

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen  
Abteilung V, Sportmedizin

(Schwerpunkt: Leistungsmedizin, spezielle Prävention, spezielle  
Rehabilitation)

Kohlenhydratmetabolismus in Ruhe und unter Belastung  
bei Marathonläufern und Nichtausdauertrainierten unter  
Gabe einer fettreichen Probemahlzeit

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von

Birk, Sebastian

2019

Dekan:	Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter:	Professor Dr. H.-C. Heitkamp
2. Berichterstatter:	Professor Dr. B. Gallwitz
Tag der Disputation:	15.02.2019

Meiner Familie

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung .....	6
1.1	Grundlagen des Kohlenhydratstoffwechsels .....	7
1.2	Die Rolle des Trainingseffekts für den Stoffwechsel .....	8
1.3	Die Rolle des Insulins beim Erbringen einer Ausdauerleistung .....	10
1.4	Effekt einer fettreichen Probemahlzeit auf den Stoffwechsel .....	11
1.5	Wissenschaftliche Zielsetzung der Arbeit.....	12
2	Methodik.....	13
2.1	Untersuchungsdesign.....	13
2.2	Anamnese, Erstuntersuchung und Leistungsdiagnostik.....	15
2.3	Laktat-Leistungsdiagnostik.....	16
2.4	Versuchsablauf .....	17
2.5	Blutabnahme .....	19
2.6	Statistische Auswertung .....	20
3	Ergebnisse .....	20
3.1	Ergebnisse des ersten Untersuchungstags.....	20
3.1.1	Anamnese und Erstuntersuchung.....	20
3.1.2	Laktat-Leistungsdiagnostik .....	23
3.1.3	Spiroergometrie .....	24
3.2	Ergebnisse des zweiten Untersuchungstags.....	27
4	Diskussion:.....	33
4.1	Methodenkritik.....	33
4.2	Auswertung des zweiten Untersuchungstages.....	40
5	Zusammenfassung.....	52
6	Literaturverzeichnis .....	56
7	Anhang.....	61
8	Erklärung zum Eigenanteil .....	84
9	Danksagung .....	85

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf 2. Versuchstag .....	18
Abbildung 2: BMI in Gruppen .....	21
Abbildung 3: Körperfettanteil in Gruppen .....	22
Abbildung 4: Taillenumfang in Gruppen .....	22
Abbildung 5: Lactate Threshold in Gruppen .....	23
Abbildung 6: Individuelle anaerobe Schwelle in Gruppen .....	24
Abbildung 7: Maximale Herzfrequenz in Gruppen .....	24
Abbildung 8: Relativ maximale Sauerstoffaufnahme in Gruppen .....	25
Abbildung 9: Kohlenstoffdioxidabatemung in Gruppen.....	26
Abbildung 10: Respiratorischer Quotient in Gruppen .....	26
Abbildung 11: Längsschnittvarianzanalyse des Laktats in Gruppen.....	27
Abbildung 12: Längsschnittvarianzanalyse des Insulins in Gruppen .....	29
Abbildung 13: Längsschnittvarianzanalyse der Glukose in Gruppen.....	30
Abbildung 14: Längsschnittvarianzanalyse der Triglyzeride in Gruppen .....	32
Abbildung 15: Laktat aus „Regulation of fat-carbohydrate interaction in skeletal muscle during intense aerobic cycling" [60].....	41
Abbildung 16: Glukose und Insulin aus „Effect of elevated blood FFA levels on endurance performance after a single fat meal ingestion“ [6].....	44
Abbildung 17: Glukose aus "Effect of fat emulsion infusion and fat feeding on muscle glycogen utilization during cycle exercise." [54] .....	48
Abbildung 18: Triglyzeride aus "Effects of different macronutrient consumption following a resistance-training session on fat and carbohydrate metabolism." [55].....	50
Abbildung 19: Freie Fettsäuren und Triglyzeride aus "Effect of elevated blood FFA levels on endurance performance after a single fat meal ingestion" [6]....	51

## **1 Einleitung**

Die allgemeine aerobe dynamische Ausdauer ist die entscheidende Größe für lange Ausdauerbelastungen, wie zum Beispiel einen Marathon. Für eine gute Leistungsfähigkeit bei diesen langandauernden Belastungsformen sind neben dem Herz-Kreislaufsystem und dem Atmungssystem auch das Stoffwechselsystem von großer Bedeutung. So ist in vielen Wettkampfsportarten der Energiestoffwechsel der limitierende Faktor für eine Leistungssteigerung [1]. Durch eine Mahlzeit kann der Stoffwechsel stark beeinflusst werden [2]. Die Nahrungsaufnahme vor der Ausübung von Ausdauersport ist somit ein leistungsbestimmender Faktor für den Organismus. Nahrungsaufnahmen nach dem Sport spielen auch eine große Rolle, zum Beispiel für den Ablauf der Regenerationsphase. Aufgrund dessen handelt es sich bei der Nahrungsaufnahme in Kombination mit sportlicher Betätigung um ein intensiv untersuchtes Themengebiet.

Vergleiche zwischen den Effekten von kohlenhydratreichen, proteinreichen und fettreichen Mahlzeiten vor einer körperlichen Ausdauerbelastung wurden bereits vielfählig durchgeführt, liefern aber unterschiedliche Ergebnisse. Während einige Studien eine verzögerte Erschöpfung nach einer fettreichen Probemahlzeit feststellen [3, 4], zeigen andere Studien keine Auswirkung auf die Langzeitausdauerleistung der Probanden nach kohlenhydratreichen oder fettreichen Mahlzeiten [5-9]. Bei Rowlands et al. war die Auswirkung der Nahrungszusammensetzung nicht signifikant auf die Leistungsfähigkeit. Sportler erreichten ihre besten Ergebnisse bei einer 50 km langen Radfahrt jedoch nach der Einnahme einer 85 prozentigen Fettmahlzeit eineinhalb Stunden zuvor [9]. Trotz großer Anzahl an vorliegenden Studien und unterschiedlichen Ergebnissen, gibt es bisher keinen Versuch, der das Zusammenspiel des Kohlenhydratstoffwechsels mit weiteren Stoffwechselwegen nach der Gabe einer fettreichen Probemahlzeit zwischen Kombinationen aus sportlichen Belastungen und Ruhephasen untersucht.

## 1.1 Grundlagen des Kohlenhydratstoffwechsels

Der Kohlenhydratstoffwechsel ist neben dem Lipidstoffwechsel einer von zwei wichtigen Stoffwechselwegen bei langandauernden Belastungen. Er spielt vor allem in den ersten 90 Minuten einer Langzeitausdauerbelastung eine dominierende Rolle. Bei Ausdauersportarten mit Belastung unter der anaeroben Schwelle, erfolgt die Energiegewinnung neben der Fettoxidation zu einem großen Teil aus der aeroben Verstoffwechslung von Glukose. Dabei entstehen außer CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O keine weiteren Abfallprodukte. Glukose wird per Glykolyse zuerst zu Pyruvat verstoffwechselt und anschließend über den Citratzyklus und die Atmungskette vollständig verstoffwechselt. Glukose kann durch die Spaltung von langen Zuckerketten aus der Nahrung oder durch die Spaltung von Glykogen bereitgestellt werden. Glykogen wird vom Körper in größeren Mengen im Muskel und in der Leber gespeichert. Die Leber speichert Glykogen in einer Größenordnung von 400 kcal und die Skelettmuskulatur weitere 1200 kcal, wobei Ausdauertrainierte ihre Glykogenspeicher auf über 3000 kcal ausbauen können [10]. Das bedeutet, dass die Glykogenspeicher nach sportlichen Betätigungen oder nächtlichem Fasten nicht automatisch vollständig entleert sein müssen. Relevant sind die Kohlenhydratspeicher nicht nur für das Erbringen von sportlicher Leistung, sondern auch für die Versorgung von Gehirn- und Nierenzellen. Speziell aber bei mittleren bis zu langen Ausdaueranforderungen spielt der Umfang, sowie die Füllung der Glykogenspeicher eine leistungsbestimmende Rolle für den Sportler [11-13].

Durch die Glykogenolyse kann der Glukosespiegel bei erhöhtem Energiebedarf auf einem konstanten Niveau gehalten werden. Bei Bedarf, wird Glykogen durch zwei Enzyme, die Glycogenphosphorylase und die 4- $\alpha$ -Glucanotransferase, zu Glukose gespalten. Eine entscheidende Größe für die Aktivität des Kohlenhydratstoffwechsels ist die Kohlenhydrataufnahme aus Nahrung vor oder während einer Belastung [14] und die Größe des Glykogenspeichers in Muskel und Leber, also die Substratbereitstellung. Durch ständige Zufuhr von kurzkettigen Kohlenhydraten, beispielsweise durch kohlenhydrathaltige Getränke, kann eine Ausdauerleistung im Wettkampf signifikant gesteigert

werden [14-17]. Dadurch kann auch bei variablen Belastungsintensitäten Glykogen gespart werden [18]. Zu beachten ist, dass es beim Konsum solcher zuckerhaltigen Produkte zu Magenproblemen kommen kann.

Neben der Aufnahme von Kohlenhydraten, kann der Körper durch die Gluconeogenese selbst Kohlenhydrate erzeugen. Dabei werden Substrate wie Pyruvat, Laktat und Glycerin verwendet. Durch die Spaltung von Triglyzeriden, kann das Glycerin im Blut ansteigen und steht der Gluconeogenese zur Verfügung.

Der Vorteil des Kohlenhydratstoffwechsels liegt in der schnellen Energiebereitstellung im Vergleich zur Fettsäureoxidation. Außerdem haben die Kohlenhydrate mit 21kJ/Liter O<sub>2</sub> das höchste kalorische Äquivalent. So werden bei der gleichen Menge Sauerstoff 8% mehr Kohlenhydrate oxidiert als Fettsäuren [10]. Auch bei Sauerstoffmangel kann der Kohlenhydratstoffwechsel kurzzeitig aufrechterhalten werden. Die anaerobe Energiegewinnung führt jedoch schnell zu einer Übersäuerung der Muskulatur, die beim Ausdauersportler gefürchtet ist und zu einem Abbruch der Belastung führt. Das dabei anfallende Laktat ist ein Zwischenprodukt der anaeroben Glykolyse und diente am ersten Untersuchungstag zur Leistungsdiagnostik, womit die individuell richtige Laufgeschwindigkeit für die Probanden eingestellt werden kann. Steigt der Laktatspiegel eines Sportlers durch eine intensive Belastung stark an, werden weniger freie Fettsäuren aus dem Fettgewebe mobilisiert [19].

## 1.2 Die Rolle des Trainingseffekts für den Stoffwechsel

Ausdauertraining hat viele positive Effekte auf den Organismus. Ein bekannter Effekt des Trainingseffektes ist eine verbesserte Säuretoleranz mit gesteigerter Pufferkapazität des Blutes. Im Muskel findet durch regelmäßiges Ausdauertraining ebenfalls eine Anpassung statt. So lässt sich mittels Nadelbiopsie eine große Häufung an Typ I Muskelfasern bei Marathonläufern und anderen Ausdauersportlern feststellen [14, 20]. Auch auf den Stoffwechsel hat Ausdauertraining positive Effekte.



Brouns et al publizierten 1998 sechs leistungssteigernde Faktoren für den Fettstoffwechsel, die Ausdauertraining erwiesenermaßen verbessert:

- Verbesserter Blutfluss und verbesserte Kapillarisation
- Verbesserte Lipolyse von Triglyzeriden im Fettgewebe und mehr zirkulierende Triglyzeride im Blut, sowie ein verbesserter Transport von freien Fettsäuren aus dem Blut ins sarkoplasmatische Retikulum
- Erhöhte Verfügbarkeit und Hydrolyserate von Triglyzeriden im Muskel
- Verbesserte Aktivierung von freien Fettsäuren und verbesserter Transport durch die Mitochondrienmembran
- Verbesserte Enzymaktivität bei der oxidativen Phosphorylierung
- Hormonelle Anpassungen wie zum Beispiel die gesteigerte Sensitivität gegenüber Katecholaminen und Insulin [21]

Durch die beschriebene bessere Kapillarisation des Muskels ist beispielsweise ein verbesserter Zu- und Abtransport von Substraten und Abfallprodukten des Stoffwechsels möglich. Eine Übersäuerung durch die anaerobe Glykolyse kann auch so besser aufgefangen werden. Außerdem ist eine optimale Versorgung der gesamten Muskulatur mit Substraten möglich. Durch die gesteigerte Verfügbarkeit von freien Fettsäuren für die Fettoxidation, sowohl direkt in der Muskulatur als auch im gesamten Blutkreislauf, lässt sich der beim Ausdauersportler erhöhte Anteil der Fettverbrennung und damit ein erniedrigter RQ-Wert bei Belastungen erklären. Ziel des verbesserten Fettstoffwechsels bei guten Ausdauersportlern ist vor allem die Schonung der Glykogenreserven.

Der verbesserte Kohlenhydratstoffwechsel bei Ausdauertrainierten ist vor allem durch die vergrößerten Glykogenspeicher gekennzeichnet (s.o.). So kann der Sportler der biologischen Priorität einer Homöostase der Glukose auch beim Sport länger nachkommen [14].

Stark beeinflusst werden beide Stoffwechselwege durch das Hormon Insulin. Durch die erhöhte Insulinsensitivität bei Ausdauersportlern kommt dieser mit niedrigerem Insulinspiegel aus. Bereits nach einem sechsmonatigen Ausdauertraining ist einer erhöhte Insulinsensitivität feststellbar [22]. Auf die Effekte des Insulins soll genauer im folgenden Kapitel eingegangen werden.

### 1.3 Die Rolle des Insulins beim Erbringen einer Ausdauerleistung

Insulin ist ein Peptidhormon und wird in den B-Zelle des Pankreas gebildet. Es senkt die Glukose, fördert die Bildung von Energiespeichern und das Zellwachstum und ist somit ein wichtiges anaboles Hormon [23]. Insulin ist das einzige Hormon, welches die Glukose senkt. So besitzt es speziell für den Kohlenhydratmetabolismus, aber auch für den Stoffwechsel in seiner Gesamtheit eine sehr große Rolle. Aufgabe des Insulins ist es, die Homöostase der Glukose mit zu gewährleisten.

Ausgeschüttet wird Insulin bei hoher Glukose, die vor allem nach einer ausgeprägten Kohlenhydratmahlzeit vorkommen. Freigesetztes Insulin reguliert den Kohlenhydratstoffwechsel antagonistisch zu Glukagon und Katecholaminen. In der Muskulatur steigert es die Glukoseaufnahme aus dem Blut durch den insulinabhängigen GLUT4 Transporter, welcher nach Insulinausschüttung in die Membranen eingebaut wird. Insulin stimuliert die Glykogensynthese, also den Aufbau neuer Energiereserven und fördert gleichzeitig die Glykolyse. Ein schnellstmöglicher Abfall der Glukose in den Bereich zwischen 80 und 120 mg/dl soll erreicht werden. An Fettzellen bewirkt Insulin ebenfalls eine gesteigerte Glukoseaufnahme in die Zelle, fördert die Lipogenese und hemmt die Freisetzung neuer freier Fettsäuren ins Blut, wodurch der Organismus weitestgehend auf die Verstoffwechselung von Glukose ausgelegt wird. Beim Treiben von Ausdauersport ist ein gut trainierter Stoffwechsel prinzipiell aber eher auf das Sparen von Glukose ausgelegt. Ein zu starkes Abfallen des Blutglukosespiegels sollte in jedem Fall vermieden werden. Nur so kann der Körper eine konstante Leistung liefern. Bei sportlichen Langzeitbelastungen mit halbmaximaler Sauerstoffaufnahme sinkt der Insulinspiegel im Blut des Sportlers ab [24]. Dieser Mechanismus kommt durch eine alphaadrenerge Hemmung der Freisetzung von Insulin zustande. Das führt zu einer gesteigerten Glukose- und Fettsäurenmobilisation, da der hemmende Effekt auf die hepatische und muskuläre Glykogenolyse und auf die Lipolyse im Fettgewebe zurückgeht [25]. Ein sinkender Insulinspiegel fördert somit die Energiebereitstellung für die peripher beanspruchte Muskulatur. Die Glukoseaufnahme im Muskel ist jedoch

nicht beeinträchtigt, da die Bedeutung des Insulins für die Glukoseaufnahme in die arbeitende Muskelzelle bei maximaler Belastung gering ist [25]. Ein zu hoher Insulinspiegel könnte wegen des erhöhten Energieumsatzes zu einer Hypoglykämie führen; hätte für die Substrataufnahme der arbeitenden Muskulatur jedoch keinen großen Effekt. Der arbeitende Muskel kann unabhängig vom Insulin Glukose aufnehmen. Bei Ausdauertrainierten ist eine besonders hohe Insulinsensitivität festzustellen. Richter et al. bestätigten 1989 den Effekt, dass eine einzige lange und intensive Trainingseinheit die Insulinsensitivität der Rezeptoren im Muskel erhöhen kann [26]. Ausdauertrainierte können somit bis zu doppelt so viele GLUT4 Transporter in ihren Muskelzellen enthalten wie Muskeln nicht speziell ausdauertrainierter Probanden. Ein protektiver Effekt von Ausdauersport gegenüber Diabetes mellitus Typ 2 ist vielfach beschrieben, weshalb Ausdauersport auch für die Pathologie der Insulinwirkung eine große Rolle spielt.

#### 1.4 Effekt einer fettreichen Probemahlzeit auf den Stoffwechsel

Wie oben beschrieben kann eine kurzzeitige Zuckerezufuhr den Kohlenhydratstoffwechsel bei einer Belastung langfristig am Laufen halten. Dieser Effekt ist vielfach beschrieben und in vielen Leistungssportbereichen heute auch gängige Praxis.

Wie sieht es aber aus, wenn der Sportler statt kurzzeitigen Kohlenhydraten eine Fettmahlzeit zu sich nimmt? Im Gegensatz zum eher kleinen Glykogenspeicher sind die Fettreserven des Körpers nahezu unendlich und daher kein limitierender Faktor für eine Ausdauerleistung [10, 14]. Allerdings liefern Studien Ergebnisse, die ein späteres Ermüden bei Ausdauerbelastungen nach Fettmahlzeiten zeigen [3, 4]. Eine mögliche Erklärung für diesen Mechanismus bietet der Randle Zyklus. Bei hoher Glukose, beispielsweise nach einer kohlenhydratreichen Mahlzeit, steigt das Insulin. Dies bewirkt über mehrere Wirkmechanismen eine Senkung der Glukose. So wird die Glykolyse gefördert und die Lipolyse gehemmt. Ein ähnlicher Prozess ist im nüchternen Zustand bekannt, wenn die Glukose eher gering und die Leberglykogenspeicher leer sind. Der Glucose-Fettsäure Zyklus (Randle Zyklus) hemmt den Glukoseabbau sowie die Glukoseaufnahme der

Muskelzellen. So besteht eine direkte Wechselwirkung zwischen Kohlenhydrat- und Fettsäuremetabolismus [28, 29]. Möglich wird der Effekt, sobald ein hohes Angebot an freien Fettsäuren zur Oxidation zur Verfügung steht. Über die Rückkopplung des Pyruvats wird die weitere enzymatische Umsetzung in der Glykolyse gehemmt. Stattdessen wird der Citratzyklus über Acetyl-Coenzym A aus der Beta Oxidation aufrechterhalten [30]. Nach einer fettreichen Mahlzeit und leeren Glykogenspeichern kann der Körper den peripheren Stoffwechsel durch freie Fettsäuren aufrechterhalten, während durch den Randle Zyklus Glukose für das Zentralnervensystem und das Nierenmark eingespart wird. So beeinflusst ein Überangebot von freien Fettsäuren nach einer fettigen Mahlzeit die Aktivität des Kohlenhydratstoffwechsels. Da im Muskel jedoch immer ein großes Triglyzeriddepot vorhanden ist, ist der Körper während einer sportlichen Aktivität weniger auf fettreiche Substratzufuhr angewiesen. Bei einer Belastung mit 50% der maximalen Sauerstoffaufnahme werden gerade einmal 30% der verstoffwechselten Fettsäuren aus dem Blut bezogen, während der Rest aus den intramuskulären Fettspeichern stammt [10]. Dabei wird zwischen intra- und extramyozellulären Lipiden unterschieden.

Langfristig fettige Ernährung lieferte im Gegensatz zum Ausdauertraining keine Hinweise auf Anpassungen des Stoffwechsels [21]. Kombiniert man Mahlzeiten aus Fetten oder Proteinen mit Kohlenhydraten, läuft die Kohlenhydrataufnahme im Darm verzögert [10]. Für Sportler ein durchaus relevanter Effekt, da eine große Kohlenhydratzufuhr beim Sport einen steilen Anstieg an Insulin bewirken kann. Auch bei der Aufnahme einer Fettmahlzeit ist sowohl beim Menschen, als auch beim Tierversuch mit Mäusen eine Reduktion der Insulinsekretion zu beobachten [31, 32].

## 1.5 Wissenschaftliche Zielsetzung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, den Effekt einer fettreichen Mahlzeit auf den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel und seine Zusammensetzung darzustellen. Wie reagiert der Stoffwechsel auf vorangegangene Belastung und eine einstündige postprandiale Pause mit weiter folgenden sportlichen Belastungseinheiten? Dabei wird untersucht, ob sich Unterschiede zwischen sehr gut Ausdauertrainierten und

nicht speziell Ausdauertrainierten ergeben. Es ist explizit darauf zu achten, dass am Versuch keine Untrainierten teilnehmen, da der Versuchsablauf nicht in vollem Umfang von Untrainierten zu absolvieren ist.

## **2 Methodik**

### **2.1 Untersuchungsdesign**

Von der Ethikkommission wurde die Studie als klinisch/experimentelle Querschnittsstudie genehmigt. Am ersten Untersuchungstag erfolgte eine klinisch internistische Anamnese, mit körperlicher Untersuchung, Sportanamnese und Feststellung der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen, mittels Durchführung eines Spiroergometrietests mit Belastungs-EKG und einer Laktatleistungsdiagnostik. Die Probanden wurden in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt, mit 18 beziehungsweise 14 Männern:

- Sehr gut ausdauertrainierte Marathonläufer (ML, Probandengruppe 1)
- Nicht speziell ausdauertrainierte Allroundsportler (AL, Probandengruppe 2)

Am zweiten Untersuchungstag erfolgte die Durchführung der Studie mit der Erhebung folgender Stoffwechselfparameter:

- Laktat
- Insulin
- Glukose
- Triglyzeride

Die Feststellung ob, die Probanden zur Teilnahme geeignet waren, sowie die Gruppeneinteilung erfolgte nach folgenden Punkten:

Einschlusskriterien für die Probanden beider Gruppen:

- Männer im Alter zwischen 20 – 35 Jahren
- Nichtraucher
- Körperliche Leistungsfähigkeit
- Keine regelmäßige Einnahme von Medikamenten

- Keine psychosomatischen Erkrankungen, die das Aufbringen der erforderlichen Leistung gefährden
- Ausschluss einer Schwäche des Herzkreislaufsystems beim initialen Laufbandstufentest mit Belastungs-EKG
- Ausschluss einer Kreislauf- oder Stoffwechselerkrankung
- BMI <27 kg/m<sup>2</sup>

Spezielle Einschlusskriterien für die erste Probandengruppe (ML) waren:

- eine Marathonzeit unter 3,5h
- eine individuelle anaerobe Schwelle über 13 km/h Laufgeschwindigkeit
- eine relativ maximale Sauerstoffaufnahme  $VO_{2max}$  von mindestens 52 ml\*min<sup>-1</sup>\*kg<sup>-1</sup>

Die speziellen Einschlusskriterien für die zweite Probandengruppe (AL) waren:

- ein Mindestsportprogramm von insgesamt zwei Stunden pro Woche mit einem Anteil von weniger als einer Stunde spezifischem Ausdauersport
- eine individuelle anaerobe Schwelle unter 11,1 km/h Laufgeschwindigkeit
- eine relativ maximale Sauerstoffaufnahme  $VO_{2max}$  von weniger als 49 ml\*min<sup>-1</sup>\*kg<sup>-1</sup>
- keine regelmäßige Teilnahme an Ausdauerwettkämpfen

Probanden wurden auf die mögliche Teilnahme an der Studie mittels Informationsblättern, Werbeflyern und über den studentischen Rundmailverteiler der Eberhard-Karls-Universität Tübingen aufmerksam gemacht. Speziell in Sportvereinen, beim Hochschulsport Tübingen, in der Mensa und an Läufen in Herrenberg und in Stuttgart wurden Probanden zur Teilnahme geworben.

Am ersten Untersuchungstag folgte der Feststellung aller Einschlusskriterien, die Aufklärung über den Ablauf der Studie und die Unterzeichnung der Einwilligungserklärungen zur Studienteilnahme und zum Datenschutz durch die Probanden.

## 2.2 Anamnese, Erstuntersuchung und Leistungsdiagnostik

Alle 32 geeigneten Probanden absolvierten für die Studie zwei Versuchstage. Der erste Untersuchungstag enthielt die klinische und internistische Anamnese, eine Sportanamnese, eine körperliche Untersuchung sowie eine spiroergometrische Untersuchung mit Belastungs-EKG und Laktatleistungsdiagnostik zur Feststellung der Eignung der Probanden.

Die Anamnese wurde in einem Anamnesegespräch anhand des vorgefertigten Anamnesebogens erstellt. Die Körpermaße der Probanden wurden mittels Maßband vermessen. Es folgte eine klinische Untersuchung, inklusive einer Blutdruckmessung nach Riva-Rocci und einer Messung des Taillenumfangs. Die Messung erfolgte auf Höhe des Bauchnabels mit einem Maßband. Das Gewicht wurde mit einer elektronischen Waage der Firma Kern gemessen. Mittels Calipermetrie wurde näherungsweise der prozentuale Körperfettanteil der Probanden bestimmt. Gemessen wurde hierfür vertikal am Trizeps über dem Ellenbogen, im Stehen oberhalb der kaudalen Scapulaspitze und vertikal an der Bauchfalte zweieinhalb Zentimeter rechts des Bauchnabels. Im Spiroergometrielabor der Abteilung für Sportmedizin fand anschließend die Leistungsdiagnostik statt. Hierfür wurde das Laufband "Saturn" von der Firma H/P Cosmos Sports Medical GmbH verwendet, sowie die Anwendungen "Custo" und "Metasoft" für das EKG. Für die Kommunikation mit den Probanden wurde ein Zeichen vereinbart, um dem Sportler die Möglichkeit zu geben, mit angelegter Spirometriemaske zu signalisieren, wann er sich bei maximaler Belastung befindet. In den meisten Fällen handelte es sich um das Anheben des Arms. Nach abgeschlossener Vorbereitung wurde das Flügelrad an die Maske montiert, um die Messungen beginnen zu können. Nach der Abnahme des Ruhelaktats und der ersten EKG-Aufzeichnung in Ruhe, startete das Laufband bei der Geschwindigkeitseinstellung 6,0 km/h. Nach exakt drei Minuten stoppte das Laufband das erste Mal zur Laktatabnahme. Anschließend konnte die jeweils nächste dreiminütige Stufe der Laufbandbelastung beginnen. Das Tempo wurde dabei immer stufenweise um 2 km/h erhöht, bis das Erschöpfungssignal des Probanden kam. Nach jeder Belastungsphase stoppte das Laufband zur

Laktatabnahme für 30 Sekunden. Eine weitere Laktatabnahme erfolgte außerdem nach einer dreiminütigen Erholungsphase nach der letzten Laufbandbelastung. Nach Feststellung der Eignung eines Probanden wurde er über die nächsten Schritte aufgeklärt und für den zweiten Versuchstag terminiert.

Die Spiroergometrie mit Laktatleistungsdiagnostik liefert die individuelle Leistungsfähigkeit der Probanden und macht die individuelle Einstellung der Laufgeschwindigkeit möglich. Durch die Erfassung der Sauerstoffaufnahme und der Kohlenstoffdioxidabgabe lassen sich Aussagen über die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit machen [10]. Des Weiteren lassen sich auch Aussagen über den Stoffwechsel machen. Für die Erfassung der Atemgase wurde eine Maske der Firma Hans Rudolf eingesetzt. Dabei wurden über die Breath-by-Breath-Methode mit einem MetaLyzer 3B von Cortex die respiratorischen Daten ausgewertet. Breath-by-Breath-Methode bedeutet eine Registrierung der Atemgase quasi Atemzug um Atemzug durch schnelle Atemgasanalyse – das liefert einen umfassenden diagnostischen Überblick [1]. Die Erstellung eines Elektrokardiogramms, sowie die Erfassung der Herzfrequenz fand über das „cardio100BT“ EKG statt von der Firma custo med. Die Ableitungen der Extremitäten erfolgten jedoch an der Hüfte beziehungsweise an der Schulter, um die uneingeschränkte Bewegung auf dem Laufband zu ermöglichen. Die Erfassung der maximalen Herzfrequenz wurde anschließend anhand des EKGs ermittelt. Außerdem wurden alle EKGs der Probanden auf pathologische Befunde untersucht. Die Untersuchung erfolgte nach den Qualitätskriterien der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin & Prävention (DGSP).

### 2.3 Laktat-Leistungsdiagnostik

Zu jeder Blutabnahme am zweiten Versuchstag, sowie am ersten Versuchstag zu jeder Belastungsstufe beim spiroergometrischen Test wurde ein Laktattest gemacht. Der Ablauf war bei allen Tests stets gleich. Zuerst wurde mit einer Finalgonsalbe das rechte Ohrfläppchen vor dem Stich eine Minute lang hyperämisiert. Anschließend wurde mit einer Haemostilette der Firma Asid Bonz eine Blutung provoziert. Der erste Blutropfen wurde noch mittels Tupfer abgewischt. Anschließend wurde in Ruhe mit einer Na-heparinisierten



Mikropipette der Firma EKF Diagnostik circa 20 µl Blut entnommen. Jede der gefüllten Mikropipetten wurde in eines der vorbereiteten Safe-Lock-Eppendorfgeäße der Firma CARE diagnostica gegeben, welche mit einem Milliliter Systemlösung gefüllt waren. Anschließend erfolgte die Mischung der Blutprobe mit der Hämolyse-Lösung händisches Schütteln. Bestimmt wurden die Laktatwerte über das Messgerät „Biosen S\_line“ von der Firma EKF Diagnostic durch enzymatisch-amperometrische Messung. Durch die Verrechnung der bekannten sportlichen Intensität mit dem Verlauf des Laktats konnte mit dem Programm „Ergonizer“ die individuelle Laktatleistungskurve jedes Teilnehmers errechnet werden. Verwendet wurden dazu außerdem Gewicht, Körpergröße, Herzfrequenz, Alter und BMI der Probanden. Ermittelt wurden somit die Größen Lactate Treshold (LT) und die individuell anaerobe Schwelle (IAS) zur exakten Einstellung der Laufgeschwindigkeit.

## 2.4 Versuchsablauf

Nach erfolgreicher Feststellung aller erforderlichen Leistungsparameter und den weiteren einschließenden Kriterien wurden alle geeigneten Probanden an das Verhalten vor dem zweiten Versuchstag erinnert. Dieses beinhaltete ein Fasten von mindestens acht Stunden über Nacht, sowie den Verzicht auf Sport, Kaffee, Rauchen, Alkohol und weitere Drogen zwei Tage vor dem zweiten Versuchstag. Alle Probanden wurden am zweiten Versuchstag morgens getestet um 6.45 Uhr oder um 10.15 Uhr.

Nach dem Eintreffen der Probanden begann der Versuch mit der ersten Blutabnahme sowie einer Laktatleistungsdiagnostik mittels Blutabnahme am Ohr. Der Ruhepuls der Probanden wurde auf dem Versuchsblatt (siehe Anhang) zum zweiten Versuchstag notiert. Dazu wurde den Probanden ein angefeuchteter Pulsgurt der Firma "Polar" umgelegt. Anschließend begann die erste Laufeinheit auf einem Laufband "quasar" der Firma H/P Cosmos Sports Medical GmbH. Insgesamt wurden von jedem Versuchsteilnehmer drei Laufeinheiten absolviert. Jede Laufeinheit dauerte 30 Minuten und hatte eine Intensität 15% unter der individuellen anaeroben Schwelle des jeweiligen Sportlers. Alle zehn Minuten wurde der Puls der Probanden auf dem Versuchsblatt notiert. Nach der ersten

Laufeinheit erhielt jeder Proband 250 ml "Frischer Alpenschlagrahm – 32%Fett" der Firma Weihenstephan zu trinken (Nährwertangaben pro 100g: Kohlenhydrate: 3,3 g Fett: 32,5 g Eiweiß: 2,5 g). Die Trinkzeiten und das subjektive Empfinden der Probanden wurden dabei notiert. Auf die Sahnemahlzeit folgte eine einstündige Pause in körperlicher Ruhe, welche von den meisten Probanden in der Bibliothek der Abteilung für Sportmedizin verbracht wurde. Nach der Pause absolvierten die Probanden noch einmal zwei 30-minütige Laufeinheiten, lediglich getrennt durch eine Blutabnahme und die Messung des Laktats. Am Ende der letzten Laufeinheit erfolgte die fünfte Blutabnahme mit Laktattest und nach 15-minütiger Pause in körperlicher Ruhe die sechste und letzte Blutabnahme mit der Messung des letzten Laktats. Danach war der zweite Versuchstag abgeschlossen. Für die Probanden bestand die Möglichkeit, ihre individuellen Ergebnisse der Blutuntersuchungen am jeweils nächsten Tag in der Sportmedizin zu besprechen.

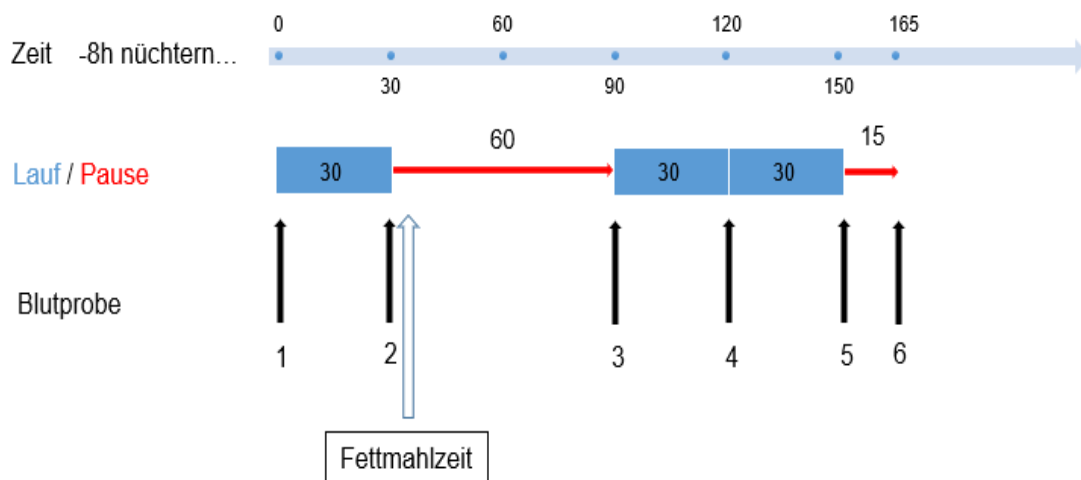


Abbildung 1: Ablauf 2. Versuchstag

Insgesamt wurde den Probanden während des zweiten Untersuchungstages sechsmal Blut abgenommen. Der Ablauf des zweiten Tages ist in Abbildung 1 skizziert.

## 2.5 Blutabnahme

Die Blutabnahme erfolgte sechsmal, nach identischer Vorgehensweise. Die erste Blutabnahme stellte den Beginn des zweiten Versuchstags dar. Hierfür wurden im nüchternen Zustand circa 25 ml Blut abgenommen. Diese setzten sich zusammen aus zwei 2,7 ml EDTA-k-Blutentnahmeröhrchen, zwei 5,5 ml Blutentnahmeröhrchen, einem 5,5 ml Lithium-Heparin-Blutentnahmeröhrchen und einem 2,7 ml Glukose-Blutentnahmeröhrchen. Das 5,5 ml Blutröhrchen wurde direkt im Labor der Sportmedizin weiter präpariert. Nach 15-minütigem Durchlauf in der Kühlzentrifuge Universal/K2S bei 1500 Umdrehungen pro Minute und 4°C konnte ein Überstand in zwei CORNING 1 ml Röhrchen abpipettiert werden. Dafür wurde die Pipette „Eppendorf Research 1000“ verwendet. Dieses Verfahren wiederholte sich bei allen sechs Blutabnahmen. So ergaben sich nach jeder der sechs Blutabnahmen jeweils zwei CORNING-Röhrchen, die nach dem gleichen Prinzip präpariert wurden und anschließend in Flüssigstickstoff oder Trockeneis gelagert wurde. Als der Vorgang mit allen sechs 5,5 ml Blutröhrchen abgeschlossen war, wurden die CORNING-Röhrchen weiter im Kühlschrank Hera Freeze/HFUT SERIES bei minus 82°C aufbewahrt.

Die zweite, dritte, vierte und fünfte Blutentnahme setzten sich aus zwei 5,5 ml Blutröhrchen für die oben beschriebene Präparation im Labor der Sportmedizin, einem 5,5 ml Lithium-Heparin-Blutröhrchen und einem 2,7 ml Glukoseblutröhrchen zusammen. Somit kam jeder Proband auf ein Blutvolumen von ca. 19 ml bei der zweiten bis zur fünften Blutabnahme.

Die sechste Blutentnahme beinhaltete zwei 5,5 ml Blutröhrchen, wie bei den vorangegangenen Blutentnahmen, ein 5,5 ml Lithium-Heparin-Blutröhrchen, ein 2,7 ml EDTA-k-Blutröhrchen und ein 2,7 ml Glukose-Blutröhrchen. Daraus ergab sich für jeden Probanden eine abgenommene Blutmenge von ungefähr 22 Millilitern. Alle Blutproben des zweiten Untersuchungstages wurden im Zentrallabor der Universitätsklinik ausgewertet.

## 2.6 Statistische Auswertung

Alle erfassten Daten wurden mittels Excel 2002 dokumentiert, unterteilt in die beiden Versuchstage. Die statistische Auswertung der Daten, sowie die Erstellung der Diagramme 2 bis 11 erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics 25. Die Diagramme 12 bis 15 wurden mit dem Statistikprogramm R erstellt.

Die Feststellung der Signifikanz für Gruppenunterschiede zu einem bestimmten Zeitpunkt erfolgte über ANOVA, einen Mittelwertvergleich bei unabhängigen Stichproben, mit Hilfe des Programms IBM SPSS Statistics 25. Die Varianzgleichheit wurde im Levene Test auf einem Signifikanzniveau von 5% ausgeschlossen, wobei anschließend ein T-Test für die Gleichheit der Erwartungswerte durchgeführt wurde, ebenfalls auf einem Signifikanzniveau von 5%. Gruppenunterschiede im zeitlichen Verlauf wurden mittels ANCOVA Test ebenfalls im Programm IBM SPSS Statistics 25 überprüft. Hierfür wurde als Baseline entweder die erste Blutabnahme zum Zeitpunkt 0 ausgewählt, oder die zweite Blutabnahme zum Zeitpunkt „30 Minuten“ unmittelbar vor der Sahnemahlzeit. Geprüft wurde anschließend, ob Gruppenunterschiede in der Entwicklung der Mittelwerte im Vergleich zu einem der beiden gewählten Baselinewerte vorliegen. Alle durchgeführten Tests sind im Anhang ab Seite 66 dokumentiert.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse des ersten Untersuchungstags

#### 3.1.1 Anamnese und Erstuntersuchung

Insgesamt waren 32 untersuchte Probanden vom ersten Versuchstag aus anamnestischer und klinischer Sicht für die Studie geeignet.

Alle für die Studie zugelassenen Probanden erfüllten die unter 2.1 beschriebenen Einschlusskriterien.

Der jüngste Proband war 20 Jahre alt, der älteste Proband war 34 Jahre alt. Beide Probandengruppen hatten ein Durchschnittsalter von 26 Jahren. Die größten

Probanden der beiden Gruppen waren jeweils 189 cm groß. Das Minimum der AL-Gruppe lag bei 166 cm, während das Minimum der ML-Gruppe bei 176 cm lag. Der Median der AL Gruppe lag bei 179,5 cm und bei der ML Gruppe bei 182,5 cm. Der schwerste Proband bei der AL-Gruppe wog 86 kg, bei der ML-Gruppe 83 kg und der leichteste Proband der AL-Gruppe wog 67 kg, bei der ML-Gruppe 65 kg. Ihren Median hatte die AL-Gruppe bei 75,5 kg, während die ML-Gruppe ihren Median bei 74 kg hat.

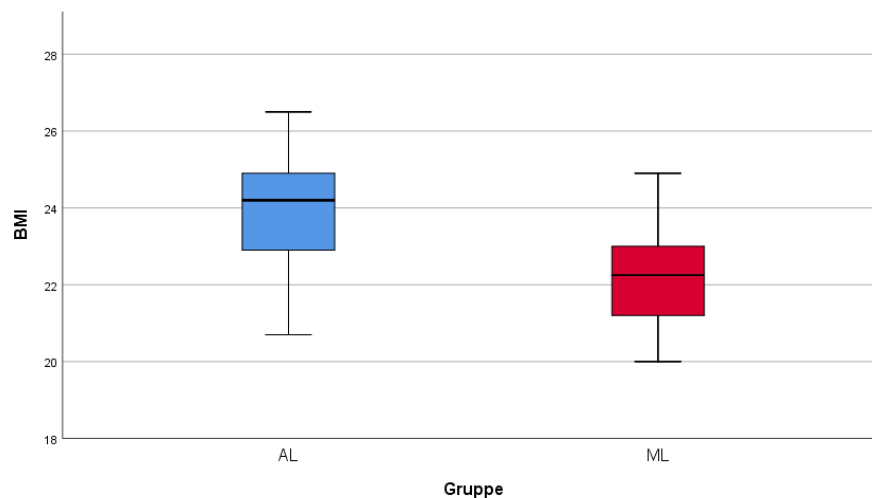


Abbildung 2: BMI in Gruppen

Der BMI der AL-Gruppe liegt im Bereich von 20,7 bis 26,5 mit einem Median von 24,2. Bei der ML-Gruppe liegt der BMI aller Probanden im Bereich von 20,0 bis 24,9 mit einem Median von 22,25. Mit  $p < 0,01$  sind signifikante Gruppenunterschiede feststellbar.

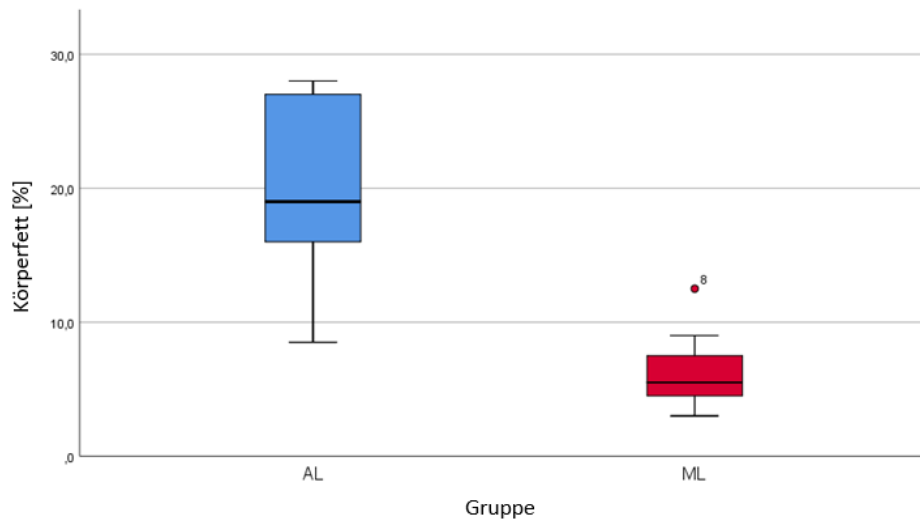


Abbildung 3: Körperfettanteil in Gruppen

Der geringste Körperfettanteil eines AL-Probanden betrug 8,5 % und der höchste Körperfettanteil beträgt 28%. Der Median der AL-Gruppe liegt bei einem Körperfettanteil von 19% und bei der ML Gruppe bei 5,5%. Hier liegt der geringste gemessene Körperfettanteil bei 3% und der höchste bei 9,5%. Es besteht mit  $p < 0,001$  ein hochsignifikanter Gruppenunterschied.

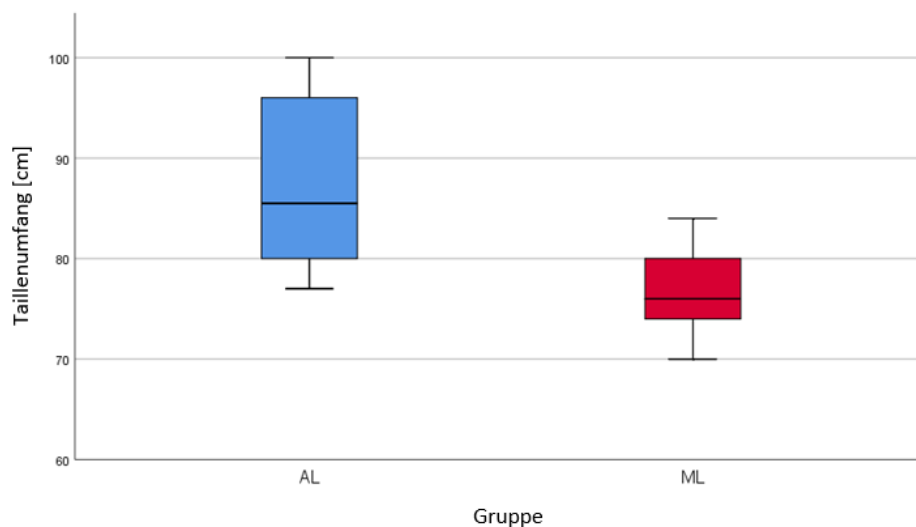


Abbildung 4: Taillenumfang in Gruppen

Der Taillenumfang der Allroundsportler liegt im Bereich von 77 cm bis 100 cm, bei einem Median von 87 cm. Bei den Marathonläufern liegt der Taillenumfang im Bereich von 70 cm bis 84 cm mit einem Median von 76 cm. Mit  $p < 0,001$  ist ein hochsignifikanter Gruppenunterschied feststellbar.

Die Probanden der ML Gruppe weisen eine durchschnittliche Marathonbestzeit von 3h 06min auf, wobei der schnellste Läufer eine Zeit von 2h 48min und der langsamste Marathonläufer eine Zeit von 3h 30min angab.

Alle Probanden der ML Gruppe gaben Laufen als Hauptsportart an. Über die Hälfte der Gruppe trainierte auch regelmäßig im Schwimmen und Radfahren.

Bei der AL Gruppe gaben nur 6 Probanden an regelmäßig Laufen zu gehen. Ansonsten verteilten sich die Allroundsportler auf die Sportarten Badminton, verschiedene Ballsportarten, Boxen, Klettern, Krafttraining, Skifahren, Springreiten, Tauchen, Tischtennis und Walken.

### 3.1.2 Laktat-Leistungsdiagnostik

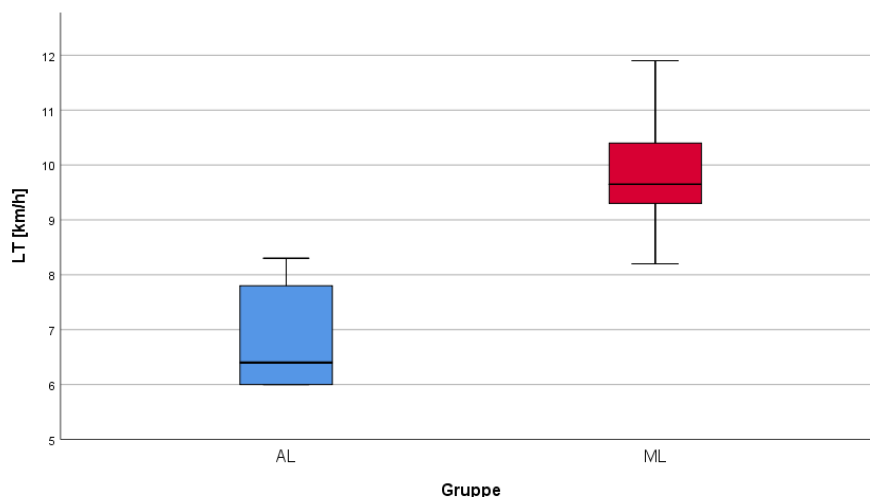


Abbildung 5: Lactate Threshold in Gruppen

Die Statistiken des Lactate Threshold entsprechen der in der deutschen Literatur verbreiteten aeroben Schwelle und wurden von K. Wasserman publiziert. Über diesem individuellen Schwellenwert muss der Organismus zur Erbringung der Leistung die anaeroben Stoffwechselwege zusätzlich zu den aeroben Stoffwechselwegen hinzuziehen [33]. Bei den beiden Probandengruppen gibt es nur eine Überschneidung mit einem Maximum von 8,3 km/h in der AL Gruppe und einem Minimum von 8,2 km/h in der ML Gruppe. Der Mittelwert liegt bei der ML Gruppe bei 9,9 km/h, wohingegen er bei der AL Gruppe mit 6,8 km/h deutlich niedriger liegt. Mit  $p < 0,001$  ist ein hochsignifikanter Gruppenunterschied feststellbar.

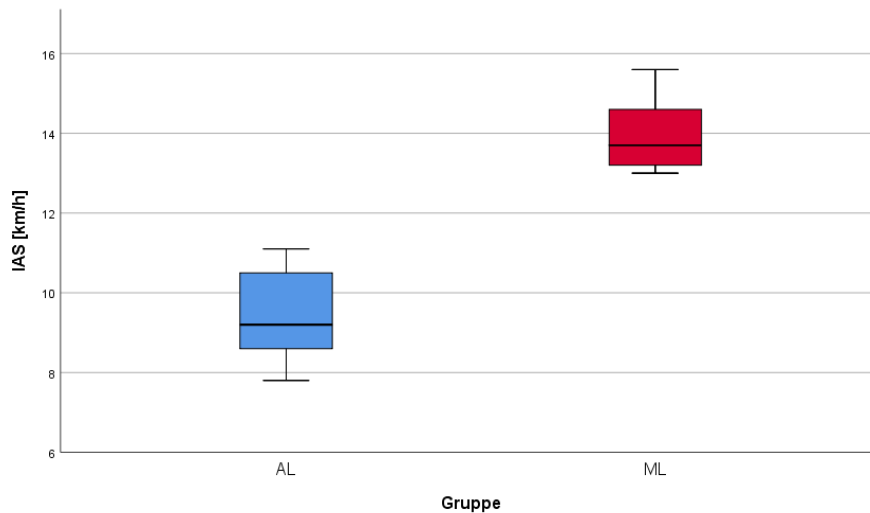


Abbildung 6: Individuelle anaerobe Schwelle in Gruppen

Bei der individuellen anaeroben Schwelle gibt es bei den Probandengruppen keine Überschneidung. Die höchste individuelle anaerobe Schwelle liegt bei 11,1 km/h in der AL Gruppe und bei 15,6 km/h in der ML Gruppe. Den Tiefpunkt hat ein AL Proband bei 7,8km/h, wobei die langsamste Geschwindigkeit in der ML Gruppe bei 13 km/h lag. Der Median liegt in der ML Gruppe bei 13,7 km/h und bei 9,2 km/h in der AL Gruppe. Mit  $p < 0,001$  ist ein hochsignifikanter Gruppenunterschied feststellbar.

### 3.1.3 Spiroergometrie

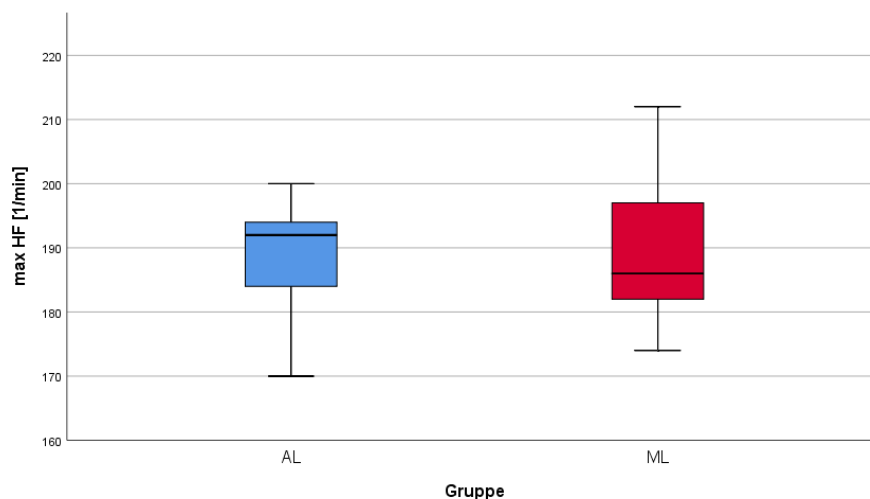


Abbildung 7: Maximale Herzfrequenz in Gruppen

Die maximale Herzfrequenz ergibt für beide Gruppen einen Mittelwert von 190 Schlägen pro Minute. Bei der ML Gruppe teilten sich die Probanden zwischen



der höchsten maximalen Herzfrequenz 212/min und der geringsten mit 174/min auf. In der AL Gruppe liegt das Maximum bei 200/min und das Minimum bei 170/min. Mit  $p < 0,99$  ist kein signifikanter Gruppenunterschied feststellbar.

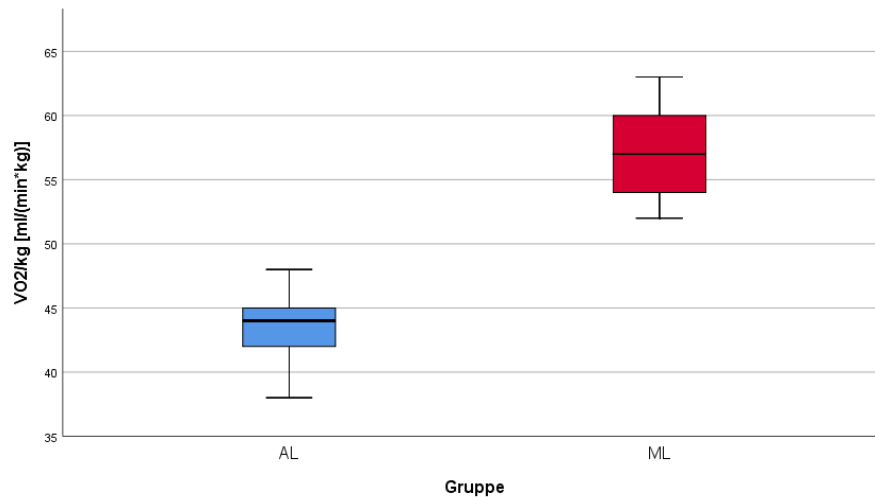


Abbildung 8: Relativ maximale Sauerstoffaufnahme in Gruppen

In Abbildung 8 sieht man die relativ maximale Sauerstoffaufnahme. Hier ist eine Spanne von  $52 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  bis  $63 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  bei den ML Probanden zu beobachten, während die Spanne der AL Probanden von  $38 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  bis  $48 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  reicht. Der Mittelwert der ML Gruppe übertrifft den der AL Gruppe mit  $57 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  zu  $43 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  deutlich. Mit  $p < 0,001$  ist ein hochsignifikanter Gruppenunterschied in der relativ maximalen Sauerstoffaufnahme feststellbar.

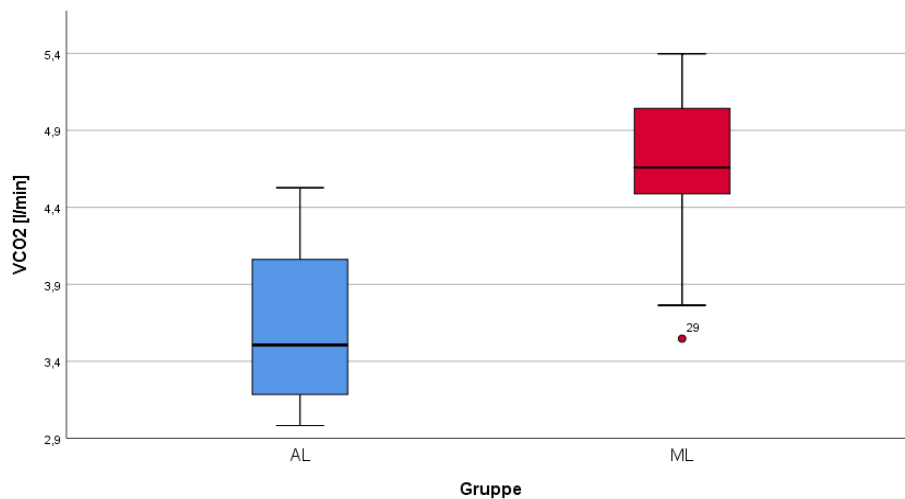


Abbildung 9: Kohlenstoffdioxidabatemung in Gruppen

Beim Vergleich der CO<sub>2</sub> Abatemung der Probanden ergibt sich für die ML Gruppe mit 4,633 l/min ein höherer Mittelwert hat als für die AL Gruppe mit 3,632 l/min. Das Maximum beträgt bei der ML Gruppe 5,397 l/min und 4,527 l/min bei der AL Gruppe. Das Minimum der ML Gruppe liegt bei 3,547 l/min und bei 2,983 l/min in der AL Gruppe. Mit  $p < 0,001$  ist ein hochsignifikanter Gruppenunterschied bei der Kohlenstoffdioxidabatemung feststellbar.

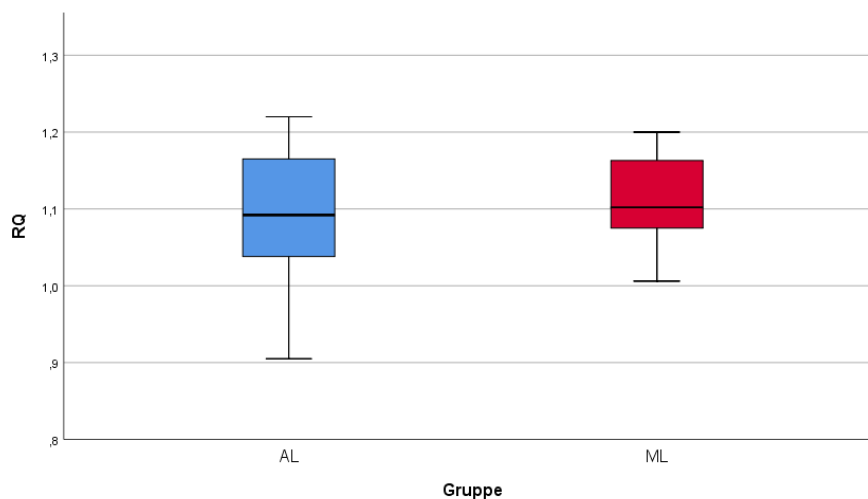


Abbildung 10: Respiratorischer Quotient in Gruppen

Der Respiratorische Quotient ergibt sich aus dem Verhältnis des abatemten Kohlenstoffdioxids zum aufgenommenen Sauerstoff aus der Atemluft in einem definierten Zeitraum. Hier ergeben sich für beide Gruppen ähnliche Werte. Der höchste RQ-Wert liegt in der ML Gruppe bei 1,2 und in der AL Gruppe bei 1,22.

Die Minima liegen bei 1,002 in der ML Gruppe und 0,905 in der AL Gruppe. In der Marathongruppe liegt der Median bei 1,102 und in der Allroundsportgruppe bei 1,092. Mit  $p < 0,53$  sind keine signifikanten Gruppenunterschiede feststellbar.

### 3.2 Ergebnisse des zweiten Untersuchungstags

#### Laktat

Blutentnahme	1 [mmol/l]	2 [mmol/l]	3 [mmol/l]	4 [mmol/l]	5 [mmol/l]	6 [mmol/l]
Marathonläufer	0,76±0,23	0,96±0,24	0,75±0,25	1,01±0,32	1,24±0,49	0,75±0,25
Allroundsportler	1,00±0,87	1,32±0,59	0,72±0,32	1,26±0,55	1,36±0,50	0,83±0,28

Tabelle 1: Mittelwerte des Laktats mit Standardabweichung

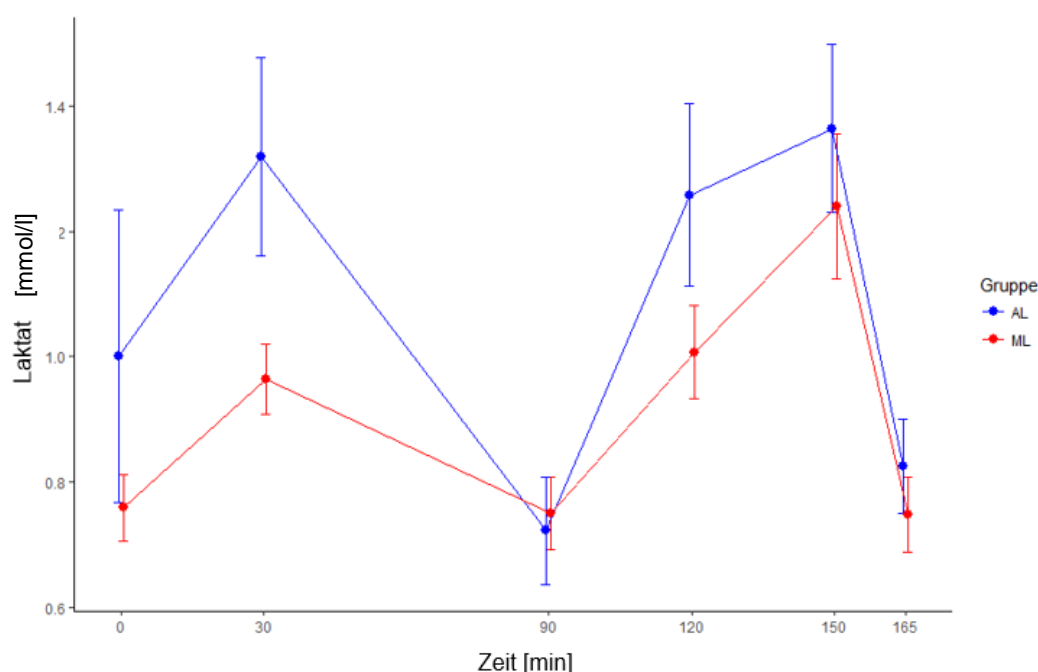


Abbildung 11: Längsschnittvarianzanalyse des Laktats in Gruppen

In Abbildung 11 ist das Laktat beider Gruppen im zeitlichen Verlauf dargestellt. Zur ersten Blutabnahme startet die ML Gruppe mit einem Laktat von 0,76 mmol/l tiefer als die AL Gruppe mit 1,00 mmol/l. Mit  $p < 0,33$  ergibt sich jedoch kein signifikanter Gruppenunterschied. Zum zweiten Messpunkt steigt das Laktat beider Gruppen deutlich an. Das Laktat der ML Gruppe liegt bei 0,94 mmol/l und bei 1,32 mmol/l in der AL Gruppe. Ein signifikanter Unterschied wird mit  $p < 0,052$  knapp verfehlt. Nach der einstündigen Pause sinkt das Laktat beider Gruppen zur dritten Messung ab. Das Laktat der ML Gruppe liegt mit 0,75 mmol/l etwas

höher als in der AL Gruppe mit 0,72 mmol/l. Sowohl im Verhältnis zur zweiten wie auch zur ersten Blutabnahme ergeben sich in der zeitlichen Entwicklung keine signifikanten Gruppenunterschiede für die dritte Blutabnahme.

Nach den zwei letzten Laufbandeinheiten steigt das Laktat der ML Gruppe zuerst auf 1,00 mmol/l und dann auf 1,24 mmol/l und in der AL Gruppe von 1,26 mmol/l und auf 1,36 mmol/l. Es ergeben sich keine weiteren signifikanten Unterschiede im Zeitverlauf zwischen beiden Probandengruppen in Bezug auf den ersten oder zweiten Messzeitpunkt. Zum letzten Messzeitpunkt nach der Pause sinkt das Laktat beider Gruppen deutlich ab. In der ML Gruppe auf 0,75 mmol/l und in der AL Gruppe auf 0,83 mmol/l.

Das höchste gemessene Laktat der AL Probanden liegt bei 2,53 mmol/l zum Zeitpunkt der fünften Blutabnahme. Zur Baseline findet man in der AL Gruppe das niedrigste Laktat mit 0,38 mmol/l. Dem gegenüber steht das niedrigste Laktat in der ML Gruppe bei 0,5 mmol/l bei der dritten Blutabnahme nach 90 Minuten. Das höchste Laktat in der ML Gruppe liegt bei 2,56 mmol/l nach 150 Minuten zum Zeitpunkt der fünften Blutabnahme.

### Insulin

Blutentnahme	1 [pmol/l]	2 [pmol/l]	3 [pmol/l]	4 [pmol/l]	5 [pmol/l]	6 [pmol/l]
Marathonläufer	39,1±15,4	69,2±20,8	58,2±31,5	101,7±47,7	78,0±32,0	49,0±37,4
Allroundsportler	57,0±26,9	58,2±32,4	71,9±33,3	102,1±30,7	71,4±53,0	53,9±26,3

Tabelle 2: Mittelwerte des Insulins mit Standardabweichung

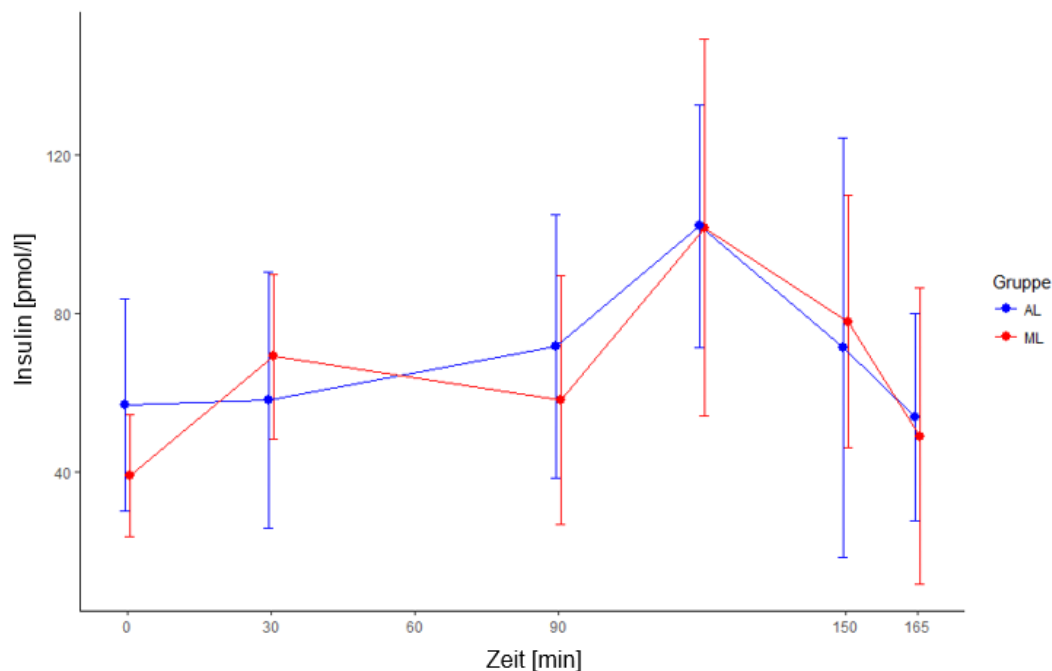


Abbildung 12: Längsschnittvarianzanalyse des Insulins in Gruppen

In Abbildung 12 ist der zeitliche Verlauf des Insulins beider Gruppen dargestellt. Das Insulin der ML Gruppe lag zum Zeitpunkt der ersten Messung bei 39,1 pmol/l und in der AL Gruppe bei 57,0 pmol/l, was mit  $p < 0,039$  einen signifikanten Gruppenunterschied zum Ausgangszeitpunkt 0 ergibt.

Nach der ersten Laufeinheit steigt das Insulin der ML Gruppe stark an auf 69,2 pmol/l während das Insulin in der AL Gruppe nur leicht steigt auf 58,2 pmol/l. Mit  $p = 0,01$  zeigt sich im zeitlichen Verhältnis zur Baseline eine signifikant unterschiedliche Entwicklung der beiden Gruppen nach der ersten Laufeinheit. Nach der Sahnemahlzeit zeigt sich ein gegenläufiger Trend zwischen beiden Gruppen. Während das Insulin in der ML Gruppe auf 58,2 pmol/l absinkt, steigt das Insulin in der AL Gruppe weiter an auf 71,9 pmol/l. Mit  $p < 0,247$  ist das Insulin zum Zeitpunkt nach 90 Minuten zwar nicht signifikant unterschiedlich. Allerdings ergibt sich im Verhältnis zur zweiten Blutabnahme direkt vor der Sahnemahlzeit eine signifikante unterschiedliche Entwicklung zwischen beiden Gruppen mit  $p < 0,043$ . Nach der einstündigen Pause steigt das Insulin beider Gruppen stark an auf 101,7 pmol/L in der ML Gruppe und 102,1 pmol/L in der AL Gruppe. Nach der letzten Laufbandeinheit und anschließend in Ruhe sinkt das Insulin beider Gruppen ab, ohne dass sich signifikante Gruppenunterschiede im

zeitlichen Verlauf nach den vorherigen Blutabnahmen ergeben. Dabei sinkt das Insulin in der AL Gruppe von 71,4 pmol/l auf 53,9 pmol/l und in der ML Gruppe von 78 pmol/l auf 49 pmol/l. Zwischen den beiden letzten Blutabnahmen ergeben sich weder zum definierten Zeitpunkt, noch im Zeitverlauf zu vorangegangenen Zeitpunkten signifikanten Gruppenunterschiede.

Das niedrigste Insulin in der AL Gruppe wurde mit 11 pmol/l zum Zeitpunkt der zweiten Blutentnahme gemessen. Das höchste Insulin liegt bei 171 pmol/l nach 150 Minuten. In der ML Gruppe liegt das höchste Insulin bei 191 pmol/l nach 120 Minuten, während das tiefste Insulin bei 9 pmol/l nach 165 Minuten gemessen wurde.

### Glukose

Blutentnahme	1 [mg/dl]	2 [mg/dl]	3 [mg/dl]	4 [mg/dl]	5 [mg/dl]	6 [mg/dl]
Marathonläufer	81,4±5,6	94,1±7,3	72,7±6,9	86,6±6,7	91,6±8,2	84,1±7,6
Allroundsportler	80,9±6,7	84,6±7,3	72,4±5,8	79,6±8,0	80,6±7,9	79,3±10,4

Tabelle 3: Mittelwerte der Glukose mit Standardabweichung

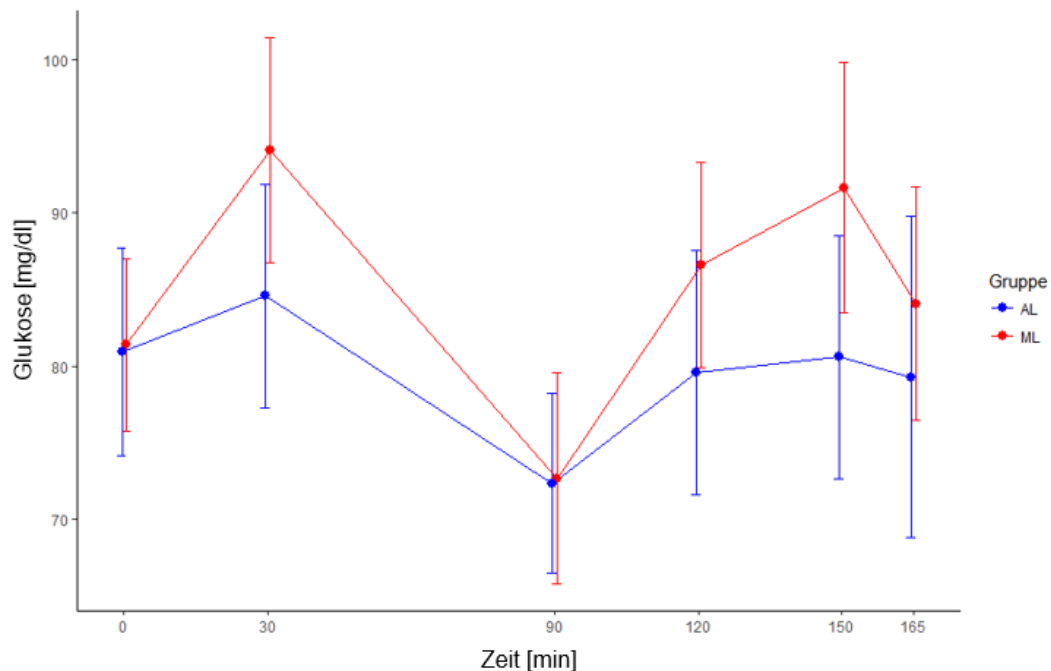


Abbildung 13: Längsschnittvarianzanalyse der Glukose in Gruppen

In Abbildung 13 ist die Glukose der Probandengruppen im zeitlichen Verlauf dargestellt. Die Glukose zur Baseline beträgt 81,4 mmol/l in der ML Gruppe und

80,9 mmol/l in der AL Gruppe. Nach der ersten Laufeinheit steigt die Glukose in beiden Gruppen an. Für die ML Gruppe ergibt sich mit  $p < 0,002$  eine signifikant höhere Glukose mit 94,1 mmol/l als für die AL Gruppe mit 84,6 mmol/l. Auch im Zeitverlauf ist die Entwicklung der Glukose beider Gruppen zwischen erster und zweiter Blutabnahme signifikant unterschiedlich mit  $p < 0,001$ . Nach der einstündigen Pause mit Fettmahlzeit sinkt die Glukose beider Gruppen auf 72,7 mmol/l in der ML Gruppe und 72,4 mmol/l in der AL Gruppe. In Bezug zur vorherigen Blutabnahme ergeben sich mit  $p < 0,093$  keine signifikanten Gruppenunterschiede im zeitlichen Verlauf. Bei sportlicher Betätigung nach 120 Minuten steigt die Glukose beider Gruppen wieder an. Zum Zeitpunkt der vierten Blutabnahme beträgt die Glukose der ML Gruppe 86,6 mmol/l und in der AL Gruppe 79,6 mmol/L. Mit  $p < 0,012$  lässt sich zum Zeitpunkt der vierten Blutabnahme ein signifikanter Gruppenunterschied feststellen. Auch im Zeitverlauf sind die Gruppenwerte im Verhältnis zur Baseline mit  $p = 0,01$  signifikant unterschiedlich. Nach der letzten Laufbandeinheit steigt die Glukose auf 91,6 mmol/l in der ML Gruppe und auf 80,6 mmol/l in der AL Gruppe. Mit  $p = 0,001$  ist zum Zeitpunkt der fünften Blutabnahme ein signifikanter Gruppenunterschied feststellbar. Auch im zeitlichen Verhältnis zur Baseline ist eine signifikant unterschiedliche Entwicklung beider Gruppen feststellbar. Nach 15-minütiger Pause sinkt der Mittelwert der ML Gruppe auf 84,1 mmol/l und in der AL Gruppe auf 79,3 mmol/l, wobei sich mit  $p < 0,146$  keine signifikanten Gruppenunterschiede ergeben. Bei der letzten Blutabnahme ist die Standardabweichung der Glukose in der AL Gruppe deutlich höher als zu den vorangegangenen Blutabnahmen.

Die höchste Glukose in der AL Gruppe liegt bei 96 mg/dl nach 165 Minuten. Der Tiefpunkt liegt in der AL Gruppe bei 60 mg/dl, ebenfalls nach 165 Minuten. In der ML Gruppe liegt der höchste Wert bei 109 mg/dl nach 150 Minuten und der tiefste Wert bei 58 mg/dl nach 90 Minuten.

## Triglyzeride

Blutentnahme	1 [mg/dl]	2 [mg/dl]	3 [mg/dl]	4 [mg/dl]	5 [mg/dl]	6 [mg/dl]
Marathonläufer	90,8±41,2	99,8±38,6	98,4±39,8	148,3±60,7	162,7±71,8	124,2±60,9
Allroundsportler	102,6±44,2	116,0±45,9	104,0±46,0	149,8±53,0	172,6±61,5	148,3±63,6

Tabelle 4: Mittelwerte der Triglyzeride mit Standartabweichung

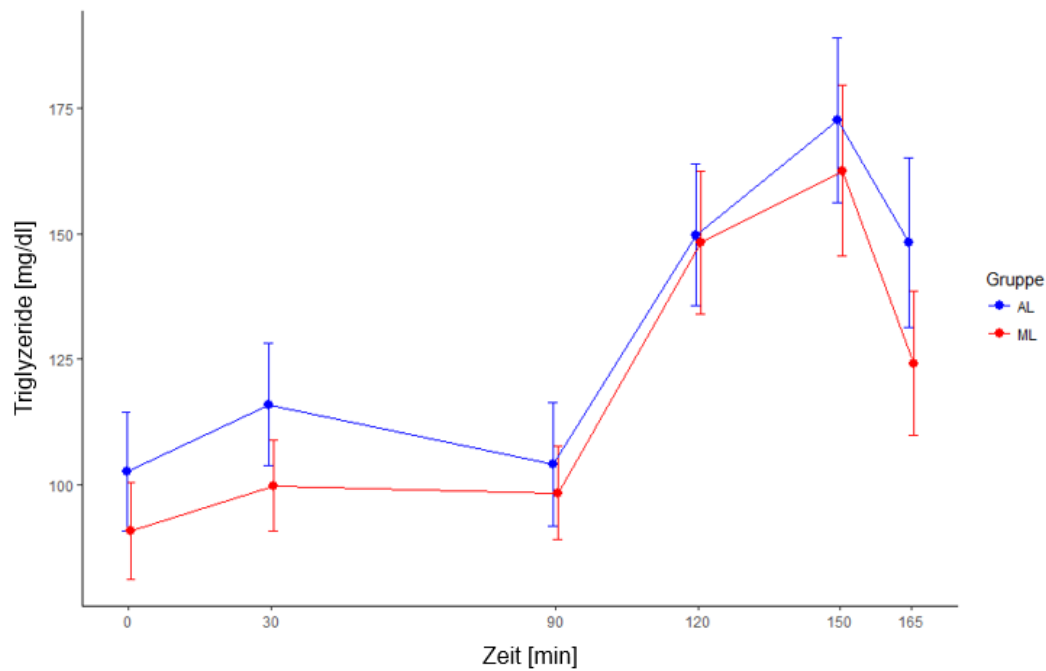


Abbildung 14: Längsschnittvarianzanalyse der Triglyzeride in Gruppen

In Abbildung 14 ist der zeitliche Verlauf der Triglyzeride im Blut erkennbar. Die wenigsten Triglyzeride haben beide Gruppen zur Baseline mit 102,6 mg/dl in der AL Gruppe und 90,8 mg/dl in der ML Gruppe. Zu jedem Messzeitpunkt des Versuchs liegen die Triglyzeride der AL Gruppe höher als in der ML Gruppe, wobei nie signifikante Gruppenunterschiede bestehen. Mit der ersten Laufeinheit steigen die Werte beider Gruppen um 13,4 mg/dl in der AL Gruppe und um 9 mg/dl in der ML Gruppe jeweils leicht an. Nach der Probemahlzeit sinken die Triglyzeride in beiden Gruppen wieder etwas ab, um während der zwei folgenden sportlichen Betätigungen wieder deutlich anzusteigen über 149,8 mg/dl und 148,3 mg/dl auf ein Maximum von 172,6 mg/dl in der AL Gruppe und 162,7 mg/dl in der ML Gruppe. Nach den Laufbandeinheiten sinken die Triglyzeride beider Gruppen wieder ab auf 148,3 mg/dl bei den Allroundsportlern und 124,2 mg/dl



bei den Marathonläufern. Insgesamt verlaufen die Kurven beider Probandengruppen nahezu identisch. Es ergaben sich im zeitlichen Vergleich zur Baseline und zum ersten Messpunkt keine signifikanten Gruppenunterschiede zu den übrigen Messungen.

### **Subjektives Empfinden der Sahnemahlzeit**

Das subjektive Empfinden der Sahnemahlzeit nach Abschluss der ersten Laufeinheit empfanden jeweils acht Probanden der ML Gruppe als „egal“ oder „schlecht“, zwei Probanden empfanden die Sahne als „gut“. In der AL Gruppe empfanden ebenfalls acht Probanden die Sahnemahlzeit als „egal“, zwei Probanden als „gut“ und vier Probanden als „schlecht“.

## **4 Diskussion:**

### **4.1 Methodenkritik**

#### **Probandenauswahl und Auswertung des ersten Untersuchungstages**

Die Probandenauswahl erfolgte am ersten Untersuchungstag und diente dem Zweck, die Probanden in zwei zu untersuchende Gruppen zu unterteilen, die möglichst präzise definiert werden sollten. Wie Poehlman et al. bewiesen, lassen sich bei fortschreitendem Alter Veränderungen im Stoffwechsel feststellen [34]. Außerdem ist das Alter ein leistungsbestimmender Faktor und beeinflusst beispielsweise den Lactat Threshold, der zur Einordnung in die Leistungsklasse und zur Bestimmung der individuellen Laufgeschwindigkeit verwendet wurde [35]. Somit ist es sinnvoll, eine schmale Altersspanne, in diesem Fall von 20 bis 34 Jahre zu wählen. Ein Mittelwert von 26 Jahren in beiden Probandengruppen schließt Ungenauigkeiten bei den Ergebnissen weitestgehend aus. Ebenfalls sind Unterschiede je nach Geschlecht zu beobachten, weshalb zur beschriebenen Studie nur Männer zugelassen wurden [36].

Wie in Abbildung 2 bis 10 ersichtlich, sollte zwischen dem sportlichen Leistungsvermögen in den Probandengruppen ein möglichst großer Unterschied bestehen. In die ML Gruppe sind aufgrund der schnellen Marathonzeit von 3:30 Stunden als Einschlusskriterium nur sehr gute Ausdauersportler aufgenommen worden. Die Definition der AL Gruppe ist ungleich schwerer, da die erforderliche

Laufleistung in konstantem Tempo für drei mal 30 Minuten von einem komplett Untrainierten nicht erfolgreich in konstantem Tempo zu absolvieren wäre. Es ist also davon auszugehen, dass die Ergebnisse der Studie beim Vergleich von komplett Untrainierten und sehr gut Ausdauertrainierten deutlicher ausfallen würden, der Versuch so aber leider nicht durchführbar ist. So musste eine Probandengruppe erstellt werden, die regelmäßig Breitensport betreibt, jedoch keinen Leistungssport oder Ausdauersport. In anderen Studien mit Stoffwechseluntersuchungen werden im Vergleich mit Ausdauertrainierten selbstverständlich Untrainierte eingesetzt, wenn keine überfordernde sportliche Leistung nötig ist. Das muss im Vergleich mit der vorliegenden Literatur beachtet werden.

Die Größe der Probandengruppen ist mit 18 beziehungsweise 14 Probanden etwas größer gewählt als bei vergleichbaren Studien, die meistens unter 10 Probanden pro Gruppe aufweisen. Auffällig ist eine hohe Standardabweichung beim Insulin und den Triglyzeriden beider Gruppen, welche die Interpretation der Werte erschwert.

Bereits an Untersuchungstag 1 wurden alle Probanden mündlich und schriftlich auf ein korrektes Verhalten hingewiesen, um weitere Parameter, die nicht erfasst werden, aber die Studie beeinflussen können, auszuschließen. Dies beinhaltete sowohl den Verzicht auf Kaffee, Alkohol, Rauchen und Drogen, als auch den Verzicht auf sportliche Betätigung bis zwei Tage vor dem zweiten Untersuchungstag. Alle Probanden wurden angehalten, zum zweiten Untersuchungstag nüchtern nach mindestens achtstündigem Fasten über Nacht zu erscheinen. Diese Voraussetzungen sind stark Compliance abhängig, da die Probanden erst ab dem Erscheinen zum zweiten Untersuchungstag auf ihr korrektes Verhalten zu überprüfen waren. Da alle Probanden aus persönlichen Gründen und nicht aus finanziellen Anreizen teilnahmen, ist von einer guten Compliance auszugehen. Unterschiede in Ernährung und der absoluten Dauer des nüchternen Zustandes vor der ersten Blutabnahme am zweiten Untersuchungstag sind jedoch zu berücksichtigen. So ist davon auszugehen, dass bei den Probanden beider Gruppen unterschiedliche Füllungsstadien des

Glykogenspeichers vorlagen, was speziell die gemessene Glukose während des Versuchs beeinflussen kann.

Die insgesamt 90-minütige sportliche Belastung fand auf einem Laufband statt, verteilt auf drei gleich große Einheiten. Längere Lafeinheiten auf einem Laufband können für untrainierte Läufer sehr ungewohnt wirken. Es ist nicht auszuschließen, dass die gut trainierten Marathonläufer häufiger auf Laufbändern trainieren und die Belastungsform deswegen besser bekannt ist. Die nicht speziell Ausdauertrainierten könnten wegen der ungewohnten Situation auf einem Laufband dagegen schneller ermüden. Generell sind die Ausdauer trainierten Läufer durch häufiges Lauftraining besser an lange Lafeinheiten gewöhnt und haben eine bessere Bewegungskoordination bei Laufbelastungen. Eine eintretende Erschöpfung, speziell der AL Probanden, sollte aber durch eine genaue Leistungsdiagnostik am ersten Untersuchungstag unwahrscheinlich sein – sie könnte die gemessenen Ergebnisse verfälschen. Zur Absicherung wurde zusätzlich mit jeder Blutabnahme das Laktat aller Probanden gemessen, sodass eine Erschöpfung durch auffallend hohe Werte klar dokumentiert wäre. Durch die Durchführung der Studie auf einem Laufband muss auch beachtet werden, dass Ergebnisse nie vollständig mit Studien verglichen werden können, die auf einem Fahrradergometer durchgeführt wurden. Gründe dafür sind zum einen ein größerer Anteil der Körpermuskulatur, die beim Laufen benötigt wird, sowie die Unterschiede in der Koordination bei Fahrradergometriestudien, die häufig bei Fahrradfahrern durchgeführt werden [14].

Mehrere Arbeitskreise publizierten übereinstimmend die Bedeutung der sportartenspezifischen Beurteilung bei solchen durchgeführten Tests im Hinblick auf die maximale Sauerstoffaufnahme, wobei der Sportler in seiner spezifischen Hauptsportart die besten Leistungswerte erzielen kann [14].

### **Laktat-Leistungsdiagnostik**

Neben der Bedeutung für den Kohlenhydratstoffwechsel spielt das Laktat auch für die am ersten Untersuchungstag durchgeführte Leistungsdiagnostik eine entscheidende Rolle. Daher soll das Laktat in dieser Studie in doppelter Hinsicht diskutiert werden. Vom Einsatz im Gesundheitsbereich bis zu Anwendungen im

Leistungssport handelt es sich bei sogenannten Laktattests um den Goldstandard der Leistungsdiagnostik, die auch zur effektiven Trainingssteuerung eingesetzt werden können. Alternativ kann die anaerobe Schwelle über einen Conconi-Test aus Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit ermittelt werden. Dabei handelt es sich jedoch zum einen um ein weniger genaues Verfahren im Vergleich zur Laktatleistungsdiagnostik, zum anderen spielt die Messung des Laktats eine interessante Rolle für die Einschätzung des Stoffwechsels und wird bei der Conconi Methode nicht erfasst. Durch die spiroergometriegestützte Laktat-Leistungsdiagnostik konnten am ersten Untersuchungstag die Größen Lactate Threshold (LT) und die Individuelle anaerobe Schwelle (IAS) ermittelt werden. Wie in Abbildung 5 und 6 sichtbar, wurden zwischen den Probandengruppen hochsignifikante Unterschiede bezüglich dieser Parameter festgestellt, was die Unterschiede der Leistungsfähigkeit beider Gruppen nachweist. Trotz der sehr zuverlässigen Untersuchungsmethode können beim Laktatetest Fehler vorkommen. Eine mögliche Fehlinterpretation ist möglich, wenn die Glykogenspeicher eines Probanden vollständig entleert sind und Glukose als Substrat für die anaerobe Glykolyse fehlt [37]. Weitere Faktoren wie die Anteile in der Zusammensetzung der Muskelfasertypen, Enzymaktivitäten, Kapillarisation und die Dichte der Mitochondrien in der belasteten Muskulatur können die Laktatkurve beeinflussen, auch Anwendungsfehler wie zum Beispiel zu lange Zeitspannen zwischen Blutprobe und Laufbelastung werden diskutiert [37]. Jedoch ist vielfach nachgewiesen, dass der Lactate Threshold der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Beurteilung von Ausdauerleistungen in homogenen Athletengruppen überlegen ist [37]. Auffällig ist der Vergleich der Individuellen anaeroben Schwelle (Abbildung 6), die für die Einstellung der Laufgeschwindigkeit entscheidend war, mit der relativ maximalen Sauerstoffaufnahme der Probanden (Abbildung 8). Während die Differenz zwischen dem langsamsten Marathonläufer zum schnellsten Allroundsportler bei der IAS mit 13 km/h zu 11,1 km/h sehr hoch ist, ist der Unterschied bei der relativ maximalen Sauerstoffaufnahme mit  $52 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  zu  $48 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  deutlich geringer. Da es sich bei der relativ maximalen Sauerstoffaufnahme ebenfalls um einen

Parameter der Leistungsfähigkeit der Probanden handelt, wird deutlich, dass die individuelle Laufgeschwindigkeit nicht bei allen Probanden exakt einstellbar ist.

Für die Erstellung von Abbildung 11 wurde allen Probanden zu den sechs definierten Zeitpunkten venös Blut abgenommen. Zu beachten ist in diesem Fall, dass das Laktat abhängig vom Ort der Entnahme einer Blutprobe schwanken kann. So ist das Laktat, das am Ohrläppchen gemessen wird, niedriger als Laktat welches an der Fingerkuppe gemessen wird [37]. Da die Werte aller Probanden jedoch alle zu den gleichen Konditionen gemessen wurden, ist die Fehlerwahrscheinlichkeit gering. Abbildung 11 zeigt, dass alle Probanden deutlich unter ihrer anaeroben Schwelle gelaufen sind, was nach gründlicher Einstellung der Laufgeschwindigkeit 15% unter der anaeroben Schwelle auch so zu erwarten war. Während der sportlichen Belastungen steigt das Laktat der beiden Gruppen zwar etwas an, es wurde aber kein höheres Laktat als 2,61 mmol/l bei einem AL Probanden gemessen. Das gemessene Laktat ist typisch für eine sportliche Belastung im aeroben Bereich.

Interessant für den Vergleich mit weiteren Studien wäre das Verhältnis der maximalen Sauerstoffaufnahme zur individuell eingestellten Laufgeschwindigkeit. In der vorliegenden Literatur wird die Belastungsintensität sehr häufig nach der maximalen Sauerstoffaufnahme und nicht nach der anaeroben Schwelle eingestellt.

### **Grundlagen des Stoffwechsels**

Da die Zusammensetzung der einzelnen Stoffwechselwege des Körpers grundlegend durch die Arbeitsform, die Qualität und den Umfang bestimmt wird [14], muss überlegt werden, welche Zusammensetzung bei der jeweiligen Belastung vorliegt. Eine Beschränkung auf einen Stoffwechselweg ist jedoch nicht zu erwarten, da es sich meist um Kombinationen der jeweiligen handelt [21]. Die Ausdauerleistung der Studie setzt sich hauptsächlich aus den beiden aeroben Stoffwechselwegen, also der Verstoffwechslung von Glukose und Fettsäuren zusammen. Diese Zusammensetzung ist bei allen langandauernden Belastungsformen zu erwarten, wobei der Anteil der Fettverbrennung mit länger werdender Belastung weiter zunimmt. Die am meisten verstoffwechselten

Energiesubstrate bei Aktivitäten unter der anaeroben Schwelle sind freie Fettsäuren [38]. Als leistungsbegrenzender Faktor gilt ATP, welches dem Körper für seine Aktivität immer bereitgestellt werden muss [14]. Somit ist es sinnvoll, dass sich die beiden aeroben Stoffwechselwege gegenseitig beeinflussen, um eine angemessene Energiebereitstellung zu gewährleisten und trotzdem eine ökonomische Ressourcenverwaltung garantieren zu können. Howald stellte ein reziprokes Verhältnis zwischen Glukose- und Fettverbrennung fest, welches signifikant vom Ausdauerzustand abhängt [21, 39-41]. Ausdauertraining kann also den Stoffwechsel des Körpers dauerhaft beeinflussen, was dabei helfen kann, wichtige Ressourcen bei langen Belastungen zu schonen [13]. So können Ausdauerleistungen länger aufrechterhalten werden. Zusätzlich können ausdauertrainierte Sportler einer Energieunterversorgung im Notfall besser standhalten [10].

Ein Anpassungsvorgang, der bei Marathonläufern festgestellt wurde, ist unter anderem die Vermehrung von Mitochondrien. So können sich bei den sehr gut trainierten Läufern die Mitochondrienzahlen zentral um das Doppelte und peripher sogar um das Dreifache erhöhen [14]. Die Mitochondrienzahl erhöht sich bei häufig durchgeführten aeroben Trainingseinheiten, was früh durch Nadelbiopsien bewiesen werden konnte [20, 40]. Die Mitochondrienmatrix ist der Ort der Fettoxidation. Ein weiteres Merkmal bei häufigem Ausdauertraining ist der hohe Anteil an Typ 1 Muskelfasern. Diese zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Mitochondrien, sowie einen großen Speichervorrat von Neutralfettpartikeln aus [14]. Diese Kombination begünstigt bei dem Beginn von Ausdauerbelastungen den schnellen Einstieg in die Fettverbrennung und kann so den endlichen Glykogenvorrat schonen. Bei moderater Belastung werden speziell die Typ 1 Muskelfasern angesprochen [42].

Neben der quantitativen Aufteilung der Muskelfasertypen weisen die Probandengruppen eine signifikant unterschiedliche Körperzusammensetzung auf. Sowohl der BMI, Körperfettanteil, als auch der Taillenumfang sind in der AL Gruppe signifikant höher. Dieses Ergebnis war zu erwarten und deckt sich mit den Beobachtungen anderer Studien [13]. Bereits nach siebenwöchigem Training lässt sich eine signifikante Abnahme des Taillenumfangs, sowie ein

geringerer Körperfettanteil messen [43]. Dabei haben Menschen mit höherem Körperfettanteil bei Belastung eine höhere Kohlenhydratoxidation an ihrer Stoffwechsellzusammensetzung [44]. Dieser Effekt müsste sich, wie an Untersuchungstag 1 festgestellt, auch auf die Probandengruppen unterschiedlich stark auswirken. Zu ähnlichen Erkenntnissen kamen Roy et al., die außerdem feststellten, dass die Ausdauertrainierten durch eine niedrige lean body mass einen geringeren Energiegrundverbrauch haben [45]. Durch einen signifikanten Gewichtsverlust und eine signifikante Abnahme des Taillenumfangs nach einer zweijährigen Gewichtsabnahme bei adipösen Probanden, lässt sich die Nüchtern glukose signifikant verringern und eine Verbesserung des Lipoproteinprofils erreichen [46]. Diese Beobachtung lässt sich auch nach einer Probemahlzeit machen. Nach Probemahlzeiten mit entweder hohem oder niedrigem glykämischen Index waren bei Probanden mit großem Taillenumfang postprandial höhere Glukose feststellbar, verglichen mit Probanden mit normalem Taillenumfang [47]. Neben dem Taillenumfang ist bei den AL Probanden der Körperfettanteil erhöht. Mittendorfer et al. zeigten bei Probanden mit höherem Körperfettanteil eine vergrößerte absolute Fettsäurefreisetzung, wobei die relative Freisetzung verringert ist im Vergleich zu schlankeren Probanden, dieser Effekt jedoch durch den vergrößerten Körperfettanteil kompensiert wird [48]. Tan et al. zeigten bei fettleibigen Frauen nach einem 10-wöchigen regelmäßigen moderaten Ausdauertraining einen signifikant geringeren BMI und einen signifikant geringeren Körperfettanteil. In Folge dessen ließen sich signifikant geringere Triglyzeride und Glukose messen [49].

Neben Trainingszustand und der Art der Belastung ist außerdem die Ernährung bestimmend für die unterschiedliche Beanspruchung der Stoffwechselwege [10, 14, 50]. Kohlenhydratstoffwechsel und Lipidstoffwechsel bedingen, beziehungsweise ergänzen sich durch die Forderung der Muskelzellen nach ATP gegenseitig. Bei einer Analyse der Atemgase von trainierten und untrainierten Frauen zeigten sich in Ruhe zwar Unterschiede der Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel-Aktivität, je nachdem ob zuvor eine fettreiche oder eine kohlenhydratreiche Mahlzeit konsumiert wurde. Die Ergebnisse waren dennoch unabhängig vom Trainingsstatus der Probandinnen [50]. Studien zeigen

aber, dass trainierte Probanden auch in Ruhe einen höheren Anteil der Fettoxidation am Stoffwechsel haben [51, 52]. Diese Feststellung gilt auch für den Zustand nach einer sportlichen Belastung [53], so wie er zwischen Blutabnahme 2 und 3 sowie 5 und 6 vorliegt.

Bei der Auswirkung einer Fettmahlzeit auf den Stoffwechsel während einer Ausdauerleistung zeigten sich keine Unterschiede zwischen gesättigten und ungesättigten Fettsäuren, beispielsweise im Hinblick auf den glykogensparenden Effekt [54]. Dies erleichtert die Interpretation und den Vergleich der vorliegenden Literatur.

Auch wenn die Großzahl der vorliegenden Studien eine gesteigerte Fettoxidation feststellen konnte, ist der Effekt nicht unumstritten. So konnten Boshier et al. keine signifikante Veränderung des Stoffwechsels bei einem Krafttraining nach der Einnahme einer fettreichen Mahlzeit feststellen [55]. Weitere Studien liefern nach fettreicher Mahlzeit ebenfalls keine Hinweise auf einen signifikant aktiveren Fettstoffwechsel [56-58]. Im Vergleich zur kurzfristigen Einnahme einer fettreichen Probemahlzeit ist die Situation bei einer langfristigen fettreichen Ernährung klarer. Hier sind keine signifikanten Veränderungen des Stoffwechsels bekannt [21, 45].

## 4.2 Auswertung des zweiten Untersuchungstages

### **Laktat**

Beide Gruppen starteten den zweiten Versuchstag mit geringem Laktat von 1,0 mmol/l beziehungsweise 0,76 mmol/l, was nach nächtlichem Fasten und körperlicher Ruhe vor dem Versuch so zu erwarten war und dem Bereich des Laktats in Ruhe entspricht. Über alle Messpunkte zeigen sich weder im Zeitverlauf, noch zu einzelnen Untersuchungszeitpunkten signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Es ist ein charakteristischer Kurvenverlauf zu erkennen, bei dem das Laktat bei jeder Belastungseinheit im Vergleich zum vorherigen Wert ansteigt. Diese Beobachtung war durchaus zu erwarten, da der Körper durch die erhöhten Leistungsanforderungen seine Energie zusätzlich durch die anaerobe Verstoffwechslung von Glukose



bereitstellen muss. Da sich die Intensität jedoch im moderaten Bereich befindet, ist der Anstieg des Laktats nicht stark ausgeprägt. Fredholm et al. publizierten 1969 einen Zusammenhang zwischen einem Anstieg des Laktats und einer folgenden verminderten Mobilisierung von freien Fettsäuren [59]. Dieser Effekt dürfte bei der geringen Laktatmenge beider Probandengruppen jedoch sehr gering ausfallen, ohne das Substratangebot für die Fettoxidation einzuschränken.

Beide Probandengruppen haben ihr höchstes Laktat zum Zeitpunkt der fünften Blutabnahme, nach den zwei direkt aufeinander folgenden Lafeinheiten, wobei die Mittelwerte mit 1,36 mmol/l und 1,24 mmol/l deutlich unter der aeroben Schwelle liegen. Das ist durch die individuelle Einstellung der Laufgeschwindigkeit gleichermaßen zu erwarten, als auch eine Voraussetzung für die korrekte Durchführung des Versuchs. Während der einstündigen Pause nach der ersten Lafeinheit sinkt das Laktat beider Gruppen erwartungsgemäß ab. Nur zu diesem Zeitpunkt hat die Gruppe der AL Probanden ein niedrigeres Laktat, das sich aber sehr gering vom Laktat der ML Gruppe unterscheidet. Auch nach der dritten Lafeinheit sinkt das Laktat beider Gruppen in der 15-minütigen Pause ab, bis knapp unter das Niveau der Ausgangswerte.

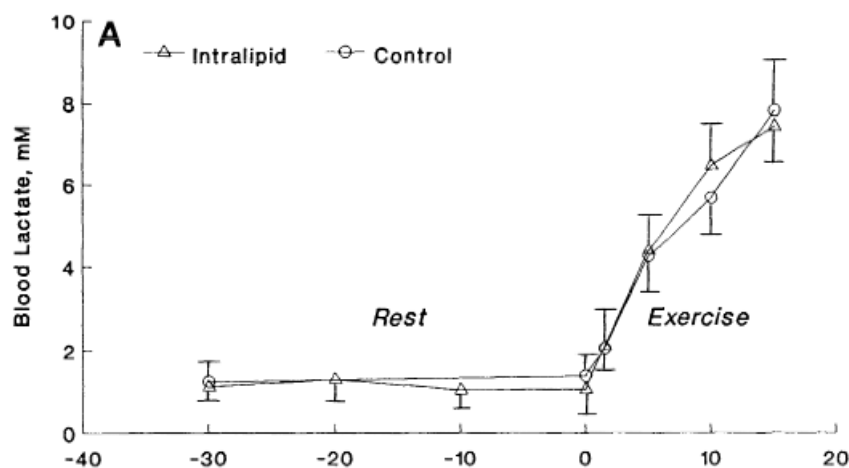


Abbildung 15: Laktat aus „Regulation of fat-carbohydrate interaction in skeletal muscle during intense aerobic cycling“ [60]

Entgegen bestehender Theorien, dass eine fettige Probemahlzeit vor einer fordernden sportlichen Belastung den Stoffwechsel über den Fett-Glukose-Zyklus zugunsten der Fettoxidation verschieben kann und somit eine

Übersäuerung verhindert oder verzögert werden kann, zeigen Dyck et al. in Abbildung 15, dass eine Intralipid-Infusion mit zusätzlicher Heparin Infusion keine Auswirkung auf die Entwicklung des Laktats hat, weder in Ruhe (Rest) noch unter Belastung (Exercise) [60]. Zwar waren in der Studie die Werte der freien Fettsäuren signifikant erhöht und die Entleerung der Muskelglykogenspeicher signifikant verringert. Allerdings zeigte die Laktatkurve nach der Intralipid-Infusion keine Veränderung im Vergleich zu einer Kochsalzinfusion (Control) [60]. Eine Intralipid-Infusion kann generell durchaus die gleichen Effekte auf den Stoffwechsel haben wie eine fettreiche Probemahlzeit [54]. Dagegen zeigten Jansson et al., dass das Laktat bei sportlicher Belastung nach einer fettreichen Mahlzeit geringer ist als nach einer kohlenhydratreichen Mahlzeit [61]. Hargreaves et al. konnten 1991 sogar einen leicht geringeres arterielles Laktat bei einem einstündigen Training des Knieextensors messen, nachdem die Probanden zuvor eine 20% Triglyzeridinfusion mit Heparin bekommen hatten [62]. Es ist aber nicht sicher nachgewiesen, dass fettreiche Ernährung vor Übersäuerung der Muskulatur bei einer Ausdauerleistung schützen kann. Dabei wäre diese Beobachtung durchaus denkbar, durch eine geringere Glukoseaufnahme in den Muskel als Folge einer Fettmahlzeit (siehe unten). Steht der Muskulatur ein geringeres Substratangebot für die Glykolyse zur Verfügung, wäre das Ansteigen des Laktats wohl geringer [37]. Trotz der Beobachtungen würde sich das geringere Laktat nach einer Fettmahlzeit im Versuch nur zeigen, wenn zum weiteren Vergleich beide Gruppen denselben Versuch ohne den Konsum einer Fettmahlzeit durchgeführt hätten.

## **Insulin**

Das Insulin ist durch seine vielen unterschiedlichen Wirkungen, als eines der bedeutendsten Hormone für den Stoffwechsel im Allgemeinen, ein sehr gut untersuchtes Hormon. Sicherlich spielt die weit verbreitete Krankheit Diabetes mellitus hierfür eine große Rolle. Beachtet werden sollte jedoch, dass Studien, die von erkrankten Probanden durchgeführt werden, nicht direkt mit den Ergebnissen bei gesunden Probanden, erst recht nicht mit gut trainierten Sportlern, verglichen werden können. Schließlich ist für Ausdauertrainierte ein protektiver Effekt gegenüber der Erkrankung an Diabetes mellitus Typ 2 bekannt

[63-65]. Daher war die Gesundheit des Stoffwechsels der Probanden ein entscheidendes Zulassungskriterium (siehe Kapitel 2.2).

Generell ist bei gut ausdauertrainierten Sportlern eine höhere Insulinsensitivität zu beobachten, verglichen mit untrainierten Probanden [13].

Abbildung 12, die das Insulin der Probanden zeigt, ist bezüglich der ersten beiden Zeitpunkte auffällig. Während das Insulin der ML Gruppe bei der ersten Laufeinheit stark ansteigt, verzeichnen die AL Probanden lediglich einen sehr geringen Anstieg. Der Gruppenunterschied im zeitlichen Verlauf zwischen erster und zweiter Blutabnahme ist mit  $p = 0,01$  hochsignifikant. Bereits die Ausgangswerte der Probandengruppen sind mit  $p < 0,039$  signifikant unterschiedlich. Nach der Sahnemahlzeit, zwischen zweiter und dritter Blutabnahme ist sogar ein gegenläufiger Trend zu beobachten. Das Insulin der AL Gruppe steigt an, wohingegen das Insulin der ML Gruppe deutlich absinkt. Dabei ist der Gruppenunterschied in der Entwicklung des Insulins zwischen dem zweiten und dritten Zeitpunkt mit  $p < 0,043$  signifikant. Nachdem sich das Insulin zum Zeitpunkt der vierten Messung angleicht und auf das Maximum steigt, verläuft das Insulin beider Gruppen fast identisch ohne weitere signifikante Unterschiede. Zur fünften und sechsten Messung sinkt das Insulin beider Gruppen immer weiter ab.

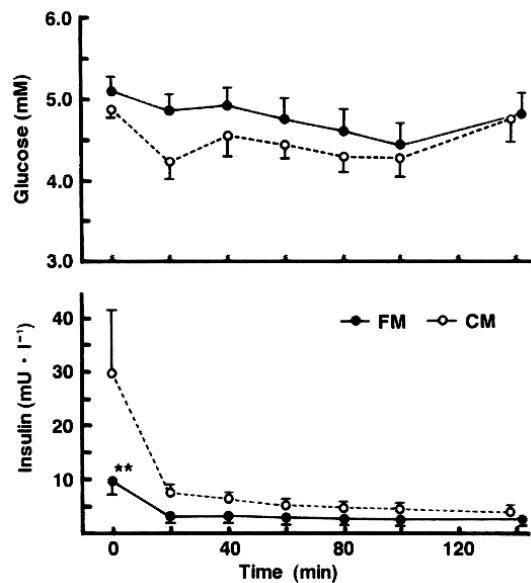


Abbildung 16: Glukose und Insulin aus „*Effect of elevated blood FFA levels on endurance performance after a single fat meal ingestion*“ [6]

Okano et al. beobachteten die Wirkung einer Fettmahlzeit (FM) im Vergleich zu einer kohlenhydrathaltigen Kontrollmahlzeit (CM) bei neun trainierten Männern vier Stunden vor einer 120-minütigen moderaten Radfahrbelastung. Abbildung 16 zeigt die erfassten Parameter Glukose und Insulin während der 120-minütigen Ausdauerbelastung, also in einem 4 stündigen postprandialen Zustand. Dabei zeigte sich bei der Fettmahlzeit (FM) im Vergleich zur Kontrollmahlzeit mit hohem Kohlenhydratanteil (CM) ein signifikant geringerer Insulinspiegel vor Beginn der sportlichen Einheit, der sich mit zunehmender Dauer jedoch immer weiter angleicht. Auffallend ist, dass es den Probanden mit einer vorangegangenen Fettmahlzeit leichter fällt, die Glukose konstant zu halten. Diese Gruppenunterschiede waren jedoch nicht signifikant [6]. Ein geringeres Insulin spricht jedoch eher für eine bessere Konstanthaltung der Glukose bei hohem Energieumsatz durch sportliche Belastung. Ein ansteigender Insulinspiegel würde bei bereits erhöhtem Energieumsatz durch sportliche Betätigung und ohne weitere Substratzufuhr eine Hypoglykämie riskieren. Durch die Blockade des Fettstoffwechsels wäre der Körper bei hohem Insulinspiegel ausschließlich auf die Glykolyse im gesamten Organismus angewiesen.

Umgekehrt zum glykogensparenden Effekt und zur Theorie des Randle Zyklus nach einer fettreichen Mahlzeit beeinflusst der Kohlenhydratstoffwechsel auch

die Aktivität des Fettstoffwechsels. Die Oxidation von freien Fettsäuren wird durch hohes Insulin bei Sportbelastungen limitiert [66]. Neben der beschriebenen Hemmung der Lipoproteinlipase durch Insulin geht gleichzeitig die Fettsäureaufnahme in die Mitochondrien zurück, wenn der Insulinspiegel steigt [67]. Somit ist neben der Substratbereitstellung auch die Substrataufnahme der Fettoxidation gehemmt.

Wie schon in Abbildung 16 zu erkennen, sinkt das Insulin beider Gruppen deutlich ab. Ein Effekt, der bei langen Ausdauersporteinheiten regelmäßig zu beobachten ist [9, 24, 68]. Erklärung dafür sind die oben genannten Gründe. Auch Costill et al. beschreiben ein Abfallen des Insulins bis zur Hälfte des Ruhewerts während sportlicher Belastung, jedoch steigt die Glukosesensitivität des Muskels [69], um eine gesteigerte Leistungsfähigkeit in der angesprochenen Muskulatur zu gewährleisten. Für das Ansteigen des Insulins während der ersten Laufeinheit vor der Sahnemahlzeit bei der ML Gruppe lassen sich in der Literatur keine vergleichbaren Ergebnisse oder Erklärungen finden. Normalerweise wäre, wie oben beschrieben, ein Absinken des Insulins zu erwarten. Auch ein konstantes Insulin nach der zweiten Messung wäre zu erklären, da die gemessenen Werte nach einem über 8 stündigen nüchternen Zustand im niedrigen Bereich liegen. Generell wären für die Gruppe der Marathonläufer im Vergleich zu den Allroundsportlern ein etwas niedrigeres Insulin zu erwarten. Sie haben nicht nur eine bessere Insulinsensitivität und ein geringeres Insulin in Ruhe, auch als Reaktion auf Glukose steigt das Insulin bei Trainierten nicht so stark an wie bei Untrainierten [70]. Hierfür spricht das signifikant niedrigere Insulin zur Baseline der Marathonläufer. Zu weiteren Zeitpunkten lassen sich die in der Literatur beschriebenen Effekte jedoch nicht erkennen.

Das deutliche Maximum des Insulins beider Gruppen bei 102,1 pmol/l beziehungsweise 101,7 pmol/l ist zum Zeitpunkt der vierten Blutabnahme ebenfalls nicht zu erwarten. Normalerweise sollte das Insulin durch die vorangegangene Laufbelastung eher absinken, wie es nach der folgenden Laufeinheit auch in beiden Gruppen der Fall war. Eine Beeinflussung des Insulins durch die vorangegangene Sahnemahlzeit, 90 Minuten vorher, ist denkbar. Schließlich enthält die Sahne neben ihrem großen Fettanteil auch einen kleinen

Kohlenhydratanteil. Allerdings gibt es in der Literatur Hinweise, dass es bei einer Mahlzeit mit geringen Kohlenhydratanteil und sehr hohem Fettanteil einen eher geringen Insulinanstieg gibt. So waren bei Rowlands et al. die Anstiege des Insulins nach einer 85 prozentigen Fettmahlzeit 90 Minuten vor einer Sporteinheit nicht signifikant, im Gegensatz zu signifikanten Anstiegen nach einer Kohlenhydratmahlzeit. Die Insulinwerte waren nach der Fettmahlzeit auch geringer als nach einer Proteinmahlzeit. Eine unterschiedliche Nutzung der Substrate war jedoch nicht zu beobachten [9]. Auch der Konsum von Kohlenhydraten mit und ohne zusätzliches Fett zeigte Unterschiede. So kann Fett die Resorption von Glukose im Darm verzögern [71]. Damit könnte sich der verspätete Anstieg des Insulins, während der zweiten Laufeinheit als Folge der Sahnemahlzeit erklären lassen.

Auffällig sind die relativ hohen Standardabweichungen beim Insulin beider Gruppen, die für eine hohe Streuung der Werte spricht.

### **Glukose**

Physiologisch bedingt steht die Glukose in engem Zusammenhang mit dem Hormon Insulin. In Abbildung 13 zeigt sich ein typischer Verlauf der Glukose bei sportlicher Belastung und in Ruhe. Während die Werte beider Gruppen bei allen drei sportlichen Belastungen steigen, sinkt die Glukose in beiden Pausen ab. Im durchgeführten Versuch sind beim Parameter der Glukose jedoch die meisten signifikanten Gruppenunterschiede feststellbar. Zu allen drei Laufeinheiten gelingt es den Probanden der ML Gruppe, signifikant mehr Glukose zu mobilisieren. Das gilt bei Ausdauerleistungen als leistungsbestimmender Faktor. Ein Anstieg der Glukose ist bereits nach kurzer Belastung durch die adrenerge Stimulation der Glykogenolyse zu erwarten [14]. Auch im zeitlichen Verhältnis zur Baseline ist die Glukose nach den Laufeinheiten signifikant gruppenunterschiedlich. Auffallend ist, dass bei der AL Gruppe nach der letzten Laufeinheit nahezu kein Anstieg der Glukose mehr folgt und nach der Pause kein großer Abfall der Glukose zu beobachten ist. Die ML Gruppe kann die Glukose nach der letzten Laufeinheit im Vergleich zur vorletzten Einheit noch einmal von 86,6 mg/dl auf 91,6 mg/dl anheben. Daher ist nach der folgenden passiven Pause

auch ein deutlicher Abfall der Glukose zu beobachten. In der AL Gruppe fallen bei der letzten Einheit 6 Probanden unter die Grenze von 80 mg/dl. Ein AL Proband hat dabei nur noch eine Glukose von 64 mg/dl. Bereits nach den drei Laufeinheiten erreichen die ML Probanden eine signifikant höhere Glukose. Dieser Effekt ist durch den vergrößerten Glykogenspeicher der ML Probanden erklärbar (siehe Kapitel 1.1). Neben der Größe des Glykogenspeichers spielt auch die Aktivität des Kohlenhydratstoffwechsels eine wichtige Rolle für die vollständige Entleerung des Glykogenspeichers. Im Tierversuch wurden erhöhte Glukose und eine langsamere Entleerung der Glykogenspeicher nach Ausdauereinheiten durch eine Erhöhung der freien Fettsäuren nachgewiesen [4, 72]. Dieselben Erkenntnisse gibt es auch bei Männern [60, 73]. Vukovic et al. beschreiben eine geringere Nutzung von Glykogen bei einer einstündigen Sparteinheit. Sowohl nach Konsum von 90 Gramm Sahne als auch nach einer Intralipid-Infusion waren die Effekte signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe [54]. Eine zusätzliche Prüfung, ob der glykogensparende Effekt bei einem Überangebot von Fetten vom Trainingszustand abhängt, lieferte dagegen keine positiven Ergebnisse [60]. Insgesamt zeigen Probanden nach mehrmonatigem Ausdauertraining generell eine verringerte Glykogennutzung, kompensiert durch einen verbesserten Fettstoffwechsel und eventuell auch durch eine effektivere Verstoffwechslung der Glukose mit weniger Laktat [74]. Das Level der freien Fettsäuren und der Glukose war durch Training dagegen nicht beeinflusst [74].

Auch durch die Glukoseaufnahme der Muskulatur kann die Menge der Glukose reguliert werden. Bekanntermaßen wird diese durch Insulin erhöht. Die Glukoseaufnahme in die Muskulatur kann durch eine 20% Triglyzeridinfusion mit Heparin signifikant gesenkt werden, verglichen mit einer Kontrollgruppe ohne Infusionen. Die Unterschiede waren sowohl in Ruhe, unter Belastung als auch in der Erholungsphase nach der Belastung signifikant [62]. Bei einer hohen Aktivität der Lipolyse kann die Glukoseaufnahme durch die Zellmembran einer Muskelzelle verringert sein, aber für eine direkte Hemmung der Glykolyse sieht Wolfe keine Evidenz [75].

In den beiden passiven Pausen (3. und 6. Blutentnahme) sinkt die Glukose in beiden Gruppen ab. Der Energiebedarf des Körpers geht deutlich zurück. Der

Körper stellt seinen Stoffwechsel nach einer Belastung von der Glykolyse eher zu Gunsten der Fettoxidation um [76, 77]. Auch Poehlman et al. beschreibt diesen Effekt nach einer sportlichen Belastung junger Männer, eventuell mit dem Ziel des Organismus, Glukose zu sparen und eine direkte Glykogenresynthese zu ermöglichen [78].

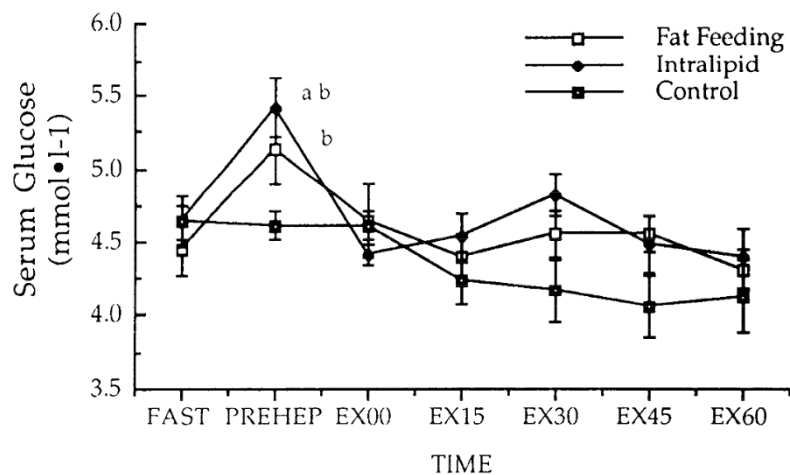


Abbildung 17: Glukose aus "Effect of fat emulsion infusion and fat feeding on muscle glycogen utilization during cycle exercise." [54]

Wie in Abbildung 17 angedeutet, besteht der Verdacht, dass Probanden nach einer fettreichen Probemahlzeit oder einer Fettinfusion die Glukose besser konstant auf einem Level halten können. Auch wenn die Ergebnisse der Studie zu allen Zeitpunkten der moderaten sportlichen Fahrradeinheit nicht signifikant waren. Insgesamt nahmen fünf gesunde Männer an einer 60-minütigen moderaten Fahrradausdauerinheit bei 70% ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme teil. Drei Stunden vor der sportlichen Belastung nahmen die Probanden entweder eine Fettmahlzeit bestehend aus Sahne (Fat Feeding), eine Fettinfusion bestehend aus Triglyzeriden (Intralipid) oder eine Kontrollmahlzeit mit 43 Gramm Kohlenhydraten und 1 Gramm Fett (Control) zu sich. Zusätzlich zu den beiden Fettmahlzeiten bekamen die Probanden eine Heparin Infusion 15 Minuten vor Belastung, was die Aktivität der Lipoproteinlipase steigern sollte. Durch den gesteigerten Lipidmetabolismus nach einer Fettmahlzeit, in Kombination mit geringeren Leistungsanforderungen an den Kohlenhydratstoffwechsel und einem niedrigen Insulin wäre dieser Effekt durchaus denkbar. Vor allem bei den ML Probanden gelingt es, zum Ende der



letzten Laufeinheit die Glukose hoch zu halten, trotz langer sportlicher Belastungsphase und Verzicht auf kohlenhydratreiche Ernährung für über 10 Stunden. Ein ergänzender Effekt zu bekannten Anpassungsvorgängen wie einem vergrößerten Glykogenspeicher ist denkbar.

### **Triglyzeride**

Neben der Glukose sind die Triglyzeride bei mittleren bis langen moderaten Belastungen die wichtigste Energiequelle, die mit der Dauer der Ausdauerleistung weiter an Bedeutung gewinnt. Vor der Verstoffwechslung durch die Fettsäureoxidation werden die Triglyzeride in freie Fettsäuren gespalten, die in vielen durchgeführten Studien ebenfalls mit untersucht wurden.

In Abbildung 14 zeigt sich ein typischer Verlauf der Triglyzeride in Belastung und in Ruhe. Dabei steigen die Triglyzeride während den Belastungen an. Ähnlich war es bei der Glukose der Fall. Auffällig ist im Vergleich zur Glukose, dass die Triglyzeride bei der zweiten und dritten Laufeinheit deutlich stärker ansteigen. Hierfür sind zwei Erklärungen denkbar: Zum einen nimmt die Bedeutung der Triglyzeride mit zunehmender Belastungsdauer zu, da die Glykogenvorräte schrumpfen oder gar komplett entleert sind. Zum anderen ist durch die vorangegangene Fettmahlzeit neben der Mobilisierung der Fette aus dem Fettgewebe eine zusätzliche Zufuhr durch die Triglyzeridresorption aus dem Darm möglich. Eine weitere Auffälligkeit liegt darin, dass die Triglyzeride zur Baseline der AL und ML Probanden für die jeweilige Gruppe die niedrigsten Triglyzeride während des ganzen Versuchs sind. Ein Hinweis dafür, dass die Triglyzeridspeicher des Menschen quasi nicht erschöpfen, unabhängig vom Trainingsstatus. Auch Havel et al. stellten während zweistündiger Belastung keine großen Schwankungen der Triglyzeride im Blut bei gut trainierten Sportlern fest [79]. Nachgewiesen sind dagegen quantitative Unterschiede des Triglyzeridgehalts der Muskulatur, abhängig vom Trainingszustand [80]. Diese spielen für die gemessenen Triglyzeride im Blut jedoch keine Rolle, da sie nicht aus der Muskulatur freigesetzt werden, sondern direkt im jeweiligen Muskel verstoffwechselt werden.

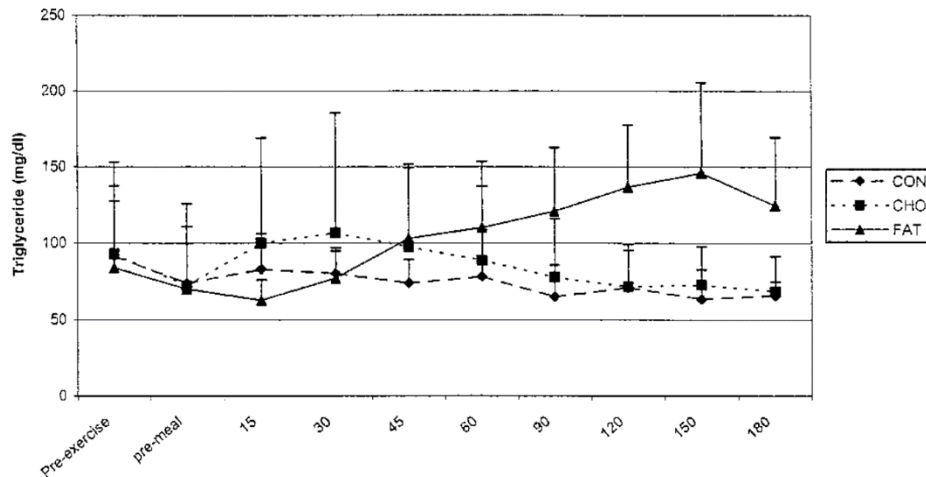


Abbildung 18: Triglyzeride aus "Effects of different macronutrient consumption following a resistance-training session on fat and carbohydrate metabolism." [55]

Bosher et al. untersuchten 2004 die Wirkung verschiedener Nahrungszusammensetzung, 45 Minuten nach einem Krafttraining, wie in Abbildung 18 dargestellt, jedoch bei 9 trainierten Kraftsportlern, die andere Stoffwechsellanpassungen und Muskelzusammensetzungen haben. Die Abbildung zeigt die Triglyzeride vor dem Krafttraining (preexercise), vor der Probemahlzeit (pre-meal) und anschließend in den in Minuten angegebenen Zeitintervallen (15-180). Nach 90 Minuten, bis zum Versuchsende nach 180 Minuten waren dabei die Triglyzeride signifikant ( $p < 0,001$ ) höher nach einer Fettmahlzeit mit 45% Fettanteil (FAT) als nach einer Kohlenhydratmahlzeit (CHO) oder nach einer Kontrollmahlzeit (CON), die hauptsächlich aus Wasser bestand [55]. Bereits nach 90 Minuten nach einer sportlichen Belastung ist ein signifikanter Effekt einer Fettmahlzeit, im Sinne einer Steigerung der Triglyzeride im Blut, somit nachweisbar. Ein Ansteigen der Triglyzeride zum Zeitpunkt der vierten und fünften Blutabnahme scheint also auch durch die Sahnemahlzeit beeinflusst zu werden. Eine Fettmahlzeit kann außerdem eine signifikante Steigerung der freien Fettsäuren im Blut bewirken [6, 8]. Diese Größe wurde in der oben beschriebenen Studie zwar nicht untersucht, allerdings sollte beachtet werden, dass freie Fettsäuren ebenfalls als Substrat zur Verfügung stehen. Beim Sport werden Triglyzeride durch hormonsensitive Lipasen in Glycerin und freie Fettsäuren gespalten [14]. Bei sportlicher Belastung erhöht sich die Enzymaktivität der Lipase, bedingt durch einen Anstieg von Adrenalin beim Sport [81]. Auch durch die Ernährung kann die Aktivität der Lipoproteinlipase

beeinflusst werden. Durch einen hohen Fettgehalt der Nahrung wird die Lipaseaktivität gesteigert, wodurch mehr freie Fettsäuren aus Triglyzeriden gespalten werden [82].

Der Zusammenhang zwischen dem erhöhten Angebot an freien Fettsäuren im Blut und der vermehrten Aufnahme dieser in die aktive Muskulatur ist mehrfach nachgewiesen [73, 83]. Das könnte die Vermutung zulassen, dass je größer das Angebot an freien Fettsäuren im Blut, desto größer der Effekt durch die Fettmahlzeit auf den Kohlenhydratmetabolismus. Hervorgerufen durch den folgenden Glykogen-sparenden Effekt. Durch Okano et al. ließ sich dieser Effekt für lange Ausdauerbelastungen aber nicht durchgängig nachweisen, da der gemessene respiratorische Quotient nur in den ersten 60 Minuten signifikant niedriger war und sich anschließend angleicht [6]. Andere Studien zeigen erhöhte freien Fettsäuren nach einer Fettmahlzeit, mit gesteigertem Lipidmetabolismus und gespartem Glykogen während sportlicher Belastung [54, 60, 73, 84]. Auch in Ruhe ist dieser Effekt mehrfach nachgewiesen [85-87].

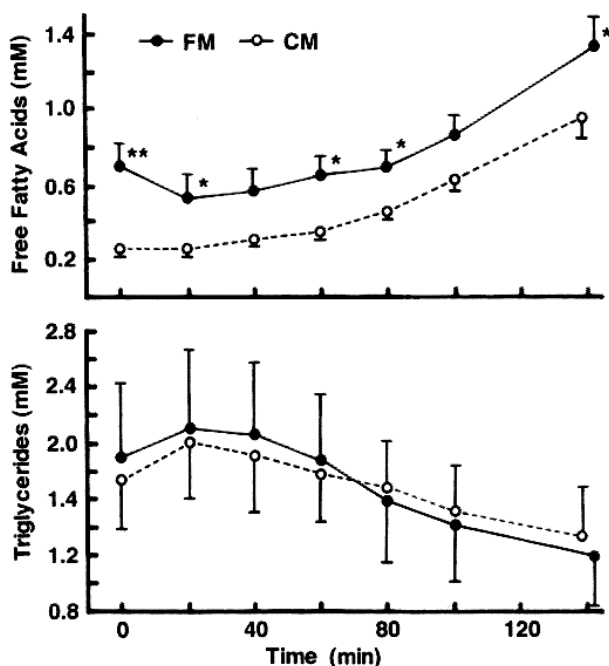


Abbildung 19: Freie Fettsäuren und Triglyzeride aus "Effect of elevated blood FFA levels on endurance performance after a single fat meal ingestion" [6]

Abbildung 19 zeigt die gemessenen Triglyzeride und die freien Fettsäuren nach vorausgegangener Fettmahlzeit (FM) im Vergleich zu einer Kontrollmahlzeit (CM)

mit hohem Kohlenhydratanteil während 120-minütiger moderater Belastung und anschließender Intensitätssteigerung bis zur Ermüdung. Während die Anzahl der freien Fettsäuren nach der Fettmahlzeit zu allen Zeitpunkten signifikant größer ist, scheinen die Werte der Triglyzeride nicht beeinflusst zu sein [6]. Zu beachten ist, dass die Mahlzeit schon 4 Stunden vor der sportlichen Belastung eingenommen wurde. Der postprandiale Zustand bis zur nächsten Belastung ist damit um einiges länger wie im oben beschriebenen Versuch (vergleiche Abbildung 1). Nach der Fettmahlzeit (FM) war im Vergleich zur Kontrollmahlzeit (CM) eine deutliche Reduktion der Kohlenhydratoxidation während der sportlichen Belastung zu beobachten, was aber nicht ausreichend war für eine Steigerung der Ausdauerleistung [6].

Generell ist zu beobachten, dass in der Ruhephase nach einer intensiven Sporteinheit ein aktiver Stoffwechsel vorliegt. Speziell mit einem gesteigerten Anteil der Fettoxidation [88].

## **5 Zusammenfassung**

Die Studie untersuchte die Wirkung einer Fettmahlzeit auf zwei Probandengruppen bei moderater sportlicher Belastung und in zwei passiven Pausen. Im Fokus standen die Variablen Laktat, Glukose und Insulin als Parameter des Kohlenhydratstoffwechsels und die Triglyzeride als Variable des Fettstoffwechsels. Dabei sollte die Frage geklärt werden, welchen Effekt die Fettmahlzeit, bestehend aus 250 ml Sahne, auf das Zusammenspiel des Stoffwechsels, speziell des Kohlehydratstoffwechsels, hat und ob diese Effekte durch den Ausdauertrainingszustand der Probanden beeinflusst wird.

Hierfür erfolgte eine Unterteilung in zwei Probandengruppen mit 18 beziehungsweise 14 Probanden mit deutlich unterschiedlichem Trainingsstatus. Die ML Gruppe setzte sich aus sehr gut ausdauertrainierten Marathonläufern zusammen, während die AI Gruppe aus nicht spezifisch ausdauertrainierten Allroundsportlern bestand. Alle Probanden wurden am ersten Untersuchungstag genau auf ihre Eignung für eine Gruppenzugehörigkeit untersucht. Hier standen Laktatleistungsdiagnostik und Spiroergometrie im Mittelpunkt. Die erzielten

Ergebnisse der Leistungsdiagnostik waren hochsignifikant gruppenunterschiedlich, eine Voraussetzung für die Durchführung des zweiten Untersuchungstages. So erzielten die sehr gut Ausdauertrainierten signifikant höhere Werte bei der individuell anaeroben Schwelle, dem Lactate Threshold, der maximalen Sauerstoffaufnahme, sowie der Kohlenstoffdioxid-Abatmung.

Am zweiten Untersuchungstag absolvierten alle Probanden den gleichen Versuchsaufbau, bestehend aus einer moderaten 30-minütigen Laufbelastung 15% unter der individuellen anaeroben Schwelle, nach achtstündigem nächtlichen Fasten. Anschließend konsumierten die Probanden eine Fettmahlzeit gefolgt von einer passiven Pause, sowie zwei weitere angeschlossene 30-minütige moderate Ausdauerbelastungen mit einer abschließenden passiven Pause. Dabei wurden zu sechs definierten Zeitpunkten Blutproben genommen, die auf die oben beschriebenen Parameter untersucht wurden. Die Probanden waren zu keiner Zeit einer intensiven Belastung im anaeroben Bereich ausgesetzt.

Die Analyse des Laktats der beiden Gruppen zeigte zu keinem Zeitpunkt signifikanten Unterschiede, wobei nach der ersten Laufeinheit das Signifikanzniveau mit  $p < 0,052$  knapp verfehlt wurde. Auch im Zeitverlauf oder nach dem Konsum der Fettmahlzeit zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede. Diese Erkenntnis bestätigt die korrekte Einstellung der individuellen Laufgeschwindigkeit aller Probanden am ersten Untersuchungstag und war bei korrekter Versuchsdurchführung bei moderater Belastung der Probanden auch so zu erwarten. Das höchste gemessene Laktat lag bei 2,53 mmol/l, was verdeutlicht, dass die Probanden zu keiner Zeit einer intensiven Belastung ausgesetzt waren. Eine Besonderheit des Laktats beider Gruppen nach dem Konsum der Fettmahlzeit lässt sich nicht erkennen.

Das Insulin ist nur zum Zeitpunkt der Baseline signifikant gruppenunterschiedlich ( $p < 0,039$ ). Weitere Gruppenunterschiede ergeben sich nur im Zeitverlauf zwischen erster und zweiter ( $p = 0,01$ ), sowie zweiter und dritter ( $p < 0,043$ ) Blutabnahme. Dabei starten die Marathonläufer mit signifikant niedrigerem Insulinspiegel in den Versuch. Während der ersten Laufbelastung steigen die

Insulinwerte der ML Probanden stark an. Bei den AL Probanden ist so ein starker Anstieg des Insulins nicht zu beobachten. Nach der Sahnemahlzeit steigt der Insulinspiegel der Allroundsportler an, während er bei den Marathonläufern abfällt, diese Entwicklung ist signifikant gruppenunterschiedlich. Im Zusammenhang mit der Fettmahlzeit sind keine weiteren Auffälligkeiten zwischen beiden Probandengruppen feststellbar.

Bei der Analyse der Glukose lassen sich zu den Zeitpunkten der zweiten ( $p < 0,002$ ), vierten ( $p < 0,012$ ) und fünften ( $p < 0,002$ ) Blutabnahme signifikante Gruppenunterschiede feststellen. Damit hatten die Marathonläufer nach allen drei Laufbelastungen eine signifikant höhere Glukose als die Allroundsportler. Auch in der zeitlichen Entwicklung im Verhältnis zur Baseline waren die Ergebnisse der Gruppen signifikant unterschiedlich. Die Erkenntnis, dass es den sehr gut ausdauertrainierten Marathonläufern besser gelingt, die Glukose bei Belastung zu steigern, ist vermutlich vor allem auf die vergrößerten Glykogenspeicher und weitere bekannte Trainingseffekte zurückzuführen. Dass die Fettmahlzeit dabei hilft, die Glukose bei Belastung ohne Kohlenhydratzufuhr länger auf höherem Level zu erhalten, ist laut Literatur denkbar – bei langen Ausdauerbelastungen ein leistungsbestimmender Faktor.

Für die Triglyzeride lassen sich bei beiden Gruppen weder zwischen den einzelnen Werten, noch in der zeitlichen Entwicklung signifikante Unterschiede feststellen. Die Triglyzeride entwickeln sich wie zu erwartend bei sportlicher Belastung und steigen nach Konsum der Fettmahlzeit deutlich an.

Zusammenfassend lassen vor allem die gemessenen Unterschiede der Glukose einen Unterschied für die Stoffwechselformulierung und die Ausdauerkapazität zwischen beiden Gruppen vermuten. Diese Ergebnisse sind in erster Linie aber auf die in der Literatur beschriebenen Anpassungsvorgänge nach häufigem Ausdauertraining zurückzuführen. Ein gruppenunterschiedlicher Effekt der Sahnemahlzeit in der Kombination mit sportlicher Belastung und passiver Pause lässt sich nicht erkennen. Eventuell gelingt es den Marathonläufern, nach einer Sahnemahlzeit schonender mit ihren

Glukosevorräten umzugehen, was die höhere Glukose zum Ende der letzten Laufbandbelastung, so wie Angaben in der Literatur vermuten lassen.

Interessant wären weitere Durchführungen von Untersuchungen mit ähnlichen Probandengruppen. In der Literatur werden selten Unterschiede zwischen zwei gesunden Probandengruppen mit guten beziehungsweise sehr guten Ausdauersportlern gemessen. Vielfach nachgewiesen ist in der Literatur dagegen der protektive Effekt von Ausdauersport bei adipösen oder stoffwechselkranken Probanden vor allem auf Herz-Kreislaferkrankungen. Studien die Untrainierte nach mehrwöchigem Training mit einer Kontrollgruppe vergleichen sind ebenfalls nicht exakt mit langjährigem Ausdauertraining vergleichbar.

Gerade im Hinblick auf die anthropometrischen Parameter wie den Körperfettanteil und den Taillenumfang sind hochsignifikante Unterschiede zwischen den ML und AL Probanden zu messen. Mit derzeit vorliegender Literatur lässt sich aber nicht sicher beurteilen, ob der deutlich intensivere Ausdauersport der ML Probanden über sehr lange Zeit im Vergleich zu den AL Probanden ähnlich positive Effekte besitzt, wie der Sport beim oft durchgeführten Vergleich zwischen Trainierten und Untrainierten oder adipösen Probanden. Vermuten lässt sich aus der durchgeführten Studie, dass ähnliche Quantensprünge wie zwischen Trainierten und Untrainierten nicht weiter zu erwarten sind und bereits der von den AL Probanden praktizierte Fitnesssport gute Ergebnisse für den Erhalt der Gesundheit erzielen kann. Durch die beschriebenen nachgewiesenen multiplen Verbesserungen des Stoffwechsels der ML Probanden als Folge des intensiven Ausdauersports ist zu vermuten, dass neben einer deutlichen Leistungssteigerung auch nochmal eine Steigerung der Lebensqualität und Gesundheit denkbar ist. Neben Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems und einer gesteigerten Insulinsensitivität ist an die positiven Effekte der anthropometrischen Daten zu denken, beispielsweise im Hinblick auf das Metabolische Syndrom.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Röcker, K., & Dickhuth, H. H. , *Spiroergometrische Messgrößen in der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung*. 26(1996)6, S. 44-48 ed. Vol. 26. 1996, Münster. 44-48.
2. Montain, S.J., et al., *Exercise metabolism at different time intervals after a meal*. J Appl Physiol (1985), 1991. **70**(2): p. 882-8.
3. Murakami, I., et al., *Significant effect of a pre-exercise high-fat meal after a 3-day high-carbohydrate diet on endurance performance*. Nutrients, 2012. **4**(7): p. 625-37.
4. Hickson, R.C., et al., *Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance*. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1977. **43**(5): p. 829-33.
5. Hulton, A.T., et al., *Effect of fat and CHO meals on intermittent exercise in soccer players*. Int J Sports Med, 2013. **34**(2): p. 165-9.
6. Okano, G., Y. Sato, and Y. Murata, *Effect of elevated blood FFA levels on endurance performance after a single fat meal ingestion*. Med Sci Sports Exerc, 1998. **30**(5): p. 763-8.
7. Whitley, H.A., et al., *Metabolic and performance responses during endurance exercise after high-fat and high-carbohydrate meals*. J Appl Physiol (1985), 1998. **85**(2): p. 418-24.
8. Okano, G., et al., *Effect of 4h preexercise high carbohydrate and high fat meal ingestion on endurance performance and metabolism*. Int J Sports Med, 1996. **17**(7): p. 530-4.
9. Rowlands, D.S. and W.G. Hopkins, *Effect of high-fat, high-carbohydrate, and high-protein meals on metabolism and performance during endurance cycling*. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2002. **12**(3): p. 318-35.
10. Dickhuth, H.-H. and G. Badtke, *Sportmedizin für Ärzte Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP); 2., überarb. Aufl. ed. 2010, Köln: Dt. Ärzte-Verl., S 83, 105-11*
11. Costill, D.L., et al., *Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days*. J Appl Physiol, 1971. **31**(6): p. 834-8.
12. Bergstrom, J. and E. Hultman, *A study of the glycogen metabolism during exercise in man*. Scand J Clin Lab Invest, 1967. **19**(3): p. 218-28.
13. Decombaz, J., et al., *Postexercise fat intake repletes intramyocellular lipids but no faster in trained than in sedentary subjects*. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2001. **281**(3): p. R760-9.
14. Hollmann, W. and H.K. Strüder, *Sportmedizin Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin; mit ... 91 Tabellen*. 5., völlig neu bearb. u. erw. Aufl. ed. 2009, Stuttgart [u.a.]: Schattauer. X, 756 S.
15. Tsintzas, O.K., et al., *Influence of carbohydrate-electrolyte drinks on marathon running performance*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1995. **70**(2): p. 154-60.
16. Ivy, J.L., et al., *Endurance improved by ingestion of a glucose polymer supplement*. Med Sci Sports Exerc, 1983. **15**(6): p. 466-71.
17. Coyle, E.F., et al., *Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate*. J Appl Physiol (1985), 1986. **61**(1): p. 165-72.



18. Yaspelkis, B.B., 3rd, et al., *Carbohydrate supplementation spares muscle glycogen during variable-intensity exercise*. J Appl Physiol (1985), 1993. **75**(4): p. 1477-85.
19. Boyd, A.E., 3rd, et al., *Lactate inhibition of lipolysis in exercising man*. Metabolism, 1974. **23**(6): p. 531-42.
20. Schoen, F.A., *Licht- und elektronenmikroskopische Befunde am Musculus vastus lateralis und ihr Bezug zu physiologischen Messgroessen bei Normalpersonen, Sportstudenten und Ausdauertrainierten*. 1978, Koeln. II,129 S.
21. Brouns, F. and G.J. van der Vusse, *Utilization of lipids during exercise in human subjects: metabolic and dietary constraints*. Br J Nutr, 1998. **79**(2): p. 117-28.
22. Poehlman, E.T., et al., *Effects of resistance training and endurance training on insulin sensitivity in nonobese, young women: a controlled randomized trial*. J Clin Endocrinol Metab, 2000. **85**(7): p. 2463-8.
23. Rassow, J., *Biochemie ... 67 Tabellen; [mit Stoffwechselweg-Animationen]*. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed. Duale Reihe. 2012, Stuttgart: Thieme. XVI, 846 S.
24. Galbo, H., *Hormonal and metabolic adaptation to exercise*. 1983, Stuttgart New York, NY: Thieme [u.a.]. VII, 116 S.
25. Weicker, H. and G.n. Strobel, *Sportmedizin biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung; 27 Tabellen*. 1994, Stuttgart [u.a.]: Fischer. XIV, 414 S.
26. Richter, E.A., et al., *Effect of exercise on insulin action in human skeletal muscle*. J Appl Physiol (1985), 1989. **66**(2): p. 876-85.
27. Dohm, G.L., M.K. Sinha, and J.F. Caro, *Insulin receptor binding and protein kinase activity in muscles of trained rats*. Am J Physiol, 1987. **252**(2 Pt 1): p. E170-5.
28. Randle, P.J., et al., *The glucose fatty-acid cycle. Its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus*. Lancet, 1963. **1**(7285): p. 785-9.
29. Randle, P.J., E.A. Newsholme, and P.B. Garland, *Regulation of glucose uptake by muscle. 8. Effects of fatty acids, ketone bodies and pyruvate, and of alloxan-diabetes and starvation, on the uptake and metabolic fate of glucose in rat heart and diaphragm muscles*. Biochem J, 1964. **93**(3): p. 652-65.
30. Löffler, G., et al., *Löffler/Petrides - Biochemie und Pathobiochemie*. 9., vollst. überarb. Aufl. ed. Springer-Lehrbuch. 2014, Berlin Heidelberg: Springer. XXIX,1073 S.
31. Lauritzen, H.P., et al., *Denervation and high-fat diet reduce insulin signaling in T-tubules in skeletal muscle of living mice*. Diabetes, 2008. **57**(1): p. 13-23.
32. Dela, F., et al., *Does training spare insulin-secretion and diminish glucose-levels in real life*. Diabetes Care, 1992. **15**(11): p. 1712-1715.
33. Wasserman, K., et al., *Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise*. J Appl Physiol, 1973. **35**(2): p. 236-43.
34. Poehlman, E.T., P.J. Arciero, and M.I. Goran, *Endurance exercise in aging humans: effects on energy metabolism*. Exerc Sport Sci Rev, 1994. **22**: p. 251-84.
35. Tanaka, H. and D.R. Seals, *Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms*. J Physiol, 2008. **586**(1): p. 55-63.

36. Knechtle, B., *Aktuelle Sportphysiologie Leistung und Ernährung im Sport*. 2002, Basel Freiburg [Breisgau] [u.a.]: Karger. pp 80-83.
37. Faude, O., W. Kindermann, and T. Meyer, *Lactate Threshold Concepts How Valid are They?* Sports Medicine, 2009. **39**(6): p. 469-490.
38. Achten, J. and A.E. Jeukendrup, *Maximal fat oxidation during exercise in trained men*. Int J Sports Med, 2003. **24**(8): p. 603-8.
39. Keul, J., E. Doll, and D. Keppler, *Muskelstoffwechsel d. Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grundlage seiner Funktion*. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes. 1969, München: Barth. VIII, 247 S.
40. Howald, H., *[New aspects in endurance training]*. Schweiz Z Sportmed, 1973. **21**(3): p. 111-6.
41. Howald, H., et al., *[Carbohydrate and lipid metabolism in 15-km ski competition]*. Schweiz Z Sportmed, 1971. **19**(2): p. 41-60.
42. Gollnick, P.D., et al., *Diet, exercise, and glycogen changes in human muscle fibers*. J Appl Physiol, 1972. **33**(4): p. 421-5.
43. Nalcakan, G.R., *The Effects of Sprint Interval vs. Continuous Endurance Training on Physiological And Metabolic Adaptations in Young Healthy Adults*. J Hum Kinet, 2014. **44**: p. 97-109.
44. Wade, A.J., M.M. Marbut, and J.M. Round, *Muscle fibre type and aetiology of obesity*. Lancet, 1990. **335**(8693): p. 805-8.
45. Roy, H.J., et al., *Substrate oxidation and energy expenditure in athletes and nonathletes consuming isoenergetic high- and low-fat diets*. Am J Clin Nutr, 1998. **67**(3): p. 405-11.
46. Rothberg, A.E., et al., *Impact of weight loss on waist circumference and the components of the metabolic syndrome*. BMJ Open Diabetes Res Care, 2017. **5**(1): p. e000341.
47. Koch, C., J. Koch, and M. Hopper, *Effect of meal composition on postprandial blood glucose levels in middle aged and young adults*. Faseb Journal, 2014. **28**(1).
48. Mittendorfer, B., et al., *Relationship between body fat mass and free fatty acid kinetics in men and women*. Obesity (Silver Spring), 2009. **17**(10): p. 1872-7.
49. Tan, S., et al., *Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women*. Clin Physiol Funct Imaging, 2016. **36**(3): p. 225-30.
50. Bowden, V.L. and R.G. McMurray, *Effects of training status on the metabolic responses to high carbohydrate and high fat meals*. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2000. **10**(1): p. 16-27.
51. Poehlman, E.T., et al., *Effects of endurance training on total fat oxidation in elderly persons*. J Appl Physiol (1985), 1994. **76**(6): p. 2281-7.
52. Chad, K.E. and B.M. Quigley, *Exercise intensity: effect on postexercise O<sub>2</sub> uptake in trained and untrained women*. J Appl Physiol (1985), 1991. **70**(4): p. 1713-9.
53. Dionne, I., S. Van Vugt, and A. Tremblay, *Postexercise macronutrient oxidation: a factor dependent on postexercise macronutrient intake*. Am J Clin Nutr, 1999. **69**(5): p. 927-30.

54. Vukovich, M.D., *Effect of fat emulsion infusion and fat feeding on muscle glycogen utilization during cycle exercise*. J Appl Physiol (1985), 1993. **75**(4): p. 1513-8.
55. Boshier, K.J., *Effects of different macronutrient consumption following a resistance-training session on fat and carbohydrate metabolism*. J Strength Cond Res, 2004. **18**(2): p. 212-9.
56. Tremblay, A., *Human obesity: a defect in lipid oxidation or in thermogenesis?* Int J Obes Relat Metab Disord, 1992. **16**(12): p. 953-7.
57. Simoneau, J.A., *Markers of capacity to utilize fatty acids in human skeletal muscle: relation to insulin resistance and obesity and effects of weight loss*. Faseb Journal, 1999. **13**(14): p. 2051-2060.
58. Flatt, J.P., *Dietary fat, carbohydrate balance, and weight maintenance: effects of exercise*. Am J Clin Nutr, 1987. **45**(1 Suppl): p. 296-306.
59. Fredholm, B.B., et al., *Studies on the capillary exchange function in canine subcutaneous adipose tissue*. Bibl Anat, 1969. **10**: p. 241-3.
60. Dyck, D.J., et al., *Regulation of fat-carbohydrate interaction in skeletal muscle during intense aerobic cycling*. Am J Physiol, 1993. **265**(6 Pt 1): p. E852-9.
61. Jansson, E. and L. Kaijser, *Leg citrate metabolism at rest and during exercise in relation to diet and substrate utilization in man*. Acta Physiol Scand, 1984. **122**(2): p. 145-53.
62. Hargreaves, M., B. Kiens, and E.A. Richter, *Effect of increased plasma free fatty acid concentrations on muscle metabolism in exercising men*. J Appl Physiol (1985), 1991. **70**(1): p. 194-201.
63. Kujala, U.M., et al., *Prevalence of diabetes, hypertension, and ischemic heart disease in former elite athletes*. Metabolism, 1994. **43**(10): p. 1255-60.
64. Srisawat, K., et al., *A Systematic Review and Meta-Analysis of Proteomics Literature on the Response of Human Skeletal Muscle to Obesity/Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM) Versus Exercise Training*. Proteomes, 2017. **5**(4).
65. Ivy, J.L., *Role of exercise training in the prevention and treatment of insulin resistance and non-insulin-dependent diabetes mellitus*. Sports Med, 1997. **24**(5): p. 321-36.
66. Coyle, E.F., et al., *Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise*. Am J Physiol, 1997. **273**(2 Pt 1): p. E268-75.
67. Sidossis, L.S. and R.R. Wolfe, *Glucose and insulin-induced inhibition of fatty acid oxidation: the glucose-fatty acid cycle reversed*. Am J Physiol, 1996. **270**(4 Pt 1): p. E733-8.
68. Pruett, E.D.R., *Fat and carbohydrate metabolism in exercise and recovery, and its dependence upon work load severity*. 1971, Oslo,: Institute of Work Physiology. 144 p.
69. Costill, D.L., et al., *Glycogen depletion pattern in human muscle fibres during distance running*. Acta Physiol Scand, 1973. **89**(3): p. 374-83.
70. King, D.S., et al., *Insulin action and secretion in endurance-trained and untrained humans*. J Appl Physiol (1985), 1987. **63**(6): p. 2247-52.
71. Collier, G. and K. O'Dea, *The effect of coingestion of fat on the glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein*. Am J Clin Nutr, 1983. **37**(6): p. 941-4.

72. Rennie, M.J., W.W. Winder, and J.O. Holloszy, *A sparing effect of increased plasma fatty acids on muscle and liver glycogen content in the exercising rat*. *Biochem J*, 1976. **156**(3): p. 647-55.
73. Costill, D.L., et al., *Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise*. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 1977. **43**(4): p. 695-9.
74. Karlsson, J., L.O. Nordesjo, and B. Saltin, *Muscle glycogen utilization during exercise after physical training*. *Acta Physiol Scand*, 1974. **90**(1): p. 210-7.
75. Wolfe, R.R., *Metabolic interactions between glucose and fatty acids in humans*. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998. **67**(3): p. 519s-526s.
76. Coyle, E.F., et al., *Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal*. *J Appl Physiol* (1985), 1985. **59**(2): p. 429-33.
77. Henderson, G.C., et al., *Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the postexercise recovery period*. *J Physiol*, 2007. **584**(Pt 3): p. 963-81.
78. Poehlman, E.T., et al., *Aerobic fitness and resting energy expenditure in young adult males*. *Metabolism*, 1989. **38**(1): p. 85-90.
79. Havel, R.J., A. Naimark, and C.F. Borchgrevink, *Turnover rate and oxidation of free fatty acids of blood plasma in man during exercise: studies during continuous infusion of palmitate-1-C14*. *J Clin Invest*, 1963. **42**: p. 1054-63.
80. Morgan, T.E., F.A. Short, and L.A. Cobb, *Alterations in Human Skeletal Muscle Lipid Composition and Metabolism Induced by Physical Conditioning*, in *Biochemistry of Exercise. 1st International Symposium on Exercise Biochemistry, Brussels, June 1968: Proceedings*. 1969. p. 116-121.
81. Oscai, L.B. and W.K. Palmer, *Muscle lipolysis during exercise. An update*. *Sports Med*, 1988. **6**(1): p. 23-8.
82. Griffiths, A.J., et al., *Immediate metabolic availability of dietary fat in combination with carbohydrate*. *Am J Clin Nutr*, 1994. **59**(1): p. 53-9.
83. Jansson, E. and L. Kaijser, *Effect of diet on muscle glycogen and blood glucose utilization during a short-term exercise in man*. *Acta Physiol Scand*, 1982. **115**(3): p. 341-7.
84. Dyck, D.J., et al., *Regulation of muscle glycogen phosphorylase activity during intense aerobic cycling with elevated FFA*. *Am J Physiol*, 1996. **270**(1 Pt 1): p. E116-25.
85. Thiebaud, D., et al., *Effect of long chain triglyceride infusion on glucose metabolism in man*. *Metabolism*, 1982. **31**(11): p. 1128-36.
86. Baron, A.D., G. Brechtel, and S.V. Edelman, *Effects of free fatty acids and ketone bodies on in vivo non-insulin-mediated glucose utilization and production in humans*. *Metabolism*, 1989. **38**(11): p. 1056-61.
87. Walker, M., et al., *Effect of glycemia and nonesterified fatty acids on forearm glucose uptake in normal humans*. *Am J Physiol*, 1991. **261**(3 Pt 1): p. E304-11.
88. Bielinski, R., Y. Schutz, and E. Jequier, *Energy metabolism during the postexercise recovery in man*. *Am J Clin Nutr*, 1985. **42**(1): p. 69-82.

## 7 Anhang

### 1. Untersuchungstag Allroundsportler:

Probanden	V'O <sub>2</sub> [l/min]	RQ	V'CO <sub>2</sub> [l/min]	V'O <sub>2</sub> /kg [ml*min <sup>-1</sup> *kg <sup>-1</sup> ]	LT [km/h]	IAS [km/h]
1	3,724	1,072	3,992	46	8,1	11,1
2	3,138	1,213	3,806	45	6,0	8,2
3	3,318	1,018	3,378	42	6,0	7,8
4	3,752	1,083	4,062	45	7,5	10,5
5	3,181	1,038	3,302	40	6,0	8,3
6	3,606	1,220	4,400	42	6,9	9,3
7	3,837	1,180	4,527	45	6,0	9,1
8	3,767	1,101	4,149	48	8,3	11,1
9	3,369	0,905	3,048	46	6,4	8,6
10	3,035	0,983	2,983	39	6,0	10,4
11	3,056	1,165	3,561	44	7,9	10,6
12	2,803	1,136	3,185	42	7,8	10,2
13	2,820	1,065	3,002	38	6,4	8,7
14	3,069	1,124	3,450	44	6,0	9,0
Mittelwert	3,320	1,093	3,632	43	6,8	9,5
Standardabweichung	0,360	0,089	0,524	2,894	0,914	1,128

Probanden	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Körperfett [%]	Taillenumfang [cm]	max HF [1/min]
1	30	178	81	25,6	27,0	87	192
2	27	171	69	23,6	16,0	78	192
3	27	189	74	20,7	9,5	78	184
4	24	186	84	24,3	27,0	100	190
5	24	180	80	24,7	19,0	98	200
6	32	183	86	25,7	27,0	96	184
7	24	179	85	26,5	19,0	97	194
8	21	180	78	24,1	27,0	84	192
9	24	183	72	21,5	18,0	84	179
10	24	176	77	24,9	27,0	87	170
11	26	183	70	20,9	8,5	77	194
12	32	166	67	24,3	28,0	90	197
13	25	178	74	23,4	15,5	80	192
14	26	175	70	22,9	18,6	83	195
Mittelwert	26	179	76	23,8	20,5	87	190
Standardabweichung	3,231	5,941	6,302	1,777	6,749	7,966	7,909

## 2. Untersuchungstag Allroundsportler:

	Laktat 1	Laktat 2	Laktat 3	Laktat 4	Laktat 5	Laktat 6
Probanden	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]
1	0,70	1,04	0,61	1,05	1,08	0,82
2	0,93	0,87	0,75	0,58	0,80	0,62
3	1,33	1,83	1,42	1,09	2,53	0,86
4	0,69	0,72	0,50	1,19	1,30	0,88
5	0,67	1,64	0,57	1,24	1,17	0,88
6	0,62	1,11	0,50	1,06	1,46	0,84
7	0,50	0,97	0,56	1,80	2,02	1,59
8	0,95	1,17	0,67	1,25	1,46	0,77
9	1,49	2,48	1,43	1,99	1,43	0,98
10	0,50	0,81	0,53	0,83	1,04	0,53
11	0,80	1,49	0,63	1,31	1,28	0,74
12	3,83	2,44	0,94	2,61	1,85	1,04
13	0,50	1,25	0,50	0,95	1,08	0,50
14	0,50	0,64	0,50	0,66	0,60	0,50
Mittelwert	1,00	1,32	0,72	1,26	1,36	0,82
Standardabweichung	0,870	0,591	0,321	0,545	0,501	0,279

	Insulin 1	Insulin 2	Insulin 3	Insulin 4	Insulin 5	Insulin 6
Probanden	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]
1	68	31	69	57	39	73
2	42	27	41	104	40	83
3	41	64	56	81	46	19
4	28	11	65	100	21	62
5	108	81	96	108	171	66
6	52	31	42	110	39	44
7	48	57	55	35	18	91
8	87	55	69	136	129	40
9	71	121	156	111	169	101
10	20	40	34	89	63	27
11	48	44	81	136	116	56
12	103	118	119	105	32	38
13	46	76	75	153	39	32
14	36	59	48	105	77	22
Mittelwert	57	58	72	102	71	54
Standardabweichung	26,853	32,364	33,309	30,689	53,045	26,320

	Glukose 1	Glukose 2	Glukose 3	Glukose 4	Glukose 5	Glukose 6
Probanden	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]
1	91	87	71	83	89	96
2	79	80	65	78	79	74
3	76	76	65	72	73	68
4	79	83	72	80	82	87
5	84	87	72	78	76	72
6	87	94	77	96	83	94
7	83	90	77	81	86	83
8	76	90	71	87	86	82
9	87	93	76	85	95	86
10	67	68	67	64	64	60
11	88	85	71	75	85	82
12	85	91	83	86	76	76
13	79	82	81	79	82	84
14	72	78	65	70	72	66
Mittelwert	81	85	72	80	81	79
Standardabweichung	6,731	7,303	5,826	7,978	7,930	10,447

	TG 1	TG 2	TG 3	TG 4	TG 5	TG 6
Probanden	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]
1	78	91	83	138	175	160
2	146	149	165	251	278	271
3	53	65	63	90	102	79
4	72	95	72	139	185	143
5	58	66	52	104	115	77
6	158	172	142	179	198	169
7	102	101	91	152	179	146
8	88	83	73	124	143	95
9	94	111	128	202	264	240
10	62	92	65	113	121	98
11	98	107	91	171	204	194
12	194	194	180	242	250	219
13	160	207	182	92	99	96
14	74	91	69	100	104	89
Mittelwert	103	116	104	150	173	148
Standardabweichung	44,174	45,891	45,990	53,020	61,550	63,645

## 1. Untersuchungstag Marathonläufer:

	V'O <sub>2</sub>	RQ	V'CO <sub>2</sub>	V'O <sub>2</sub> /kg	LT	IAS	Marathon Zeit
Probanden	[l/min]		[l/min]	[ml*min <sup>-1</sup> *kg <sup>-1</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[Stunden]
1	4,003	1,075	4,302	56	10,3	14,4	03:02
2	4,010	1,167	4,679	53	9,5	13,0	03:11
3	4,181	1,081	4,521	57	8,2	13,2	03:15
4	4,533	1,100	4,971	61	11,9	15,2	02:50
5	3,868	1,200	4,638	58	9,7	14,6	03:00
6	3,919	1,180	4,624	58	10,3	13,5	03:22
7	4,488	1,163	5,218	58	10,4	14,3	03:08
8	4,080	1,100	4,488	52	9,6	13,2	03:20
9	4,569	1,104	5,043	60	10,4	15,1	02:53
10	3,741	1,006	3,764	53	9,3	13,2	03:30
11	4,708	1,098	5,171	61	9,2	13,7	03:07
12	4,698	1,149	5,397	60	9,3	13,2	03:24
13	4,449	1,060	4,715	56	9,8	14,3	02:50
14	3,710	1,020	3,786	53	11,5	15,6	03:00
15	3,498	1,014	3,547	54	10,9	14,7	02:48
16	4,350	1,172	5,097	56	9,4	13,7	03:00
17	4,196	1,155	4,845	63	9,0	13,5	03:02
18	4,055	1,133	4,593	57	9,0	13,2	03:14
Mittelwert	4,170	1,110	4,633	57	9,9	14,0	03:06
Standardabweichung	0,355	0,059	0,518	3,199	0,928	0,814	00:12

	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Taillenumfang	max. HF
Probanden	[Jahre]	[cm]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[cm]	[1/min]
1	26	179	72	22,5	5,0	76	181
2	34	185	76	22,2	8,5	76	183
3	26	184	77	22,7	9,0	77	212
4	33	182	74	22,3	4,5	82	184
5	26	176	67	21,6	7,5	80	197
6	24	179	68	21,2	5,0	71	209
7	23	180	77	23,8	7,5	76	192
8	25	185	83	24,3	12,5	84	182
9	32	181	76	23,2	4,5	72	186
10	28	183	70	20,9	5,0	80	174
11	24	176	77	24,9	6,0	80	181
12	20	185	74	22,8	6,5	74	197
13	22	189	79	22,1	4,0	78	184
14	21	185	70	20,5	3,0	74	186
15	31	178	65	20,5	4,5	70	186
16	24	183	77	23,0	7,0	79	205
17	24	183	67	20,0	4,0	73	194
18	32	178	70	22,1	6,0	75	179
Mittelwert	26	182	73	22,3	6,1	77	190
Standardabweichung	4,230	3,578	4,897	1,334	2,298	3,854	10,728



## 2. Untersuchungstag Marathonläufer:

	Laktat 1	Laktat 2	Laktat 3	Laktat 4	Laktat 5	Laktat 6
Probanden	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]
1	0,64	0,94	0,89	1,27	1,47	1,07
2	0,81	0,93	1,29	0,84	1,38	0,96
3	0,95	1,01	1,15	1,39	1,30	0,91
4	0,66	0,75	0,50	0,86	0,81	0,50
5	0,57	0,99	0,50	0,92	1,32	0,87
6	0,76	0,79	0,55	0,81	0,64	0,50
7	0,52	0,70	0,50	0,80	1,37	0,50
8	0,83	1,29	0,78	1,61	2,56	1,24
9	1,04	0,82	1,06	0,99	2,23	1,17
10	0,67	0,88	0,91	0,90	1,02	0,63
11	0,57	0,91	0,57	1,31	1,34	0,63
12	0,66	1,51	0,67	1,60	1,17	0,54
13	0,86	0,91	0,55	0,79	1,09	0,50
14	0,69	0,95	0,73	0,68	0,76	0,50
15	0,81	0,79	0,98	1,05	1,06	0,81
16	0,50	0,62	0,52	0,70	0,71	0,50
17	1,45	1,20	0,72	1,11	1,04	0,68
18	0,68	1,37	0,62	0,50	1,05	0,94
Mittelwert	0,76	0,96	0,75	1,01	1,24	0,75
Standardabweichung	0,23	0,24	0,25	0,32	0,49	0,254

	Insulin 1	Insulin 2	Insulin 3	Insulin 4	Insulin 5	Insulin 6
Probanden	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]
1	52	63	37	78	39	30
2	29	82	47	111	101	47
3	50	72	49	144	109	58
4	42	72	77	100	81	53
5	26	65	51	125	84	70
6	53	91	65	71	91	60
7	27	63	43	85	37	24
8	34	90	129	120	66	46
9	17	30	28	47	46	24
10	29	53	53	70	96	16
11	31	55	28	55	20	9
12	49	84	139	168	127	180
13	77	98	61	176	134	57
14	54	75	33	29	81	62
15	24	50	48	118	89	38
16	32	31	73	35	62	33
17	53	67	63	191	99	57
18	25	105	24	108	42	18
Mittelwert	39	69	58	102	78	49
Standardabweichung	15,370	20,834	31,523	47,680	32,013	37,391

	Glukose 1	Glukose 2	Glukose 3	Glukose 4	Glukose 5	Glukose 6
Probanden	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]
1	85	107	71	89	101	97
2	79	93	73	82	89	83
3	88	90	77	80	86	88
4	77	104	73	98	105	82
5	85	100	73	87	94	90
6	82	87	65	72	81	81
7	80	83	69	82	83	80
8	67	89	78	87	96	80
9	92	101	87	96	109	96
10	81	88	71	80	87	70
11	77	95	66	84	80	75
12	85	97	83	92	96	89
13	74	91	72	92	96	84
14	83	98	77	87	91	86
15	85	92	67	92	95	83
16	85	86	79	78	86	94
17	80	86	69	91	91	84
18	80	106	58	89	83	71
Mittelwert	81	94	73	87	92	84
Standardabweichung	5,617	7,328	6,869	6,688	8,161	7,619

	TG 1	TG 2	TG 3	TG 4	TG 5	TG 6
Probanden	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]	[mg/dl]
1	111	122	96	137	161	123
2	136	147	140	167	190	168
3	61	54	71	92	102	68
4	95	111	98	148	153	153
5	72	80	81	129	126	93
6	85	84	85	150	143	121
7	74	91	84	110	139	93
8	73	88	70	119	94	68
9	35	43	46	73	94	57
10	62	55	106	204	177	110
11	81	95	79	112	106	90
12	132	152	125	207	223	169
13	114	122	90	127	160	121
14	92	99	93	118	132	117
15	88	114	105	175	185	140
16	45	68	92	138	214	114
17	215	196	234	347	405	332
18	64	76	76	117	124	99
Mittelwert	91	100	98	148	163	124
Standardabweichung	41,209	38,586	39,812	60,651	71,786	60,948

# ANOVA Tests

## Test bei unabhängigen Stichproben

	Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
	F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
								Untere	Obere
VO <sub>2</sub>	,032	,859	6,675	30	,000	,850135	,127365	,590021	1,110248
			6,664	27,915	,000	,850135	,127575	,588773	1,111487
RQ	1,926	,175	,637	30	,529	,016782	,028318	-,036986	,070509
			,608	21,552	,551	,016782	,027865	-,040681	,074205
VCO <sub>2</sub>	,395	,534	5,398	30	,000	1,001492	,185887	,622473	1,380511
			5,388	27,928	,000	1,001492	,185871	,620708	1,382276
VO <sub>2</sub> /kg	,078	,782	12,534	30	,000	13,714	1,094	11,480	15,949
			12,697	29,251	,000	13,714	1,080	11,506	15,923
LT	,203	,656	9,339	30	,000	3,0651	,3282	2,3948	3,7353
			9,361	28,323	,000	3,0651	,3274	2,3947	3,7355
IAS	3,783	,061	13,070	30	,000	4,4849	,3432	3,7841	5,1857
			12,547	22,804	,000	4,4849	,3574	3,7451	5,2247
Alter	1,834	,186	,178	30	,860	,246	1,380	-2,573	3,065
			,185	29,980	,855	,246	1,331	-2,473	2,985
Größe	1,794	,190	1,566	30	,128	2,651	1,692	-,805	6,107
			1,474	20,142	,156	2,651	1,798	-1,098	6,400
Gewicht	1,644	,210	-1,485	30	,148	-2,937	1,978	-6,975	1,102
			-1,438	24,023	,163	-2,937	2,042	-7,150	1,277
BMI	1,290	,265	-2,798	30	,009	-1,5373	,5494	-2,6594	-,4152
			-2,699	23,443	,013	-1,5373	,5696	-2,7145	-,3601
Körperfett	21,705	,000	-8,474	30	,000	-14,3960	1,8989	-17,8657	-10,9284
			-7,644	15,355	,000	-14,3960	1,8833	-18,4021	-10,3900
Taillenumfang	8,916	,006	-4,950	30	,000	-10,571	2,136	-14,933	-,8210
			-4,567	17,715	,000	-10,571	2,315	-15,440	-,5703
max. HF	2,170	,151	-0,025	30	,980	-,087	3,424	-7,080	6,905
			-,026	29,941	,979	-,087	3,296	-6,819	6,644

## Test bei unabhängigen Stichproben

	Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit							
	F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz		
								Untere	Obere	
1Laktat	Varianzen sind gleich	4,795	,036	1,133	30	,266	,241270	,212896	-,193490	,676030
				1,011	14,359	,329	,241270	,238555	-,269179	,751718
2Laktat	Varianzen sind gleich	10,942	,002	2,320	30	,027	,354127	,152666	,042337	,665917
				2,112	16,264	,051	,354127	,167896	-,000909	,709163
3Laktat	Varianzen sind gleich	,326	,573	-,273	30	,787	-,027302	,100111	-,231763	,177160
				-,264	23,728	,794	-,027302	,103566	-,241226	,186623
4Laktat	Varianzen sind gleich	1,656	,208	1,633	30	,113	,250635	,153441	-,062736	,564006
				1,531	19,620	,142	,250635	,163696	-,091258	,592528
5Laktat	Varianzen sind gleich	,052	,820	,705	30	,486	,124286	,176241	-,235647	,484218
				,703	27,758	,488	,124286	,176781	-,237979	,486551
6Laktat	Varianzen sind gleich	,418	,523	,823	30	,417	,077778	,094481	-,115178	,270733
				,813	26,660	,423	,077778	,095641	-,118593	,274149

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		Varianzgleichheit		T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz						Untere	Obere
1Insulin (pmol/l)	Varianzen sind gleich	4,782	,037	2,376	30	,024	17,889	7,528	2,514	33,264
	Varianzen sind nicht gleich			2,225	19,501	,038	17,889	8,039	1,092	34,686
2Insulin	Varianzen sind gleich	1,894	,179	-1,168	30	,252	-11,008	9,427	-30,261	8,245
	Varianzen sind nicht gleich			-1,107	21,058	,281	-11,008	9,946	-31,689	9,673
3Insulin	Varianzen sind gleich	,053	,820	1,184	30	,246	13,635	11,513	-9,879	37,148
	Varianzen sind nicht gleich			1,176	27,292	,250	13,635	11,596	-10,145	37,415
4Insulin	Varianzen sind gleich	3,848	,059	,029	30	,977	,421	14,677	-29,554	30,395
	Varianzen sind nicht gleich			,030	29,127	,976	,421	13,913	-28,029	28,871
5Insulin	Varianzen sind gleich	4,810	,036	-,439	30	,684	-6,643	15,119	-37,519	24,234
	Varianzen sind nicht gleich			-,414	20,171	,684	-6,643	16,060	-40,125	26,839
6Insulin	Varianzen sind gleich	,006	,940	,412	30	,683	4,857	11,778	-19,197	28,911
	Varianzen sind nicht gleich			,431	29,763	,670	4,857	11,276	-18,180	27,894

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		Varianzgleichheit		T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz						Untere	Obere
1Glc (mg/dl)	Varianzen sind gleich	1,079	,307	-,211	30	,834	-,460	2,182	-4,917	3,997
	Varianzen sind nicht gleich			-,206	25,234	,838	-,460	2,233	-5,058	4,137
2Glc	Varianzen sind gleich	,082	,776	-3,637	30	,001	-9,484	2,806	-14,810	-4,159
	Varianzen sind nicht gleich			-3,639	28,137	,001	-9,484	2,806	-14,822	-4,146
3Glc	Varianzen sind gleich	1,863	,182	,795	30	,433	7,357	9,256	-11,547	26,261
	Varianzen sind nicht gleich			,898	18,264	,381	7,357	8,193	-9,839	24,553
4Glc	Varianzen sind gleich	,114	,738	-2,694	30	,011	-6,984	2,593	-12,279	-1,689
	Varianzen sind nicht gleich			-2,634	25,313	,014	-6,984	2,652	-12,442	-1,526
5Glc	Varianzen sind gleich	,049	,826	-3,843	30	,001	-11,040	2,873	-16,907	-5,173
	Varianzen sind nicht gleich			-3,857	28,468	,001	-11,040	2,862	-16,898	-5,181
6Glc	Varianzen sind gleich	2,323	,138	-1,495	30	,145	-4,770	3,191	-11,287	1,747
	Varianzen sind nicht gleich			-1,437	22,975	,164	-4,770	3,320	-11,638	2,098

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95%	
		Varianzgleichheit		T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere	Standardfehler	Konfidenzintervall der	
		F	Signifikanz				Differenz	der Differenz	Untere	Obere
1TG (mg/dl)	Varianzen sind gleich	,465	,501	,779	30	,442	11,810	15,152	-19,134	42,753
	Varianzen sind nicht gleich			,772	27,070	,447	11,810	15,288	-19,555	43,174
2TG	Varianzen sind gleich	,716	,404	1,083	30	,268	16,167	14,934	-14,332	46,666
	Varianzen sind nicht gleich			1,059	25,363	,300	16,167	15,269	-15,258	47,591
3TG	Varianzen sind gleich	2,534	,122	,370	30	,714	5,611	15,180	-25,391	36,613
	Varianzen sind nicht gleich			,363	25,854	,720	5,611	15,464	-26,184	37,406
4TG	Varianzen sind gleich	,036	,851	,071	30	,944	1,452	20,479	-40,371	43,276
	Varianzen sind nicht gleich			,072	29,534	,943	1,452	20,129	-39,683	42,588
5TG	Varianzen sind gleich	,055	,816	,414	30	,681	9,976	24,068	-39,177	59,130
	Varianzen sind nicht gleich			,423	29,666	,676	9,976	23,598	-38,241	58,193
6TG	Varianzen sind gleich	,888	,353	1,087	30	,266	24,063	22,140	-21,153	69,280
	Varianzen sind nicht gleich			1,081	27,471	,269	24,063	22,264	-21,583	69,710

## ANCOVA Tests

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 1 – Laktat 2

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	3,516	2	1,758	17,117	,000	,541
Konstanter Term	4,895	1	4,895	47,669	,000	,622
@1Laktat	2,528	1	2,528	24,618	,000	,459
Gruppe	,424	1	,424	4,126	,051	,125
Fehler	2,978	29	,103			
Gesamt	46,590	32				
Korrigierte Gesamtvariation	6,494	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 1 – Laktat 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	,469	2	,235	3,571	,041	,198
Konstanter Term	2,935	1	2,935	44,688	,000	,606
@1Laktat	,463	1	,463	7,053	,013	,196
Gruppe	,045	1	,045	,690	,413	,023
Fehler	1,905	29	,066			
Gesamt	19,779	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2,374	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 1 – Laktat 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	2,798	2	1,399	12,452	,000	,462
Konstanter Term	5,040	1	5,040	44,852	,000	,607
@1Laktat	2,304	1	2,304	20,501	,000	,414
Gruppe	,145	1	,145	1,293	,265	,043
Fehler	3,259	29	,112			
Gesamt	45,974	32				
Korrigierte Gesamtvariation	6,057	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 1 – Laktat 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	,815	2	,407	1,778	,187	,109
Konstanter Term	11,169	1	11,169	48,743	,000	,627
@1Laktat	,693	1	,693	3,025	,093	,094
Gruppe	,030	1	,030	,130	,721	,004
Fehler	6,645	29	,229			
Gesamt	61,073	32				
Korrigierte Gesamtvariation	7,460	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 1 – Laktat 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	,150	2	,075	1,087	,351	,070
Konstanter Term	4,706	1	4,706	68,028	,000	,701
@1Laktat	,103	1	,103	1,485	,233	,049
Gruppe	,022	1	,022	,320	,576	,011
Fehler	2,006	29	,069			
Gesamt	21,688	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2,157	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 2 – Laktat 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	,687	2	,344	5,910	,007	,290
Konstanter Term	,416	1	,416	7,156	,012	,198
@2Laktat	,682	1	,682	11,719	,002	,288
Gruppe	,154	1	,154	2,649	,114	,084
Fehler	1,686	29	,058			
Gesamt	19,779	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2,374	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 2 – Laktat 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	3,073	2	1,536	14,931	,000	,507
Konstanter Term	,460	1	,460	4,472	,043	,134
@2Laktat	2,578	1	2,578	25,055	,000	,464
Gruppe	,000	1	,000	,004	,947	,000
Fehler	2,984	29	,103			
Gesamt	45,974	32				
Korrigierte Gesamtvariation	6,057	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 2 – Laktat 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1,234	2	,617	2,874	,073	,165
Konstanter Term	2,320	1	2,320	10,807	,003	,271
@2Laktat	1,112	1	1,112	5,181	,030	,152
Gruppe	,008	1	,008	,038	,847	,001
Fehler	6,226	29	,215			
Gesamt	61,073	32				
Korrigierte Gesamtvariation	7,460	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Laktat 2 – Laktat 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	,210	2	,105	1,568	,226	,098
Konstanter Term	1,296	1	1,296	19,316	,000	,400
@2Laktat	,163	1	,163	2,426	,130	,077
Gruppe	,002	1	,002	,028	,867	,001
Fehler	1,946	29	,067			
Gesamt	21,688	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2,157	31				



### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 1 – Insulin 2

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	7735,048 <sup>a</sup>	2	3867,524	7,890	,002	,352
Konstanter Term	4267,347	1	4267,347	8,706	,006	,231
@1Insulinpmoll	6780,797	1	6780,797	13,834	,001	,323
Gruppe	3734,671	1	3734,671	7,619	,010	,208
Fehler	14214,671	29	490,161			
Gesamt	154691,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	21949,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 1 – Insulin 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	8007,848	2	4003,924	4,687	,017	,244
Konstanter Term	4841,839	1	4841,839	5,668	,024	,163
@1Insulinpmoll	6543,798	1	6543,798	7,660	,010	,209
Gruppe	8,450	1	8,450	,010	,921	,000
Fehler	24773,027	29	854,242			
Gesamt	164622,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	32780,875	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 1 – Insulin 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	3336,516	2	1668,258	1,017	,374	,066
Konstanter Term	29753,038	1	29753,038	18,144	,000	,385
@1Insulinpmoll	3335,122	1	3335,122	2,034	,165	,066
Gruppe	479,672	1	479,672	,293	,593	,010
Fehler	47556,203	29	1639,869			
Gesamt	383209,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	50892,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 1 – Insulin 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	14570,295	2	7285,147	5,311	,011	,268
Konstanter Term	3097,501	1	3097,501	2,258	,144	,072
@1Insulinpmoll	14222,790	1	14222,790	10,369	,003	,263
Gruppe	4168,747	1	4168,747	3,039	,092	,095
Fehler	39778,424	29	1371,670			
Gesamt	234799,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	54348,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 1 – Insulin 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	2646,439	2	1323,219	1,266	,297	,080
Konstanter Term	4653,683	1	4653,683	4,452	,044	,133
@1Insulinpmoll	2460,653	1	2460,653	2,354	,136	,075
Gruppe	52,390	1	52,390	,050	,824	,002
Fehler	30313,061	29	1045,278			
Gesamt	116600,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	32959,500	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 2 – Insulin 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	11267,270 <sup>a</sup>	2	5633,635	7,594	,002	,344
Konstanter Term	2053,328	1	2053,328	2,768	,107	,087
@2Insulin	9803,220	1	9803,220	13,215	,001	,313
Gruppe	3371,692	1	3371,692	4,545	,042	,135
Fehler	21513,605	29	741,848			
Gesamt	164622,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	32780,875	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 2 – Insulin 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	5571,993	2	2785,997	1,783	,186	,109
Konstanter Term	21216,964	1	21216,964	13,576	,001	,319
@2Insulin	5570,600	1	5570,600	3,565	,069	,109
Gruppe	279,443	1	279,443	,179	,676	,006
Fehler	45320,725	29	1562,784			
Gesamt	383209,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	50892,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 2 – Insulin 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	9610,881	2	4805,440	3,115	,060	,177
Konstanter Term	4650,035	1	4650,035	3,014	,093	,094
@2Insulin	9263,376	1	9263,376	6,005	,021	,172
Gruppe	3,371	1	3,371	,002	,963	,000
Fehler	44737,838	29	1542,684			
Gesamt	234799,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	54348,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Insulin 2 – Insulin 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1366,741	2	683,370	,627	,541	,041
Konstanter Term	5858,622	1	5858,622	5,378	,028	,156
@2Insulin	1180,955	1	1180,955	1,084	,306	,036
Gruppe	420,087	1	420,087	,386	,539	,013
Fehler	31592,759	29	1089,405			
Gesamt	116600,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	32959,500	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 1 – Glukose 2

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1091,009	2	545,505	12,928	,000	,471
Konstanter Term	299,495	1	299,495	7,098	,012	,197
@1Glcmgdl	382,664	1	382,664	9,069	,005	,238
Gruppe	667,824	1	667,824	15,826	,000	,353
Fehler	1223,709	29	42,197			
Gesamt	260975,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2314,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 1 – Glukose 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	809,122	2	404,561	,591	,560	,039
Konstanter Term	77,353	1	77,353	,113	,739	,004
@1Glcmgdl	382,867	1	382,867	,559	,461	,019
Gruppe	457,258	1	457,258	,668	,420	,023
Fehler	19858,347	29	684,771			
Gesamt	169589,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	20667,469	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 1 – Glukose 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	570,291	2	285,146	5,899	,007	,289
Konstanter Term	425,650	1	425,650	8,806	,006	,233
@1Glcmgdl	186,164	1	186,164	3,852	,059	,117
Gruppe	363,268	1	363,268	7,516	,010	,206
Fehler	1401,709	29	48,335			
Gesamt	225084,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	1972,000	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 1 – Glukose 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1315,071	2	657,535	11,960	,000	,452
Konstanter Term	278,488	1	278,488	5,065	,032	,149
@1Glcmgdl	355,308	1	355,308	6,463	,017	,182
Gruppe	913,958	1	913,958	16,624	,000	,364
Fehler	1594,398	29	54,979			
Gesamt	243901,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2909,469	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 1 – Glukose 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1287,816	2	643,908	14,396	,000	,498
Konstanter Term	,210	1	,210	,005	,946	,000
@1Glcmgdl	1108,649	1	1108,649	24,786	,000	,461
Gruppe	146,268	1	146,268	3,270	,081	,101
Fehler	1297,153	29	44,729			
Gesamt	217589,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2584,969	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 2 – Glukose 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	2662,078	2	1331,039	2,144	,135	,129
Konstanter Term	269,370	1	269,370	,434	,515	,015
@2Glc	2235,823	1	2235,823	3,601	,068	,110
Gruppe	1879,784	1	1879,784	3,028	,092	,095
Fehler	18005,391	29	620,876			
Gesamt	169589,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	20667,469	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 2 – Glukose 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1239,026	2	619,513	24,511	,000	,628
Konstanter Term	64,171	1	64,171	2,539	,122	,081
@2Glc	854,899	1	854,899	33,824	,000	,538
Gruppe	,023	1	,023	,001	,976	,000
Fehler	732,974	29	25,275			
Gesamt	225084,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	1972,000	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Glukose 2 – Glukose 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	1712,762	2	856,381	20,753	,000	,589
Konstanter Term	124,482	1	124,482	3,017	,093	,094
@2Glc	753,000	1	753,000	18,248	,000	,386
Gruppe	112,957	1	112,957	2,737	,109	,086
Fehler	1196,707	29	41,266			
Gesamt	243901,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	2909,469	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 1 – Triglyzeride 2

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	50314,099	2	25157,049	164,588	,000	,919
Konstanter Term	1359,796	1	1359,796	8,896	,006	,235
@1TGmgdl	48255,880	1	48255,880	315,710	,000	,916
Gruppe	195,072	1	195,072	1,276	,268	,042
Fehler	4432,620	29	152,849			
Gesamt	420473,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	54746,719	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 1 – Triglyzeride 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	46764,683	2	23382,341	85,579	,000	,855
Konstanter Term	659,165	1	659,165	2,413	,131	,077
@1TGmgdl	46516,742	1	46516,742	170,250	,000	,854
Gruppe	218,933	1	218,933	,801	,378	,027
Fehler	7923,536	29	273,225			
Gesamt	380111,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	54688,219	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 1 – Triglyzeride 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	53907,305	2	26953,652	17,297	,000	,544
Konstanter Term	13558,292	1	13558,292	8,701	,006	,231
@1TGmgdl	53890,693	1	53890,693	34,584	,000	,544
Gruppe	821,983	1	821,983	,527	,473	,018
Fehler	45189,664	29	1558,264			
Gesamt	809231,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	99096,969	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 1 – Triglyzeride 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	63866,525	2	31933,263	12,553	,000	,464
Konstanter Term	19628,553	1	19628,553	7,716	,009	,210
@1TGmgdl	63082,771	1	63082,771	24,799	,000	,461
Gruppe	58,805	1	58,805	,023	,880	,001
Fehler	73770,444	29	2543,808			
Gesamt	1030419,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	137636,969	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 1 – Triglyzeride 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	68714,758	2	34357,379	19,289	,000	,571
Konstanter Term	4716,464	1	4716,464	2,648	,114	,084
@1TGmgdl	64154,726	1	64154,726	36,019	,000	,554
Gruppe	971,587	1	971,587	,545	,466	,018
Fehler	51653,242	29	1781,146			
Gesamt	701410,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	120368,000	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 2 – Triglyzeride 3

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	44104,588	2	22052,294	60,425	,000	,806
Konstanter Term	29,636	1	29,636	,081	,778	,003
@2TG	43856,647	1	43856,647	120,171	,000	,806
Gruppe	632,932	1	632,932	1,734	,198	,056
Fehler	10583,631	29	364,953			
Gesamt	380111,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	54688,219	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 2 – Triglyzeride 4

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	37847,738	2	18923,869	8,960	,001	,382
Konstanter Term	13132,104	1	13132,104	6,218	,019	,177
@2TG	37831,127	1	37831,127	17,912	,000	,382
Gruppe	1136,677	1	1136,677	,538	,469	,018
Fehler	61249,231	29	2112,042			
Gesamt	809231,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	99096,969	31				



### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 2 – Triglyzeride 5

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	46420,455	2	23210,227	7,379	,003	,337
Konstanter Term	17874,810	1	17874,810	5,683	,024	,164
@2TG	45636,701	1	45636,701	14,509	,001	,333
Gruppe	194,798	1	194,798	,062	,805	,002
Fehler	91216,514	29	3145,397			
Gesamt	1030419,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	137636,969	31				

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Triglyzeride 2 – Triglyzeride 6

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	54056,726	2	27028,363	11,820	,000	,449
Konstanter Term	3964,583	1	3964,583	1,734	,198	,056
@2TG	49496,694	1	49496,694	21,646	,000	,427
Gruppe	534,026	1	534,026	,234	,633	,008
Fehler	66311,274	29	2286,596			
Gesamt	701410,000	32				
Korrigierte Gesamtvariation	120368,000	31				

## Häufigkeiten AL

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
IAS			LT			V_O2		
N	Gültig	14	N	Gültig	14	N	Gültig	14
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		9,493	Mittelwert		6,807	Mittelwert		3,31964
Median		9,200	Median		6,400	Median		3,24950
Std.-Abweichung		1,1283	Std.-Abweichung		,9119	Std.-Abweichung		,359999
Spannweite		3,3	Spannweite		2,3	Spannweite		1,034
Minimum		7,8	Minimum		6,0	Minimum		2,803
Maximum		11,1	Maximum		8,3	Maximum		3,837

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
V_CO2			V02_kg			RQ		
N	Gültig	14	N	Gültig	14	N	Gültig	14
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		3,63179	Mittelwert		43,29	Mittelwert		1,09307
Median		3,50550	Median		44,00	Median		1,09200
Std.-Abweichung		,524291	Std.-Abweichung		2,894	Std.-Abweichung		,089260
Spannweite		1,544	Spannweite		10	Spannweite		,315
Minimum		2,983	Minimum		38	Minimum		,905
Maximum		4,527	Maximum		48	Maximum		1,220

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
maximale Herzfrequenz			Größe			Gewicht		
N	Gültig	14	N	Gültig	14	N	Gültig	14
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		189,64	Mittelwert		179,07	Mittelwert		76,21
Median		192,00	Median		179,50	Median		75,50
Std.-Abweichung		7,909	Std.-Abweichung		5,942	Std.-Abweichung		6,302
Spannweite		30	Spannweite		23	Spannweite		19
Minimum		170	Minimum		166	Minimum		67
Maximum		200	Maximum		189	Maximum		86

Statistiken			Statistiken		
BMI			Alter		
N	Gültig	14	N	Gültig	14
	Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		23,793	Mittelwert		26,14
Median		24,200	Median		25,50
Std.-Abweichung		1,7774	Std.-Abweichung		3,231
Spannweite		5,8	Spannweite		11
Minimum		20,7	Minimum		21
Maximum		26,5	Maximum		32

## Häufigkeiten ML

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
IAS			LT			VO2		
N	Gültig		N	Gültig		N	Gültig	
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		13,978	Mittelwert		9,872	Mittelwert		4,16978
Median		13,700	Median		9,650	Median		4,13050
Std.-Abweichung		,8143	Std.-Abweichung		,9279	Std.-Abweichung		,355429
Spannweite		2,6	Spannweite		3,7	Spannweite		1,210
Minimum		13,0	Minimum		8,2	Minimum		3,498
Maximum		15,6	Maximum		11,9	Maximum		4,708

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
VCO2			V'O2/kg			RQ		
N	Gültig		N	Gültig		N	Gültig	
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		4,63328	Mittelwert		57,00	Mittelwert		1,10983
Median		4,65850	Median		57,00	Median		1,10200
Std.-Abweichung		,518118	Std.-Abweichung		3,199	Std.-Abweichung		,059436
Spannweite		1,850	Spannweite		11	Spannweite		,194
Minimum		3,547	Minimum		52	Minimum		1,006
Maximum		5,397	Maximum		63	Maximum		1,200

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
Maximale Herzfrequenz			Größe			Gewicht		
N	Gültig		N	Gültig		N	Gültig	
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		189,56	Mittelwert		181,72	Mittelwert		73,28
Median		186,00	Median		182,50	Median		74,00
Std.-Abweichung		10,728	Std.-Abweichung		3,578	Std.-Abweichung		4,897
Spannweite		38	Spannweite		13	Spannweite		18
Minimum		174	Minimum		176	Minimum		65
Maximum		212	Maximum		189	Maximum		83

Statistiken			Statistiken			Statistiken		
BMI			Alter			Marathonzeit		
N	Gültig		N	Gültig		N	Gültig	
	Fehlend	0		Fehlend	0		Fehlend	0
Mittelwert		22,256	Mittelwert		26,39	Mittelwert		3:06:26,67
Median		22,250	Median		25,50	Median		3:04:30,00
Std.-Abweichung		1,3338	Std.-Abweichung		4,300	Std.-Abweichung		0:12:31,72
Spannweite		4,9	Spannweite		14	Spannweite		0:42:00,00
Minimum		20,0	Minimum		20	Minimum		2:48:00,00
Maximum		24,9	Maximum		34	Maximum		3:30:00,00

## **8 Erklärung zum Eigenanteil**

Konzipiert und angemeldet wurde die Studie von Professor Dr. H.-Ch. Heitkamp. Die Durchführung des experimentellen Teils wurde von Frau Feldhaus und Herrn Hessling umgesetzt.

Die Auswertung der Blutproben erfolgte durch das Zentrallaboratorium der Universitätsklinik Tübingen.

Die gemessenen Daten wurden nach Überprüfung durch Herrn Prof. Heitkamp zur Analyse zur Verfügung gestellt.

Die Analyse der Daten, sowie die Literaturrecherche erfolgte selbstständig durch Herrn Sebastian Birk unter der Aufsicht von Herrn Prof. Heitkamp. Alle eingefügten Diagramme und Statistiken (in Kapitel 3 und im Anhang) sind selbstständig von Herrn Sebastian Birk erstellt worden.

Finanziert wurde die Studie von der Karl und Lore Klein Stiftung.

## **9 Danksagung**

Ich möchte besonders meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med H.-Ch. Heitkamp für die Überlassung des Themas danken. Seine positive und ermutigende Art der Betreuung und die aufgebrauchte Geduld war besonders hilfreich.

Des Weiteren möchte ich Frau Inka Rösel danken für die Betreuung und Hilfe beim Erstellen der wissenschaftlichen Statistik.

Danke an die Karl und Lore Klein Stiftung für die Finanzierung der Studie.

Meiner Familie, speziell meinen Eltern und meiner Freundin danke ich für den Zuspruch und die Ermutigung beim Durchführen der Arbeit.