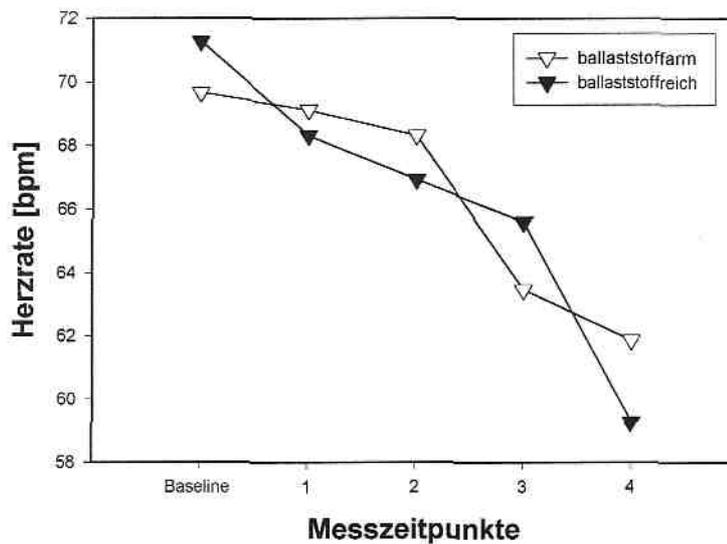


Abbildung 18: Verlauf der Herzrate für beide Gruppen über alle Messzeitpunkte.

Tabelle 11:

Deskriptive Statistik zum Verlauf der Herzrate.

Meßzeitpunkt	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.
Baseline	niedrig	69.67	15.0	46	101
	hoch	71.27	8.77	62	91
1	niedrig	69.13	10.74	54	95
	hoch	68.33	10.49	45	84
2	niedrig	68.33	14.60	47	112
	hoch	66.93	8.81	50	84
3	niedrig	63.47	11.54	47	95
	hoch	65.60	9.46	47	80
4	niedrig	61.87	11.38	48	91
	hoch	59.27	7.13	42	70

3.2.3 Blutdruck

Der Blutdruck zeigte im Verlauf des Experiments für beide Gruppen keine wesentlichen Veränderungen. Es ergab sich lediglich ein leichter Blutdruckabfall nach 60 Minuten und ein Anstieg des diastolischen Blutdrucks zum Messzeitpunkt 4 in der Gruppe mit ballaststoffreicher Mahlzeit. Die varianzanalytische Auswertung des Blutdrucks ergab keinen signifikanten Effekt.

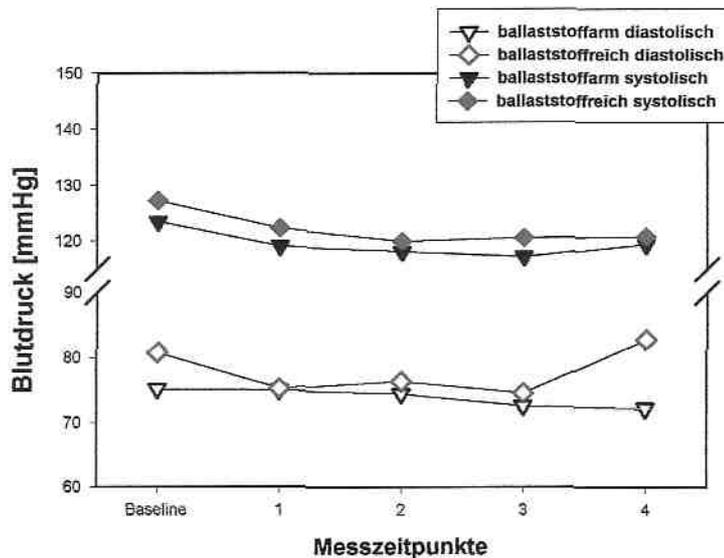


Abbildung 19: Verlauf des systolischen und diastolischen Blutdrucks für beide Gruppen über alle Messzeitpunkte.

Tabelle 12:

Deskriptive Statistik zum Verlauf des Blutdrucks.

Meßzeitpunkt	Ballaststoffgehalt	Systolisch		Diastolisch	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Baseline	niedrig	123.53	12.94	75.13	6.40
	hoch	129.33	9.46	80.80	10.76
1	niedrig	119.13	14.44	75.00	12.81
	hoch	122.40	10.40	75.27	11.78
2	niedrig	118.20	12.70	74.47	10.93
	hoch	120.00	13.21	76.40	16.24
3	niedrig	117.27	9.54	72.60	11.19
	hoch	120.67	14.20	74.60	10.82
4	niedrig	119.47	12.56	72.20	5.97
	hoch	120.87	10.68	82.80	14.28

3.2.4 Symptom: Bauchschmerzen

Auf die Frage: Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten hatten Sie Schmerzen im Bauch? rangierten die Antworten zwischen nie (=1) und hin und wieder (=3). Dies führte in der Gruppe mit niedrigem Ballaststoffgehalt zu einem Mittelwert von 1,17 und in der Gruppe mit höherem Ballaststoffgehalt zu einem Mittelwert von 1,24. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant.

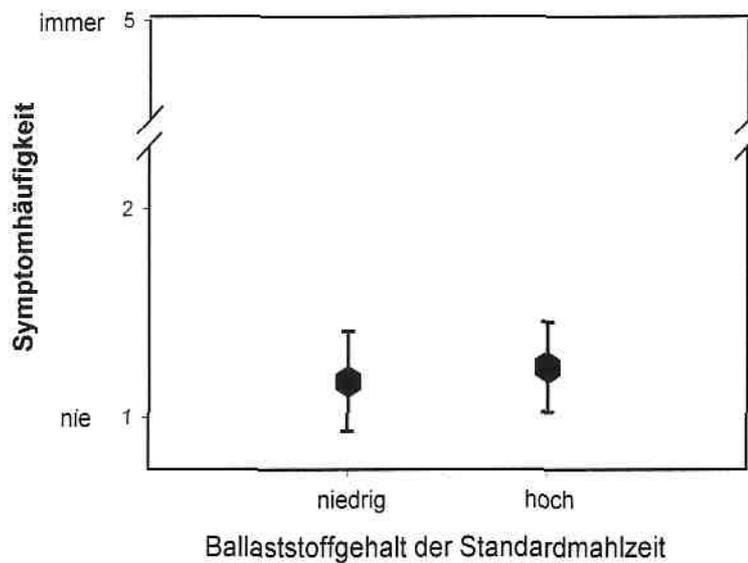


Abbildung 20: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) zum Symptom Bauchschmerzen. Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 13:

Deskriptive Statistik zum Symptom Bauchschmerzen.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	1.17	0.24	1.0	1.8	nicht signifikant
hoch	1.24	0.22	1.0	1.6	

3.2.5 Symptom: Völlegefühl im Oberbauch

Auf die Frage: Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten hat Sie Völlegefühl im Oberbauch gestört? Kam es zu Antworten zwischen nie (=1) und meistens (=4). Für die Gruppe mit niedrigem Ballaststoffgehalt führte dies zu einem Mittelwert von 1,24, für die Gruppe mit hohem Ballaststoffgehalt in der Mahlzeit zu einem Mittelwert von 1,53. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant.

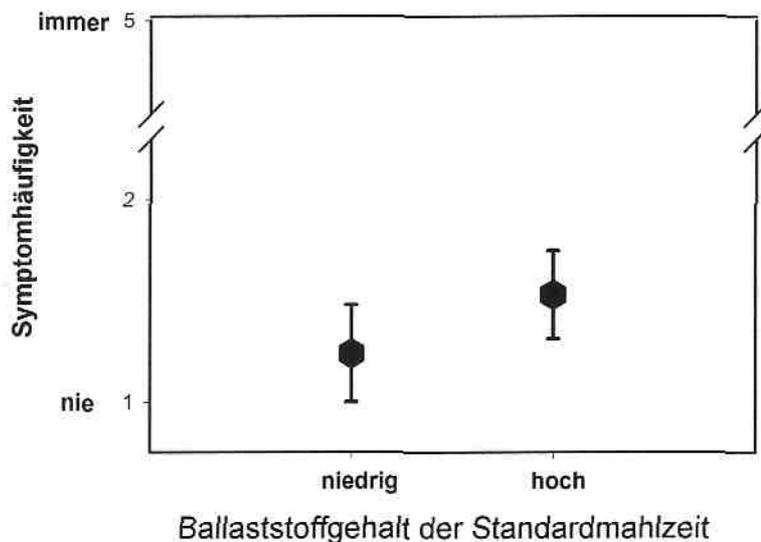


Abbildung 21: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) über alle Messzeitpunkte für das Symptom Völlegefühl. Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 14:

Deskriptive Statistik zum Symptom Völlegefühl.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	1.24	0.24	1.0	2.0	nicht signifikant
hoch	1.53	0.59	1.0	2.8	

3.2.6 Symptom: Blähbeschwerden

Zum Item: Wie oft hatten Sie Blähungen oder das Gefühl zuviel Luft im Bauch zu haben? wurden Antworten zwischen nie (=1) und meistens (=4) angekreuzt. Für die Gruppe mit ballaststoffarmer Standardmahlzeit ergab sich ein Mittelwert von 1,72, für die Gruppe mit ballaststoffreicher Mahlzeit ein Mittelwert von 1,77. Der Mittelwertsunterschied ist nicht signifikant.

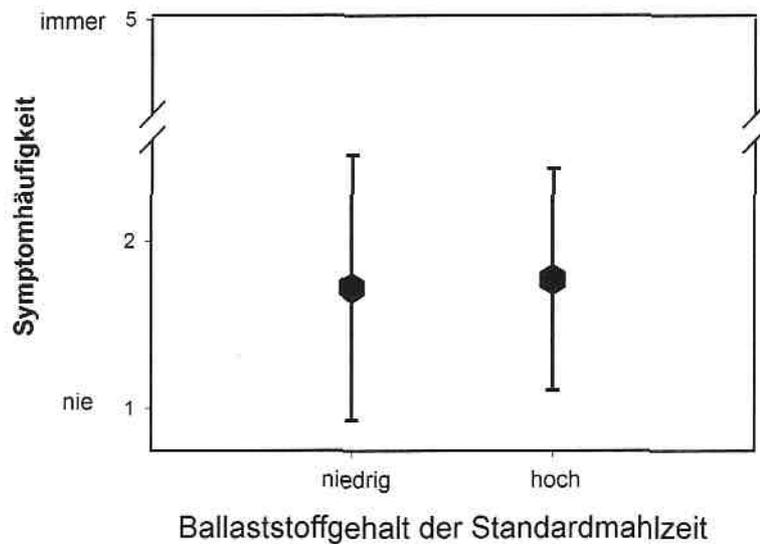


Abbildung 22: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) für das Symptom Blähbeschwerden. Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 15:

Deskriptive Statistik zum Symptom Blähbeschwerden.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	1.72	0.79	1.0	3.4	nicht signifikant
hoch	1.77	0.66	1.0	3.4	

3.2.7 Symptom: Windabgang

Die Frage: Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten sie sich durch Windabgang gestört? wurde mit nie (=1) bis meistens (=4) beantwortet. Es ergab sich ein Mittelwert von 1,35 für die Gruppe mit der ballaststoffarmen Mahlzeit und ein Mittelwert von 1,45 für die Gruppe mit der ballaststoffreichen Mahlzeit. Der Mittelwertunterschied ist nicht signifikant.

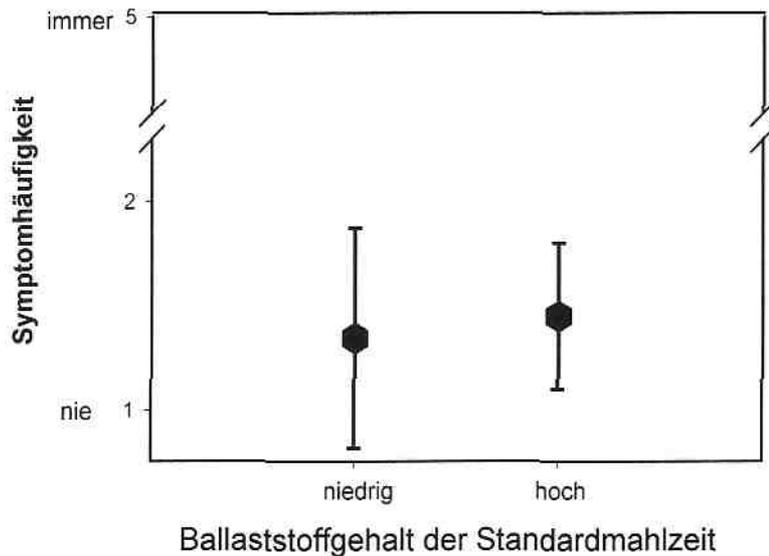


Abbildung 23: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) für das Symptom Windabgang. Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 16:

Deskriptive Statistik zum Symptom Windabgang.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	1.35	0.53	1.0	3.0	nicht signifikant
hoch	1.45	0.35	1.0	2.2	

3.2.8 Symptom: Aufstoßen

Die Frage: Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten Sie sich durch Aufstoßen belästigt? erhielt als einzige Frage Antworten mit einem Range von 1 bis 5. Die Gruppe mit der ballaststoffarmen Mahlzeit erreichte dennoch nur einen Mittelwert von 1,72 und die Gruppe mit der ballaststoffreichen Mahlzeit einen Mittelwert von 1,63.

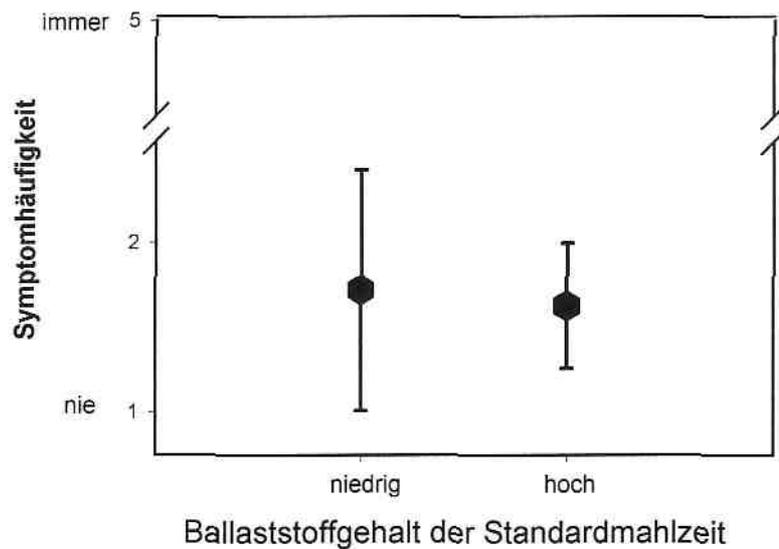


Abbildung 24: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) auf die Frage: Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten Sie sich durch Rülpsen oder Aufstoßen belästigt? Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 17:

Deskriptive Statistik zum Symptom Aufstoßen.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	1.72	0.71	1.0	3.0	nicht signifikant
hoch	1.63	0.37	1.0	2.2	

3.2.9 Allgemeine Befindlichkeit

Das Item zur allgemeinen Befindlichkeit wurde mit den Antwortkategorien selten bis meistens beantwortet, die Gruppenmittelwerte tendierten jedoch zu einer positiven Antwort. Der Gruppenmittelwert der Gruppe mit ballaststoffarmer Mahlzeit betrug 4,41, der Mittelwert der Gruppe mit ballaststoffreicher Mahlzeit 3,97. Die Mittelwerte unterscheiden sich nicht signifikant.

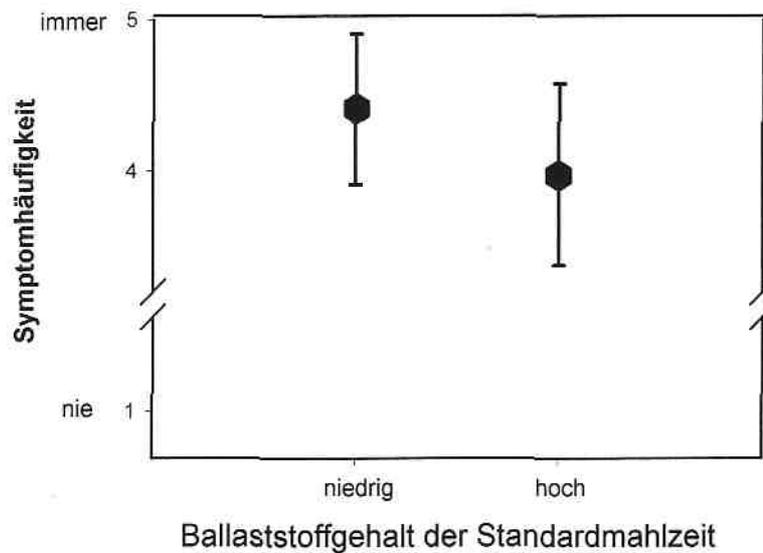


Abbildung 25: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) zur allgemeinen Befindlichkeit. Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 18:

Deskriptive Statistik zum Symptom allgemeine Befindlichkeit.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	4.41	0.5	3.6	5.0	nicht signifikant
hoch	3.97	0.6	3.0	5.0	

3.2.10 Symptom: Sodbrennen

Die Frage: Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten Sie sich durch Sodbrennen gestört? wurde mit nie bis meistens beantwortet. Der Mittelwert der Gruppe mit ballaststoffarmer Mahlzeit ist 1,28 während der Mittelwert der Gruppe mit ballaststoffreicher Mahlzeit 1,35 beträgt.

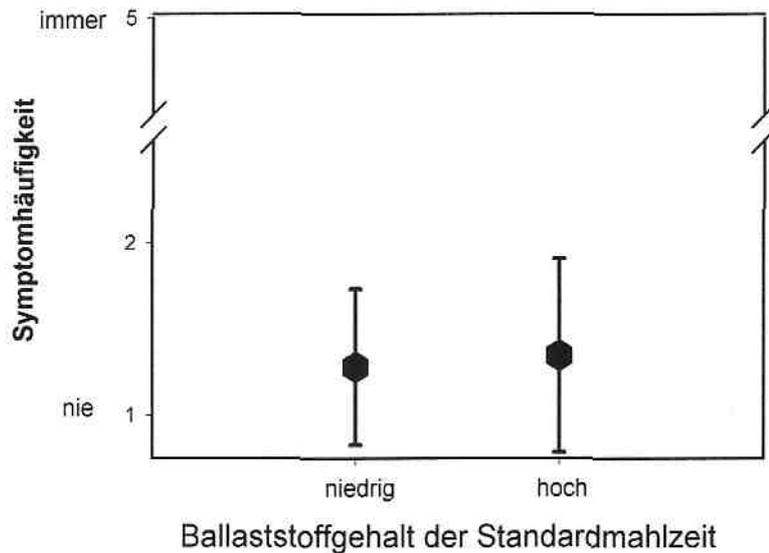


Abbildung 26: Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte (\pm SD) zum Symptom Sodbrennen. Auf der Ordinate ist die Ratingskala abgetragen, auf der Abszisse sind die Gruppen (niedriger bzw. hoher Ballaststoffgehalt) dargestellt.

Tabelle 19:

Deskriptive Statistik zum Symptom Sodbrennen.

Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
niedrig	1.28	0.45	1.0	2.4	nicht signifikant
hoch	1.35	0.56	1.0	2.6	

3.3 Diskussion Bodenstudie Experiment II

Für keine der abhängigen Variablen ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Ballaststoffgruppen.

3.3.1 Die Magenentleerungshalbwertszeit ($T_{1/2}$).

Die Magenentleerungshalbwertszeit für die ballaststoffreiche Mahlzeit ist im Mittel 42 Minuten länger (223 min vs. 181 min) als die Magenentleerungshalbwertszeit der ballaststoffarmen Mahlzeit, dieser Unterschied erreicht jedoch nicht das Signifikanzniveau. In der Gruppe mit ballaststoffarmer Standardmahlzeit haben vier Probanden eine Magenentleerungszeit unter 130 Minuten, während neun Probanden eine Magenentleerungshalbwertszeit zwischen 131 und 300 Minuten aufweisen und zwei Probanden eine Magenentleerungshalbwertszeit von >300 Minuten haben. In der ballaststoffreichen Gruppe liegen sieben Probanden im Bereich zwischen 131 und 300 Minuten, während bei fünf Probanden die $T_{1/2}$ über 300 Minuten beträgt. Beide Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant im Bezug auf Alter und BMI (ballaststoffarm: Alter: $24,9 \pm 3,1$; BMI: $23,2 \pm 2,1$, ballaststoffreich: Alter: $27,3 \pm 4,7$; BMI: $22,5 \pm 2,6$). Bei Messungen mit dem ^{13}C -Oktanoid-Atemtest und der von Ghoo (1993) beschriebenen Vorgehensweise wird für gesunde Probanden eine Magenentleerungshalbwertszeit von $>75 < 130$ Minuten erwartet. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Stichprobe wies also in beiden Gruppen längere durchschnittliche Magenentleerungszeiten auf, als sie in der Literatur für Gesunde beschrieben werden. Es waren in jeder Ballaststoffgruppe lediglich vier Probanden (27%), die diesem Normwert entsprachen. Sucht man hierfür einen Erklärungsansatz, so ist zunächst zu bedenken, dass die Magenentleerungshalbwertszeit generell eine hohe intra- und interindividuelle Varianz aufweist (Lartigue et al., 1994). Dies gilt sowohl für Gesunde wie auch für Patienten mit entsprechenden Störungen. Ein Vergleich der Magenentleerungszeiten zwischen zwei Studien ist in der Regel nicht ohne weiteres möglich, wenn das methodische Vorgehen nicht vollständig identisch ist. Insbesondere die Testmahlzeit und die Zusammensetzung der Stichprobe, aber auch die Meßmethode selbst beeinflusst das Ergebnis. Werden diese Variablen

konstant gehalten, oder Abweichungen entsprechend berücksichtigt, so ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse jedoch gut (Stotzer et al., 1999; Cappello et al., 2000). Die von Ghoo (1993) untersuchte Stichprobe zur Ermittlung der Normwerte bestand aus 42 gesunden Probanden, 20 Männern und 22 Frauen mit einem Altersdurchschnitt von 22 Jahren. Geschlecht und BMI beeinflussen die Magenentleerungszeit: Es zeigten sich längere Magenentleerungszeiten für Frauen im Vergleich zu Männern (Hutson, 1989). Ein Effekt des Alters auf die Magenentleerungszeit wurde bisher nicht gefunden. Entsprechende Untersuchungen konnten lediglich eine Verlängerung der Magenentleerungszeit für ältere Probanden (>50 Jahre) nachweisen (Madsen, 1992). In der vorliegenden Arbeit bestand die Stichprobe ausschließlich aus männlichen Probanden. Mit steigendem BMI ergeben sich ebenfalls längere Magenentleerungszeiten (Brognia et al., 1998). Über dem Normbereich liegende Magenentleerungszeiten zeigten sich aber erst für Probanden, deren BMI ebenfalls über dem Normbereich lag. Der mittlere BMI der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Stichprobe liegt für beide Gruppen im Normbereich, nämlich zwischen 20 und 26. Insgesamt betrachtet sind die Unterschiede zwischen der Stichprobe von Ghoo und der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Stichprobe nur minimal und keineswegs dazu geeignet, eine Erklärung für die verlängerte Magenentleerungszeit zu liefern.

Ein möglicher Erklärungsansatz für die verlängerten Magenentleerungszeiten sind die unterschiedlichen Testmahlzeiten, die in den Studien zum Einsatz kamen. Wie bereits erwähnt wird die Magenentleerung von der Nährstoffzusammensetzung, dem Kaloriengehalt, und dem Volumen (Hunt et al., 1985) der Mahlzeit, sowie von der Dichte, Osmolarität und Viskosität des resultierenden Mageninhalts (Rüssel & Bass, 1985) beeinflusst. Die bei Ghoo (1993) verwendete Testmahlzeit bestand aus: einem Spiegelei, 60g Weißbrot, 5g Margarine und 150 ml Wasser (250 kcal). In der vorliegenden Studie bestand die ballaststoffarme Mahlzeit aus: Spiegelei, 60g Weißbrot, 10g Fett, 250ml Apfelsaft (420 kcal) und die ballaststoffreiche Mahlzeit aus: Spiegelei, 10g Butter, 120g Vollkornbrot, 250ml Apfelsaft unter Zusatz von 9g Ballaststoffpulver (495 kcal). Die im vorliegenden Experiment verwendeten Standardmahlzeiten haben also fast den doppelten Kaloriengehalt wie die von

Ghoos verwendete Testmahlzeit. Nach Literaturrecherche und Verköstigung einiger Abwandlungen der Testmahlzeit von Ghoos fiel die Entscheidung für die oben beschriebenen Testmahlzeiten, insbesondere mit Blick auf die Akzeptanz der Mahlzeit bei den Probanden und der Zusammensetzung einer „normalen“ Mahlzeit. Bereits 1975 veröffentlichten Hunt und Stubbs eine Metaanalyse zu Magenentleerungsstudien, aus der hervorging, dass es mit steigendem Kaloriengehalt der Mahlzeit zu einer Verzögerung der Magen transitzeit kommt. 1995 veröffentlichte die Gruppe um Ghoos (Maes et al., 1995) ebenfalls eine Studie zur Magenentleerungsmessung mittels ¹³C-Oktanoid Atemtest mit Testmahlzeiten von unterschiedlichem Kaloriengehalt. Obwohl der Kaloriengehalt der festen Testmahlzeit in der Untersuchung von Maes nur zwischen 150 und 250 Kalorien variiert wurde, ergab sich bereits hier für die höherkalorische Testmahlzeit eine verlängerte Magen transitzeit für Kinder und Erwachsene. Perracchi und Mitarbeiter (2000) verglichen die Magenentleerung einer 250 kcal Mahlzeit und einer 550 kcal Mahlzeit mit Hilfe des ¹³C-Oktanoid Atemtest Für die 550 kcal Mahlzeit ergab sich eine mittlere Magen transitzeit von 172 Minuten im Vergleich zu 76,5 Minuten für die 250 kcal Mahlzeit. Die interindividuelle Variabilität für die 550 kcal Mahlzeit war 2mal grösser als die der 250 kcal Mahlzeit. Der Kaloriengehalt und demzufolge auch die ermittelte mittlere Magen transitzeit in der vorliegenden Studie entspricht in etwa den Ergebnissen von Perracchi et al..

In der vorliegenden Untersuchung wurden Kaloriengehalt und Nährstoffzusammensetzung der beiden Testmahlzeiten annähernd gleich gehalten, während der Ballaststoffgehalt entsprechend der Fragestellung erheblich unterschiedlich gestaltet war, nämlich 2g vs. 20g. Der Effekt von Ballaststoffen auf die gastrointestinale Transitzeit und andere Parameter der Verdauung wurde in der Vergangenheit ausführlich untersucht.

1982 fanden Schwartz et al. einen unterschiedlichen Effekt von löslichen und unlöslichen Ballaststoffen auf die Magen transitzeit. Die Anreicherung einer isokalorischen Ernährung über vier Wochen mit 20g Pektin (löslich) oder 20g Zellulose (unlöslich) pro Tag führte nur für die Zugabe von Pektin zu einer signifikant verlängerten Magen transitzeit bei sieben gesunden Probanden. Tadesse fand 1986. nach mit löslichen Ballaststoffen angereicherten

Testmahlzeiten, einen geringfügig höheren pH-Wert in dem nach 30 Minuten aspirierten Mageninhalt, aber keine Veränderung im Volumen oder der Zusammensetzung des Magensekrets. Es zeigte sich ebenfalls eine geringfügig, jedoch nicht signifikant verlängerte Magentransitzeit für die mit Ballaststoffen angereicherten Mahlzeiten. Heute ist bekannt, dass lösliche Ballaststoffe wie Pektin oder Guar Gum über die Erhöhung der Viskosität des Mageninhalts die Magenentleerung verzögern und die Resorptionsrate der Nährstoffe im Dünndarm verringern. Unlösliche Ballaststoffe wie Cellulose und Lignin haben kaum Effekte im Magen und Dünndarm. Sie werden erst im Dickdarm fermentiert und führen hier zur Erhöhung des Stuhlgewichts und zur Verkürzung der Kolon-Transitzeit (Eastwood, 1985; Spiller, 1994). In der vorliegenden Arbeit setzt sich der Ballaststoffgehalt beider Testmahlzeiten zu etwa gleichen Teilen aus löslichen und unlöslichen Ballaststoffen zusammen. In der ballaststoffarmen Mahlzeit resultieren die 2g Ballaststoffe (ca. 1,1g unlösliche (55%) und 0,9g (45%) lösliche Ballaststoffe) aus dem Weißbrot und dem Apfelsaft. Die 20g Ballaststoffe der ballaststoffreichen Mahlzeit sind enthalten in Vollkornbrot, Ballaststoffpulver (Guar Gum) und Apfelsaft (ca. 8g (40%) unlösliche und 12g (60%) lösliche Ballaststoffe). In einer Studie von Rydning et al. (1985) führte die Anreicherung einer Testmahlzeit mit 5g Guar Gum bzw 10g Weizenschrot zu keiner signifikanten Veränderung der Magentransitzeit, während Leatherdale et al. (1982) von einer signifikanten Verzögerung der Magenentleerungszeit bei gesunden Probanden nach einer mit 10g Guar Gum angereicherten Testmahlzeit berichten. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in der vorliegenden Arbeit die Magentransitzeit der ballaststoffarmen Mahlzeit hauptsächlich auf ihren Kaloriengehalt zurückzuführen ist, während die nochmals verlängerte mittlere Magentransitzeit der ballaststoffreichen Mahlzeit (223 Minuten vs. 181 Minuten) überwiegend durch die darin enthaltenen löslichen Ballaststoffe verursacht wurde.

3.3.2 Herzrate und Blutdruck

Herzrate und Blutdruck unterscheiden sich im vorliegenden Experiment nicht signifikant zwischen den Gruppen. In dem vorliegenden Experiment fällt die

Herzrate für beide Ballaststoffgruppen nach der Einnahme der Mahlzeit kontinuierlich ab. Für die Gruppe mit ballaststoffarmer Mahlzeit fällt die Herzrate von 69,7 auf 61,9 Schläge pro Minute, für die Gruppe mit ballaststoffreicher Mahlzeit von 71,3 auf 59,3 Schläge pro Minute. Der diastolische und systolische Blutdruck nimmt ebenfalls über die Zeit leicht ab. Der stetige Abfall der Herzrate über den gesamten Verlauf der Studie entsprach nicht den Erwartungen. Die Aufnahme von Nahrung führt in der Regel zu vielfältigen Reaktionen im menschlichen Organismus. Abhängig von der Beschaffenheit der Mahlzeit kommt es zu kardiovaskulären, haemodynamischen, metabolischen, thermischen und hormonellen Reaktionen. Das Auftreten dieser Reaktionen ist durch bisherige Studien gut gesichert, wenn auch die zugrundeliegenden Mechanismen nicht alle vollständig geklärt sind. Für die Herzrate wird ein postprandialer Anstieg erwartet, während der Blutdruck nur wenig oder gar nicht reagiert, gelegentlich findet sich ein Abfall des diastolischen Blutdrucks und ein leichter Anstieg des systolischen Blutdrucks (Fagan et al., 1986; Sidery et al., 1992). Diese Veränderungen werden auf den postprandialen Anstieg des gastrointestinalen Blutflusses zurückgeführt, der über eine Aktivierung des autonomen Nervensystems den Anstieg der Herzrate verursacht (Lipsitz et al., 1993; Widerlöv et al., 1999). Die Zusammensetzung unserer Standardmahlzeit entsprach sowohl bezüglich des Kaloriengehalts als auch der Nährstoffverteilung in etwa der in den oben zitierten Studien, sodass diesbezügliche Parameter vermutlich nicht für die sinkende Herzrate verantwortlich sind. In den meisten Studien verbrachten die Probanden jedoch die Zeit nach der Einnahme der Mahlzeit in liegender Position. Es erscheint möglich, dass die aufrecht sitzende Position unserer Probanden den postprandialen Anstieg verhinderte und zum Abfall der Herzrate führte. So zeigte sich in einer Studie von de Mey et al. (1987) nach einer Mahlzeit bei aufrecht sitzender Position des Probanden keine Änderung in der Herzrate und im systolischen Blutdruck, während die oben geschilderten Effekte des diastolischen Blutdrucks sowohl in liegender als auch in aufrecht sitzender Position auftraten.

Die sitzende Position der Probanden könnte dazu geführt haben, dass die

Blutumverteilung nach der Mahlzeit nicht das Ausmaß annahm, wie bei einem Wechsel von sitzender in liegende Position. Daraus könnte eine ebenfalls geringere vasokonstriktive Aktivität des sympathischen Nervensystems resultiert haben, die letztendlich nicht ausreichend war, um einen Herzratenanstieg auszulösen. Das Absinken der Herzrate und des Blutdrucks wäre demzufolge als eine Reaktion auf das vierstündige Sitzen während der Untersuchung zu interpretieren.

3.3.3 Symptome und Befindlichkeit

Es ergab sich weder für die allgemeine Befindlichkeit noch für eines der erfragten gastrointestinalen Symptome ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Im vorliegenden Experiment sollte mit Hilfe einer Standardmahlzeit untersucht werden, wie sich ein Unterschied im Ballaststoffgehalt der Mahlzeit bei gesunden Versuchspersonen in einem Laborraum unter Normaldruck auf gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit auswirkt. Erfragt wurde die allgemeine Befindlichkeit sowie die gastrointestinalen Symptome Bauchschmerzen, Völlegefühl, Blähungen, Windabgang, Aufstoßen und Sodbrennen. Es zeigte sich wie schon in der Baseline auch für den Verlauf des Experiments (und damit für die Gruppenmittelwerte) eine sehr geringe Symptomausprägung für alle Probanden und alle Items. So lagen alle Mittelwerte für die Symptome zwischen 1 und 2, was einer Symptommhäufigkeit zwischen nie und selten entspricht. Die Mittelwerte für die allgemeine Befindlichkeit waren 3,97 und 4,4, was in beiden Fällen der Antwort „meistens“ entspricht. In einer Untersuchung von Enck et al. (1995) an Flugpersonal fanden sich insbesondere Symptome des oberen Gastrointestinaltrakts signifikant häufiger bei Flugpersonal auf Langstreckenflügen im Vergleich zu Kurzstrecken-Flugbegleitern und zum Bodenpersonal. Die Symptome Aufstoßen und Blähungen wurden mit 56% bzw. 51% als häufigste Beschwerden vom Personal auf Langstrecken genannt, während vom Personal auf der Kurzstrecke diese Symptome nur jeweils in 36% der Fälle genannt wurden. Das Bodenpersonal nannte Aufstoßen in 24% und Blähungen in 13% der Fälle. Diese Beschwerden gehören zum Symptomkomplex der funktionellen

Dyspepsie. Der Begriff funktionelle Dyspepsie beschreibt Beschwerden, die sich auf den oberen Gastrointestinaltrakt beziehen und epigastrische Schmerzen, vorzeitiges Sättigungsgefühl, Blähungen, Aufstoßen, postprandiales Völlegefühl, Übelkeit, Sodbrennen und Erbrechen einbeziehen. Beim Flugpersonal fand sich zudem eine signifikante negative Korrelation zwischen Symptomscore und allgemeiner Zufriedenheit mit der Gesundheit sowie der persönlichen Situation und der Situation am Arbeitsplatz.

In der vorliegenden Arbeit enthielten die verwendeten Testmahlzeiten entweder 2g oder 20g Ballaststoffe, in beiden Bedingungen jeweils ca. zur Hälfte lösliche und unlösliche Ballaststoffe. Es ist bekannt, dass lösliche Ballaststoffe über die Erhöhung der Viskosität des Mageninhalts die Magenentleerung verzögern, während unlösliche Ballaststoffe erst im Dickdarm fermentiert werden, und hier zu einer Erhöhung der Gasmenge beitragen (Eastwood, 1985; Spiller, 1994). Lösliche Ballaststoffe sind daher eher geeignet Beschwerden im Oberbauch, wie z.B. Völlegefühl, Aufstoßen und Sodbrennen zu verursachen, während unlösliche Ballaststoffe überwiegend zu Beschwerden wie Blähungen und Windabgang führen können. Die Testmahlzeiten mit unterschiedlichem Ballaststoffgehalt führten in der vorliegenden Studie jedoch nicht zu signifikant unterschiedlichen Symptomausprägungen in den Gruppen. Offensichtlich war die mit der ballaststoffreichen Testmahlzeit verabreichte Menge an Ballaststoffen nicht ausreichend, um eine intestinale Gasentwicklung auszulösen, die zu Symptomen führte. Serra et al. untersuchten 46 gesunde Probanden zur Klärung der Beziehung zwischen intestinaler Gasmenge, analer Gasevakuuation und der Wahrnehmung von Symptomen. Während einer dreistündigen Untersuchung wurde Gas in den Dünndarm eingeleitet (0, 1, 4, 12, und 30 ml/min), während die anale Gasevakuuation, der abdominelle Umfang und gastrointestinale Symptome gemessen wurden. Es zeigte sich, dass sich die anale Gasevakuuation sehr schnell der Gasinfusionsrate anpasste und die unterschiedlichen Infusionsraten nicht zu signifikanten Unterschieden in den Symptom-Ratings führten. Nur bei 6 Probanden kam es zu Gasretentionen von mehr als 400 ml, und 5 dieser Probanden entwickelten abdominelle Symptome. Die Autoren folgerten daraus, dass die Toleranz

gegenüber intestinaler Gasmengen bei gesunden Probanden hoch ist, da Gas auch in größeren Mengen normalerweise rasch weitertransportiert und ausgeschieden wird. Ist dieser Mechanismus jedoch gestört, so kommt es zur Gasretention, was abdominelle Dehnung und gastrointestinale Symptome zur Folge hat. Dies zeigte eine ähnliche Untersuchung dieser Arbeitsgruppe 3 Jahre später (Serra et al., 2001a), an 20 IBS Patienten und 20 gesunden Probanden. Nach 2-stündiger Gasinfusion entwickelten 18 der 20 IBS Patienten gastrointestinale Symptome wie Schmerzen und Blähungen und eine Zunahme des abdominellen Umfangs von mehr als 3 mm, während dies nur bei 4 der 20 gesunden Probanden der Fall war. Die Autoren schlossen daraus, dass bei IBS Patienten vermehrt eine Störung des intestinalen Gastransports vorliegt, was zu einer verminderten Gastoleranz und damit zur Ausbildung gastrointestinaler Symptome wie Schmerzen und Blähungen führt.

Aus den Ergebnissen des Experiments II kann geschlossen werden, dass beim Flugpersonal diese Symptome nicht ausschließlich durch die Aufnahme erhöhter Ballaststoffmengen zu erklären sind, sondern durch andere Variablen mitverursacht werden. In einem weiteren Experiment sollte daher geklärt werden, welchen Effekt der auf Langstreckenflügen veränderte Kabinendruck nach Verzehr von Mahlzeiten mit unterschiedlichem Ballaststoffgehalt auf Magenentleerung, gastrointestinale Symptome, und allgemeine Befindlichkeit, sowie auf Herzrate und Blutdruck hat.

4 Experiment III: Kabinenstudie

4.1 Einleitung

Mit dem im Folgenden geschilderten Experiment sollte untersucht werden: Wie wirken sich bei gesunden männlichen Probanden eine Verminderung des Umgebungsdrucks und unterschiedliche Ballaststoffmengen in einer Standardmahlzeit auf Magenentleerung, gastrointestinale Symptome, allgemeine Befindlichkeit, sowie auf Herzrate und Blutdruck aus? Diese Fragestellung sollte mit Hilfe einer Unterdruckkammer untersucht werden, da die Beurteilung der Wirkung niederen Luftdruckes und des Luftdruckwechsels auf den Menschen analog dem Flugzeugauf- und abstieg ansonsten nur mit Hilfe eines Freiballons oder im Flugzeug selbst möglich ist. Als erster „Luftfahrtphysiologe“ hatte Paul Bert im Jahre 1868 in einer Unterdruckkammer verschiedene Höhen simuliert und ihre Wirkung auf Tier und Mensch beobachtet und beschrieben (Bert, 1875).

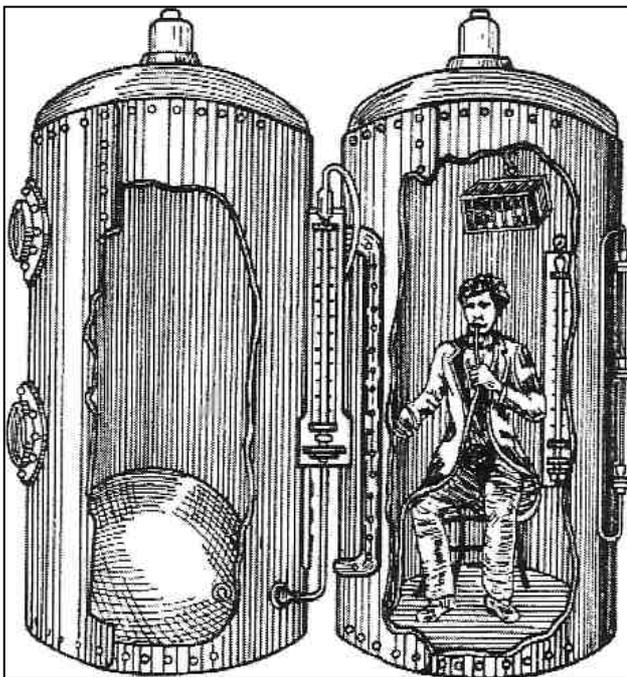


Abbildung 27: Die erste Unterdruckkammer

Der Franzose Paul Bert hatte als erster „Luftfahrtphysiologe“ im Jahre 1868 in einer Unterdruckkammer verschiedene Höhen simuliert und ihre Wirkung auf Tier und Mensch beobachtet und beschrieben. Auf ihn geht auch die Empfehlung der Atmung künstlichen Sauerstoffs beim Höhengaufstieg zurück.

Im Verlauf der Weiterentwicklung der Luftfahrt wurden Unterdruckkammern zur Klärung unterschiedlichster Fragestellungen und später routinemäßig für Tauglichkeitsprüfungen in der Pilotenausbildung genutzt. Die erste Untersuchung zur Magenentleerung unter simulierten Höhenverhältnissen in einer

Druckkammer schilderte van Liere 1933. Er untersuchte die Magenentleerungszeit bei Hunden bei unterschiedlichen Druckverhältnissen und fand mit zunehmender Höhe eine Verlängerung der absoluten Magenentleerungszeit.

4.2 Methode

Basierend auf den Ergebnissen der zuvor in dieser Arbeit geschilderten Experimente I und II sollte bei gesunden Probanden der Effekt einer ballaststoffreichen Mahlzeit im Vergleich zu einer ballaststoffarmen Mahlzeit bei einem Umgebungsdruck von 690 mmHg (1000m) und 565 mmHg (2500m) untersucht werden. Die Flughöhe 2500 m wurde gewählt, da auf Langstreckenflügen der Kabinendruck in der Regel zwischen 600 mmHg (2400 m) und 565 mmHg (2500m) beträgt. Die Flughöhe 1000m wurde als Kontrollbedingung gewählt, da erste Anpassungsreaktionen des Organismus bei Gesunden in der Regel erst ab 1200 m Höhengaufstieg feststellbar sind, ein Druckausgleich des Mittelohrs, abhängig von der Geschwindigkeit der Druckänderung, aber häufig bereits sehr viel früher notwendig ist und auch von dem Betroffenen wahrgenommen wird.

4.2.1 Versuchspersonen

Wie bereits im vorhergehenden Experiment II wurden auch in diesem Experiment (aus dem gleichen Grund wie unter 3.1.1 geschildert) nur männliche Probanden untersucht. 16 männliche Versuchspersonen (Alter: Mittelwert = $25,5 \pm 5,9$ Jahre, BMI: Mittelwert = $23,05 \pm 2,31$ kg/m²) nahmen jeweils an zwei Flugsimulationen teil. Die Versuchspersonen wurden durch Aushänge angeworben (siehe Anhang A11-A12). Ausschlussgründe waren Lebensmittelallergien, Magen-Darm oder Herz-Kreislauf Erkrankungen, sowie entsprechende Dauermedikationen. Vor Einschluss in das Experiment wurden die Probanden über den Ablauf des Experiments aufgeklärt, im Anschluss daran unterzeichneten sie die Einverständniserklärung. Die Versuchspersonen erschienen nach einer mindestens 12-stündigen Nüchternphase jeweils um 8.00 Uhr zur Flugsimulation. Vor Beginn der Flugsimulation wurde jede Versuchsperson ärztlich untersucht und über bestehende Risiken aufgeklärt.

4.2.2 Versuchsdesign

In einem 2-faktoriellen Versuchsdesign mit Messwiederholung auf dem Faktor Ballaststoffgehalt, nahmen an jeder Flugsimulation 8 Probanden teil.

Tabelle 20:
Schematische Darstellung des Versuchsdesigns

	Ballaststoffe: niedrig hoch	
Flughöhe: 1000m, n=8		
2500m, n=8		

Jede Versuchsperson nahm an zwei Flugsimulationen teil, die an unterschiedlichen Tagen durchgeführt wurden. Die Flugsimulationen wurden von jeder Versuchsperson unter gleichen Druckverhältnissen aber mit unterschiedlichen Standardmahlzeiten (2 g bzw. 20 g Ballaststoffgehalt) absolviert. Flughöhe und Reihenfolge der Mahlzeit wurden randomisiert zugewiesen. Die Vpn. waren blind gegenüber der Flughöhe.

Die abhängigen Variablen: Herzrate, Blutdruck, intestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit wurden als Baseline vor dem Start, während der gesamten Flugsimulation alle 60 Minuten und nach der Landung erhoben. Die



Messung der Magentransitzeit ($T_{1/2}$) wurde nach Einnahme der Standardmahlzeit mit dem ^{13}C -Oktan-säure-Atemtest in üblicher Weise durchgeführt. Die Flugsimulationen wurden in der hypobaren Druckkammer des Sauerstofftherapie-zentrums Düsseldorf durchgeführt

Abbildung 28: Druckkammer

Ansicht der für die vorliegende Arbeit genutzten Unterdruckkammer des „Sauerstofftherapie-zentrums Düsseldorf“

Die Kammer besteht aus einer geräumigen Hauptkammer mit 12 bequemen Sitzen und einer Vorkammer mit 2 Sitzen. Jeder Sitzplatz ist mit Kopfhörern

und Notrufknopf ausgestattet. Die Kammer wurde während des gesamten Experiments videoüberwacht. Zu jeder der vier Flugsimulationen war die Kammer mit 8 Probanden und der Versuchsleiterin besetzt.

4.2.3 Unabhängige Variablen

1. Flughöhe
2. Ballaststoffgehalt der Standardmahlzeit

4.2.3.1 UV: Flughöhe: 2500m vs. 1000m

Die simulierte Kabinenhöhe der Experimentalgruppe entsprach dem üblicherweise auf Langstreckenflügen herrschenden Kabinendruck von 565 mmHg, dies entspricht dem Außendruck in einer Höhe von ca. 2500m. Die Kontrollbedingung musste so gewählt werden, dass die Vpn. eine Druckänderung wahrnahmen, die Differenz zur hohen Flughöhe sollte aber möglichst groß sein. Als Kontrollbedingung wurde daher eine Flughöhe von 1000m (690 mmHg) gewählt.

4.2.3.2 UV: Ballaststoffgehalt der Standardmahlzeit: 2g vs. 20g

In diesem Experiment wurde die gleiche Standardmahlzeit eingesetzt wie im Experiment II. Die Mahlzeit sollte weitgehend einer „normalen“ Mahlzeit entsprechen, für beide Abstufungen möglichst ähnlich aufgebaut und geschmacklich tolerabel, sowie ^{13}C -Atemtest-tauglich sein.

ballaststoffarm (2g):

Spiegelei, markiert mit 100 ul ^{13}C -Octansäure
10g Butter, 60g Weißbrot, 250ml Apfelsaft.

ballaststoffreich (20g):

Spiegelei, markiert mit 100 ul ^{13}C -Octansäure
10g Butter, 120g Vollkornbrot, 250ml Apfelsaft unter Zusatz von 9g Ballaststoffpulver (Ressource Benefiber, Novartis Nutrition GmbH, Celle, Deutschland; Nährstoffgehalt der Mahlzeiten sowie Inhaltsstoffe des Ballaststoffpulvers siehe Anhang A8).

4.2.4 Abhängige Variablen

4.2.4.1 AV: Magentransitzeit

Die Magentransitzeit-Messung wurde nach dem beim ^{13}C -Atemtest üblichen Procedere über 4 Stunden durchgeführt. Nach nächtlicher Nüchternphase und der Abgabe von 2 Nullproben erfolgte die Einnahme der Mahlzeit innerhalb von 10 Minuten.

Anschließend gaben die Probanden 16x alle 15 Minuten eine Atemprobe in einen Alubeutel ab. Die Atemproben wurden nach Beendigung der Flugsimulation mit dem Infrarot Isotopen Analysator IRIS (Firma: Wagner Analysen Technik, Bremen) ausgewertet. Für die Gruppenvergleiche wurde die Magenentleerungshalbwertszeit ($T_{1/2}$) zugrunde gelegt.

4.2.4.2 AV: Herzrate und Blutdruck

Die Benutzung eines automatischen Blutdruckgerätes ist aus Sicherheitsgründen in der Druckkammer nicht gestattet. Die Herzrate wurde durch tasten des Radialis-Puls proximal der Handwurzel ermittelt. Der Blutdruck wurde mittels indirekter Druckmessung unter Verwendung von Oberarmmanschette und Stethoskop nach Riva-Rocci gemessen. Beide Parameter dienten insbesondere zur Absicherung der experimentellen Verwirklichung der unabhängigen Variable Flughöhe.

4.2.4.3 AV: Intestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit

Symptome (Bauchschmerzen, Völlegefühl, Blähbeschwerden, Windabgang, Aufstoßen, Sodbrennen) und allgemeine Befindlichkeit wurden während des Experiments stündlich durch Selbstrating auf einer 5-stufigen Skala erhoben (nie / selten / hin und wieder / meistens / immer, siehe Anhang A10).

4.2.5 Versuchsdurchführung

Die Probanden erschienen um 8.00 morgens nach 12-stündiger Nüchternphase im Sauerstofftherapiezentrum Düsseldorf. Nach der ärztlichen Untersuchung wurde die Testmahlzeit für die erste Flugsimulation zugelost. Nach einer Ruhepause von 10 Minuten erfolgte die Erhebung der Baseline zu: Herzrate, Blutdruck, allgemeine Befindlichkeit und gastrointestinale Symptome.

Anschließend wurden die Plätze in der Druckkammer eingenommen. Nachdem jeder Proband zwei Null-Atemproben abgegeben hatte, wurden die Testmahlzeiten ausgegeben und verzehrt und nachfolgend 16-mal alle 15 Minuten eine Atemprobe abgegeben. Während der Simulation wurden stündliche Messungen von Herzrate, Blutdruck, allgemeine Befindlichkeit sowie der Symptome vorgenommen. 4 Stunden nach dem Start und damit nach Beendigung des ^{13}C -Atemtests erhielten die Probanden ein Lunchpaket sowie Mineralwasser ad libitum. Nach der Landung wurde eine abschließende Messung von Herzrate, Blutdruck, allgemeine Befindlichkeit und Symptomen durchgeführt.

4.2.5.1 Besonderheiten bei Durchführung und Auswertung

Aufbauend auf dem zuvor durchgeführten Experiment II sollte die Flugsimulation einerseits dieselben abhängigen Variablen untersuchen und andererseits möglichst lebensnah einen Langstreckenflug simulieren, um die Bedingungen, unter denen das Flugpersonal Symptome entwickelt, nachzuvollziehen. Insbesondere um die physiologische Beeinflussung durch den veränderten Kabinendruck realitätsnah zu gestalten, wurde die Flugsimulation über 8 Stunden durchgeführt, während das Experiment II, begründet durch die zeitliche Dauer des Atemtests, nur 4 Stunden dauerte. Um die Ergebnisse der Magentransitzeitmessung vergleichbar zu machen war es unbedingt erforderlich, die Standardmahlzeiten beizubehalten und den Test in gleicher Weise durchzuführen. Die Probanden der Flugsimulation durften wie schon die Probanden im Experiment II über den Zeitraum des ^{13}C -Atemtests keine zusätzliche Nahrung zu sich nehmen und ebenfalls ihren Sitzplatz nicht verlassen. Der Kaloriengehalt der Standardmahlzeit (495 kcal) war jedoch nicht ausreichend um über die gesamten 8 Stunden der Flugsimulation ein Gefühl der Sättigung zu hinterlassen. Um die Erhebungen nach Abschluss des Atemtests, insbesondere die Erhebungen zur Befindlichkeit und zu gastrointestinalen Symptomen der Probanden, nicht durch Hunger und dementsprechende Stimmungsveränderungen zu beeinträchtigen, erhielten die Probanden nach dem Abschluss des ^{13}C -Atemtests ein Lunchpaket und Mineralwasser ad libitum. Das Lunchpaket enthielt ein Sandwich, (belegt mit Schinken, Käse, Tomate, Gurke und Salat), sowie eine Banane, einen Vollkornriegel, einen Schokoriegel, eine kleine Tüte

Lakritzkonfekt und Gummibärchen. Der Inhalt konnte von den Versuchspersonen nach Belieben verzehrt werden. Der Verzehr wurde nicht protokolliert.

4.2.6 Statistische Auswertung

Als statistisches Auswertungsprogramm wurde für alle Analysen der vorliegenden Arbeit SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Version 11.0 verwendet. Bei interferenzstatistischen Prüfungen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% für die zweiseitige Fragestellung zugrundegelegt. Bei Messwiederholungsanalysen wurden Greenhouse-Geisser-korrigierte p-Werte zugrundegelegt. Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnov-Test.

4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse für die 16 in der hypobaren Kammer untersuchten Probanden werden im Folgenden für jede Variable im Gruppenvergleich (1000m vs. 2500m Kabinenhöhe, ballaststoffarm vs. ballaststoffreich) dargestellt und beschrieben. Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in den Parametern: Alter, Größe, Gewicht, und Body Mass Index (Anhang Seite 13). Es fanden sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede in den abhängigen Variablen.

Für die Variablen Herzrate und Blutdruck wurden die Vergleiche mittels Varianzanalyse für Messwiederholungen durchgeführt.

Die Gruppenvergleiche der Magenentleerungshalbwertszeit ($T_{1/2}$) wurden mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Die Verläufe der abhängigen Variablen gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit wurden zunächst mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen auf Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten innerhalb einer Bedingung geprüft. Da die Verläufe der Variablen keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, wurden die Daten innerhalb der Bedingungen über die Gruppe aggregiert und die Mittelwerte verglichen, um den Gesamteffekt der experimentellen Variation zu vergleichen. Gastrointestinale Symptome und allgemeine Befindlichkeit wurden auf einer 5-stufigen Skala (nie = 1, selten = 2, hin und wieder = 3, meistens = 4, immer = 5) erhoben. Um den Gesamteffekt

der Mahlzeit zwischen den Gruppen zu vergleichen, wurde für jede Gruppe ein Mittelwert über alle Messzeitpunkte des Experiments gebildet, und diese mit dem T-Test für abhängige bzw. unabhängige Gruppen verglichen.

4.3.1 Magenentleerung

Auf der Flughöhe 2500m ist die Magenentleerungshalbwertszeit ($T_{1/2}$) für die ballaststoffreiche Mahlzeit signifikant verlängert gegenüber der ballaststoffarmen Mahlzeit ($146,31 \pm 58,41$ min vs. $193,91 \pm 54,34$ min, $p=0,039$). Für die Flughöhe 1000m verkürzt sich dagegen der Mittelwert der Gruppe für die ballaststoffreiche Mahlzeit im Vergleich zur ballaststoffarmen Mahlzeit ($154,25 \pm 62,33$ min vs. $138,17 \pm 75,98$ min, n.s.), der Unterschied war jedoch nicht signifikant (vgl. Abbildung 29).

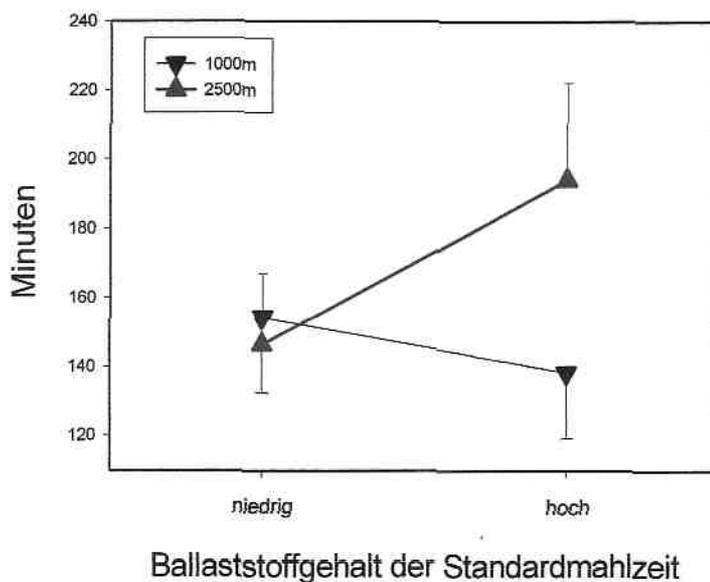


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Magenentleerungshalbwertszeit $T_{1/2}$ für beide Gruppen und beide Ballaststoffstufen (Mittelwerte, SD).

Tabelle 21:

Deskriptive Statistik zur Magenentleerungshalbwertszeit [min].

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Wilcoxon-Test
1000m	niedrig	154.25	62.33	69.46	262.08	n.s.
	hoch	138.17	75.98	76.48	296.24	
2500m	niedrig	146.31	58.41	68.34	244.23	p= 0.039
	hoch	193.91	54.34	112.26	267.86	

4.3.2 Herzrate

Dargestellt ist der Verlauf der Herzrate von der Baseline bis zum Ende des Atemtests. Für die Flughöhe 2500m erhöhte sich die Herzrate nach dem Start deutlich und blieb im weiteren Verlauf auf, bzw. geringfügig über Baseline-Niveau. Auf der Flughöhe 1000m war ein geringer Anstieg der Herzrate nach dem Start und der Einnahme der Mahlzeit nur für die Gruppe mit ballaststoffarmer Mahlzeit zu verzeichnen. In der Gruppe mit ballaststoffreicher Mahlzeit sinkt die Herzrate mit dem Startzeitpunkt kontinuierlich ab und erreicht schließlich Werte erheblich unter dem Baseline-Niveau. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nach varianzanalytischer Prüfung signifikant (Interaktion Flughöhe x Zeit: $F(1,72 / 22,35) = 5,89$; $p=0,011$).

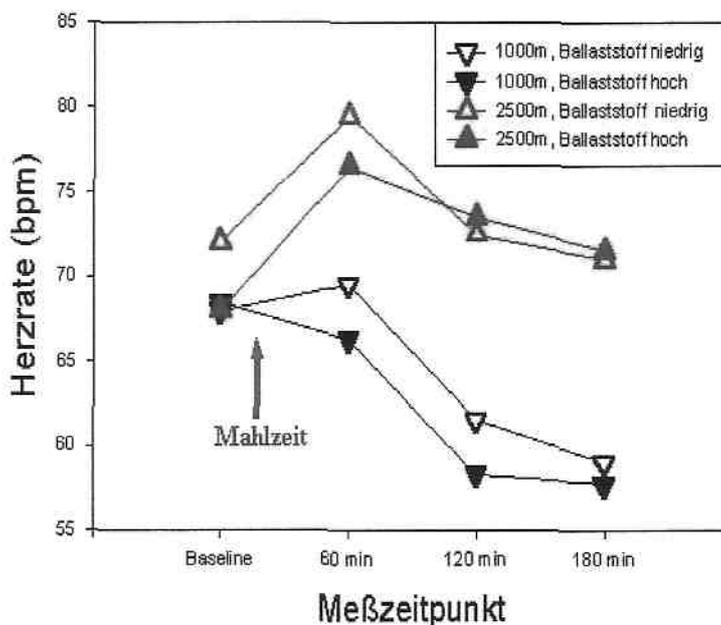


Abbildung 30: Grafische Darstellung der Herzratenverläufe für beide Gruppen und beide Ballaststoffstufen ([bpm] Mittelwerte).

Tabelle 22:

Deskriptive Statistik zur Herzrate.

Meßzeitpunkt	Ballaststoffgehalt	Flughöhe 1000m		Flughöhe 2500m	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Baseline	niedrig	66.29	9.76	72.00	9.07
	hoch	68.43	13.56	68.00	8.55
60 min	niedrig	68.57	7.46	79.50	5.83
	hoch	66.29	11.04	76.50	5.42
120 min	niedrig	61.14	9.15	72.50	6.57
	hoch	58.29	8.90	73.50	7.07
180 min	niedrig	58.86	9.44	71.00	2.83
	hoch	57.71	8.90	71.50	8.12

4.3.3 Blutdruck

Die Baselinewerte unterscheiden sich nicht signifikant. Im Verlauf der Simulation kommt es zu einem Absinken und gleichzeitig zu einer Annäherung der mittleren systolischen Blutdruckwerte zwischen den Gruppen. Der mittlere systolische Blutdruck schwankte zu Beginn der Simulation zwischen 122,5 und 134,2 mmHg, während die Messung zum Zeitpunkt 4 Werte zwischen 105,8 und 111,0 mmHg ergab. Auch der diastolische Blutdruck sinkt nach dem Start der Simulation und dem Verzehr der Mahlzeit ab. Zwischen den Messzeitpunkten 60 und 120 Minuten steigt der diastolische Blutdruck auf der Flughöhe 1000m kurzfristig wieder an, gefolgt von einem erneuten Absinken. Während die mittleren diastolischen Werte der Baseline zwischen 81,2 und 88,5 mmHg schwankt, liegt der mittlere diastolische Blutdruck für alle Teilnehmer zum Messzeitpunkt 4 zwischen 76,2 und 78,1 mmHg. Die varianzanalytische Auswertung des Blutdrucks ergab keinen signifikanten Effekt.

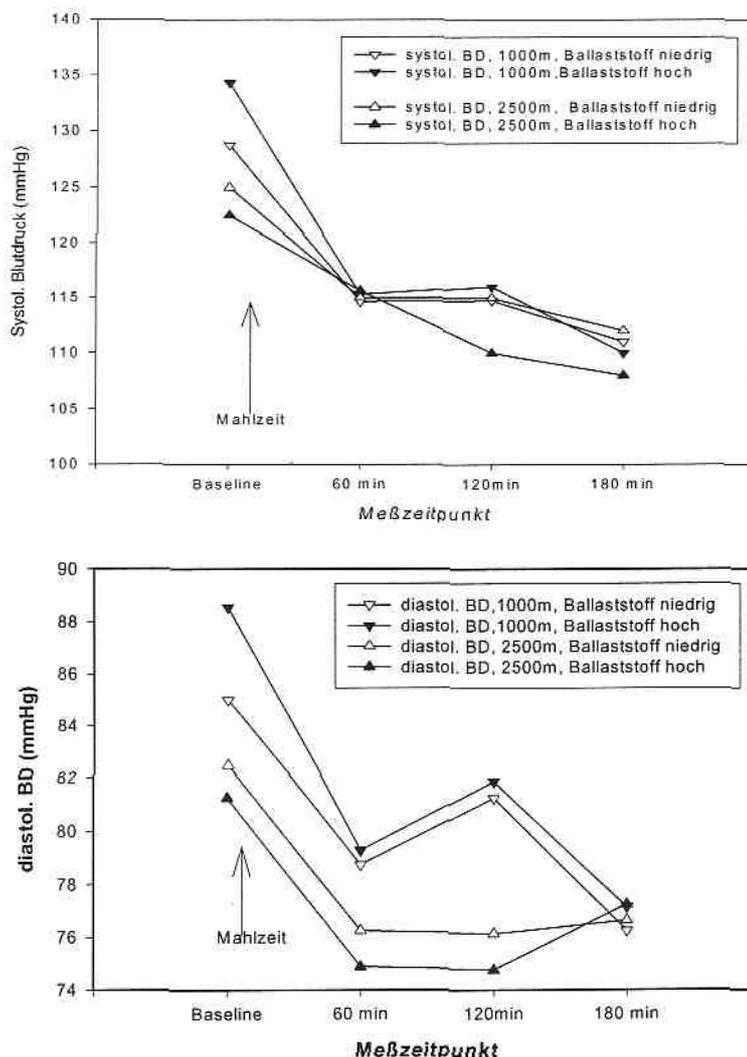


Abbildung 31: Grafische Darstellung der Blutdruckverläufe (oben **systolischer** Blutdruck, unten **diastolischer** Blutdruck) für beide Gruppen und beide Ballaststoffstufen (Mittelwerte) für die Baseline und die Messzeitpunkte bis zum Ende des Atemtests.

Tabelle 23:

Deskriptive Statistik zu den Blutdruckwerten auf 1000m.

Meßzeitpunkt	Ballaststoffgehalt	Systolisch		Diastolisch	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Baseline	niedrig	128.75	13.56	85.00	7.56
	hoch	134.29	9.76	88.57	6.90
1	niedrig	114.64	9.33	78.75	6.41
	hoch	115.29	8.88	79.29	7.87
2	niedrig	114.75	7.87	81.25	9.16
	hoch	116.00	6.98	81.86	8.22
3	niedrig	111.00	9.61	76.25	10.61
	hoch	110.00	7.07	77.14	8.09
4	niedrig	111.00	9.60	78.13	10.33
	hoch	110.00	13.23	76.43	8.99

Tabelle 24:

Deskriptive Statistik zu den Blutdruckwerten auf 2500m.

Meßzeitpunkt	Ballaststoffgehalt	Systolisch		Diastolisch	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Baseline	niedrig	125.00	9.26	82.50	10.35
	hoch	122.50	7.07	81.25	9.91
1	niedrig	115.00	8.86	76.25	5.42
	hoch	115.63	6.52	74.88	4.61
2	niedrig	115.00	7.43	76.13	8.63
	hoch	110.00	9.01	74.75	6.36
3	niedrig	112.00	6.91	76.63	9.07
	hoch	108.00	8.33	77.25	7.91
4	niedrig	105.88	5.25	77.00	6.39
	hoch	110.25	11.08	76.25	9.91

4.3.4 Ergebnisse der Fragebögen

Die Fragebögen zu gastrointestinalen Symptomen und allgemeiner Befindlichkeit wurden im Verlauf der 8-stündigen Flugsimulation von jedem Probanden stündlich ausgefüllt. Die Verläufe dieser abhängigen Variablen wurden zunächst mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen auf Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten innerhalb einer Bedingung geprüft. Da die Verläufe der Variablen über die Zeit keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, wurden die Daten innerhalb der Bedingungen über die Gruppe aggregiert und die Gruppenmittelwerte verglichen. Diese Gruppenvergleiche wurden mittels T-Test für abhängige bzw. unabhängige Gruppen durchgeführt.

4.3.4.1 Symptom: Bauchschmerzen

Für die Flughöhe 1000m ergibt sich für beide Mahlzeiten ein Mittelwert von 1,14 wobei die ballaststoffarme Mahlzeit jedoch einen etwas größeren Range aufweist. Auf der Flughöhe 2500m wird die Frage nach Bauchschmerzen überwiegend verneint, dies führt zu einem konstanten Wert von 1 für die ballaststoffarme Mahlzeit und einem Mittelwert von 1,07 für die ballaststoffreiche Mahlzeit.

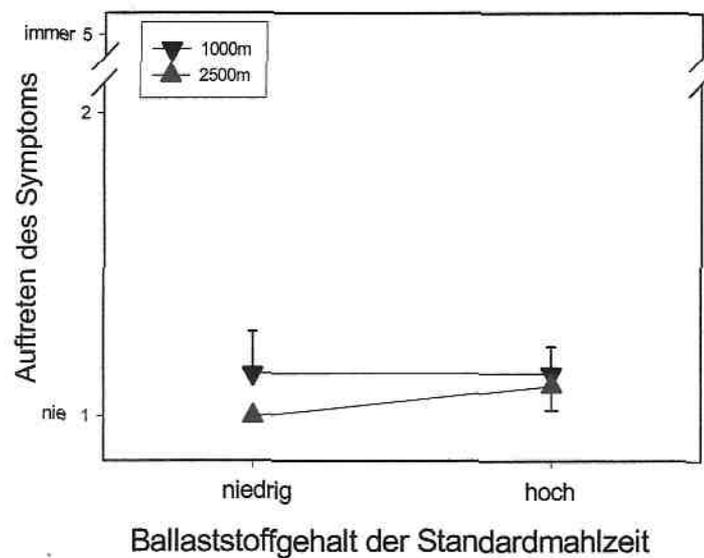


Abbildung 32: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Bauchschmerzen. Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen. Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppenmittelwerten.

Tabelle 25:

Deskriptive Statistik zum Symptom Bauchschmerzen.

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Test
1000m	niedrig	1.1406	.398	1.0	2.13	n.s.
	hoch	1.1406	.262	1.0	1.75	
2500m	niedrig	1.0	.0	1.0	1.0	n.s.
	hoch	1.07	.22	1.0	1.63	

4.3.4.2 Symptom: Völlegefühl im Oberbauch

Auf der Flughöhe 1000m beträgt der Mittelwert für das Symptom Völlegefühl für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,06, und für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,36. Dieser Unterschied ist nicht signifikant. Auf der Flughöhe 2500m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,07 und für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,33. Der Mittelwertsunterschied zwischen ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Mahlzeit auf der Flughöhe 2500m ist für das Symptom Völlegefühl signifikant ($p = ,022$).

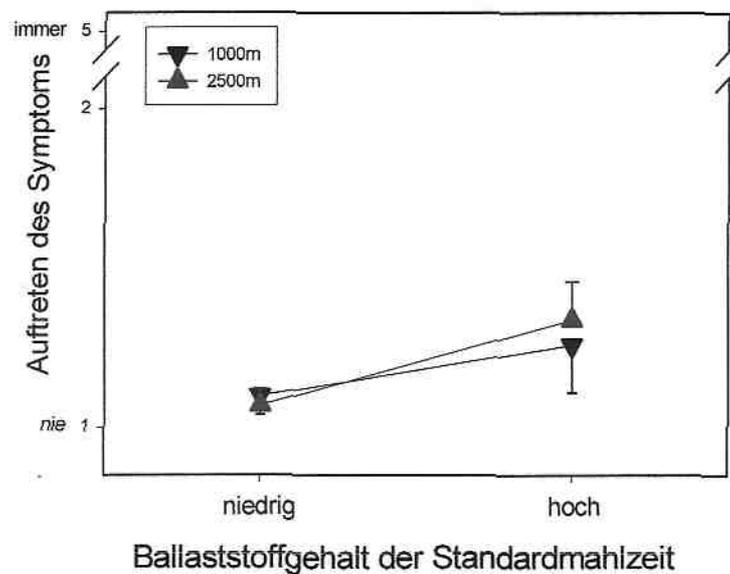


Abbildung 33: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Völlegefühl. Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen. Die Mittelwerte für die ballaststoffreiche und die ballaststoffarme Mahlzeit unterscheiden sich signifikant auf der Flughöhe 2500m ($p = ,022$).

Tabelle 26:

Deskriptive Statistik zum Symptom Völlegefühl

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
1000m	niedrig	1.06	.177	1.0	1.5	n.s.
	hoch	1.36	.435	1.0	1.88	
2500m	niedrig	1.07	.148	1.0	1.38	p=.022
	hoch	1.33	.301	1.0	1.75	

4.3.4.3 Symptom: Blähbeschwerden

Auf der Flughöhe 1000m ist der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,55, für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,89. Auf der Flughöhe 2500m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,34, während der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,82 beträgt. Der Mittelwertsunterschied zwischen ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Mahlzeit auf der Flughöhe 2500m ist für das Symptom Blähbeschwerden signifikant ($p=,016$).

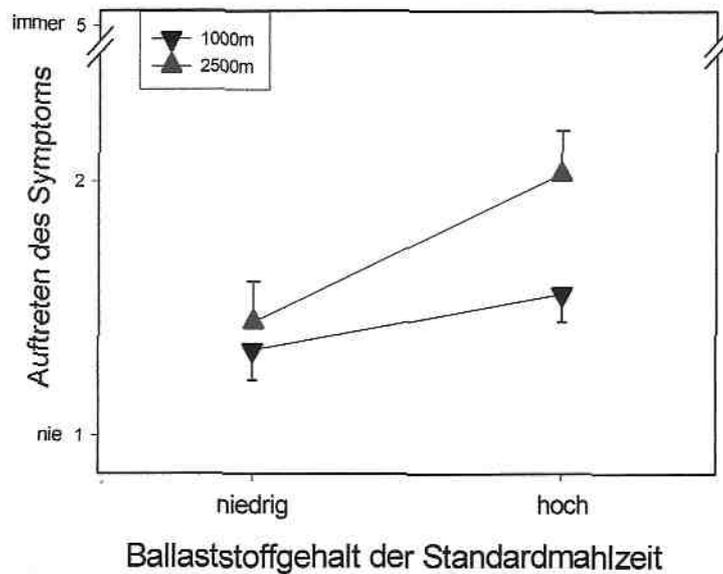


Abbildung 34: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Blähbeschwerden (zuviel Luft im Bauch). Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen. Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich auf der Flughöhe 2500m signifikant.

Tabelle 27:

Deskriptive Statistik zum Symptom Blähbeschwerden.

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	T-Test
1000m	niedrig	1.55	.502	1.0	2.63	n.s.
	hoch	1.89	.603	1.25	3.13	
2500m	niedrig	1.34	.351	1.0	1.88	p= 0.016
	hoch	1.82	.467	1.0	2.5	

4.3.4.4 Symptom: Windabgang

Auf der Flughöhe 1000m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,2 und für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,23. Auf der Flughöhe 2500m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,26 und für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,5. Die Mittelwerte unterscheiden sich nicht signifikant.

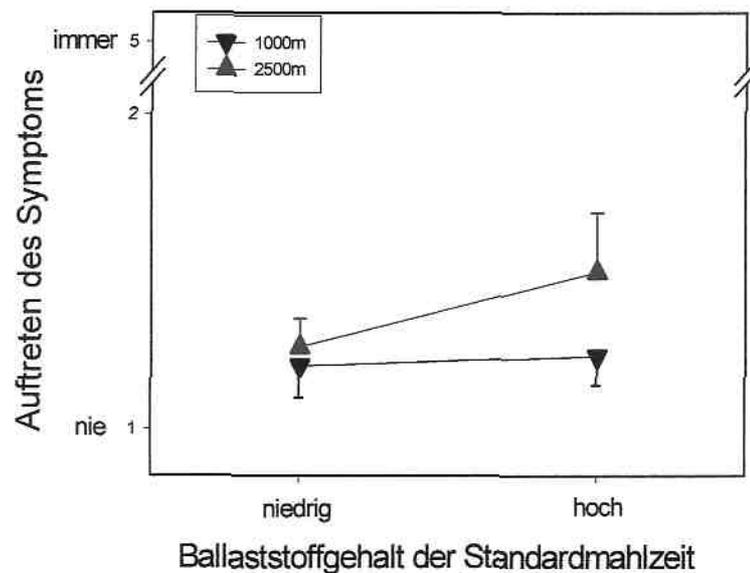


Abbildung 35: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Windabgang. Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen.

Tabelle 28:

Deskriptive Statistik zum Item Windabgang.

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Test
1000m	niedrig	1.2	.29	1.0	1.63	n.s.
	hoch	1.23	.262	1.0	1.75	
2500m	niedrig	1.26	.275	1.0	1.63	n.s.
	hoch	1.5	.53	1.0	2.5	

4.3.4.5 Symptom: Aufstoßen

Auf der Flughöhe 1000m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,25 und der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,27. Auf der Flughöhe 2500m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,28 und der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,18. Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich nicht signifikant.

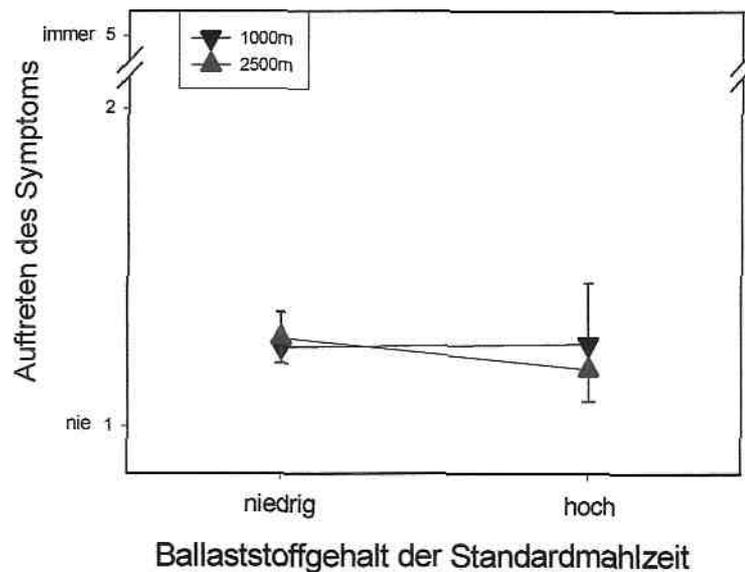


Abbildung 36: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Aufstoßen. Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen. Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppenmittelwerten.

Tabelle 29:

Deskriptive Statistik zum Item Aufstoßen.

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Test
1000m	niedrig	1.25	.306	1.0	1.75	n.s.
	hoch	1.27	.561	1.0	2.63	
2500m	niedrig	1.28	.229	1.0	1.63	n.s.
	hoch	1.18	.279	1.0	1.75	

4.3.4.6 Allgemeine Befindlichkeit

Die Mittelwerte für das Item allgemeine Befindlichkeit rangieren zwischen 3,56 und 4,0. Auf der Flughöhe 1000m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 3,85 und der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 3,56. Auf der Flughöhe 2500m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 3,96 und der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 4,0. Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich nicht signifikant.

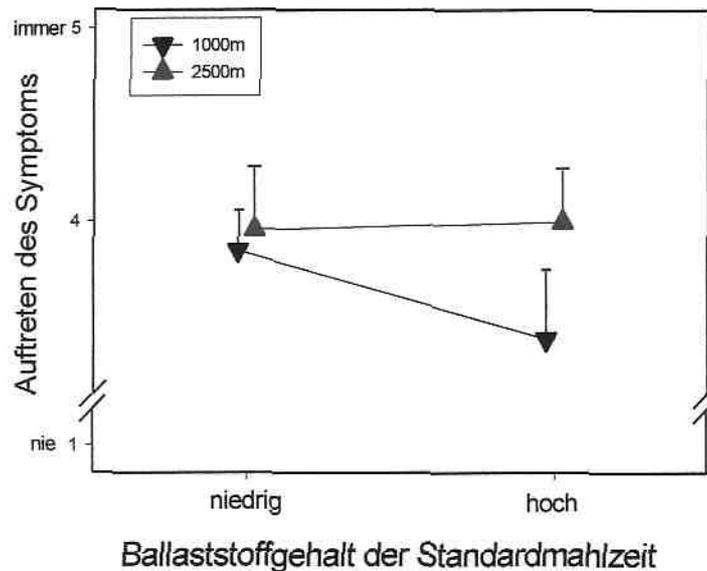


Abbildung 37: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Allgemeine Befindlichkeit. Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen. Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppenmittelwerten.

Tabelle 30:

Deskriptive Statistik zum Item Allgemeine Befindlichkeit.

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Test
1000m	niedrig	3.85	.599	3.13	5.0	n.s.
	hoch	3.56	1.04	1.5	4.63	
2500m	niedrig	3.96	.951	2.75	5.0	n.s.
	hoch	4.0	.812	2.75	5.0	

4.3.4.7 Symptom: Sodbrennen

Auf der Flughöhe 1000m beträgt der Mittelwert für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,08 und der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,19. Auf der Flughöhe 2500m sind die Werte ebenfalls nahe bei 1: für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,0 und für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,03. Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich nicht signifikant.

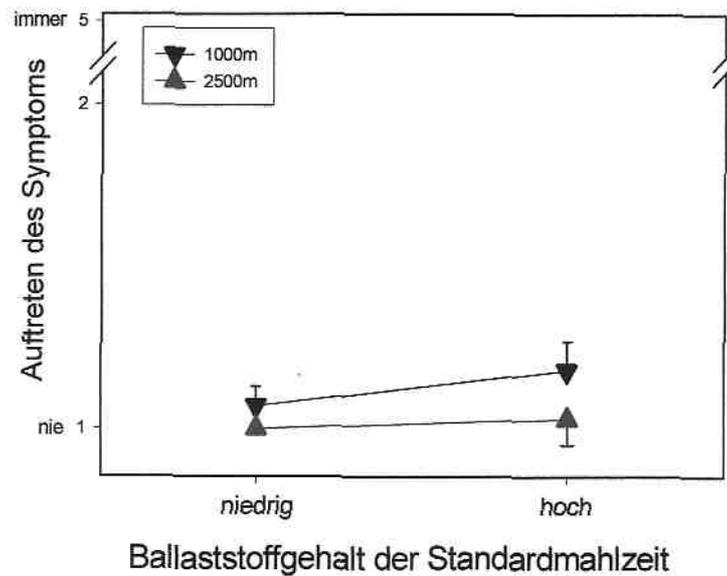


Abbildung 38: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Item: Sodbrennen. Dargestellt sind die Gruppenmittelwerte für beide Flughöhen und beide Ballaststoffstufen. Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppenmittelwerten.

Tabelle 31:

Deskriptive Statistik zum Symptom Sodbrennen.

Flughöhe	Ballaststoffgehalt	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Test
1000m	niedrig	1.08	.176	1.0	1.5	n.s.
	hoch	1.19	.267	1.0	1.63	
2500m	niedrig	1.0	.0	1.0	1.0	n.s.
	hoch	1.03	.088	1.0	1.25	

4.4 Diskussion Experiment III

Im Experiment III sollte untersucht werden, welchen Effekt der auf Langstreckenflügen veränderte Kabinendruck nach Verzehr von Mahlzeiten mit unterschiedlichem Ballaststoffgehalt auf Magenentleerung, gastrointestinale Symptome, und allgemeine Befindlichkeit, sowie auf Herzrate und Blutdruck hat.

Für den Vergleich zwischen ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Mahlzeit ergaben sich signifikante Unterschiede im Experiment III lediglich auf der Flughöhe 2500m für den Vergleich der Magenentleerungszeit und für den Vergleich der Symptome Völlegefühl und Blähungen.

Zwischen den Bedingungen 1000m Flughöhe und 2500m Flughöhe ergaben sich signifikante Unterschiede für den Vergleiche der Herzrate.

Für alle übrigen Vergleiche ergab sich kein signifikanter Unterschied.

4.4.1 Magenentleerungshalbwertszeit $T_{(1/2)}$

Auf der Flughöhe 2500m war die Magenentleerungszeit für die ballaststoffreiche Mahlzeit signifikant verlängert gegenüber der ballaststoffarmen Mahlzeit ($193,91 \pm 54,34$ min ballaststoffreich vs. $146,31 \pm 58,41$ min ballaststoffarm $p= 0,039$).

Für die Flughöhe 1000m ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Magenentleerungszeiten der beiden Ballaststoffstufen. Der Mittelwert der Magenentleerungszeit für die ballaststoffreiche Mahlzeit war hier geringfügig kürzer im Vergleich zur ballaststoffarmen Mahlzeit ($154,25 \pm 62,33$ min ballaststoffarm vs. $138,17 \pm 75,98$ min ballaststoffreich, n.s.).

4.4.1.1 Magenentleerung auf der Flughöhe 1000m

Für die Flughöhe 1000m ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Magenentleerungszeiten der beiden Ballaststoffstufen. Dies bedeutet, dass die simulierte Flughöhe von 1000m keine Veränderung in der Magenentleerungszeit zwischen ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Mahlzeit bewirkte. Die verwendeten Standardmahlzeiten entsprachen den im Experiment II verwendeten Mahlzeiten. Sie unterschieden sich nur geringfügig in der Nährstoffzusammensetzung und dem Kaloriengehalt, jedoch stark im

Ballaststoffgehalt. Wie auch schon im Experiment II fand sich kein signifikanter Unterschied. Dies entsprach den Erwartungen, da die Flughöhe 1000m als Kontrollbedingung zur Flughöhe 2500m gewählt wurde da bis zu 1000m keine gravierenden Einflüsse auf den Organismus zu erwarten sind. Auch Patiententransporte sind in der Regel bei einer Flughöhe bis zu 1000 m möglich (Grossmann, 1985).

Die Ergebnisse der Herzrate und der Messung des Blutdrucks für die Flughöhe 1000m zeigten, dass diese experimentelle Bedingung tatsächlich keine signifikanten physiologischen Veränderungen herbeiführte, wie sie bei realen Flügen auftreten. Die Herzrate fiel, wie bereits im Experiment II, das die gleichen Mahlzeiten bei normalem atmosphärischem Druck verglich, im Verlauf des Experiments stetig ab. Auch für den Blutdruck ergaben sich keine signifikanten Veränderungen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Bedingung Flughöhe 1000m hinreichend unterschiedlich von der Bedingung 2500m war um als Kontrollbedingung zu dienen. In ihren physiologischen Auswirkungen auf den menschlichen Organismus und damit auch auf die Mechanismen der Magenentleerung entsprach die Flughöhe 1000m offensichtlich eher den Druckbedingungen, wie sie beim Experiment II herrschten, obwohl beim Aufstieg ein Druckausgleich durch die Eustachischen Tuben zu bemerken war. Die Magenentleerungszeiten erwiesen sich im statistischen Vergleich als nicht signifikant unterschiedlich. Beide Werte (154 min bzw. 138 min) entsprachen in etwa den in anderen Studien gefundenen Zeiten, wenn der Kaloriengehalt der Standardmahlzeiten annähernd übereinstimmte (Perracchi et al., 2000). Auf der Flughöhe 1000m verursachte demnach der unterschiedliche Ballaststoffgehalt der Mahlzeiten keinen signifikanten Unterschied in den mittels ^{13}C -Atemtest ermittelten Magenentleerungszeiten bei gesunden Probanden.

4.4.1.2 Magenentleerung auf der Flughöhe 2500m

Auf der Flughöhe 2500m zeigte sich die Magenentleerungszeit für die ballaststoffreiche Mahlzeit signifikant verlängert gegenüber der ballaststoffarmen Mahlzeit ($193,91 \pm 54,34$ min ballaststoffreich vs. $146,31 \pm 58,41$ min ballaststoffarm, $p = 0,039$). Dieses Ergebnis bedeutet, dass die

verlängerte Magenentleerungszeit für die ballaststoffreiche Mahlzeit im Vergleich zur ballaststoffarmen Mahlzeit auf den veränderten Umgebungsdruck zurückzuführen ist. Wie bereits einführend dargestellt wurde, wird die Magenentleerungszeit normalerweise von der Nährstoffzusammensetzung, dem Kaloriengehalt, und dem Volumen (Hunt et al., 1985) der Mahlzeit, sowie von der Dichte, Osmolarität und Viskosität des resultierenden Mageninhalts (Rüssel & Bass, 1985) beeinflusst. Die beiden verwendeten Standardmahlzeiten unterschieden sich nur geringfügig bezüglich des Kaloriengehalts und der Nährstoffzusammensetzung, es bestand jedoch ein großer Unterschied bezüglich des Ballaststoffgehalts, da die ballaststoffarme Mahlzeit nur 2g Ballaststoffe enthielt, die ballaststoffreiche Mahlzeit jedoch 20g Ballaststoffe. Da der Vergleich dieser Standardmahlzeiten auf dem Boden und auf einer simulierten Höhe von 1000m nicht zu signifikant unterschiedlichen Magenentleerungszeiten führte, kann davon ausgegangen werden, dass der erniedrigte Umgebungsdruck auf der simulierten Flughöhe von 2500m gemeinsam mit dem erhöhten Ballaststoffgehalt den signifikanten Unterschied in den Magenentleerungszeiten verursacht hat. Die Anpassungsmechanismen des Organismus an sinkenden Umgebungsdruck sind zum Teil gut untersucht, insbesondere Veränderungen in den Bereichen Respiration, Herz-Kreislauf-System und der Sinneswahrnehmungen. Untersuchungen zu Veränderungen im Gastrointestinaltrakt sind dagegen eher selten oder als in vitro Untersuchungen durchgeführt worden. Insbesondere die Wechselwirkungen von erniedrigtem Umgebungsdruck und Sauerstoffmangel auf das Verdauungssystem sind bisher nur unzureichend untersucht.

In der vorliegenden Arbeit wird beim Vergleich der Ergebnisse von Experiment II und Experiment III deutlich, dass die signifikanten Unterschiede im Experiment III durch die Wirkung der räumlichen und zeitlichen Summation der Stimuli, Ballaststoffgehalt, Luftdruck und Sauerstoffverminderung verursacht wurden.

4.4.1.2.1 Historische Untersuchungen zur Magenentleerung bei Unterdruck

Im Jahre 1936 veröffentlichte van Liere unter Hinweis auf die zunehmende Zahl von Flugzeugpassagieren eine Untersuchung zur Magenentleerungszeit bei Unterdruck an gesunden männlichen Probanden. Drei Jahre zuvor hatte er die Magenentleerung in einer Unterdruckkammer bei Hunden untersucht und mit abnehmendem Umgebungsdruck eine Verlängerung der absoluten Magenentleerungszeiten gefunden. Wie schon in diesem Tierversuch, mussten auch die menschlichen Probanden im Folgeexperiment zur Messung der Magenentleerung mittels Röntgenaufnahmen die Unterdruckkammer verlassen. Er verglich die absoluten Magenentleerungszeiten von 6 Probanden auf dem Boden mit den Magenentleerungszeiten auf 2600m, 3300m und 4500m und fand bei 17 von 19 Messungen in der Unterdruckkammer eine verlängerte Magenentleerungszeit im Vergleich zur Kontrollmessung außerhalb der Kammer. Zur Erklärung dieses Effekts bezieht van Liere sich auf eine weitere, zuvor von seiner Arbeitsgruppe veröffentlichten tierexperimentellen Arbeit mit Hunden, in der ein vagal vermittelter Verschluss des Pylorus und eine verminderte Magenmotilität als Ursache für die verzögerte Magenentleerung bei Hypoxie diskutiert wurden (Crisler & van Liere, 1935). Shocket und Mitarbeiter bezogen sich auf die Arbeiten von van Liere und führten 1953 ebenfalls eine Untersuchung zum Effekt des Unterdrucks auf die Magenentleerung beim Menschen durch. Sie untersuchten 5 männliche Probanden jeweils zweimal auf einer simulierten Höhe von 4000m und auf Meereshöhe. Es wurde eine mit Bariumsulfat markierte Standardmahlzeit verabreicht. Die Standardmahlzeit bestand aus 75g Rührei mit Schinken, 75g Fruchtcocktail, 10g Kräcker und 200 ccm Kaffee und war damit eher ballaststoffarm (ca. 3,5g Ballaststoffe) und von relativ geringem Kaloriengehalt (ca. 190kcal.) Die Magenentleerung wurde in der Druckkammer mittels Röntgenaufnahmen in 20 Minuten Intervallen überprüft. Entgegen den Erwartungen der Arbeitsgruppe zeigte sich jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Magenentleerungszeit auf dem Boden und der Magenentleerungszeit auf einer simulierten Höhe von 4000m. Der Grund für diese unterschiedlichen Ergebnisse liegt wahrscheinlich

in der hohen interindividuellen Variation von Magenentleerungszeiten und dem geringen Stichprobenumfang in der Untersuchung von Shocket et al. (1953).

4.4.1.2.2 Mechanismen der Höhenanpassung

Einführend wurde bereits dargestellt, dass sowohl ein sinkender Umgebungsdruck als auch der daraus resultierende sinkende Sauerstoffpartialdruck verschiedene physiologische Veränderungen und Anpassungsvorgänge im menschlichen Organismus auslöst. Wesentliche Ausgangspunkte für diese Veränderungen sind die durch Hypoxie ausgelöste erhöhte Aktivität des sympathischen Nervensystems und die Ausdehnung der Gase in Körperhöhlen (Duplain et al., 1999; Hansen und Sander, 2003). Beide Vorgänge haben letztlich auch eine Beeinflussung der Verdauung sowie der damit verbundenen viszeralen Perzeption zur Folge. Van Liere schloss aus seinen Ergebnissen in den 30er Jahren bereits auf eine ursächliche Beeinflussung der Magenentleerung unter Hypoxie durch das autonome Nervensystem (van Liere, 1936). Eine Erhöhung der Aktivität des sympathischen Nervensystems bereits nach kurzfristigem Sauerstoffmangel wiesen Duplain und Mitarbeiter in einer Untersuchung im Jahre 1999 an Bergsteigern nach. Derselbe Effekt wurde bei Patienten mit Schlafapnoe beschrieben, die im Schlaf zeitweise unter Sauerstoffmangel leiden (Imadojemu et al., 2001). In einer Untersuchung an neun gesunden Probanden auf Meereshöhe und nach 5 Wochen auf 5000m wiesen Calbet et al. 2003 nach, dass diese erhöhte sympathische Aktivität fortbesteht, auch wenn nach der Anpassung an eine erniedrigte Sauerstoffzufuhr die O₂-Sättigung des Blutes auf Normalniveau zurückgekehrt ist.

Es kann also als gesichert gelten, dass ein Langstreckenflug bei Passagieren und bei den Mitgliedern der Flugzeugbesatzung zu einer erhöhten Aktivität des sympathischen Nervensystems führt. Dieselbe Beeinflussung des autonomen Nervensystems wurde demzufolge auch während der Flugsimulation auf 2500m wirksam.

4.4.1.2.3 Autonome Steuerung gastrointestinaler Funktionen

Die neurohumorale Beeinflussung der motorischen und sekretorischen Magenfunktion ist trotz umfangreicher Forschungsbemühungen bis heute noch nicht zur Gänze aufgedeckt. Insbesondere Untersuchungen zu den Effekten des sympathischen Nervensystems führten zu teilweise kontroversen Befunden. Die Aktivität des enterischen Nervensystems wird durch sympathische und parasympathische Einflüsse moduliert. Präganglionäre Fasern des Vagus und postganglionäre sympathische Fasern haben Verbindung mit dem ENS. Sympathische Fasern ziehen außerdem direkt zu den Gefäßen sowie zu Effektorzellen in der Magenwand. Die den Magen versorgenden sympathischen Fasern stammen aus den Ganglien coeliacum und mesentericum und sind von hier aus über die Nn splanchnici mit den vertebralen Ganglien und dem ZNS verbunden. Die adrenerge Innervation von Magenfundus und Korpus erfolgt durch sympathische Fasern aus dem Ganglion stellatum, die im N. Vagus verlaufen. Motilität und Tonus des Magens werden durch parasympathische Stimulation erhöht, während die sympathische Aktivität hemmend wirkt (Mayer, EA; 1994). Dieser hemmende Effekt wird wahrscheinlich durch die Inhibition der cholinergen Transmission im Plexus myentericus vermittelt (Seno & Nakasatu, 1978). Die Magensekretion wird ebenfalls durch die cholinerge Innervierung stimuliert. Eine hemmende Beeinflussung der Magensaftsekretion durch sympathische Aktivierung wurde in tierexperimentellen Untersuchungen bereits in den 50er Jahren nachgewiesen (Harris, 1956). Spätere Untersuchungen deckten komplexe und unterschiedliche Wirkungsmechanismen von α -adrenerger und β -adrenerger Stimulation auf.

Den Einfluss des autonomen Nervensystems infolge von Hypoxie auf den Magen, insbesondere auf Tonus und Motilität, untersuchten Kimura und Mitarbeiter 1993 bei Ratten. Sie fanden eine verstärkte Aktivierung von efferenten vagalen und sympathischen Fasern, die zu einer Hemmung sowohl des Magentonus als auch der Motilität führten. Eine Abschwächung dieser Hemmung zeigte sich bei bilateraler Sympathektomie des Magens. Dieser Effekt konnte jedoch nicht durch eine Vagotomie erzeugt werden. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Hemmung der Magenmotilität

unter Einfluß von Hypoxie überwiegend durch sympathische Fasern vermittelt wird. Christensen und Stadil führten 1976 Untersuchungen über die physiologische Bedeutung von Adrenalin und Noradrenalin für die Gastrinfreisetzung und die HCL-Sekretion im Magen durch. Ihre Untersuchungen ergaben, dass bereits eine geringe Erhöhung der basalen Plasmakonzentrationen dieser beiden Neurotransmitter zu einer Erhöhung der Serumgastrinkonzentration und zu einer Erhöhung der basalen HCL-Sekretion im Magen führt (Christensen & Stadil, 1976).

4.4.1.2.4 pH-Wert in Magen/Dünndarm und Magenentleerung

Im selben Jahr veröffentlichte Truchaud seine Untersuchungen zum gastralen pH-Wert in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck. Mit Hilfe telemetrischer Messungen während simulierter Höhengänge in einer Unterdruckkammer wies er nach, dass es bei Kabinenhöhen über 1500m sehr rasch zu einer Verschiebung des gastralen pH-Werts in den sauren Bereich kommt. Bei seinen Untersuchungen zeigte sich außerdem, dass diese Veränderungen auch nach dem Höhenabstieg noch einige Stunden anhalten (Truchaud, 1976; siehe Abbildung 39).

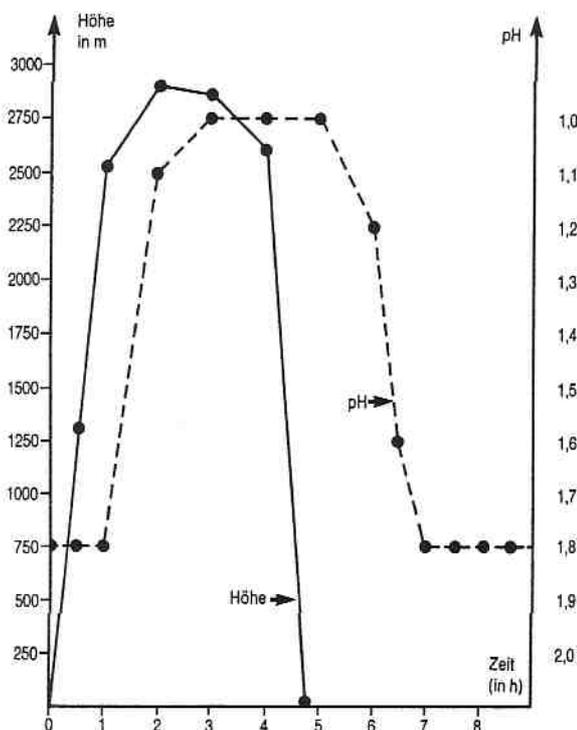


Abbildung 39: Magen-pH bei Höhenanstieg

Ab 1500m tritt eine schnelle Änderung des gastralen pH-Wertes zum sauren Bereich hin ein, der nach dem Abstieg noch einige Zeit andauert (Truchaud, M. Contribution à la barophysologie. Ann. Pharmaceut. Franc. 34 (1976) 399 - 405).

Der Magensaft ist für einen Teil der Verdauung zuständig. Er ist eine wässrige Lösung, die Salzsäure (pH 0,9 bis 1,5) und das eiweißspaltende Enzym Pepsin enthält. Bei der Verdauung von Nahrung im Magen werden die langkettigen Proteine (Eiweiße) durch das Enzym Pepsin in die kürzerkettigen Polypeptide zerlegt. Die beste Wirksamkeit hat Pepsin bei einem pH-Wert zwischen 1,5 und 3. Während der Nahrungsaufnahme erhöht sich die Säureproduktion, der Speisebrei puffert den Säuregrad allerdings auf ca. pH 2 - pH 2,5 ab. Die Schleimhautzellen an der Oberfläche produzieren einen zähen Schleim, der die Mucosa vor der Selbstverdauung durch Enzyme und vor einer Schädigung durch die Magensäure schützt.

Der pH-Wert ist ein Maß für den Säuregehalt einer Lösung. Der Begriff leitet sich von *Pondus Hydrogenii* (lat. *pondus* = Gewicht; *hydrogenium* = Wasserstoff) ab.

- pH 0 bis <7 entspricht einer sauren Lösung
- pH = 7 entspricht einer neutralen Lösung
- pH >7 bis 14 entspricht einer alkalischen Lösung

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus (log) der molaren Konzentration der Wasserstoff-Ionen in einer wässrigen Lösung. (Genauer gesagt, der pH-Wert ist der negative Wert des dekadischen Logarithmus der gemessenen Aktivität der Hydroniumionen in einer Lösung). $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+]$. Ein Absenken des pH-Wertes um eine Einheit bedeutet daher eine Verzehnfachung der Säurekonzentration.

Die von Truchaud gemessenen pH-Werte auf Flughöhen zwischen 1900m und 3100m weisen Differenzen bis zu pH 0.9 auf, was somit in etwa einer Verzehnfachung der Säurekonzentration entspricht. Die erhöhte Säurekonzentration hat Effekte auf die Motilität und damit auf die Magenentleerung. Den Einfluss des pH Werts in Antrum und Dünndarm auf die Säuresekretion und Gastrin-Antwort im Magen und auf die Magenentleerung untersuchten Merrouche et al. bereits 1985. Bei 9 gesunden Probanden zeigte sich nach einer flüssigen Standardmahlzeit die Magenentleerung verlangsamt, wenn der pH-Wert physiologischerweise nach der Mahlzeit im Antrum absank, verglichen mit einem konstant gehaltenen pH-Wert von 4,5. Die Frage, welcher Dünndarmabschnitt besonders sensitiv auf

eine Verschiebung des pH-Werts in Richtung sauer reagiert, untersuchten Lin et al. 1990 an Hunden. Bei 11 Hunden mit operativ gelegten Duodenal -und Jejunumfisteln wurde Lactatsäure (pH 2.4) und HCL (pH 0.96 - 1.6) intraluminal appliziert. Die Untersuchung ergab eine zunehmende Hemmung der Magenentleerung bei zunehmender HCL-Konzentration im proximalen Dünndarm, jedoch nicht für zunehmende Laktat-Konzentrationen. Eine Hemmung der Magenentleerung wurde nicht festgestellt bei Applikation von Säure in der distalen Hälfte des Dünndarms. Die hemmende Wirkung von Säure im Magen und im Dünndarm auf die Magenentleerung und Magenmotilität ist heute gesichert (Mayer, EA, 1994). In umfangreichen Untersuchungen an Ratten konnten Holzer und Mitarbeiter zeigen, dass eine erhöhte intragastrale Säurekonzentration die Magenmotilität und Magenentleerung über einen komplexen Mechanismus extrinsischer neuraler Reflexe beeinflusst. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, dass bei Eintritt der Säure ins Duodenum der Pylorus über einen vom N. Splanchnicus vermittelten duodeno-pylorischen Reflex geschlossen wird, um eine weitere Entleerung des Mageninhalts zu verhindern. Die nachfolgende Modulation der Magenmotilität und Erhöhung der Magensaftsekretion zur Verdünnung der Säurekonzentration geschieht über die Aktivierung von exzitatorischen und inhibitorischen enterogastralen Reflexen (Holzer et al., 2003).

Die hier angeführten Befunde weisen darauf hin, dass bei den Probanden während der Flugsimulation aufgrund einer erhöhten sympathischen Aktivierung der pH-Wert im Magen über die postprandiale Säurereaktion hinaus, in Richtung sauer verschoben wurde. Der Speisebrei puffert den pH-Wert nur geringfügig ab, und der niedrige pH-Wert im Antrum hemmt die weitere Entleerung des Magens (Merrouche et al., 1985). Bereits zu Beginn der Nahrungsaufnahme tritt Speisebrei vom Antrum in den proximalen Dünndarm über. Bei Eintritt des sauren Chymus in den Dünndarm kommt es über den duodeno-pylorischen Reflex zu einem Verschluss des Pylorus und nachfolgend zu einer Verringerung von Magentonus und Motilität und somit zu einer weiteren Hemmung der Magenentleerung (Holzer et al., 2003). Dieser Mechanismus kann bei allen Probanden angenommen werden.

4.4.1.2.5 Ballaststoffe und Magenentleerung

Zusätzlich wurde eine Verzögerung der Magenentleerung auch durch den Ballaststoffgehalt der Standardmahlzeit induziert. Insbesondere durch lösliche Ballaststoffe ergaben sich bereits in früheren Untersuchungen verlängerte Magen transitzeiten, wie auch schon im Experiment II diskutiert wurde (Eastwood & Brydon, 1985). Schwartz et al. fanden 1982 eine signifikante Verzögerung der Magenentleerungszeit durch eine tägliche Zugabe von 20g Pektin zu einer standardisierten Ernährung. Diese Wirkung wird insbesondere einer Erhöhung der Viskosität des Chymus zugesprochen (Krotiewsky, 1984; Spiller, 1994). Die Beigabe von 4,5g Guar Gum führt bei einer flüssigen Mahlzeit von 200ml zu einer Verzehnfachung der Viskosität (van Nieuvenhoven et al., 2001). Marciani et al. (2001) untersuchten den Einfluss von Viskosität und Nährwertgehalt auf die intragastrische Verteilung, die Magenentleerung und das Gefühl der Sättigung mittels MRI. In Ihrer Untersuchung verlangsamte eine höhere Viskosität die Magenentleerung und verlängerte das Gefühl der Sättigung. Die Ergebnisse sprachen für einen additiven Effekt von Kaloriengehalt und Viskosität. Die zeitliche Summation chemischer und mechanischer Stimuli wird auch aus anderen Bereichen des menschlichen Gastrointestinaltrakts berichtet. So vermindert z.B. die Infusion von HCL in den Ösophagus die Schmerzschwelle für eine Ballondehnung bei gesunden Probanden (Mehta et al., 1995).

Die ballaststoffreiche Testmahlzeit im Experiment III enthielt 12g lösliche Ballaststoffe, davon 9g Guar Gum. Diese Befunde lassen vermuten, dass sich im vorliegenden Experiment die säureinduzierte Hemmung der Magenentleerung zu der hemmenden Wirkung der Ballaststoffe summierte und somit zu einer gegenüber der ballaststoffarmen Mahlzeit signifikant verlängerten Magenentleerung für die ballaststoffreiche Mahlzeit führte.

4.4.1.2.6 Gastrointestinale Gasausdehnung und Magenentleerung

Darüber hinaus ist es möglich, dass die verlängerte Magenentleerung der ballaststoffreichen Mahlzeit auch noch über andere Mechanismen verursacht wurde. Eine weitere starke Beeinflussung kann auf den erniedrigten Umgebungsdruck zurückgeführt werden. Im Gastrointestinaltrakt befindet sich

normalerweise zwischen 0,5 und 1 Liter Gas, hauptsächlich im Kolon. Es kann davon ausgegangen werden, dass die normalerweise im Gastrointestinaltrakt befindliche Gasmenge im vorliegenden Experiment III durch den hohen Ballaststoffanteil der Standardmahlzeit wesentlich erhöht wurde. Im Experiment III setzten sich die 20g Ballaststoffe der ballaststoffreichen Mahlzeit aus ca. 12g lösliche und 8g unlösliche Ballaststoffe zusammen. Die im Dickdarm angesiedelten anaeroben Darmbakterien verfügen über Enzyme, mit deren Hilfe sie Teile der Ballaststoffe in kurzkettige Fettsäuren und Gase abbauen (fermentieren). Die über das Rektum ausgeschiedene Gasmenge beträgt im Schnitt 600 ml/Tag. Durch ballaststoffreiche Ernährung kann diese Menge sich jedoch auf das 10fache erhöhen. Lösliche Ballaststoffe werden zu einem größeren Anteil umgebaut, während unlösliche weniger stark fermentiert werden. Das Ausmaß des bakteriellen Abbaus wird durch die Verweildauer des Speisebreis im Dickdarm, die Partikelgröße der Ballaststoffe sowie die Gewöhnung an ballaststoffreiche Kost bestimmt (Scheppach & Kasper, 1985). Die im Gastrointestinaltrakt befindlichen Gase dehnen sich entsprechend dem niedrigen Umgebungsdruck aus, dabei kommt es zu einer Vergrößerung des Bauchumfangs und zum Hochdrängen des Zwerchfelles. Hierdurch können Unwohlsein, Übelkeit und Schmerz verursacht werden.

Derartige Gasansammlungen lösen sich, insbesondere wenn die Motilität des Gastrointestinaltrakts aufgrund der erhöhten sympathischen Aktivität vermindert ist und die betreffende Person in sitzender Position verharrt, nur langsam auf (Dainese & Serra, 2003). Gonlachanvit und Mitarbeiter wiesen in einer Untersuchung an 10 gesunden Probanden nach, dass unter einer ballaststoffreichen Ernährung (30g Psyllium/Tag) in den Dünndarm eingeleitete Gasmengen signifikant langsamer weitertransportiert und ausgeschieden werden als bei einer ballaststoffarmen Ernährung. In dieser Untersuchung zeigte sich außerdem bei ballaststoffreicher Ernährung eine signifikant verlängerte Lag-Phase bis zum ersten analen Gasabgang und eine signifikant verringerte Gesamtgasausscheidung. Die Autoren führten dieses Ergebnis auf die Beeinflussung der Kolonmotilität durch die ballaststoffreiche Ernährung zurück (Manning et al., 1977). Die Verminderung der Kolonmotilität

nach ballaststoffreicher Nahrung wurde auf eine Abnahme der nicht-propulsiven Kontraktionen zurückgeführt (Findlay, 1974). Gasansammlungen im Magen können in der Regel mit Hilfe einer Magensonde ohne Komplikationen abgeleitet werden. Im Ileum werden die stärksten Beschwerden induziert, Gasausdehnung im Duodenum führt verstärkt zur Nausea-Tendenz mit Erbrechen, begleitet von vasomotorischen Phänomenen wie Schüttelfrost und kaltem Schweiß, während vermehrte Gase im Kolon in der Regel ohne nennenswerte Beschwerden auf natürlichem Weg abgehen (Hageisten & Nolte, 1963).

Bei Gasansammlungen in bestimmten Bereichen sind diese Bereiche einer stärkeren Dehnung ausgesetzt. Eine derartige Dehnung in einem Bereich des Verdauungstrakts stellt einen potenten Stimulus für andere Teile des Verdauungstrakts dar, dies entdeckten bereits Anfang des 20sten Jahrhunderts Cannon und Murphy (1907). Sie beschrieben eine Hemmung der Magenentleerung durch die Manipulation des Dünndarms. Da dieser Effekt auch nach Durchtrennung der extrinsischen Innervierung fortbestand, schlossen die Autoren auf die Existenz eines autonomen enterischen Nervensystems. In der Folge wurden verschiedene solcher Reflexe auf gastrointestinaler Ebene untersucht und bestätigt. 1998 untersuchte Shafik an Hunden den Effekt einer Dehnung des Duodenums auf den Druck im Pylorus, Antrum und Magenkörper. Es zeigte sich, dass eine Dehnung des proximalen Dünndarms eine Erhöhung des Drucks im Pylorus und eine Verminderung des antralen Drucks zur Folge hatte, während der Druck im Magenkörper unbeeinflusst blieb. Diese Veränderungen hielten solange an, wie die Dehnung im Duodenum dauerte. Nach Vagotomie zeigte sich dieser Effekt nicht mehr.

Youle und Read konnten 1984 zeigen, dass die intermittierende Distention des Rektums die Verweildauer einer Mahlzeit im Magen sowie den Transport durch den Dünndarm verlängert und den Eintritt des Chymus ins Zäkum verzögert. Den Effekt einer rektalen Dehnung, wie sie bei einer Entleerungsstörung auftritt, auf den Transport des Speisebreis im Dünndarm, untersuchte auch Shafik im Jahre 2000. Er untersuchte 16 gesunde Probanden mit Hilfe eines Rektalballons und einer Drucksonde im Dünndarm.

Es zeigte sich, dass rektale Ballonfüllungen ab 100ml eine signifikante Verminderung des Drucks im Ileum und Jejunum zur Folge hatten, die solange anhielten, wie die Dehnung des Rektums aufrecht erhalten wurde. Die Autoren bezeichneten diesen Vorgang als recto-enterischen Reflex und vermuteten, dass diese Inhibition des intestinalen Transports physiologischerweise den Weitertransport von Speisebrei ins Kolon verhindern soll, bis das Rektum entleert ist. Die Auswirkungen einer rektalen Dehnung auf Tonus und Motilität des Kolons untersuchte die Arbeitsgruppe um Zinsmeister 2002 (Law et al., 2002). Es zeigte sich, dass sich sowohl der Tonus des Kolons als auch die phasische Motilität des Kolons während einer Dehnung des Rektums verminderte. Wobei die Schwelle höher war, wenn die Dehnung schrittweise und langsam erfolgte. Die hier angeführten Studien belegen somit, dass sowohl eine Dehnung des Dünndarms als auch eine Dehnung des Rektums zu einer Verzögerung der Magenentleerung und zu einer Verzögerung des Transports durch den Dünndarm führt.

Aufgrund der geschilderten Befunde kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden im Experiment III bei ballaststoffreicher Standardmahlzeit eine gesteigerte intestinale Gasproduktion entwickelten und diese Gasmengen durch den verminderten Umgebungsdruck eine weitere Volumenausdehnung erfuhren, und dass dieses Gas nur verlangsamt durch den Gastrointestinaltrakt transportiert wurde, so dass größere Gasansammlungen im Dünndarm und im Rektum wahrscheinlich zu einer Dehnung und reflektiv zu einer weiteren Verzögerung der Magenentleerung führten.

4.4.2 Herzrate und Blutdruck

Die Herzrate auf der simulierten Flughöhe 2500m war für beide Ballaststoffbedingungen signifikant höher als die Herzrate auf der Flughöhe 1000m. In großen Höhen tritt neben der Umstellung der Atmung eine Reaktion des gesamten Kreislaufs ein. Durch Abnahme des Vagotonus steigt zunächst die Herzfrequenz. Bei nicht höhenangepassten Personen ist bereits ab 2000m ein Herzratenanstieg auf bis zu 140 Schläge pro Minute möglich (Kressin, 1990). Bei Höhen über 2500m nimmt auch das Schlagvolumen des Herzens zu, im EKG finden sich Veränderungen im Erregungsablauf. In der

vorliegenden Studie wurde eine Flughöhe von 2500m bzw. für die Kontrollbedingung 1000m simuliert. Nach flugmedizinischen Erkenntnissen konnte also mit einem Anstieg der Herzrate für die Flughöhe 2500m gerechnet werden, während eine solche Reaktion bei der Simulation einer Flughöhe von 1000m noch nicht zu erwarten war (Großmann, 1985). Die Ergebnisse zur Herzrate im Kabinenexperiment entsprechen diesen Erwartungen. Die Herzrate stieg auf Grund des sinkenden Luftdrucks auf der simulierten Flughöhe von 2500m für beide Ballaststoffgruppen an, während die Herzrate auf der simulierten Flughöhe von 1000m kontinuierlich über die Zeit abnimmt. Der Unterschied zwischen den Gruppen (1000m vs. 2500m) ist signifikant. Während des Kabinenexperiments wurden die gleichen Standardmahlzeiten wie im Bodenexperiment verabreicht. Die unterschiedliche Reaktion der Herzrate im Kabinenexperiment kann als Bestätigung dafür gewertet werden, dass die gewählte experimentelle Variation der simulierten Flughöhen ihren Zweck erfüllte. Die physiologischen Belastungen und daraus resultierenden Anpassungsreaktionen des Organismus konnten offensichtlich für die Flughöhe 2500m entsprechend einem tatsächlichen Langstreckenflug simuliert werden. Für die Kontrollbedingung wurde ein Druckabfall entsprechend einem Aufstieg auf 1000m simuliert, hier zeigte sich kein Anstieg der Herzrate, sondern ein leichtes Absinken. Das stetige Absinken der Herzrate über die Zeit und nach dem Verzehr der Standardmahlzeiten wurde bereits im Ergebnis- und Diskussionsteil des Bodenexperiments beschrieben und diskutiert. Der Druckabfall beim Aufstieg auf 1000m wurde subjektiv wie ein realer Steigflug wahrgenommen, da er einen Druckausgleich des Mittelohrs durch die Tuben notwendig machte, hatte aber objektiv nicht die physiologische Wirkung des Druckabfalls eines realen Aufstiegs auf die bei Langstreckenflügen übliche Kabinenhöhe von 2500m. Dies belegt die Entwicklung der Herzrate, die nach dem Verzehr der Standardmahlzeit kurzfristig ansteigt, dann jedoch wieder auf Baselineniveau abfällt. Da die Herzrate durch einfaches ertasten des Radialispuls ermittelt wurde, sind hieraus detaillierte Rückschlüsse z.B. auf die Funktion des autonomen Nervensystems nicht möglich.

Für den systolischen und diastolischen Blutdruck wird von der Baseline bis

zum Messzeitpunkt 4 ein leichtes Absinken beobachtet. Die Blutdruckveränderungen erreichen jedoch keine signifikanten Veränderungen. Nach der Einnahme einer Mahlzeit wird mit nur geringer Reaktion des Blutdrucks gerechnet. In der Regel findet sich ein Abfall des diastolischen Blutdrucks und ein leichter Anstieg des systolischen Blutdrucks (Fagan et al., 1986; Sidery et al., 1992). Auf einen Höhenanstieg reagiert der Blutdruck bei Gesunden aufgrund vorgeschalteter kardiovaskulärer Anpassungsmechanismen erst relativ spät. Gesunde Menschen reagieren auf zunehmende Höhe ab ca 3000m mit steigendem systolischen und sinkenden diastolischen Blutdruck, also mit einer Verbreiterung der Druckamplitude (Grossmann, K; 1985). Im Bereich bis 3000m kompensiert der Anstieg der Herzrate bei Gesunden eine Reaktion des Blutdrucks. Wie bereits oben beschrieben, wurde dies im vorliegenden Experiment auch tatsächlich für die Probanden der Bedingung Flughöhe 2500m beobachtet. Das insgesamt leichte Absinken des Blutdrucks lässt sich daher am ehesten durch die sitzende Position der Probanden über mehrere Stunden hinweg erklären.

4.4.3 Symptome Völlegefühl und Blähungen auf der Flughöhe 2500m

Der statistische Vergleich der Symptome Bauchschmerzen, Völlegefühl, Blähbeschwerden, Windabgang, Aufstoßen, Sodbrennen und allgemeine Befindlichkeit führte nur für die Symptome Völlegefühl und Blähungen auf der Flughöhe 2500m zu einem signifikanten Unterschied zwischen ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Mahlzeit. Die Symptome und die allgemeine Befindlichkeit wurden auf einer 5-stufigen Skala (nie = 1, selten = 2, hin und wieder = 3, meistens = 4, immer = 5) erhoben. Der Vergleich zwischen den Bedingungen erfolgte über die Gruppenmittelwerte. Wie im Experiment II, erwies sich auch im Experiment III die Symptomausprägung über alle Bedingungen als eher gering. Die Mittelwerte variierten zwischen nie (= 1) und hin und wieder (= 3). Lediglich für das Item allgemeine Befindlichkeit kamen alle Antwortkategorien vor.

Der Mittelwert für das Symptom Völlegefühl betrug auf der Flughöhe 2500m für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,07 und für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,33. Dieser Unterschied ist signifikant ($p = ,022$).

Der Mittelwert für das Symptom Blähungen betrug auf der Flughöhe 2500m für die ballaststoffarme Mahlzeit 1,34, während der Mittelwert für die ballaststoffreiche Mahlzeit 1,82 betrug. Dieser Unterschied ist ebenfalls signifikant.

Diese Ergebnisse zeigen, dass eine ballaststoffreiche Mahlzeit im Vergleich zu einer ballaststoffarmen Mahlzeit in einer Gruppe gesunder männlicher Probanden während eines simulierten Langstreckenfluges signifikant vermehrt die gastrointestinalen Symptome Völlegefühl und Blähungen hervorruft.

4.4.3.1 Gastrointestinale Gasretention und Symptome

Beide Symptome werden unmittelbar mit intestinaler Gasretention und entsprechend mit intestinaler Dehnung sowie mit gestörter intestinaler Motilität und Perzeption in Beziehung gebracht (Feinle-Bisset et al., 2004; Cappelo et al., 2000). Die ballaststoffreiche Mahlzeit im Experiment war geeignet, eine verstärkte Gasentwicklung im Gastrointestinaltrakt hervorzurufen (Bianchi & Capurso, 2002), und der erniedrigte Umgebungsdruck hat eine weitere Ausdehnung der vorhandenen Gasmengen bewirkt. Wie bereits einführend geschildert und in der Diskussion durch entsprechende Studien belegt, wird durch den verringerten Umgebungsdruck eine Verminderung der Motilität im Gastrointestinaltrakt verursacht (Truchaud, 1976; Kimura et al., 1993; Mayer et al., 1994; Holzer et al., 2003). Hohe Ballaststoffmengen in der Nahrung und erniedrigter Umgebungsdruck gemeinsam sind somit geeignet, Symptome wie Völlegefühl und Blähungen hervorzurufen, wie es im vorliegenden Experiment auch tatsächlich zu beobachten war.

Serra und Kollegen wiesen 1998 nach, dass die Toleranz gegenüber in den Dünndarm eingeleiteter Gasmengen bei gesunden Probanden hoch ist, da auch größere Gasmengen normalerweise rasch weitertransportiert und ausgeschieden werden. Ist dieser Mechanismus jedoch gestört, so kommt es zur Gasretention, was abdominelle Dehnung und gastrointestinale Symptome zur Folge hat (Serra et al, 2001). In ihrem Handbuch zur Flugmedizin wiesen Hageisten und Nolte jedoch bereits 1963 daraufhin, dass die Lokalisation der Gastasche im Intestinum entscheidend ist für die Verursachung von Symptomen und Schmerzen. Sehr sensitiv für Dehnungsreize ist der Magen,

wie eine weitere Untersuchung von Serra et al., im Jahre 2002 zeigte. Eine im Magen verursachte Dehnung führt bereits bei geringen Drucksteigerungen zu einer verstärkten Symptomwahrnehmung. In einer Untersuchung zum Effekt von gastraler Dehnung und Fett im Duodenum auf den intestinalen Gastransport und die Gastoleranz bei gesunden Probanden zeigte sich, dass die Dehnung des Magens verstärkt zu Symptomen wie Völlegefühl und Schmerzen führte, ohne die Gasretention zu erhöhen, während die Infusion von Fett ins Duodenum die Gasretention signifikant steigerte, jedoch keine Erhöhung des Symptomscores zur Folge hatte.

4.4.3.2 Gastraler pH-Wert und Symptome

Coffin et al. untersuchten 2002 die Symptomwahrnehmung gesunder Probanden während gastraler Dehnung unter HCL- und NaCl Infusion. Die Symptome Übelkeit, Völlegefühl, Blähungen und Sodbrennen wurden auf einer 5-stufigen Skala bewertet. Es zeigte sich, dass die intragastrale Infusion einer physiologischen HCL-Dosis die Sensitivität des Magens für Dehnung bei Gesunden steigert, die Unterschiede erreichten jedoch nicht das Signifikanzniveau. Aufgrund dieser Ergebnisse liegt es nahe, dass bereits die durch den erniedrigten Umgebungsdruck ausgelöste Gasausdehnung der natürlicherweise im Magen vorhandenen Gasmenge zusammen mit dem durch sympathische Aktivierung verursachten erniedrigten gastralen pH-Wert bei den Probanden auf der Flughöhe 2500m zu einer Erhöhung der Symptomwerte für Völlegefühl führte.

Darüber hinaus ist jedoch anzunehmen, dass auch die erhöhten Symptomwerte für die ballaststoffreiche Bedingung auf eine Summation unterschiedlicher Mechanismen zurückzuführen sind. Mögliche Zusammenhänge zwischen physiologischen Veränderungen während Langstreckenflügen, Auswirkungen von Ballaststoffen im Gastrointestinaltrakt und der Verursachung von gastrointestinalen Symptomen wurden bereits diskutiert. Lösliche Ballaststoffe sind eher geeignet Beschwerden im Oberbauch, wie z.B. Völlegefühl, Aufstoßen und Sodbrennen zu verursachen, während unlösliche Ballaststoffe überwiegend zu Beschwerden wie Blähungen und Windabgang führen können. In der vorliegenden Arbeit

enthielt die ballaststoffreiche Testmahlzeit 20g Ballaststoffe, davon 12g löslich und 8g unlöslich. Durch eine Erhöhung der Viskosität des Speisebreis und einer Verminderung der Motilität verlängern lösliche Ballaststoffe den Verbleib des Chymus in Magen und Dünndarm verlängern, während unlösliche Ballaststoffe erst im Kolon fermentiert werden, und hier die intraluminale Gasmenge erhöhen (Eastwood, 1985; Spiller, 1994).

4.4.3.3 Gastrointestinale Gasausdehnung und Symptome

Wie bereits eingangs der Diskussion aufgezeigt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass der hohe Ballaststoffgehalt der ballaststoffreichen Testmahlzeit in Verbindung mit dem erniedrigten Umgebungsdruck zu einer wesentlichen Erhöhung der intestinalen Gasmenge bei den Probanden führte und dass sich vermutlich größere Gasansammlungen im Dünndarm und proximalen Kolon bildeten, da verursacht durch den niedrigen pH-Wert in Antrum und Duodenum und durch die Ballaststoffe selbst, die Motilität des Magens und Dünndarms vermutlich erheblich vermindert wurde. Diese Gasansammlungen führten in der Folge vermutlich zu den erhöhten Symptomwerten für Völlegefühl und Blähungen auf der Flughöhe 2500m unter der Bedingung ballaststoffreiche Testmahlzeit. Die Arbeitsgruppe um Azpiroz und Malagelada (Härder et al., 2003) untersuchte den Einfluss der intestinalen Gasmenge und der Gasverteilung auf die abdominelle Distention, Symptomausprägung und auf den Tonus von Dünndarm und Rektum. An 14 gesunden Probanden wurden Barostatmessungen des Dünndarm und des Rektums durchgeführt, während Gas in den Dünndarm bzw. ins Rektum eingeleitet wurde und ein analer Gasabgang für eine Stunde verhindert wurde. Ihre Ergebnisse zeigten, dass abdominelle Symptome überwiegend von der Verteilung der Gasmengen im Intestinum bestimmt werden, während die objektivierbare abdominelle Dehnung stärker mit der im Gastrointestinaltrakt vorhandenen absoluten Gasmenge zusammenhängt. In einer gesonderten Untersuchung wurde für beide Einleitungsorte die Verteilung des Gases über den Gastrointestinaltrakt mit Hilfe scintigraphischer Aufnahmen überprüft und die entstehenden Symptome erhoben. Bei Einleitung ins Jejunum kam es zu Gasansammlungen vorwiegend im Dünndarm und im Zäkum, bei Einleitung

ins Rektum verteilte sich das Gas überwiegend auf Rektum und Sigmaideum. Bei gleichbleibender Gasmenge wurden bei Einleitung des Gases in den Dünndarm signifikant stärkere Symptome für ausgedehntere Bereiche des Abdomen berichtet als bei Einleitung ins Rektum. Für beide, Dünndarm und Rektum zeigte sich jedoch der Symptomwert nach Gasinfusion gegenüber der Baselinebedingung erhöht. Die Probanden berichteten von Völlegefühl, Blähungen, und kolikartigen und stechenden Schmerzen. Nach Gaseinleitung in den Dünndarm bildeten sich die Symptome unmittelbar zurück, nachdem der Gasabgang wieder möglich war, wo hingegen eine Abschwächung der Symptome nach Gaseinleitung ins Rektum erst wahrgenommen wurde, nachdem 80% der eingeleiteten Gasmenge wieder ausgeschieden wurde. Diese Untersuchung bestätigt die bereits in der Flugmedizin (Hageisten & Nolte, 1963) berichtete höhere Sensitivität des Dünndarms für durch intestinale Gasmengen hervorgerufene Symptome. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen die Verursachung der signifikant erhöhten Symptomwerte für Völlegefühl und Blähungen im Experiment III durch Dehnung des Darms infolge von Gasansammlungen.

5 Zusammenfassende Diskussion

Eine Studie aus dem Jahre 1995 (Enck et al.) untersuchte gastrointestinale Beschwerden und Lebensqualität bei Flugpersonal (n=190) und Bodenpersonal (n=100) mittels Fragebögen. In dieser fanden Studie sich Symptome des oberen Gastrointestinaltrakts in 80% des Kabinenpersonals auf Langstreckenflügen und damit signifikant häufiger im Vergleich zu Kurzstrecken-Flugbegleitern und zum Bodenpersonal. Durchschnittlich wurden mehr als 2 Symptome geschildert. Die Symptome Aufstoßen und Blähungen wurden mit 56% bzw 51% als häufigste Beschwerden vom Personal auf Langstrecken genannt. Die allgemeine Befindlichkeit wurde vom Personal auf Langstreckenflügen signifikant schlechter eingeschätzt als von den Kollegen auf Kurzstrecken und es fand sich zudem eine signifikante negative Korrelation zwischen Symptomscore und allgemeiner Zufriedenheit mit der Gesundheit sowie der persönlichen Situation und der Situation am Arbeitsplatz.

Die Ergebnisse dieser Studie stellten die Grundlage für die vorliegende Arbeit dar. Die Beschwerden des Flugpersonals könnten durch Stressbelastung, durch den erniedrigten Kabinendruck, oder durch hohe Ballaststoffzufuhr hervorgerufen werden. In der vorliegenden Arbeit sollte der Zusammenhang zwischen Ballaststoffgehalt der Nahrung, gastrointestinalen Symptomen, allgemeiner Befindlichkeit und Umgebungsdruck untersucht werden.

Im Experiment I wurde eine Befragung zum Ernährungs- und Stuhlverhalten an 45 Flugbegleiterinnen auf der Strecke Frankfurt - San Francisco durchgeführt, um aktuelle Daten zu erhalten. Erfragt wurden stündlich die Ereignisse: Nahrungsaufnahme, Blähbeschwerden und Stuhlgang. Es ergab sich für jede der drei Variablen eine hochsignifikante Veränderung durch den Hin- bzw. Rückflug. Während der Flüge nahm die Häufigkeit der Nahrungsaufnahme zu, dagegen wurde das Aufsuchen der Toilette von vielen Flugbegleiterinnen während der Flugzeiten vermieden. Das Symptom Blähungen trat ebenfalls signifikant häufiger während der Flugzeiten verglichen mit den Nicht-Flugzeiten auf. Diese Ergebnisse bestätigten grundsätzlich die Ergebnisse von Enck et al.. Während des Fluges häufig Nahrung aufzunehmen und gleichzeitig die Stuhlentleerung zu unterdrücken,

könnte eine Ursache für die während des Fluges verstärkt auftretenden Blähungen sein. Die freiwillige Unterdrückung einer Defäkation führte bei gesunden Probanden zu einer Verlängerung der Kolontransitzeit, insbesondere durch einen Anstieg der Transitzeit im Rektosigmoid und im absteigenden Kolon (Klauser et al., 1990). Youle und Read wiesen 1984 nach, dass rektale Distention die Magenentleerung verzögert und den Transport des Chymus durch den Dünndarm verlangsamt. Es kann daher angenommen werden, dass eine verlängerte Verweilzeit des Chymus im Kolon und im Dünndarm zu einer verstärkten Fermentierung der Nahrungspartikel durch Darmbakterien führte und damit zu einer vermehrten Bildung von Darmgasen, die dann die Blähbeschwerden bei den befragten Flugbegleiterinnen auslösten. Da die Art der Nahrung in dieser Befragung weder standardisiert noch protokolliert wurde, kann diese Entstehung der Beschwerden jedoch nur vermutet werden. Ebenso könnte die Ausdehnung der im Intestinum vorhandenen Gasmengen aufgrund des erniedrigten Kabinendrucks für die Entstehung der Blähungen verantwortlich sein.

Im Experiment II sollte zunächst geklärt werden, ob verstärkte Blähbeschwerden und andere gastrointestinale Beschwerden bereits durch die Nahrungszusammensetzung, insbesondere durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt hervorgerufen werden können. An 30 gesunden männlichen Probanden wurde untersucht, wie sich ein Unterschied im Ballaststoffgehalt (2g vs. 20g) einer Standardmahlzeit bei gesunden männlichen Versuchspersonen in einem Laborraum unter atmosphärischem Normaldruck auf gastrointestinale Symptome, allgemeine Befindlichkeit, Herzrate, Blutdruck und Magenentleerungszeit auswirkt. In dieser Untersuchung ergab sich für keine der untersuchten abhängigen Variablen ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Durch die unterschiedlichen Ballaststoffmengen ergab sich weder ein signifikanter Unterschied in den Symptomwerten für Bauchschmerzen, Völlegefühl, Blähbeschwerden, Windabgang, Aufstoßen, Sodbrennen und allgemeine Befindlichkeit noch ein signifikanter Unterschied für die Magenentleerungszeit. Die Magenentleerungszeit der ballaststoffreichen Standardmahlzeit (223 Minuten) war jedoch tendenziell gegenüber der Magenentleerungszeit der ballaststoffarmen Standardmahlzeit

(181 Minuten) verlängert. Eine Verlängerung der Magenentleerungszeit durch ballaststoffreiche Ernährung wird auch in der Literatur beschrieben. Da die verlängerte Magentransitzeit im Experiment II jedoch nicht von einer Erhöhung der Ratings für die gastrointestinalen Symptome begleitet war, musste aus den Ergebnissen des Experiments II der Schluss gezogen werden, dass die in der Untersuchung von Enck et al. vom Flugpersonal geschilderten gastrointestinalen Symptome nicht ausschließlich durch die Aufnahme erhöhter Ballaststoffmengen begründet sind, sondern durch andere Variablen mitverursacht werden.

Im Experiment III sollte daher geklärt werden, welchen Effekt der auf Langstreckenflügen veränderte Kabinendruck nach Verzehr von Mahlzeiten mit unterschiedlichem Ballaststoffgehalt auf Magenentleerung, gastrointestinale Symptome, und allgemeine Befindlichkeit hat. In einer Unterdruckkammer wurde bei 16 gesunden Probanden der Effekt einer ballaststoffreichen Mahlzeit (20g Ballaststoffe) im Vergleich zu einer ballaststoffarmen Mahlzeit (2g Ballaststoffe) bei einem Umgebungsdruck von 690 mmHg (1000m) bzw. 565 mmHg (2500m) untersucht. Erhoben wurden die Symptome Bauchschmerzen, Völlegefühl, Blähbeschwerden, Windabgang, Aufstoßen, Sodbrennen und allgemeine Befindlichkeit sowie die Magenentleerungszeit. Es ergaben sich signifikante Unterschiede nur auf der Flughöhe 2500m für den Vergleich der Magenentleerungszeit zwischen ballaststoffarmer und ballaststoffreicher Mahlzeit sowie für den Vergleich der Symptome Völlegefühl und Blähungen. Beim Vergleich der Ergebnisse von Experiment II und Experiment III wird deutlich, dass die signifikanten Unterschiede im Experiment III durch die Wirkung der räumlichen und zeitlichen Summation der Stimuli; Ballaststoffgehalt, Luftdruck und Sauerstoffverminderung verursacht wurden. Maßgeblich für die im Organismus verursachten Veränderungen bei zunehmender Höhe ist die Aktivierung des autonomen Nervensystems. Sauerstoffmangel stimuliert Rezeptoren in der Karotis und im Hirnstamm und erhöht die sympathische Aktivität. In der Folge werden neben kardiovaskulären auch gastrointestinale Reaktionen hervorgerufen. So verschiebt sich für Höhen ab 1500m sehr rasch der gastrale pH-Wert in Richtung sauer (Truchaud, 1976), wodurch reflexiv eine Verminderung der

Motilität von Magen und Dünndarm ausgelöst wird (Lin et al. 1990). Ballaststoffe verzögern die Magenentleerung über die Erhöhung der Viskosität des Chymus (Krotiewsky, 1984; Spiller, 1994). In einer Untersuchung von Schwartz et al. (1982) wurde die Magenentleerungszeit durch 20g Pektin signifikant verlängert. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sprechen dafür, dass ein additiver Effekt beider Mechanismen für die verlängerte Magenentleerungszeit nach ballaststoffreicher Mahlzeit auf 2500m verantwortlich ist. Da Ballaststoffe nicht nur die Magenentleerungszeit verlängern, sondern auch Wirkungen im Kolon haben, gibt es für die signifikant verlängerte Magenentleerungszeit eine Alternativerklärung, die auch die signifikant erhöhten Symptomswerte für Völlegefühl und Blähungen erklärt: Die ins Kolon gelangenden Ballaststoffe werden hier von anaeroben Darmbakterien in kurzkettige Fettsäuren und Gase fermentiert. Die Gase dehnen sich entsprechend dem niedrigen Umgebungsdruck aus, und dehnen einzelne Bereiche des Verdauungskanals verstärkt auf, was reflektiv Veränderungen in anderen Bereichen des Gastrointestinalkanals verursacht und zu Symptomen und Schmerzen führen kann. Bestimmend für die reflektive Wirkung auf andere Bereiche des Gastrointestinaltrakts und die Symptomstärke ist die Lokalisation der Gastasche. Gasansammlungen im Dünndarm sind besonders geeignet Symptome hervorzurufen (Hageisten & Nolte, 1963). In Verbindung mit dem niedrigen pH-Wert wird im Magen die Schmerzschwelle für Dehnungsreize herabgesetzt (Coffin et al., 2001). Die hemmende Wirkung einer Rektumdistention auf die Magenentleerung und den Dünndarmtransit wiesen Youle und Read bereits 1984 nach, Shafik et al. zeigte 2000, dass rektale Ballonfüllungen ab 100ml eine signifikante Verminderung des Drucks im Ileum und Jejunum zur Folge hatten, die solange anhielten, wie die Dehnung des Rektums aufrecht erhalten wurde. Law et al., (2002) zeigte, dass sich sowohl der Tonus des Kolons als auch die phasische Motilität des Kolons während einer Dehnung des Rektums verminderte. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Probanden im Experiment III bei ballaststoffreicher Standardmahlzeit eine gesteigerte intestinale Gasproduktion entwickelten und diese Gasmengen durch den verminderten Umgebungsdruck eine weitere Volumenausdehnung erfuhren, so dass

größere Gasansammlungen im Dünndarm und im Rektum dort zu einer Dehnung und reflektiv zu einer Verzögerung der Magenentleerung und zu der verstärkten Ausprägung von Völlegefühl und Blähungen führte.

Coffin et al., (2002) wiesen in einer Untersuchung an gesunden Probanden nach, dass die Schwelle für Symptomwahrnehmung (Übelkeit, Völlegefühl, Blähungen, Sodbrennen) während einer gastraln Dehnung durch HCL-Infusion in den Magen erheblich gesenkt wird.

Im Experiment II wurden die Symptome entsprechend der Gesamtlänge der Untersuchung während 4 Stunden nach Verzehr der Mahlzeit alle 60 Minuten erhoben. Im Experiment III wurden die Symptome während der gesamten Flugzeit (8 Std.) stündlich erhoben, um die Effekte eines realen Fluges möglichst genau abzubilden. Um diesem Unterschied Rechnung zu tragen, wurden die Verläufe der Symptomwerte zunächst mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen auf Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten innerhalb einer Bedingung geprüft. Nachdem sich hier für beide Experimente keine signifikanten Unterschiede zeigten, wurden die Daten innerhalb der Bedingungen für jedes Symptom über die Gruppe aggregiert und die Gruppenmittelwerte verglichen. In der Baselinemessung gab es keinen Unterschied zwischen den Gruppen. Insgesamt war die Symptomausprägung auch im Verlauf der Experimente eher gering. Die maximale Variation zeigte sich beim Symptom Blähungen, das Mittelwerte zwischen 1 (=nie) und 3,4 (hin und wieder) aufwies. Dennoch führte die experimentelle Variation während der Flugsimulation auf 2500m zu einem signifikant höheren Symptomwert für Völlegefühl und Blähungen unter ballaststoffreicher Mahlzeit.

In der Untersuchung von Enck et al. (1995) an Flugpersonal fanden sich Symptome des oberen Gastrointestinaltrakts signifikant häufiger bei Flugpersonal auf Langstreckenflügen im Vergleich zu Kurzstrecken-Flugbegleitern und zum Bodenpersonal. Die Symptome Aufstoßen und Blähungen wurden mit 56% bzw. 51% als häufigste Beschwerden vom Personal auf Langstrecken genannt. In der vorliegenden Arbeit wurde auch das Symptom Aufstoßen erfragt, dieses Symptom wurde jedoch zu keiner Bedingung von den Probanden signifikant häufiger genannt. Beide Symptome, Aufstoßen und Völlegefühl können durch erhöhte Gasmengen im

Magen hervorgerufen werden. Das Symptom Aufstoßen wird verursacht wenn der intragastrale Druck den Ösophagusdruck übersteigt, die Luft kann dann aus dem Magen entweichen. Beide Symptome können jedoch auch andere Gründe haben: Völlegefühl kann auch durch große Mahlzeiten, sowie erhöhte Gasmengen im Dünndarm oder Kolon hervorgerufen werden, Aufstoßen kann durch eine Hiatushernie oder Ösophagitis verursacht sein. Da beide Symptome unter der Bedingung erniedrigter Umgebungsdruck beobachtet wurden, kann jedoch vermutet werden, dass beide im Experiment auch auf die gleichen Ursachen zurückzuführen sind. Im Unterschied zum Kabinenpersonal, dass während des Fluges überwiegend in Bewegung ist, saßen die Probanden im Experiment III überwiegend auf ihren Sitzplätzen, da während des Atemtests aufstehen möglichst vermieden werden sollte, und zudem die Druckkammer nur wenig Platz zum Umhergehen bot. Daines und Serra untersuchten 2004 den Effekt leichter physischer Aktivität (Ergometer vs sitzend) auf die intestinale Gasretention, die abdominelle Wahrnehmung und objektive Dehnung des Abdomen während Gas- und Fettinfusion ins Jejunum. Leichte physische Aktivität hatte eine signifikant geringere Gasretention und eine signifikant geringere abdominelle Dehnung zur Folge als ausschließliches Sitzen, es ergab sich jedoch kein Unterschied in der Wahrnehmung. Es ist daher anzunehmen, dass beim Kabinenpersonal die erhöhten Gasmengen im Magen aufgrund der vermehrten Bewegung auf natürliche Weise durch den Ösophagus entleert werden. Viel Bewegung wird seit jeher als probates und nebenwirkungsfreies Mittel bei Blähungen und Völlegefühl empfohlen.

In der von Enck et al., durchgeführten Untersuchung fand sich zudem für das Personal auf Langstreckenflügen eine signifikante negative Korrelation zwischen Symptomscore und allgemeiner Zufriedenheit mit der Gesundheit sowie der persönlichen Situation und der Situation am Arbeitsplatz.

Im Experiment III wurden die Probanden stündlich nach der Ausprägung ihrer Befindlichkeit und allgemeinen Zufriedenheit befragt. Es sollte so versucht werden ein Maß für das Befinden der Probanden außerhalb der gastrointestinalen Symptome zu erheben, da die mehrmals tägliche Erhebung eines Lebensqualitätsindex nicht sinnvoll ist. Für die Auswertung des

Items „allgemeine Befindlichkeit“ ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen. Ein Grund hierfür ist sicher auch, dass diese Frage von den Probanden nur im Hinblick auf ihre Situation während des Experiments zu beantworten war. Dies lässt zumindest den Schluss zu, dass die Teilnahme am Experiment IM die Stimmung der Probanden für beide Bedingungen nicht unterschiedlich beeinträchtigte. Es gibt in der Literatur Hinweise darauf, dass durch Höhenaufstieg hervorgerufene Hypoxie negative Effekte auf die Stimmung hat (Li et al., 2000). 18 gesunden Probanden wurden an vier separaten Versuchstagen auf einer simulierten Höhe von 300m, 2800m, 3600m und 4400m (Aufenthalt jeweils eine Stunde) ein Ängstlichkeitsfragebogen (S - AI) und ein Fragebogen zur Stimmung (POMS) vorgelegt. Ab 2800m verschlechterte sich die Stimmung signifikant mit zunehmender Höhe im Vergleich zur Kontrollmessung auf 300m.

Seit Jahren wird der Zusammenhang zwischen gastrointestinalen Erkrankungen und Lebensqualität wissenschaftlich untersucht. Nahrungsaufnahme und Verdauung, unbeeinträchtigt von Störungen, war schon immer ein Synonym für Lebensqualität. Heißt es doch im „Volksmund“: Essen und Trinken hält Leib und Seele zusammen. Wer hingegen Probleme hat, dem „liegt etwas im Magen“, er „bekommt nichts durch den Hals“, oder ihm „ist zum Kotzen“. Diese Redewendungen drücken die alltägliche Erfahrung aus, dass Beeinträchtigungen der gastrointestinalen Abläufe oft mit Problemen und Konflikten in anderen Bereichen einhergehen. Obwohl dyspeptische Beschwerden keine lebensbedrohende Erkrankung mit einer verringerten Lebenserwartung oder der Notwendigkeit von chirurgischen Eingriffen darstellen, sind die Betroffenen dennoch häufig durch abdominelle Schmerzen und andere Symptome erheblich in ihren täglichen Aktivitäten eingeschränkt oder befürchten eine ernsthafte Erkrankung aufgrund der Symptome und suchen in der Regel aus diesen Gründen ärztliche Hilfe (Lydeard & Jones, 1989). Talley und Mitarbeiter fanden in einer gemeindebasierten Befragung, dass Personen mit dyspeptischen Beschwerden generell höhere Stressbelastungen haben, unabhängig davon, ob sie wegen ihrer gastrointestinalen Symptome einen Arzt aufsuchen oder nicht (Talley et al., 1998). In experimentellen Untersuchungen zeigte sich, dass Stress geeignet

ist die Wahrnehmungsschwelle für viszerale Schmerzen zu senken und die kognitive Anpassungsfähigkeit zu vermindern (Holtmann et al., 1998).

Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ballaststoffreiche Ernährung in Verbindung mit niedrigem Umgebungsdruck bei gesunden Personen die Magenentleerungszeit signifikant verlängert und die Symptome Völlegefühl und Blähungen hervorruft.

- Eine Erklärung der Verursachung ist durch unterschiedliche Mechanismen möglich.
- Es ist anzunehmen, dass eine Summation dieser unterschiedlichen Mechanismen letztlich zu den Ergebnissen führte.
- Die in der vorliegenden Arbeit erhobenen Daten gestatten es jedoch nicht, Aussagen zum quantitativen Anteil einzelner Stimuli zum Gesamteffekt zumachen.

Ausblick

Den Ergebnissen dieser Arbeit zufolge müsste den Flugbegleitern geraten werden während des Umlaufs auf ballaststoffreiche Nahrung zu verzichten. Eine derartige Empfehlung fällt jedoch schwer, in Anbetracht der Tatsache, dass ballaststoffreiche Ernährung bei gesunden Menschen grundsätzlich wünschenswert erscheint. Zudem könnten die Ballaststoffe für die Flugbegleiter auch positive Effekte haben. So fand sich in einer Untersuchung von Tadesse nach der Zugabe löslicher Ballaststoffe zu einer Standardmahlzeit ein signifikant höherer pH-Wert in dem nach 30 Minuten aspiriertem Mageninhalt als nach einer Mahlzeit ohne lösliche Ballaststoffe. Dies könnte sich beim Kabinenpersonal positiv auf den aufgrund des Kabinendrucks niedrigen Magen pH Wert auswirken und so evtl. weiterreichende Folgen der Übersäuerung, wie z.B. Ulzerationen verhindern. Ballaststoffe haben positive Effekte auf das Stuhlgewicht, und die Stuhlfrequenz, indem sie beides erhöhen. Folgerichtig wird in der Untersuchung von Enck et al. (1995) vom Langstreckenpersonal nur von 6,3% Verstopfung als Symptom genannt. Dies ist, insbesondere wenn

angenommen wird, dass der Stuhlverhalt auf dem Flug für Flugbegleiter ein übliches Verhalten ist, ein relativ geringer Prozentsatz. Das Bodenpersonal hat dieses Symptom in 9% der Fälle angegeben.

Diese Überlegungen zeigen, dass mit dem vorliegenden Experiment nur ein geringer Teil der tatsächlich involvierten Mechanismen untersucht werden konnte. Die Effekte der physischen Aktivität sowie der Stressbelastung durch Zeitzonenüberquerung, Nachtdienst und soziale Interaktionen innerhalb der Crew sowie mit den Passagieren wurden in dieser Arbeit nicht untersucht. Zur Klärung komplexer Zusammenhänge ist es jedoch häufig sinnvoll ein experimentelles Vorgehen für die Klärung einzelne Teilbereiche zu wählen. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse müssen dann in den Gesamtzusammenhang reintegriert werden und zu neuen Fragestellungen führen. Bezogen auf den Problembereich der gastrointestinalen Beschwerden und der allgemeinen Befindlichkeit von Flugbegleitern auf der Langstrecke sollten weitere Untersuchungen mit Schwerpunkt auf Auswirkungen der Stressbelastung des Flugpersonals durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis**A**

- Aschoff J. Circadian periodicity as a basis of the sleep-wakefulness rhythm. In: Fatigue, sleep and dreams. (Ed Baust W). 1970; 59-98.
- Aschoff J, Hoffmann K, Pohl H, Wever R. Circadian Systems in man and their implications. *Hosp Pract* 1976; (11): 51-57.
- Aschoff J. Problems of reentrainment of circadian rhythms: Asymmetry effect, dissociation, and partition. In: *Environmental Endocrinology*. (Eds Assenmacher J, Farner DS). New York: Springer, 1978; 185-195.
- Aschoff J, Hoffmann R M, Pohl H, Wever R. Reentrainment of circadian rhythms after phase-shifts of the Zeitgeber. *Chronobiology* 1975; (2): 23-78.

B

- Barbera R, Feinle C, Read N W. Nutrient-specific modulation of gastric mechanosensitivity in patients with functional dyspepsia. *Digestive Diseases and Sciences* 1995; (40): 1636-1641.
- Bert P. *La Pression Barometrique*. Masson et Cie, Paris 1878.
- Bianchi M, Capurso L. Effects of guar gum, ispaghula and microcrystalline cellulose on abdominal Symptoms, gastric emptying, oro-caecal transit time and gas production in healthy volunteers. *Dig Liver Dis* 2002; (34): 129-133.
- Brogna A, Ferrara R, Bucceri A M, Catalano F, Natoli G, Leocata V. Gastric emptying rates of solid food in relation to body mass index: an ultrasonographic and scintigraphic study. *European Journal of Radiology* 1998; (27): 258-263.

C

- Calbet J A L. Chronic hypoxia increases blood pressure and noradrenaline spillover in healthy humans. *Journal of Physiology* 2003; (551): 379-386.
- Caldarella M P, Azpiroz F, Malagelada J-R. Antro-fundic dysfunctions in functional dyspepsia. *Gastroenterology* 2003; (124): 1220-1229.
- Camilleri M, Malagelada J-R. Gastric motility in disease. In: *Gastric and gastroduodenal motility*. (Eds Akkermans LMA, Johnson AG, Read NW). New York: Praeger, 1984; 131-147.
- Cannon W B, Murphy F T. Physiologic observation on experimentally produced ileus. *JAMA* 1907; (49): 843.
- Cappello G, Malatesta M G, Ferri A, Ciccaglione A F, Toarcchio S, Grossi L, Marzio L. Gastric emptying of a solid-liquid meal measured with ¹³C octanoic acid breath test and realtime ultrasonography: a comparative study. *American Journal of Gastroenterology* 2000; (95): 3097-3100.
- Christensen J. Gastrointestinal motility. In: *Best and Taylor's physiological basis of medical practice*. (Ed West JB). Baltimore: Williams and Wilkins, 1991; 12: 614-644.

Christensen K C, Stadil F. Effect of epinephrine and norepinephrine on gastrin release and gastric secretion of acid in man. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 1976; (37 Suppl): 81-86.

Coffin B, Chollet R, Flourrie B, Lemann M, Franchisseur C. Intraluminal modulation of gastric sensitivity to distension: effects of hydrochloric acid and meal. *American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology* 2001; (280): G904-G909.

Cottrell J J. Altitude Exposures during Aircraft Flight. *Chest* 1988; (92): 81-84.

Crisler G, van Liere E J, Wiles I A. The mechanism of the delay in gastric emptying time caused by anoxemia. *American Journal of Digestive Diseases and Nutrition* 1935; (2): 221.

D

Dainese R, Serra J, Azpiroz F, Malagelada J-R. Effects of physical activity on intestinal gas transit and evacuation in healthy subjects. *American Journal of Medicine* 2004; (116): 536-539.

Dainese R, Serra J, Azpiroz F, Malagelada J-R. Influence of body posture on intestinal transit of gas. *Gut* 2003; (52): 971-974.

Danzer M, Jovic M, Painsipp E, Pabst M A, Crailsheim K, Lippe I T, Holzer P. Stomach-brain communication by vagal afferents in response to luminal acid backdiffusion, gastrin, and gastric acid secretion. *American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology* 2004; (286): G403-G411.

De Groot-Böhlhoff, Hilka. Ernährungswissenschaft. Ernährungslehre für die Sekundarstufe. 1993, Europa-Lehrmittelverlag, Haan-Gruiten, Deutschland.

de Mey C, Enterung D, Brendel E, Meineke I. Postprandial changes in supine and erect heart rate, systemic blood pressure and plasma noradrenaline and renin activity in normal subjects. *European Journal of Clinical Pharmacology* 1987; (32): 471-476.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE), DGE-aktuell 17/2001 vom 18.09.2001.

Duplain H, Vollenweider L, Delabays A, Nicod P, Bartsch P, Scherrer U. Augmented sympathetic activation during short-term hypoxia and high-altitude exposure in subjects susceptible high-altitude pulmonary edema. *Circulation* 1999; (99): 1713-1718.

E

Eastwood M, Brydon W G. Physiological effects of dietary fibre on the alimentary tract. In: *Dietary Fibre, Fibre-Depleted Foods and Disease*. (Eds Trowell H, Heaton K). London: Academic, 1985; 105-132.

Eastwood M. The Physiological Effect of Dietary Fiber: An Update. *Annual Review of Nutrition* 1992; (12): 19-35.

Enck P, Mueller-Sacks E, Holtmann G, Wegmann H. Gastrointestinal Problems in Airline Crew Members. *Z Gastroenterol* 1995; (33): 513-516.

F

- Fagan T C, Sawyer P R, Gourley L A, Lee J T, Gaffney T E. Postprandial alteration in haemodynamics and blood pressure in normal subjects. *American Journal of Cardiology* 1986; (58): 636-641.
- Feinle-Bisset C, Vozzo R, Horowitz M, Talley NJ. Diet, food intake and disturbed physiology in the pathogenesis of Symptoms in functional dyspepsia. *American Journal of Gastroenterology* 2004; (99): 170-181.
- Feinle C, Rades T, Otto B. Fat digestion modulates gastrointestinal sensations induced by gastric distension and duodenal lipid in humans. *Gastroenterology* 2001; (120): 1100-1107.
- Findlay JM. Effects of unprocessed bran on colon function in normal subjects. *Lancet* 1974; 149.
- Frazer R J, Horowitz M, Maddox A F, Harding P E, Chatterton B E, Dent J. Hyperglycemia slows gastric emptying in type I diabetes mellitus. *Diabetologia* 1990; (33): 675-680.
- Frieling T, Enck P, Lübke H J, Strohmeyer G. Diagnostik gastrointestinaler Funktionsstörungen. *DMW* 1992; (117): 349-357.
- Frieling T. Interaktion zwischen enterischem und zerebralem Nervensystem. *Z Gastroenterol* 1993; (31): 21-25.
- Furness J B, Bornstein J C. *Textbook of Gastroenterology*. Lippincott, Philadelphia 1995.

G

- Gear JSS, Brodribb A J M, Warte A, Mann J I. Fiber and bowel transit times. *British Journal of Nutrition* 1981; (45): 77-81.
- Gershon M D, Kirchgessner A L, Wade P R. Functional anatomy of the enteric nervous system. In: *Physiology of the Gastrointestinaltract*. (Ed Johnson LR). New York: Ravens Press, 1994; 381-422.
- Ghoos YF, Geypens BJ, Maes BD, Hiele MI, Vantrappen G, Rutgeerts PJ. Breath Tests in Gastric Emptying and Transit Studies: Technical Aspects of 13 C02-Breath Tests. 1999. Ref Type: Pamphlet
- Ghoos Y F, Maes B D, Geypens B J, Mys G, Hiele M I, Rutgeerts P J, Vantrappen G. Measurement of Gastric Emptying Rate of Solids by Means of a Carbon-Labeled OctanoicAcid Breath Test. *Gastroenterology* 1993; (104): 1640-1647.
- Giger M, Brignoli R. Prevalence of upper abdominal complaints and their effect on the quality of life and utilization of medical resources. *Schweiz med Wschr* 1998; (128): 874-879.
- Gilja O H, Hausken T, Wilhelmsen I. Impaired accommodation of proximal stomach to a meal in functional dyspepsia. *Digestive Diseases and Sciences* 1996; (41): 689-696.
- Gill R C, Murphy P D, Hooper H R, Bowes K L, Kingma Y J. Effect of menstrual cycle

- on gastric emptying. *Digestion* 1987; (36): 168-174.
- Gonlachavit S, Coleski R, Owyang C, Hasler W L. Inhibitory actions of a high fibre diet on intestinal gas transit in healthy volunteers. *Gut* 2004; (53): 1577-1582.
- Goo R H, Moore J G, Greenberg E, Alazraki N P. Circadian Variation in gastric emptying of meals in humans. *Gastroenterology* 1987; (93): 515-518.
- Graeber R C, Gatty R, Halberg F, Levine H. Human eating behavior: Preferences, consumption patterns, and biorhythms. TR-78/022 1978.
- Greydanus M P, Vassallo M, Camilleri M. Neurohormonal factors in functional dyspepsia: insights in pathophysiological mechanism. *Gastroenterology* 1991; (100): 1311-1318.
- Grossmann K. *Flugmedizin. Leitfaden für die Praxis.* Deutscher Ärzteverlag, Köln 1985.
- H**
- Hageisten J, Nolte H. Medizinische Probleme beim Lufttransport Kranker und Verletzter. *Anaesthesist* 1963; (12): 271-277.
- Haisch M, Hering P, Fabinski W, Zöchbauer M. Isotopenselektive Konzentrationsmessungen an Atemgasen mit einem NDIR-Spektrometer. *tm* 1996; (63): 322-328.
- Halberg F, Comelissen G, Carandente F K. Glossary of Chronobiology. *Chronobiology* 1977; (4): 1-189.
- Hansen J, Sander M. Sympathetic neural overactivity in healthy humans after prolonged exposure to hypobaric hypoxia. *Journal of Physiology* 2003; (546): 921-929.
- Härder A, Serra J, Azpiroz F, Malagelada J-R. The Small Intestine is the Site of Intestinal Gas Retention Induced by Lipids. *Gastroenterology* 2003; (122): M1555.
- Harris E H L. The effect on noradrenaline on the gastric secretory response to histamine in the dog. *Journal of Physiology* 1956; (133): 498-505.
- Haug T T, Wilhelmsen I, Berstad A, Ursin H. Life events and stress in patients with functional dyspepsia compared with patients with duodenal ulcer and healthy controls. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 1995; (30): 524-530.
- Haug T T, Svebak S, Hausken T. Low vagal activity as mediating mechanism for the relationship between personality factors and gastric Symptoms in functional dyspepsia. *Psychosomatic Medicine* 1994; (56): 181-186.
- Haugli L, Skogstad A, Hellesoy O H. Health, sleep and mood perceptions reported by airline crews flying short and long hauls. *Aviat Space Environ Med* 1994; (65): 27-37.
- Hawkins F H. *Sleep and body rhythm disturbance in long-range aviation.* Schiphol Airport 1978.
- Hermansson G, Sivertsson R. Gender-Related Differences in Gastric Emptying Rate

of Solid Meals. *Digestive Diseases and Sciences* 1996; (41): 1994-1998.

Holley D C, Winget C M, DeRoshia C W, Heinold M P E D M, Kinney N E, Langston S E, Markley C L, Anthony J A. Effect of circadian rhythms phase alteration on physiological variables: Implications to pilot Performance. NASA Technical Memorandum 1981.

Holtmann G, Goebell H, Jockenhövel F. Altered vagal and intestinal mechanosensory function in chronic unexplained dyspepsia. *Gut* 1998; (42): 501-506.

Holzer P. Afferent signalling of gastric acid challenge. *Journal of Physiology and Pharmacology* 2003; (54): 43-53.

Horowitz M, Jones K, Edelbroek M A, Smout A J, Read N W. The effect of posture and intragastric distribution of oil and aqueous meal components and appetite. *Gastroenterology* 1993; (105): 382-390.

Hunt J N, Smith J L, Jiang C L. Effect of meal volume and energy density on the gastric emptying of carbohydrates. *Gastroenterology* 1985; (89): 1326-1330.

Hunt J N, Stubbs D F. The volume and energy content of meals as determinants of gastric emptying. *Journal of Physiology* 1975; (245): 209-225.

Hutson W R, Roehrkasse R L, Wald A. Influence of Gender and Menopause on Gastric Emptying and Motility. *Gastroenterology* 1998; (96): 11-17.

K

Kelly K A. Effect of gastric surgery on gastric motility and emptying. In: *Gastric and gastroduodenal motility*. (Eds Akkermans LMA, Johnson AG, Read NW). New York: Praeger, 1984; 241-262.

Kimura A, Sato A, Sato Y, Trzebski A. Role of the central and arterial chemoreceptors in the response of gastric tone and motility to hypoxia, hypercapnia and hypocapnia in rats. *Journal of Autonomous Nervous System* 1993; (45): 77-85.

Klaer M, Bangsbo J, Lortie G, Galbo H. Hormonal response to exercise in humans: influence of hypoxia and physical training. *American Journal of Physiology* 1988; (254): R197-R203.

Klauser A G, Voderholzer W A, Heinrich C A, Schindlbeck N E, Müller-Lissner S A. Behavioral modification of colonic function. Can constipation be learned? *Digestive Diseases and Sciences* 1990; (35): 1271-1275.

Klein K E, Wegmann H. Significance of circadian rhythm in aerospace operations. Advisory Group for Aerospace Research and Development 1980.

Krammer H J, Wedel T, Brehmer A, Stach W, Kühnel W, Singer M V. The enteric nervous system-what can we learn from morphology? *Z Gastroenterol* 1997;5-13.

Kressin J. Die flugmedizinische Bedeutung von Luftdruckveränderungen für den menschlichen Organismus. In: *Flugmedizin*. (Ed Heinig R). Berlin: Transpress, 1990; 121-184.

Krotiewsky M. Effect of guar gum on body-weight, hunger ratings and metabolism in

obese subjects. *British Journal of Nutrition* 1984; (52): 97-105.

L

Lartigue S, Bizais Y, Bruley Des Varannes S, Murat A, Pouliquen B, Galmiche J P. Inter- and Intrasubject Variability of Solid and Liquid Gastric Emptying Parameters-A Scintigraphic Study in Healthy Subjects and Diabetic Patients. *Digestive Diseases and Sciences* 1994; (39): 109-115.

Lavemhe J, LaFontaine E, & Pasquet J. Les reactions subjectives et objectives aux ruptures des rythmes circadiens lors des vols commerciaux long courriers est-ouest et vice -versa. *Rev Med Aernaut Spat* 1968; (7): 121-123.

Law NM, Bharucha AE, Zinsmeister AR. Rectal and colonic distension elicit viscerovisceral reflexes in humans. *American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology* 2002; (283): G384-G389.

Leatherdale B A, Green D J, Harding L K, Griffin D, Bailey C J. Guar and gastric emptying in non-insulin dependent diabetes and healthy subjects. *Acta Diabetol Lat* 1982; (19): 339-343.

Lembcke B. Atemtests bei Darmerkrankungen und in der gastroenterologischen Funktionsdiagnostik. *Praxis* 1997; (86): 1067.

Li XY, Wu XY, Fu C, Shen Xf, Wu YH, Wang T. Effects of acute mild and moderate hypoxia on human mood State. *Space Med Eng (Beijing)* 2000; (13): 1-5.

Lin HC, Doty JE, Reedy TJ, Meyer JH. Inhibition of gastric emptying by acids depends on pH, titratable acidity, and length of intestine exposed to acid. *American Journal of Physiology* 1990; (259): G1025-G1030.

Lipsitz L A, Ryan S M, Parker J A, Freeman R, Wei J Y, Goldberger A L. Hemodynamic and autonomic nervous System responses to mixed meal ingestion in healthy young and old subjects and dysautonomic patients with postprandial hypotension. *Circulation* 1993; (87): 391-400.

Lohmazzi F, Gurtner HP. Höhenaufenthalt und Flugreisen bei Herzkranken. *Schweiz med Wschr* 1981; (111): 618-624.

Lydeard S, Jones R. Factors affecting the decision to consult with dyspepsia: comparison of consulters and non-consulters. *Journal R Coll Gen Pract* 1989; (39): 495-498.

M

Madsen J L. Effects of Gender, Age, and Body Mass Index on Gastrointestinal Transit Times. *Digestive Diseases and Sciences* 1992; (37): 1548-1553.

Maes B D, Ghooos Y F, Hiele M I, Rutgeerts P J. Gastric Emptying Rate of Solids in Patients with Nonulcer Dyspepsia. *Digestive Diseases and Sciences* 1997; (42): 1158-1162.

Maes B D, Ghooos Y F, Geypens B J, Hiele M I, Rutgeerts P J. Relation between gastric emptying rate and energy intake in children compared with adults. *Gut* 1995;183-188.

- Malfertheiner P, Holtmann G, Peitz U. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten zur Behandlung der Dyspepsie. *Z Gastroenterol* 2001; (39): 937-956.
- Manning A P, Heaton K W, Harvey R F. Wheat fibre and Irritable Bowel Syndrome. A controlled trail. *Lancet* 1977; (2): 417418.
- Marciani L, Gowland P, Spiller R. Effect of meal viscosity and nutrients on satiety, intragastric dilution, and emptying assessed by MRI. *American Journal of Physiology* 2000; (280): G1227-G1233.
- Marzio L, Formica P, Fabiani F, LaPenna D, Vecchiatt L, Coccurullio F. Influence of physical activity on gastric emptying of liquids in normal human subjects. *American Journal of Gastroenterology* 1991; (86): 1433-1436.
- Mayer E A. The physiology of gastric storage and emptying. In: *Physiology of the gastrointestinal tract.* (Ed Johnson LR). New York: Raven, 1994; 3.: 929-976.
- McFarland R A. Human Factors in Relation to the Development of Pressured Cabins. *Aerospace Medicine* 1971 ;1303-1318.
- McHugh P R, Moran T H. Calories and gastric emptying: A regulatory capacity with implications of feeding. *American Journal of Physiology* 1979; (236): R254-R260.
- McQuaid K. Dyspepsia. In: *Gastrointestinal and liver diseases.* (Eds Feldmann M, Scharschmidt BFSMH). Philadelphia, Pennsylvania: W.B.Saunders, 1998.
- Mehta AJ, Caestecker JS, Camm AJ, Northfield TC. Sensitization to painful distension and abnormal sensory perception in the esophagus. *Gastroenterology* 1995; (108): 311-319.
- Merrouche M, Mignon M, Rigaud D, Accary JP, Chayvialle JA. Consequences of antral and duodenal acidification on acid secretion, gastrin response and gastric emptying in duodenal ulcer patients and normal subjects. *Gastroenterol Clin Biol* 1985; (9): 902-910.
- Minami H, McCallum R W. The physiology and pathophysiology of gastric emptying in humans. *Gastroenterology* 1984; (86): 1592-1610.
- Moore J G, Christian P E, Coleman R E. Gastric emptying of varying meal weight and composition in man: Evaluation by dual liquid- and solid phase isotopic method. *Digestive Diseases and Sciences* 1981; (26): 16-22.
- Moser M, Frank P. Sinnesorgane. In: *Flugmedizin für Piloten.* Stuttgart: Thieme, 1988; 2-16.
- Musial F, Crowell M D, French A W, Guiv N. Effect of prolonged, continuous rectal distention on mouth-to-cecum and colonic transit time in pigs. *Physiology & Behavior* 1992; (52): 1021-1024.

P

- Passino C, Bemardi L, Spadacini G, Calciati A, Robergs R, Anand I, Greene R, Martignoni E, Appenzeller O. Autonomic regulation of heart rate and peripheral circulation: comparison of high altitude and sea level residents. *Clinical Sciences* 1996; 91 (Suppl): 81-83.

Peracchi M, Gebbia C, Ogliari C, Fraquelli M, Vigano R, Baldassarri A, Bianchi M, Conte D. Influence of caloric intake on gastric emptying of solids assessed by ¹³C-octanoic acid breath test. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 2000; (35): 814-818.

Pfaffenbach B, Wegener M, Adamek R J, Wissuwa R J, Schaffstein H, Aygen J, Hennemann O. Nicht - invasiver ¹³C-Oktansäureatemtest zur Messung der Magenentleerung einer festen Testmahlzeit-Korrelation mit der Szintigraphie bei Diabetikern und Reproduzierbarkeit bei gesunden Probanden. *Z Gastroenterol* 1995; (33): 141-145.

Preston F S, Bateman S C, Short R V, Wilkinson R T. Effects of Flying and of Time Changes on Menstrual Cycle Length and on Performance in Airline Stewardesses. *Aerospace Medicine* 1973;438-443.

Q

Quartero A O, Wit de N J, Lodder A C. Disturbed solid-phase gastric emptying in functional dyspepsia. *Digestive Diseases and Sciences* 1998; (20): 2028-2033.

R

Rating D, Langhans C D. Breath tests: concepts, applications, and limitation. *Eur J Pediatr* 1997; (156): 18-23.

Renemann H H, Pettet G. Flugreisetauglichkeit bei Herz- und Kreislauferkrankungen. *Zeitschrift für Allgemeinmedizin/ Der Landarzt* 1984; (60): 927-936.

Ricci D A, McCallum R W. Idiopathic gastric stasis. *Surv Dig Dis* 1983; (1): 79-96.

Riecken B, Allgeier H P. Dyspepsie-Reizmagensyndrom. *Der Allgemeinarzt* 2002; (8): 598-603.

Rüssel J, Bass P. Gastric emptying of fiber meals: influence of meal viscosity and antroduodenal motility. *American Journal of Physiology* 1985; (249): G662-G667.

Rutenfranz J, Renemann H H. Krankheit und Fliegen. In: *Innere Medizin*. (Eds Kühn HA, Schirmeister J). Berlin: Springer-Verlag, 1989; 1251-1260.

Rydning A, Berstad A, Berstad T, Hertenberg L. The effect of guar gum and fiber-enriched wheat bran on gastric emptying of a semisolid meal in healthy subjects. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 1985; (20): 330-334.

S

Saito M, Mano T, Iwase S, Koka K, Abe H, Yamazaki Y. Response in muscle sympathetic activity to acute hypoxia in humans. *Journal of Applied Physiology* 1988;1548-1552.

Schadewaldt P, Schommartz B, Wienrich G, Brösicke H, Piolot R, Ziegler D. Application of isotope selective nondispersive infrared spectrometry (NDIRS) for evaluation of ¹³C-octanoic acid gastric-emptying breath tests: comparison with isotope ratio-mass spectrometry (IRMS). *Clinical Chemistry* 1997; (43): 518-522.

Scheppach W, Kasper H. Anaerober Abbau von Kohlehydraten im Kolon. *Akt Ernähr* 1985; (10): 145.

- Schwartz S E, Levine R A, Singh A, Scheidecker J R, Track N S. Sustained pectin ingestion delays gastric emptying. *Gastroenterology* 1982; (83): 812-817.
- Seno N, Nakasato Y, Ohga A. Presynaptic inhibitory effects of catecholamines on cholinergic transmission in the smooth muscle of the chick stomach. *European Journal for Pharmacology* 1978; (51): 237.
- Serra J, Azpiroz F, Malagelada J-R. Gastric Distension and Duodenal Lipid Infusion Modulate Intestinal Gas Transit and Tolerance in Humans. *AJG* 2002; (97): 2225-2230.
- Serra J, Azpiroz F, Malagelada J-R. Impaired transit and tolerance of intestinal gas in the irritable bowel syndrome. *Gut* 2001; (48): 14-19.
- Serra J, Azpiroz F, Malagelada J-R. Mechanisms of intestinal gas retention: impaired propulsion versus obstructed evacuation. *American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology* 2001; (281): G138-G143.
- Shafik A. Effect of duodenal distension on the pyloric sphincter and Antrum and the gastric corpus: duodenopyloric reflex. *World Journal of Surgery* 1998; (22): 1061-1064.
- Shafik A. Effect of rectal distension on the small intestine with evidence of a recto-enteric reflex. *Hepatogastroenterology* 2000; (47): 1030-1033.
- Sharp G R. The pressure cabin. In: *Aviation Medicine*. (Ed Dhenin G). London: Tri-Med Books Limited, 1978; 151-176.
- Shmidova V F. The effect of high-altitude and high-speed flights on the functioning of air hostesses obstetric organs. *Gig Truda Professional Zabol* 1966; (10): 55-57.
- Shocket E, Jackson M M, Dyme H C. The effect of moderate altitude upon human gastric emptying time. *Aviation Medicine* 1953; 122.
- Sidery M B, MacDonald I A. The effect of meal size on the cardiovascular responses to food ingestion. *British Journal of Nutrition* 1994; (71): 835-848.
- Smart H L, Atkinson M. Abnormal vagal function in irritable bowel syndrome. *Lancet* 1987; 475-478.
- Smith C J, Bryant M P. Introduction to metabolic activities of intestinal bacteria. *American Journal of clinical Nutrition* 1979; (32): 149.
- Spiller R C. Pharmacology of dietary fiber. *Pharmacol Ther* 1994; (62): 407-427.
- Stepanova S I. Effect of transmeridian flights on the human body. *Kosm Biol Aviakosm Medicine* 1974; (8): 3-12.
- Stotzer P O, Fjalling M, Gretarsdottir J, Abrahamsson H. Assessment of gastric emptying: comparison of solid scintigraphic emptying and emptying of radiopaque markers in patients and healthy subjects. *Digestive Diseases and Sciences* 1999; (44): 729-734.
- Strughold H, Ruff S. *Grundriß der Luftfahrtmedizin*. Barth, Leipzig 1939.

Strughold H. Physiological day-night cycle after global flights. *Journal of Aviation Medicine* 1952; (23): 464-473.

I

Tadesse K. The effect of dietary fibre isolates on gastric secretion, acidity and emptying. *British Journal of Nutrition* 1986; (55): 507-513.

Talley N J, Fung L H, Gilligan I J. Association of anxiety, neuroticism and depression with dyspepsia of unknown cause. A case control study. *Gastroenterology* 1986; (90): 886-892.

Talley N J, Verlinden M, Joes M. Can Symptoms discriminate among those with delayed or normal gastric emptying in dysmotility-like dyspepsia? *American Journal of Gastroenterology* 2001; (96): 1422-1428.

Talley N J, Boyce P, Franz C P. Dyspepsia and health care seeking in a Community; how important are psychological factors? *Digestive Diseases and Sciences* 1998; (43): 1016-1022.

Tramp S W. Biological Effects of Simulated High Altitude Climate in Pressurized Commercial Planes on Passengers and Flying Personal. *Aerospace Medicine* 1972;446-449.

Troncon L E, Bennett R J, Ahluwalia N K. Abnormal intragastric distribution of food during gastric emptying in functional dyspepsia patients. *Gut* 1994; (35): 327-332.

Truchaud M. Contribution a la Barophysologie. *Annales Pharmaceutiques Francaises* 1976; (34): 399-405.

U

Urbain J, Charke N. Recent advances in gastric emptying scintigraphy. *Semin Nucl Med* 1995; (25): 318-325.

V

van Liere E J, Crisler G, Robinson D. Effect of anoxemia on the emptying time of the stomach. *Archives of Internal Medicine* 1933; (51): 796-799.

van Nieuwenhoven M A, Kovacs E, Brummer R J, Westerterp-Plantenga M S, Brauns F. The effect of different dosages of guar gum on gastric emptying and small intestinal transit of a semisolid meal. *Journal of the American College of Nutrition* 2001; (20): 87-91.

Vejvoda, M, Samel A, Maaß H, Luks N, Linke-Hommes A, Schulze M, Mawet L, Hinninghofen H. Untersuchung zur Beanspruchung des Kabinenpersonals auf transmeridianen Strecken. 23. 2000. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Velchik M G, Reynolds J C, Alavi A. The effect of meal energy content on gastric emptying. *J Nucl Med* 1989; (30): 1106-1110.

Verhagen M A, Luijk H D, Samsom M, Smout A J. Effect of meal temperature on the frequency of gastric myoelectrical activity. *Neurogastroenterology and Motility* 1998; (10): 175-181.

W

- Wald A, Van Thiel D H, Hoechstetter L, Gavaler J S, Egler K M, Verm R, Scott L, Lester R. Gastrointestinal transit: the effect of the menstrual cycle. *Gastroenterology* 1981; (80): 1497-1500.
- Wegener M, Schaffstein J, Börsch G. Physiologie und Pathophysiologie der Magenentleerung. *Medizinische Klinik* 1988; (83): 335-341.
- Wegmann H, Klein K E. The resynchronization of human circadian Performance rhythms after transmeridian flights as a result of flight direction and mode of activity. In: *Chronobiology*. (Eds Scheving LE, Halberg F, Pauly J). Tokyo: Igaku Shoin, 1974; 564-570.
- Wegmann H M, Gundel A, Naumann M, Samel A, Schwartz E, Vejvoda M. Sleep, Sleepiness, and Circadian Rhythmicity in Aircrews Operating on Transatlantic Routes. *Aviat Space Environ Med* 1986;B53-B64.
- Westenberg L, Theorell T. Working conditions and family Situation in relation to functional gastrointestinal disorders. The swedish dyspepsia project. *Scandinavian Journal of Primary health care* 1997; (15): 76-81.
- Wever R. The circadian System of man: Results of Experiments under temporal isolation. Springer Verlag, New York 1979.
- Widerlöv E, Josteil K-G, Claesson L, Odiind B, Keisu M, Freyschuss U. Influence of food intake on electrocardiograms of healthy male volunteers. *European Journal for Pharmacology* 1999; (55): 619-624.
- Wiesinger K. Effect of high altitudes on some rhythms. *Acta Medica Scandinavica* 1955; (152): 194-195.
- Wilhelmsen I, Haug T T, Ursin H. Discriminant analysis of factors distinguishing patients with functional dyspepsia from patients with duodenal ulcer. Significance of somatization. *Digestive Diseases and Sciences* 1995; (40): 1105-1111.
- Wisker, E., Bach Knudsen, K. E., Daniel, M., Feldheim, W., EGGUM, B. O., Digestibilities of energy, protein, fat, and nonstarch polysaccharides in a low fiber diet and diets containing coarse or fine whole meal rye are comparable in rats and humans. *Nutrition* 1996; 126, 481-488.
- Wood, J.D., Alpers, D.H., Andrews, P.L.R. Fundamentals of neurogastroenterology. *Gut*, 1999;45 (Suppl II): 116-1116
- Wright R A, Krinsky S, Fleeman C, Trujillo J, Teague E. Gastric emptying and obesity. *Gastroenterology* 1983; (84): 747-751.

Y

- Yildirim A, Kabakci G, Akgul E, Tokgozoglu L, Oto A. Effects of menstrual cycle on cardiac autonomic innervation as assessed by heart rate variability. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2002; (7): 60-63.
- Youle M S, Read N W. Effect of painless rectal distention on gastro-intestinal transit of a solid meal. *Digestive Diseases and Sciences* 1984; (29): 902-906.

Normatmosphäre

Höhe [feet]	Höhe [m]	Temperatur [°C]	Luftdruck [mm Hg]	Luftdruck [in Atm.]
	0	15,0	760,0	1,00
1640	500	11,8	716,0	0,94
3280	1000	8,5	673,8	0,89
4920	1600	5,3	634,0	0,83
6562	2000	2,0	596,0	0,78
8200	2500	-1,2	560,0	0,74
9842	3000	-4,5	525,8	0,69
11483	3500	-7,8	493,0	0,65
13123	4000	-11,0	462,0	0,61
14764	4500	-14,3	432,6	0,57
16404	5000	-17,5	404,8	0,53
18045	5500	-20,7	378,6	0,50
19685	6000	-24,0	353,6	0,47
21325	6500	-27,3	330,0	0,43
22966	7000	-30,5	307,8	0,41
24606	7500	-33,7	286,8	0,38
26246	8000	-37,0	266,6	0,35
27887	8500	-40,3	247,8	0,33
29528	9000	-43,5	230,0	0,30
31168	9500	-46,8	213,6	0,28
32808	10000	-50,0	197,8	0,26
34449	10500	-53,3	183,0	0,24
36090	11000	-56,5	169,2	0,22
37730	11500	-56,5	156,5	0,21
39370	12000	-56,5	144,6	0,19
41010	12500	-56,5	133,6	0,18
42650	13000	-56,5	123,4	0,16
44290	13500	-56,5	114,2	0,15
45932	14000	-56,5	105,4	0,14
47572	14500	-56,5	97,4	0,13
49200	15000	-56,5	90,0	0,12

1ft = 30,48 cm = 0,3048 m

Die Atemproben wurden mit dem Infrarot Isotopen Analysator IRIS der Fa. Wagner Analysen Technik GmbH Haferwende 21, D-28357 Bremen, ausgewertet.

Technische Daten IRIS:

Gewicht: 30 kg

Elektrischer Anschluß: 220V, 10A, Schukosteckdose

Leistungsaufnahme des Gerätes: 200 Watt

Sicherungen: 2 x 0,8A träge

Gasanschlüsse: Schottverschraubung: 1/8" für Luft, „nullgas“ und Abluft.

Wilcoxon Test Flugbegleiterbefragung

Ränge

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
ESSKBOD - ESSKFLU	Negative Ränge	38(a)	25.22	958.50
	Positive Ränge	6(b)	5.25	31.50
STKBOD - STKFLU	Bindungen	1(c)		
	Gesamt	45		
	Negative Ränge	8(d)	11.75	94.00
	Positive Ränge	37(e)	25.43	941.00
BLÄKBOD - BLÄKFLU	Bindungen	0(f)		
	Gesamt	45		
	Negative Ränge	30(g)	23.78	713.50
	Positive Ränge	11(h)	13.41	147.50
	Bindungen	4(i)		
	Gesamt	45		

a ESSKBOD <
ESSKFLU b
ESSKBOD >
ESSKFLU c
ESSKFLU=ESS
KBOD d
STKBOD <
STKFLU e
STKBOD >
STKFLU f
STKFLU =
STKBOD g
BLÄKBOD <
BLÄKFLU h
BLÄKBOD >
BLÄKFLU i
BLÄKFLU =
BLÄKBOD

Statistik für Test(c)

	ESSKBOD - ESSKFLU	STKBOD - STKFLU	BLÄKBOD - BLÄKFLU
2			
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	-5.410(a)	-4.790(b)	-3.671 (a)
Exakte Signifikanz (2- seitig)	.000	.000	.000
Exakte Signifikanz (1- seitig)	.000	.000	.000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	.000	.000	.000

a Basiert auf
positiven Rängen. b
Basiert auf negativen
Rängen. c Wilcoxon-
Test

Die Flugbegleiter-Befragung (Experiment I) wurde in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. und der Lufthansa durchgeführt (Vejvoda M, Samel A, Maaß H, Luks N, Linke-Hommes A, Schulze M, Mawet L, Hinninghofen H, (2000) Untersuchung zur Beanspruchung des Kabinenpersonals auf transmeridianen Strecken. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Forschungsbericht 2000-32).

Frühstück bei Tiffany

können wir nicht bieten, aber:

Frühstück in der Uni!

Wir suchen männliche Versuchspersonen!

Wir führen ein Experiment zur Befindlichkeit nach Nahrungsaufnahme durch und suchen dafür männliche Probanden **zwischen 18 und 45 Jahren**.

Probanden-Entgelt: 35 DM

Die Aufgaben der Versuchspersonen bestehen in dem Verzehr einer Mahlzeit und dem anschließenden Ausfüllen von Fragebögen; ferner werden Atemproben entnommen und der Blutdruck sowie die Herzrate gemessen. Keine invasiven Messungen!

Während des Experiments ist eine Beschäftigung nach Belieben möglich: lesen, schreiben, Walkman-hören, Karten spielen... Voraussetzungen für die Teilnahme: keine bestehenden Magen-Darm oder Herz-Kreislauf Erkrankungen, kein Diabetes, nüchtern erscheinen: Letzte Nahrungsaufnahme am Vorabend um 22.00 Uhr.

Dauer des Experiments: ca. 4,5 Stunden

Durchführungen :

Jeweils Montags und Mittwochs

Beginn jeweils um 8.30 Uhr.

Informationen und Anmeldung zu einem der Termine bei:

Dipl.-Psych. H. Hinninghofen
Heine-Universität Institut für
Allgemeine Psychologie

Liebe Versuchsperson,
vielen Dank für Ihre Bereitschaft an diesem Experiment teilzunehmen. Wir möchten physiologische Reaktionen nach Nahrungsaufnahme bei gesunden Menschen untersuchen. Dies geschieht mit Hilfe einer Mahlzeit, durch das messen des Blutdrucks, durch das sammeln von Atemproben und durch Fragebögen.

Bitte teilen Sie uns mit, falls bei Ihnen Herz- Kreislauf, oder Magen- und Darmerkrankungen bekannt sind, Sie können dann leider nicht an diesem Versuch teilnehmen!

Falls dies nicht der Fall ist, lesen Sie diese Instruktion bitte zunächst aufmerksam bis zum Ende durch und unterschreiben Sie bitte diese Instruktion, wenn Sie an dem Versuch teilnehmen möchten. Sollten noch Fragen offen sein, wenden Sie sich bitte an die Versuchsleiterin.

Bitte richten Sie sich an Ihrem Sitzplatz für die nächsten 4 Stunden ein, während des gesamten Versuchs sollen Sie diesen Sitzplatz nicht verlassen.

Der Versuch beansprucht 4 Stunden. Während dieser Zeit dürfen Sie nicht rauchen und keine anderen Nahrungsmittel als die von uns servierten zu sich nehmen.

Nach Beendigung wird Ihnen das Probandenentgelt gegen Quittung in bar ausgehändigt.

Zu Beginn erhalten Sie einen Fragebogen mit Fragen zu Ihrer Person sowie einigen Fragen zu gastrointestinalen Symptomen.

Bitte beantworten Sie diese Fragen ganz spontan und wahrheitsgemäß. Im Anschluß wird mit einer Oberarmmanschette Ihr Blutdruck gemessen.

Danach wird Ihnen die Versuchsleiterin die ersten zwei Atembeutel geben. Bitte füllen Sie die Atembeutel stets mit einem normalen ausatmen, ohne vorher vertieft Atem zu holen! Der Beutel sollte jedoch prall gefüllt sein.

Danach wird Ihnen ein Frühstück serviert. Es handelt sich um ein Spiegelei, Brot und Apfelsaft. Sie sollten diese Mahlzeit innerhalb von 10 Minuten verzehren.

Im Anschluß daran erhalten Sie 16 mal alle 15 Minuten einen Atembeutel, den Sie bitte wie oben beschrieben füllen.

Im Laufe des Versuchs wird Ihnen alle 60 Minuten ein Fragebogen vorgelegt und der Blutdruck gemessen.

Während der verbleibenden Zeit können Sie sich nach belieben beschäftigen, jedoch nicht von Ihrem Sitzplatz entfernen und nichts essen (auch kein Kaugummi) und nicht rauchen!

Wir bedanken uns nochmals für Ihre Mitarbeit und wünschen Ihnen einen angenehmen Versuch!

Einverständniserklärung:

Ich habe die Versuchsinstruktion durchgelesen und möchte an dem Versuch teilnehmen.

Name:

Vorname:

Datum:

Unterschrift:

Teilnehmerliste für den Bodenversuch

VP-Nr	Boden	Mahlzeit	Alter	BMI
1		0	27	20,52
2		0	31	23,33
3		0	26	21,46
4		0	25	21,22
5		0	22	23,41
6		1	26	21,62
7		1	24	19,23
8		1	29	21,73
9		1	33	21,60
10		0	22	24,22
11		0	22	23,05
12		0	24	21,60
13		0	30	24,49
14		1	25	24,59
15		1	23	21,10
16		1	31	28,41
17		0	22	23,88
18		0	23	29,04
19		1	30	20,59
20		1	24	20,91
21		1	28	24,07
22		0	25	22,55
23		0	21	22,84
24		1	27	22,15
25		0	22	22,55
26		1	29	21,05
27		1	40	27,47
28		0	26	22,55
29		1	24	23,41
30		1	22	19,00

Nährstofftabelle für die Testmahlzeiten

	Menge	Eiweiß [g]	Fett [g]	Kohlen- hydrate [g]	Ballast- stoff- gehalt [g]	Kcal
Toast	60 g	4,5	2,7	28,8	1,5	156
Vollkornbrot	120 g	5,9	1,32	46,7	10,5	222
Butter	10 g	0,1	8,3	0,1	0	75
Ei		6,7	6,2	0,3	0	84
Ballaststoffpulver	9g	0	0	2,4	9,0	9
Apfelsaft	250 ml	0,25	0	25,0	0,5	105
ballaststoffreich		12,85	15,82	74,5	20	495
Prozentanteil		10,5%	13%	60,5%	16%	
ballaststoffarm		11,55	17,2	54,2	2	420
Prozentanteil		14%	20%	63,5%	2,5%	

Ballaststoffpulver:

Benefiber der Firma Novartis Nutrition GmbH, Celle, Inhaltsstoff: Guar Gum

Formel zur Berechnung von T-1/2: $(t_{1/2})$
 $= [-1/K] \ln[1 - 2^{-1/B}] - 66$

Octane: U-d 18 A.G. 99% 'delta'-Wert: Isotopenverhältnis $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in einer Probe (R_s)
bezogen auf ein Referenzisotopenverhältnis ($R_{\text{PDB}} = 0,0112375$) und ist definiert als
 $P = (R_s/R_{\text{PDB}} - 1) \times 1000 [‰]$

Siehe auch Handbuch zum o.g. Gerät

Name _____ Datum _____ Fragebogen Nr _____

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen bezüglich der vergangenen 60 Minuten:

- 1) Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten hatten Sie Schmerzen im Bauch?
(die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.
- 2) Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten hat Sie Völlegefühl im Oberbauch gestört?
die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.
- 3) Wie oft hatten Sie Blähungen oder das Gefühl zuviel Luft im Bauch zu haben?
die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.
- 4) Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten sie sich durch Windabgang gestört?
die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.
- 5) Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten Sie sich durch Rülpsen oder Aufstoßen belästigt?
die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.
- 6) Waren sie in den vergangenen 60 Minuten im Allgemeinen zufrieden und bei guter Befindlichkeit?
die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.
- 7) Wie häufig in den vergangenen 60 Minuten fühlten Sie sich durch Sodbrennen gestört?
die ganze Zeit, meistens, hin und wieder, selten, nie.

Männliche Probanden für Flugsimulation gesucht!

Es handelt sich um die Simulation eines normalen Fluges Düsseldorf-New York. Es werden keine Turbulenzen oder Druckverluste simuliert! Die Simulation findet in bequemen Relax-Sesseln ohne Einschränkung der Beinfreiheit statt!

Zeitl. Umfang: 2 x 8 Stunden, verteilt auf 2
Tage: 24.07 u. 31.07. oder 27.07. u. 03.08.

Vp-Entgelt: (für insgesamt 16 Std) = **200,-Aufgaben**

der Vp: Ausfüllen von Fragebögen

Keine invasiven Messungen! Beschäftigung während der Simulation nach Belieben: Lesen, schreiben, rechnen, träumen, Karten spielen, Musik hören wie im echten Leben! Es werden 2 Mahlzeiten während eines Fluges geboten. Voraussetzung: Keine bestehenden Magen-Darm oder Herz-Kreislauf Erkrankungen, keine Lebensmittel-allergien!

Weitere Information und Anmeldung:
Dipl.-Psych. H. Hinninghofen
Heinrich-Heine Universität
Institut für Allgemeine Psychologie
Raum 23.03 Ul. 83 Tel.: 0211 8113064 (AB)
e-mail: hinningh@uni-duesseldorf.de

Information zur Teilnahme an Flugsimulation

Es handelt sich um die Simulation eines normalen Fluges Düsseldorf-New York und zurück. Es werden keine Turbulenzen oder Druck Verluste simuliert! Die Simulation findet in einer modernen Druckkammer statt, die für medizinisch-therapeutische Behandlungen mit Über- und Unterdruck konzipiert ist. Die Kammer bietet ausreichend Platz für 16 Personen und ist mit bequemen Relax-Sesseln ohne Einschränkung der Beinfreiheit ausgestattet. Während des Versuchs wird die Kammer mit max. 9 Personen (incl. Versuchsleiter) besetzt sein. Jeder Sitzplatz ist mit Kopfhörern ausgestattet, es sind zwei Musikprogramme wählbar. Jeder Proband nimmt an zwei Tagen ab 8.45 Uhr an einer je 8-stündigen Simulation teil. Es handelt sich entweder um zwei Freitage oder zwei Montage im August 1998. Zur Simulation müssen die Teilnehmer nüchtern erscheinen, d.h. am Vorabend kann bis 22.00 Nahrung aufgenommen werden. Zu den Aufgaben der Versuchspersonen gehört der Verzehr einer Mahlzeit zu Beginn der Simulation, (Brot, Spiegelei, Getränk) das Ausfüllen von Fragebögen zur Befindlichkeit und die Abgabe von Atemproben innerhalb der ersten 4 Stunden. (Atemproben viertelstündlich während der ersten 4 Stunden des Versuchs, Fragebögen stündlich während der gesamten Simulation, Umfang: ca. 10 Fragen) Der Versuchsleiter wird einige Male den Blutdruck messen. Keine invasiven Messungen! Während des gesamten Versuchs ist ein Arzt anwesend. Darüber hinaus ist eine Beschäftigung während der Simulation nach Belieben möglich: Lesen, schreiben, rechnen, träumen, Karten spielen,

Musik hören..... wie im echten Leben! Einen Film können wir leider nicht zeigen! Das mitnehmen elektronischer Geräte (Handy, Notebook usw.) ist nicht möglich! Rauchen und Alkohol ist während der Simulation nicht gestattet. Nach 4 Stunden wird ein zweiter Imbiss gereicht. Das Probanden-Entgelt wird nach Beendigung der 2. Simulation in bar ausgehändigt. Voraussetzung für die Teilnahme: Männlich, Alter 18-45, möglichst Flugerfahrung (1x reicht) Keine bestehenden Magen-Darm oder Herz-Kreislauf Erkrankungen, keine Lebensmittelallergien, kein Diabetes! Über die endgültige Teilnahme entscheidet das Ergebnis der ärztlichen Untersuchung vor Beginn der ersten Simulation. Bei Interesse an einer Teilnahme bitte ich um Mitteilung von Name, Anschrift und Tel Nr. zwecks persönlicher Rücksprache.

Die Simulation findet im Sauerstofftherapiezentrum,
Hansaallee 30, Düsseldorf-Oberkassel (Tel. 570583) statt.
Zum einchecken bitte um 8.30 dort erscheinen.

Erreichbar mit der U74, U75, U76, U77 (ab Hbf, Heinrich-Heine-Allee oder Werstener Kreuz in Richtung Krefeld bzw Mönchengladbach) Haltestelle: Belsenplatz.

Weitere Information und Anmeldung:
Dipl.-Psych. H. Hinninghofen
Heinrich-Heine Universität Institut für
Allgemeine Psychologie

Liste der Versuchspersonen Flugsimulation

VP.NR	Flughöhe	Alter	BMI
1	0	33	23,35
2	0	26	22,80
3	0	24	23,27
4	0	26	25,67
5	0	25	21,60
6	0	27	22,02
7	0	25	24,29
8	0	25	22,80
9		18	21,97
10		37	22,04
11		29	21,53
12		22	30,07
13		26	23,63
14		23	22,89
15		27	19,73
16		22	24,81

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die eingereichte Dissertation selbstständig verfasst habe, und dass ich bei der Abfassung der Arbeit ausschließlich die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel benutzt, sowie alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen anderer Textquellen als solche gekennzeichnet habe.

Tübingen,

Ort

08.02.05

Datum



Unterschrift