

**HORMONELLE UND KARDIORESPIRATORISCHE
REAKTIONEN BEI SPORTLERN MIT DIABETES MELLITUS
(TYP I) UND GESUNDEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER
BELASTUNGSINTENSITÄT**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur
Erlangung des Doktorgrades
der Philosophie des Fachbereiches 06
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Inge Gerding

Bad Wildungen

2003

Dekan: Prof. Dr. Joachim Stiensmeier-Pelster

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Paul E. Nowacki

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Hans-Jochen Medau

Tag der Disputation: 12. August 2003

meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
2. METHODIK	5
2.1 Übersicht	5
2.2 Untersuchungsgut	5
2.2.1 Sportler mit Diabetes (Typ I)	6
2.2.2 Gesunde Sportler	6
2.2.3 Anthropometrische Daten der Probanden	7
2.2.4 Diätetische Daten	8
2.3 Untersuchungsbedingungen	9
2.3.1 Klinisch sportmedizinische Untersuchung	9
2.3.2 Allgemeine Übersicht zur apparativen leistungsdiagnostischen Untersuchungsmethodik	9
2.3.2.1 Erschöpfende Fahrradspiroergometrie im Sitzen – 0,5 Watt/kg Körpergewichtsmethode (Test T1)	12
2.3.2.2 30-minütige Steady-State-Belastung – Fahrradspiroergometrie im Sitzen (Test T2)	14
2.3.2.3 Intervalltest – Fahrradspiroergometrie im Sitzen (Test T3)	15
2.3.3 Messgrößen und Messmethoden	16
2.3.3.1 Körperliche Leistungsfähigkeit	16
2.3.3.1.1 Gesamtarbeit in Wattminuten	16
2.3.3.1.2 Maximale absolute und relative Wattstufen	16
2.3.3.2 Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit	16
2.3.3.2.1 Herzschlagfrequenz	16

	<u>Seite</u>	
2.3.3.2.2	Blutdruck	17
2.3.3.3	Respiratorische Leistungsfähigkeit	17
2.3.3.3.1	Vitalkapazität und andere Lungenfunktionsparameter	17
2.3.3.3.2	Atemminutenvolumen	18
2.3.3.4	Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit	18
2.3.3.4.1	Absolute Sauerstoffaufnahme	18
2.3.3.4.2	Relative Sauerstoffaufnahme	19
2.3.3.4.3	Sauerstoffpuls	19
2.3.3.4.4	Ventilations-Respiratorischer Quotient	19
2.3.3.5	Metabolische Parameter	20
2.3.3.5.1	Vorbereitende Behandlung der Blutproben	20
2.3.3.5.1.1	Glukose	21
2.3.3.5.1.2	Hormone Insulin, Glukagon, Cortisol, Wachstumshormon- STH, Adrenalin, Noradrenalin	21
2.3.3.5.1.3	Laktat	21
2.4	Statistische Methoden	23
2.5	Kritik der Methodik	25
3.	ERGEBNISSE	27
3.1	Anthropometrische Parameter Alter, Größe, Gewicht, BMI, HbA _{1c} , Trainingsstunden	27
3.2	Körperliche Leistungsfähigkeit	30
3.2.1	Gesamtarbeit in Wattminuten	30
3.2.2	Maximale absolute Wattstufe	32
3.2.3	Maximale relative Wattstufe	33
3.2.4	Belastungszeiten	34

		<u>Seite</u>
3.3	Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen	36
3.3.1	Herzfrequenz	36
3.3.2	Blutdruck	41
3.4	Respiratorische Leistungsfähigkeit	47
3.4.1	Vitalkapazität	47
3.4.2	Maximales Atemminutenvolumen	47
3.5	Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit	51
3.5.1	Absolute Sauerstoffaufnahme	51
3.5.2	Relative Sauerstoffaufnahme	56
3.5.3	Maximaler Sauerstoffpuls	62
3.5.4	Ventilations Respiratorischer Quotient	64
3.6	Maximale biologische Leistungsgrößen	70
3.7	Metabolische Funktionsgrößen	71
3.7.1	Glukose	71
3.7.2	Hormone	76
3.7.2.1	Insulin	76
3.7.2.2	Glukagon	77
3.7.2.3	Cortisol	80
3.7.2.4	Wachstumshormon – STH	83
3.7.2.5	Adrenalin	85
3.7.2.6	Noradrenalin	88
3.7.3	Laktat	90

	<u>Seite</u>	
4.	DISKUSSION	97
4.1	Anthropometrie	97
4.2	Körperliche Leistungsfähigkeit	103
4.3	Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen	105
4.3.1	Herzfrequenz	105
4.3.2	Blutdruck	110
4.4	Respiratorische Leistungsfähigkeit	112
4.4.1	Vitalkapazität	112
4.4.2	Atemminutenvolumen	114
4.5	Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit	116
4.6	Metabolische Funktionsparameter	125
4.6.1	Glukose	125
4.6.2	Hormone	131
4.6.2.1	Insulin	131
4.6.2.2	Glukagon	135
4.6.2.3	Cortisol	138
4.6.2.4	Wachstumshormon – STH	143
4.6.2.5	Katecholamine – Adrenalin und Noradrenalin	148
4.6.3	Laktat	157
4.7	Schlussfolgernde Hinweise zur praktischen Umsetzung	162
5.	ZUSAMMENFASSUNG	168

		<u>Seite</u>
6.	LITERATURVERZEICHNIS	175
7.	ANHANG	200
7.1	Verzeichnis der Abbildungen	200
7.2	Verzeichnis der Tabellen	205
7.3	Versuchsprotokolle – zusammengefasst	207

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

In den hoch industrialisierten Ländern der Erde ist die **Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus)** eine der **häufigsten chronischen Erkrankungen** und hat sich im letzten Jahrzehnt zu einer wahren **Volkskrankheit** entwickelt.

Es ist davon auszugehen, dass in **Deutschland** ca. **5 % der Gesamtbevölkerung** an dieser Erkrankung leiden (BERGER, PIEBER 2000). Dabei sind mehr als 95 % der in Deutschland lebenden Diabetiker dem Typ II zuzuordnen und **bis zum Jahr 2010** wird mit **6-8 Millionen Diabetikern** in Deutschland gerechnet (BERGER, TRAUTNER 2000; HANEFELD 2002).

Der Typ-I-Diabetes als auch der Typ-II-Diabetes können grundsätzlich in jedem Lebensalter auftreten. Dabei **manifestiert** sich der **Typ-I-Diabetes** am häufigsten **um das 4. und 11. Lebensjahr** (CLEMENS u. Mitarb. 1999), während der **Typ-II-Diabetes** normalerweise erst **ab dem mittleren Lebensalter** auftritt und zum einen durch **genetische** und zum anderen durch **Umwelteinflüsse** bedingt ist. Hier kommt es durch das **Zusammenwirken** von einer **erblichen Veranlagung** in Verbindung mit **körperlicher Inaktivität, Fettstoffwechselstörungen** und **Übergewicht** zu einer **Abnahme der Insulinempfindlichkeit** (Insulinresistenz) von Muskel-, Leber- und Fettzellen, was in Folge zu einem **relativen Insulinmangel** führt (DUGI u. Mitarb. 1999; STARKE 2000; THURM, GEHR 2001).

Der **Typ-I-Diabetes** ist als **Insulinmangelsyndrom** definiert, das aufgrund einer weitgehend **selektiven Zerstörung** der **insulinproduzierenden β -Zellen** der **Langerhans-Inseln** auftritt. Die Krankheit entwickelt sich auf dem Boden einer genetischen Prädisposition im Zusammenwirken mit noch weitgehend unbekanntem Umweltfaktoren (KOLB 2000).

Lange vor der Insulinära war **körperliches Training** neben einer speziellen Ernährung die **einzig mögliche "Behandlungsmethode"** des Diabetes mellitus. So empfahl der indische Arzt Sushruta, der als erster Beschreiber dieser Erkrankung in der Literatur gilt, schon im 6. Jh. v. Chr. Diabetikern körperliche Aktivität in Form von Kampfspielen sowie Reiten auf Pferden und Elefanten.

In diesem Zusammenhang ist das Thema **"Diabetes und Sport"** seit der Entdeckung des Insulins in der medizinischen Forschung immer wieder unter den unterschiedlichsten Gesichtspunkten diskutiert worden. **Die**

Bedeutung der körperlichen Aktivität in der Behandlung des Diabetes mellitus ist auch seit der Entdeckung des Insulins allgemein **anerkannt** und wurde bekannterweise vom Altvater der modernen Diabetologie E.P. JOSLIN 1917, 1935 neben **Diät** und **medikamentöser Therapie** als **eine der drei Säulen der Diabetestherapie** bezeichnet. Auch schon KATSCH 1939 zeigte, dass bei Typ-I-Diabetikern eine Ausdauerbelastung zu einer Abnahme des Blutzuckerspiegels führt. Unbestritten und heute allgemein anerkannt ist, dass ein **sportliches Training** bei Diabetikern günstige Wirkungen auf den Gesundheitszustand insgesamt hat, wie z.B. die **Erhöhung der Glukosetoleranz** und der **Insulinsensitivität**, die **Verbesserung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit**, die **Prävention von kardiovaskulären Erkrankungen** und die **Herausögerung von diabetischen Begleiterkrankungen** (BIEGERL, JUNG 1980; BERGER, BERCHTHOLD 1982; GALBO 1986; BERGER 1988; BEHRMANN, WEINECK 1992; HOUGH 1994; REGENSTEINER et al. 1995; PEIRCE 1999).

Dank der medizinischen **Fortschritte** in der **Diabetologie**, z.B. die Entwicklung der **Blutzuckerselbstkontrolle** und die Einführung der **intensivierten Insulintherapie** und **Insulinpumpentherapie**, ist es möglich, dass **Sport im Leben eines Diabetikers** den **gleichen Stellenwert** einnehmen kann wie bei **stoffwechselgesunden Sportlern**. Neben den oben genannten Effekten von sportlicher Betätigung bei Diabetikern **fördern sportliche Aktivitäten** auch das **Wohlbefinden**, die **Lebensqualität**, das **Selbstwertgefühl** und das **Selbstbewußtsein** des Sportlers und geben vielfach die Möglichkeit zum **Aufbau sozialer Kontakte** und **des gedanklichen Austausches**. Nach BERGER 1988 geht von den Typ-I-Diabetikern eine starke Motivation zur sportlichen Betätigung einschließlich der Teilnahme am organisierten Freizeit- und Leistungssport aus. Es gibt eine große Anzahl (Leistungs-) Sport treibender Diabetiker, die ihre sportlichen Aktivitäten gut mit ihrer Krankheit in Einklang bringen können. **Sportliche Höchstleistungen von Diabetikern** bis hin zum **Olympiasieg** zeigen, dass unter Beachtung gewisser Regeln **nahezu keine Einschränkung der sportlichen Leistungsfähigkeit** vorliegen muß. In diesem Sinne setzen der Leistungssport, vor allem aber der Hochleistungssport eine Spezialisierung sowie ein planmäßiges und systematisches Training voraus.

Zum Thema "**Diabetes und Leistungssport**" jedoch findet man nur **wenig Empfehlungen**, die darauf abzielen, auf der einen Seite die Leistung des Athleten im

Hinblick auf die ausgeübte Sportart und die Zielsetzung des Sportlers zu optimieren und auf der anderen Seite die Therapie diesem Ansatz anzupassen.

Vor diesem Hintergrund findet man in der Literatur vermehrt **Forderungen** nach **Untersuchungen** zum **Beweis der Effizienz** des **sportlichen Trainings** unter **verschiedenen Bedingungen**, um **generelle Empfehlungen aussprechen zu können** (BERGER 1988). Auch GOMER M., GOMER M. 1994 fordern für den Bereich "Leistungssport mit Diabetikern" noch weitere wissenschaftliche Studien und bemängeln ein Forschungsdefizit in diesem Bereich. WASSERMAN, ZINMAN 1994 weisen ebenso auf die Wichtigkeit von weiteren Untersuchungen im Bereich Typ-I-Diabetes und Sport hin, um Kinder und Erwachsene mit Typ-I-Diabetes im Freizeit- als auch im Leistungssportbereich im Hinblick auf ihre Krankheit optimal zu beraten.

Angaben über das maximale biologische Leistungsvermögen, über kardiozirkulatorische, kardiorespiratorische und metabolische Reaktionen von Typ-I-Diabetikern bei unterschiedlichen Belastungsintensitäten sind in der Literatur nur spärlich zu finden. Ebenso fehlen Untersuchungen, die das Verhalten von blutzuckersteigernden und blutzuckersenkenden Hormonen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Belastungsintensitäten bei Sportlern mit Typ-I-Diabetes dokumentieren.

GÖBEL 1994, am Lehrstuhl für Sportmedizin und der Medizinischen Klinik der Justus-Liebig-Universität Gießen, empfiehlt im Rahmen seiner Dissertation auf der Grundlage von Belastungsuntersuchungen mit untrainierten Typ-II-Diabetikern, die Trainingsintensität, besonders bei Steady-State-Belastungen, an Hand von Stoffwechselfparametern (Blutzucker, Laktat, Trainingsintensität bei 40 – 50 % der individuellen VO_2max) anzupassen.

Auf der Grundlage von 3 Belastungsuntersuchungen mit einem unterschiedlichen sportmedizinischen Leistungsprofil sollen in der vorliegenden experimentellen Dissertation über hormonelle und kardiorespiratorische Reaktionen bei Sportlern mit Diabetes mellitus (Typ I) und Gesunden Sportlern folgende Fragen geklärt werden:

- 1. Wie ist das Verhalten der körperlichen, kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit von Sportlern mit Diabetes mellitus (Typ I) im Vergleich zu stoffwechselgesunden Sportlern bei erschöpfender spiroergometrischer Ausbelastung, bei einer Steady-State-Belastung von 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme und bei einer intensiven Intervallbelastung mit 3 einminütigen Intervallen bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme?**

- 2. Gibt es bei gleichem Trainingsaufwand entscheidende Unterschiede bei der Ausprägung des sportmedizinischen Leistungsprofils von Diabetikern (Typ I) im Vergleich zu der Gruppe der Gesunden Sportler?**

- 3. Welchen Einfluss haben oben genannte unterschiedliche Belastungsintensitäten auf metabolisch relevante Hormone (Insulin, Glukagon, Cortisol, Wachstumshormon - STH, Adrenalin, Noradrenalin), die Glukose und das Laktat bei Typ-I-Diabetikern und wie wirkt sich die Hormonregulation auf das Blutzuckerhalten bei den Diabetikern (Typ I) aus?**

- 4. Ist die Trainingsgestaltung, die Trainingsplanung und die Trainingsteuerung der Typ-I-Diabetiker durch entsprechende Empfehlungen, die auf der Grundlage leistungsmedizinischer Untersuchungen basieren, zu optimieren?**

2. METHODIK

2.1 Übersicht

Die vorliegenden **experimentellen Untersuchungen** bestanden aus **3 Laboruntersuchungsabschnitten**, die sich aus **3 unterschiedlichen Belastungstests** an **3 aufeinanderfolgenden** Tagen zusammensetzten.

Durchgeführt wurden die Untersuchungen im **Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen** (Geschäftsführer: Rolf-Peter Hoehle) unter der ärztlichen Leitung von Dr. med. P. SCHNORR. Planung und Aufbau dieser Studie erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem **Lehrstuhl für Sportmedizin** der **Justus-Liebig-Universität Gießen** (Leiter: Univ. Prof. Dr. med. Paul E. NOWACKI).

2.2 Untersuchungsgut

An den Untersuchungen nahmen **13 männliche Sport treibende Diabetiker (Typ I)** und **12 männliche gesunde Sportler** teil.

Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie war ein über die **Woche** verteiltes **sportliches Training** von **mindestens 4 Stunden**.

Die **Sportler** betrieben folgende Sportarten: **Lauf, Rennrad, Mountainbike, Schwimmen, Triathlon, Tennis, Volleyball, Baseball, Fußball, Badminton, Inline-Skating** und **Tischtennis**.

Für die 3 Tage, an denen die Belastungstests durchgeführt wurden, waren die Sportler im Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen, untergebracht. Jeder Sportler führte seine **Belastungstests** an den **3 Tagen** zur **selben Zeit** durch. Die Sportler wurden angewiesen, ausgeruht anzureisen, d.h. sie sollten bis zu 2 Tage vor der Untersuchung keine intensiven sportlichen Betätigungen durchführen. Auch während ihres Aufenthaltes durften die Sportler sich nicht weiter sportlich betätigen.

In den 3 Tagen ihres Aufenthaltes bekamen die Probanden ein **Blutzuckermessgerät** der Marke "ONE TOUCH profile" (Fa. LIFESCAN, Neckargemünd) zur Verfügung gestellt. Die Probanden wurden angewiesen, ihren **Blutzucker** (neben ihren noch individuell notwendigen Messungen) zu vordefinierten Zeiten (7:00, 10:00, 14:00, 18:00, 20:00, 22:00 Uhr) zu messen und in einen Protokollbogen einzutragen. Die

Diabetiker sollten darüber hinaus ihre durchgeführte **Insulintherapie** zu den jeweiligen Zeitpunkten auf dem Protokollbogen dokumentieren.

2.2.1 Sportler mit Diabetes (Typ I)

Zu der Gruppe der **Diabetiker** zählten **13 männliche Sportler**, bei denen im Mittel die Krankheit vor $15,5 \pm 10,2$ Jahren festgestellt wurde. Für die Zeit ihres Aufenthaltes im Medizinischen Zentrum Parkhöhe führte jeder Diabetiker **eigenständig** und **eigenverantwortlich** seine **Insulintherapie** durch und wurde in dieser Hinsicht nicht reglementiert. Probleme mit der Insulintherapie traten nicht auf. Zu diesem Zeitpunkt führten 12 Diabetiker die intensivierete und ein Diabetiker die konventionelle Insulintherapie durch. 11 Diabetiker spritzten Lispro-Insulin, 2 Diabetiker benutzten eine Pumpe.

Alle Diabetiker übten ihre Sportart/en seit mehreren Jahren aus, wobei das durchschnittliche **Trainingspensum pro Woche** bei $7,3 \pm 2,3$ Stunden lag.

Das **Durchschnittsalter** der Diabetiker lag bei $34,9 \pm 9,6$ Jahren, das durchschnittliche **Gewicht** betrug $80,0 \pm 11,0$ kg, bei einer **prozentualen Fettmasse** von $18,1 \pm 3,9$ % und einem **BMI** im Mittel von $24,8 \pm 2,1$. Der **Wasseranteil** lag bei durchschnittlich $60,2 \pm 2,8$ %. Im Mittel waren die Diabetiker 179 ± 9 cm groß.

Mit einem **HbA1c-Wert** von durchschnittlich $6,7 \pm 0,9$ % waren die Diabetiker gut eingestellt.

Keiner der Diabetiker litt an **Spätkomplikationen** wie einer Retinopathie, Hypertonie, Nephropathie oder peripheren und autonomen Neuropathie.

2.2.2 Gesunde Sportler

Als Probanden stellten sich 12 männliche Sportler freiwillig zur Verfügung. Ebenso wie die Diabetiker übten die Gesunden Sportler ihre Sportarten seit mehreren Jahren aus. Durchschnittlich trainierten sie $6,8 \pm 2,0$ Stunden pro Woche.

Die Sportler waren im Durchschnitt $36,3 \pm 7,7$ Jahre alt mit einem durchschnittlichen **Gewicht** von $75,1 \pm 6,6$ kg. Die **prozentuale Fettmasse** betrug $15,2 \pm 2,6$ %

bei einem **BMI** von **23,3 ± 1,9** und einem **Wasseranteil** von **62,0 ± 2,0 %**. Im Mittel waren die Gesunden Sportler **180 ± 5 cm** groß.

Der **HbA1c-Wert** lag mit durchschnittlich **5,5 ± 0,4 %** im Bereich von gesunden Normalpersonen.

2.2.3 Anthropometrische Daten der Probanden

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen anthropometrischen Parameter der beiden Versuchsgruppen.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probanden.

	<u>Diabetiker</u>	<u>Gesunde Sportler</u>
Alter (J)	34,9 ± 9,6	36,3 ± 7,7
Größe (cm)	179 ± 9	180 ± 5
Gewicht (kg)	80,0 ± 11,0	75,1 ± 6,6
Fettanteil (%)	18,1 ± 3,9	15,2 ± 2,6
Wasseranteil (%)	60,2 ± 2,8	62,0 ± 2,0
BMI	24,8 ± 2,1	23,3 ± 1,9
HbA1c (%)	6,7 ± 0,9	5,5 ± 0,4
Trainingsstunden pro Woche (h)	7,3 ± 2,3	6,8 ± 2,0

2.2.4 Diätetische Daten

Während der 3 Untersuchungstage waren die **Sportler** angewiesen, sich ihren individuellen Gewohnheiten zu Hause entsprechend zu ernähren. Dabei sollten sie darauf achten, die **Nahrungsaufnahme** über den Tag zu verteilen und nicht unmittelbar vor den Belastungstests zu essen.

Die Sportler mussten während der 3 Tage ihres Aufenthaltes ein **Ernährungsprotokoll** führen, das anschließend von einer Diätassistentin ausgewertet wurde.

Im Durchschnitt nahmen die **Typ-I-Diabetiker** täglich **98,4 ± 21,3 g Eiweiß**, entsprechend **17 ± 1 %**; **91,0 ± 28,9 g Fett**, entsprechend **33 ± 4 %**; und **268,5 ± 58,8 g Kohlenhydrate**, entsprechend **46 ± 4 %** zu sich. Der **Kalorienverbrauch** belief sich auf durchschnittlich **2545 (± 458) kcal** täglich.

Bei den **Gesunden Sportlern** setzte sich die tägliche Nahrungsaufnahme im Mittel folgendermaßen zusammen: **93,6 ± 17,9 g Eiweiß**, entsprechend **14 ± 3 %**; **111,3 ± 35,5 g Fett**, entsprechend **35,8 ± 6,1 %** und **317,2 ± 65,7 g Kohlenhydrate**, entsprechend **48 ± 7 %**. Im Durchschnitt betrug der **Kalorienverbrauch** bei dieser Gruppe pro Tag **2713 ± 565 kcal**.

Tabelle 2: Diätetische Daten der Probanden; Auswertung der Ernährungsprotokolle.

	Sporttreibende Typ-I-Diabetiker		Kontrollgruppe: Gesunde Sportler	
	Gramm	%	Gramm	%
Eiweiß	98,4 ± 21,3	17 ± 1	93,6 ± 17,9	14 ± 3
Fett	91,0 ± 28,9	33 ± 4	111,3 ± 35,5	35,8 ± 6,1
Kohlenhydrate	268,5 ± 58,8	46 ± 4	317,2 ± 65,7	48 ± 7
kcal	2545 ± 458		2713 ± 565	

2.3. Untersuchungsbedingungen

2.3.1 Klinisch sportmedizinische Untersuchung

Bevor die **Probanden** ergometrisch nach dem **Vita maxima-Prinzip** getestet wurden, wurde bei jedem eine ausführliche **Gesundheits-, Sport-, Trainings- und Leistungsanamnese** erhoben. Des Weiteren wurde vor den Belastungstests eine gründliche **allgemeine körperliche (internistisch-orthopädische) Untersuchung** durchgeführt. Dabei wurde besonders auf **Sekundärerkrankungen** bei den Diabetikern geachtet. Die Diabetiker dieser Untersuchung waren klinisch gesund und hatten noch keine diabetischen Folgeerkrankungen. Die Therapieeinstellung dieser Gruppe war gut. Somit waren auch die sporttreibenden **Diabetiker voll belastungsfähig** für die fahradergometrische Austestung der individuellen Vita maxima nach der **0,5 Watt/kg KG-Methode** (Gießener Modell nach NOWACKI 1975, 1977, 1978).

Ebenso verhielt es sich bei den **Gesunden Sportlern**.

Zusammenfassend nach dem **klinischen Befund**, dem **Ergebnis** des **ergometrischen Stufentests** (maximale absolute und relative Wattstufe mit den Beurteilungskriterien nach dem Gießener Modell) und unter besonderer Berücksichtigung der **kardiozirkulatorischen Reaktionen** (Herzfrequenz, Blutdruck) und des Verlaufes des **Blutzuckers** in der **Leistungs- und Erholungsphase** erfolgte die **Beurteilung** der **Sporttauglichkeit** und des **Trainingszustandes**.

Die **spiroergometrisch** ermittelten **maximalen biologischen Leistungsdaten** sicherten außerdem die **weitere Klassifizierung** des **Trainingszustandes** der Sportler.

2.3.2 Allgemeine Übersicht zur apparativen leistungsdiagnostischen Untersuchungsmethodik

Alle Probanden wurden auf einem nach dem Körpermaß eingestellten **drehzahlunabhängigen Fahrradergometer** der Firma E. JAEGER Würzburg getestet.

An jedem Tag unmittelbar vor und nach der jeweiligen Untersuchung wurde eine **Spirometrie** durchgeführt. Die **dynamische Lungenfunktionsuntersuchung** erfolgte im "offenen System" mit dem JAEGER-Pneumatographen. Es wurden dabei die Messung der langsamen Atemmanöver (VC IN – inspiratorische Vitalkapazität) und der forcierten Atemmanöver (FVC – forcierte Vitalkapazität; FEV 1 – forciertes expiratorisches Volumen nach 1 Sek.; MEF 25, MEF 50, MEF 75 – maximaler expiratorischer Fluß bei 25, 50, 75 % der VC MAX oder FVC; PEF – maximaler expiratorischer Fluß; FEV 1 – forciertes inspiratorisches Volumen nach 1 Sek.) durchgeführt. Neben der **Beurteilung** der **inspiratorischen Vitalkapazität** wurde die Analyse der Spirometrie u.a. auch zur Beurteilung über das Vorliegen eventueller restriktiver oder obstruktiver Erkrankungen der Atmungsorgane vor Belastung herangezogen. Die Abb. 1 zeigt einen Probanden bei der Spirometrie.

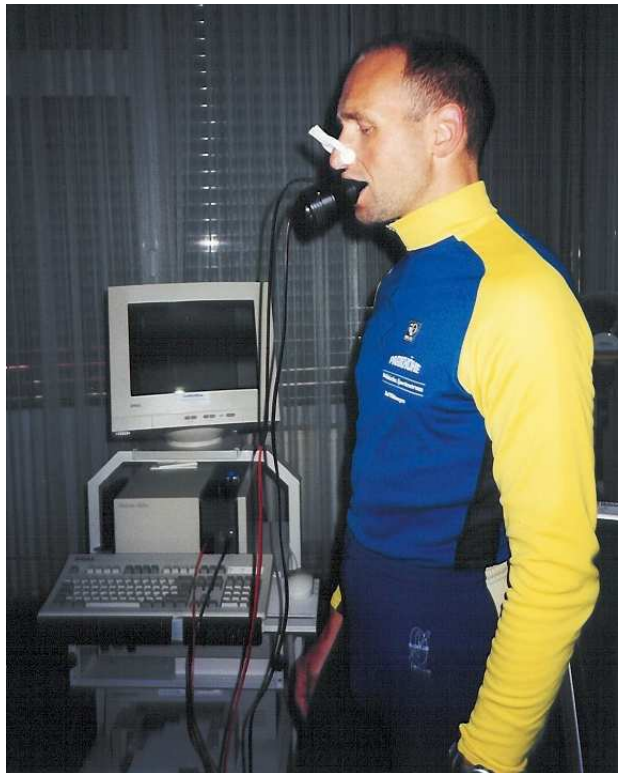


Abb. 1: Proband bei der Spirometrie im Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen.

Ebenfalls unmittelbar vor und nach jedem Belastungstest wurde das **Körpergewicht** mittels der sogenannten **Bioelektrischen Impedanzanalyse** (BIA, Fa. TANITA) analysiert. Dies diente neben der Ermittlung des Gewichtes auch der Einschätzung der Anteile der **Körperkomposition** (fettfreies Gewicht, Fettanteil, Wasseranteil, BMI).

Die Registrierung der **Herzstromkurve** des **Ergo-EKGs** erfolgte durch selbstklebende Elektroden (unipolare Brustwandableitung V1 bis V6 nach WILSON). Zur Kontrolle der Herzaktion wurde das EKG-Registriergerät "Ergoscript 2012 PC TM" der Firma JAEGER, Würzburg, verwendet. Während der gesamten Belastungsdauer der 3 Untersuchungen wurde das EKG **via Monitor** überwacht.

Die **kardiozirkulatorisch** zu bestimmenden Parameter (Herzfrequenz, $Hf \cdot \text{min}^{-1}$) und die **kardiorespiratorischen** Parameter (Atemminutenvolumen, $AMV \cdot \text{min}^{-1}$ BTPS; absolute Sauerstoffaufnahme, $VO_2 \cdot \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD; relative Sauerstoffaufnahme, $VO_2 \cdot \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD; Sauerstoffpuls, $O_2/Hf \text{ ml STPD}$; "Ventilations" Respiratorischer Quotient, VRQ) wurden mit dem **kompletten Messplatz** OXYCON-ALPHA der Fa. JAEGER, Würzburg kontinuierlich registriert und $\frac{1}{2}$ -minütlich analysiert.

Die Abb. 2 zeigt das Spiroergometriesystem OXYCON-ALPHA.



Abb. 2: Spiroergometriesystem OXYCON-ALPHA mit integriertem Lungenfunktionsmessplatz, EKG-Registriergerät "Ergoscript 2012 PCTM" und angeschlossener Datenverarbeitung und Drucker im Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen.

Die **Blutdruckmessungen** erfolgten mit einer dem Oberarmumfang angepassten Oberarmmanchette vor, während und nach den Belastungstests nach der Methode RIVA-ROCCI und KOROTKOW.

Zur Bestimmung der Konzentration der Hormone **Insulin, Glukagon, Cortisol, Wachstumshormon - STH, Adrenalin, Noradrenalin** wurde jeweils unmittelbar vor und 30 Minuten nach jedem Belastungstest sitzend und in entspannter Haltung **Blut** aus einer **Antecubitalvene** entnommen.

Die **Blutproben** wurden sofort gekühlt und nach Versuchsende (ca. 1 Std. nach der ersten Blutentnahme) mit einer Kühlzentrifuge mit einer Umdrehungszahl von 1800 U/Min. zentrifugiert und das Plasma/Serum je nach Testverfahren bei mindestens -20° tiefgefroren bzw. bei 4° C gekühlt.

Die **Blutentnahmen** zur **Laktat- und Blutzuckerbestimmung** erfolgten durch eine Punktion des mit Finalgon Forte-Salbe **hyperämisierten Ohrläppchens**, wo die erforderliche Blutmenge (BZ $20\ \mu\text{l}$, LA $10\ \mu\text{l}$) mit einer kalibrierten Einmalkanüle entnommen wurde. Die Messungen wurden zu definierten Zeitpunkten vor, während und nach den Belastungsuntersuchungen durchgeführt. An allen 3 Tagen der Belastungstests wurden die Sportler nach der körperlichen Untersuchung über die Art der Belastungssteigerung bzw. der Belastung und über die Funktionsweise des Fahrradergometers unterrichtet.

2.3.2.1 Erschöpfende Fahrradspiroergometrie im Sitzen - 0,5 Watt/kg Körpergewichts-Methode (Test T1)

Die Fahrradergometerarbeit im Sitzen beim **Test T1** wurde nach der **körpergewichtsbezogenen 0,5 Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI** (1981, 1983, 1985) durchgeführt. Dieser Stufentest diente zur Ermittlung der **individuellen Ausgangsdaten**. Nach einer Minute in Ruhe sitzend auf dem Fahrradergometer und einer einminütigen Referenzphase bei $0,25\ \text{Watt/kg KG}$ begannen die Probanden ihren Leistungstest mit einer Anfangsbelastung von $0,5\ \text{Watt/kg Körpergewicht}$. Die Belastung wurde danach alle 2 Minuten um $0,5\ \text{Watt/kg KG}$ bis zum Belastungsabbruch, das heißt bis zur individuellen Erschöpfung, erhöht.

Die Beendigung der Belastungsphase erfolgte entweder nach subjektiven Erschöpfungskriterien durch die Probanden selbst oder nach den von HOLLMANN 1963,

1965 und BRINGMANN 1980 empfohlenen Kriterien. Ebenso stellte eine drohende Hypo- bzw. Hyperglycämie ein Abbruchkriterium dar. Nur bei einem Probanden (Diabetiker) musste Test T2 in der 26. Minute wegen einer Hypoglykämie abgebrochen werden.

Der **Wert** des Verfahrens liegt in der **scharfen Trennung** zwischen dem **untrainierten** und **trainierten Bereich**, sowie einer praktisch bewährten **Differenzierung** des **Trainingszustandes**.

Unter der Voraussetzung der vollständigen Ausbelastung des kardiorespiratorischen Systems unterteilt das körperrgewichtbezogene Belastungsverfahren nach NOWACKI folgende Leistungsbereiche (Tab. 3):

Tab.3: Klassifizierung der Leistungsbereiche nach dem körperrgewichtbezogenen Belastungsverfahren nach NOWACKI.

Watt/ kg/KG	Belastungs- minute	Beurteilung
0,5	1	pathologisch
0,5	2	pathologisch
1	3	pathologisch/leistungsschwach
1	4	leistungsschwach/reduziert
1,5	5	reduziert/ausreichend
1,5	6	ausreichend/schon normal
2	7	normal untrainiert
2	8	normal untrainiert
2,5	9	befriedigend trainiert
2,5	10	befriedigend trainiert
3	11	gut trainiert
3	12	gut trainiert
3,5	13	sehr gut trainiert
3,5	14	sehr gut trainiert
4	15	Hochleistung
4	16	Hochleistung

An die **Leistungsphase** schloss sich eine **30-minütige Erholungsphase** an. Um orthostatische Dysregulationen zu vermeiden, erfolgte in den ersten 3 Minuten der Erholung ein Weitertreten bei $\frac{1}{4}$ Watt/kg KG und einer Umdrehungszahl von ca. 40 U/min. Die nachfolgenden 2 Minuten wurden in Ruhe sitzend auf dem Fahrradergometer verbracht und kontrolliert. Danach verbrachte der Proband noch 25 Minuten sitzend auf einem Stuhl zur Entnahme weiterer Kapillarblutproben und einer venösen Blutprobe 30 Minuten nach Belastung.

Zur Bestimmung der **Laktat-** und **Blutzuckerwerte** wurde das hyperämisierte Ohrläppchen mit einer sterilen Lanzette punktiert und die erforderliche Blutmenge entnommen.

Die **Blutentnahmen** zur **Laktatbestimmung** fanden zu folgenden **Zeitpunkten** statt: sitzend und in Ruhe vor Belastungsbeginn, ab der 4. Belastungsminute am Ende jeder Belastungsstufe, sofort nach Belastungsabbruch und in der 3. und 10. Erholungsminute.

Glukosemessungen zwecks **Kontrolle** der **Blutzuckersituation** fanden statt: im Sitzen und in Ruhe vor Belastungsbeginn, ab der 3. Belastungsminute in der Mitte jeder Belastungsstufe, bei Belastungsabbruch und in der 3., 10., 30., 60. und 120. Erholungsminute.

Die **Blutdruckmessungen** erfolgten in Ruhe, in der Mitte jeder Belastungsstufe, bei Belastungsabbruch und minütlich von der 1. bis zur 5. Erholungsminute.

2.3.2.2 30-minütige Steady-State-Belastung - Fahrradspiroergometrie im Sitzen (Test T2)

Am **zweiten Tag** der Untersuchungsreihe folgte für die Probanden ein **Dauerbelastungstest** im **Steady-State-Bereich**. Nach einer einminütigen Ruhephase im Sitzen auf dem Fahrradergometer und einer zweiminütigen Referenzphase bei 0,25 Watt/kg KG wurden die Sportler 30 Minuten bei einer **Belastung** entsprechend **50 % der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme** (auf der Grundlage der erhobenen Daten der erschöpfenden Stufenbelastung von Test T1) getestet.

Der **Belastungstest T2** wurde auf demselben Messplatz mit Ermittlung derselben Parameter wie in Test T1 durchgeführt.

Kapillarblutentnahmen zur Bestimmung der **Blutlaktat-** und **Blutzuckerwerte** erfolgten in Ruhe, während der Belastung alle 5 Minuten und in der 3. und 10. Erholungsminute. Blutzuckermessungen wurden darüber hinaus noch in der 30., 60. und 120. Erholungsminute durchgeführt.

Der **Blutdruck** wurde in Ruhe und anschließend 5-minütlich bis zum Belastungsende und dann sofort nach Beendigung der Belastung gemessen.

2.3.2.3 Intervalltest – Fahrradspiroergometrie im Sitzen (Test T3)

Auch dieser Untersuchungsabschnitt vom **Test T3** am **3. Tag** fand auf demselben Messplatz mit Bestimmung derselben Parameter wie bei den Tests T1 und T2 statt. Hierbei unterzogen sich die Sportler einer **Intervallbelastung** im **maximalen Belastungsbereich**. Nach einer Minute in Ruhe im Sitzen auf dem Fahrradergometer erfolgte eine **5-minütige** Aufwärmphase bei einer Belastung entsprechend **35 % der individuellen VO₂max**. Danach schlossen sich **3 Belastungsintervalle** von jeweils **1 Minute Dauer** mit einer Intensität entsprechend **110 % der VO₂max** an (ermittelt aus den Ausgangsdaten vom Test T1). Der **Abstand** zwischen den **Intervallbelastungen** betrug **2 Minuten** und wurde als **aktive Pause** mit einer Belastung wie in der Aufwärmphase durchgeführt.

Blutlaktat- und **Blutzuckermessungen** wurden in Ruhe, nach der 5-minütigen Aufwärmphase, nach den 1-minütigen Intervallbelastungen, nach den 2-minütigen aktiven Pausen und in der 3. und 10. Erholungsminute durchgeführt. Wie bei den Tests T1 und T2 wurde der Blutzucker zudem noch in der 30., 60. und 120. Erholungsminute gemessen.

Blutdruckmessungen erfolgten in Ruhe, nach der Aufwärmphase, unmittelbar nach den Intervallbelastungen, am Ende der aktiven Pausen, nach Belastungsende und minütlich in den ersten 5 Erholungsminuten.

2.3.3 Messgrößen und Messmethoden

2.3.3.1 Körperliche Leistungsfähigkeit

2.3.3.1.1 Gesamtarbeit in Wattminuten

Als Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit errechnet sich die absolute Gesamtarbeit in Wattminuten durch die Addition der Belastungsstufen in der Belastungszeit nach folgender Formel:

$$W_{\text{ges}} = \sum (L_x \cdot t_x)$$

W_{ges} = Gesamtarbeit

L_x = Leistung auf Belastungsstufe x in Watt

t_x = Dauer der Belastungsstufe in Minuten

2.3.3.1.2 Maximale absolute und relative Wattstufen

Die in der letzten Belastungsstufe erreichte **maximale Leistung** des Probanden wird in Watt gemessen und als **absolute maximale Wattstufe** angegeben. Die Division der maximalen absoluten Wattstufe durch das Körpergewicht des Sportlers ergibt die **maximale relative Wattstufe** (relative W/kg KG).

2.3.3.2 Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit

2.3.3.2.1 Herzschlagfrequenz

Während der Fahrradspiroergometrie wurde die **Herzfrequenz** mit dem in das System Oxycon-Alpha integrierten Acht-Kanal-Elektrokardiographen "Ergoscript 2012 CTM" der Firma E. JAEGER, Würzburg, **fortlaufend registriert** und via Monitor angezeigt.

2.3.3.2 Blutdruck

Die unblutige **systolische** und **diastolische Blutdruckmessung** gemäß RIVA/ROCCI erfolgten durch die Auskultationsmethode nach KOROTKOW. Der arterielle Druck wurde an der Arteria brachialis am linken Oberarm gemessen. Dabei nahm der Proband die linke Hand vom "Lenker" und der linke Arm wurde durch den Arzt bzw. die Assistentin "abgestützt".

2.3.3.3 Respiratorische Leistungsfähigkeit

2.3.3.3.1 Vitalkapazität und andere Lungenfunktionsparameter

Bei allen Probanden wurden im Rahmen der klinischen Eingangsuntersuchungen vor jedem Belastungstest die **Vitalkapazität** und die in Kapitel 2.3.2 aufgeführten Lungenfunktionsparameter ermittelt. Die Probanden wurden dabei aufgefordert, über ein am Pneumotachographen angebrachtes Mundstück (mit aufgesetzter Nasenklemme), das auf einen TripleV-Volumensensor aufgesetzt wurde, zu atmen (Abb. 3). Dabei sollte zunächst eine ganz normale Ruheatmung durchgeführt werden. Danach sollten die Sportler aus der Normalatmung heraus langsam maximal ausatmen, langsam maximal einatmen, so fest und so weit wie möglich ausatmen und maximal einatmen. Vor Beginn der Messungen wurde der Fluss-Volumen-Sensor mit einer Eichpumpe mit einem Volumen von 2 Litern geeicht.

Auf der Abb. 3 sind die Zusammensetzung des TripleV-Sensors und der Anschluss des TripleV-Sensors an das Mundstück bzw. die Gesichtsmaske zu sehen.

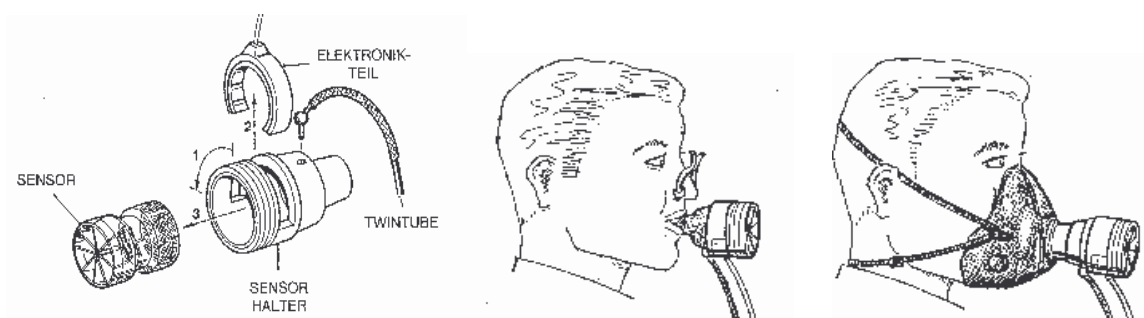


Abb. 3: Zusammensetzung des TripleV-Sensors und Anschluss der Probanden an den TripleV-Sensor.

2.3.3.3.2 Atemminutenvolumen

Aus dem **Produkt** von **Atemfrequenz** ($AF \cdot \text{min}^{-1}$) und **Atemzugvolumen** (AZV ml BTPS) errechnet sich das **Atemminutenvolumen** (AMV l BTPS).

Das Atemminutenvolumen wurde nach einer Volumeneichung pneumotachographisch nach E. JAEGER (Würzburg) registriert und über einen angeschlossenen Computer berechnet. Die Angabe des Atemminutenvolumens erfolgt unter **BTPS-Bedingungen** (**Body Temperature** = 37 ° C, **Pressure** = 760 mm HG, **Saturated** = wassergesättigt).

Die Messung der **Gaskonzentration** für **Kohlendioxid** (CO_2 Vol. %) erfolgt fortlaufend auf dem **Prinzip** der **Infrarot-Absorption**. Die Messung der Gaskonzentration für **Sauerstoff** (O_2 Vol. %) basiert auf dem **differential-paramagnetischen** Prinzip.

Jede Messung beginnt mit einer Nullpunkteichung, danach kann die Messung gestartet werden. Alle 5 ms werden beide Gaswerte aufgezeichnet und alle 40 ms werden diese an den PC weitergegeben und so die O_2 - und CO_2 -Werte berechnet.

2.3.3.4 Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit

2.3.3.4.1 Absolute Sauerstoffaufnahme

Der Wert für die jeweilige **Sauerstoffaufnahme** in $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD wird aus dem **Produkt** des **Atemminutenvolumens STPD** (AMV l BTPS – multipliziert mit dem Reduktionsfaktor für STPD-Bedingungen) und der **Sauerstoffdifferenz** zwischen der **In-** und **Expirationsluft** in Volumenprozent berechnet:

$$VO_2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{AMV l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD} \cdot \text{Vol. \% O}_2$$

Errechnet wurden die Werte in Ruhe und in ½-minütlichen Abständen während der Belastung und Erholung. Im Normalfall wird der Maximalwert der Sauerstoffaufnahme in der letzten Leistungsminute erreicht. In ca. 5 % der erschöpfenden Spiroergometrien bei Leistungssportlern wird dies auch schon in der vorletzten Minute

beobachtet. Dies wird als "**Levelling-Off-Phänomen**" bezeichnet (NOWACKI 1977; SCHÖLL 1995).

2.3.3.4.2 Relative Sauerstoffaufnahme

Die **relative Sauerstoffaufnahme** in $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD errechnet sich aus dem **Quotienten** zwischen der **absoluten Sauerstoffaufnahme** (ml STPD) und dem **Körpergewicht** (kg) des Probanden:

$$\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \frac{\text{Absolute Sauerstoffaufnahme ml STPD}}{\text{Körpergewicht kg}}$$

2.3.3.4.3 Sauerstoffpuls

Unter dem **Sauerstoffpuls** versteht man die Menge Sauerstoff (ml), die in der **Zeit einer ganzen Herzaktion** (Systole + Diastole) aufgenommen wird. Er wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Sauerstoffpuls ml STPD} = \frac{\text{Sauerstoffaufnahme ml min STPD}}{\text{Herzfrequenz in dieser Minute}}$$

2.3.3.4.4 Ventilations-Respiratorischer Quotient (VRQ)

Bei dieser Untersuchung entspricht der **Respiratorische Quotient** (RQ) dem **Ventilations-RQ** und berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Ventilations-RQ} = \frac{\text{Kohlendioxid-Ausscheidung ml min STPD}}{\text{Sauerstoffaufnahme ml min STPD}}$$

2.3.3.5 Metabolische Parameter - Untersuchungsmethodik

2.3.3.5.1 Vorbereitende Behandlung der Blutproben

Die **Blutproben** zur **Bestimmung** der **Hormone Insulin, Glukagon, Cortisol, Wachstumshormon - STH, Adrenalin** und **Noradrenalin** wurden je nach Testverfahren (Tab. 4 u. 5) in vorgekühlte EDTA-beschichtete- oder Serum-Röhrchen abgenommen. Innerhalb der nächsten 10 Minuten nach der Abnahme wurden die Blutproben weiter verarbeitet. Hierbei wurden sie im Labor 15 Minuten bei 4° C und 1800 U/Min zentrifugiert und das so gewonnene Plasma/Serum wurde dann bei mindestens -20° C tiefgefroren bzw. bei 4° C gekühlt. Jeweils montags nach dem Untersuchungswochenende wurden die Blutproben in entsprechenden Kühl/Gefrierbehältern zum zuständigen Labor (Labor SCHOTTDORF, Augsburg) transportiert, wo sie analysiert wurden. Bei allen Untersuchungen lagen konstante Abnahmebedingungen vor. Alle Plastik- und Glasgefäße, die in Kontakt mit den Blutproben kamen, waren frei von Kontaminationen.

Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die **Weiterverarbeitung** der **Blutproben**.

Tab. 4: Vorbereitende Behandlung der Blutproben.

HORMON	EDTA-Plasma	Serum	gekühlt	gefroren
<i>INSULIN</i>		X		X
<i>STH</i>		X	X	
<i>CORTISOL</i>		X	X	
<i>GLUKAGON</i>	X		X	
<i>ADRENALIN</i>	X			X
<i>NORADRENALIN</i>	X			X

2.3.3.5.1.1 Glukose

Um die **glukoregulatorischen Reaktionen** vor, während und nach der Belastungsuntersuchung und eventuell daraus entstehende Gefahren für die Typ-I-Diabetiker objektiv beurteilen zu können, wurden zu **definierten Zeitpunkten Blutzuckermessungen** durchgeführt und dokumentiert.

Die Blutproben wurden mit dem **Blutzuckermessgerät** "ONE-TOUCH profile" (Fa. Lifescan, Neckargemünd) analysiert.

2.3.3.5.1.2 Hormone Insulin ($\mu\text{U/ml}$), Glukagon (pg/ml), Cortisol (ng/ml), Wachstumshormon STH ($\mu\text{g/l}$), Adrenalin (pg/ml), Noradrenalin (pg/ml)

Die **Hormone Insulin, Glukagon** und **STH** wurden mit **Radioimmunoassays** (RIA) bestimmt. Diese Immunoassays arbeiten nach dem Testprinzip der Doppel-Antikörpertechnik.

Das **Hormon Cortisol** wurde mit einem **Festphasen-Chemilumineszenz-Immunoassay** analysiert.

Zur Bestimmung der Konzentration der **Katecholamine Adrenalin** und **Noradrenalin** wurde ein **kompetitiver Radioimmunoassay** verwandt. Dabei ist die Derivatisierung ein Teil der zur Bestimmung notwendigen Probenverdünnung.

2.3.3.5.1.3 Laktat (mmol/l)

Die **Laktatkonzentration** wird über ein **photometrisches Auswertungsverfahren** bestimmt (LP 20, Dr. LANGE, Berlin). Dabei wird Laktat in Gegenwart der Lactatoxidase zu Pyruvat oxidiert. Das hierbei entstehende H_2O_2 reagiert unter dem Einfluss der Peroxidase mit 4-Aminopenazon und 4-Chlorphenol zu einem Chinoniminfarbstoff, der bei 520 nm gemessen wird. Das Blut wird durch das Reagenz vollständig hämolysiert. Eine Enteiweißung ist nicht erforderlich. Die Formeln zur Berechnung der Laktatkonzentration sind im Photometer programmiert. Bei der Messung im Blut wird das Erythrocytenvolumen in die Ergebnisberechnung einbezogen.

In der Tab. 5 sind die Testverfahren, die verwendeten Tests und die Normwertbereiche der in der vorliegenden experimentellen Dissertation untersuchten metabolischen Parameter zusammengefasst

Tab. 5: Testverfahren, verwendete Tests und Normwertbereiche der metabolischen Untersuchungsparameter

PARAMETER	TESTVERFAHREN	TEST	NORMWERTE
GLUKOSE	Trockenreagenz-Technik	One-Touch-Profile Fa. Lifescan, Johnson & Johnson Milpitas, Kalifornien	nüchtern: 60 – 130 mg/dl
INSULIN	Doppelantikörper-Technik	Pharmacia Insulin RIA 100 Upjohn Diagnostics AB, Uppsala, Schweden	4 – 24 µU/ml Varianz: 5,8 – 6,5 %
GLUKAGON	Doppelantikörper-Technik	DPC Double Antibody Glucagonkit, Diagnostic Products Corporation, Los Angeles	40 – 130 pg/ml Varianz: 4,1 – 5,6 %
STH	Doppelantikörper-Technik	Pharmacia hGH RIA, Upjohn Diagnostics AB, Uppsala, Schweden	bis 4,0 mg/l (Ruhe) bis 5,3 mg/l (Stress) Varianz: 4,7 – 5,6 %
CORTISOL	Festphasen-Chemilumineszenz-Immunoassay	Cortisol-Imulite, DPC Biermann, Bad Nauheim	50 – 250 ng/ml Varianz: 6,8 – 9,0 %
Katecholamine: ADRENALIN NORADRENALIN	kompetitiver Radioimmunoassay	Tri Cat TM Komplettkit, Firma IBL, Hamburg	<u>Adrenalin:</u> bis 100 pg/ml Varianz: 4,6 – 5,8 % <u>Noradrenalin:</u> bis 600 pg/ml Varianz: 4,7 – 7,7 %
LAKTAT	Photometrie Lox-Pap-Methode	Küvetten-Test LP 20, Dr. Lange, Berlin	1,0 – 1,8 mmol/l Varianz: < 2,5 %

Auf der Abbildung 4 ist ein Diabetiker bei der Blutentnahme zur Laktatbestimmung zu sehen.

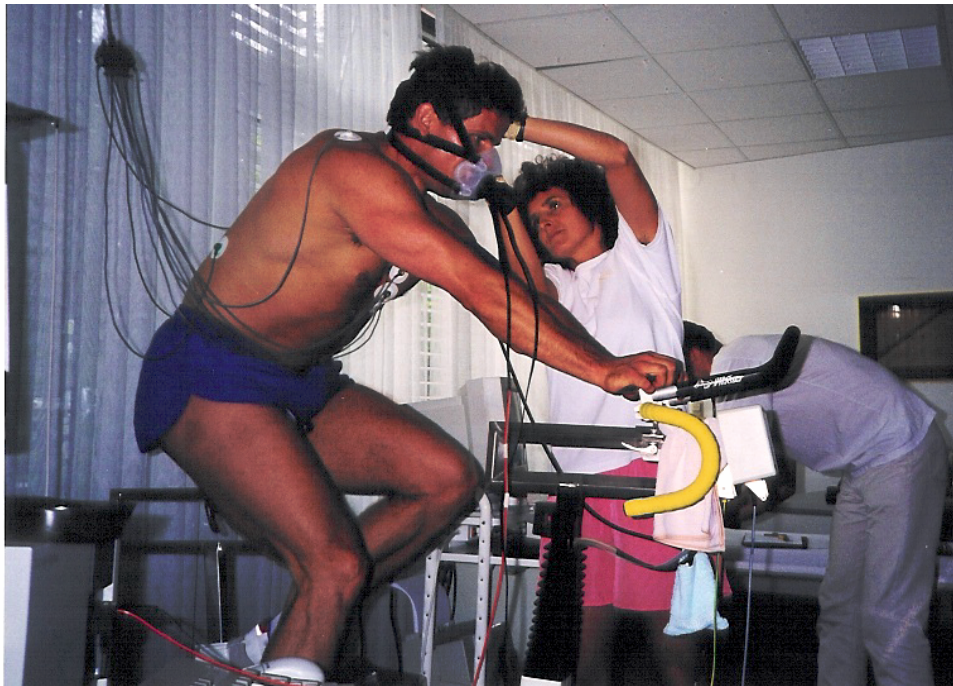


Abb. 4: Diabetiker bei der Blutentnahme zur Laktatbestimmung

2.4 Statistische Methoden

Die Daten der Untersuchung wurden mit dem **Mikrosoft-Kalkulationsprogramm EXCEL 97** erfasst und mit Hilfe von SPSS für Windows (Version 6.1.3.) statistisch ausgewertet (am Institut für Medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität Gießen, Leiter Prof. Dr. J.DUDECK). Für die statistische Bearbeitung und Auswertung der Daten sei dem Wiss. Ass. W. Pabst besonders gedankt.

Für die Daten kann eine allgemeine **Normalverteilung** vorausgesetzt werden (Ausnahme: Adrenalin, STH). Die **Einzelwerte** aller **biochemischen** und **leistungsdiagnostischen Parameter** von allen untersuchten Probanden wurden mit Hilfe der Mittelwerte $\{\bar{x}\}$ und der Standardabweichungen des Mittelwertes $\{S_{MW}\}$ dargestellt.

$$M = \frac{\sum x_i}{n}$$

M = Mittelwert
x_i = Einzelwerte (x₁, x₂, x₃...x_n)
n = Anzahl der Probanden

$$S_{MW} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

S_{MW} = Standardabw. des Mittelwerts

Vergleiche zwischen den **Gruppen** der **Gesunden** und **Diabetikern** bezüglich der erhobenen Parameter (z.B. Alter, Gewicht, BMI, Größe, HbA1c, Trainingsstunden, Vitalkapazität, maximal erreichte Wattstufe, Watt/kg/KG, Wattminuten) wurden mit Hilfe des **t-Test** für **unabhängige Stichproben** durchgeführt.

Unterschiede im Verlauf der unter **Belastung** gemessenen **Parameter** wurden mit Hilfe der **2-fachen Varianzanalyse** beurteilt. **Kriterien** für die Annahme oder Ablehnung der jeweiligen **Nullhypothese** ist die berechnete Wahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art "p", die im Ergebnisteil jeweils angegeben wird.

Die Signifikanzniveaubestimmung unterliegt folgenden Irrtumswahrscheinlichkeiten:

p < 0,05 % einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 %

p < 0,01 % einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1 %

p < 0,001 % einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,1 %

Die Tab. 6 zeigt die Unterteilung der Signifikanzniveaus nach BÜHL u. ZÖFEL (1997).

Tab. 6: Unterteilung der Signifikanz nach BÜHL, ZÖFEL (1997).

IRRTUMSWAHRSCHEINLICHKEIT	BEDEUTUNG	SYMBOLISIERUNG
p > 0,05	nicht signifikant	ns
p < 0,05	signifikant	*
p < 0,01	sehr signifikant	**
p < 0,001	höchst signifikant	***

2.5 Kritik der Methodik

Die **Spiroergometrie** ist eine **sichere, experimentelle Methode**, die **körperliche und kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit** eines **Menschen** zu **messen**. Die **Fahrradspiroergometrie** nach der $\frac{1}{2}$ **Watt/kg KG-Methode** nach **NOWACKI** stellt ein **bewährtes Verfahren** zur **Leistungsdiagnostik** dar und ist **sehr gut** dafür **geeignet**, die **körperliche Leistungsfähigkeit** von **Sportlern unterschiedlicher Sportarten** miteinander zu **vergleichen** und den **individuellen Trainingszustand** zu **definieren**.

Die durchgeführten Belastungstests **entsprechen** den **Forderungen** nach **Objektivität, Validität** und **Reproduzierbarkeit** (MELLEROWICZ 1979, ZHAO 1995).

Bei den Untersuchungen wurde darauf geachtet, die **Untersuchungsbedingungen** weitgehend **konstant** zu halten:

Da die Belastungsuntersuchungen in einem Zeitraum von 7 Monaten stattfanden, war es möglich, dass das **Untersuchungspersonal nicht gewechselt** werden musste. Die **Blutabnahmen** und die **Blutdruckmessungen** wurden immer von **denselben Untersuchern** bei den Probanden durchgeführt.

Der **komplette Messplatz** zur **kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik** der Fa. E. Jäger/Würzburg wurde **regelmäßig gewartet** und **funktionsfähig gehalten**. Die **Messgenauigkeit** wurde durch die **regelmäßige Eichung** der **pneumotachographisch registrierenden Atemapparatur** und der **Gasanalysegeräte** gewährleistet. Außerdem wurde auf einen **optimalen Sitz** der **Atemmaske** und der **EKG-Elektroden** geachtet. **Sattelhöhe, Lenkerhöhe** und **Pedalart** wurden **individuell angepasst**.

Alle Probanden führten ihre **3 Belastungstests** an den **3 Tagen zum jeweils gleichen Zeitpunkt durch**. Die **Mahlzeiten** wurden zu **regelmäßig festgelegten Zeitpunkten** eingenommen.

Die **Angaben** der Sportler zu ihrer **Sportanamnese** lassen sich schlecht überprüfen, **stimmen** aber **sehr gut** mit der **erreichten Leistung überein**.

Durch eine entsprechend lange **Vorstartphase** vor den Belastungstests wurde versucht, der **psychischen Belastung** der Probanden **Rechnung zu tragen**, um den Testablauf bei möglichst normalen kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Ausgangswerten zu starten. Die vor allem in dem Test T1

trotzdem noch leicht erhöhten Ausgangswerte sind auf die für die Probanden **ungewohnte Testsituation** zurückzuführen. Mit **Beginn der Belastung** passen sich jedoch die **kardiorespiratorischen Reaktionen** sehr **rasch** den **Erfordernissen** der **physikalischen Leistung an** (MELLEROWICZ 1962; NOWACKI 1977).

Die **Probanden**, vor allem die Diabetiker waren **hoch motiviert** bei der Durchführung der Belastungsuntersuchungen. Die Registrierung der biologischen Ausbelastungsgrößen zeigte, dass alle Probanden bis zur **individuellen Leistungsgrenze** belastet worden sind.

In Bezug auf die Bestimmung der **Hormonwerte** wäre es wünschenswert gewesen, neben dem Ruhewert und dem Erholungswert nach 30 Minuten einen **Wert direkt nach der Belastung** zu bestimmen. Dazu wäre jedoch eine **Verweilkanüle** notwendig gewesen. In Absprache mit der Ethikkommission wurde dies nicht gewünscht, da die **Risiken** einer **Infektionsgefahr**, von **Verletzungen** oder **Blutungen** besonders bei den Diabetikern zu groß gewesen wären.

3. ERGEBNISSE

3.1 Anthropometrische Parameter

Alter, Größe, Gewicht, BMI, HbA_{1c}, Trainingsstunden

Die beiden Gruppen der untersuchten Sportler - **Diabetiker Typ I** vs. **Gesunde Sportler** - waren hinsichtlich des **mittleren Alters** und der **mittleren Größe** sehr **homogen**, was der Abb. 5 zu entnehmen ist.

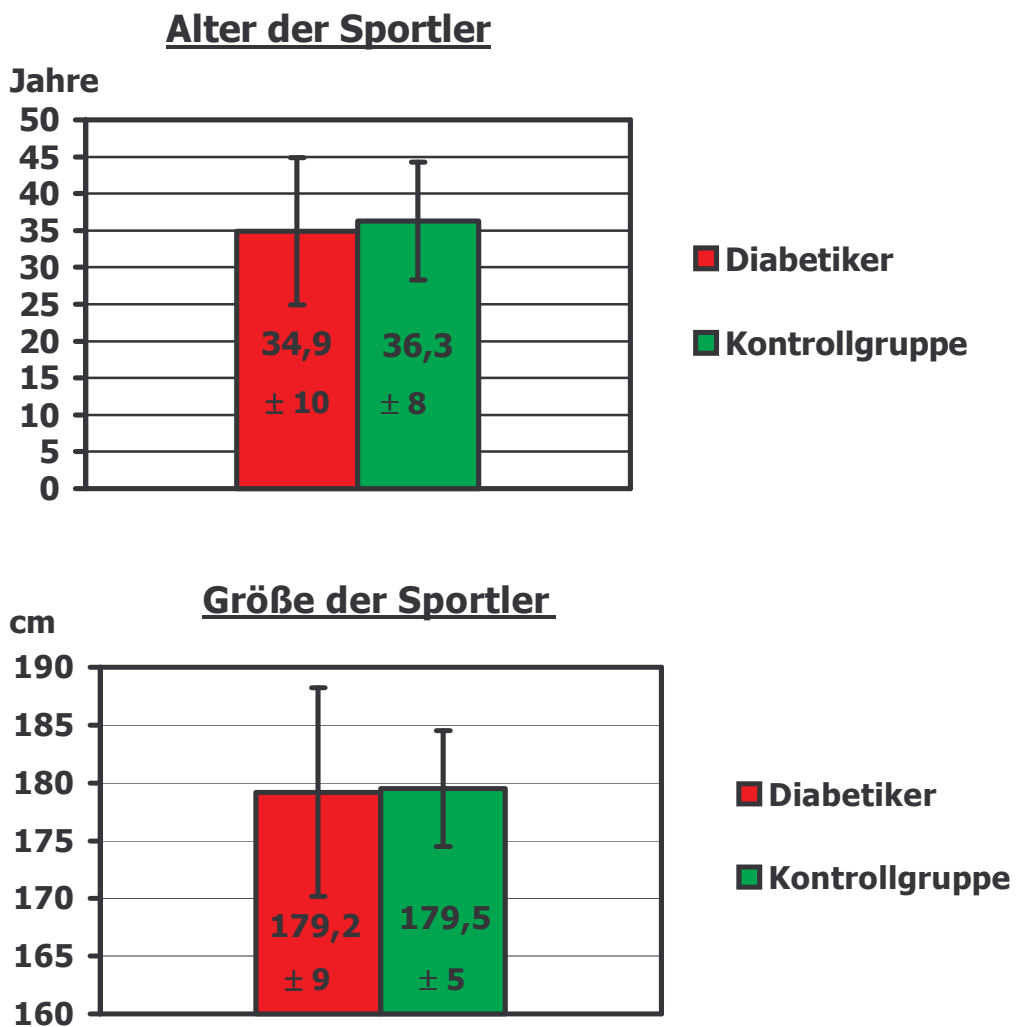


Abb.5 : Durchschnittliches Alter und mittlere Größe (M ± 1s) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.

Das durchschnittliche **Gewicht** und den durchschnittlichen **BMI** beider Gruppen zeigt die Abb. 6. Bedingt durch das um ca. 5 Kilogramm schwerere Gewicht der **Diabetiker** (80 ± 11 kg) im Vergleich zu den **Gesunden Sportlern** ($75,1 \pm 6,6$ kg) lagen die **Diabetiker** ($24,8 \pm 2,1$ kg) mit dem **mittleren BMI** um 1,5 höher als die **Gesunden Sportler** ($23,3 \pm 1,9$ kg).

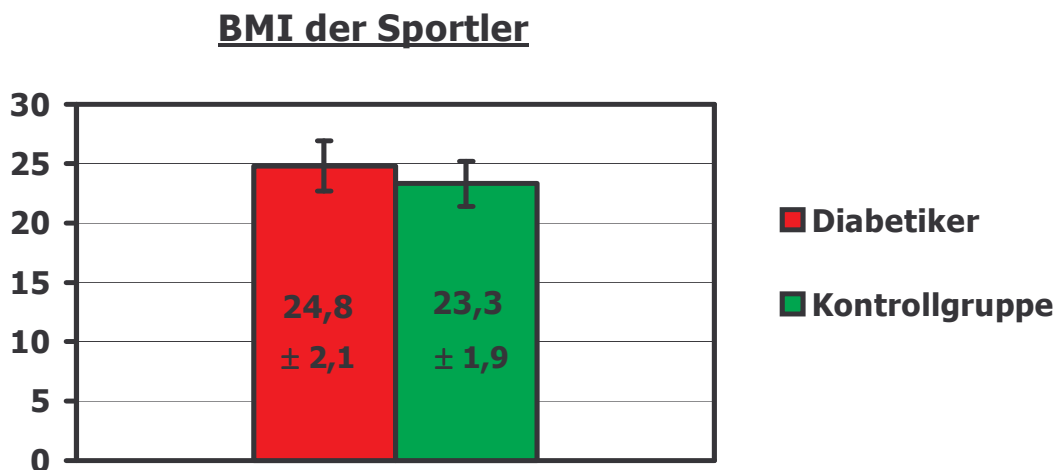
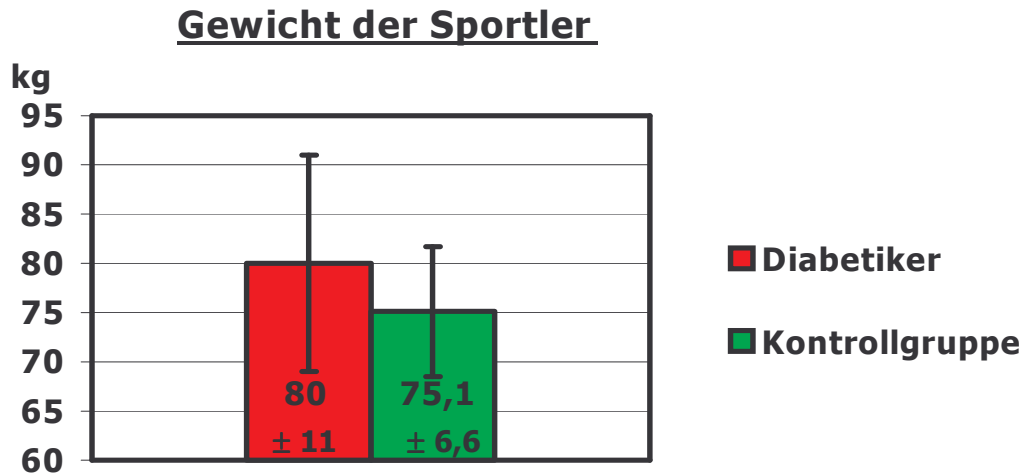


Abb. 6: Mittleres Gewicht und mittlerer BMI ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.

Mit einem durchschnittlichen **HbA_{1c}-Wert** von **6,7 ± 0,9 %** liegen die **Diabetiker** sehr deutlich ($p < 0,001$) über dem mittleren Wert der **Gesunden Sportler** von **5,5 ± 0,4 %**.

In der Abb. 7 sind die entsprechenden Werte dargestellt.

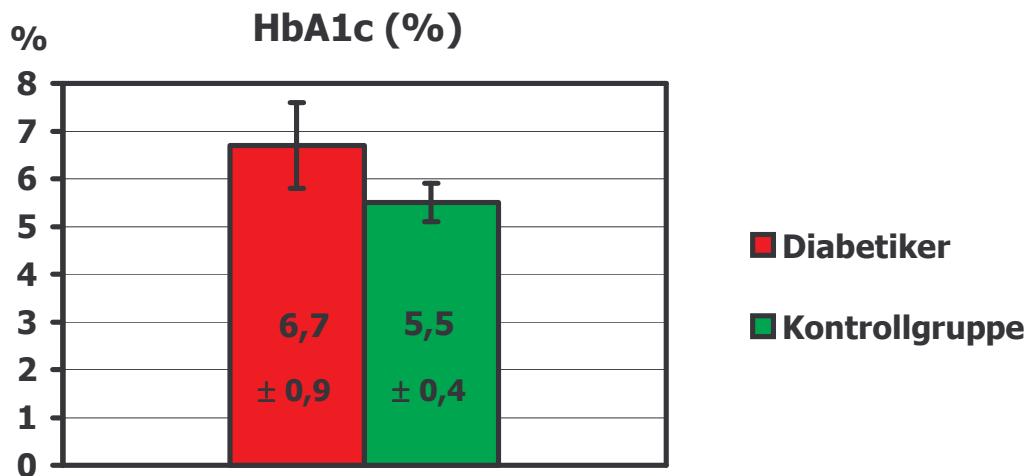


Abb. 7: Durchschnittliche HbA_{1c}-Werte (M ± 1s) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.

Der mittlere **Trainingsaufwand** der beiden Untersuchungsgruppen ist mit **7,3 ± 2,3 Stunden** pro Woche bei den **Diabetikern** und mit **6,8 ± 2 Stunden** pro Woche bei den **Gesunden Sportlern** relativ gleich (Abb. 8).

Trainingsstunden pro Woche

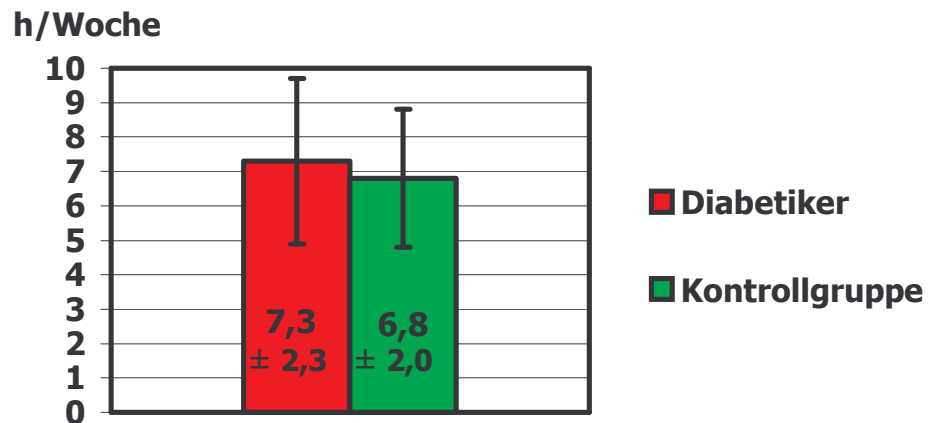


Abb. 8: Durchschnittlicher Trainingsaufwand in Stunden/Woche ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.

3.2 Körperliche Leistungsfähigkeit

Die **körperliche Leistungsfähigkeit** der Typ-I-Diabetiker und der Gesunden Sportler wurde einheitlich nach der **Gießener $\frac{1}{2}$ W/kg KG-Methode** durch eine **erschöpfende Fahrradspiroergometrie im Sitzen** ermittelt.

3.2.1 Gesamtarbeit in Wattminuten

Die während des erschöpfenden Leistungstests im Sitzen ($\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI) erreichte **Gesamtarbeit in Wattminuten** ist in der Abb. 9 dargestellt.

Gesamtarbeit in Wattminuten

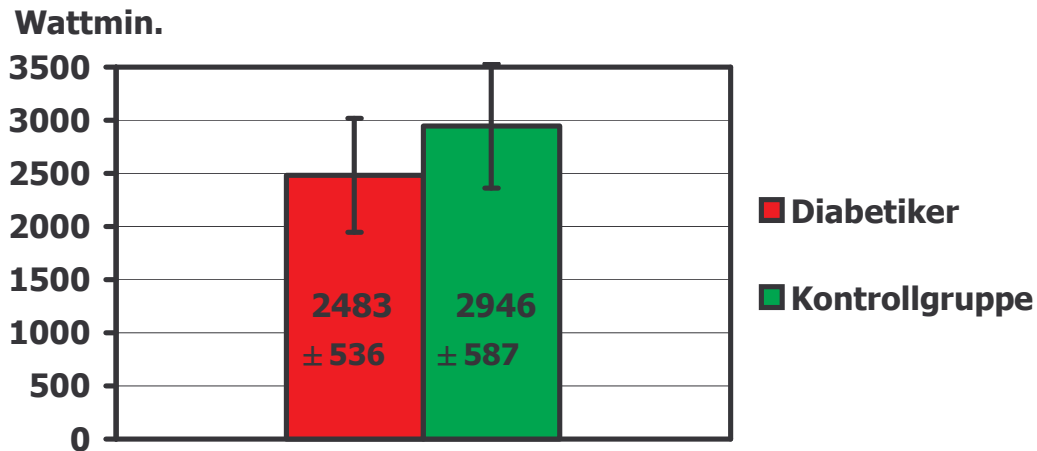


Abb. 9: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) für die Gesamtarbeit in Wattminuten der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler. Die Gesamtarbeit wurde auf der Grundlage einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode berechnet.

Zwischen den beiden Gruppen kann bezüglich der Gesamtarbeit in **Wattminuten** ein erheblicher Unterschied festgestellt werden. Die Gruppe der **Diabetiker** erreicht durchschnittlich **2483 ± 536** Wattminuten und liegt damit deutlich unter den Werten der **Gesunden Sportler**, die im Mittel **2946 ± 587 Wattminuten** erreichen.

Bei den graphischen Darstellungen vom **Test T1** sind bis zur **Minute 13:30 alle 13 Diabetiker** und bis zur **Minute 17:00 alle Gesunden Sportler** erfasst. Ab dieser Belastungszeit fingen einzelne Probanden dieser Gruppen an, die eingestellte hohe Wattstufe abzurechnen (Tab. 7).

Tab. 7: Anzahl der aktiven Probanden in dem zeitlichen Verlauf vom Test T1.

<i>Test T1:</i> <i>zeitlicher Verlauf (Min)</i>	aktive Probanden: Diabetiker <hr/> (n)	aktive Probanden: Gesunde Sportler <hr/> (n)
0 – 13:30	13	
13:31 – 15:00	12	
15:01 – 15:30	11	
15:31 – 16:00	9	
16:01 – 16:30	8	
16:31 – 17:00	6	12
17:01 – 18:00	4	9
18:01 – 18:30		8
18:31 – 19:00		5

3.2.2 Maximale absolute Wattstufe

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Kurve der **maximalen absoluten Wattstufe** der **Diabetiker** Typ I vs. **Gesunde Sportler** sind in der Abb. 10 dargestellt.

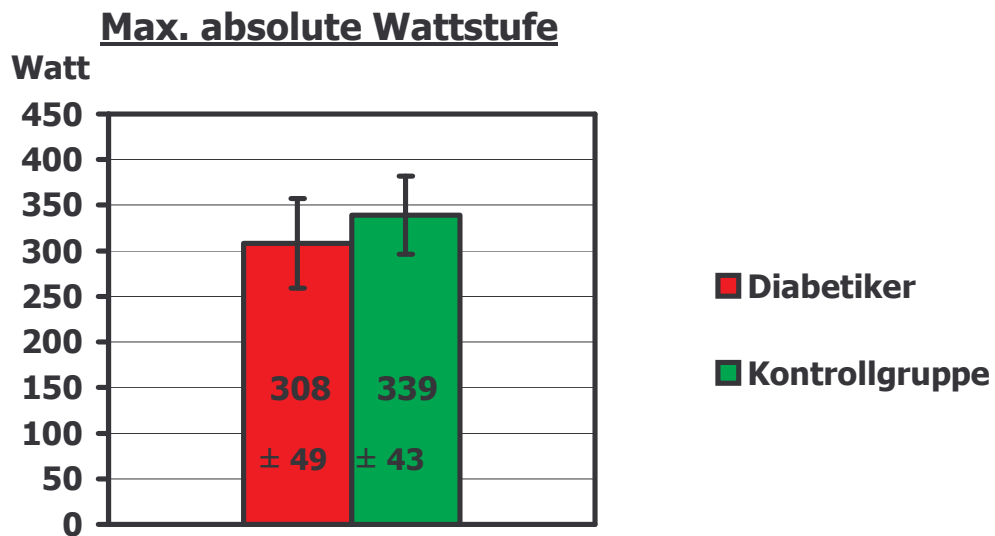


Abb. 10: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der $\frac{1}{2}$ Watt/kg/KG-Methode (nach NOWACKI).

Die mittleren Werte der **maximalen absoluten** Wattstufe beider Untersuchungsgruppen unterscheiden sich nicht erheblich. Mit **308 ± 49 Watt** liegen die **Diabetiker** etwas niedriger in ihrer erreichten maximalen Wattleistung als die **Gesunden Sportler**, die maximal im Mittel **339 ± 43 Watt** erreichen.

3.2.3 Maximale relative Wattstufe

Einen signifikanten Unterschied ($p = 0,001$) zwischen beiden Untersuchungsgruppen fanden wir in der **relativen maximalen Wattstufe**, deren Mittelwerte und Standardabweichungen in der Abb. 11 dargestellt sind.

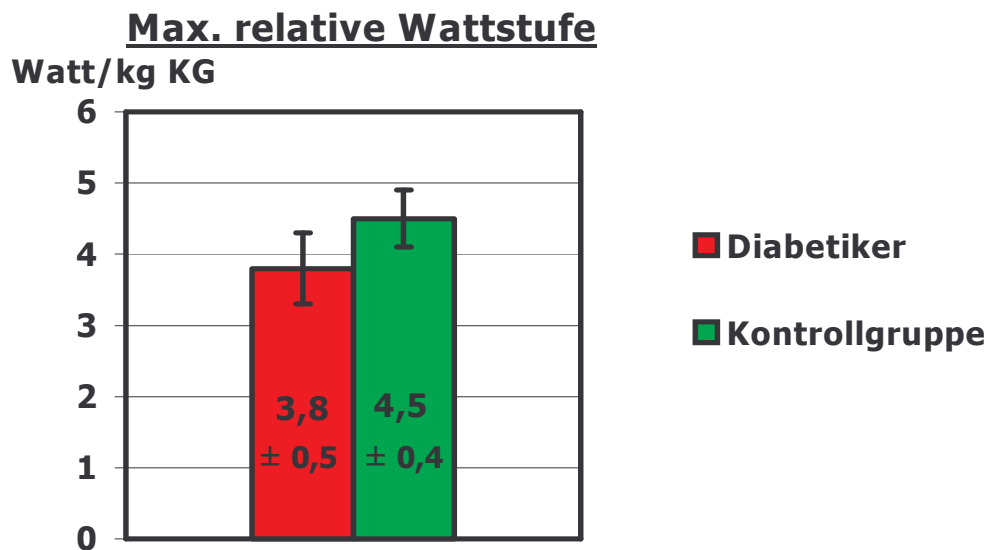


Abb. 11: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) der maximalen relativen Wattstufe (Watt/kg) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler. Die maximale relative Wattstufe wurde bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode erreicht.

Mit einer durchschnittlichen relativen Wattstufe von **$3,8 \pm 0,5$ Watt/kg KG** liegen die **Diabetiker** im sehr gut trainierten Bereich, während die **Gesunden Sportler** mit **$4,5 \pm 0,4$ Watt/kg KG** im Hochleistungsbereich liegen. Der **Unterschied** von **$0,7$ Watt/kg KG** zwischen beiden Gruppen ist mit $p < 0,001$ sehr signifikant.

3.2.4 Belastungszeiten

Die von den Sportlern beider Gruppen während der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie erreichten durchschnittlichen **Belastungszeiten** mit der jeweiligen Standardabweichung sind in der Abb. 12 dargestellt.

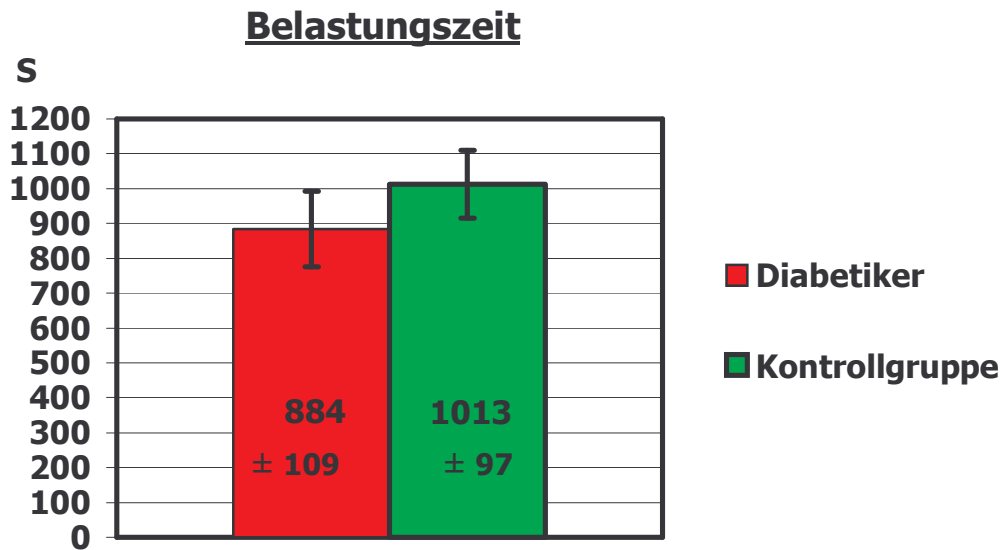


Abb. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) der Belastungszeit (Sekunden) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler. Die maximale relative Wattstufe wurde bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode erreicht.

Die durchschnittliche **Belastungszeit der Diabetiker** beträgt **884 ± 109 Sekunden**, die der **Gesunden Sportler 1013 ± 97 Sekunden**. Damit ist der Unterschied von 129 Sekunden zwischen beiden Gruppen sehr signifikant ($p = 0,005$).

3.3 Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen

3.3.1 Herzfrequenz

Test T1

Das durchschnittliche Verhalten der **Herzfrequenz** und ihrer Standardabweichungen der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach einer erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie nach der 1/2 Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI** im **Test T1** zeigt die Abb. 13.

Herzfrequenz - Test T1

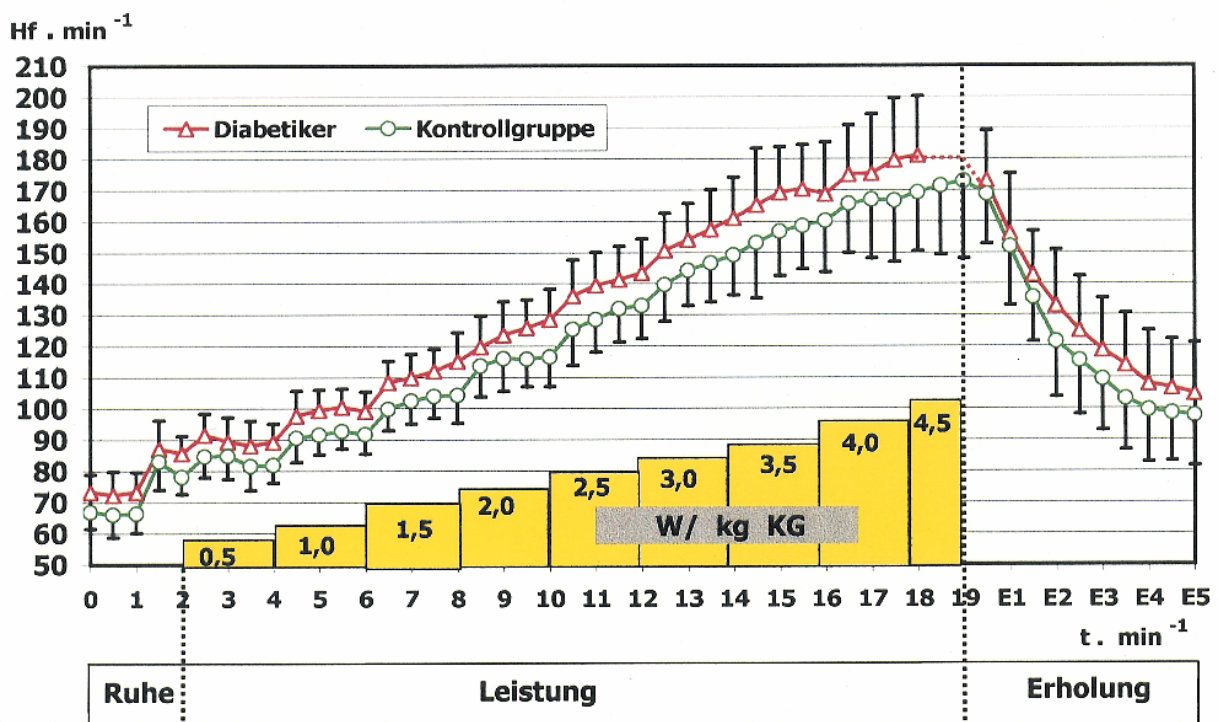


Abb. 13: Durchschnittliches Verhalten der Herzfrequenz ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler in Test T1 vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1/2 Watt/kg KG-Methode.

Diabetiker:

Ausgehend von einem Ruhewert der **Herzfrequenz** von $73 \pm 10 \cdot \text{min}^{-1}$ bei den **Diabetikern** liegt die durchschnittliche **maximale Herzfrequenz** aller **Diabetiker** bei $180 \pm 13 \text{ Schläge/min}$. Bei den 4 leistungsstärksten Diabetikern, die noch eine relative Wattstufe von 4 Watt/kg KG treten konnten, steigt die Herzfrequenzkurve noch minimal bis auf $181 \pm 10 \text{ Schläge/min}$ an.

In der Erholungsphase fällt die durchschnittliche Herzfrequenz stark ab. In der 4. Erholungsminute haben die Diabetiker eine Herzfrequenz von $108 \pm 15 \text{ Schläge/min}$. **Von der 4. bis zur 5. Erholungsminute** fällt die Herzschlagfrequenz nur noch leicht von 108 ± 15 auf $105 \pm 15 \text{ Schläge/min}$ ab. Dies entspricht einer sehr guten Erholung.

Gesunde Sportler:

Das Verhalten der **Herzfrequenz** der **Gesunden Sportler** wird vergleichend zu den **Diabetikern** ebenfalls in der Abb. 13 dargestellt.

Bei den **stoffwechselgesunden Sportlern** steigt die Kurve der **Herzfrequenz** von einem **Ruhewert** von $67 \pm 6 \text{ Schläge/min}$ bis zu einem **Maximalwert** von $173 \pm 22 \text{ Schläge/min}$ an. Diesen Wert erreichen 5 Sportler aus dieser Gruppe bei einer relativen maximalen Wattstufe von 4,5 Watt/kg KG.

Die durchschnittliche **maximale Herzfrequenz** der **Gesunden Sportler** beträgt $177 \pm 17 \text{ Schläge/min}$.

Wie bei den Diabetikern fällt auch bei den Gesunden Sportlern in der Erholungsphase die mittlere Herzfrequenz stark ab. Mit im Mittel $100 \pm 17 \text{ Schläge/min}$ in der 4. Erholungsminute liegen die Gesunden Sportler 8 Schläge tiefer als die Diabetiker, die zu diesem Zeitpunkt eine Herzfrequenz von $108 \pm 15 \text{ Schläge/min}$ haben. In der **5. Erholungsminute** fällt die Herzschlagfrequenz der Gesunden Sportler, wie bei den Diabetikern, nur noch leicht von 100 ± 17 auf $98 \pm 16 \text{ Schläge/min}$ ab. Damit erreichen sie eine kardiozirkulatorische Erholungszeit, welche dem Hochleistungsbereich zuzuordnen ist.

Test T2

Das durchschnittliche Verhalten der **Herzfrequenz** und ihrer Standardabweichungen der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach dem **Steady-State-Test T2**, bestehend aus einer **30-minütigen Belastung bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme**, zeigt die Abb. 14.

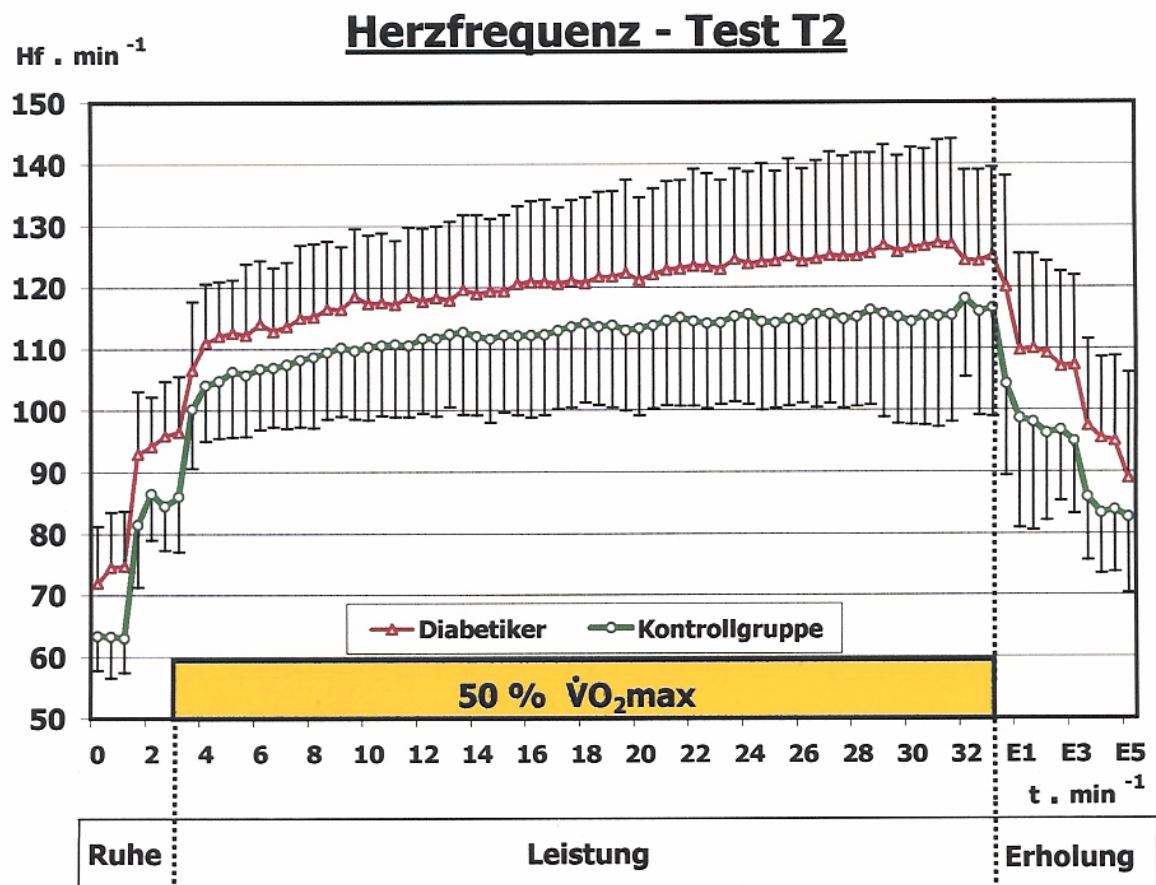


Abb. 14: Durchschnittliches Verhalten der Herzfrequenz ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2 (30-minütige Belastung bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).

Diabetiker:

Im **Test T2** beginnen die **Diabetiker** ihre **Steady-State-Belastung** im Mittel mit einem **Ausgangspuls** in Ruhe von $72 \pm 9 \cdot \text{min}^{-1}$, der bis zum **Belastungsende** auf durchschnittlich $125 \pm 14 \text{ Schläge/min}$ ansteigt. Die durchschnittliche **höchste Steady-State-Herzfrequenz** bei den **Diabetikern** beträgt $129 \pm 16 \text{ Schläge/min}$. In der **Erholungsphase** erfolgt ein kontinuierlicher Abfall der durchschnittlichen Herzfrequenz auf $89 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$.

Gesunde Sportler:

Mit einem **Herzfrequenzruhwert** von $64 \pm 7 \cdot \text{min}^{-1}$ liegen die **Gesunden Sportler** 8 Schläge $\cdot \text{min}^{-1}$ tiefer als die Diabetiker. Dieses Bild ändert sich während der 30-minütigen Steady-State-Belastung nicht. Diese Gruppe **beendet die Belastung** mit einer mittleren Pulsfrequenz von $117 \pm 18 \cdot \text{min}^{-1}$, wobei die Differenz zwischen beiden Gruppen dieselbe ist wie zu Beginn der Belastung. Auch nach der **fünfminütigen Erholungsphase** bietet sich ein ähnliches Bild. Die **Gesunden Sportler** liegen mit $83 \pm 10 \text{ Schlägen} \cdot \text{min}^{-1}$ deutlich unter dem Erholungswert der Diabetiker.

Test T3

Das durchschnittliche Verhalten der **Herzfrequenz** und ihrer Standardabweichungen der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach dem **Intervalltest mit 3 einminütigen Belastungsintervallen bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (Test T3)** ist in der Abb. 15 dargestellt.

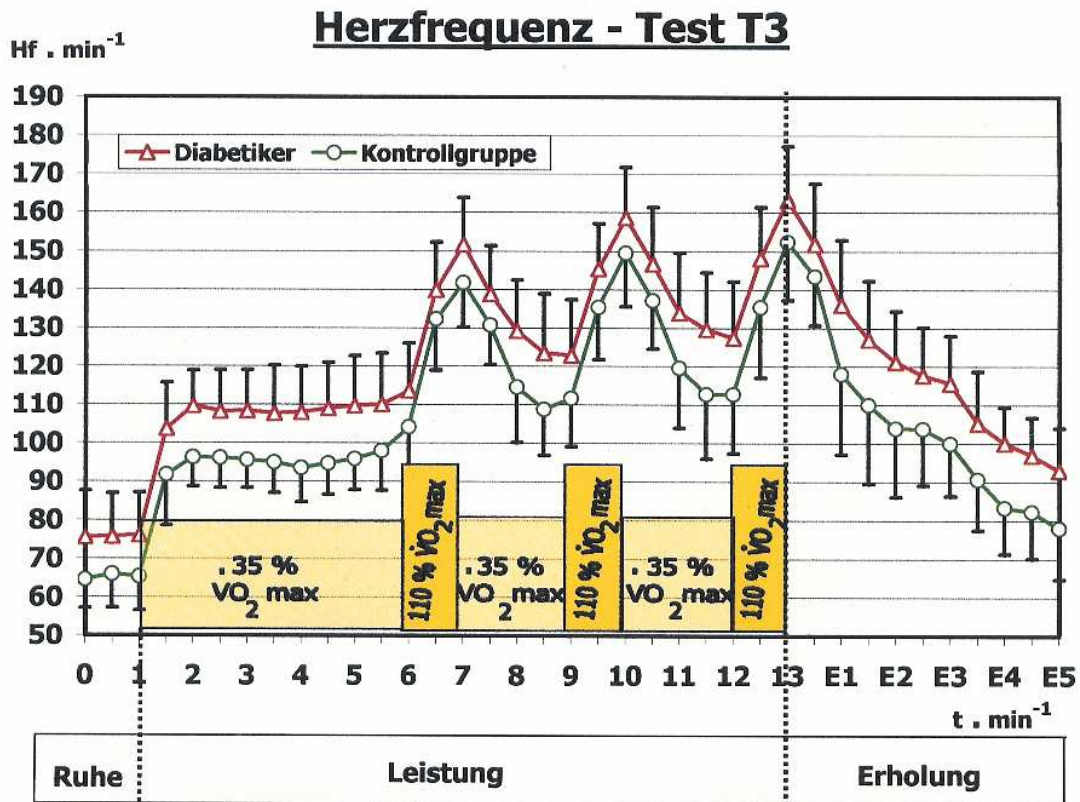


Abb. 15: Durchschnittliches Verhalten der Herzfrequenz ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3 (3 einminütige Intervalle bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).

Diabetiker:

In **Ruhe**, vor Beginn der Belastungsuntersuchung, haben die **Diabetiker** im Mittel eine **Herzfrequenz** von **76 ± 12 Schlägen/min**.

Nach dem **1. Belastungsintervall** liegen die **Diabetiker** bei einer **Herzschlagfrequenz** von **152 ± 12 Schlägen/min**. Nach dem **2. und 3. Belastungsintervall** erreichen die **Diabetiker** eine Herzfrequenz von **159 ± 13 Schlägen/min** bzw. **163 ± 14 Schlägen/min**.

Die durchschnittliche **höchste Pulsfrequenz** bei den **Diabetikern** wird mit **163 ± 14 Schlägen/min** registriert.

Nach der 1. Erholungsminute liegen die Diabetiker bei einem Puls von $136 \pm 17 \cdot \text{min}^{-1}$. Die weitere Pulsberuhigung erfolgt kontinuierlich bis zur **5. Erholungsminute** auf einen Wert von $93 \pm 11 \cdot \text{min}^{-1}$ bei den **Diabetikern**.

Gesunde Sportler:

Mit einer **Ruhe-Herzfrequenz** von 65 ± 7 **Schlägen/min** liegen die **Gesunden Sportler** 9 Schläge/min unter der Ausgangs-Ruheherzfrequenz der Diabetiker. Dieses Bild ändert sich auch während des gesamten Testverlaufs nicht grundlegend.

Auch am Ende der 3 einminütigen Belastungsintervalle (110 % VO_2max) haben die Gesunden Sportler eine im Durchschnitt um ca. 10 Schläge/min niedrigere Herzfrequenz im Vergleich zu den Diabetikern. Das **1. Belastungsintervall** beenden die **Gesunden Sportler** mit einer Herzfrequenz von 142 ± 12 **Schlägen/min**. Nach dem **2. und 3. Belastungsintervall** haben die **Gesunden Sportler** eine Herzfrequenz von 150 ± 14 **Schlägen/min bzw. 152 ± 15 Schlägen/min**. Die durchschnittliche **höchste Herzfrequenz** bei den **Gesunden Sportlern** liegt bei 153 ± 15 **Schlägen/min**.

Dieses Bild verstärkt sich in der **fünfminütigen Regenerationsphase**. Mit 119 ± 21 Schlägen/min nach der 1. Erholungsminute bei den Gesunden Sportlern ist die Differenz zwischen beiden Gruppen noch größer als während des Belastungsverlaufs. Die weitere **Pulsberuhigung** erfolgt kontinuierlich bis zur **5. Erholungsminute** auf einen Wert von und $78 \pm 13 \cdot \text{min}^{-1}$ bei den **Gesunden Sportlern**.

Mit $p = 0,03$ ergibt sich über den Belastungsverlauf beim Test T3 ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

3.3.2 Blutdruck

Die Abbildungen 16, 17 und 18 zeigen die **mittleren Blutdruckwerte** (RR mm Hg) als **Ruhe- und Maximalwerte** beider Untersuchungsgruppen in den **Testen T1, T2 und T3**. Die arithmetischen Mittelwerte des Blutdrucks wurden – entsprechend der Messgenauigkeit nach Riva Rocci und Korotkow – auf ± 5 mmHG auf- bzw. abgerundet.

Test T1

Das durchschnittliche Verhalten des **Blutdrucks** der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor und sofort nach einer **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie nach der 1/2 Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI** im **Test T1** zeigt die Abb. 16.

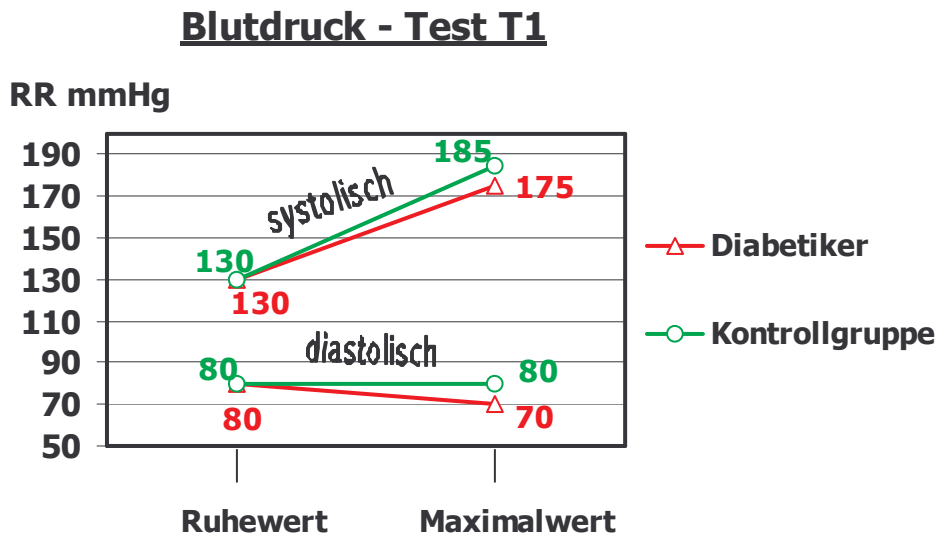


Abb. 16: Durchschnittliches Verhalten des systolischen und diastolischen Blutdrucks ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler im Test T1 vor und sofort nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1/2 Watt/kg KG-Methode.

Diabetiker :

In **Ruhe** vor Belastungsbeginn haben die **Diabetiker** einen Blutdruck von **130/80 \pm 10/5 mmHg**, der bis zu einem Wert von **175/70 \pm 15/10 mmHg** bei **Belastungsabbruch** ansteigt.

Gesunde Sportler:

Auch die **Gesunden Sportler** beginnen die Belastung, wie die Diabetiker, mit einem **Ruhe-Blutdruck** von **130/80 ± 20/15 mmHG** und liegen mit **185/80 ± 25/10 mmHg** im **Maximum** bei Belastungsabbruch etwas höher als die Diabetiker.

Test T2

Das durchschnittliche Verhalten des Blutdrucks der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor und sofort nach dem **Steady-State-Test T2**, bestehend aus einer **30-minütigen Belastung bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme**, zeigt die Abb. 17.

Blutdruck - Test T2

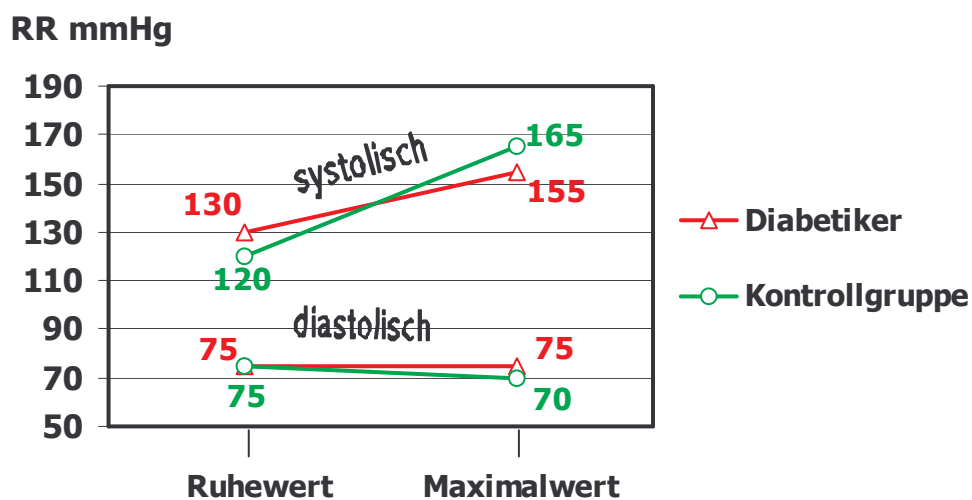


Abb. 17: Durchschnittliches Verhalten des systolischen und diastolischen Blutdrucks ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor und sofort nach dem Steady-State-Test T2 (30-minütige Belastung bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).

Diabetiker:

Mit einem **Ruheblutdruck** von **130/75 ± 10/5 mmHg** beginnen die **Diabetiker** den Test T2 und liegen damit etwas höher als die Gesunden Sportler. Am **Ende der Belastung** kommen die **Diabetiker** mit einem Blutdruck von **155/75 ± 20/5 mm Hg** belastungsbedingt nicht so hoch wie im Test T1.

Gesunde Sportler:

Der durchschnittliche **Ruheblutdruck** der **Gesunden Sportler** liegt bei **120/75 ± 15/10 mmHg** und steigert sich bis zum **Ende der Belastung** bis auf **165/70 ± 15/5 mmHG**. Damit steigt im Test T2 der Blutdruck bei den Gesunden Sportler stärker an als bei den Diabetikern.

Test T3

Das durchschnittliche Verhalten des **Blutdrucks** der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor und sofort nach dem **Intervalltest T3, bestehend aus 3 einminütigen Belastungsintervallen bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (Test T3)**, ist in der Abb. 18 dargestellt.

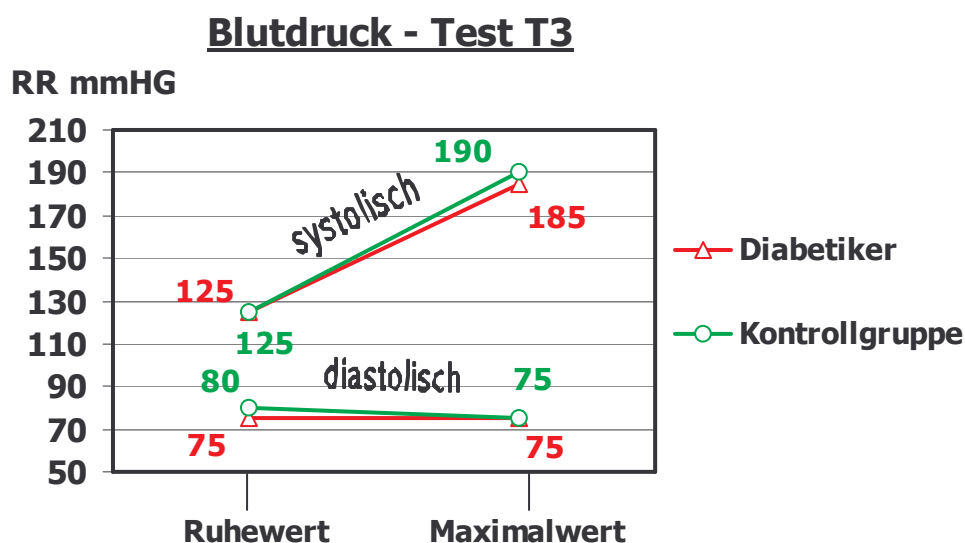


Abb. 18: Durchschnittliches Verhalten des systolischen und diastolischen Blutdrucks ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor und sofort nach dem Intervalltest T3 (3 einminütige Intervalle bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).

Diabetiker:

Der mittlere **Ruheblutdruck** der **Diabetiker** im Test T3 liegt bei **125/75 \pm 14/5 mmHg**. Am **Ende vom Test T3** erreichen die **Diabetiker** mit einem Blutdruck von **185/75 \pm 15/10 mmHG** ihren insgesamt höchsten Wert. Insgesamt fällt auf, dass die Diabetiker mit ihrem durchschnittlichen Maximalwert des systolischen Blutdrucks bei allen 3 Belastungstests zwischen 5 und 10 mmHG unter den maximalen systolischen Blutdruckwerten der Gesunden Sportler liegen.

Gesunde Sportler:

Im Test T3 steigern die **Gesunden Sportler** ihren **Blutdruck** von einem durchschnittlichen Wert in **Ruhe** von **125/80 \pm 10/10 mmHG** auf einen **Maximalwert** von **190/75 \pm 15/10 mmHG** und erreichen ebenso wie die Diabetiker im Test T3 ihren insgesamt höchsten Blutdruckwert.

Die Tab. 8 zeigt zusammengefasst die Blutdruckwerte der Diabetiker und Gesunden Sportler vor und nach den 3 Belastungstests.

Tab. 8: Blutdruckwerte der Diabetiker und Gesunden Sportler bei den Tests T1, T2 und T3.

		Test T1		Test T2		Test T3	
		Ruhe	Abbruch	Ruhe	Abbruch	Ruhe	Abbruch
RR mm HG	Diabetiker	130/80	185/75	130/75	155/75	125/75	185/75
	s+	10/5	15/10	10/5	20/5	15/5	15/10
	Gesunde Sportler	130/80	185/80	120/75	165/70	125/80	190/75
	s+	20/15	25/10	15/10	15/5	10/10	15/10

3.4 Respiratorische Leistungsfähigkeit

3.4.1 Vitalkapazität

In der Abb. 19 sind die Mittelwerte der **Vitalkapazität** (VK I) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** dargestellt.

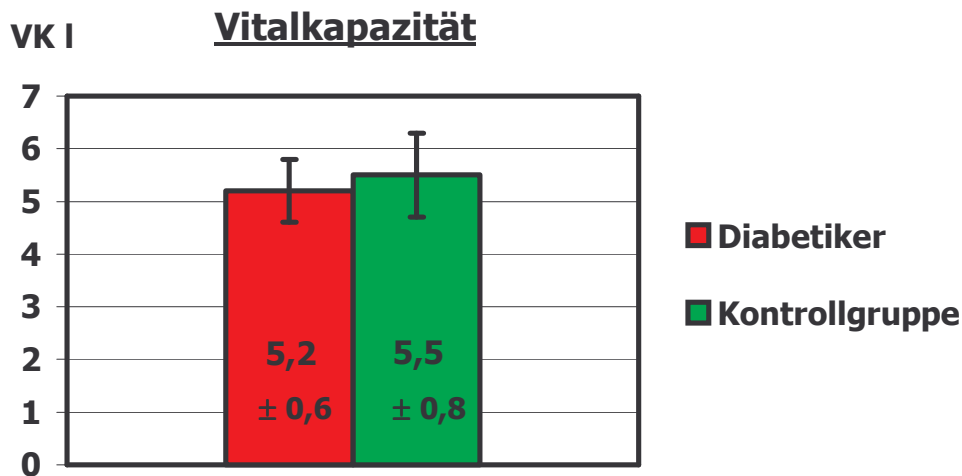


Abb. 19: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) der Vitalkapazität der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.

Die Mittelwerte der **Vitalkapazitäten** von $5,2 \pm 0,6$ l bei den **Diabetikern** und $5,5 \pm 0,8$ l bei den **Gesunden Sportlern** unterscheiden sich nicht signifikant.

3.4.2 Maximales Atemminutenvolumen

Test T1

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der **maximalen Atemminutenvolumina** (AMV | BTPS) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** während der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** im **Test T1** sind in der Abb. 20 dargestellt.

Maximales Atemminutenvolumen Test T1

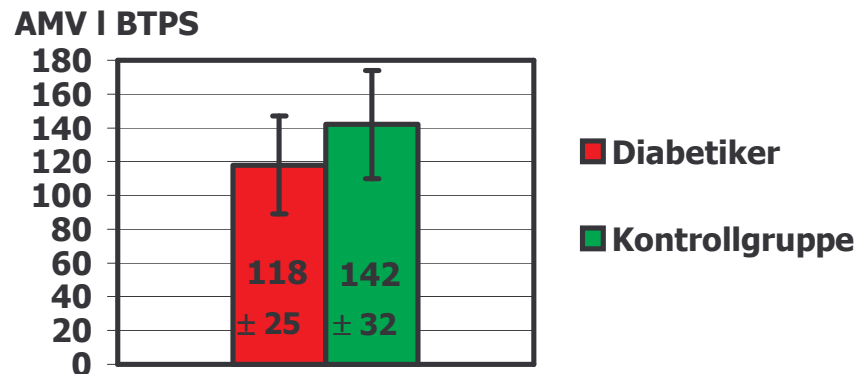


Abb. 20: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des maximalen Atemminutenvolumens (AMV | BTPS) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.

Diabetiker:

Das durchschnittliche **maximale Atemminutenvolumen** der **Diabetiker** beim Test T1 beträgt **118 \pm 25 l**.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler** erreichen ein durchschnittliches **maximales Atemminutenvolumen** von **142 \pm 32 l** im Test T1. Ihr um 24 l höheres AMV unterscheidet sich signifikant ($p < 0,05$) von dem der Diabetiker.

Test T2

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der **Atemminutenvolumina** (AMV | BTPS) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** beim **Steady-State-Test T2** sind in der Abb. 21 dargestellt.

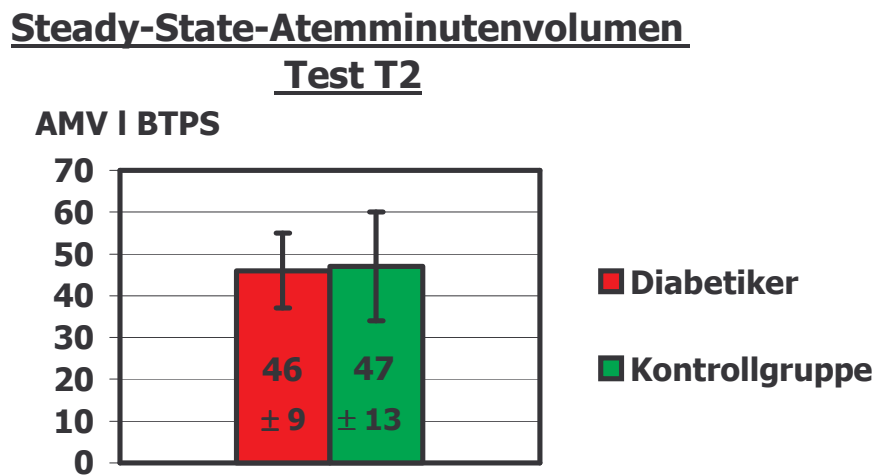


Abb. 21: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Steady-State Atemminutenvolumens (AMV | BTPS) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler beim Test T2.

Diabetiker:

Bei dem Dauerbelastungstest T2 kommen die **Diabetiker** auf ein durchschnittliches **Atemminutenvolumen von 46 ± 9 l**.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler** erreichen beim Test T2 ein **Atemminutenvolumen** von **47 ± 13 l** und liegen damit nur um einen Liter höher als die entsprechende Steady-State-Atmung der Diabetiker.

Test T3

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der **Atemminutenvolumina** (AMV | BTPS) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** beim **Intervalltest T3** sind in der Abb. 22 dargestellt.

Atemminutenvolumen - Test T3

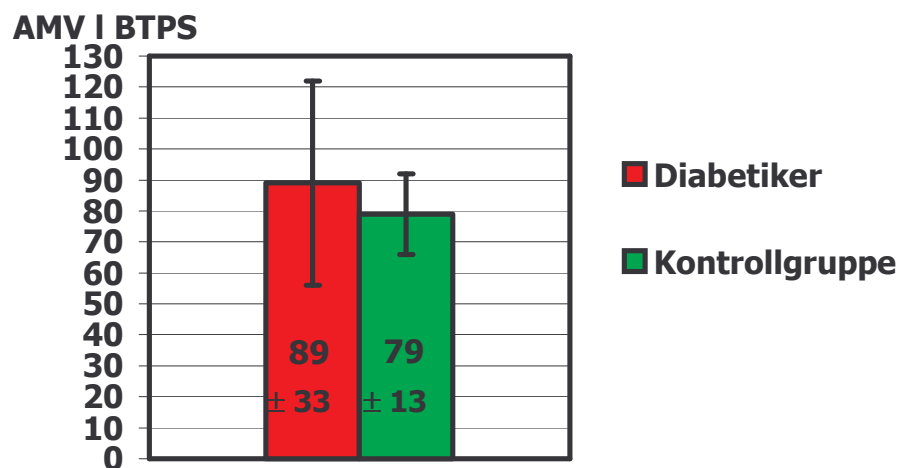


Abb. 22: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des Atemminutenvolumens (AMV | BTPS) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler beim Intervalltest T3.

Diabetiker:

Die **Diabetiker** erreichen beim Test T3 ein durchschnittliches **Atemminutenvolumen** von **89 ± 33 l** und liegen damit um 10 l höher als die Gesunden Sportler.

Gesunde Sportler:

Beim Test T3 liegt das **Atemminutenvolumen** der **Gesunden Sportler** bei durchschnittlich **79 ± 13 l**.

3.5. Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit

3.5.1 Absolute Sauerstoffaufnahme

Test T1

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der **absoluten Sauerstoffaufnahme** ($\dot{V}O_2$ ml/min STPD) von **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern** bei der **erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Belastung** (Test T1) im Sitzen sind in der Abb. 23 dargestellt.

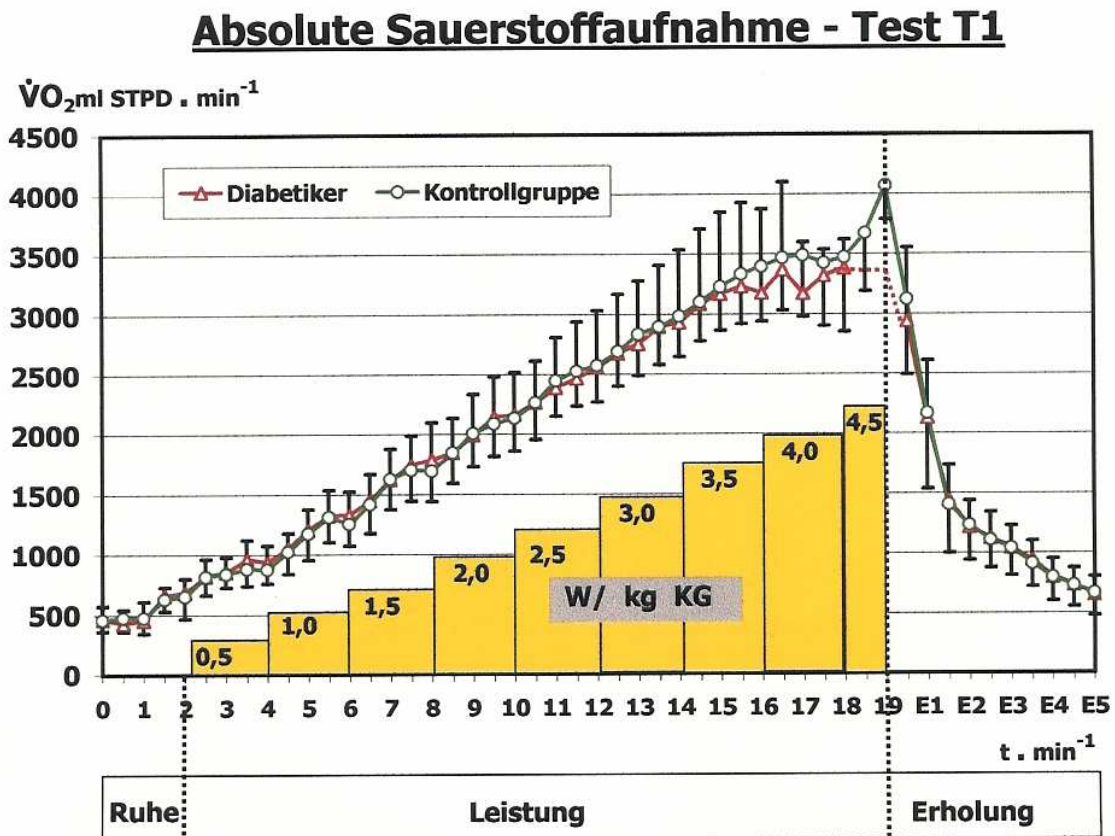


Abb. 23: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml \cdot min⁻¹ STPD) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.

Diabetiker:

Mit Ausnahme der Werte beim Belastungsabbruch sind die Kurvenverläufe beider Untersuchungsgruppen nahezu gleich.

In **Ruhe** liegt die **absolute Sauerstoffaufnahme** der **Diabetiker** bei **468 ± 109 ml**. Sie steigert sich bis zum **Belastungsabbruch** auf **3384 ± 237 ml**. Die durchschnittliche **VO₂ max** der **Diabetiker** liegt bei **3423 ± 727 ml**.

Bis zur **5. Erholungsminute** fällt die absolute Sauerstoffaufnahme kontinuierlich bis auf einen Wert von **656 ± 148 ml** ab.

Gesunde Sportler:

Fast identisch wie die Diabetiker beginnen die **Gesunden Sportler** ihre Belastung ausgehend von einem **Ruhewert** der **absoluten Sauerstoffaufnahme** von **463 ± 98 ml**. Im Gegensatz zu den Diabetikern sind sie jedoch in der Lage, diesen Wert bei **Belastungsabbruch** bis auf **4072 ± 281 ml** zu steigern und unterscheiden sich im maximalen Bereich deutlich von den Diabetikern. Die durchschnittliche **VO₂ max** der **Gesunden Sportler** liegt bei **3804 ± 593 ml**.

In der Erholungsphase sind die Kurvenverläufe der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme beider Untersuchungsgruppen wieder nahezu identisch. Die **Gesunden Sportler** haben nach der 5-minütigen Erholungsphase eine **absolute Sauerstoffaufnahme** von **667 ± 168 ml**.

Test T2

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der **absoluten Sauerstoffaufnahme** (VO₂ ml/min STPD) von **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern** beim **Steady-State-Test T2** sind in der Abb. 24 dargestellt.

Absolute Sauerstoffaufnahme - Test T2

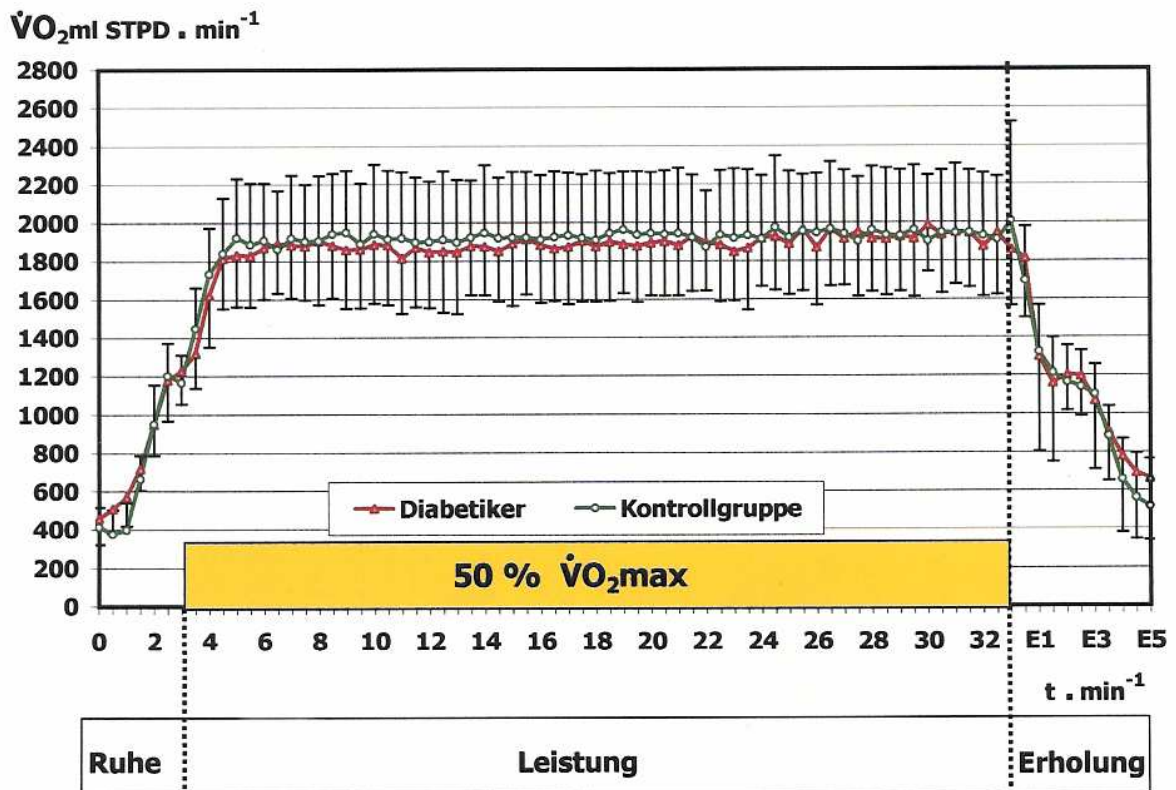


Abb. 24: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ ml \cdot min $^{-1}$ STPD) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.

Diabetiker:

Die **Sauerstoffruheaufnahme der Diabetiker** beim Dauerbelastungstest T2 liegt bei **461 \pm 136 ml**. Sie steigt bis zur 5. Minute auf **1834 \pm 269 ml** an, und hält sich bis zur 30. Minute etwa konstant auf diesem Level. Die **Belastungsphase** wird dann mit einer **O₂-Aufnahme von 1861 \pm 295 ml beendet**. Die durchschnittliche **höchste absolute Sauerstoffaufnahme** liegt bei den **Diabetikern** bei **2084 \pm 309 ml**.

Nach einer **Erholungsphase** von **5 Minuten** beträgt die **VO₂** der **Diabetiker** **664 ± 323 ml**.

Gesunde Sportler:

Der **Vorstartwert** der **Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** beträgt **416 ± 102 ml**. Die Verlaufskurve der absoluten Sauerstoffaufnahme der Gesunden Sportler ist annähernd deckungsgleich wie bei den Diabetikern. Ab der 5. Minute (1924 ± 309 ml) bis zum **Belastungsende** (**1912,1 ± 328 ml**) ist fast ein geradliniger Kurvenverlauf zu erkennen. Die durchschnittliche **höchste Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** beträgt **2188 ± 453 ml**.

Während der **5-minütigen Erholungsphase** kommt es einer kontinuierlichen Abnahme der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme bis auf einen Wert von **515 ± 250 ml**.

Test T3

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der **absoluten Sauerstoffaufnahme** (VO₂ ml/min STPD) von **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern** beim **Intervalltest** (Test T3) im Sitzen auf dem Fahrradergometer sind in der Abb. 25 dargestellt.

Absolute Sauerstoffaufnahme - Test T3

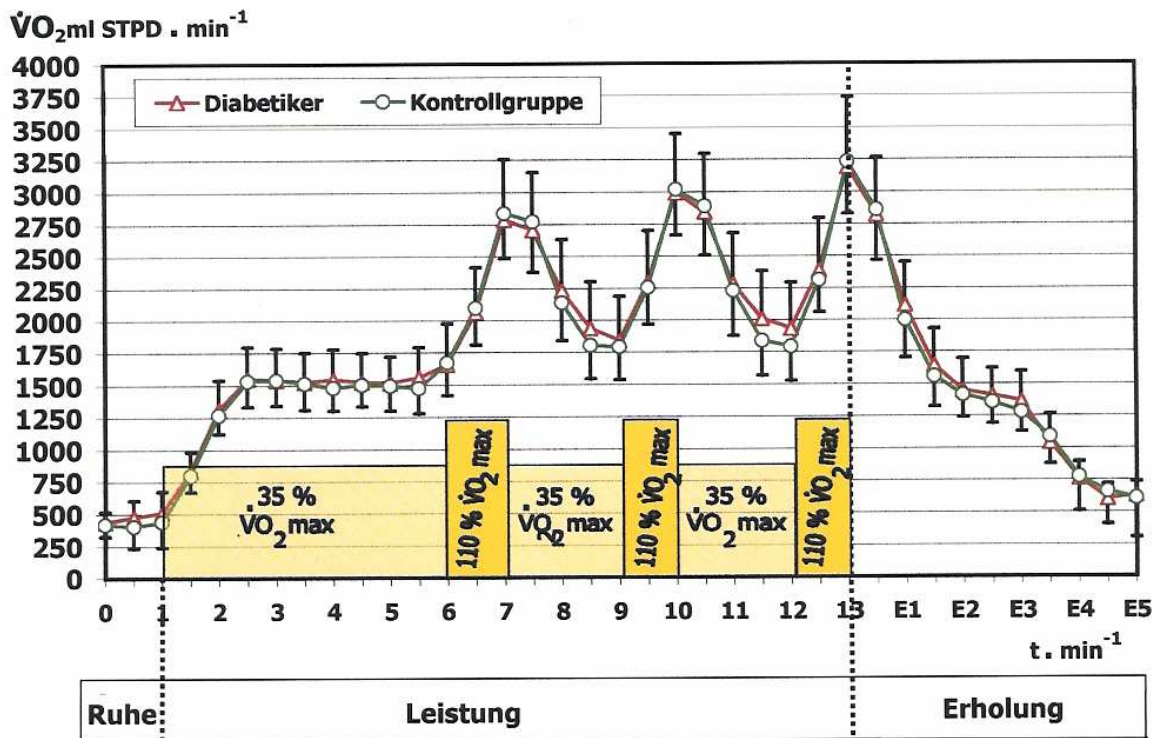


Abb. 25: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3.

Diabetiker:

Wie schon bei den Testen T1 und T2 sind die Kurvenverläufe der absoluten Sauerstoffaufnahme beider Gruppen auch beim Intervalltest T3 nahezu identisch. Der **Ruhewert** der **absoluten Sauerstoffaufnahme** der **Diabetiker** liegt bei **438 ± 86 ml**. **Nach dem 1. Belastungsintervall** steigt die VO_2 auf **2790 ± 486 ml** an, **nach dem 2. Belastungsintervall** auf **2993 ± 459 ml**, **nach dem 3. Belastungsintervall** beenden die **Diabetiker** mit dem höchsten Wert der O_2 -Aufnahme von **3195 ± 541 ml** die Leistungsphase. Damit erreichen die Diabetiker fast ihre mittlere $\text{VO}_{2\text{max}}$ von 3,4 l.

Während der **5-minütigen Erholungsphase** nimmt die VO_2 kontinuierlich bis auf einen Wert von **630 ± 102 ml** ab.

Gesunde Sportler:

Der durchschnittliche **Ruhewert** der **absoluten Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** beträgt **420 ± 89 ml**. Nach dem **1., 2. und 3. Belastungsintervall** steigt die **absolute Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** auf Werte von **2836 ± 350 ml**, **3020 ± 354 ml** bzw. **3233 ± 409 ml** an. Die Differenz zu ihrer mittleren VO_{2max} (3,8 l) beträgt bei diesem Test mehr als 500 ml, ist also größer als bei den Diabetikern.

In der **Erholungsphase** sinkt die VO_2 auf einen Wert von **609 ± 305 ml** nach 5 Minuten ab.

3.5.2 Relative Sauerstoffaufnahme

Test T1

Die Mittelwerte der **relativen Sauerstoffaufnahme** (VO_2 ml/min/kg STPD) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach der **erschöpfenden fahrradergometrischer Belastung** im Sitzen sind in der Abb. 26 dargestellt.

Relative Sauerstoffaufnahme Test T1

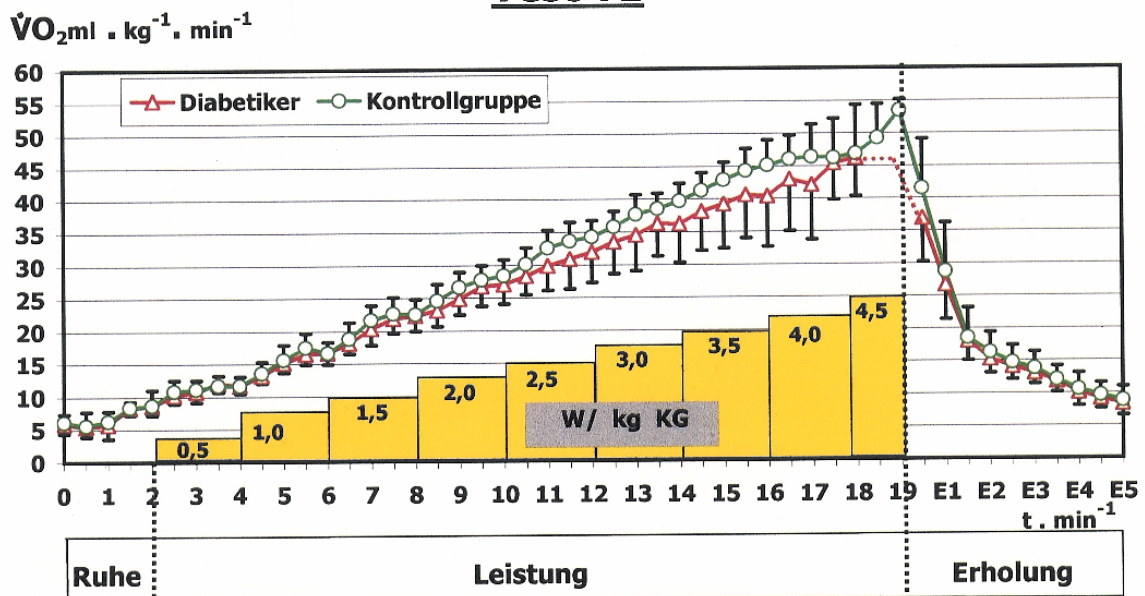


Abb. 26: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.

Diabetiker:

Im Vergleich zur absoluten Sauerstoffaufnahme ist der Unterschied zwischen beiden Gruppen beim Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahme signifikant ($p < 0,05$). Dieser Unterschied wird besonders ab der 2. Hälfte der Belastung deutlich.

Die **Diabetiker** beginnen die Belastung mit einem **Ruhewert** von $5,9 \pm 1,4 \text{ ml } \dot{V}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Bis zum **Belastungsabbruch** erfolgt ein linearer Anstieg auf einen Wert von $46,3 \pm 5,9 \text{ ml } \dot{V}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Die durchschnittliche **maximale relative Sauerstoffaufnahme** der **Diabetiker** beträgt $43,0 \pm 8,0 \text{ ml } \dot{V}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD.

Während der **5-minütigen Erholungsphase** kommt es zu einer kontinuierlichen Abnahme der **relativen Sauerstoffaufnahme** bis auf einen Wert von **$8,4 \pm 1,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** .

Gesunde Sportler:

Der Anfangswert der **Gesunden Sportler** in **Ruhe** beträgt **$6,2 \pm 1,3 \text{ ml VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** . Bis zu einer Belastung von 2,5 W/kg KG unterscheidet sich der Anstieg der Kurve der relativen Sauerstoffaufnahme nicht wesentlich von der Kurve der Diabetiker. Ab der 10. Belastungsminute wird der Unterschied zwischen beiden Gruppen deutlicher. Die Gesunden Sportler erreichen von der 10. Belastungsminute bis zum Belastungsabbruch im Mittel eine deutlich höhere relative Sauerstoffaufnahme als die Diabetiker. Bei **Belastungsabbruch** liegt die im Kurvenverlauf **höchste relative Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** bei einem Wert von **$53,5 \pm 1,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** , welcher von 5 Sportlern erreicht wird. Die durchschnittliche **maximale $\text{VO}_2/\text{kg KG}$** der **Gesunden Sportler** beträgt dagegen nur **$50,6 \pm 6,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** .

In den 5 Minuten nach **Belastungsende** sinkt die **relative Sauerstoffaufnahme** bis auf einen Wert von **$8,9 \pm 2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** ab.

Test T2

Die Mittelwerte der **relativen Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ ml/min/kg STPD}$) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach dem **Steady-State-Test T2** sind in der Abb. 27 dargestellt.

Relative Sauerstoffaufnahme Test T2

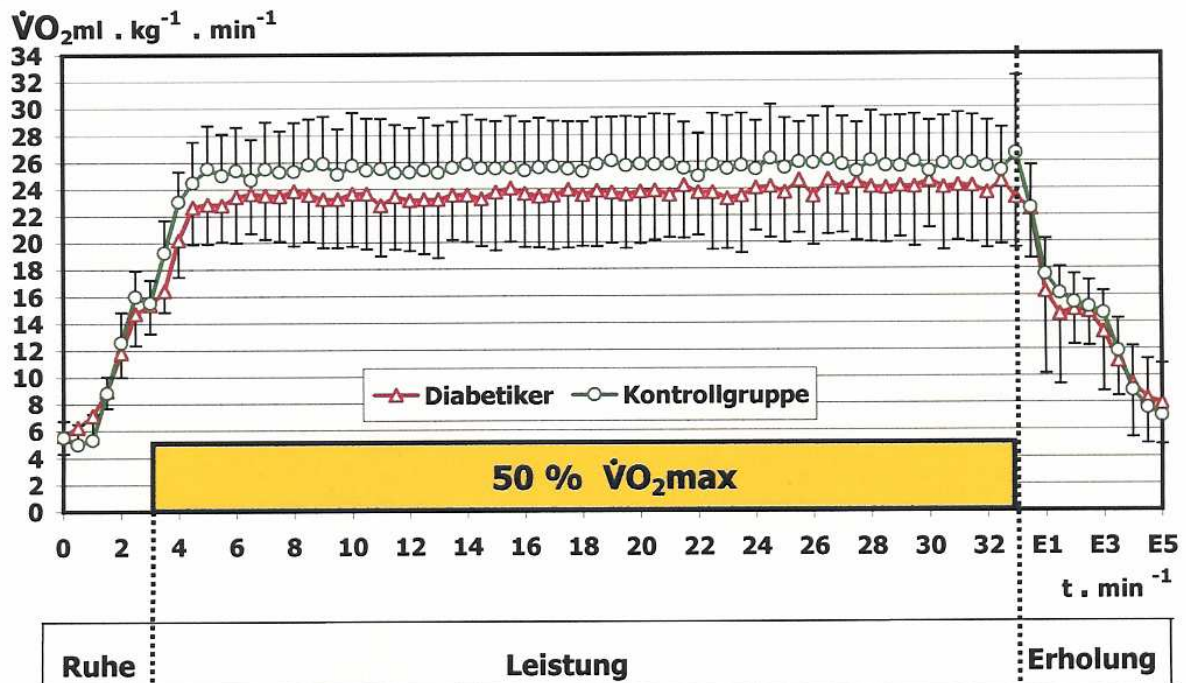


Abb. 27: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.

Diabetiker:

Während der 30-minütigen Steady-State-Belastung weisen die Diabetiker zwar eine durchschnittlich niedrigere relative Sauerstoffaufnahme als die Gesunden Sportler auf, jedoch sind diese Unterschiede nicht signifikant. Ansonsten sind die Kurvenverläufe beider Gruppen während des Testes T2 nahezu identisch.

Der **Ruhewert** der **relativen Sauerstoffaufnahme** der **Diabetiker** beträgt **$5,7 \pm 1,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** . Am **Ende** der **30-minütigen Belastungsphase** erreichen die **Diabetiker** eine **relative Sauerstoffaufnahme** von **$23,3 \pm 3,8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** .

Bis zur **5. Erholungsminute** fällt die **relative Sauerstoffaufnahme** bei den **Diabetikern** bis zu einem Wert von **$8,0 \pm 3,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** ab.

Gesunde Sportler:

Der durchschnittliche **Ruhewert** der **relativen Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** liegt im Test T2 bei **$5,5 \pm 1,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** . Nach **30-minütiger submaximaler Dauerbelastung** steigert sich die **relative Sauerstoffaufnahme** bis auf einen Wert von **$26,6 \pm 5,8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** .

Die **relative Sauerstoffaufnahme** fällt bis zum **Ende der 5. Erholungsminute** bis auf **$7,0 \pm 3,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** ab.

Test T3

Die Mittelwerte der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme** ($\text{VO}_2 \text{ ml/min/kg STPD}$) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach dem **Intervalltest T3** sind in der Abb. 28 dargestellt.

Relative Sauerstoffaufnahme Test T3

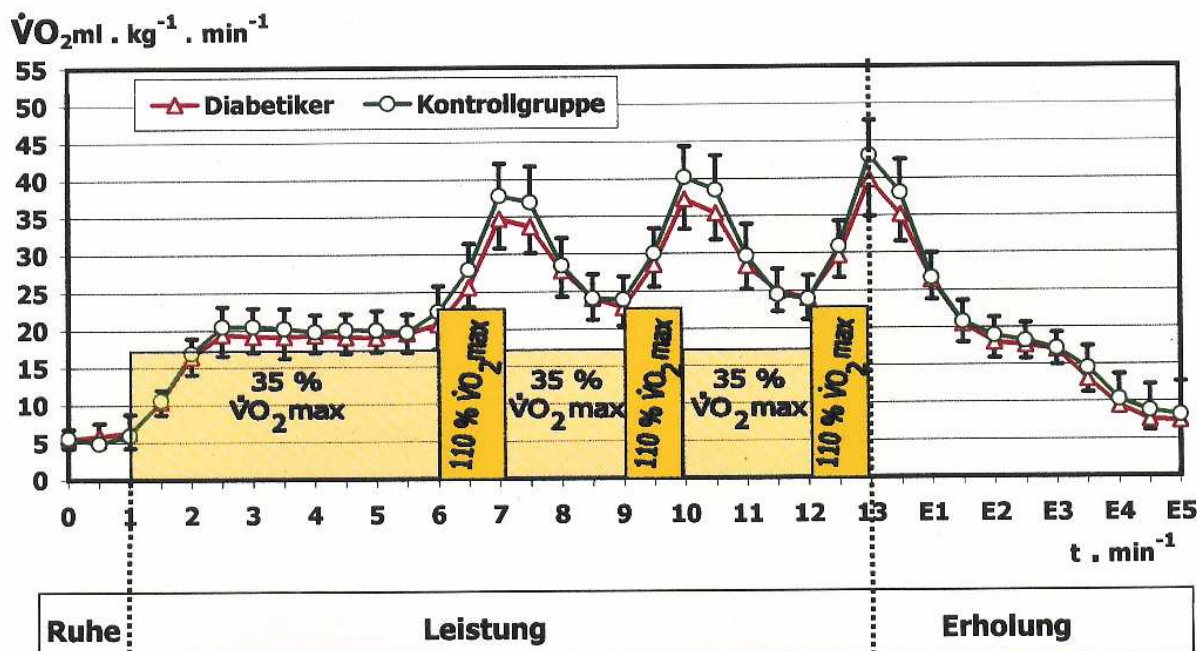


Abb. 28: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3.

Diabetiker:

Die **Diabetiker** beginnen die Belastung mit einem **Ruhewert** der **relativen Sauerstoffaufnahme** von $5,5 \pm 1,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Signifikante Unterschiede zu den Gesunden Sportlern ($p < 0,01$) ergeben sich jeweils am Ende der 3-minütigen Belastungsintervalle bei 110 % der $\text{VO}_{2\text{max}}$. **Nach dem 1., 2. bzw. 3. Belastungsintervall** liegt die **relative Sauerstoffaufnahme** der **Diabetiker** zu den entsprechenden Zeitpunkten bei $34,8 \pm 3,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $37,4 \pm 4,0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ und $39,9 \pm 4,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Danach erfolgt bis zum Ende der **5. Erholungsminute** eine kontinuierliche Abnahme der durchschnittlichen **relativen Sauerstoffaufnahme** bis zu einem Wert von **$7,5 \pm 0,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** .

Gesunde Sportler:

In **Ruhe** beträgt die durchschnittliche **relative Sauerstoffaufnahme** der **Gesunden Sportler** **$5,6 \pm 1,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** . Nach dem **1. Belastungsintervall** steigt die **relative Sauerstoffaufnahme** auf **$37,9 \pm 4,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** , nach dem **2. Belastungsintervall** auf **$40,3 \pm 4,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** und nach dem **3. Belastungsintervall** auf **$43,1 \pm 4,6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** an.

In der **Erholungsphase** fällt die **relative Sauerstoffaufnahme** bis auf **$8,2 \pm 4,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$** ab.

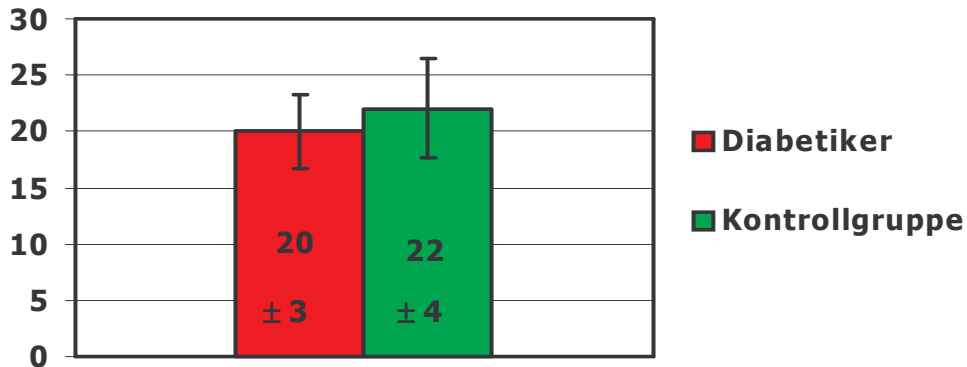
3.5.3 Maximaler Sauerstoffpuls

Test T1, Test T2, Test T3

Die Mittelwerte und Standardabweichungen des **maximalen Sauerstoffpulses** (VO_2/Hf ml STPD) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** bei den **3 Belastungsuntersuchungen** sind in der Abb. 29 dargestellt.

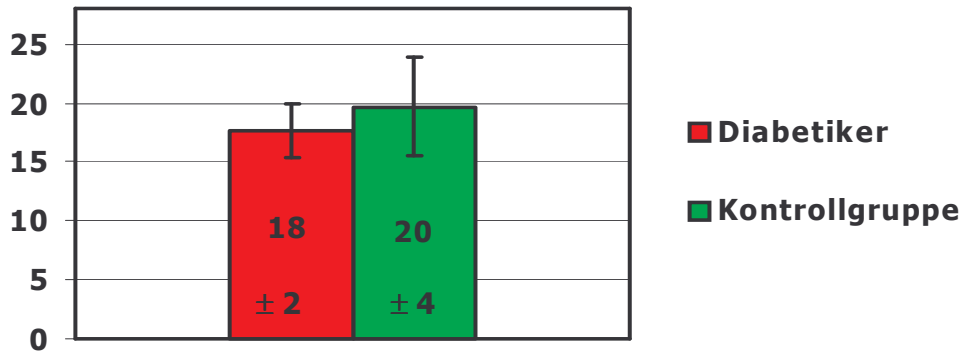
Maximaler Sauerstoffpuls - Test T1

VO₂/Hf ml STPD



Maximaler Sauerstoffpuls - Test T2

VO₂/Hf ml STPD



Maximaler Sauerstoffpuls - Test T3

VO₂/Hf ml STPD

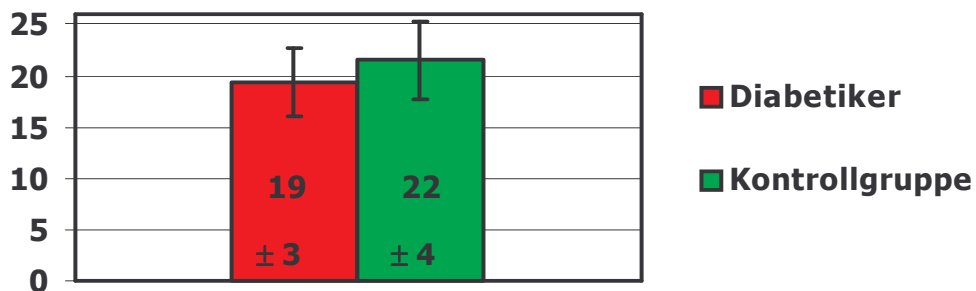


Abb. 29: Mittelwerte (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des maximalen Sauerstoffpulses (VO₂/Hf ml STPD) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1/2 Watt/kg KG-Methode (Test T1), beim Steady-State-Test T2 und beim Intervalltest T3.

Diabetiker:

Weder bei der erschöpfenden fahrradergometrischen Belastung (Test T1), noch bei der Steady-State-Belastung (Test T2) und bei der Intervallbelastung (Test T3) unterscheiden sich die maximalen Sauerstoffpulswerte der Diabetiker signifikant von denen der Gesunden Sportler.

Der **maximale Sauerstoffpuls** der **Diabetiker** liegt beim **Test T1** bei **20 ± 3 ml**, beim **Test T2** bei **18 ± 2 ml** und beim **Test T3** bei **19 ± 3 ml**.

Gesunde Sportler:

Die Werte des **maximalen Sauerstoffpulses** der **Gesunden Sportler** liegen im **Test T1** bei **22 ± 4 ml**, im **Test T2** bei **20 ± 4 ml** und im **Test T3** bei **22 ± 4 ml**.

3.5.4 Respiratorischer Quotient

Test T1

Die Mittelwerte des **Ventilations-RQ (VRQ)** der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach einer **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** im Sitzen sind in der Abb. 30 dargestellt.

Respiratorischer Quotient - Test T1

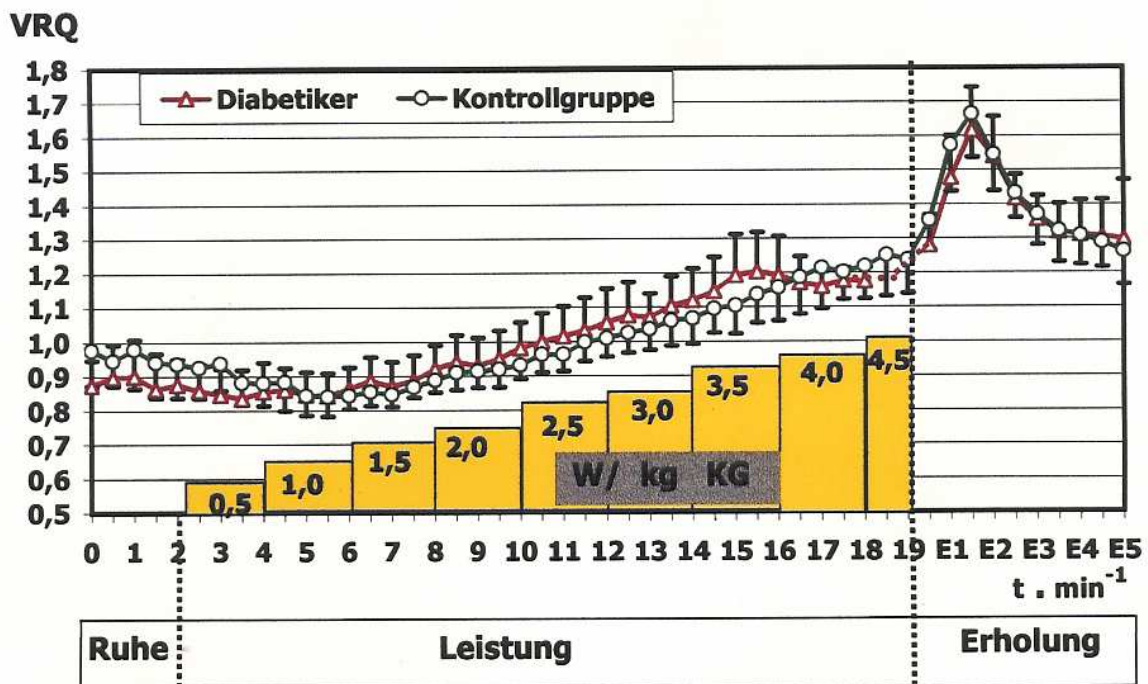


Abb. 30: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Ventilations-RQ von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1).

Diabetiker:

Der durchschnittliche **Vorstartwert** des **VRQ** beträgt bei den **Diabetikern** **0,87 ± 0,08** und steigert sich bis zum **Belastungsabbruch** auf einen Wert von **1,18 ± 0,04**. Der durchschnittliche **maximale VRQ** der **Diabetiker** beträgt **1,28 ± 0,09** und liegt in der Erholungsphase.

In der Erholungsphase steigt der VRQ zunächst bis zur Mitte der 2. Erholungsminute weiter bis auf den höchsten Wert von **1,62 ± 0,12** an und fällt dann bis zur **5. Erholungsminute** auf **1,30 ± 0,17** ab. Im Belastungsverlauf ist der Unterschied zwischen Diabetikern und Gesunden Sportlern signifikant ($p < 0,05$).

Gesunde Sportler:

Im Mittel liegt der **Vorstartwert** des **VRQ** der **Gesunden Sportler** bei **$0,98 \pm 0,11$** . Die Gruppe liegt bis zur 5. Minute mit ihrem VRQ etwas höher als die Diabetiker. Bei **Belastungsabbruch** beträgt der **VRQ** der **Gesunden Sportler** **$1,24 \pm 0,10$** . Der durchschnittliche **maximale VRQ** der **Gesunden Sportler** liegt bei **$1,33 \pm 0,10$** . Bis zur Mitte der 2. Erholungsminute steigt der VRQ ebenso wie bei den Diabetikern auf den höchsten Wert von **$1,67 \pm 0,13$** an und fällt bis zur **5. Erholungsminute** auf einen Wert von **$1,26 \pm 0,10$** ab.

Test T2

Die Mittelwerte des **Ventilations-RQ** (VRQ) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach dem **Steady-State-Test T2** im Sitzen sind in der Abb. 31 dargestellt.

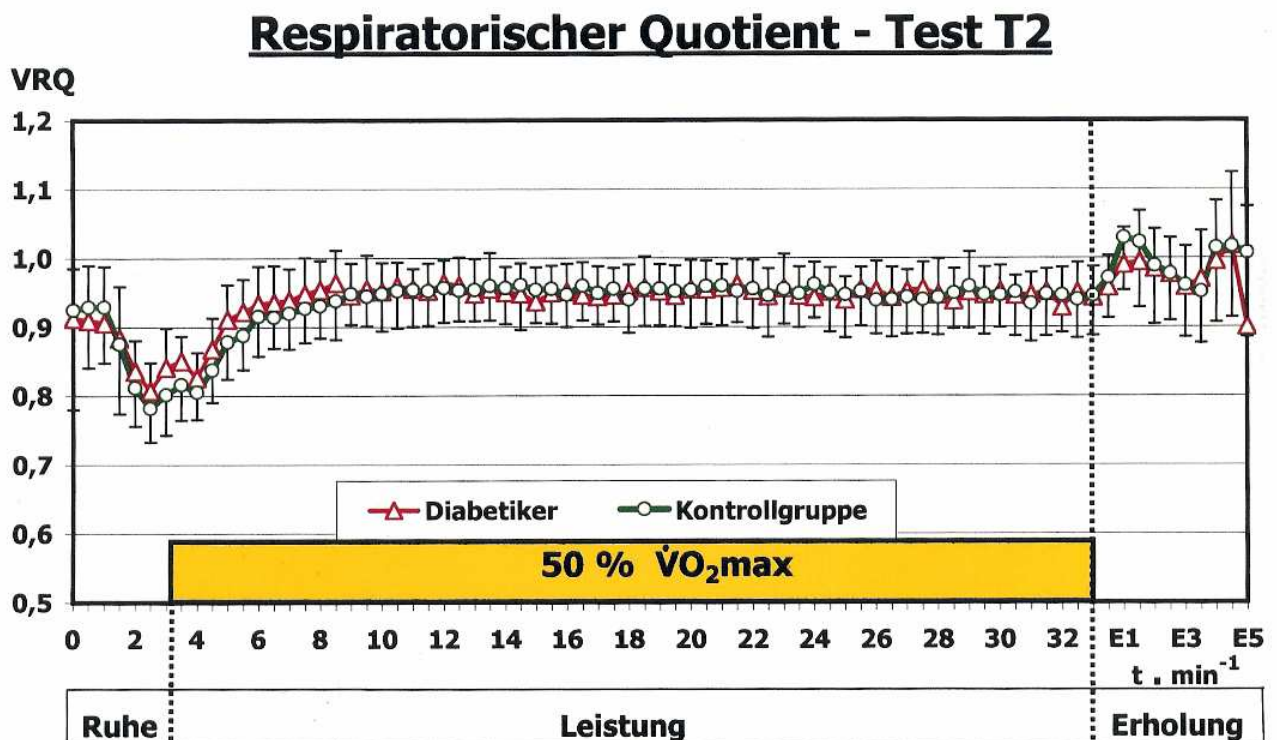


Abb. 31: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Ventilations-RQ von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.

Diabetiker:

Im Steady-State-Test zeigen die Kurvenverläufe beider Gruppen keine wesentlichen Unterschiede. Die **Diabetiker** erreichen nach einem **Vorstartwert** von **0,91 ± 0,07** **nach 30-minütiger Belastung** bei 50 % der VO₂max einen Wert von **0,94 ± 0,04**. Am **Ende** der **5-minütigen Erholungsphase** liegen die **Diabetiker** mit einem **VRQ** von **0,90 ± 0,17** deutlich unter dem Wert der Gesunden Sportler. Der durchschnittlich **höchste VRQ** über die gesamte Belastungs- und Erholungsphase liegt bei **1,01 ± 0,05**.

Gesunde Sportler:

Der **Vorstartwert** des **VRQ** der **Gesunden Sportler** vor Belastungsbeginn liegt bei **0,92 ± 0,14**. Am **Belastungsende** liegen die **Gesunden Sportler** mit einem Wert von **0,95 ± 0,06** nur knapp über dem Wert der Diabetiker. Dagegen liegt diese Gruppe mit einem Wert von **1,01 ± 0,12** am **Ende** der **Erholungsphase** deutlich über dem Wert der Diabetiker. Der durchschnittlich **höchste VRQ-Wert** der **Gesunden Sportler** ist mit **1,02 ± 0,09** fast wieder gleich wie der Wert der Diabetiker.

Test T3

Die Mittelwerte des **Ventilations-RQ** (VRQ) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach dem **Intervalltest T3** im Sitzen sind in der Abb. 32 dargestellt.

Respiratorischer Quotient - Test T3

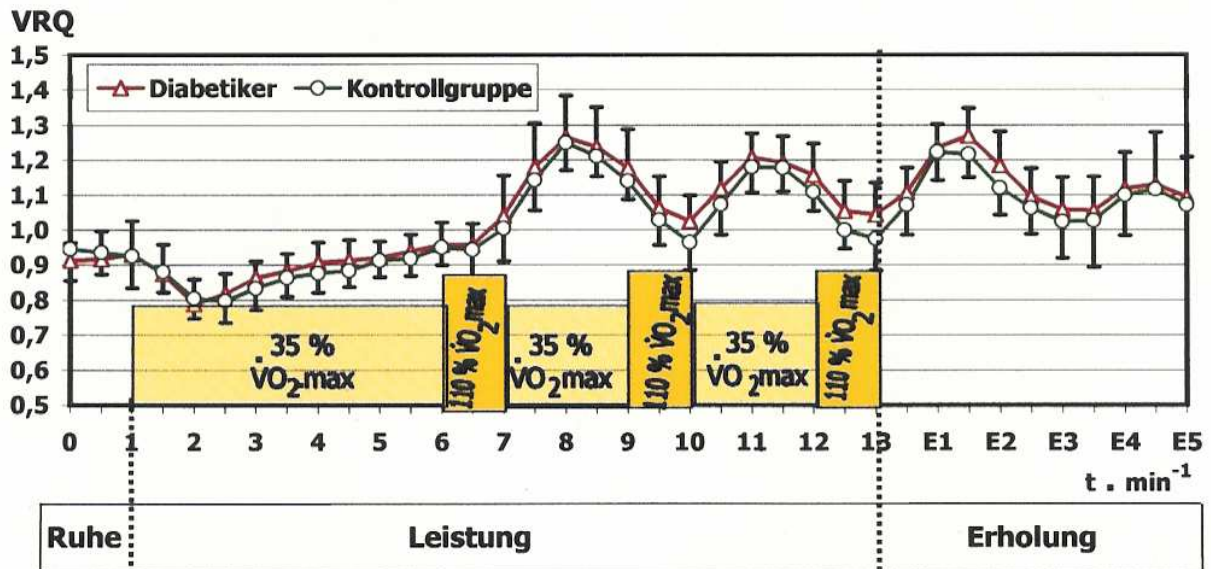


Abb. 32: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des Ventilations-RQ von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3.

Diabetiker:

Der durchschnittliche **Vorstartwert** des **VRQ** der **Diabetiker** liegt bei **0,91 \pm 0,05**. Den **höchsten VRQ-Wert** erreichen die Diabetiker in der 8. Minute **nach dem 1. Belastungsintervall** und in der **Mitte der 2. Erholungsminute**. Zu diesen Zeitpunkten steigt der **VRQ** auf **1,27 \pm 0,12** bzw. **1,27 \pm 0,08** an.

Bis zur 3. Erholungsminute sinkt der VRQ auf **1,06 \pm 0,09** ab, steigt dann bis zur Mitte der 4. Erholungsminute auf einen Wert von **1,13 \pm 0,15** wieder an. **Nach 5 Minuten Erholung** sinkt der **VRQ** der **Diabetiker** auf einen Wert von **1,09 \pm 0,11** ab.

Gesunde Sportler:

Nach einem **Vorstartwert** des **VRQ** der **Gesunden Sportler** von **0,95 ± 0,11** erreicht auch diese Gruppe in der 8. Minute **nach dem 1. Belastungsintervall** ihren **höchsten Wert** von **1,25 ± 1,0** bzw. ihren **zweit höchsten Wert** von **1,22 ± 0,09** in der **Mitte der 2. Erholungsminute**.

Ebenso wie bei den Diabetikern sinkt der VRQ dann bis auf einen Wert von **1,02 ± 0,08** ab, steigt bis zur Mitte der 4. Erholungsminute wieder auf einen Wert von **1,12 ± 0,13** an und endet **nach der 5-minütigen Erholungsphase** bei **1,07 ± 0,12**.

3.6 Maximale biologische Leistungsgrößen

In der Tabelle 9 werden zusammenfassend die durchschnittlichen **maximalen biologischen Leistungsgrößen** der **13 Diabetiker** und **12 Gesunden Sportler** aufgeführt.

Tab. 9: Maximale biologische Leistungsgrößen von Leistungssport treibenden Diabetikern und Gesunden Sportlern in der Belastungsphase einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener ½ Watt/kg KG-Methode.

Biologische Leistungsgrößen	<u>Diabetiker</u>	<u>Gesunde Sportler</u>
VK (l)	5,2 ± 0,6	5,5 ± 0,8
Gesamtarbeit (Wattmin.)	2483 ± 536	2946 ± 587
Max. rel. Wattstufe (Watt/kg KG)	3,8 ± 0,5	4,5 ± 0,4
Hf (min ⁻¹)	180 ± 13	177 ± 17
AMV (l • min ⁻¹ BTPS)	118 ± 29	141 ± 32
VO ₂ (l • min ⁻¹ STPD)	3423 ± 727	3804 ± 593
VO ₂ /kg (ml • min ⁻¹ • kg ⁻¹ STPD)	43,0 ± 8,0	50,6 ± 6,3
O ₂ -Puls (ml)	20 ± 3	22 ± 4
VRQ	1,28 ± 0,09	1,33 ± 0,10

3.7 Metabolische Funktionsgrößen

3.7.1 Glukose

Test T1

Abb. 33 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der **Blutzuckerwerte** (mg/dl) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** vor, während und nach einer **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI im **Test T1**.

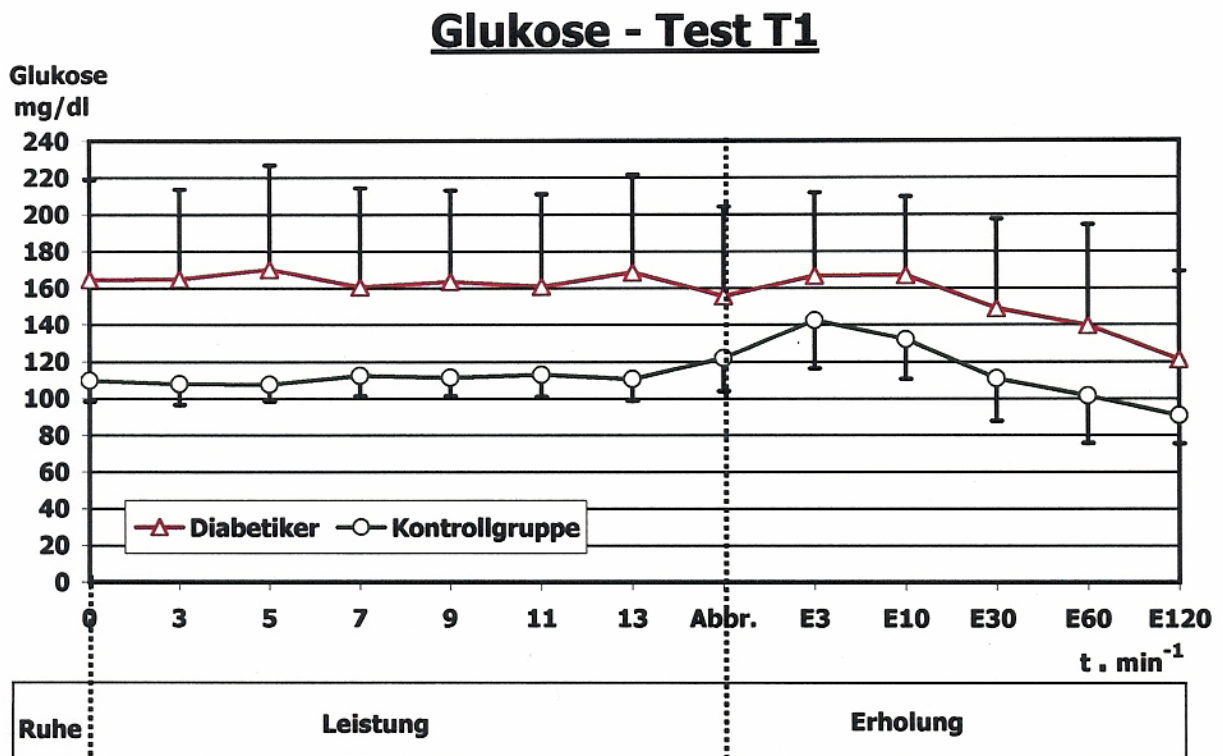


Abb. 33: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1 s$) der Blutglukose (mg/dl) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode im Test T1.

Diabetiker:

Die **Diabetiker** beginnen die Belastung ausgehend von einem **Ruhewert** des **Blutzuckerspiegels** von **165 ± 54 mg/dl**, der dann bis zur 5. Minute leicht bis auf einen Wert von **171 ± 57 mg/dl** ansteigt, um dann bis zum **Belastungsabbruch** auf einen Wert von **156 ± 48 mg/dl** abzufallen.

In den **ersten 3 Erholungsminuten** steigt der **Blutzuckerspiegel** wieder auf einen Wert von **167 ± 45 mg/dl** an und **fällt** dann in den **nächsten 2 Stunden** kontinuierlich bis auf einen Wert von **121 ± 48 mg/dl ab**.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler** haben in **Ruhe** einen durchschnittlichen **Blutzuckerspiegel** von **110 ± 12 mg/dl**, der während der Belastung relativ konstant bleibt und lediglich zum Zeitpunkt des **Belastungsabbruchs** wieder gering auf einen Wert von **122 ± 18 mg/dl** ansteigt.

In der Erholungsphase ist der Verlauf der Blutzuckerkurve ähnlich wie bei den Diabetikern. Bis zum **Ende der 3. Erholungsminute** steigt der **Blutzuckerspiegel** auf durchschnittlich **143 ± 27 mg/dl** an und **fällt** in den **anschließenden 2 Stunden** bis auf einen Wert von **91 ± 16 mg/dl ab**. Die beiden Gruppen unterscheiden sich im Belastungsverlauf hinsichtlich ihrer Blutzuckerwerte signifikant ($p < 0,05$).

Test T2

Die Verlaufskurven ($M \pm 1s$) des **Blutzuckerspiegels** (mg/dl) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** beim **Steady-State-Test T2** sind in der Abb. 34 dargestellt.

Glukose - Test T2

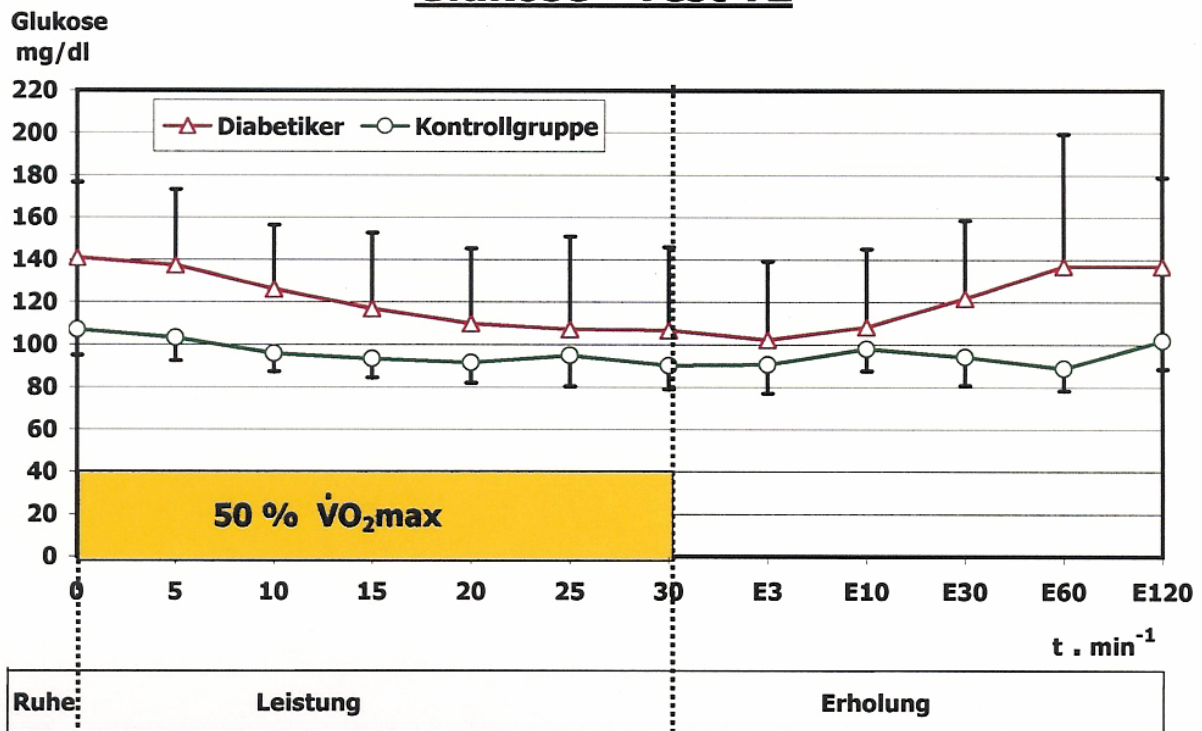


Abb. 34: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der Blutglukose (mg/dl) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.

Diabetiker:

Vor dem Steady-State-Test T2 beträgt der durchschnittliche **Ruhe-Glukosewert** der **Diabetiker 141 ± 37 mg/dl**. Bis zum **Ende der 30-minütigen Belastung** fällt der Blutzuckerspiegel bis zu einem Wert von **107 ± 39 mg/dl** ab.

2 Stunden nach Ende der Belastung ist der **Glukosewert** der **Diabetiker** bis fast zum Ausgangsniveau auf einen Wert von **137 ± 42 mg/dl** wieder angestiegen.

Gesunde Sportler:

In **Ruhe** vor Testbeginn beträgt der **Blutglukosewert** der **Gesunden Sportler** **107 ± 12 mg/dl**. **Während** der **Steady-State-Belastung** fällt der **Blutzuckerspiegel** nur leicht auf einen Wert von **90 ± 12 mg/dl** ab und bleibt auch in der Erholungsphase weitgehend konstant.

2 Stunden nach Belastungsende erreichen auch die **Gesunden Sportler** fast ihren Ausgangswert mit **102 ± 13 mg/dl**.

Beim Test T2 unterscheiden sich beide Untersuchungsgruppen im Verlauf der Blutzuckerwerte signifikant ($p < 0,05$).

Test T3

Die Verlaufskurven ($M \pm 1s$) des **Blutzuckerspiegels** (mg/dl) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** beim **Intervalltest T3** sind in Abb. 35 dargestellt.

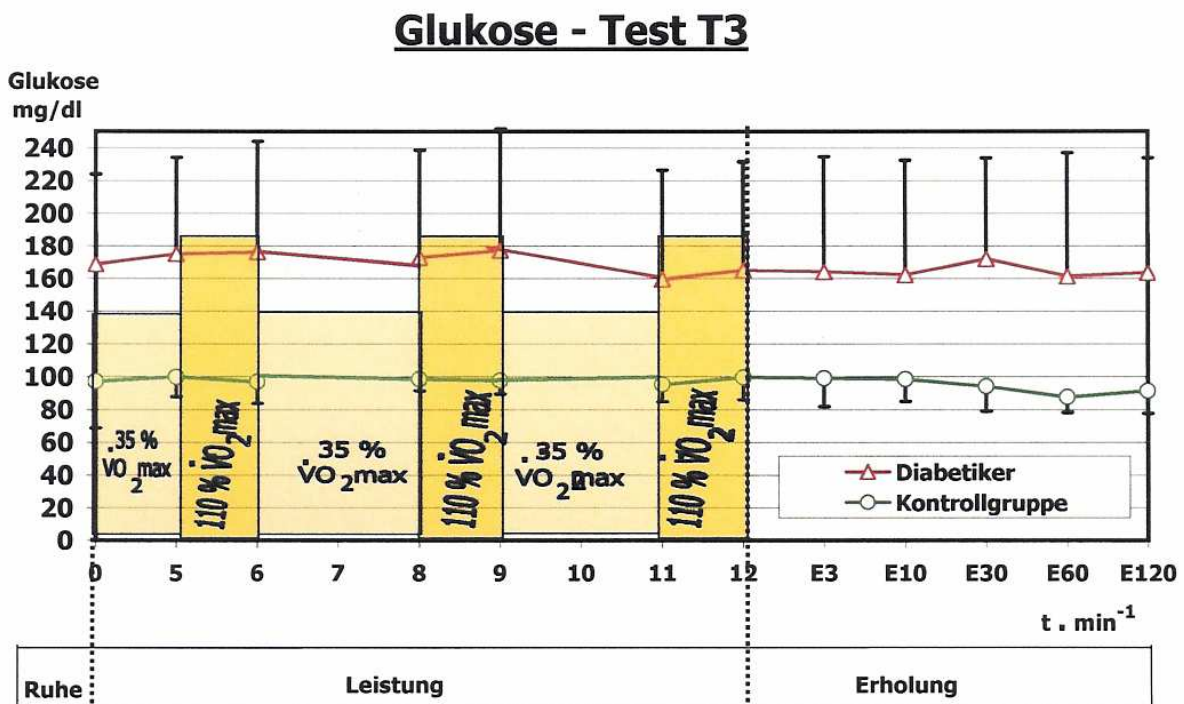


Abb. 35: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1s$) der Blutzuckerwerte (mg/dl) von Diabetikern Typ I vs. Gesunden Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.

Diabetiker:

Auch im Belastungsverlauf von Test T3 unterscheiden sich die Diabetiker mit ihrem Blutglukosespiegel sehr signifikant von dem der Gesunden Sportler ($p < 0,001$).

Vor dem Test T3 beginnen die **Diabetiker** die Belastung mit ihrem höchsten **Ausgangsbloodzucker**, der bei **169 ± 55 mg/dl** liegt. **Nach dem 2. Belastungsintervall** erreichen sie mit **178 ± 74 mg/dl** ihren höchsten Bloodzuckerwert beim Test T3. In den 2 Minuten nach dem 2. Belastungsintervall verzeichnen die Diabetiker den stärksten Abfall ihres Blutglukosewertes auf einen Wert von 160 ± 67 mg/dl. Am **Ende** der dreifachen **Intervallbelastung** liegen die **Diabetiker** mit **165 ± 66 mg/dl** im Bereich ihres Ausgangsbloodzuckerwertes.

Auch in der **Erholungsphase** gibt es keine wesentlichen Veränderungen des Bloodzuckerwertes. **2 Stunden nach der Belastung** beträgt der **Bloodzuckerwert** **164 ± 70 mg/dl**.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler beginnen ihre Belastung** mit einem durchschnittlichen Bloodzuckerwert **von 97 ± 28 mg/dl** und **beenden die Belastung** mit einem Wert von **100 ± 14 mg/dl**. Beim Test T3 verläuft die Bloodzuckerkurve der Gesunden Sportler relativ geradlinig und weist zu den entsprechenden Meßzeitpunkten keine nennenswerten Unterschiede auf.

Nach der Belastung fällt der **Bloodzuckerwert** lediglich von der **10. bis zur 60. Minute** von **99 ± 14 mg/dl** auf einen Wert von **88 ± 10 mg/dl** ab. Danach steigt er in der **folgenden Stunde** wieder leicht auf **92 ± 14 mg/dl** an.

3.7.2 Hormone

3.7.2.1 Insulin

Test T1, Test T2, Test T3

Die Abb. 36 zeigt die **mittleren** ($M \pm 1s$) **Insulinwerte** ($\mu\text{U/ml}$) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** in **Ruhe** und **30 Minuten nach Belastung** beim **Test T1, Test T2** und **Test T3**.

Erwartungsgemäß sind bei allen 3 Tests die Unterschiede zwischen den Diabetikern und Gesunden Sportlern sehr signifikant ($p < 0,001$).

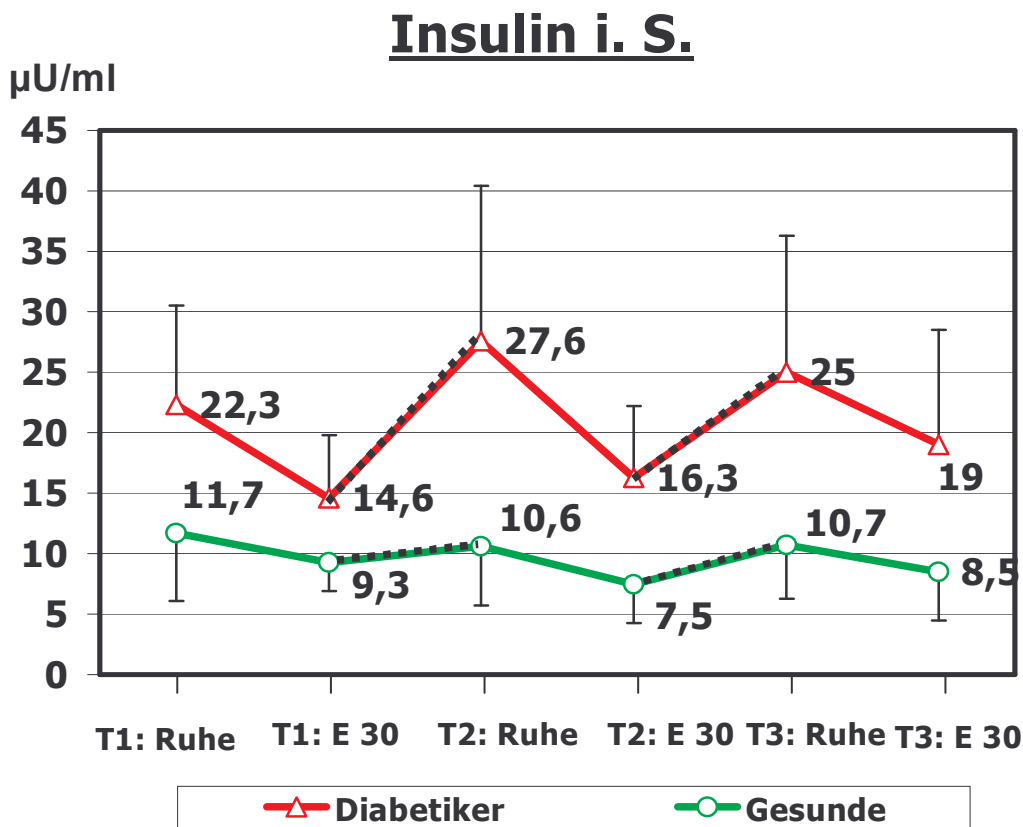


Abb. 36: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Insulins ($\mu\text{U/ml}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

Diabetiker:

Bei den 3 Belastungstests sinkt der **Insulinwert** der **Diabetiker** ausgehend von den **Ruhewerten** $22,3 \pm 8,2 \mu\text{U/ml}$ beim **Test T1**, $27,6 \pm 12,8 \mu\text{U/ml}$ beim **Test T2** und $25,0 \pm 10,8 \mu\text{U/ml}$ beim **Test T3** deutlich ab. **30 Minuten nach Belastungsende** liegt der **Insulinwert** der **Diabetiker** beim **Test T1** bei $14,6 \pm 5,0 \mu\text{U/ml}$, beim **Test T2** bei $16,3 \pm 5,9 \mu\text{U/ml}$ und beim **Test T3** bei $19 \pm 9,5 \mu\text{U/ml}$.

Gesunde Sportler:

Beim **Test T1** ($11,7 \pm 5,4 \mu\text{U/ml}$), **Test T2** ($10,6 \pm 4,9 \mu\text{U/ml}$) und **beim Test T3** ($10,7 \pm 4,2 \mu\text{U/ml}$) sind die **Ruhe-Insulinwerte der Gesunden Sportler** fast gleich. **30 Minuten nach der Belastung** fallen die **Insulinwerte** auf $9,3 \pm 2,3 \mu\text{U/ml}$ (**Test T1**), $7,5 \pm 3,1 \mu\text{U/ml}$ (**Test T2**) und $8,5 \pm 3,8 \mu\text{U/ml}$ (**Test T3**) im Gegensatz zu den Diabetikern nur leicht ab.

3.7.2.2 Glukagon

Die durchschnittlichen ($M \pm 1s$) **Glukagonwerte** (pg/ml) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** in **Ruhe** und **nach 30-minütiger Erholung** bei den **Testen T1, T2 und T3** sind in der Abb. 37 dargestellt.

pg/ml

Glukagon

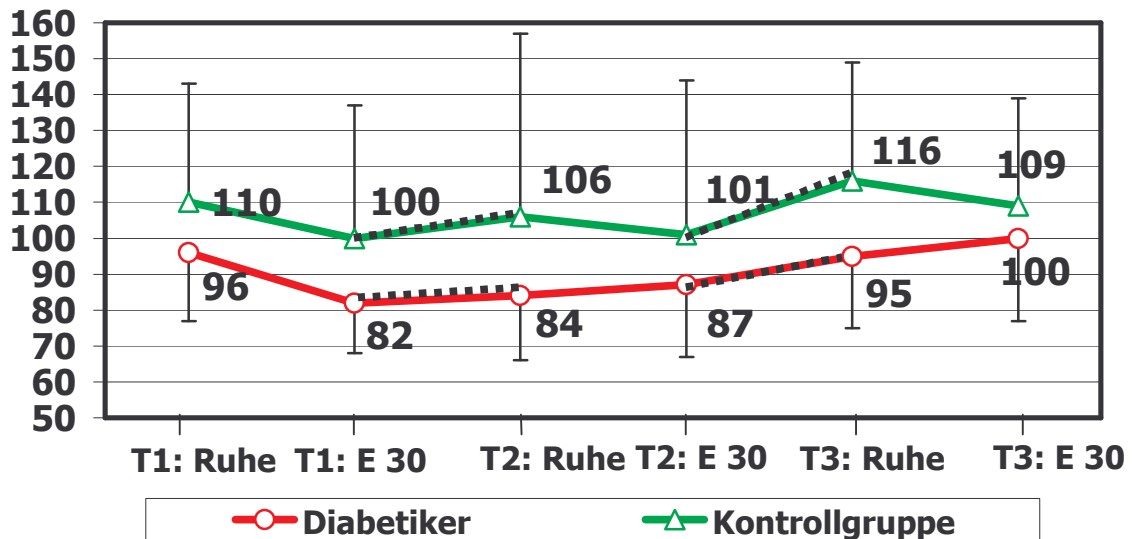


Abb. 37: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Glukagons (pg/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

Test T1

Diabetiker:

Beim **Test T1** fällt der **Glukagonwert 30 Minuten nach Beendigung der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** auf einen Wert von **82 \pm 14 pg/ml** im Vergleich zum **Ruhewert** von **96 \pm 19 pg/ml** ab.

Gesunde Sportler:

Beim **Test T1** liegen die **Gesunden Sportler** mit einem Wert von **110 ± 33 pg/ml** in **Ruhe** deutlich über dem Wert der Diabetiker. **30 Minuten nach Belastungsabbruch** beträgt **der Glukagonwert 100 ± 37 pg/ml**.

Test T2

Diabetiker:

Beim **Test T2** hingegen steigt die **Glukagonsekretion** ausgehend von einem **Ruhe-Ausgangswert** von **84 ± 18 pg/ml** auf **87 ± 20 pg/ml** nach **30-minütiger Erholung** etwas an.

Gesunde Sportler:

Der mittlere **Glukagonwert** der **Gesunden Sportler vor dem Steady-State-Test T2** liegt bei **106 ± 51 pg/ml** und fällt **nach der 30-minütigen Erholungsphase** leicht auf **101 ± 43 pg/ml** ab.

Test T3

Diabetiker:

Beim **Test T3** beträgt der **Ruhewert** der **Diabetiker 95 ± 20 pg/ml** und steigt **nach der Erholungsphase** etwas stärker als beim Test T2 auf **100 ± 23 pg/ml** an.

Gesunde Sportler:

Im Vergleich zu den Diabetikern fällt auf, dass die Glukagonwerte der Gesunden Sportler neben Test T1 und Test T2 auch beim Test T3 vom Ruhewert zum Erholungswert abfallen.

Bei den **Gesunden Sportlern** wird in **Ruhe** vor dem Intervalltest ein **Glukagonwert** von **116 ± 30 pg/ml** gemessen. Auch **nach dem Test T3** fällt der **Glukagonwert** nach Beendigung der Belastung auf einen Wert von **109 ± 30 pg/ml** ab. Hier unterscheiden sich die Gesunden Sportler mit dem unterschiedlichen Verlauf der Glukagonwerte im Vergleich zu den Diabetikern signifikant ($p < 0,05$).

3.7.2.3 Cortisol

Die durchschnittlichen ($M \pm 1s$) **Cortisolwerte** (ng/ml) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** in **Ruhe** und **nach 30-mütiger Erholung** bei den **Testen T1, T2** und **T3** sind in der Abb. 38 dargestellt.

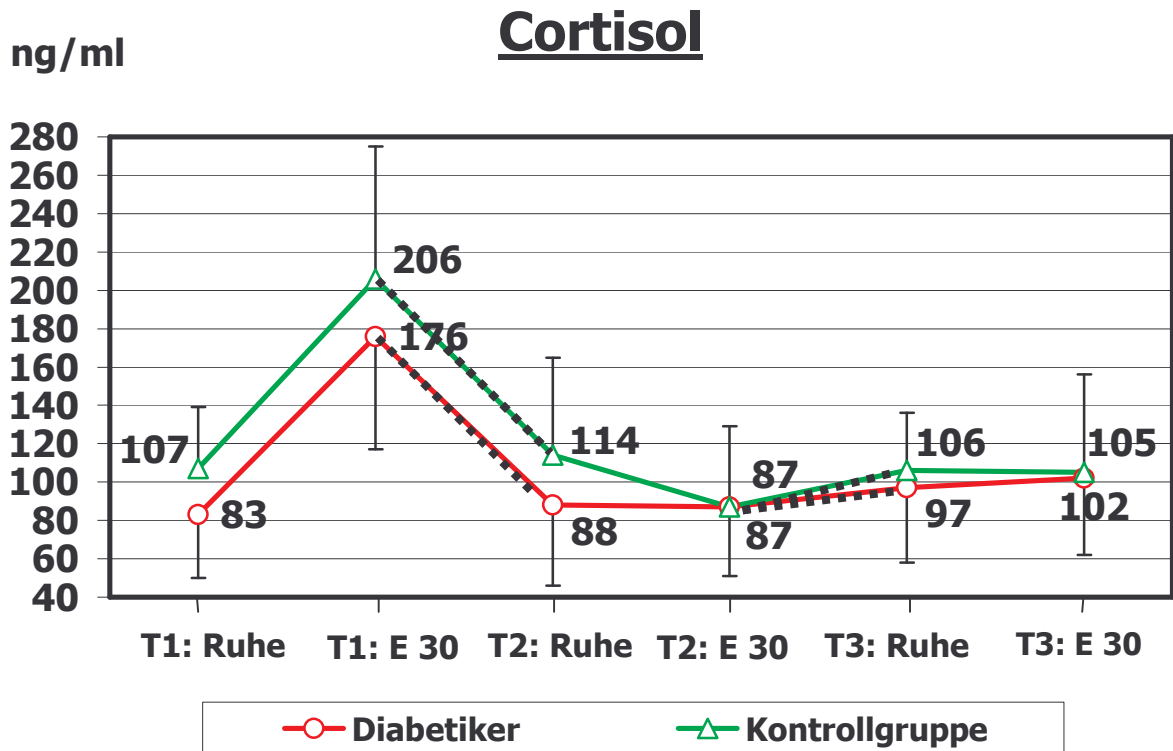


Abb. 38: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Cortisols (ng/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

Test T1

Diabetiker:

Vor der Fahrradspiroergometrie beim Test T1 wird bei den **Diabetikern** eine **Cortisolkonzentration** von $82,7 \pm 33,3$ ng/ml gemessen. Dieser Wert steigt dann bis zum Messpunkt **30 Minuten nach der Belastung** auf $176 \pm 58,8$ ng/ml an ($p < 0,001$).

Gesunde Sportler:

Bei den **Gesunden Sportlern** liegt der durchschnittliche **Cortisolwert** beim Test T1 in **Ruhe** vor Testbeginn mit **106,8 ± 32,1 ng/ml** über dem Wert der Diabetiker. Ähnlich wie bei den Diabetikern steigt dieser Wert **nach Belastung** auf **205,5 ± 69,0 ng/ml** an ($p < 0,001$).

Test T2

Diabetiker:

Vor dem Test T2 liegen die **Diabetiker** mit einer **Cortisolkonzentration** von **87,8 ± 41,8 ng/ml** deutlich unter dem Wert der Gesunden Sportler. **30 Minuten nach der Steady-State-Belastung** wird bei den **Diabetikern** ein durchschnittlicher **Cortisolwert von 87,4 ± 35,6 ng/ml** gemessen, der sich damit kaum vom Ruhewert unterscheidet.

Gesunde Sportler

Der durchschnittliche Ruhewert der Cortisolkonzentration der **Gesunden Sportler** beträgt beim Test T2 bei **114,0 ± 50,7 ng/ml**. Im Gegensatz zu den Diabetikern sinkt die Cortisolkonzentration bis zum Bestimmungszeitpunkt **30 Minuten nach der Belastung** deutlich auf einen Wert von **87,4 ± 41,7 ng/ml** ab.

Test T3

Diabetiker:

Beim Test T3 haben die **Diabetiker** einen **Vorbelastungswert** von **97,4 ± 38,5 ng/ml**, der bis zum Zeitpunkt **30 Minuten nach Belastung** auf **101,5 ± 39,9 ng/ml** ansteigt.

Gesunde Sportler:

Auch bei den **Gesunden Sportlern** ändert sich der **Cortisolwert** von einem **Ruhewert** mit $105,6 \pm 30,3$ ng/ml zum **Erholungswert** mit $104,8 \pm 51,1$ ng/ml kaum.

3.7.2.4 Wachstumshormon - STH

Die durchschnittlichen ($M \pm 1s$) **STH-Werte** ($\mu\text{g/l}$) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** in **Ruhe** und nach **30-mütiger Erholung** bei den **Testen T1, T2 und T3** sind in der Abb. 39 dargestellt.

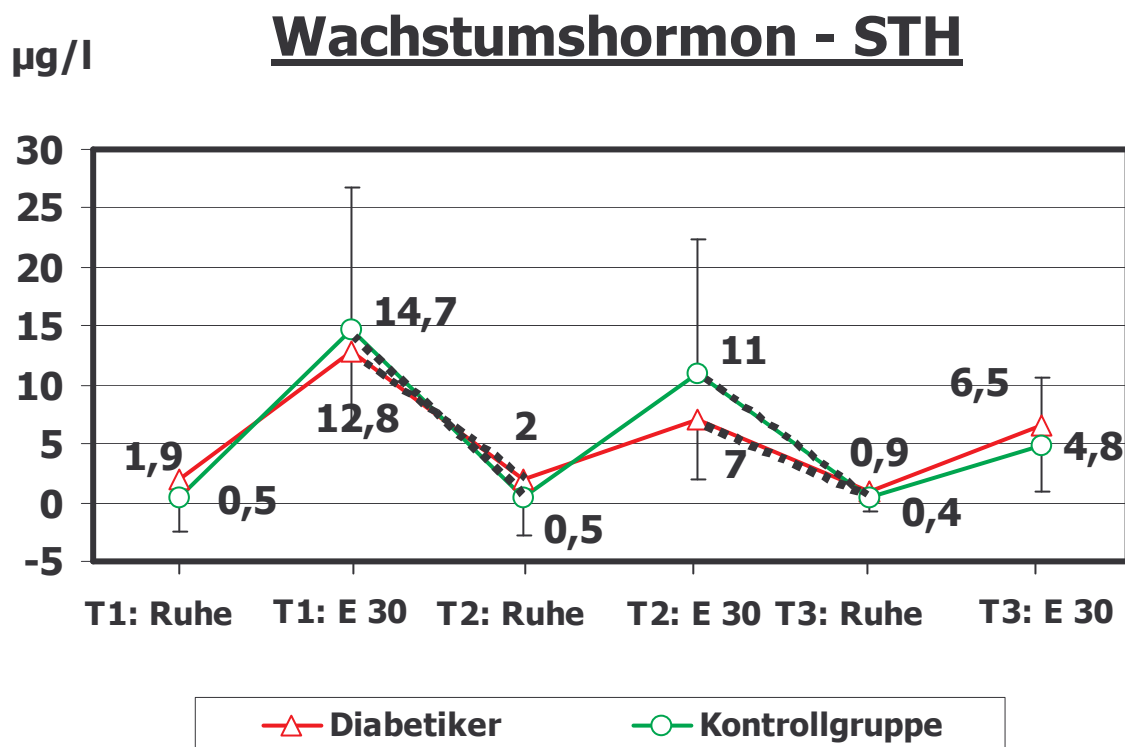


Abb. 39: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Wachstumshormons STH ($\mu\text{g/l}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

Test T1

Diabetiker:

Die durchschnittlichen **Ruhewerte** des **STH** der **Diabetiker** bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** liegen bei **1,9 ± 4,3 µg/l** und steigen bis zum Messpunkt **30 Minuten nach Belastungsende** auf eine Konzentration von **12,8 ± 6,4 µg/l** an.

Gesunde Sportler:

Die mittlere **STH-Konzentration** der **Gesunden Sportler** beim Test T1 steigt von einem **Ruhe-Ausgangswert** von **0,5 ± 0,5 µg/l** auf einen **Nachbelastungswert** von **14,7 ± 12,0 µg/l** an.

Test T2

Diabetiker:

Die STH-Ruhewerte sind nahezu identisch wie beim Test T1. Die **Diabetiker** liegen bei einem durchschnittlichen **Ruhewert** von **2,0 ± 4,8 µg/l**. **30 Minuten nach Beendigung der Belastung** steigt die **STH-Konzentration** dieser Untersuchungsgruppe auf einen Wert von **7,0 ± 5,1 µg/l** an.

Gesunde Sportler:

Mit einem mittleren **Ruhewert** des **STH** beim Test T2 von **0,5 ± 0,8 µg/l** verzeichnen die **Gesunden Sportler** den gleichen Ruhewert wie vor dem Test T1. Mit einem durchschnittlichen Wert von **11,0 ± 11,3 µg/l nach der 30-minütigen Erholung** liegen die Gesunden Sportler deutlich über dem Wert der Diabetiker.

Test T3

Diabetiker:

Beim Test T3 unterscheiden sich beide Untersuchungsgruppen weniger deutlich. Der durchschnittliche **STH-Ruhewert** der **Diabetiker** vor dem Intervalltest T3 beträgt **0,9 ± 1,6 µg/l**. **Nach der Belastung** liegt die **STH-Konzentration** bei **6,5 ± 5,6 µg/l**.

Gesunde Sportler:

Die durchschnittlichen **Ruhewerte** des **STH** der **Gesunden Sportler** liegen beim Test T3 bei **0,4 ± 0,5 µg/l**. **Nach der Belastung** steigt dieser Wert auf **4,8 ± 5,8 µg/l** an.

3.7.2.5 Adrenalin

Die durchschnittlichen ($M \pm 1s$) **Adrenalinwerte** (pg/ml) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** in **Ruhe** und **nach 30-minütiger Erholung** bei den **Testen T1, T2 und T3** sind in der Abb. 40 dargestellt.

Adrenalin

pg/ml

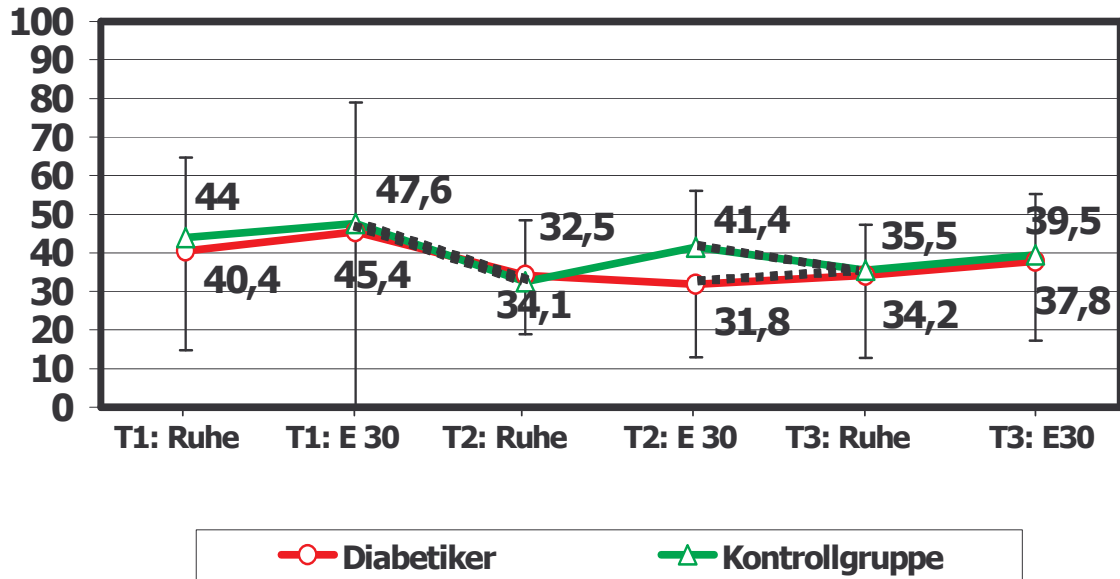


Abb. 40: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Adrenalins (pg/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

Test T1

Diabetiker:

Bei den **Diabetikern** liegt der durchschnittliche **Ruhewert** für **Adrenalin** vor der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie bei **40,4 \pm 25,7 pg/ml**. **30 Minuten nach der Fahrradspiroergometrie** steigt bei den Diabetikern der Adrenalinwert auf **45,4 \pm 43,6 pg/ml** an.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler** liegen mit einem **Ruhewert** des **Adrenalins** von **44,0 ± 20,7 pg/ml** etwas über dem Wert der Diabetiker. Dieser steigt bis zum Messzeitpunkt **30 Minuten nach Belastung** auf einen Wert von **47,6 ± 31,3 pg/ml** an.

Test T2

Diabetiker:

Die durchschnittliche **AdrenalinKonzentration** im Plasma der **Diabetiker** in **Ruhe** vor dem Test T2 ist mit **34,1 ± 15,2 pg/ml** niedriger als beim Test T1. Dieser Wert fällt **nach der Belastung** noch weiter auf **31,8 ± 18,9 pg/ml** ab.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler** liegen mit einem **Ruhewert** des **Adrenalins** vor dem Test T2 von **32,5 ± 16,0 pg/ml** etwas unter dem Wert der Diabetiker, erreichen aber mit **41,4 ± 14,7 pg/ml** **nach der Erholungsphase** einen deutlich höheren Wert als die Diabetiker.

Test T3

Beim Test T3 steigen bei beiden Gruppen die Adrenalinwerte von Ruhe zur Erholungsphase etwa gleich stark an.

Diabetiker:

Ausgehend von einem mittleren **Ruhewert** des **Adrenalins** bei den **Diabetikern** von **34,2 ± 21,7 pg/ml** vor dem Intervalltest T3 liegt der mittlere **Nachbelastungswert** bei **37,8 ± 20,5 pg/ml**.

Gesunde Sportler:

Bei den **Gesunden Sportlern** steigt die **Adrenalin**konzentration von dem durchschnittlichen **Ruhewert $35,5 \pm 11,8$ pg/ml** auf einen Wert von **$39,5 \pm 15,8$ pg/ml** nach der Intervallbelastung an.

3.7.2.6 Noradrenalin

Die durchschnittlichen ($M \pm 1s$) **Noradrenalinwerte** (pg/ml) der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** in **Ruhe** und **nach 30-minütiger Erholung** bei den **Testen T1, T2 und T3** sind in der Abb. 41 dargestellt.

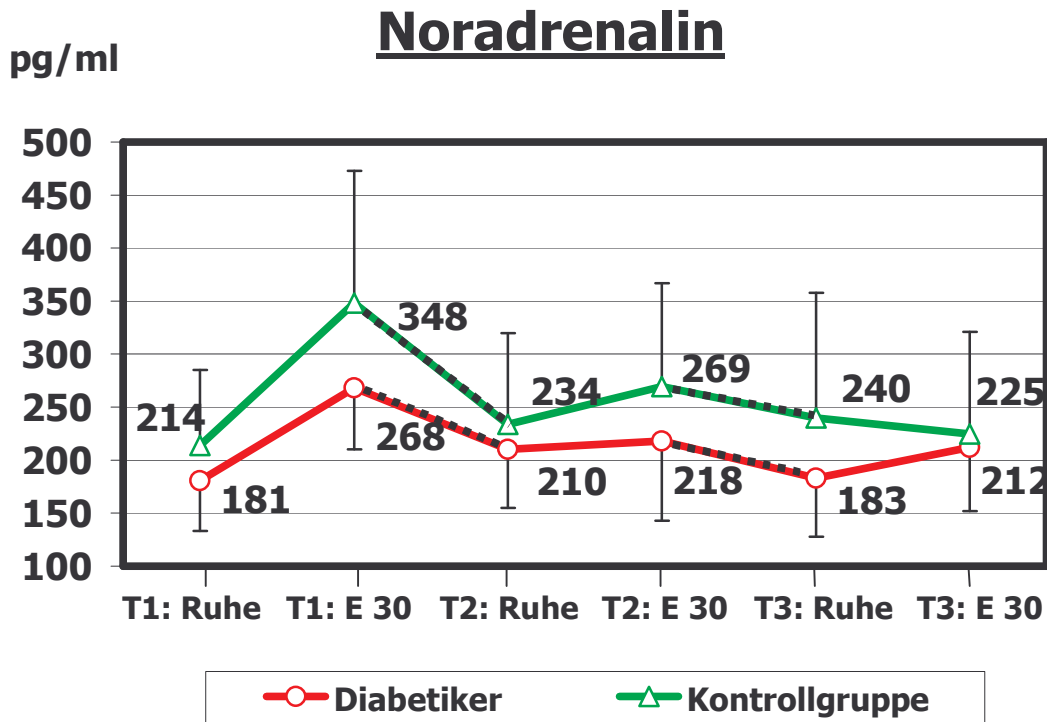


Abb. 41: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Noradrenalins (pg/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

Test T1

Diabetiker:

Der durchschnittliche Ruhewert für Noradrenalin vor der Spiroergometrie beim Test T1 liegt bei den **Diabetikern** bei **181 ± 48 pg/ml** und steigt bis zur **Nachbelastungsphase** signifikant ($p < 0,05$) auf einen Wert von **268 ± 58 pg/ml** an.

Gesunde Sportler:

Bei den **Gesunden Sportlern** wird in **Ruhe** vor der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie eine **NoradrenalinKonzentration** von **214 ± 71 pg/ml** gemessen. Sie erreichen **30 Minuten nach Belastungsende** einen **Noradrenalinwert** von **348 ± 125 pg/ml** ($p < 0,05$).

Test T2

Diabetiker:

Vor dem Steady-State-Test T2 liegt der **Ruhe-Ausgangswert** des **Noradrenalins** der **Diabetiker** bei **210 ± 55 pg/ml**. **30 Minuten nach Belastungsende** steigt er nur wenig auf **218 ± 75 pg/ml** an.

Gesunde Sportler:

Bei den **Gesunden Sportlern** wird in **Ruhe** vor dem Test T2 eine **NoradrenalinKonzentration** von **234 ± 86 pg/ml** gemessen. Mit einem Wert von **269 ± 98 pg/ml nach der 30-minütigen Erholungsphase** ist der Anstieg etwas deutlicher als bei den Diabetikern.

Test T3

Diabetiker:

Der durchschnittliche **Ruhe-Ausgangswert** des **Noradrenalins** der **Diabetiker** beim Intervalltest T3 ist mit **183 ± 55 pg/ml** fast gleich wie beim Test T1. Zum Messzeitpunkt **nach der Belastung** beim Test T3 steigt bei den **Diabetikern** die **Noradrenalinkonzentration** auf einen Wert von **212 ± 60 pg/ml** an.

Gesunde Sportler:

Mit **240 ± 118 pg/ml** erreichen die **Gesunden Sportler** beim Test T3 ihren höchsten **Ruhe-Ausgangswert** des **Noradrenalins**. Im Gegensatz zu den Diabetikern fällt bei den **Gesunden Sportlern nach der Belastung** die **Noradrenalinkonzentration** auf einen Wert von **225 ± 96 pg/ml** ab.

Dieses unterschiedliche Verhalten vom Ruhewert zum Nachbelastungswert bei beiden Gruppen ist mit $p < 0,05$ signifikant.

3.7.3 Laktat

Die durchschnittlichen **Laktatwerte** (mmol/l) und ihre Standardabweichungen der **Diabetiker** und **Gesunden Sportlern vor, während und nach der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** zeigt die Abb.42.

Laktat - Test T1

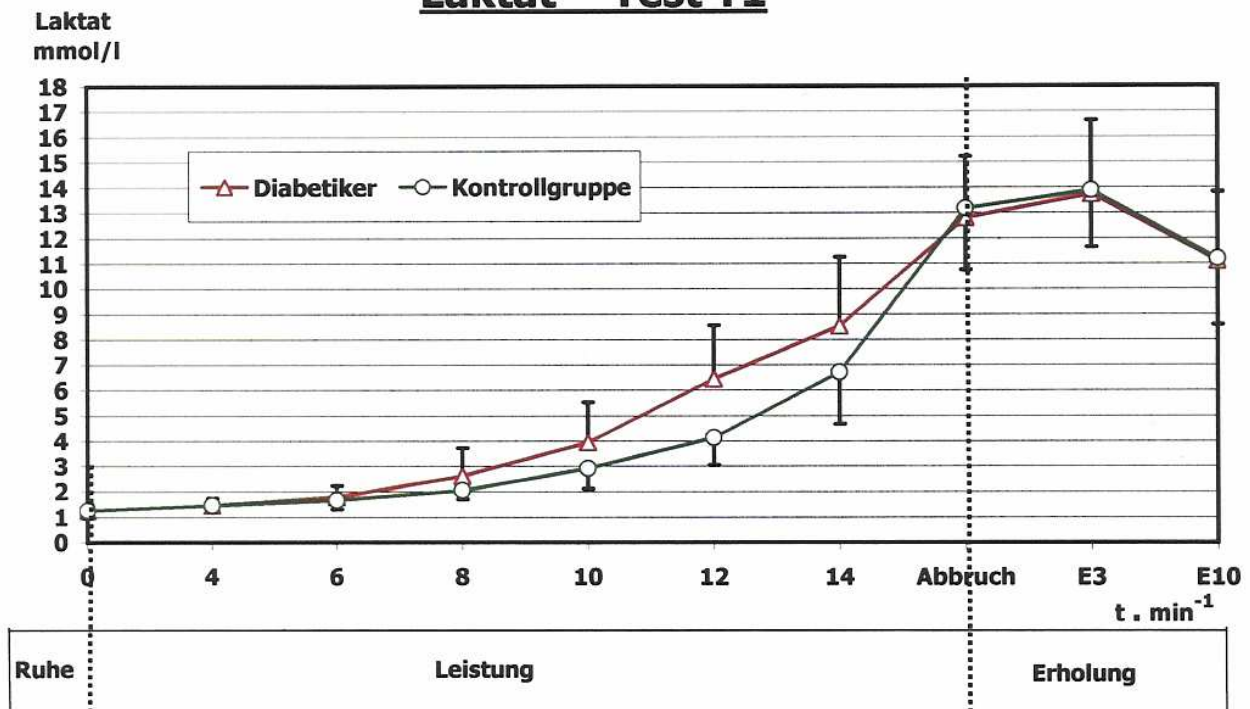


Abb. 42: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des Laktats (mmol/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode beim Test T1.

Test T1

Diabetiker:

Der **Ruhe-Ausgangswert** des **Laktats** der **Diabetiker** beträgt $1,3 \pm 0,2$ mmol/l und ist identisch mit dem Ruhewert der Gesunden Sportler. Bis zur 6. Belastungsminute steigt die Milchsäure bis auf $1,8 \pm 0,5$ mmol/l an. Im submaximalen Belastungsbereich von der 8. bis zur 14. Belastungsminute fällt auf, dass die Laktatkonzentration bei den Diabetikern schneller ansteigt als bei den Gesunden Sportlern ($p < 0,05$). In der 10., 12. und 14. Belastungsminute liegen die Laktatwerte der Diabetiker mit $4,0 \pm 1,6$ mmol/l, $6,5 \pm 2,2$ mmol/l bzw. $8,6 \pm 2,7$ mmol/l wesentlich höher als die der Gesunden Sportler. Der durchschnittliche **Laktatwert** der

Diabetiker bei **Belastungsabbruch** von **12,8 ± 2,5 mmol/l** unterscheidet sich hingegen kaum vom Wert der Gesunden Sportler zu diesem Zeitpunkt.

Bis zum Ende der 3. Erholungsminute steigt der Laktatwert bei den Diabetikern weiter auf **13,8 ± 3,6 mmol/l** an. Bis zur **10. Erholungsminute** fällt die **Laktatkonzentration** auf einen Wert von **11,1 ± 2,7 mmol/l** ab.

Gesunde Sportler:

Die **Gesunden Sportler** beginnen die Belastung mit demselben **Ruhewert** der **Laktatkonzentration** von **1,3 ± 0,3 mmol/l** wie die Diabetiker. Bis zur sechsten Belastungsminute steigt die Milchsäure bei den gesunden Sportlern ebenso, exakt wie bei den Diabetikern, auf einen Wert von **1,8 ± 0,4 mmol/l** an. Danach steigt die Laktatkurve bei den Gesunden Sportlern weniger stark an als bei den Diabetikern. In der 10. Belastungsminute wird ein Wert von **2,9 ± 0,8 mmol/l** gemessen, in der 12. Belastungsminute steigt der Wert weiter an bis auf **4,2 ± 1,1 mmol/l** und liegt auch in der 13. Belastungsminute mit **6,7 ± 2,0 mmol/l** deutlich unter dem Wert der Diabetiker zum selben Zeitpunkt. Bei **Belastungsabbruch** beträgt die **Laktatkonzentration** **13,2 ± 2,5 mmol/l**.

Bis zur **3. Erholungsminute** steigt die **Milchsäure** noch leicht bis auf einen Wert von **13,9 ± 2,3 mmol/l** an und fällt bis zur **10. Erholungsminute** weiter auf **11,2 ± 2,6 mmol/l** ab.

Test T2

Die Verlaufskurve der durchschnittlichen **Laktatwerte** und ihrer Standardabweichungen der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler vor, während** und **nach dem Steady-State-Test T2** sind in der Abb. 43 dargestellt.

Laktat - Test T2

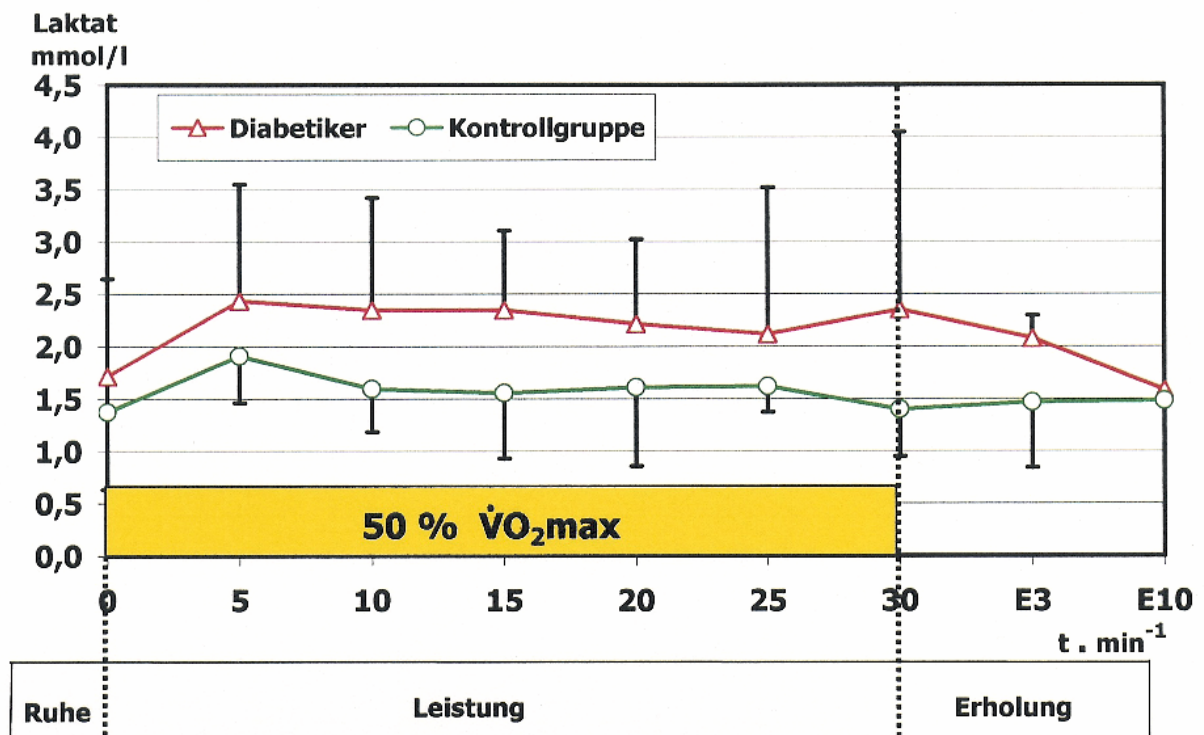


Abb. 43: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) des Laktats (mmol/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.

Diabetiker:

Waren beim Test T1 die Ausgangslaktatwerte beider Gruppen gleich, so beginnen beim Steady-State-Test T2 die **Diabetiker** die Belastung mit einem höheren **Ruhe-Ausgangswert** ($1,7 \pm 0,4$ mmol/l) als die Gesunden Sportler. In den ersten 5 Minuten steigt der Laktatwert auf $2,4 \pm 1,0$ mmol/l bei den Diabetikern an und fällt von der 10. Minute bis zur 25. Minute auf $2,1 \pm 0,8$ mmol/l ab. Während der 30-minütigen Belastung liegen die Diabetiker im Mittel um ca. 0,5 bis 1,0 mmol/l Laktat höher als die Gesunden Sportler. In den **letzten 5 Minuten der Belastung** steigt der **Laktatwert** bei den **Diabetikern** erneut leicht auf einen Wert von $2,4 \pm 1,5$ mmol/l an.

In der **10-minütigen Erholungsphase** können die **Diabetiker** ihr **Laktat** bis auf einen Wert von **$1,6 \pm 0,2$ mmol/l** abbauen. Beim Test T2 unterscheiden sich die Diabetiker mit ihren Laktatwerten signifikant ($p < 0,05$) von denen der Gesunden Sportler.

Gesunde Sportler:

Mit einem mittleren **Ausgangslaktatwert** von **$1,4 \pm 0,3$ mmol/l** liegen die **Gesunden Sportler** vor dem Test T2 nur minimal über ihrem Ausgangslaktatwert von Test T1. In den ersten 5 Minuten steigt der Laktatwert bis auf $1,9 \pm 0,7$ mmol/l an und fällt dann aber bis zum **Ende der Belastung** auf **$1,4 \pm 0,2$ mmol/l** ab. Damit entsprechen die Laktatwerte der Gesunden Sportler während des Testes T2 ihrem Ruhewert. Sie liegen damit deutlich unterhalb der aeroben 2 mmol/l Laktat-Schwelle. Die **Gesunden Sportler** beenden die **10-minütige Erholungsphase** mit einem **Laktatwert** von **$1,5 \pm 0,6$ mmol/l**.

Test T3

Die Verlaufskurven der durchschnittlichen **Laktatwerte** und ihrer Standardabweichungen der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3** sind in der Abb. 44 dargestellt.

Laktat - Test T3

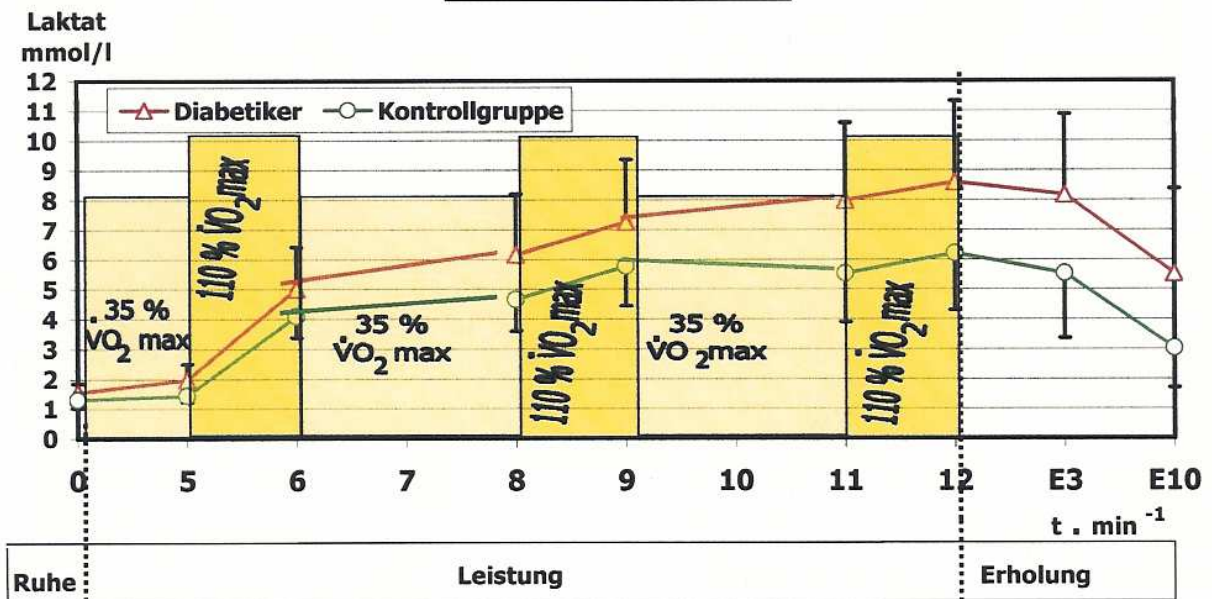


Abb. 44: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) des Laktats (mmol/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3.

Diabetiker:

Die **Diabetiker** beginnen wiederum die Belastung mit einem etwas höheren **Ruhe-Ausgangswert** des **Laktats** ($1,6 \pm 0,3$ mmol/l) als die Gesunden Sportler.

Beim Test T3 ist auffallend, dass bei den Diabetikern von Beginn der Belastung das Laktat schneller ansteigt als bei den Gesunden Sportlern. Im **1. Belastungsintervall** steigt das **Laktat** bei den **Diabetikern** von $2,0 \pm 0,5$ mmol/l auf $5,0 \pm 1,5$ mmol/l an. Im **2. Belastungsintervall** steigern die **Diabetiker** ihren **Laktatwert** von $6,2 \pm 2,1$ mmol/l auf $7,3 \pm 2,2$ mmol/l. In der Pause nach dieser Belastung steigt der Wert weiter auf $8,0 \pm 2,6$ mmol/l an. Im **3. Belastungsintervall** steigt die **Laktatkonzentration** bei den **Diabetikern** von $8,0 \pm 2,6$ mmol/l auf $8,6 \pm 2,7$ mmol/l an.

Die Unterschiede im Laktatverhalten zu den Gesunden Sportlern bleiben auch in der Erholungsphase bestehen. Nach den ersten 3 Erholungsminuten fällt die

Laktatkonzentration bei den Diabetikern leicht auf einen Wert von $8,2 \pm 2,7$ mmol/l ab und **nach 10 Minuten** sind die **Diabetiker** mit einem **Laktatwert** von **$5,5 \pm 2,9$ mmol/l** noch deutlich im Bereich einer leichten Laktatazidose. Diese liegt über der individuellen und noch zu bestimmenden aerob/anaeroben Schwelle. Auch während des Testes T3 unterscheiden sich die Diabetiker mit ihrem Laktatverhalten signifikant ($p < 0,05$) von denen der Gesunden Sportler.

Gesunde Sportler:

Vor dem Test T3 beträgt der durchschnittliche **Ruhewert** des **Laktats** der **Gesunden Sportler** **$1,3 \pm 0,3$ mmol/l**. Dieser Wert steigt im **1. Belastungsintervall** von $1,4 \pm 0,2$ mmol/l auf **$4,1 \pm 0,7$ mmol/l** an. Im **2. Belastungsintervall** steigern sie ihre Laktatkonzentration von $4,7 \pm 1,1$ mmol/l auf **$5,8 \pm 1,3$ mmol/l**. In der Pause nach dem 2. Belastungsintervall sind die Gesunden Sportler in der Lage, ihre Laktatkonzentration von $5,8 \pm 1,3$ mmol/l auf $5,5 \pm 1,6$ mmol/l etwas zu reduzieren. Mit einer Steigerung des Laktatwertes von $5,5 \pm 1,6$ mmol/l auf **$6,2 \pm 1,9$ mmol/l** im **3. Belastungsintervall** liegen die Gesunden Sportler wesentlich niedriger als die Diabetiker.

In den ersten 3 Erholungsminuten sind die **Gesunden Sportler** in der Lage, ihren Laktatwert auf $5,5 \pm 2,2$ mmol/l zu reduzieren und liegen mit einer **Laktatkonzentration** von **$3,0 \pm 1,3$ mmol/l nach 10 Minuten** schon unterhalb der von MADER 1976 festgesetzten aerob/anaeroben Schwelle von 4 mmol/l.

4. DISKUSSION

4.1 Anthropometrie – Trainings- und Stoffwechselsituation der Probanden vor der Fahrradspiroergometrie

Um einen Überblick über die **Körperkomposition** und die **Stoffwechselsituation** der Probanden zu bekommen, wurden neben den **anthropometrischen Daten** -Alter, Größe, Gewicht- auch der **Fett- und Wasseranteil (%)** und **der HbA_{1c}-Wert** bestimmt. Außerdem mußten die Probanden während ihres dreitägigen Aufenthaltes ein **Ernährungsprotokoll** führen, das anschließend in Bezug auf die **Gesamtkalorienaufnahme** pro Tag, sowie im Hinblick auf die **Anteile von Kohlenhydraten, Fett und Eiweiß** an der **Nahrungsaufnahme** ausgewertet wurde.

Der **Body-Mass-Index (BMI)** wurde mittels **bioelektrischer Impedanzanalyse** bestimmt. Mit **24,8 ± 2,1 kg/m²** bei den **Diabetikern** und **23,3 ± 1,9 kg/m²** bei den **Gesunden Sportlern** liegen beide Gruppen noch in einem **Normalbereich**, der von **20 – 25 kg/m²** angenommen wird. Von **Übergewicht** kann bei Frauen ab einem **BMI** von **27,3 kg/m²** und bei **Männern** ab **27,8 kg/m²** gesprochen werden (WILLIAMS 1997). Werte über **30 kg/m²** deuten auf eine **Adipositas** hin. Die Tab. 10 zeigt eine für Frauen und Männer gemeinsame **Klassifizierung** des Übergewichts bzw. der Adipositas nach der **Einteilung der WHO**.

Tab. 10: Klassifizierung von Übergewicht und Adipositas (WHO Report 1995).

	BMI kg/m²
Normalgewicht	18,5 - 24,9
Übergewicht	25,0 - 29,9
Adipositas Grad 1	30,0 - 34,9
Adipositas Grad 2	35,0 - 39,9
Extreme Adipositas Grad 3	> 40

Der **höhere BMI** bei den **Diabetikern** ergibt sich aus dem etwas **höheren Gewicht** von ca. **5 kg** der **Diabetiker** bei **fast gleicher Körpergröße** wie die Gesunden

Sportler. Nach der **Herz-Kreislauf-Präventions-Studie** hatten ca. **33 %** der **25-69-jährigen** Bundesbürger einen **BMI unter 24 kg/m²**, **51 %** hatten einen Body-Mass-Index von **24 – 30 kg/m²** und **16 %** hatten einen **BMI von > 30 kg/m²**. Die **Prävalenz der Adipositas** ist **altersabhängig** (Dt. Gesellschaft für Ernährung 1980). Nach CHANTELAU 2000 ist bei Patienten mit Diabetes mellitus (Typ I) Übergewicht häufiger vertreten als in der Allgemeinbevölkerung. Der Normalbereich von beiden Untersuchungsgruppen ergibt sich voraussichtlich auch aus dem durchschnittlichen wöchentlichen Trainingsaufwand von ca. 7 Stunden für beide Gruppen. Außerdem ist Übergewicht häufiger in der Gruppe der Diabetiker mit einem Diabetes mellitus vom Typ II zu finden.

Hinsichtlich des **Fettanteils** am **Gesamtkörpergewicht** liegen die **Diabetiker** mit **18,1 ± 3,9 %** ca. **3 % höher** als die **Gesunden Sportler**. Beide Gruppen liegen damit nach WILLIAMS 1997 in einem **akzeptablen Bereich**, den er von **15 – 18 % für Männer** ausweist, wobei die Gesunden Sportler an der unteren und die Diabetiker an der oberen Grenze liegen. In Bezug auf die **Grenzwerte** werden teilweise in der **Literatur** sehr **unterschiedliche Angaben** gemacht. Am häufigsten wird für **Männer** die **Grenze zur Adipositas** bei einem **Körperfettanteil** von **25 %** und für **Frauen ab 30 %** festgelegt (Tab. 11).

Tab. 11: Bewertung des prozentualen Körperfettanteils für Männer bzw. Frauen (nach WILLIAMS 1997).

Bewertung	Männer	Frauen
ausgezeichnet	6 - 10	10 - 15
gut	11 - 14	16 - 19
akzeptabel	15 - 18	20 - 25
zu hoch	19 - 24	26 - 29
adipös	> 24	> 29

Diese Angaben decken sich nicht ganz mit denen von WEINECK 2000, der bei einer **erwachsenen Frau** einen **Fettanteil** von **28 %** und beim **erwachsenen Mann** einen **Fettanteil** von **18 %** als Normalwert annimmt.

Ernährung

Hinsichtlich einer **gesunden Ernährung** liegen bei den nationalen und internationalen Fachgesellschaften relativ **eindeutige allgemeine Empfehlungen** vor. Sie empfehlen eine dem **Gewicht** und dem **individuellen Bedarf angepasste Kalorienaufnahme** mit einem **Kohlenhydratanteil von ca. 50 – 55 %**, einem **Eiweißanteil von 10 – 15 %** und einem **Fettanteil von 30 – 35 %** an der Nahrung.

Zwischen dem Ernährungsverhalten von Typ-I-Diabetikern und der Gesamtbevölkerung ergeben sich diesbezüglich wenige Unterschiede (TOELLER et al. 1996).

In der vorliegenden Untersuchung sind ebenso **keine großen Unterschiede** im **Ernährungsverhalten der Diabetiker** im Vergleich zu den **Gesunden Sportlern** auszumachen. Mit ihren Werten zur anteiligen Nahrungsaufnahme von Kohlenhydraten, Fett und Eiweiß **liegen beide Gruppen im Rahmen der allgemeinen Empfehlungen**.

Im Gegensatz zu diesen allgemeinen Empfehlungen gibt NEUMANN 1996 folgende Empfehlungen zur **Basisernährung für Leistungssportler: Kohlenhydrate 55 - 60 %, Eiweiß 10 – 15 % und Fett 25 - 30 %**. Gemessen an diesen Empfehlungen liegen die **Diabetiker** mit einem **Kohlenhydratanteil von $46 \pm 4 \%$** und die **Gesunden Sportler** mit **$48 \pm 7 \%$ deutlich unter** diesen Empfehlungen für Leistungssportler. Mit einem **Fettanteil von $33 \pm 4 \%$** bei den **Diabetikern** und **$35,8 \pm 6 \%$** bei den **Gesunden Sportlern** nehmen beide Gruppen in Bezug auf diese Empfehlungen **täglich etwas zu viel Fett zu sich**, das demzufolge im täglichen Speiseplan etwas reduziert werden sollte.

Das regelmäßige sportliche Training der Sportler trägt u.a. mit dazu bei, den Körperfettanteil und BMI in den empfohlenen Grenzen zu halten. Bei den Diabetikern bietet sich dadurch die Chance, neben den drohenden Spätfolgen aufgrund ihrer diabetischen Erkrankung, auch die Entstehung degenerativer Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu vermeiden.

HbA_{1c}-Wert - Stoffwechseleinstellung

Glykierte Hämoglobine entstehen durch Anlagerung von Glukose an Hämoglobin und sind eine Reihe von **chemisch unterschiedlichen Hämoglobinen**. Die **Hauptkomponente** dieser glykierten Hämoglobine ist das **HbA_{1c}** (BERGER 2000).

Der **HbA_{1c}-Spiegel** gibt nach der Erstdiagnose eines Diabetes mellitus einen **Anhalt über das Ausmaß der Stoffwechselentgleisung** im Rahmen der **letzten 6 bis 8 Wochen**. Das HbA_{1c} spiegelt indirekt **den durchschnittlichen Blutzuckerwert** dieser Zeit wieder. Der Anteil des HbA_{1c} am gesamten HbA ist proportional zum zeitlichen Mittelwert der vorherrschenden Blutglukosekonzentration während der 6 bis 8 Wochen vor der Messung (SCHMEISSL 1997; CLEMENS u. Mitarb. 1999; HEINEMANN u. Mitarb. 2000). Die **Messung der glykierten Hämoglobine** ermöglicht dem behandelnden Arzt und den Patienten eine **Langzeitkontrolle** der **Qualität der Stoffwechselkontrolle** und ist somit die **Ergänzung zur täglichen Selbstkontrolle** durch den **Patienten**. Die Höhe des HbA_{1c} differiert in Abhängigkeit von der angewandten Messmethode. Aus diesem Grund unterscheiden sich die angegebenen Richtwerte für den HbA_{1c} in der Literatur. KNICK, B., KNICK, J. 1985 empfehlen, dass der HbA_{1c}-Wert möglichst nicht die obere Grenze des Normbereichs um mehr als 1 % überschreiten soll. Nach HEINEMANN u. Mitarb. 2000 entspricht eine Änderung des HbA_{1c}-Wertes um 1 % einer Änderung der mittleren Blutglukosekonzentration um 36 mg/dl. Solche Algorithmen gelten jedoch nur für die Methode, mit der sie erstellt wurden.

Von der **European IDDM Policy Group 1993** wurden folgende **Empfehlungen** herausgegeben:

Tab. 12: Empfehlungen der Blutzuckerwerte und des HbA_{1c} nach der **European IDDM Policy Group 1993 (modifiziert übernommen aus CLEMENS u. Mitarb. 1999).**

	gut eingestellt	grenzwertig eingestellt	schlecht eingestellt
Nüchtern- Blutzucker	80 - 110 mg/dl	111 - 140 mg/dl	> 140 mg/dl
Postprandialer Blutzucker	100 - 145 mg/dl	146 - 180 mg/dl	> 180 mg/dl
HbA _{1c}	< 6,5 %	6,5 - 7,5 %	> 7,5 %

SCHMEISL 1997 unterteilt die Bereiche der HbA_{1c}-Werte etwas anders (Tab. 13).

Tab. 13: Einstellungskriterien der HbA_{1c}-Werte nach SCHMEISL 1997.

Einstellungskriterien	HbA_{1c}
Normalbereich (Nichtdiabetiker)	4,0 - 6,4 %
sehr gute Einstellung	bis ca. 6,5 %
gute bis befriedigende Einstellung	6,5 - 8,0 %
schlechte Einstellung	8,0 - 12 %
dekompensiert (miserabel)	12 - 14 %

Die **Gesunden Sportler** liegen mit einem **HbA_{1c}-Wert** von **5,5 ± 0,4 %** im Bereich von gesunden Normalpersonen. Die **Diabetiker** sind mit einem durchschnittlichen **HbA_{1c}-Wert** von **6,7 ± 0,9 % gut bis befriedigend eingestellt**. Dabei stellt sich die Frage, ob diese relativ gute Einstellung ein Ergebnis des sportlichen Trainings ist.

In der Literatur wird die Frage, ob man den **HbA_{1c}-Wert bei Diabetikern** durch **sportliches Training positiv beeinflussen** kann, **kontrovers** diskutiert. Es gibt diverse Untersuchungen, die **eine Verbesserung des HbA_{1c}-Wertes in Verbindung mit sportlichem Training** sehen, andere wiederum konnten **nach einem Training keine Verbesserung des HbA_{1c}-Wertes** feststellen. ERIKSSON 1999 verglich 12 verschiedene neuere Untersuchungen mit Typ-II-Diabetikern im Zeitraum von 1991 – 1997 im Hinblick auf positive Reaktionen von körperlichem Training auf den HbA_{1c}-Wert. Dabei konnte bei 7 Untersuchungen eine Senkung des HbA_{1c}-Wertes durch Training nachgewiesen werden. ERIKSSON selber empfiehlt Typ-II-Diabetikern u.a. zur Verbesserung und Stabilisierung der Stoffwechseleinstellung, gemessen am HbA_{1c}-Wert, aerobes Ausdauertraining in Verbindung mit einem leichten Krafttraining. Auch MOSHER et al. 1998 schreiben einem körperlichen Training im Hinblick auf den HbA_{1c}-Wert einen positiven Einfluss zu. Schon 1939 zeigte KATSCH, dass ein körperliches Ausdauertraining bei Typ-I-Diabetikern mit befriedigender Stoffwechseleinstellung zu einer Senkung der Blutglukose führt.

Dagegen stehen Ergebnisse von DEICKERT 1991, der nach der Durchführung von verschiedenen Sportprogrammen keine Veränderungen im HbA_{1c}-Wert feststellen

konnte. Auch **länger zurückliegende Untersuchungen** von ZINMAN et al. 1984; LANDT et al. 1985; WALLBERG-HENRIKSSON et al. 1986 und RICHTER, GALBO 1986 mit Diabetikersportgruppen ergaben **keine signifikanten Verbesserungen der Stoffwechseleinstellung**. BERGER 1988; GUDAT, BERGER 1992; AMERICAN COLLEGE OF SPORTSMEDICINE 1997; WILMORE, COSTILL 1999 und PEIRCE 1999 sind der Meinung, dass Bewegung bei Typ-I-Diabetikern nicht als gezieltes Therapeutikum zur Blutzuckerregulation und Blutzuckereinstellung anzusehen ist. WEYER 2000 kommt zu der Auffassung, das **körperliches Training** bei ausreichend insuliniierten Typ-I-Diabetikern zu **keiner Verbesserung der Stoffwechselkontrolle**, gemessen an einem Abfall des glykosilierten Hämoglobins, führt. Auch WASSERMAN, ZINMAN 1994 meinen, dass Befunde fehlen, die den positiven Einfluss von sportlicher Betätigung auf den Stoffwechsel beweisen.

In Bezug auf die vorliegende Untersuchung könnte die **gute Stoffwechseleinstellung** der Diabetiker auf der einen Seite an dem **regelmäßig** (ca. 7 Stunden pro Woche) **durchgeführten körperlichen Training** liegen. Auf der anderen Seite könnte jedoch die **gute Compliance** der **Sport treibenden Diabetiker** zu einer **guten Stoffwechselsituation** beitragen. Zum einen sind die Diabetiker in der Lage, absolut **selbstständig** die **notwendigen Insulinsubstitutionen** je nach Bedarf und Situation ohne Hilfe von Dritten durchzuführen und bedürfen in dieser Hinsicht keiner Betreuung. Auch ist davon auszugehen, dass durch das regelmäßige körperliche Training die **Körperwahrnehmung** und das **Körperbewusstsein** der Probanden entsprechend geschult sind, so dass sie in der Lage sind, körperliche Veränderungen wahrzunehmen und sofort entsprechend darauf zu reagieren. Bedingt durch ihr sportliches Training und die durchgeführten Wettkämpfe, zu festen als auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten, sind die Probanden mehr oder weniger gezwungen, auf die eigene Stoffwechselsituation zu achten und je nach Situation entsprechend zu reagieren.

4.2 Körperliche Leistungsfähigkeit

Die **physikalische Leistungsmessung** hat sich zur **Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit** von Athleten als **sichere Methode** bewährt (KNIPPING 1938; NOWACKI 1974, 1975, 1977, 1978; MELLEROWICZ 1979; NOWACKI 1981, 1984).

International durchgesetzt haben sich als **leistungsdiagnostische Parameter** der **körperlichen Leistungsfähigkeit** die **Gesamtarbeit in Wattminuten**, die **maximale Wattstufe (physikalische Leistung in Watt)**, die **relative maximale Wattstufe (physikalische Leistung in Watt/kg KG)** und die **Belastungszeit in Minuten/Sekunden** unter der Voraussetzung eines **standardisierten Belastungsverfahrens** (MELLEROWICZ 1979; ROST, HOLLMANN, HECK, LIESEN, MADER 1982; ÅSTRAND, RODAHL 1986; NOWACKI 1987).

Die **fahrradspiroergometrische Belastung im Sitzen auf standardisierter Basis** nach einem **gewichtsbezogenen Belastungsschema nach der ½ Watt/kg KG-Methode** (Gießener Modell nach NOWACKI 1975, 1981, 1985, 1987) hat sich u.a. seit längerer Zeit für eine **Beurteilung der Leistungsfähigkeit** sowohl bei Sportlern als auch bei untrainierten Personen bewährt.

Ältere Untersuchungen (MAIDORN 1973; MAIDORN u. Mitarb. 1974; LAUBE, PFEIFFER 1977; SILLS, CERNY 1983; POORTMANS 1986) als auch vielfältige neuere Untersuchungen (RAMIRES et al. 1993; REGENSTEINER et al. 1995; BOTTINI et al. 1995; ESTACIO et al. 1996; VEVES et al. 1997; ESTACIO et al. 1998; MAY et al. 2000; KUNITOMI et al. 2000; POIRIER et al. 2000) weisen auf eine **reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit bei Diabetikern** im Vergleich zu gesunden Normalpersonen hin. Nach der in Kap. 2.3.2.1 vorgestellten Tab. 3 zur Differenzierung des Trainingszustandes liegen die **Diabetiker** in der vorliegenden Untersuchung mit einer maximalen relativen Leistung von **3,8 ± 0,5 W/kg KG** im Übergang vom sehr gut trainierten zum Hochleistungsbereich, die **Gesunden Sportler mit 4,5 ± 0,4 W/kg KG** im Hochleistungsbereich, womit sich beide Gruppen zwar sehr signifikant unterscheiden ($p < 0,01$), aber einen **überdurchschnittlich guten Trainingszustand** haben. Auffallend ist dabei, dass die durchschnittliche wöchentliche Trainingszeit der Diabetiker noch um ½ Stunde höher liegt als die der Gesunden Sportler. McCARGAR et al. 1991 bestätigen mit ihren Untersuchungen die Ergebnisse, dass im Allgemeinen **gesunde Typ-I-Diabetiker** durch **regelmäßiges Training** ihre **Leistungsfähigkeit steigern** können.

POORTMANS et al. 1986 stellen die Hypothese auf, dass ein erhöhter HbA_{1c}-Wert positiv mit einer niedrigeren körperlichen Leistungsfähigkeit korreliert.

Bei so leistungsfähigen Sportlern wie in unseren Untersuchungen stellt sich die Frage, ob diese nicht mit dem 1 Watt/kg KG-Verfahren (nach NOWACKI) hätten besser belastet werden können. Die diabetische Erkrankung rechtfertigt jedoch die Wahl des ½ Watt/kg KG-Verfahrens, um neben den **Reaktionen des Herz-Kreislauf-Systems** auf Belastung auch die **Stoffwechselreaktionen** der Sportler mit Diabetes mellitus (Typ I) etwas differenzierter beurteilen zu können.

Bei der Gesamtarbeit in Wattminuten unterscheiden sich beide Gruppen deutlich, ebenso wie mit ihren absoluten maximal erreichten Wattstufen. ZHAO 1995 konnte bei seinen Vergleichsuntersuchungen der 5 in Deutschland am meisten praktizierten Belastungsmethoden {Hollmann-Test; BAL-Test (Bundesausschuss für Leistungssport), Knipping-Test; 0,5 und 1,0 Watt/kg KG-Methoden nach NOWACKI} nachweisen, dass die nach dem ½ Watt/kg KG-Verfahren erreichte Gesamtarbeit in Wattminuten signifikant höher war als die mit dem 1 Watt/kg KG-Verfahren ermittelte Gesamtarbeit. Mit einer über 2 Minuten längeren ($p < 0,01$) Belastungszeit als die Diabetiker demonstrieren die **Gesunden Sportler** ebenso ihre **größere Leistungsfähigkeit** gegenüber den Diabetikern. GOEBEL 1994, der nicht-trainierte Typ-I-Diabetiker im Vergleich zu Gesunden mit demselben Belastungsverfahren untersucht hat, kam zu ähnlichen Ergebnissen. Auch bei seinen experimentellen Studien lag die körperliche Leistungsfähigkeit der Diabetiker ebenfalls deutlich unter der der gesunden Untersuchungspersonen.

Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Unterschiede bezüglich der körperlichen Leistungsfähigkeit der Untersuchungsgruppen werden im Zusammenhang mit den kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Reaktionen diskutiert.

4.3.1. Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen

4.3.1 Herzfrequenz

In der sportmedizinischen Diagnostik ist die **Herzfrequenz** (Ruheherzfrequenz, maximale Herzfrequenz, Erholungs-Herzfrequenz) die **wichtigste Funktionsgröße** in Bezug auf die **Beurteilung der Leistungsfähigkeit des kardiozirkulatorischen Systems bei körperlicher Belastung** (HOLLMANN 1959; REINDELL u. Mitarb.1960; ISRAEL 1968; NOWACKI 1977; MELLEROWICZ 1979; STEGEMANN 1986; RIECKERT 1987; HOLLMANN, HETTINGER 1990; ROST 1990).

Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist abhängig von der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems. In diesem Zusammenhang ist das Verhalten der Herzfrequenz in Ruhe, bei submaximaler und maximaler Belastung sowie in der nachfolgenden Erholungsphase ein wichtiger Parameter. Gegenüber anderer leistungsdiagnostischer Funktionsgrößen hat die Messung der Herzschlagfrequenz zum Zweck der Trainingskontrolle einen großen Vorteil, da ihre Registrierung u.a. auch durch den Gebrauch und die praktische Handhabung neuerer Pulsmessgeräte ("Pulsuhren") vom Breiten- bis zum Hochleistungssport einfach, bequem, kostengünstig, schmerzfrei und sofort auswertbar ist.

Die **Ruheherzfrequenz** beim nicht sporttreibenden Erwachsenen liegt bei 60 – 80 Schlägen/min (NÖCKER 1976; HOLLMANN, HETTINGER 1990; WILMORE, COSTILL 1999; ZETKIN, SCHALDACH 1999; WEINECK 2000) und kann sich bei ausdauertrainierten Athleten bis auf 28 – 40 Schläge/min reduzieren (NÖCKER 1976; ÅSTRAND, RODAHL 1986; WILMORE, COSTILL 1999).

Mit einer durchschnittlichen **Herzfrequenz in Ruhe** vor Belastungsbeginn von **73 ± 10 min⁻¹** beim **Test T1**, von **72 ± 9 min⁻¹** beim **Test T2** und **76 ± 12 min⁻¹** beim **Test T3** liegen die **Diabetiker trotz** ihres sehr guten Trainingszustandes im Bereich von **untrainierten Normalpersonen**. Hierfür könnten der **Vorstartzustand** und die **Nervosität** seitens der Diabetiker für eine für sie ungewohnte Testsituation verantwortlich sein. Die **Gesunden Sportler** liegen mit **Ruheherzfrequenzen** vor Belastungsbeginn von **67 ± 6 min⁻¹** beim **Test T1**, **64 ± 7 min⁻¹** beim **Test T2** und **65 ± 7 min⁻¹** beim **Test T3** deutlich darunter, wobei auch bei dieser Gruppe von einer erhöhten Herzfrequenz, die mit einer verstärkten Nervosität in der Vorstartphase zu begründen ist, gegenüber "normalen" Ruhebedingungen ausgegangen werden muss.

Von daher hat die Ruheherzfrequenz nur eine bedingte Aussagekraft, da bei beiden Untersuchungsgruppen davon auszugehen ist, dass die Ruheherzfrequenz von einer vegetativen Überlagerung durch die Vorstartsituation beeinflusst worden ist (ISRAEL 1982).

Bezüglich einer **Steady-State-Belastung** werden u.a. von ÅSTRAND, RODAHL 1986 und HOLLMANN, HETTINGER 1990 für **Durchschnittspersonen** Pulsfrequenzen von **120 – 130 min⁻¹** angegeben. Bei einer Belastung von 50 % der VO₂max ordnen ÅSTRAND und RODAHL 1986 einem 25-jährigen eine Herzfrequenz von 130 min⁻¹ zu, während ein 65-jähriger Mann bei derselben Belastung eine Herzfrequenz von 110 min⁻¹ aufweist. Legt man das Diagramm von ÅSTRAND, RODAHL 1986 (Abb. 45) zugrunde, in dem die Autoren die Herzfrequenz (maximal und 50 % VO₂max) in Beziehung zum Alter setzen, liegen beide Untersuchungsgruppen in dem für ihre Altersgruppe dazugehörigen Bereich.

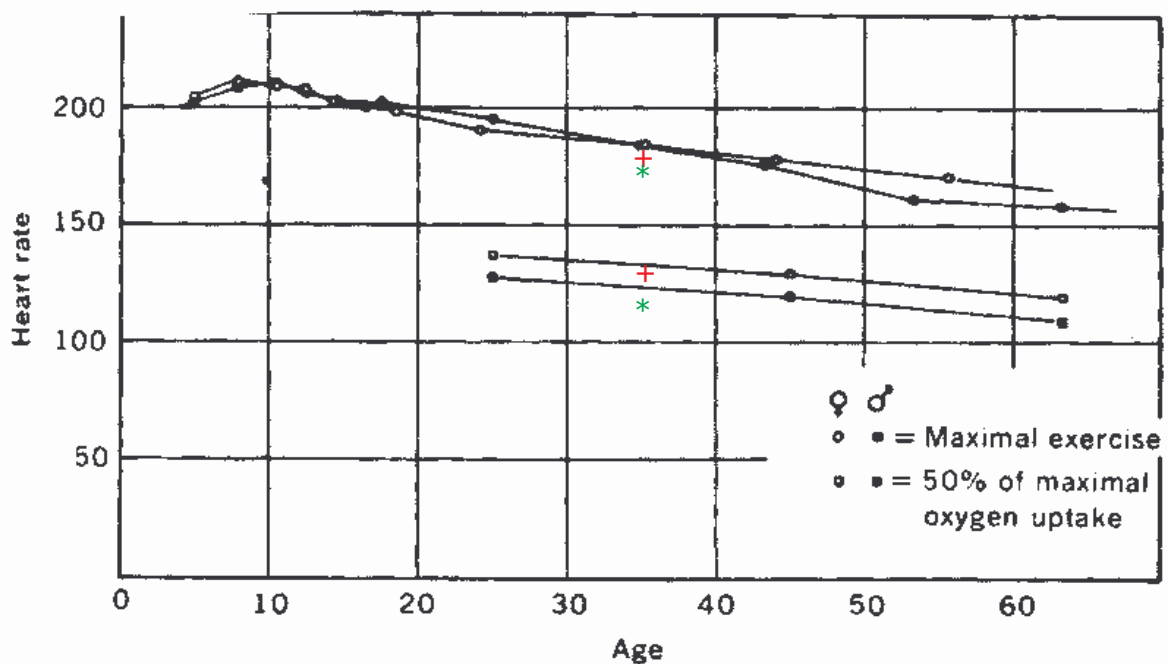


Abb. 45: Der Abfall der maximalen Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Alter und die altersabhängige Herzfrequenz während submaximaler Belastung (aus: ÅSTRAND, RODAHL 1986). Die maximalen Herzfrequenzen der Diabetiker (+) und Gesunden Sportler (*) vom Test T1 und die submaximalen Herzfrequenzen der beiden Untersuchungsgruppen vom Test T2 sind nachträglich aufgetragen.

Beim **Steady-State-Test T2** fällt auf, dass bei gleichbleibender $VO_2\text{max}$ bei beiden Untersuchungsgruppen während der 30-minütigen Belastung die Gesunden Sportler ab der 2. Hälfte der Belastung eine relativ gleichbleibende Herzfrequenz von ca. 116 min^{-1} haben und generell während der Belastung deutlich mit ihrer Herzfrequenz unter der der Diabetiker liegen, deren Herzfrequenz bis zum Belastungsende bis auf einen Wert von 125 min^{-1} ansteigt. Das entspricht bei den **Diabetikern** einem Wert von ca. **70 % ihrer maximalen Herzfrequenz** und bei den **Gesunden Sportlern** einem Wert von ca. **65 % ihrer maximalen Herzfrequenz**. Beim Test T2 kann von einer Steady-State-Belastung ausgegangen werden, da kein Proband eine höhere Herzfrequenz als 130 min^{-1} erreichte. Hinzu kommt, dass der Verlauf der $VO_2\text{max}$ (absolut und relativ) bei beiden Gruppen von Anfang bis Ende der Belastung einen **horizontalen Verlauf** zeigt und **nicht weiter ansteigt**.

In Bezug auf die **maximale Herzfrequenz** liegen beide Untersuchungsgruppen mit **$180 \pm 13 \text{ Schlägen min}^{-1}$ (Diabetiker) bzw. $177 \pm 17 \text{ Schlägen min}^{-1}$ (Gesunde Sportler)** oberhalb der von der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie empfohlenen Ausbelastungskriterien, die eine maximale Herzfrequenz altersabhängig zwischen 170 und $190 \text{ Schlägen min}^{-1}$ definiert. Für den Altersbereich der 30 – 40-jährigen werden Frequenzbereiche für die maximale Herzfrequenz von über 160 min^{-1} empfohlen. **Herzfrequenzen**, die **unter 160 min^{-1}** liegen, deuten nicht auf eine kardiozirkulatorische Ausbelastung hin (MELLEROWICZ 1979). Damit kann für die vorliegende Untersuchung von einer **Ausbelastung der Probanden** ausgegangen werden. Mit ihrer maximalen Herzfrequenz unterscheiden sich beide Untersuchungsgruppen kaum. Jedoch liegen auch beim Test T1 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie die Diabetiker mit ihrer Herzschlagfrequenz deutlich über den Werten der Gesunden Sportler.

Als **Beurteilungskriterium** der **kardiozirkulatorischen Erholungszeit** nach maximaler Ausbelastung haben sich folgende **Richtwerte** für **Sportler** nach NOWACKI 1975, 1977, 1987, 1992 bewährt:

Tab. 14: Beurteilung der 5-Minuten-Erholungsfrequenz nach maximaler Belastung (Empfehlungen von NOWACKI 1975).

Herzfrequenz / min	Beurteilung
unter 100	Hochleistung
100 - 105	sehr gut
106 - 110	gut
111 - 120	befriedigend
121 - 130	ausreichend
über 130	schlecht

MELLEROWICZ 1979 beschreibt, dass bei einem gut Trainierten nach maximaler Ausbelastung die Pulsberuhigung schneller eintritt als bei einem schlechter Trainierten.

Mit einem durchschnittlichen Abfall der Herzfrequenz bis zur **5. Erholungsminute** werden die **Diabetiker** mit einem Wert von **105 ± 15 min⁻¹** nach dem Verfahren von NOWACKI als **sehr gut** eingestuft und die **Gesunden Sportler** mit einer Herzfrequenz nach 5-minütiger Erholung **von 98 ± 16 min⁻¹ im Hochleistungsbereich** angesiedelt. Auffallend nach dem **Intervalltest T3** ist, dass die **Erholungsherzfrequenzen** beider Gruppen sich **nach 5 Minuten noch deutlicher unterscheiden**. Hier liegen **die Diabetiker bei 93 ± 11 min⁻¹** und **die Gesunden Sportler bei 78 ± 13 min⁻¹**. Beim **Intervalltest T3**, bei dem sich beide Gruppen bezüglich des Verhaltens der Herzfrequenz signifikant ($p < 0,05$) unterscheiden, ist weiterhin auffallend, dass sich die **Diabetiker** auch in den **Intervallpausen langsamer erholen** als die **Gesunden Sportler**.

Bezüglich der höheren Herzfrequenz der Diabetiker in allen 3 Belastungstests im Vergleich zu den Gesunden Sportlern stellt sich im Allgemeinen die Frage, warum es bei den Diabetikern trotz einer sehr guten maximalen Leistungsfähigkeit zu diesen höheren Herzfrequenzen kommt.

Dabei ist nach WEYER 2000 beim Typ-I-Diabetiker vor allem die **gestörte hormonelle** Regulation bei akuter Muskelarbeit von klinischer Relevanz, wobei jedoch bei bestehenden diabetischen Folgeerkrankungen (autonome Neuropathie) auch die kardio-vaskulären Regulationsmechanismen in relevantem Maße gestört sein können. Nach seiner Meinung können die **kardiorespiratorischen**

Anpassungsmechanismen sowohl durch **neuropathische** als auch durch **makrovaskuläre Komplikationen** erheblich gestört sein. So kann es bei **bestehender autonomer Neuropathie** zur **Dysregulation** der **Herzfrequenz** kommen oder bei **peripherer Neuropathie** zu einer **Einschränkung** der **peripheren Durchblutungsumverteilung**. Da bei den teilnehmenden Diabetikern weder eine autonome Neuropathie bekannt war, noch in der klinischen Voruntersuchung festgestellt wurde, ist nachzufragen, ob dieser Mechanismus für diese Untersuchungsgruppe in Frage kommt. RICHTER et al. 1981 kommen zu der Auffassung, dass es eine **hohe Inzidenz** von **nicht diagnostizierten latenten kardiovaskulären Komplikationen** gibt. Da die Gruppe der teilnehmenden Diabetiker ihre Krankheit im Durchschnitt schon 15 Jahre hat, könnte dies auch auf unsere Diabetiker zutreffen. Die erhöhten Herzfrequenzen im Vergleich zur Kontrollgruppe könnten durch eine vielleicht noch nicht bekannte, latente, kardiale autonome diabetische Neuropathie erklärt werden, was jedoch noch durch weitere Untersuchungen abgeklärt werden müsste. Dafür sprechen könnte ebenfalls, dass nach HOFMANN 1999 die **Symptome** der **autonomen diabetischen kardiovaskulären Neuropathie** **kaum** zu **wesentlichen Beeinträchtigungen** der **Lebensqualität** führen und deshalb nur **selten von Patienten geschildert werden**. Durch die bekannten Effekte von regelmäßigem sportlichem Training könnten solche Symptome überlagert werden und nicht wahrgenommen werden. Auch ZINMAN et al. 1977 und McMILLAN 1979 fanden am Ende einer submaximalen Belastung höhere Herzfrequenzen bei Diabetikern im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe. NUGENT et al. 1997 dagegen stellten bei ihren Untersuchungen mit Typ-I-Diabetikern (bis zur Erschöpfung ansteigende Belastung und Steady-State-Test) keine Einschränkung der maximalen Leistungsfähigkeit und der kardialen Funktionen bei den Diabetikern im Vergleich zu der gesunden Kontrollgruppe fest und bezweifeln das Vorhandensein einer spezifischen diabetischen Kardiomyopathie.

Gegen eine noch nicht augenscheinliche Kardiomyopathie spricht jedoch die generell hohe Leistungsfähigkeit der Diabetiker. Auch könnten noch andere Gründe, wie z.B. die ebenfalls höheren Laktatwerte für die höheren Herzfrequenzen der Diabetiker im Vergleich zur Kontrollgruppe verantwortlich sein. Nach NÖCKER 1976 ist ein Teil der sauren Stoffwechselzwischenprodukte, insbesondere die **Milchsäure**, für die **Höhe der Pulsfrequenz** von **ausschlaggebender Bedeutung**. Dadurch, dass das freigesetzte Laktat von der Leber zur Glukoneogenese herangezogen wird und die

resynthetisierte Glukose der arbeitenden Muskulatur angeboten wird, kann auch die Herzfrequenz bei den Diabetikern erhöht sein. Da bei den Diabetikern die Glykogenreserven in der Leber und Skelettmuskulatur vermindert sind, ist der Organismus bestrebt, das Laktat zu Glukose und Glykogen zu resynthetisieren.

4.3.2 Blutdruck

Die **Blutdruckmessung** vor, während und nach der Ergometrie erfolgt primär im Rahmen der **Gesundheitsüberwachung**, um in erster Linie eventuell auftretende hypertone Regulationsstörungen zu diagnostizieren. Dabei ist zu beachten, dass das Druckverhalten unter Belastung über die Leistungsfähigkeit einer Testperson nichts aussagt (MAIDORN 1979; ROST, HOLLMANN, HECK, LIESEN, MADER 1982).

Bei **gesunden Normalpersonen** im Alter von 20 – 40 Jahren beträgt der durchschnittliche systolische und diastolische Blutdruck **120/80 mm Hg**. Das JOINT NATIONAL COMMITTEE ON DETECTION, EVALUATION, AND TREATMENT OF HIGH BLOOD PRESSURE hat Richtlinien für die Blutdruckeinstellung erarbeitet (Tab. 15).

Tab. 15: Klassifikation des Blutdrucks für Erwachsene von 18 Jahren und älter (modifiziert übernommen aus WILMORE, COSTILL 1999).

Kategorie	systolisch (mmHG)	diastolisch (mmHG)
normal	< 130	< 85
normal bis hoch	130 - 139	85 - 89
Hochdruck	140	90
Stufe 1 (mild)	140 - 159	90 - 99
Stufe 2 (moderat)	160 - 179	100 - 109
Stufe 3 (schwerwiegend)	180 - 209	110 - 119
Stufe 4 (sehr schwerwiegend)	210	120

Bei **dynamischer Arbeit steigt der systolische Blutdruck direkt proportional zur Belastungsintensität** an, während sich der **diastolische Blutdruck** bei Ausdauerbelastungen nur **sehr wenig** verändert oder konstant bleibt (NÖCKER 1976; MELLEROWICZ 1979; FRANZ 1984; ÅSTRAND, RODAHL 1986; WILMORE, COSTILL 1999). Bei im Altersgang ansteigendem systolischem Blutdruck ist bei Trainierten eine Erniedrigung des systolischen Ruheblutdrucks festzustellen (NÖCKER 1976; MELLEROWICZ 1979). Im Allgemeinen ist das **Verhalten des systolischen/diastolischen Blutdrucks** von der **Belastungsform abhängig**. Je höher der muskuläre Krafteinsatz ist, umso stärker steigt der Blutdruck an (LÜTJOHANN, 1974; KÜCHLIN 1975; NOWACKI 1977).

Bei den Belastungstests **T1, T2 und T3** ist bei unseren Probanden in Ruhe, als auch unter Belastung ein **normotones Blutdruckverhalten** festzustellen und es können keine signifikanten Differenzen zwischen Diabetikern und Gesunden Kontrollpersonen festgestellt werden. Sowohl der **systolische Blutdruck steigt entsprechend der Belastungsintensitäten an**, als auch der **diastolische Druck bleibt relativ konstant** entsprechend der in der Literatur beschriebenen Reaktion auf dynamische Belastungen. HÜBINGER et al. 1985 beschreiben bei **Typ-I-Diabetikern** ein ähnlich **normotones Blutdruckverhalten** unter **fahrradergometrischer Belastung** von **unterschiedlicher Intensität**.

4.4 Respiratorische Leistungsfähigkeit

4.4.1 Vitalkapazität

In der Lungenfunktionsdiagnostik ist die **Vitalkapazität** die **älteste Lungenfunktionsgröße** (HUTCHINSON 1846) und erfreut sich bei der sportmedizinischen Untersuchung besonderer Beliebtheit (NOWACKI 1977; HOLLMANN, HETTINGER 1990). Sie ist definiert als das **nach maximaler Expiration eingeatmete maximale Atemvolumen**. Die **Vitalkapazität** ist **abhängig** vom **Alter**, vom **Geschlecht**, von der **Größe**, von der **Körperposition** und von der **Körperoberfläche** und liegt in einem **Normbereich in Ruhe bei 3,5 – 5 Liter**. Mit zunehmendem Alter nimmt die Vitalkapazität ab und beträgt mit 60 Jahren nur noch etwa die Hälfte der Kapazität der Jugendzeit (NÖCKER 1976). Ihr **Aussagewert** für die **Beurteilung** der **sportlichen Leistungsfähigkeit** bzw. der **Leistungsfähigkeit** des **kardio-pulmonalen Systems** ist **sehr gering** (NÖCKER 1976; NOWACKI 1977; HOLLMANN 1986; HOLLMANN, HETTINGER 1990) und wird daher als Parameter in der leistungsmedizinischen Diagnostik nicht eingesetzt. Sie hat in der **sportmedizinischen Praxis** daher nur eine **orientierende Bedeutung** für die Beurteilung der Adaptationsmöglichkeiten des respiratorischen Organs an körperliche und sportliche Leistungen. NOWACKI 1977 konnte bei **Eliteruderern keine Abhängigkeit** zwischen der **Vitalkapazität** und der **sportlichen Leistungsfähigkeit** erkennen. Auch NEUDECKER 1982 fand hinsichtlich der Vitalkapazität zwischen **Trainierten** und **Untrainierten** mit besonderer Körpergröße **keine** statistisch signifikanten **Unterschiede** zwischen diesen beiden Gruppen.

Beim Trainierten liegt die Vitalkapazität bis zu 30 % höher als beim Untrainierten und kann durch ein spezifisches Atemtraining wesentlich erhöht werden (NÖCKER 1976; HOLLMANN 1986; DeMAREES 1990). ÅSTRAND, RODAHL 1986 stellen die Faustregel auf, dass für eine maximale Sauerstoffaufnahme von 4 Litern und mehr eine Vitalkapazität von mindestens 4,5 bis 5,5 l Voraussetzung ist.

PROKOP 1979 nimmt auf der Grundlage von Untersuchungen mit Leistungssportlern (Größe: 1,70 m – 1,75 m) eine sportartspezifische Unterteilung der Vitalkapazität vor:

untrainierte Männer	3800 ml
Fechter	4200 ml
Geräteturner	4500 ml
Fußballspieler	4700 ml
alpine Skiläufer	4900 ml
Mittelstreckenläufer	5000 ml
Radfahrer	5100 ml
Skilangläufer	5300 ml
Schwimmer	5500 ml
Ruderer	5700 ml

Mit **5,2 ± 0,6 l** bei den **Diabetikern** und **5,5 ± 0,8 l** bei den **Gesunden Sportlern** liegen beide Gruppen etwas **oberhalb des Normbereichs** der Vitalkapazität und auch im oberen Bereich der von PROKOP 1979 vorgenommenen sportartspezifischen Unterteilung der Vitalkapazität. Dies dürfte auf das **regelmäßige sportliche Training** der Probanden zurückzuführen sein. Beide Gruppen unterscheiden sich nicht maßgeblich.

In der Literatur findet man nur spärliche Informationen über das Verhalten der Vitalkapazität bei Diabetikern. BERGER 2000 deutet auf restriktive Veränderungen der Lungenfunktion bei Typ-I-Diabetikern aufgrund eines eventuell generellen Elastizitätsverlustes bindegewebiger Strukturen hin. Er sieht das jedoch noch nicht bestätigt, da zu diesem Thema noch Studien von aussagekräftigem Umfang fehlen. Es gibt daneben einige Untersuchungen, die ebenfalls auf eine **Einschränkung der Lungenfunktion bei Diabetikern (Typ I und II)** hinweisen. Dabei werden teilweise eine **reduzierte Kapazität der Atemmuskulatur**, eine **autonome Neuropathie**, eine **schlechte Stoffwechseleinstellung** und die **Diabetesdauer** dafür verantwortlich gemacht. Auch diese Ergebnisse deuten auf **weiteren Forschungsbedarf** zu diesem Thema hin (VERA et al. 1990; WANKE et al. 1991; RAMIREZ et al. 1991; INNOCENTI et al. 1994; SCHNACK et al. 1996; DAVIS et al. 2000; MAKKAR et al. 2000).

4.4.2 Atemminutenvolumen

Das **Atemminutenvolumen (AMV | BTPS)** ist eine **Basismessgröße** der **Spiroergometrie** und gibt die **respiratorische Leistungsfähigkeit** eines Menschen bei steigender ergometrischer Belastung bis zur Erschöpfung an. Es wird gebildet aus dem **Produkt von Atemfrequenz und Atemzugvolumen**.

Bei **untrainierten Normalpersonen** liegt das **maximale Atemminutenvolumen bei $80 \pm 10 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** , ist aber abhängig vom Alter, vom Geschlecht, von der Körperkonstitution, vom Trainingszustand und von der Art und Intensität der Arbeit (NÖCKER 1976; MELLEROWICZ 1979; NEUDECKER 1982; ROST, HOLLMANN, HECK, LIESEN, MADER 1982; ÅSTRAND, RODAHL 1986; HOLLMANN 1986; HOLLMANN, HETTINGER 1990). Bei **trainierten Sportlern** wurden **maximale Atemminutenvolumina bis zu $250 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$** gemessen (KRAUSE 1971; NOWACKI 1977). Je nach **Trainingszustand** und **anthropometrischen Parametern** ist das **maximale Atemminutenvolumen** bei **Sportlern relativ variabel** und **grob orientierend**. Die Tab. 16 ordnet das maximale Atemminutenvolumen dem Trainingszustand zu (nach NOWACKI N.S., MOHAMMED 1999; NOWACKI 2003).

Tab. 16: Zuordnung des maximalen Atemminutenvolumens (max AMV I BTPS) zum Trainingszustand (16. – 40. Lebensjahr), modifiziert nach NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED 1999 u. NOWACKI 2003.

Atemminutenvolumen ($l \cdot \text{min}^{-1}$)	zugeordneter Trainingszustand
> 200	absolute Hochleistung
150 - 199	überwiegend Hochleistung / sehr gut trainiert
125 - 149	teilweise sehr gut / gut trainiert
100 - 124	teilweise gut / befriedigend trainiert
90 - 99	Übergang befriedigend trainiert / teilweise noch untrainiert
70 - 89	untrainierter Bereich für gesunde Männer

Nach dieser **Klassifikation** liegen die **Diabetiker** mit ihrem **maximalen Atemminutenvolumen** von durchschnittlich **$118 \pm 25 l \cdot \text{min}^{-1}$** im **teilweise gut trainierten Bereich**, wobei die **Gesunden Sportler** mit **$141 \pm 32 l \cdot \text{min}^{-1}$** im **teilweise sehr gut trainierten Bereich** liegen. Dieser deutliche Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich des maximalen AMV passt zu dem ebenfalls deutlichen Unterschied hinsichtlich der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Auf eine gesonderte Darstellung und Diskussion der Werte für das Atemzugvolumen (AZV ml BTPS) und die Atemfrequenz ($AF \cdot \text{min}^{-1}$) wird verzichtet. Auch diese Messgrößen haben die beim Atemminutenvolumen (AMV I BTPS) dargestellten Unterschiede zwischen den Diabetikern und der Vergleichsgröße Gesunde Sportler bestätigt.

4.5 Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit

Die **maximale Sauerstoffaufnahme** ($VO_2\text{max}$) repräsentiert das maximale Transportvermögen von Sauerstoff aus der Luft zur Arbeitsmuskulatur und ist eine entscheidende Determinante für die Ausdauerleistungsfähigkeit (SHEPHARD 1993). Nach HOLLMANN 1986 und HOLLMANN, HETTINGER 1990 ist die maximale Sauerstoffaufnahme das **Bruttokriterium** der **kardiopulmonalen** und **metabolischen** Leistungsfähigkeit und ist Ausdruck der sogenannten **aeroben Kapazität**. Er gibt die maximale Sauerstoffaufnahme für untrainierte Normalpersonen wie folgt an:

Frauen: $2200 \pm 200 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Männer: $3300 \pm 300 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Im Rahmen umfangreicher spiroergometrischer Untersuchungen von Kindern, Jugendlichen, untrainierten Personen und SportlerInnen von NOWACKI in Berlin, Lübeck, Ratzeburg und Gießen stuft dieser diese Werte etwas tiefer ein:

Frauen: $2000 \pm 100 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Männer: $2750 \pm 250 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Nach NOWACKI 1987 ist die maximale Sauerstoffaufnahme (absolut und relativ) der **integrale Grenzwert** der **maximalen aeroben und maximalen anaeroben Kapazität**.

Das eigentliche Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit ist die **relative maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)**, die berechnet wird, um einen Einfluss des Körpergewichts auf die interindividuelle Variabilität zu vermeiden. In der Tab. 17 sind die **Beurteilungskriterien** für die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** nach NOWACKI 1987 zusammengefasst.

Tab. 17: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme (VO_2 ml STPD $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) von Männern und Frauen als Kriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit nach NOWACKI 1987, modifiziert von NOWACKI N.S 1998.

Männer	VO_2 ml STPD $\cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	Frauen
Weltklasse	81 - 92	"noch nicht erreicht"
Übergang ↓↑	76 - 80	Weltklasse (+)
Hochtrainiert	71 - 75	Weltklasse (-)
Sehr gut trainiert (+)	66 - 70	↓↑ Übergang
Sehr gut trainiert (-)	61 - 65	Hochtrainiert
Gut trainiert (+)	56 - 60	↓↑ Übergang
Gut trainiert (-)	51 - 55	Sehr gut trainiert
Befriedigend trainiert (+)	46 - 50	Gut trainiert
Befriedigend trainiert (-)	41 - 45	Befriedigend trainiert
Untrainiert (+)	36 - 40	↓↑ Übergang
Untrainiert (-)	31 - 35	Untrainiert (+)
Leistungsschwach (+)	26 - 30	Untrainiert (-)
Leistungsschwach (-)	21 - 25	Leistungsschwach
Pathologisch	11 - 20	Pathologisch

Bezüglich des Verlaufs der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme beim Test T1, T2 und T3 gibt es zwischen den Diabetikern und Gesunden Sportlern keine signifikanten Unterschiede.

Dadurch, dass sich die Gruppen in ihrem mittleren Gewicht unterscheiden, fällt der Unterschied bezüglich der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme deutlicher aus.

Nach den Beurteilungskriterien (Tab. 17) für die relative maximale Sauerstoffaufnahme liegen die **Diabetiker** mit einer **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme von $43,0 \pm 8,0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** im **unteren befriedigend trainierten Bereich**. Dieses Ergebnis steht in **Diskrepanz** zu ihrer **sehr guten maximalen relativen Wattleistung von $3,8 \text{ Watt kg/KG}$** . Diese sehr gute körperliche Leistungsfähigkeit

könnte jedoch auch durch die **mentale Stärke** und das **Durchhaltevermögen** der Diabetiker zustande gekommen sein.

Die **Gesunden Sportler** unterscheiden sich im Belastungsverlauf vom Test T1 hinsichtlich der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme signifikant ($p < 0,05$) von den Diabetikern mit einem Wert von **$50,6 \pm 6,3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$** . Die Unterschiede zwischen den Gruppen ergeben sich insbesondere ab der Mitte der 2,5 Watt-Stufe bis zum Belastungsende hin. Dieses Bild wird durch die Laktatdiagnostik beim Test T1 bestätigt.

Beim **Steady-State-Test T2** zeigen beide Untersuchungsgruppen von Belastungsbeginn bis Belastungsende einen sehr geradlinigen Verlauf ihrer relativen Sauerstoffaufnahme, wobei die Gesunden Sportler beim Test T2 mit ihrem Wert um ca. $3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ höher liegen als die Diabetiker.

Beim **Intervalltest T3** fällt auf, dass die Gesunden Sportler besonders am Ende der Intervallbelastungen mit ihrer relativen Sauerstoffaufnahme deutlich höher liegen als die Diabetiker.

Diese Ergebnisse der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme in Zusammenhang mit dem Verlauf der Herzfrequenz in den entsprechenden Tests und auch der Laktatdiagnostik lassen darauf schließen, dass die **aerobe Kapazität** der **Diabetiker** im **Vergleich zu den Gesunden Sportlern**, bei gleichem Trainingsaufwand, **reduziert** ist.

In der Literatur berichten einige Autoren bei **Diabetikern** von einer **niedrigeren maximalen Sauerstoffaufnahme**, einer **niedrigeren maximalen Leistungsfähigkeit** und **höheren Laktatwerten** bei **maximalen** als auch bei **submaximalen/moderaten Belastungsintensitäten** im Vergleich zu gesunden Kontrollgruppen (SILLS, CERNY 1983; GÖBEL 1994; REGENSTEINER et al. 1995; TANTUCCI et al. 1996; REGENSTEINER et al. 1998). REGENSTEINER et al. 1998 sehen u.a. in einer ventrikulären Dysfunktion den Grund für die verminderte VO_2max bei den Diabetikern.

BOTTINI et al. 1995 führten eine ansteigende Belastung bis zu 90 % der maximalen Herzfrequenz mit Diabetikern und einer gesunden Kontrollgruppe durch und stellten u.a. eine **verminderte maximale Sauerstoffaufnahme** der **Diabetiker** im Vergleich zu den Gesunden fest und vermuten als Grund dafür eine verminderte myokardiale Kontraktilität der Diabetiker. Da bei den untersuchten Diabetikern von BOTTINI et al. 1995 keine kardialen Störungen bekannt waren (ebenso wie auch bei

den Diabetikern bei unseren Untersuchungen), sind die Autoren der Meinung, dass es zu einer ventrikulären Dysfunktion nicht in Ruhe, sondern unter Belastungsstress kommt. Es wäre nur zu mutmaßen, ob solche Mechanismen auch für die verminderte maximale Sauerstoffaufnahme bei unseren Diabetikern der Grund sein könnten. Dies müsste noch mittels Stressechokardiographie in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden.

HAGAN et al. 1979 untersuchten jugendliche Typ-I-Diabetiker, deren Krankheit erst vor kurzer Zeit festgestellt wurde. Sie fanden dagegen hinsichtlich der kardiorespiratorischen Reaktionen und der aeroben Kapazität keine signifikanten Unterschiede zu gleichaltrigen gesunden Jugendlichen. Auch VEVES et al. 1997 fanden bezüglich der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen gesunden Sportlern und Sportlern mit Diabetes mellitus (IDDM) keine Unterschiede. Nur bei Diabetikern mit einer autonomen Neuropathie war bei dieser Untersuchung die maximale relative Sauerstoffaufnahme signifikant niedriger als bei den gesunden Sportlern und den Diabetikern ohne autonome Neuropathie. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Diabetes mellitus als Krankheit alleine sich nicht negativ auf die körperliche Leistungsfähigkeit in Bezug auf eine reduzierte maximale relative Sauerstoffaufnahme bei Typ-I-Diabetikern auswirkt, sondern erst mit zunehmender Diabetesdauer und den damit verbundenen möglichen Spätfolgen wie z.B. einer autonomen Neuropathie. Die Autoren sind der Meinung, dass sporttreibende Typ-I-Diabetiker eine ähnliche hohe VO_2max wie gesunde Sportler erreichen können.

Auch GÖBEL 1994 stellte bei seinen Untersuchungen mit untrainierten Typ-I-Diabetikern im Vergleich zu untrainierten gesunden Kontrollpersonen eine deutlich niedrigere relative maximale Sauerstoffaufnahme der Diabetiker fest. Die männlichen Diabetiker erreichten eine maximale relative Sauerstoffaufnahme von $32,8 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ im Vergleich zu $43,6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ bei der gesunden Kontrollgruppe. Ebenso lagen die weiblichen Diabetiker mit einer maximalen absoluten Sauerstoffaufnahme von $28,6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ deutlich unter dem Wert der gesunden Frauen mit $31,9 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Er glaubt, dass die wichtigsten Gründe für die schlechtere Sauerstoffversorgung der Muskulatur bei den Diabetikern eine verminderte Kapillarisation der Muskulatur und damit verbundene mikroangiopathische Veränderungen sein können.

WALLBERG-HENRIKSSON et al. 1984 untersuchten bei Typ-I-Diabetikern nach einem 8-wöchigen Ausdauertraining (3 x wöchentlich 45 Min. Dauerlauftraining) die

Veränderungen hinsichtlich der Muskelfasertypen, der Kapillarisation und der Aktivität einiger oxydativer und anoxydativer Enzyme. Da im Vergleich zu den gesunden Sportlern nur bei der Hälfte der Diabetiker eine Zunahme der Kapillaren pro Muskelfaser festzustellen war, wird vermutet, dass bei den Diabetikern aufgrund einer Verdickung der kapillären Membranen die Kapazität zur Kapillarenneubildung vermindert ist. Diese Anormalität hinsichtlich der Kapillarisation seitens der Diabetiker könnte zu der Vermutung führen, dass dadurch die Sauerstofftransportleistung bei den Diabetikern vermindert ist. Auf der anderen Seite ist es bei den Diabetikern durch das regelmäßige Training zu einer Vergrößerung der maximalen Sauerstoffaufnahme gekommen. Daher kann bezweifelt werden, dass eine eventuelle verminderte Kapillarisation als Grund für die verminderte maximale Sauerstoffaufnahme der Diabetiker im Vergleich zu der gesunden Kontrollgruppe angesehen werden muss.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen darauf schließen, dass bei den Diabetikern, unabhängig davon, ob eine maximale oder submaximale Belastung durchgeführt wird, das **maximale Transportvermögen von Sauerstoff** aus der Luft zur Arbeitsmuskulatur eingeschränkt ist. Unwahrscheinlich ist, dass dafür pulmonale Veränderungen verantwortlich sind, da unsere klinischen Voruntersuchungen der Lungenfunktion keine nennenswerten Unterschiede zwischen beiden Gruppen ergeben haben.

Ob **kardiale Faktoren** für die verminderte VO_2 max der Diabetiker in unserer Untersuchung verantwortlich sind, ist nur zu mutmaßen, da die kardialen Funktionen nicht umfassend genug untersucht worden sind. Im Hinblick auf unsere Ergebnisse könnten **metabolische** und **hormonelle Reaktionen** bei den Diabetikern der Grund für die **reduzierte maximale Sauerstoffaufnahme** sein. Da beim Diabetiker die **Glykogenreserven in Leber und Skelettmuskulatur** vermindert sind (BJORKMANN, 1986), könnten diese reduzierten Glykogenspeicher zu einer **verminderten anaeroben Kapazität** bei Maximalbelastungen führen. Beim Diabetiker ist die Stoffwechselsituation im Vergleich zu gesunden Personen verändert. Dadurch dass beim Diabetiker die **Glukose schlechter in die Zelle transportiert** wird als beim Gesunden, ist die Zelltransportleistung allgemein verändert. Dieser veränderte Zellstoffwechsel ist eher sauerstoffbindend, was letztendlich die **aerobe und anaerobe Kapazität** vermindern könnte.

Auch die **Resynthese von Glukose aus Laktat** bedeutet für den Diabetiker einen **erhöhten energetischen Aufwand**, wodurch der Sauerstoffverbrauch vergrößert wird (KREBS 1964). RAGUSO et al. 1995 stellen bei ihren Untersuchungen mit Typ-I-Diabetikern und gesunden Personen fest, dass bei moderater Intensität eine **höhere Rate der Fettoxidation** die geringere Verfügbarkeit der Glukose bei den Diabetikern (Typ I) kompensiert.

Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme ist der **Sauerstoffpuls** (VO_2/H_f ml STPD) eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der körperlichen und kardiorespiratorischen Leistung (REINDELL u. Mitarb. 1967; ISRAEL 1968; NOWACKI 1973, 1977; NÖCKER 1976; MELLEROWICZ 1979; DeMAREES 1990; SCHÖLL 1995). Der Sauerstoffpuls ist ein **Kriterium der Kreislaufökonomie** und stellt ein Maß für den Sauerstofftransport pro Herzschlag sowie das Sauerstoffangebot und die Sauerstoffversorgung der Peripherie dar. Nach HOLLMANN, HETTINGER 1990 erlaubt der Sauerstoffpuls eine Einschätzung der Ökonomie und Leistungsreserven des kardiozirkulatorischen Systems. Ein höherer Wert des Sauerstoffpulses beinhaltet eine größere Herz-Kreislauf-Reserve. HOLLMANN, VENRATH 1963 und REINDELL u. Mitarb. 1967 geben für 30-jährige Männer **15 – 17 ml Sauerstoff pro Herzschlag als Normalwert** an. DeMAREES 1990 ermittelt einen Wert von **15 – 20 ml für untrainierte Jungen und Männer**. NOWACKI 1977 gibt den **Normalwert** des **Sauerstoffpulses** mit **17,9 ml** an. Er ermittelte einen **mittleren Maximalwert** von **23,1 ml** bei **Handball- und Hockeyspielern** sowie **25,4 ml** bei den Spielern der **Fußball-WM-Mannschaft** 1974.

Nach Sportarten getrennte Maximalwerte für den **Sauerstoffpuls** geben ROSKAMM, REINDELL und MÜLLER 1966 an. Danach erreichen:

Berufsradsrennfahrer	29,5 ml
Skilangläufer	24,5 ml
Handballspieler	21,5 ml
Gewichtheber	17,5 ml
Normalpersonen	17,2 ml

In der vorliegenden Untersuchung unterscheiden sich beide Untersuchungsgruppen hinsichtlich ihres Sauerstoffpulses beim Test 1, Test T2 und Test T3 nicht signifikant.

Bei der **erschöpfenden Spiroergometrie beim Test T1** liegen die **Diabetiker** mit einem Sauerstoffpuls **von 20 ± 3 ml** und die **Gesunden Sportler** mit **22 ± 4 ml** in den von SCHÖLL 1995 ermittelten Grenzen für Sportler. Er fand, dass der Sauerstoffpuls abhängig ist vom Trainingsumfang und gibt bei einem Trainingsumfang von 5,0 – 9,9 Stunden pro Woche bei Jungen und Männern einen mittleren Sauerstoffpuls von 20,1 ml an.

Der **niedrigere Sauerstoffpuls bei den Diabetikern** im Vergleich zu den Gesunden Sportlern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie, beim Steady-State-Test als auch beim Intervalltest lässt auf einen **niedrigeren Grad der Ökonomie der Herzarbeit** schließen und deutet in diesem Zusammenhang auf eine **niedrigere arterio-venöse Sauerstoffausnutzung in der Peripherie** bei diesen Sportlern hin.

Der **Respiratorische Quotient (RQ)** oder auch **Ventilations-RQ (VRQ)** genannt ist nicht nur Ausdruck der Verbrennungsvorgänge im Körper, sondern auch Ausdruck der momentanen Ventilationsverhältnisse der Atemgase CO₂ und O₂ (NOWACKI 1965). Nach NOWACKI 1965 ist er definiert als der **Quotient aus der Kohlendioxidausscheidung** cm³ STPD und der **Sauerstoffaufnahme** cm³ STPD. Er ist eine dimensionslose Größe und ein **wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Ausbelastungsgrades** von Sportlern (MELLEROWICZ, NOWACKI 1961; NOWACKI 1971; HOLLMANN, HETTINGER 1990; HECK 1990). Gleichzeitig erhält man Aufschluss über die **Stoffwechselvorgänge des Organismus** (STEGEMANN 1977). Im Gegensatz zum "**Metabolisch-Respiratorischen-Quotienten** (MRQ; Quotient aus der Kohlensäureproduktion und dem Sauerstoffverbrauch des Organismus)" wird der VRQ nicht unter Grundumsatzbedingungen (völlige Körperruhe, Nüchternheit, Indifferenztemperatur, vertrauter Untersuchungsgang u.a.) gemessen (NOWACKI 1975).

Je nach Substratverbrennung beträgt der VRQ unter Grundumsatzbedingungen 0,7 bis 1,0. Bei der Verbrennung der Fettsäuren ergibt sich mit einem VRQ von 0,7 der niedrigste Wert. Dadurch dass die Fettsäuren pro Atom Kohlenstoff weniger Sauerstoff enthalten als die Kohlenhydrate, wird mehr Sauerstoff benötigt, um das Fettmolekül vollständig zu Kohlendioxid und Wasser verbrennen zu können. Bei alleiniger Verbrennung der Nahrungseiweiße liegt der VRQ bei 0,80. Bei der Glukoseverbrennung wird genau soviel Kohlendioxid abgegeben, wie an Sauerstoff aufgenommen wird;

daraus ergibt sich ein VRQ von 1,0 (LANG, RANKE 1950; SCHMIDT, THEWS 1980; HECK 1990).

Daneben hat der **VRQ leistungsdiagnostische Bedeutung** für die **Bestimmung der aerob-anaeroben Schwelle**. Nach NOWACKI 1984 liegt der VRQ beim Erreichen der aerob-anaeroben Schwelle im Bereich von 0,94 – 0,96. Nähert sich der **VRQ** dem Wert von **1,0** so ist in der Regel eine weitere Belastungssteigerung nicht mehr möglich, da der **Grenzbereich des individuellen Maximums** erreicht ist (NOWACKI 1971; MELLEROWICZ 1979; ROST, HOLLMANN, HECK, LIESEN, MADER 1982; HOLLMANN, HETTINGER 1990). Eine Fortsetzung der Arbeit ist nur unter größerer Willensanstrengung und unter Ausschöpfung der maximalen anaeroben Kapazität möglich. Je nach Trainingszustand liegen die Ausbelastungswerte des VRQ zwischen 1,0 und 1,25 (NOWACKI 1977). In der Erholung steigt der VRQ zunächst für kurze Zeit in Abhängigkeit von Art und Größe der Leistung, Konstitution, Alter, Geschlecht, Trainingszustand u.a. weiter an. Es können dabei VRQ-Werte von 1,5 – 2,0 erreicht werden (MELLEROWICZ, NOWACKI 1961). Verantwortlich dafür sind eine relativ verminderte Sauerstoffaufnahme und eine verstärkte Kohlensäureelimination in der Nachbelastungsphase. Dann erfolgt nach wenigen Minuten ein steiler Abfall des VRQ, meist bis unter die Ruhewerte.

Der deutlich höhere VRQ von **0,98 ± 0,11 in Ruhe** bei den **Gesunden Sportlern** im Vergleich zu **0,87 ± 0,08** bei den **Diabetikern** ist wahrscheinlich auf eine erhöhte Nervosität im Sinne des **Vorstartzustandes** zurückzuführen. Dieser führt zu einer Hyperventilation mit einer erhöhten Kohlendioxidausschüttung, so dass der VRQ ansteigt. Bis zur **6. Minute** sinkt der VRQ bei den **Gesunden Sportlern** bis auf einen Wert von **0,84 ± 0,04** ab, während er bei den **Diabetikern** bis zu diesem Zeitpunkt mit **0,86 ± 0,06** relativ konstant bleibt. Bei beiden Gruppen muss davon ausgegangen werden, dass sie ihren Energiebedarf mit einem **frühzeitigen Einsetzen der Glukoseoxidation** decken. Ab diesem Zeitpunkt steigt der VRQ der Diabetiker steiler an als der VRQ der Gesunden Sportler. Dies ist durch die ebenfalls **schneller ansteigende Laktatazidose** bei den Diabetikern ab diesem Zeitpunkt zu erklären, wodurch es zu einer **vermehrten Abatmung von CO₂** kommt.

Der durchschnittliche **maximale VRQ** von **1,28 ± 0,09** bei den **Diabetikern** und **1,33 ± 0,10** bei den **Gesunden Sportlern** während der Belastungsphase zeigt, dass die Probanden bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Test T1 **maximal ausbelastet** waren.

Bis zur 2. Erholungsminute steigt der VRQ wie erwartet bei beiden Gruppen steil bis zu einem Wert von $1,62 \pm 0,12$ bei den Diabetikern und $1,67 \pm 0,13$ bei den Gesunden Sportlern an, um dann, wie in der Literatur beschrieben, danach wieder steil abzufallen.

Die mittleren VRQ-Werte im **Steady-State-Test T2** von **$0,94 \pm 0,04$ (Diabetiker)** bzw. **$0,95 \pm 0,06$ (Gesunde Sportler)** zeigen, dass im **Test T2 keine Ausbelastung** der Sportler vorgelegen hat.

Im **Intervalltest T3** liegen die **Diabetiker** mit ihren Maximalwerten nach den Intervallbelastungen **nur minimal über den Werten der Gesunden Sportler**. Dagegen fällt der RQ nach den Intervallpausen bei den Gesunden Sportlern deutlicher ab als bei den Diabetikern, was durch die ebenfalls **höhere Laktatazidose** der Diabetiker nach den Intervallbelastungen erklärt werden kann.

4.6 Metabolische Funktionsparameter

4.6.1 Glukose

Aus physiologischer Sicht beruht die **Muskelarbeit** auf der **Umwandlung von chemischer Energie** in **physikalische Arbeit**. Dementsprechend muss die Sauerstoffzufuhr gesteigert und das entstehende Substratdefizit ausgeglichen werden, um die Funktionstüchtigkeit der Muskulatur zu erhalten.

Eine körperliche Leistung wäre nicht möglich, wenn mit dem Beginn der Muskelarbeit nicht komplexe **kardiovaskuläre** und **metabolische Anpassungsmechanismen** im Körper aktiviert würden. In diesem Zusammenhang erfolgt die Sicherung der Energieversorgung des arbeitenden Muskels durch qualitative und quantitative Umstellungen des Substratflusses. Dabei werden während körperlicher Belastung von **niedriger Intensität** vorwiegend **freie Fettsäuren** verstoffwechselt, während bei **zunehmender Intensität** der Anteil der **Glukoseoxidation** zunimmt. Glukose wird dabei von den insulinabhängigen Geweben aufgenommen und verbrannt oder gespeichert. Diese Glukoseaufnahme, die quantitativ bedeutsam in der Muskulatur und im Fettgewebe, aber auch der Leber selbst durch Insulin ermöglicht wird, stellt die messbare periphere Glukoseutilisation dar (STARKE 2000). Über den Stoffwechsel der Glykolyse wird die Glukose dann intrazellulär oxidativ abgebaut und in chemische Energie umgewandelt oder nicht oxidativ in Speicherform über die Glykogensynthese in Muskel und Leber weiterverwertet. In der Abbildung 46 ist die Regulation des Glukose-Flusses bei körperlicher Belastung dargestellt.

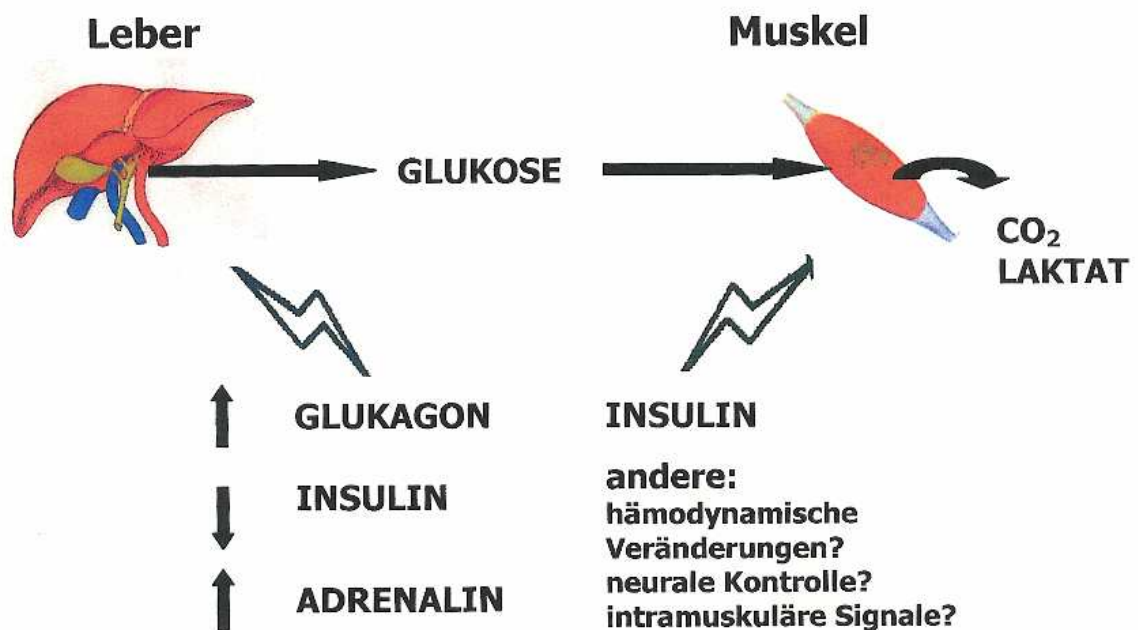


Abb. 46: Regulation des Glukose-Flusses während körperlicher Belastung, speziell bei sportlicher Leistung (modifiziert nach: WASSERMAN/ ZINMAN 1994).

Beim Stoffwechselgesunden werden dabei **Glukoseverbrauch** und **–produktion** aufeinander abgestimmt, was als **Glukosehomöostase** definiert wird. Eine zentrale Rolle im Bezug auf diese **Glukosehomöostase** spielen weitgehend **hormonelle Regulationsmechanismen**, wobei hier dem **Insulin** und den **gegenregulatorisch wirksamen Hormonen** eine wesentliche Rolle zukommen.

Beim **Typ-I-Diabetiker** ist durch die **fehlende endogene Insulinsekretion** die hormonelle Regulation des Substratflusses bei Muskelarbeit entscheidend gestört (WASSERMAN, VRANIC 1986; WEYER 2000). Bei ausreichend applizierter Insulingabe zeigen Typ-I-Diabetiker jedoch eine normale metabolische Anpassung an Muskelarbeit. In der einschlägigen Literatur werden zahlreiche Befunde über das Glukoseverhalten von Diabetikern bei Belastung beschrieben.

Einige Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass gut eingestellte Diabetiker glukoregulatorisch ähnlich wie Gesunde bei Belastung reagieren, d.h. dass bei Belastung die Glukosewerte, je nach Intensität, abnehmen oder auch ansteigen (BERGER et al. 1977; RICHTER et al. 1981; SILLS, CERNY 1983; JETTE 1984; TURGAN

et al. 1996). Schlecht eingestellte Diabetiker reagieren, je nach Ausgangsblutzucker, bei/nach Belastung mit einer Hypo- bzw. Hyperglykämie (BERGER et al. 1977; HAGAN et al. 1979; RICHTER et al. 1981; WASSERMAN, ZINMAN 1994; JETTE 1984; SUTTON 1991).

WEYER 2000 gibt an, dass eine kurze, intensive Belastung bei Diabetikern zu einer Erhöhung der Blutglukosewerte führt. Längerdauernde moderate Belastung führt dagegen zu einer Senkung der Blutglukose, die umso ausgeprägter ist, je länger die Muskelarbeit andauert. HAGAN et al. 1979 berichten von einer Abnahme der Plasmaglukose bei leichter, moderater und maximaler Laufbandbelastung bei jungen Typ-I-Diabetikern.

RAMIRES et al. 1997 fanden bei Fahrradergometerarbeit bis zur Erschöpfung eine Abnahme der Glukose bei Typ-I-Diabetikern, wogegen NUGENT et al. 1997 einen leichten Anstieg der Glukose bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie feststellen konnten. MEINDERS et al. 1988 berichten von einer signifikanten Abnahme der Blutglukosewerte bei Typ-I-Diabetikern bei einem längeren Lauf über 3 Stunden im Marathon-Tempo und begründen das mit einer leichten erhöhten Serum-Insulinkonzentration.

Im Allgemeinen gibt es **mehrere Faktoren**, die die **metabolischen Reaktionen**, wie z.B. das Verhalten der Glukose, **von Diabetikern auf Belastung beeinflussen**. Generell wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass bei gut eingestellten Diabetikern die metabolischen Reaktionen ähnlich wie bei Gesunden sind (BERGER et al. 1977; WEICKER u. Mitarb. 1981; SUTTON 1991).

So werden die **Blutglukosewerte bei Belastung beeinflusst** durch:

- **den Stoffwechselkontrollgrad**
- **das Vorhandensein von Spätkomplikationen**
- **den Typ, Ort und Zeitpunkt des injizierten Insulins**
- **die Ernährung (Zeitpunkt, Broteinheiten, Kalorien, Übergewicht, Nährstoffe)**
- **die körperliche Fitness**
- **die Art, Dauer und Intensität der Belastung**

Die **erhöhten Ruhe-Blutzuckerwerte** der **Diabetiker vor dem Test T1** von **165 ± 54 mg/dl**, **vor dem Test T2** von **141 ± 37 mg/dl** und **vor dem Test T3** von **169 ± 55 mg/dl** sind darauf zurückzuführen, dass die Diabetiker entsprechend der allgemeinen Empfehlungen bei sportlicher Betätigung, individuell unterschiedlich, entweder vor den Belastungsuntersuchungen **zusätzliche Kohlenhydrate** zu sich genommen haben oder **weniger Insulin gespritzt** haben. Nach THURM, GEHR 2001 ist **150 – 180 mg/dl** der Blutzuckerbereich, den die meisten Sportler mit Diabetes vor dem Beginn von körperlich-sportlichen Aktivitäten anstreben.

Bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie fällt der Blutzuckerwert** bei den **Diabetikern** bis zum Abbruch der Belastung um durchschnittlich **10 mg/dl ab**, um dann **nach 2 Stunden** sich bei einem **optimalen Wert von 121 mg/dl** einzupendeln. BÖHMER u. Mitarb. 1989 stellten bei einer kurz andauernden erschöpfenden Muskelarbeit einen signifikanten Abfall der Blutglukose bei Typ-I-Diabetikern fest, wobei jedoch in der Erholungsphase der Blutzucker signifikant höher anstieg als der zur gleichen Zeit gemessene Blutzucker der vergangenen 3 Tage.

Bei der Steady-State-Belastung im Test T2 können **die Diabetiker** von Anfang bis Ende der Belastung ihren **Blutzuckerwert von 141 ± 37 mg/dl auf 107 ± 39 mg/dl senken, steigen** dann jedoch in **der 2. Stunde der Erholungsphase** mit ihrem Blutzuckerwert wieder **bis auf 137 ± 42 mg/dl an**.

Beim **Intervalltest T3** kann man während der einminütigen Intervallbelastungen jeweils einen **leichten Blutzuckeranstieg** bei den **Diabetikern** feststellen. Insgesamt verändert sich der Blutglukosewert von **169 ± 55 mg/dl** in **Ruhe** bis zu **165 ± 66 mg/dl** am **Belastungsende** nur leicht. Auch **nach der zweistündigen Erholungsphase** liegt der Blutzucker bei **fast unverändert 164 ± 70 mg/dl**. Insgesamt zeigt die **Blutzuckerkurve** bei den 3 Belastungsuntersuchungen einen **"normalen" und keinen überschießenden Verlauf**, verglichen mit der bei den Gesunden Sportlern. Dies wird, ähnlich wie in der Literatur beschrieben, auf den **guten Stoffwechselkontrollgrad** der teilnehmenden Diabetiker zurückgeführt. Dazu passen auch die Ergebnisse der Hormonwerte bei den Belastungstests. Die Diabetiker reagieren bei der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich ihrer Glukosewerte bei den Belastungsuntersuchungen ähnlich wie gesunde Personen bei Belastung. Diese Ergebnisse stimmen mit denen von SILLS, CERNY 1983 überein. Sie fanden bei Kindern mit Diabetes mellitus (Typ I) bei einem Submaximaltest von 30 Minuten bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme und bei einem Intervalltest von 30 Minuten eine

Abnahme der Blutglukose. Vor allem entwickelte sich nicht, wie von den Autoren erwartet, im und nach dem Intervalltest, eine Hyperglykämie. Die Autoren führen das auf den guten Stoffwechselkontrollgrad ihrer Untersuchungsgruppe zurück.

Bei der vorliegenden Untersuchung **steigt der Blutzucker der Gesunden Sportler** bis zum Abbruch der Belastung bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie um 12 mg/dl an**. Ähnlich wie bei den Diabetikern **fällt er im Test T2 am stärksten um 17 mg/dl** von Beginn bis zum Ende der Belastung ab und **bleibt im Test T3 fast konstant** bis zum Ende der Belastung.

Schon 1978 berichtet SUTTON, dass bei Gesunden die kardiorespiratorische Fitness für metabolische Reaktionen bei Belastung ausschlaggebend ist. Bei untrainierten Sportlern stieg bei seiner Untersuchung bei 20-minütiger submaximaler Fahrradergometerarbeit die Blutglukose signifikant an, was bei trainierten Sportlern nicht der Fall war. In diesem Zusammenhang könnte u.a. der **gute bis sehr gute Trainingszustand** der Diabetiker unserer Untersuchungen ebenfalls für einen relativ stabilen Verlauf der Blutglukose während der 3 Belastungsuntersuchungen verantwortlich sein.

Die Abbildungen 47 und 48 zeigen die Glukosehomöostase während Muskelarbeit beim Typ-I-Diabetiker im Zustand des Insulinüberschusses bzw. des Insulinmangels.

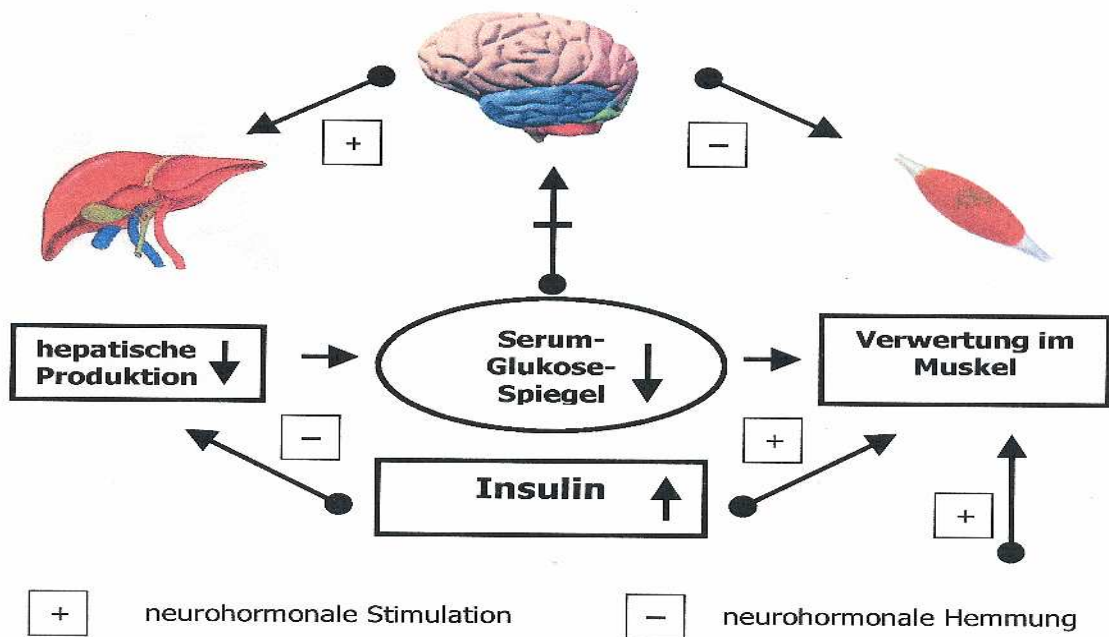


Abb. 47: Glukosehomöostase während der Muskelarbeit beim Typ-I-Diabetiker im Zustand des Insulinüberschusses (modifiziert nach: WEYER 2000).

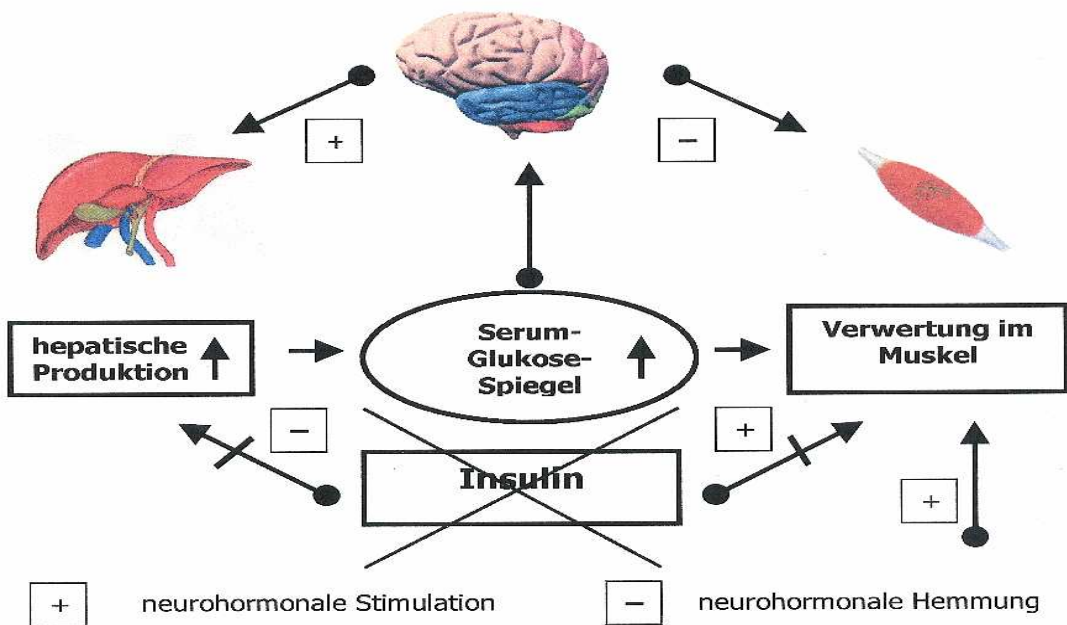


Abb. 48: Glukosehomöostase während der Muskelarbeit beim Typ-I-Diabetiker im Zustand des Insulinmangels (modifiziert nach: WEYER 2000).

4.6.2 Hormone

4.6.2.1 Insulin

1921 wurde das Hormon Insulin erstmals durch BANTING, BEST und MACLEOD extrahiert und therapeutisch appliziert (einem Hund). Insulin wird in den **β -Zellen der Langerhans Inseln** im **Pankreas** synthetisiert. Insulin ist ein kleines **globuläres Protein**, das aus **51 Aminosäuren**, die in zwei Ketten, der A-Kette mit 21 Aminosäuren und der B-Kette mit 30 Aminosäuren besteht. Die beiden Ketten sind über zwei Disulfidbrücken miteinander verknüpft.

Humaninsulin wird heute größtenteils **biosynthetisch** durch **gentechnologische Verfahren** hergestellt, wobei sich bei den Herstellungsfirmen folgendes Verfahren durchgesetzt hat: die Herstellung von Proinsulin bzw. Vorstufen des Insulins verschiedener Zusammensetzung, aus dem dann enzymatisch Insulin gewonnen wird. Zum Teil aus patentrechtlichen Gründen sind die zurzeit benutzten Herstellungsmethoden bei den einzelnen Firmen unterschiedlich.

Die Regulation der Biosynthese und der Sekretion des Insulins erfolgt primär in der Abhängigkeit von der Blutzuckerkonzentration.

Eine der **wichtigsten biologischen Wirkungen des Insulins** ist die **rasche Beschleunigung der Glukoseaufnahme** durch die Muskel- und Fettzelle. Ferner wirkt Insulin dahingehend, dass die **Abgabe von Glukose aus dem gespeicherten Glykogen** in der Leber sowie der **Neuaufbau von Glukose aus Spaltprodukten wie Milchsäure, Laktat und Glyzerin**, die **Glukoneogenese**, gehemmt werden. Auch diese Wirkung stimmt mit dem blutzuckersenkenden Gesamteffekt des Insulins überein. Die **physiologische Wirkung** von Insulin besteht in der **Aktivierung der Glukosetransporter** und ihre **Translokation** von **intrazellulären Membranstrukturen in die eigentliche Zellmembran** (BUDDECKE 1980; STARKE 2000). Insulin steigert die Aufnahme von Fettsäuren in das Fettgewebe über Aktivierung einer Lipoproteinlipase (WEICKER, STROBEL 1994). In der Tab. 18 sind die Wirkungen des Insulins in der Leber, der Muskulatur und dem Fettgewebe zusammengefasst.

Tab. 18: Wirkungen des Insulins (nach einer Zusammenstellung von ZETKIN, SCHALDACH 1999).

LEBER	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Steigerung der Glykogensynthese aus Glukose ◆ Steigerung der Proteinsynthese ◆ Erhöhung des Leberglykogens ◆ Erhöhung der Synthese von Fettsäuren und Triglyzeriden aus Glukose ◆ Hemmung der Glukoneogenese ◆ Hemmung des Fettsäureabbaus und der Ketonkörperbildung ◆ Erniedrigung der hepatischen Glukoseproduktion
MUSKEL	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Steigerung der Proteinsynthese ◆ Steigerung der Glukoseverwertung (Stimulierung der Glykogenbildung und der Glukoseoxidation) ◆ Erhöhung der Glukosepermeabilität
FETTGEWEBE	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Steigerung der Proteinsynthese ◆ Erhöhung der Glukosepermeabilität und Steigerung der Glukoseverwertung ◆ Erhöhung der Triglyzeridsynthese ◆ Erniedrigung der Lipolyse und Senkung der Freisetzung von Fettsäuren

Der Typ-I-Diabetes ist über die **selektive Destruktion** der **β-Zellen der Langerhans Inseln** des Pankreas definiert (The Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus 1997). Dadurch kommt es zu einem **Insulinmangel**. Die selektive Zerstörung der β-Zellen erfolgt durch einen **autoimmunen Prozess**, der durch **genetische Prädispositionen** und weitgehend noch **unbekannten Umweltfaktoren** ausgelöst wird (CLEMENS u. Mitarb. 1999; KOLB 2000). Das **Vollbild der Erkrankung** beinhaltet einen **vollständigen Verlust der β-Zellfunktion** mit gleichzeitigem **kompletten Insulinmangel (IDDM = insulin dependent diabetes mellitus)**. Die Funktion der insulinproduzierenden Zellen wird beim Typ-I-Diabetiker durch **Insulininjektionen** durch die Haut nachgeahmt, was die kausale Therapie beim Typ-I-Diabetiker darstellt.

In Deutschland hat sich seit ca. 12 Jahren die **intensivierte Insulintherapie (ICT)** mehr und mehr als **Routineverfahren** bei der Behandlung des Diabetes mellitus durchgesetzt. Für die bedarfsgerechte Insulinspritzentherapie stehen heute **2 verschiedene Insulinarten** zur Verfügung: **kurzwirkende Insuline** und **längerwirkende**, sogenannte Depotinsuline. Durch eine adäquate Insulinzufuhr über

Insulininjektionen sowie durch die Aufnahme entsprechender Kohlenhydratmengen gelingt es, den Blutzuckerspiegel relativ konstant zu halten. Die ICT ist eine Form der Insulinbehandlung, bei der 1 – 4 -mal täglich Basalinsulin und zu den Mahlzeiten schnell wirkendes Insulin zugeführt wird. Die Vorteile liegen darin, dass die intensivierete Insulintherapie **flexibel** ist und dem **individuellen Tagesverlauf angepasst werden kann**, was vor allem für den sporttreibenden Diabetiker von Vorteil ist. Auch von unseren 13 Diabetikern führten 12 die intensivierete Insulintherapie durch, da dadurch eine bessere Steuerung ihrer sportlichen Aktivitäten gewährleistet war.

Bewegung und körperliches Training führt beim Typ-I-Diabetiker als auch beim Typ-II-Diabetiker zu einer **verbesserten Insulinsensitivität**. Dies wiederum kann dazu führen, dass sich der Insulinbedarf gegebenenfalls reduziert (VRANIC, BERGER 1979; RICHTER et al. 1981; PRUETT 1985; KING et al. 1987; GALBO et al. 1992; HOUGH 1994; RAMIRES et al. 1997; GOODYEAR, KAHN 1998; MAYER-DAVIS et al. 1998; BOURGHOUTS, KEIZER 2000; GOODYEAR 2000).

Bei der **Muskelarbeit** des **Typ-I-Diabetikers** ist durch das **Fehlen** der **endogenen Insulinsekretion** die **hormonelle Regulation** des **Substratflusses** entscheidend **gestört**. Nach WEYER 2000 kann beim Typ-I-Diabetiker beim Einsetzen der Muskelarbeit in Abhängigkeit vom Zeitpunkt und der Menge der letzten Insulininjektion ein Insulinüberschuss, ein Insulinmangel oder eine adäquate Insulinisierung vorherrschen, was sich auf den Blutglukoseverlauf unter Muskelarbeit in sehr unterschiedlicher Weise auswirkt. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass ausreichend insulinisierte Patienten eine normale metabolische Anpassung an Muskelarbeit zeigen (BERGER et al. 1977).

Die zu injizierende Insulinmenge hängt jedoch von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab (GOMER M., GOMER, M. 1994, Abb. 49)

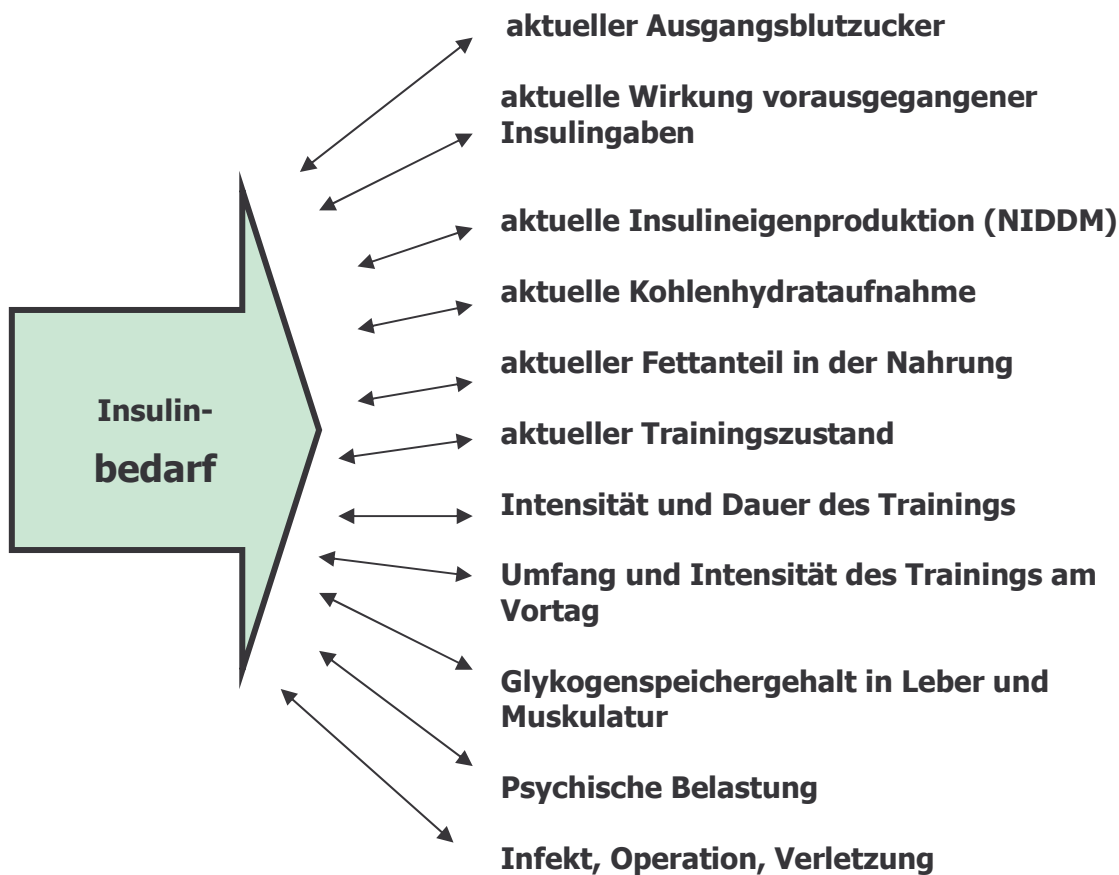


Abb. 49: Wichtige Einflussfaktoren des Insulinbedarfs (modifiziert nach GOMER, M., GOMER, M. 1994).

Beim **Stoffwechselgesunden** nimmt **während** und **nach körperlicher Belastung** der **Insulinspiegel im Blut und Plasma** ab (PRUETT 1971, 1985; BERGER et al. 1977; HENRICH 1977; ZINMAN et al. 1977; DIETZE u. Mitarb. 1981; SILLS, CERNY 1983; HÜBINGER et al. 1985; WEICKER, 1985; RÖCKER 1986; MEINDERS et al. 1988; HOLLMANN, HETTINGER 1990; SUTTON 1991; HOUGH 1994; WEICKER, STROBEL 1994; WILMORE, COSTILL 1999; WEYER 2000). Nach WEICKER, STROBEL 1994 scheint der Abfall von Insulin während körperlicher Belastung der wichtigste Faktor zur Aktivierung des Fettstoffwechsels zu sein.

Ähnlich wie bei dem Glukoseverlauf unter Belastung kommen einige Autoren auf der Grundlage ihrer Untersuchungen zu der Übereinstimmung, dass bei entsprechend guter Einstellung und adäquater Insulinisierung der Insulinspiegel von Diabetikern mit Beginn einer Muskelarbeit abnimmt, vergleichbar mit den Reaktionen wie bei Gesunden (RICHTER et al. 1981; HÜBINGER et al. 1985, 1987; WASSERMAN, ZINMAN 1994;

ZINKER 1999; WEYER 2000). Ist dies nicht der Fall, droht bei körperlicher Belastung **im Falle eines Insulinüberschusses** in Verbindung mit einer ohnehin während der Muskelarbeit erhöhten muskulären Glukoseutilisation eine **Hypoglykämie**. Im gegenteiligen Fall, einem **Insulinmangel bei Muskelarbeit**, droht eine **Hyperglykämie** mit der Gefahr einer Ketoazidose (WASSERMAN, ZINMAN 1994; ZINKER 1999; WEYER 2000).

Bei unseren Untersuchungen **sinken** während der **erschöpfenden Spiroergometrie** beim Test T1, bei dem Steady-State-Test T2 als auch beim Intervalltest T3 **die Insulinspiegel bei beiden Untersuchungsgruppen - Diabetiker vs. Gesunde - während und nach der Belastung ab**. Dies stimmt mit den diskutierten Untersuchungsergebnissen aus der Literatur überein. Ausgehend von einem höheren Insulinspiegel bei den Diabetikern im Vergleich zu den Gesunden Sportlern sinkt der Insulinspiegel bei den Diabetikern während und nach der Belastung viel stärker ab als bei den Gesunden Sportlern. Im Test T2 sinkt der Insulinspiegel bei den Diabetikern von Beginn der Belastung bis zur 30. Erholungsminute am stärksten ab. Dies passt zu dem Glukoseverbrauch der Diabetiker beim Test T2, da im Steady-State-Test die Glukose bei den Diabetikern am stärksten im Vergleich zum Test T1 und zum Test T3 abnimmt. Durch den Insulinabfall **steigt die hepatische Glukoseproduktion** an und die gesteigerte Glukoseaufnahme der arbeitenden Skelettmuskulatur wird ausgeglichen (WASSERMAN, VRANIC 1986; WASSERMAN, ZINMAN 1994; WEYER 2000).

4.6.2.2 Glukagon

Glukagon ist ein **Peptidhormon** mit 29 Aminosäuren, das in den **A-Zellen des Pankreas** aus **Proglukagon** gebildet wird. Die wesentliche **Wirkung** von Glukagon ist **größtenteils antagonistisch zum Insulin** und besteht darin, den **Blutzuckerspiegel zu erhöhen** und damit die **Glukoseversorgung sicherzustellen** (JUNGERMANN, MÖHLER 1980; SILBERNAGEL, DESPOPULUS 1991).

Dies wird erreicht durch:

- **eine vermehrte Glykogenolyse** (Leber, nicht Muskulatur)
- **eine vermehrte Glukoneogenese** aus Laktat, Aminosäuren und Glycerol (aus der Lipolyse)

In Ruhe müssen von der Leber mindestens 10 g Glukose pro Stunde produziert werden, um unter Basalbedingungen im homöostatischen Gleichgewicht zu bleiben. Ca. **75 % der hepatischen Glukosefreisetzung** wird durch **die basale Glukagonsekretion** bewirkt, die zu einer Erhöhung der Glykogenolyse und Glukoneogenese in der Leber führt (RÖSEN 1999; STARKE 2000; WEYER 2000). Da während körperlicher Aktivität der Glukoseverbrauch der arbeitenden Muskulatur rasch ansteigt, würde dies konsequent zu einer Hypoglykämie führen, käme es nicht ebenso rasch zu einem deutlichen an den Verbrauch angepassten Anstieg der hepatischen Glukoseproduktion.

Die experimentelle Unterdrückung der Glukagonfreisetzung bei niedrigen portalen Insulinspiegeln während der Muskelarbeit führt zu einer verminderten hepatischen Glukoseproduktion (WEYER 2000).

Hauptstimulus für die **Glukagonfreisetzung unter Muskelarbeit** sind **niedrige Blutglukosespiegel**. Ein zu starkes Absinken des Blutzuckerspiegels durch Insulinwirkung wird durch Glukagon kompensiert (BUDDECKE 1980; JUNGERMANN, MÖHLER 1980).

In der vorliegenden Untersuchung liegen sowohl die **Diabetiker** als auch die **Gesunden Sportler vor und nach den 3 Belastungstests** mit ihren **Glukagonwerten innerhalb der Richtwerte** und zeigen **keine überschießenden Reaktionen**. Bei den Gesunden Sportlern sinkt der Glukagonwert beim Test T1, T2 und T3 nach der Belastung nur leicht ab im Vergleich zum Testbeginn. Bei den Diabetikern nimmt beim Test T1 die Glukagonsekretion am deutlichsten ab und steigt beim Test T2 und T3 nur leicht an.

In der Literatur findet man vermehrt Publikationen, die darauf hinweisen, dass bei **Gesunden** und auch **Diabetikern (IDDM)** es **bei vorwiegend länger andauernden Belastungen** zu einer **zunehmenden Glukagonsekretion** kommt. HOLLMANN, HETTINGER 2000 berichten, dass bei Gesunden mit zunehmender

Laufdauer der Glukagonspiegel anstieg. Dieser Anstieg war aber erst beim Marathonlauf mit einer Anstiegsquote von 154 % statistisch signifikant. Auch bei **IDDM** kommt es bei **länger andauernden Belastungen** zu einer zunehmenden Glukagonsekretion, was zu einer Zunahme der hepatischen Glukoseproduktion führt (HOUGH 1994). HOUGH stellte fest, dass sich kurzzeitige Belastungen bei Gesunden nicht auf den Insulin- und Glukagonspiegel auswirken.

MEINDERS et al. 1988 fanden bei einem 3-stündigen Marathon-Trainingslauf bei Typ-I-Diabetikern einen signifikant erhöhten Glukagonspiegel und führen als Grund dafür an, dass durch eine durch Glukagonwirkung stimulierte Glukoneogenese eine Hypoglykämie vermieden wird.

Auch BERGER et al. 1977 fanden nach 3-stündiger Fahrradergometerarbeit bei Typ-I-Diabetikern signifikant erhöhte Glukagonwerte, wobei die gut eingestellten Diabetiker ähnlich wie die gesunde Kontrollgruppe reagierten und die schlecht eingestellten Diabetiker mit einem stärkeren Anstieg der Glukagonwerte reagierten. Er kommt, ähnlich wie WASSERMAN, ZINMAN 1994 bei ihren Untersuchungen, zu dem Schluss, dass gut eingestellte Diabetiker mit ihren hormonellen Reaktionen auf Belastung ähnlich wie Gesunde reagieren. Schlecht eingestellte Diabetiker reagieren dagegen auf eine körperlich/sportliche Belastung mit einem stärkeren Anstieg des Glukagons. VIBERTI et al. 1984 fanden bei nur 20-minütiger moderater Belastung keine Unterschiede im Glukagonanstieg zwischen Gesunden und Diabetikern während und nach Belastung. GARLASCHI et al. 1975 untersuchten Kinder mit Typ-I-Diabetes im Vergleich zu gesunden Kindern und konnten vor und nach einer 30-minütigen Fahrradergometrie bei 50 % der maximalen Leistungsfähigkeit kaum einen Anstieg des Glukagonspiegels bei beiden Gruppen feststellen, wobei die Diabetiker mit einem Ruhe-Glukosespiegel von 295 mg % hyperglykämisch waren.

BÖTTGER et al. 1972 untersuchten Hunde, die sie bis zur Erschöpfung auf dem Laufband bei einer durchschnittlichen Belastungsdauer von 60 Minuten ausbelasteten. Dabei stieg das Glukagon von 111 pg/ml in Ruhe auf einen signifikant erhöhten Wert von 300 pg/ml 30 Minuten nach der Belastung an. Die Autoren sehen durch genügend lange andauernde Belastungen bei Hunden einen großen Stimulus auf die Glukagonsekretion und folgern, dass dies beim Menschen in etwas geringerem Maße ähnlich ist. Im Hinblick auf unsere Untersuchungen fällt auf, dass die Glukagonsekretion sich bei beiden Gruppen nach der Belastung nur unwesentlich verändert.

Geht man von den Glukosewerten der Untersuchungsgruppen beim Test T1, T2 und T3 aus, ist festzustellen, dass diese nach dem Belastungsabbruch und auch nach 30-minütiger Erholung im Normbereich liegen und bei beiden Gruppen keine Hypoglykämie auftritt. Somit kommen **niedrige Glukosewerte als ein Hauptstimulus für die Glukagonfreisetzung** nicht in Betracht. Nach WASSERMAN et al. 1985 kommt es zu keinem kompensatorischen Effekt der counterregulatorischen Hormone, wenn keine Hypoglykämie vorliegt. Dies ist möglicherweise durch die **relativ kurze Belastungsdauer** bei den von uns eingesetzten 3 Belastungsuntersuchungen begründet. Diese Ergebnisse passen zu den bereits erwähnten Untersuchungsergebnissen aus der Literatur, da meist eine gesteigerte Glukagonsekretion mit einer längeren Belastungsdauer in Verbindung gebracht wird. Auch RICHTER, GALBO 1986 weisen darauf hin, dass die Plasma-Glukagonsekretion erst später im Verlauf von länger andauernden Belastungen ansteigt.

Des Weiteren stimmen die gefundenen Ergebnisse mit den beschriebenen Ergebnissen der Literatur dahingehend überein, dass die **gute Stoffwechselkontrolle** unserer diabetischen Probanden zu hormonellen Reaktionen auf Muskelarbeit führt, die mit denen von gesunden Personen vergleichbar sind (BERGER et al. 1977; WASSERMAN, ZINMAN 1994). WILMORE, COSTILL 1999 fanden bei gut trainierten gesunden Athleten bei körperlicher Belastung einen geringeren Anstieg des Glukagons als bei Untrainierten. Demnach könnte der **gute Trainingszustand**, vor allem auch bei den Diabetikern, ebenso dazu führen, dass in Verbindung mit den entsprechend normalen (bei den Gesunden Sportlern) und leicht erhöhten (bei den Diabetikern) Blutglukosewerten vor und nach den Belastungsuntersuchungen und der relativ kurzen Belastungsdauer die Glukagonsekretion sich nach der Belastung nicht wesentlich verändert.

4.6.2.3 Cortisol

Cortisol gehört neben dem Cortison mit zu den wichtigsten physiologischen Vertretern der **Glukokortikoide**. Es wird aus dem Cholesterin der Zona fasciculata der Nebennierenrinde gebildet. Seine **Synthese und Sekretion** werden durch das adrenokortikotrope Hormon **ACTH stimuliert** (JUNGERMANN, MÖHLER 1980; WEICKER, STROBEL 1994). Die hauptsächliche **Stoffwechselwirkung des Cortisols**

liegt in der **Glykogenneubildung** (Glukoneogenese) **in der Leber aus Proteinen**. Dadurch wird die **Kohlenhydratbildung aus Aminosäuren** und damit der **Abbau von Eiweiß** gefördert. Hierdurch steigt das Leistungsvermögen vor allem bei mehrstündigen Ausdauerbelastungen. Cortisol **beschleunigt die Lipolyse** und setzt freie Fettsäuren ins Blut frei, so dass diese von den Zellen aufgenommen werden können und zur Energieproduktion genutzt werden können (BUDDECKE 1980; WEICKER, STROBEL 1994; WILMORE, COSTILL 1999). Außer am Energiestoffwechsel ist Cortisol in besonderem Maße an der **Verarbeitung psychophysischer Belastungen** beteiligt (HESSE, SCHÄKER 1991).

Cortisol weist eine **rhythmische Sekretion im Tagesverlauf** auf. Das Hormon schwankt in 24 Stunden von einem Maximum in den Morgenstunden über einen Abfall gegen Abend bis zu einem Minimum um Mitternacht (WEICKER u. Mitarb. 1981; WEICKER, STROBEL 1994). Nach WEICKER, STROBEL 1994 erreicht der Cortisolspiegel etwa 30 Minuten nach Belastung sein Maximum.

Nach BARWICH u. Mitarb. 1984 führt eine maximale Kurzzeitbelastung von 2 Minuten erst zu einem Konzentrationsmaximum des Cortisols nach 20 – 30 Minuten in der Erholungsphase, wogegen nach einer submaximalen Belastung von 25 Minuten das Konzentrationsmaximum des Cortisols direkt nach der Belastung gemessen werden konnte. Bei Untersuchungen von WILMORE, COSTILL 1999 war bei länger andauernder Fahrradergometerarbeit von 3 Stunden bei 65 % der maximalen Sauerstoffaufnahme die maximale Cortisolkonzentration in der 30. bis 45. Belastungsminute zu verzeichnen, um dann bis zum Ende der Belastung auf den Vorstartwert zurückzukehren.

Bei Gesunden stellten KINDERMANN et al. 1982 fest, dass es **eher bei einer längeren Belastung** (50 Minuten bei 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme) **als bei kurzer** (6 Minuten), intensiver Belastung **zu erhöhten Cortisolwerten** kommt (gemessen direkt nach dem Ende der Belastung). HOUGH 1994 kommt ebenso zu der Überzeugung, dass bei Gesunden erhöhte Cortisolspiegel erst bei länger andauernder Belastung wichtig sind. NIEMANN 1998 stellt bei Sportlern im Allgemeinen eine erhöhte Freigabe von Cortisol bei niedrigen Blutglukosespiegeln fest. Bei vermindertem physiologischem Stress kommt es seiner Meinung nach zu einem nicht so hohen Anstieg der Hormone wie u.a. auch des Cortisols.

HARTLEY et al. 1972 fanden einen **signifikanten Zuwachs von Cortisol unter mittelschwerer bis schwerer Muskelarbeit**, nicht jedoch unter leichter, langdauernder körperlicher Aktivität. Bei Untersuchungen von SUTTON et al. 1969 kam

es bei 30-minütiger Fahrradergometerarbeit bis zur Erschöpfung bei Beginn der Belastung zu einem Abfall der Cortisolwerte, die dann jedoch bis zu einem Zeitraum von 30 bis 60 Minuten nach Ende der Belastung bis zu einem Maximum anstiegen, um danach wieder abzufallen. Nach WEICKER, STROBEL 1994 steigt das Cortisol ab einer Belastungsintensität von 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme belastungsabhängig an. Dabei steigt die Cortisolkonzentration bei längerdauernden Belastungen gegen Ende der Belastung an, bei kurzzeitigen Belastungen liegt das Maximum nach dem Belastungsende. Nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie nach dem 1 Watt/kg-KG-Verfahren nach NOWACKI fand REUBER 1994 einen signifikanten Anstieg des Cortisols bei erfahrenen Tauchern, wogegen er bei Tauch-Anfängern nur eine tendenzielle Steigerung der Cortisolkonzentration feststellen konnte. Nach einer Tauchbelastung stieg das Cortisol bei seinen Untersuchungen bei den Tauch-Könnern signifikant an und steigerte sich bei den Tauch-Beginnern nur geringfügig. REUBER 1994 ordnet den Cortisolanstieg nach der Fahrradspiroergometrie der massiven Belastung zu. Für die Cortisolveränderungen nach der spezifischen Tauchbelastung sind seiner Meinung nach, vor allem bei den Tauch-Könnern, Stressfaktoren verantwortlich.

SCHNORR, BRETZEL, MEDAU, NOWACKI 1996 untersuchten neben anderen Hormonen das Verhalten des Cortisols bei verschiedenen Belastungen. Dabei stellten sie nach erschöpfender Fahrradspiroergometrie nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode bei Dressurreitern, Tauch-Beginnern, Gymnastinnen und Bodybuildern keine deutliche Belastungsreaktion des Cortisols fest. Ebenso kam es bei sportartspezifischer Belastung bei den Gymnastinnen, den Dressurreitern und Tauch-Beginnern zu keinen signifikanten Veränderungen der Cortisolkonzentration. Dagegen konnte bei den Handballspielerinnen und den Tauch-Könnern ein signifikanter Anstieg des Cortisols nach sportartspezifischer Belastung festgestellt werden. In diesem Zusammenhang sehen die Autoren die hormonellen Veränderungen als charakteristisches Antwortmuster auf definierte Beanspruchungen bei spezifischen und unspezifischen Belastungen. Ihrer Meinung nach können sich bei sportartspezifischen Belastungen Umgebungsfaktoren und verstärkte psychische Inanspruchnahme unterschiedlicher Ausprägung auf die hormonellen Reaktionen auswirken.

Im Rahmen unserer Untersuchungen erfolgte aus methodischen Gründen die Probenentnahme in der 30. Erholungsminute. Durch die $\frac{1}{2}$ W/kg KG-Methode vorgegebene Belastungszeit von 13 bis 19 Minuten bis zur Erschöpfung ist eine

ausreichend intensive aerobe und erschöpfende anaerobe Belastungsstruktur gewährleistet und lässt einen Anstieg des Cortisols in der Erholung erwarten.

Im Test T1 bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie** bei unserer Untersuchung nahm die **Cortisolkonzentration** bei **beiden Untersuchungsgruppen** von der Ruhe bis zum Messzeitpunkt (30. Erholungsminute) **signifikant zu** ($p < 0,001$). Beim Test **T2** und **T3** waren bei den **Diabetikern** als auch bei den **Gesunden Sportlern kaum Veränderungen** in der **Cortisolkonzentration** festzustellen.

Bei Fahrradergometerarbeit bis zur Erschöpfung fanden BÖHMER u. Mitarb. 1989 einen signifikanten Anstieg des Cortisols bei Typ-I-Diabetikern, wobei der steilste Anstieg in den ersten 10 Erholungsminuten erfolgte. Bei derselben Belastungsform verglichen HILSTED et al. 1980 Diabetiker mit und ohne Neuropathie und fanden nur einen signifikanten Anstieg der Cortisolkonzentration bei der Gruppe der Typ-I-Diabetiker ohne Neuropathie. In der Gruppe mit Neuropathie stiegen die Cortisolwerte nicht signifikant an.

Auch RAMIRES et al. 1997 fanden bei erschöpfender Fahrradergometerarbeit einen signifikanten Anstieg des Cortisols bei Typ-I-Diabetikern als auch bei der gesunden Kontrollgruppe.

JACOBBER et al. 1983 stellten bei einer erschöpfenden Fahrradergometerbelastung bei untrainierten Diabetikern und Gesunden zum Zeitpunkt des Belastungsabbruchs signifikant höhere Cortisolwerte bei den Diabetikern fest. Die höchsten Werte wurden 5 Minuten nach Ende der Belastung gemessen, sie lagen jedoch auch 30 Minuten nach Belastungsabbruch über den Ruhewerten. Hier werden die erhöhten Cortisolwerte mit niedrigen Insulinspiegeln in Verbindung gebracht, da bei Insulinmangel Cortisol eine Rolle bei der Stimulation der Lipolyse spielt.

Bei **submaximaler, moderater, längerer Belastung** konnten im Gegensatz dazu einige Autoren **keine signifikanten Veränderungen der Cortisolkonzentration bei Diabetikern** feststellen (GARLASCHI et al. 1975; BERGER et al. 1977; PAGANO et al. 1979; SILLS, CERNY 1983; VIBERTI et al. 1984; HÜBINGER et al. 1985, 1987). MÜHLHAUSER u. Mitarb. 1981 führen einen signifikanten Anstieg der Cortisolwerte nach 30-minütiger Fahrradergometerarbeit bei 50 % der maximalen Kapazität auf einen kontinuierlichen Abfall der Blutglukose zurück. Bei einem 3-stündigen Marathon-Trainingslauf von 5 gut trainierten Typ-I-Diabetikern, die am Morgen des Laufes kein Insulin gespritzt hatten, und einer gesunden Kontrollgruppe verhielt sich die

Cortisolkonzentration bei beiden Gruppen ähnlich (MEINDERS et al 1988). In den ersten 60 Minuten der Belastung fielen die Cortisolwerte ab, gefolgt von einer signifikanten Zunahme der Cortisolsekretion während des Laufes und bis zu einer Stunde danach. Dabei waren die Cortisolwerte der Diabetiker teilweise signifikant höher als die der Gesunden. Die Autoren sehen den Grund für die vermehrte Sekretion von gegenregulatorisch wirksamen Hormonen in einer Vermeidung einer Hypoglykämie.

Bei einer 30-minütigen Belastung von 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme und bei einer Intervallbelastung mit 1-minütigen Intervallen über 30 Minuten bei 100 % der maximalen Sauerstoffaufnahme von männlichen Typ-I-Diabetikern (Kinder, durchschnittlich 12 Jahre alt) und gesunden Kindern fanden SILLS, CERNY 1983 keine signifikanten Cortisolanstiege beim Vergleich Ruhe versus Belastung bei beiden Gruppen. Jedoch lagen die diabetischen Kinder schon mit ihren Ruhe- wie auch mit ihren Belastungswerten des Cortisols signifikant höher als die gesunden Kinder. Auch HÜBINGER et al. 1985 fanden bei Typ-I-Diabetikern, die eine Intervallbelastung durchführten, keine signifikanten Cortisolanstiege.

BERGER et al. 1977 und SUTTON 1991 weisen darauf hin, dass bei gut eingestellten Diabetikern die Reaktionen von gegenregulatorisch wirksamen Hormonen bei Belastung ähnlich sind wie bei Gesunden. Entscheidend für das Stoffwechselverhalten unter Belastung bei Diabetikern ist neben dem jeweiligen Diabetes-Typ die Güte der Stoffwechseleinstellung (WEICKER u. Mitarb. 1981).

Im Hinblick auf diese Untersuchungen ist zu vermuten, dass der **Cortisolanstieg bei beiden** Untersuchungsgruppen **nach dem Test T1** auf die **erschöpfende Belastung** zurückzuführen ist. In Verbindung mit den Ergebnissen in der Literatur wird vermutet, dass der **Belastungsreiz** beim **Test T2 und Test T3** entweder **zu kurz** oder **nicht intensiv** genug war, um einen Cortisolanstieg zu provozieren. Auch übereinstimmend mit den erwähnten Literaturergebnissen könnte die **gute Stoffwechseleinstellung** der untersuchten Typ-I-Diabetiker dafür verantwortlich sein, dass diese Gruppe tendenziell in Bezug auf die Reaktionen von gegenregulatorisch wirksamen Hormonen, wie hier des Cortisols, ähnlich wie die gesunde Kontrollgruppe auf Belastung reagiert. Zudem haben die etwas erhöhten Glukosewerte der Diabetiker vor Belastungsbeginn, bedingt durch eine etwas erhöhte Kohlenhydrataufnahme bzw. durch Verminderung der injizierten Insulindosis, nicht dazu geführt, dass die Diabetiker in der vorgegebenen Belastungszeit in eine

Glukosemangelsituation gekommen sind, die eine Gegenregulation durch Cortisol oder Adrenalin notwendig gemacht hätte.

4.6.2.4 Wachstumshormon – STH

Das **Wachstumshormon** – auch **somatotropes Hormon (STH)** bzw. **Human Growth Hormon (HGH)** genannt - wirkt zum einen auf das **Wachstum**, zum anderen hat es Wirkungen auf den **Protein-, Lipid- und Kohlenhydratstoffwechsel**.

Die **Wachstumswirkung** des STH bezieht sich auf die normale **Knorpelbildung** und betrifft sowohl das **Dicken- und Längenwachstum** des noch **nicht verknöcherten Knorpels** als auch das **Wachstum der Haut** und der **inneren Organe**.

In Bezug auf den **Proteinstoffwechsel** fördert es den Einbau der Aminosäuren in die Zelle (proteinanabole Wirkung), **stimuliert** die **Proteinbiosynthese** und ist daher für den **Eiweißaufbau** von Bedeutung (BUDDECKE 1980).

Im **Fettstoffwechsel** hat das STH eine **lipolytische Wirkung**, was zu einem Anstieg der freien Fettsäuren im Blut führt (BUDDECKE 1980). Andererseits wirkt das STH **hemmend auf die Lipidsynthese** (NÖCKER 1976; SILBERNAGEL, DESPOPULUS 1991; BEHRMANN, WEINECK 1992; ZETKIN, SCHALDACH 1998; WILMORE, COSTILL 1999).

Im **Kohlenhydratstoffwechsel** wirkt das STH **antagonistisch zum Insulin** im Sinne einer **Hemmung auf die Glukoseaufnahme** insbesondere in der Muskulatur, was zu einem **Blutzuckeranstieg** führt.

Nach SILBERNAGEL, DESPOPULUS 1991 und ISERMAN u. Mitarb. 1999 hat die **Freisetzung des STH** jedoch **akut** einen **insulinähnlichen Effekt** und führt initial eher zu einem weiteren Absinken der Blutglukose und erst längerfristig lässt das STH die Blutglukose ansteigen.

BEHRMANN, WEINECK 1992 fassen die Wirkungen des STH folgendermaßen zusammen:

a) **Insulin-synergistische Wirkung** durch:

- Stimulation der Glykogensynthese in der Leber
- Stimulation des Aminosäuretransportes in die Zelle
- Stimulation der Proteinsynthese

b) **Insulin-antagonistische Wirkung** durch:

- Hemmung der Glukoseutilisation (vor allem in der Muskulatur)
- Stimulation der hepatischen Glukoneogenese
- Hemmung der Lipogenese
- Stimulation der Lipolyse

Der Anstieg des STH bewirkt eine **verstärkte Glukagon-** und **Insulinsekretion**. Der stärkste **Reiz** für einen **Anstieg des STH** ist die **Hypoglykämie**, daneben auch **körperliche Anstrengung** und **psychischer Stress**.

In Bezug auf die **körperliche Belastung** gibt es in der Literatur **unterschiedliche Angaben** über die **STH-Sekretion** im Zusammenhang mit **unterschiedlichen Belastungsintensitäten**.

Nach ADLERCREUTZ et al. 1976 führt **längere aerobe Belastung** zur **Erhöhung des STH**, wobei bei Trainierten eine submaximale Belastung keinen Effekt auf den STH-Spiegel hat. Außerdem fanden die Autoren nach **kurzer intensiver Intervallbelastung** einen **signifikanten Anstieg des STH**, welches bis eine Stunde nach der Belastung stark erhöht blieb und sich erst nach 3 Stunden wieder normalisierte. Auch WILMORE, COSTILL 1999 kommen zu der Auffassung, dass während einer aeroben Belastung der STH-Level in Relation zur Belastungsintensität erhöht ist und bis einige Zeit nach Belastung erhöht bleibt. Nach WEINECK 2000 kommt es während körperlicher Belastung akut nur bei **Ausdauerbeanspruchungen mittlerer Intensität** zu einem **Anstieg des STH**, nicht jedoch bei Belastungen geringer oder maximaler Intensität. Er macht dafür ursächlich die **lipolytische Funktion** des STH verantwortlich. Es sichert dem Ausdauertrainierten bei längerer Belastungsdauer eine **ausreichende Fettmobilisation** bei erniedrigten

Katecholaminspiegeln und stellt ihm somit **genügend freie Fettsäuren** zur **Energiegewinnung** zur Verfügung (Abb. 50).

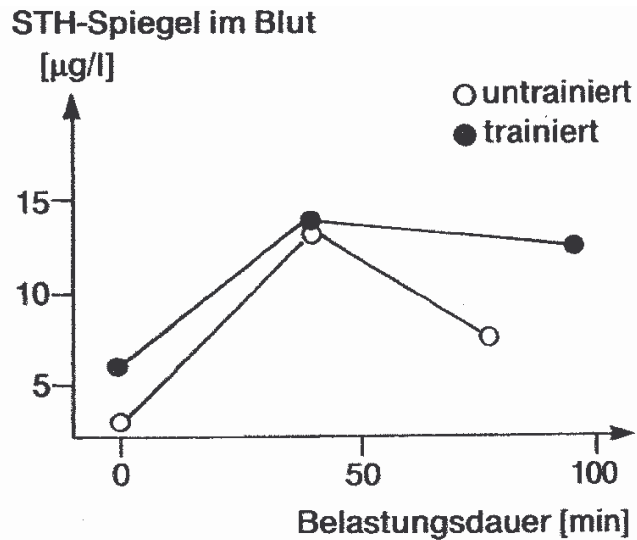


Abb. 50: STH-Spiegel im Blut während mittlerer Belastung längerer Dauer (nach HARTLEY 1975).

KINDERMANN et al. 1982 als auch GALBO 1986 beschreiben, dass ein **Anstieg der STH-Konzentration** bei Belastung **abhängig** ist von der **Dauer** und **Intensität** der Belastung. Es wurden höhere STH-Werte während und nach längerer moderater als bei kurzer intensiver Belastung gefunden.

Bei den Untersuchungen von SUTTON et al. 1969 und SUTTON 1978 wird die **körperliche Fitness** in dem Sinne für die STH-Sekretion während aerober und anaerober Fahrradergometerarbeit verantwortlich gemacht, dass bei **gut Trainierten** der **STH-Spiegel** im Blut bei Belastung **weniger hoch** ansteigt als bei **Untrainierten**. Im Allgemeinen sehen SUTTON et al. 1976 die Bewegung an sich als physiologischen Stimulus für die STH-Sekretion an.

GARLASCHI et al. 1975 sehen eine **Belastung von mindestens 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme** als **physiologischen Stimulus** für die **STH-Sekretion**.

In Bezug auf den **Diabetes mellitus** spielt das STH wahrscheinlich eine Rolle bei der **Pathogenese** von **diabetischen Spätkomplikationen**. Bei **schlecht**

behandelten, insbesondere **insulinabhängigen Diabetikern** können generell **erhöhte STH-Konzentrationen** im Blut vorkommen (KÖBBERLING 2000).

Bei der vorliegenden Untersuchung **stieg** das **STH** bis zum Messzeitpunkt bei **allen 3 Belastungstests** bei den **Diabetikern** als auch bei den **Gesunden Sportlern** **signifikant** ($p < 0,001$) **an**, wobei der Anstieg beim Test T1 am höchsten und beim Test T3 am niedrigsten war. Dabei lagen im Test T1 und Test T2 die Gesunden Sportler mit ihren Werten beim Messzeitpunkt über denen der Diabetiker; im Test T3 ergab sich ein umgekehrtes Bild. Die Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen waren nicht signifikant. Bei den Ruhewerten des STH lagen die Diabetiker bei allen 3 Belastungstests zwar etwas über den Werten der Gesunden Sportler, befanden sich jedoch damit im Normbereich. Die Aussage von KÖBBERLING 2000, dass bei insulinabhängigen Diabetikern generell erhöhte STH-Konzentrationen vorkommen können, ist auf die untersuchten Diabetiker daher nicht anzuwenden, da die Werte im Normbereich lagen und somit nicht als erhöht bezeichnet werden können. In der **Literatur** werden bei **einigen Studien** mit **Diabetikern** bei **moderater Belastung** (GARLASCHI et al. 1975; MÜHLHAUSER u. Mitarb. 1981; VIBERTI et al. 1984; HÜBINGER et al. 1985, 1987; MEINDERS et al. 1988; RÖNNEMA et al. 1991), bei **kurzer, intensiver Belastung** (SILLS, CERNY 1983; HÜBINGER et al. 1985; RAMIRES et al. 1993) als auch bei **Intervallbelastungen** (SILLS, CERNY 1983; HÜBINGER et al. 1985) signifikante Erhöhungen des STH während und nach Belastung festgestellt.

Ähnlich wie bei den Hormonen Glukagon und Cortisol kommen einige Autoren zu der Feststellung, dass **Diabetiker**, sofern sie **gut eingestellt** sind, bei Belastung **hormonell ähnlich reagieren wie Gesunde** (BERGER et al. 1977; TAMBORLANE et al. 1979; MÜHLHAUSER u. Mitarb. 1981; JETTE 1984; GALBO 1986).

In Bezug auf die vorliegende Untersuchung ist anzunehmen, dass die **Diabetiker**, die mit einem durchschnittlichen **HbA1c-Wert** von **6,7 ± 0,9 %** gut eingestellt waren, auf die 3 unterschiedlichen Belastungen ähnlich reagiert haben wie die **Gesunden Sportler** und das generell die **Umstellung auf körperliche Belastung** der **Auslöser** für die hypophysäre **Sekretionssteigerung des STH** ist. Der STH-Anstieg bei den 3 Belastungstests bei beiden Untersuchungsgruppen könnte durch eine **globale zentrale Steuerung** ausgelöst sein, die den **Organismus an die Arbeitsphase anpasst**.

Die etwas höheren STH-Spiegel der Gesunden beim Test T1 und Test T2 könnten mit deren generell niedrigeren Insulinspiegeln im Vergleich zu den Diabetikern zusammenhängen. Der Insulinmangel an sich wird bei den Diabetikern nicht für den signifikanten Anstieg des STH in den Tests verantwortlich gemacht, da die Diabetiker gut eingestellt waren und bei ihnen kein Insulinmangel vorlag. JACOBBER et al. 1993 machen in ihrer Untersuchung einen Insulinmangel vor Belastung für einen signifikanten STH-Anstieg während erschöpfender Fahrradspiroergometrie bei Diabetikern verantwortlich.

Ebenso kann der Anstieg des STH nicht durch den Reiz einer Hypoglykämie erklärt werden, da weder die Diabetiker als auch die Gesunden Sportler vor, während und nach den 3 Belastungstests eine Hypoglykämie hatten.

Der bei beiden Untersuchungsgruppen festgestellte geringere STH-Anstieg im Test T3 im Vergleich zu den Tests T1 und T2 könnte mit der geringen Anzahl und damit auch geringer Dauer der Intervalle erklärt werden. Möglicherweise war der Belastungsreiz zu kurz, um bis zum Messzeitpunkt einen höheren STH-Anstieg zu provozieren. SILLS, CERNY 1983 fanden bei einem Intervalltest über 30 Minuten mit 1-minütigen Intervallen von 100 % der maximalen Sauerstoffaufnahme und 1-minütigen Pausen größere STH-Anstiege als bei einem 30-minütigen Dauerbelastungstest bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme mit Diabetikern (Kinder).

Im Allgemeinen dürfte das bei der vorliegenden Untersuchung **ähnliche belastungsindizierte hormonelle Verhalten des STH** von **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern** auf die **gute Stoffwechseleinstellung der Diabetiker** zurückzuführen sein.

4.6.2.5 Katecholamine – Adrenalin und Noradrenalin

Die **Katecholamine Adrenalin** und **Noradrenalin** sind Parameter der **sympathischen Aktivität**. Sie beeinflussen die körperlichen **kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen, metabolischen** und **psychonervalen Belastungsreaktionen** und **Belastungsadaptationen** (BUDDECKE 1980; JUNGERMANN, MÖHLER 1980; WEICKER, STROBEL 1994).

Durch **nervale sympathische Reize** wird die **Freisetzung** von **Adrenalin** und **Noradrenalin** aus dem **Nebennierenmark** gesteuert. Dabei stammt im Blut zirkulierendes **Adrenalin** allein aus dem **Nebennierenmark**, zirkulierendes **Noradrenalin** dagegen stammt aus dem **Nebennierenmark** und vor allem aus den **Synapsen noradrenerger Neuronen** (JUNGERMANN, MÖHLER 1980). Während in Ruhe nur sehr geringe Hormonmengen an den Kreislauf abgegeben werden, kommt es bei **körperlichen und/oder psychischen Belastungen** zu einer **stark erhöhten Ausschüttung**. **Reize** für die **Katecholaminfreisetzung** sind z.B.:

- **körperliche Arbeit**
- **Kälte/Hitze**
- **Hypoglykämie**
- **Schmerzen**
- **O₂-Mangel**
- **Blutdruckabfall**
- **Angst, Ärger, Stress**

Die unter **Alarmsituationen** freigesetzten Katecholamine vermitteln **ergotrope Wirkungen**. Es kommt zur **Erhöhung des Atemminutenvolumens** und des **Herzminutenvolumens**, es erfolgt eine **Blutumverteilung** zu Gunsten der **arbeitenden Skelettmuskulatur**, es wird **gespeicherte chemische Energie** (Fett, Glykogen) mobilisiert (Lipolyse, Glykogenolyse). Die **Glukoseaufnahme** in die **Muskelzellen** wird **gefördert**, um auf diesem Wege der vermehrt tätigen Muskulatur **ausreichend Brennstoff** (Fettsäuren, Glukose) zur Verfügung zu stellen (WEICKER, STROBEL 1994).

Die Katecholamine können als direkte Antagonisten des Insulins betrachtet werden. **Adrenalin** ist vor allem **stoffwechselaktiv**, **Noradrenalin** **gefäßaktiv**.

Die Tabelle 19 zeigt zusammengefasst die **Katecholamin-Wirkungen**.

Tab.19: Wirkungen der Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin

(modifiziert nach WEICKER, STROBEL 1994).

	<i>KATECHOLAMINE</i>
kardio- vaskuläre Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Erhöhung von Frequenz, Kontraktilität und Überleitungsgeschwindigkeit: → periphere Vasokonstriktion → Blutdruckerhöhung durch erhöhte Auswurfleistung des Herzens <li style="padding-left: 40px;">unter Noradrenalinwirkung: ◆ Vasodilatation im Bereich der glatten Gefäßmuskulatur <li style="padding-left: 40px;">unter körperlicher Belastung: ◆ Blutumverteilung aus dem Splanchnikusgebiet in die arbeitende Skelettmuskulatur
Wirkungen auf die nicht vas- kuläre glatte Muskulatur	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Relaxation der glatten Muskulatur der Bronchiolen <li style="padding-left: 40px;">◆ Pupillendilatation ◆ Kontraktion der glatten Muskulatur von Harnblase und Darm
Wirkungen auf den Stoffwechsel (hauptsächlich über Adrenalin)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Regulation der Mobilisation von Glukose und Fett aus ihren Depots: → Steigerung der Glykogenolyse/Glukoneogenese in der Leber → Steigerung der Glykogenolyse in der Skelettmuskulatur → Steigerung der Lipolyse in den Fettzellen
verschiedene Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Thermoregulation durch Stimulation der Schweißdrüsen <li style="padding-left: 40px;">◆ gesteigerte Wärmeproduktion

Bei einer **psychischen Belastung** wird **vorwiegend Adrenalin**, bei einer **körperlichen Aktivität** primär **Noradrenalin** und erst unter **Höchstbelastung** **zunehmend Adrenalin** frei (JUNGERMANN, MÖHLER 1980; WEICKER 1985; RIECKERT 1987). NOWACKI, SCHMID 1970 fanden enge Korrelationen zwischen körperlicher und emotionaler Belastung bei verschiedenen Sportarten und der dabei auftretenden sympathiko-adrenalen Reaktion.

Einige Autoren fanden einen **überschießenden Katecholaminanstieg** bei ihren Belastungsuntersuchungen vornehmlich bei **Belastungen oberhalb der aerob-anaeroben Schwelle** und machen hierfür neben der physischen Belastung auch den psychischen Stress verantwortlich (HARTLEY et al. 1972; KINDERMANN et al. 1982). URHAUSEN u. Mitarb. 1992 nehmen an, dass der Grund für diese überschießende Reaktion der Katecholamine oberhalb der aerob-anaeroben Schwelle eine reduzierte intramuskuläre Glykogenverfügbarkeit bei stabiler Blutglukosekonzentration sein könnte.

REUBER 1994 fand signifikante Katecholaminanstiege bei Tauchern. Er führt den Adrenalinanstieg vornehmlich auf die psychische Beanspruchung und den Noradrenalinanstieg auf die massive Kälteexplosion zurück, da die körperliche Belastung beim Tauchen eher gering ist.

SCHNORR u. Mitarb. 1996 stellten nach erschöpfender Fahrradspiroergometrie nach der Gießener 1 Watt/kg KG-Methode bei Tauchern, Dressurreitern und Gymnastinnen einen deutlichen Anstieg der Katecholamine fest. Sie glauben, dass die ungewohnte Belastungsform der maximalen Fahrradspiroergometrie mit hoher aerober und anaerober Energieausschöpfung der Grund für diese Belastungsreaktion ist. Nach sportartspezifischer Belastung im Training oder Wettkampf waren bei ihren Untersuchungen, vor allem bei den erfahrenen Tauchern und bei Gymnastinnen, die eine dynamische Gymnastik mit aktivierender Pop-Musik durchführten, deutliche Anstiege der Katecholamine zu erkennen. Die Autoren unterstreichen in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Musikbegleitung für die tänzerische Gymnastik

Hohe Adrenalinpiegel entstehen erst bei einer Belastung von 70 – 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (HARTLEY 1975; KEUL 1980; WILMORE, COSTILL 1999) und bei einer Herzfrequenz von 160 – 180 Schlägen/min (KEUL u. Mitarb. 1980). Noradrenalin steigt oberhalb einer Intensität von 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (WILMORE, COSTILL 1999). Nach Strobel 2002 **steigen die Katecholaminkonzentrationen** im Blutplasma **ab** einer **Belastungsintensität von**

50 – 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme exponentiell mit der **Belastungsintensität** an. WEICKER, STROBEL 1994 dagegen glauben, dass die Katecholaminkonzentrationen ab einer Belastungsintensität von 30 – 40 % der maximalen Sauerstoffaufnahme exponentiell zunehmen. Die Autoren sind der Meinung, dass bei einer Belastungsintensität von 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme die Plasma-Katecholaminspiegel signifikant mit der Belastungsdauer ansteigen, während sie bei 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme nach kurzer Zeit ein Plateau erreichen.

Arbeitsqualität, -intensität und **–dauer** wirken sich wesentlich auf das **Verhalten** der **Katecholamine unter körperlicher Belastung** aus, wobei der Intensität die Hauptbedeutung zukommt (CHRISTENSEN et al. 1979; HOLLMANN, HETTINGER 2000; CHRISTENSEN, GALBO 1983; ÅSTRAND, RODAHL 1986; GALBO 1986; RÖCKER 1986; SUTTON 1991; WEICKER, STROBEL 1994).

Nach MÜHLHAUSER u. Mitarb. 2000 werden bei **Diabetikern** bei Plasmaglukosewerten von etwa 70 mg/dl die **gegenregulatorischen Hormone** aktiviert und die Sekretion von Adrenalin, Glukagon, Wachstumshormon und Cortisol nimmt zu. Um das Auftreten von **Hypoglykämiesymptomen** und **Hirnleistungsstörungen** zu verhindern, reicht diese Gegenregulation aus, um unter physiologischen Bedingungen den Blutglukosespiegel wieder zu erhöhen. Dabei wird **Adrenalin wichtig**, wenn **Glukagon nicht ausreichend sekretiert** wird. Patienten mit kurzer Diabetesdauer zeigen eine normale Gegenregulation. Nach langer Diabetesdauer kommt es neben einer verminderten Sekretion von Glukagon während einer Hypoglykämie zusätzlich zu einer Abschwächung der Adrenalinsekretion (MÜHLHAUSER u. Mitarb. 2000). Nach KLEVESATH u. Mitarb. 1999 kommt es im Rahmen der gestörten hormonellen Hypoglykämie-Gegenregulation in Abhängigkeit von der Diabetesdauer zu einem Glukagonddefizit nach ca. 5 Jahren und zu einer gestörten Adrenalinfreisetzung nach ca. 10 Jahren. Die Abb. 51 zeigt zusammengefasst die zeitliche Abfolge der hormonellen Gegenregulation bei Hypoglykämie.

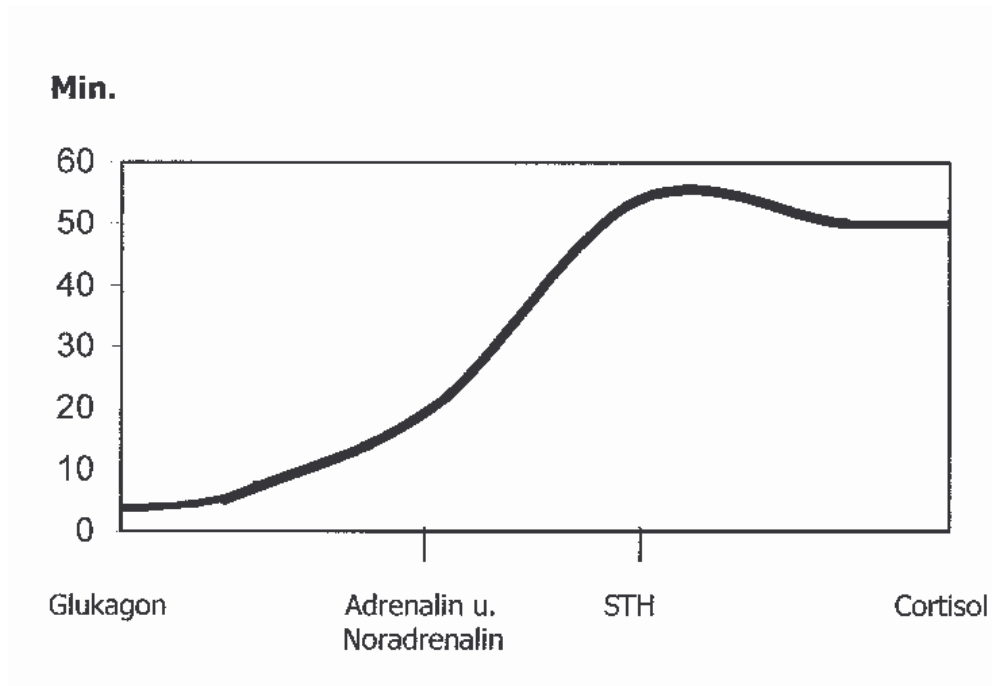


Abb. 51: Zeitliche Abfolge der hormonellen Gegenregulation bei Hypoglykämie (nach Klevesath u. Mitarb. 1999).

Diese Zusammenhänge gelten ebenso in Bezug auf den Diabetes mellitus und Belastung. TUTTLE et al. 1988; HOUGH 1994; TURGAN et al. 1996 machen neben Glukagon die **Katecholaminsekretion** verantwortlich, um eine **Hypoglykämie bei Belastung** zu vermeiden. GALBO 1983; CHRISTENSEN, GALBO 1983; SUTTON 1991 kommen zu der Auffassung, dass bei Gesunden und Diabetikern die AdrenalinKonzentration im Blut bei Belastung nicht so hoch ansteigt, wenn die Glukosekonzentration aufrechterhalten wird. SUTTON 1991 stellt größte Adrenalinanstiege bei einer Hypoglykämie während der körperlichen Belastung fest.

Bei der vorliegenden Untersuchung war zum Messzeitpunkt 30 Minuten nach Belastungsende festzustellen, dass die **AdrenalinKonzentration** in allen **3 Belastungstests** bei den **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern** nur **leicht angestiegen** ist. Nur nach dem Test T2 fiel die AdrenalinKonzentration bei den Diabetikern sogar noch leicht ab. Die Gesunden Sportler lagen dagegen größtenteils mit ihren Werten leicht über denen der Diabetiker.

Die **NoradrenalinKonzentration stieg** bei den **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern nach dem Test T1 signifikant** ($p < 0,005$), **nach dem Test T2** nur noch

leicht an. Nach dem Test T3 fiel bei den Gesunden Sportlern die NoradrenalinKonzentration leicht ab, während bei den **Diabetikern** das **Noradrenalin etwas deutlicher als nach dem Test T2 anstieg**. Wie beim Adrenalin lagen die Gesunden Sportler mit ihren Noradrenalinwerten (besonders deutlich nach dem Test T1) über den Werten der Diabetiker.

Einige Autoren fanden bei **moderater Belastung** etwa **gleich große Anstiege** der **Katecholaminkonzentrationen** bei **Diabetikern** und **Gesunden**, wenn die **Stoffwechseleinstellung der Diabetiker gut** war (MÜHLHAUSER u. Mitarb. 1981; VIBERTI et al. 1984; HÜBINGER et al. 1985; HIRSCH, SHAMOON 1987; COLBERG et al. 1996; TURGAN et al. 1996). Dagegen reagierten Diabetiker mit einer **schlechten Stoffwechseleinstellung** oder auch beim Vorhandensein einer **diabetischen Neuropathie** bei moderater Belastung mit einem **niedrigeren Anstieg** von **Adrenalin** und **Noradrenalin** im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen (CHRISTENSEN et al. 1979; HILSTED et al. 1980; HIRSCH, SHAMOON 1987; SUNDKVIST et al. 1990; BILO et al. 1991). ENDO et al. 2000 folgerten aus ihren Untersuchungen mit Typ-II-Diabetikern, dass niedrigere Katecholaminspiegel der Diabetiker in Ruhe und bei Belastung im Vergleich zu Gesunden auf die Gefahr von nachfolgenden Herz- und Hirngefäßveränderungen hindeuten können. Bei den Untersuchungen von SCHNEIDER et al. 1991, bei denen 11 Diabetiker mit einem HbA1c-Wert von 9,2 % und Gesunde 60 Minuten bei 60 – 65 % der maximalen Sauerstoffaufnahme Fahrradergometerarbeit leisteten, stiegen **unter Hypoglykämie** die Katecholamine bei den Diabetikern weniger hoch an als bei den Gesunden.

Auch bei **Intervallbelastungen** und **erschöpfenden Belastungen** kommen einige Autoren zu ähnlichen Ergebnissen. HÜBINGER et al. 1985 fanden bei einer Intervallbelastung von 3 x 10 Minuten Fahrradergometerarbeit bei einer Intensität von der Hälfte der maximalen Leistungskapazität bei Typ-I-Diabetikern einen signifikanten Anstieg von Adrenalin und Noradrenalin, wobei der Blutglukosespiegel der Probanden während der Belastung abnahm und die Katecholamine so zur Regulierung des Blutglukosespiegels beigetragen haben.

Ebenso bei intensiver, erschöpfender Belastung ist die sympathicoadrenale Aktivität von großer Bedeutung in Bezug auf die Glukosehomöostase. Besonders bei **erschöpfender Belastung** werden im Vergleich zu moderaten Belastungen **höhere Anstiege** der **Katecholaminkonzentrationen** bei Diabetikern und Gesunden

gefunden (JACOBBER et al. 1983; HÜBINGER et al. 1985; PURDON et al. 1993; RAGUSO et al. 1995; NUGENT et al. 1997).

In mehreren Untersuchungen stellten einige Autoren fest, dass **Adrenalin schnell nach Belastungsabbruch** wieder zu den **Ausgangswerten zurückkehrt**, **Noradrenalin** jedoch **bis zu 30 Minuten nach der Belastung** noch **erhöht** bleibt (HÜBINGER et al. 1987; RAGUSO et al. 1995; TURGAN et al. 1996; WILMORE, COSTILL 1999). Dagegen war bei einer Untersuchung von MEINDERS et al. 1988, bei der Typ-I-Diabetiker einen 3-stündigen Trainingslauf absolviert haben, nach 30-minütiger Erholung auch das Adrenalin erhöht.

In Verbindung mit den Ergebnissen aus der Literatur ist bei der vorliegenden Untersuchung eine **Hypoglykämie** als **Reiz** für den **Anstieg der Katecholamine** bei den **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern auszuschließen**, da es bei beiden Untersuchungsgruppen zu keinem Zeitpunkt der Belastungsuntersuchungen zu einer Hypoglykämie gekommen ist. Da die Diabetiker generell mit ihren Blutglukosewerten über den Belastungsverlauf und in der Erholungsphase bei den Tests T1, T2 und T3 signifikant höher lagen als die Gesunden Sportler, könnte dies die höheren Katecholaminkonzentrationen der Gesunden Sportler versus der Diabetiker erklären. Auch die **geringere Leistungsfähigkeit** der **Diabetiker** könnte ein Grund für den **niedrigeren Katecholaminanstieg** im Vergleich zu den Gesunden Sportlern sein.

In Bezug auf die dargestellten Ergebnisse aus der Literatur kommt eine **diabetische Neuropathie** bei unseren Diabetikern **nicht in Frage**, die eine eingeschränkte Reaktion der Katecholamine auf Belastung erklären könnte.

Demzufolge wird das **Ansteigen der Katecholamine** bei den Diabetikern und Gesunden Sportlern, besonders der **signifikante Anstieg des Noradrenalins beider Gruppen** in dem **Test T1**, auf die **physische Belastung** zurückgeführt, da die Probanden auch keinem vermehrten psychischen Stress ausgesetzt waren. Dass der Anstieg des Noradrenalins in den Tests T2 und T3 nicht so hoch war, könnte daran liegen, dass in dem Test T2 die Belastungsdauer insgesamt zu kurz war und in dem Test T3 die Dauer der Intervalle zu kurz war, um einen massiven Anstieg des Noradrenalins zu provozieren.

Unerwartet **niedrig** fällt bei beiden Untersuchungsgruppen der **Adrenalinanstieg** aus. Nach GALBO 1983, 1986 ist die Zunahme der Adrenalinkonzentration vermindert, wenn die Glukosekonzentration nicht abfällt bzw. steigt die Adrenalinkonzentration im Plasma an, wenn die Glukose abnimmt. Demnach könnte man vermuten, dass es

aufgrund einer relativ stabilen Glukosekonzentration während und nach den Tests T1, T2 und T3 bei den Diabetikern als auch bei den Gesunden Sportlern nicht zu einem hohen Anstieg der AdrenalinKonzentration gekommen ist. Dagegen dürfte die Dauer und besonders die Intensität der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie in dem Test T1 ausreichend gewesen sein, um einen entsprechenden Adrenalinanstieg zu provozieren. Aufgrund der Tatsache, dass aus methodischen Gründen die Hormonkonzentrationen 30 Minuten nach Belastungsende gemessen wurden, könnte dieser Messzeitpunkt im Hinblick auf das Adrenalin dazu geführt haben, dass sich die AdrenalinKonzentrationen der Diabetiker als auch der Gesunden Sportler bis dahin wieder dem Ruhewert genähert haben könnten. Dieser Sachverhalt müsste durch eine neue Untersuchungsserie mit engeren Abnahmezeitpunkten für die Bestimmung der Hormonkonzentrationen geklärt werden.

Auch im Vergleich zu den Reaktionen der Hormone Glukagon, Cortisol und STH bei Belastung trifft auf die Katecholamine zu, dass gut eingestellte Diabetiker auf körperliche Belastung in Bezug auf glukoregulatorische Reaktionen ähnlich wie gesunde Personen reagieren (BERGER et al. 1977; CHRISTENSEN et al. 1979; TAMBORLANE et al. 1979; HILSTED et al. 1980; MÜHLHAUSER u. Mitarb. 1981; BILO et al. 1991; RÖNNEMAA et al. 1991; TURGAN et al. 1996).

BILO et al. 1991 finden eine **signifikante Korrelation** zwischen der Serumkonzentration von **Adrenalin und Noradrenalin** und dem **HbA1c-Wert** in Ruhe und bei Belastung. Gut eingestellte Diabetiker (6,8 % HbA1c) hatten in Ruhe und nach Belastung (20 Minuten Fahrradergometerarbeit bei 100 Watt) signifikant niedrigere Katecholaminkonzentrationen als schlecht eingestellte Diabetiker (11,8 % HbA1c). Der HbA1c-Wert von durchschnittlich 6,7 % der von uns getesteten Diabetiker weist auf eine gute Stoffwechseleinstellung hin, was u.a. auch zu den "normalen" Reaktionen der Katecholamine auf Belastung bei den Diabetikern geführt haben könnte.

In der Abb. 52 sind zusammengefasst die Effekte von Bewegung auf die Hormonsekretion und gleichzeitige Effekte dieser Hormone auf den Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel zu sehen.

Effekte von längerer körperlicher Belastung

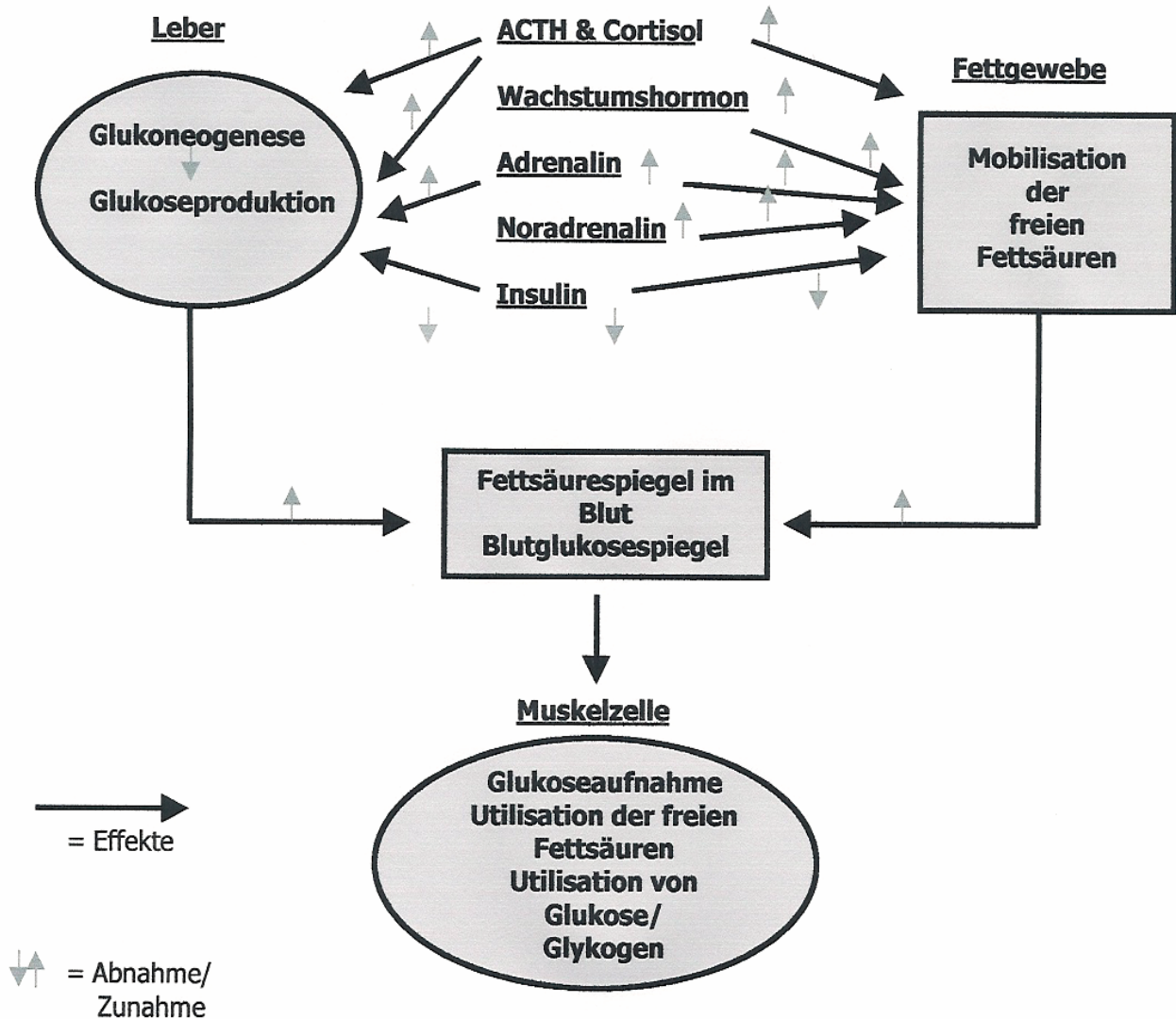


Abb. 52: Effekt von Bewegung auf die Hormonsekretion und gleichzeitiger Effekt dieser Hormone auf den Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel (modifiziert nach PRUETT 1971).

4.6.3 Laktat

Bei der stufenförmig ansteigenden Fahrradergometerarbeit beim **Test T1** diene die **Messung der Laktatkonzentration** zum einen der **Feststellung des Ausbelastungsgrades** und der **Bestimmung der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit** der Probanden. Zum anderen können nicht nur die maximalen Laktatwerte, sondern auch die gemessenen Laktatwerte über den gesamten Verlauf der Untersuchungen zum **Zwecke der Bilanzierung des gesamten Energiestoffwechsels** herangezogen werden. Das Laktat ist das Endprodukt der Glykolyse. Es wird aus dem Pyruvat durch Hydrierung gebildet, wenn das Pyruvat nicht oxidiert und in den Zitronensäurezyklus eingeschleust werden kann.

HOLLMANN, LIESEN 1973; MADER u. Mitarb. 1976 und KEUL, KINDERMANN, SIMON 1978 führen Unterschiede im Laktatverhalten auf quantitativ und qualitativ unterschiedliche Arbeits- und Belastungsformen zurück. In diesem Zusammenhang folgert ZHAO 1995 anhand seiner Ergebnisse bei seinen Untersuchungen, bei denen er verschiedene Belastungsverfahren miteinander verglich, dass das 1 Watt/kg-KG-Belastungsverfahren nach NOWACKI bei sehr gut trainierten Sportlern die größte anaerobe Kapazität bei einer Spiroergometrie mobilisiert.

Bei einer stufenförmigen Belastung sollten als Kriterium der Ausbelastung nach HECK 1990 Laktatwerte von mindestens 8 mmol/l erreicht werden. HOLLMANN, LIESEN 1973 stellten im diesem Zusammenhang bei Trainierten signifikant höhere maximal erreichbare Laktatkonzentrationen als bei Untrainierten fest.

MADER u. Mitarb. 1976 definierten 4 Ausbelastungsgrade anhand der Blutlaktatwerte. Nach ihren Aussagen kommt es unterhalb von 4 mmol/l zu keiner Ausbelastung, zwischen 4 und 8 mmol/l liegt eine geringe, zwischen 8 und 12 mmol/l eine mittlere und oberhalb von 12 mmol/l eine hohe Ausbelastung vor. NOWACKI et al. 1988 differenzieren das Vorliegen einer Azidose folgendermaßen: von 2 bis 6 mmol/l liegt eine niedrige, von 6 bis 12 mmol/l eine mittlere und oberhalb von 12 mmol/l eine hohe Azidose vor.

Eine maximal zu tolerierende Azidose geben HECK, SCHULZ 2002 mit maximalen Blutlaktatwerten von 15 bis 20 mmol/l an. Diese können bei speziell trainierten Sportlern, wie z.B. 400-m-Läufern, bis zu 25 mmol/l ansteigen. Nach NEUMANN u. Mitarb. 1998 weisen Kampfsportler, besonders die Ringer, noch höhere Laktatkonzentrationen auf. Die gemessenen Werte von 28 mmol/l Laktat beruhen ihrer

Meinung nach auf der hohen isometrischen Kraftbelastung der Muskulatur, bei der die Blutzufuhr zur Muskulatur zusätzlich gedrosselt wird und ein lokaler Sauerstoffmangel entsteht.

Bezogen auf die maximale anaerobe Kapazität und Ausbelastung zeigen unsere Probanden mit **fast gleichen maximalen Laktatwerten beim Test T1 ($13,8 \pm 3,0$ mmol/l Diabetiker; $13,9 \pm 2,3$ mmol/l Gesunde Sportler)** eine **hohe anaerobe Kapazität** und liegen im Bereich **einer sehr hohen Ausbelastung bzw. einer hohen Azidose**.

Im submaximalen Bereich unterscheiden sich beide Gruppen dagegen sehr deutlich. Ab der 8. Minute steigt die Laktatkonzentration der Diabetiker schneller an als bei den Gesunden Sportlern. Die Diabetiker erreichen ihre aerob-anaerobe Schwelle, wenn man diese bei 4 mmol/l definiert, 2 Minuten früher als die Gesunden Sportler. Das zeigt, dass die **Gesunden Sportler** eine **deutlich bessere aerobe Kapazität** als die **Diabetiker** haben.

1964 definierten WASSERMANN, McILROY den Beginn des anaeroben Metabolismus während körperlicher Arbeit als "**anaerobic threshold**". MADER u. Mitarb. 1976 definierten die **aerob-anaerobe Schwelle** bei einem **Blutlaktatspiegel** von **4 mmol/l**, wogegen ÅSTRAND, ROHDAHL 1986 die **aerob-anaerobe Schwelle** bei einer **Laktatkonzentration zwischen 2,5 und 4 mmol/l** sehen. In den letzten 30 Jahren wurde eine Vielzahl verschiedener Schwellenkonzepte entwickelt, auf die im Einzelnen an dieser Stelle nicht eingegangen werden kann. Dabei kann man als Schwelle eines physiologischen Parameters (z.B. Laktat, Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidabgabe, Ventilation oder Atemfrequenz) diejenige Belastung bezeichnen, bei der sich gerade noch ein steady-state des Parameters einstellt (HECK 1990).

Die **individuelle aerob-anaerobe Schwelle (IAS)** kann von dem 4 mmol/l Laktatwert gering nach oben oder unten abweichen. Sie ist abhängig von der ausgeübten Sportart und dem Trainingszustand. STEGMANN, KINDERMANN 1981 beschreiben die "individuell anaerobe Schwelle" als den Zeitpunkt, an dem die maximale Eliminationsrate und Diffusionsrate des Laktats im Gleichgewicht stehen. Nach STEGMANN, KINDERMANN 1981 liegt die anaerobe Schwelle bei Nichtausdauertrainierten bzw. geringer Ausdauertrainiertheit bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l, während bei höher Ausdauertrainierten die Schwelle

deutlich unter 4 mmol/l abfällt. Innerhalb der vorliegenden Untersuchung wurde die IAS nicht ermittelt, da diese für die vorliegenden Fragestellungen keine Bedeutung hat. Im **Steady-State-Test T2** liegen die **Diabetiker** in ihrer Blutlaktatkonzentration von Anfang bis Ende signifikant ($p < 0,05$) **über den Werten der Gesunden Sportler**. Erst in der 10. Erholungsminute erreichen die Diabetiker wieder den Wert der gesunden Kontrollgruppe. **Beide Untersuchungsgruppen** liegen mit ihren **Laktatwerten** im Bereich der **aeroben alaktaziden Energiegewinnung**, wobei die Gesunden Sportler über den Belastungsverlauf mit ihrer Laktatkonzentration nur wenig über einem Ruhewert liegen, die Diabetiker jedoch während der Steady-State-Belastung über 2 mmol/l kommen.

Auch im **Intervalltest T3** besteht ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) bezüglich der Blutlaktatkonzentration zwischen beiden Untersuchungsgruppen. Im Gegensatz zum Test T1 und T2 haben die **Diabetiker** auch **nach der Erholungsphase** von 10 Minuten immer noch **deutlich höhere Laktatkonzentrationen als die Gesunden Sportler ($3,0 \pm 1,3$ mmol/l)** und liegen mit **$5,5 \pm 2,9$ mmol/l** noch **deutlich über der aerob-anaeroben Schwelle**, während die **Gesunden Sportler im Bereich ihrer aerob-anaeroben Schwelle** liegen.

In der Literatur weisen viele Untersuchungen ähnlich **erhöhte Laktatwerte** von **Diabetikern (Typ I und Typ II)** im Vergleich zu Gesunden bei Belastung auf.

REGENSTEINER et al. 1995 fanden bei Typ-II-Diabetikern höhere Blutlaktatwerte bei Belastung als bei gesunden Personen. Sie stellen bei Diabetikern eine limitierte Möglichkeit fest, moderate Belastungen durchzuführen, ohne negative Reaktionen wie z.B. eine verminderte VO_2max oder erhöhte Blutlaktatwerte zu haben. Sie glauben, dass sich eine erhöhte Blutviskosität bei Typ-II-Diabetikern negativ auf die VO_2max auswirkt und dass das dadurch beeinträchtigte Sauerstoffangebot die Ausdauerleistungsfähigkeit begrenzt. Ebenfalls bei Untersuchungen von REGENSTEINER et al. 1998 stellten die Autoren bei moderater Belastung bei Diabetikerinnen im Vergleich zu gesunden Personen höhere Laktatkonzentrationen im Blut fest. Sie machen dafür im Zusammenhang mit einer verminderten VO_2max eine eingeschränkte myocardiale Funktion verantwortlich als auch einen Defekt der Sauerstoffdiffusion in der Skelettmuskulatur. BERGER et al. 1977 fanden ebenfalls signifikant höhere Laktatkonzentrationen im Blut bei Diabetikern, wobei eine Begründung dafür nicht angegeben wird.

MEINDERS et al. 1988 machen einen höheren eigenen Glykogenverbrauch der Muskelzellen der Diabetiker für erhöhte Blutlaktatwerte von Typ-I-Diabetikern verantwortlich. GÖBEL 1994 glaubt, dass eine verschlechterte Mikrozirkulation seitens der Diabetiker (Typ I) zu erhöhten Laktatkonzentrationen bei Belastung führt.

Dagegen fanden TURGAN et. al. 1996 (Typ-II-Diabetiker, untrainiert) und NUGENT et al. 1997 bei ihren Untersuchungen mit Diabetikern (Typ-I-Diabetiker, untrainiert) und gesunden Personen keine großen Unterschiede hinsichtlich der Laktatkonzentration bei Belastung zwischen den Untersuchungsgruppen. Sie glauben, dass bei gut eingestellten Diabetikern die metabolischen/hormonellen Reaktionen bei Belastung ähnlich wie bei Gesunden sind.

Auch in der vorliegenden Untersuchung waren die Diabetiker gut eingestellt. Die **erhöhten Laktatwerte** der Diabetiker **könnten ihre Gründe im Glukosestoffwechsel** der Diabetiker haben. So wäre es möglich, dass die frühzeitigere und auch höhere anaerobe Energiebereitstellung bei den Diabetikern, besonders bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie und dem Intervalltest, an einem **Defekt** im Bereich der **Glukoseproduktion**, der **Glukoseutilisation** und dem **Glukosetransport** liegen.

Beim Stoffwechselgesunden führt Muskelarbeit zu einer verstärkten Glukoseproduktion und zu einer vermehrten Glukosefreisetzung aus den Glukosespeichern in Leber und Muskulatur einerseits und zu einer vermehrten Glukoseaufnahme der Muskelzelle aus dem Blut andererseits. Seine Bauchspeicheldrüse produziert unter Belastung weniger Insulin. Der Blutzuckerspiegel bleibt jedoch im Normbereich, da zugleich die Insulinempfindlichkeit steigt. Glukoseproduktion, -freisetzung und -utilisation halten einander die Waage.

Beim insulinabhängigen Diabetiker jedoch laufen diese Stoffwechselprozesse etwas anders ab. Im Gegensatz zu dem Gesunden ist seine Glukoseproduktion unzureichend, obgleich auch bei ihm durch Muskelarbeit die Glukosespeicher in Muskulatur und Leber entleert werden und die Muskelzelle vermehrt Blut aufnimmt. Da durch den veränderten Stoffwechsel des Diabetikers im Vergleich zum Gesunden die Möglichkeit der Verfügbarkeit von extrazellulärer Glukose für die arbeitende Muskulatur eingeschränkt ist (RIDELL et al. 2000), ist damit ebenso die Glukoseutilisation eingeschränkt. Daraus, dass die Diabetiker (Typ I) verminderte Glykogenvorräte in Leber und der Skelettmuskulatur haben (HOUGH 1994) und eine eingeschränkte Glukoseoxidation vorliegt (WASSERMAN, VRANIC 1986; COLBERG et al. 1996) könnte

resultieren, dass die Blutlaktatkonzentration bei den Diabetikern bei Belastung erhöht ist (WASSERMAN, VRANIC 1986). Die herabgesetzte aerobe und anaerobe Kapazität der Diabetiker kann auch dadurch erklärt werden, dass durch den eingeschränkten Glukosetransport infolge Insulinmangels die Muskelglykogendepots vermindert sind (MEHNERT, SCHÖFFLING 1974). RAGUSO et al. 1995, die Typ-I-Diabetiker über 30 Minuten bei moderater Intensität bei 47 % der VO_2 max und bei intensiverer Intensität bei 77 % der VO_2 max im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe getestet haben, differenzieren etwas mehr. Sie gehen davon aus, dass bei moderater Intensität die Glukoseaufnahme bei den Diabetikern beeinträchtigt ist und eine höhere Rate der Fettsäureoxidation die verringerte Verfügbarkeit der Glukose kompensiert. Bei intensiverer Belastung gehen die Autoren von einer ähnlichen Substratoxidation bei Diabetikern und Gesunden aus.

In Verbindung damit könnte eine **erhöhte Aktivität der Laktatdehydrogenase** (WALLBERG-HENRIKSSON et al. 1984) als auch **ein Mangel an aeroben Enzymen** wie **Pyruvat-Dehydrogenase** bei den **Diabetikern** (RUDERMAN et al. 1979; KRZENTOWSKI et al. 1981; WASSERMAN, VRANIC 1986; RAMIRES et al. 1997) zu einem **Pyruvatabbau vor dem Zitronensäurezyklus** und damit zu **einem höheren Laktatanfall** und dem damit verbundenen früheren Belastungsabbruch führen. Nach WEICKER u. Mitarb. 1981 kann infolge der Glukoseverwertungsstörung bei Diabetikern das aus der Beta-Oxidation anfallende Coenzym A nur begrenzt in den Zitronensäurezyklus eingeschleust werden.

4.7 Schlussfolgernde Hinweise zur praktischen Umsetzung

In der **Literatur** finden sich **kaum konkrete Trainingsempfehlungen** für **Leistungssportler** mit **Typ-I-Diabetes**. Empfehlungen für die Gestaltung eines körperlichen Trainings sind meist für Typ-II-Diabetiker zu finden, mit dem Ziel der Reduzierung der Blutglukose, einer Verbesserung der Glukosetoleranz, einer Reduzierung der Insulinresistenz und der Prävention von Risikofaktoren. In diesem Fall dient das körperliche Training der Vorbeugung der Entwicklung bzw. des Fortschreitens des Diabetes mellitus.

Die **Empfehlungen** für ein **sportliches Training** für **Typ-II-Diabetiker** sind vielfältig. Sie reichen von einer Belastung von **40 – 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme** (GÖBEL 1994), von **mindestens 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme** (JETTE 1984) über **50 – 70 % der maximalen Sauerstoffaufnahme** (PEIRCE 1999) bis **50 – 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme**, 3 x pro Woche bei einer Belastungsdauer von 30 – 60 Minuten (American College of Sports Medicine 1997). BARON u. Mitarbeiter 1988 empfehlen für Typ-II-Diabetiker ein **Ausdauertraining** an der **aerob-anaeroben Schwelle** in den Sportarten Radfahren, Schwimmen, Dauerlauf, Skilanglauf oder Ergometertraining. Am Ende eines Trainingsprogramms, das in 6 Phasen eingeteilt ist und auf den Patienten abgestimmt ist, sollte der Patient eine wöchentliche Gesamttrainingszeit von 150 – 180 Minuten erreichen, aufgeteilt in mindestens 3 Trainingseinheiten bei einer **Intensität von 70 % der maximalen Leistungsfähigkeit**.

GOMER M., GOMER M. 1994 fordern aufgrund eines **"gravierenden Forschungsdefizits"** im Bereich **"Leistungssport und Diabetes"**, dass die wissenschaftliche Forschung sich in Zukunft mehr diesem Thema widmen sollte. Sie sehen es als unbedingt erforderlich an, dass die gute Betreuung eines diabetischen Leistungssportlers eine **umfassende Zusammenarbeit** im **Team Sportler, Trainer, Mediziner** und **Sportwissenschaftler** voraussetzt. Auch ZINKER 1999 fordert weitere wissenschaftliche Untersuchungen im Bereich "Wettkampfsport und Diabetes".

Trainingsempfehlungen für Typ-I-Diabetiker im **Leistungssportbereich orientieren** sich meist an denen **gesunder Sportler** oder sind **allgemeiner Art**. Eine **gute Blutzuckereinstellung**, **kein Vorhandensein von Spätkomplikationen** und ein **entsprechendes Selbstmanagement** bzw.

Selbstverantwortung ist die **Voraussetzung** zur **Durchführung** eines **leistungssportlichen Trainings**, wobei die Sportart frei gewählt werden kann (VITUG et al. 1988; GOMER M., GOMER M. 1994; HOUGH 1994; ACSM 1997). Es sollten jedoch Sportarten vermieden werden, bei denen eine Hypoglykämie lebensgefährlich sein könnte (z.B. Drachenfliegen, Bergsteigen, Motorsport etc.). GOMER M., GOMER M. 1994 empfehlen Sportarten, die u.a. "Kontinuität im Lebensrhythmus, eine geringe Eigen- und Fremdgefährdung und eine Kalkulierbarkeit des Energieverbrauchs" gewährleisten. Die Autoren betonen jedoch, dass die Grenzen der Entscheidung für oder gegen bestimmte Sportarten letztlich mehr oder weniger offen bleiben.

VITUG et al. 1988 empfehlen **Sportlern** mit **Typ-I-Diabetes** ein **aerobes Ausdauertraining** von 20 – 40 Minuten Dauer bei einer **Intensität** von **50 – 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme** an 4 – 7 Tagen pro Woche. GÖBEL u. Mitarb. 1990 glauben, dass **untrainierte Typ-I-Diabetiker** (Männer und Frauen) im Freizeitbereich bei einem Ausdauertraining eine **Trainingsbelastung** von **40 – 50 %** der **individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme** nicht überschreiten sollten.

Bezogen auf die vorliegende Untersuchung erreichen die Diabetiker trotz eines **größeren Trainingsaufwandes** eine geringere **maximale Leistungsfähigkeit im Verhältnis zu den Gesunden Sportler**. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Diabetiker krankheitsbedingt durch ein verhältnismäßig zu **intensives Training** nur **suboptimale Trainingseffekte** erzielen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchung werden **folgende Empfehlungen** für die Praxis im Bereich "**Diabetes und Leistungssport**" gegeben:

- 1. Grundsätzlich können gut eingestellte Typ-I-Diabetiker ohne das Vorhandensein von Spätkomplikationen jede Art von Belastung durchführen. Ausgenommen sind Sportarten, die durch eine eventuelle Hypoglykämie zu einer Fremd- oder Selbstgefährdung führen könnten.***

2. Jedoch wird aufgrund der besonderen Stoffwechselsituation des Diabetikers empfohlen, dass sich Diabetiker nicht an den Trainingsempfehlungen für Gesunde Sportler orientieren sollen. Das Training des Diabetikers sollte modifiziert werden, um durch individuell dosierte Belastungsumfänge und -intensitäten gleich gute Trainingsanpassungen wie gesunde Sportler zu erreichen.
3. Aufgrund der Tatsache, dass die Diabetiker besonders im Steady-State-Test T2 und im Intervalltest T3 mit ihren Herzfrequenz- und Laktatwerten deutlich über denen der Gesunden Sportler lagen, wird generell empfohlen, die Belastungsintensität, insbesondere für das aerobe Grundlagentraining und das Training im Entwicklungsbereich/ im Bereich der aerob-anaeroben Schwelle, um ca. 10 % zu reduzieren. Der Belastungsumfang kann gleich bleiben oder ist gegebenenfalls geringfügig zu steigern, um eine mit gesunden Athleten vergleichbare Trainingsanpassung zu erreichen.
4. Für die Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit in den unterschiedlichen Trainingsbereichen, die für jeden Sportler entsprechend seiner Sportart und Zielsetzung individuell festgelegt werden müssen, werden folgende Empfehlungen gegeben (Tab. 20):

Tab. 20: Empfohlene Trainingsbereiche für Diabetiker.

Trainingsbereich	Pulsbereich
Kompensations-/Regenerations-training	< 50 % Hf max
Training im Grundlagenausdauerbereich 1	50 % - 65 % Hf max
Training im Grundlagenausdauerbereich 2	60 % - 70 % Hf max
Training im Entwicklungsbereich	70 % - 80 % Hf max
Training der wettkampfspezifischen Ausdauer	80 % - 95 % Hf max

5. Besonders beim Training im Bereich der Grundlagenausdauer 1 und der Grundlagenausdauer 2 sollte bei einer Belastung, die über 30 Minuten Dauer hinausgeht, ab diesem Zeitpunkt, wenn möglich, ¼ - ½-stündlich der Blutzucker gemessen werden und zur Vermeidung einer Hypoglykämie bzw. zur Aufrechterhaltung des Blutzuckerspiegels zusätzliche Kohlenhydrate zugeführt werden. Im Einzelfall kann der erwartende Kalorienbedarf je nach Sportart und Dauer des Trainings nach entsprechenden Tabellen errechnet und umgerechnet werden. Für einen halbstündigen Dauerlauf werden z.B. je nach Tempo, Trainingszustand und individuellen Voraussetzungen ca. 300 – 400 Kilokalorien benötigt. Ausgehend davon, dass hiervon 60 % in Form von Kohlenhydraten aufgenommen werden, entspricht dies 180 – 240 Kilokalorien bzw. etwa 45 – 60 g Kohlenhydrate oder ca. 4-5 Broteinheiten. Dementsprechend könnte der Diabetiker somit den ungefähren Mehrbedarf an Nahrung errechnen und zu sich nehmen. Eine andere Möglichkeit wäre eine Reduzierung der Insulinzufuhr. Ausgehend von einem Insulinbedarf von einer Einheit auf 2 Gramm Kohlenhydrate müssten dann in Bezug auf das oben genannte Beispiel 20 – 30 Einheiten Insulin weniger gespritzt werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass in der Praxis wegen der unterschiedlichen individuellen Reaktionslagen sowie des teilweise sehr variablen Ablaufs in einzelnen Sportarten solche Rechnungen nicht immer brauchbar sind, da Art und Menge der zusätzlich zugeführten Kohlenhydrate von dem aktuellen Blutzucker, der aktuellen Insulinversorgung, von der Art der körperlichen Belastung und vom Trainingszustand abhängen. Dem Diabetiker sollte daher angeraten werden, seine individuellen Erfahrungen mit der Ausübung seiner Sportart bzw. seinen Sportarten zu sammeln, diese zu dokumentieren und entsprechend zu reagieren. Dies setzt eine hohe Intelligenz des Diabetikers sowie eine enge Kooperation mit einem entsprechend geschulten Trainer und dem betreuenden Sportarzt mit einschlägigen Erfahrungen voraus.

- 6. Beim Training in höheren Belastungsbereichen (Entwicklungsbereich, wettkampfspezifische Ausdauer), wie z.B. beim Intervalltraining, Fahrtspiel, Tempoläufen, Training für die Spielsportarten, sollte neben der Reduzierung der Belastungsintensität auf ausreichend verlängerte Regenerationsphasen geachtet werden. Beim Intervalltraining wird empfohlen, die Pausenlänge zwischen den Intervallen ausreichend lang zu gestalten, um einen verzögerten Rückgang der Herzfrequenz-Erholungswerte zu vermeiden. Die nächste Belastungsphase sollte erst wieder beginnen, wenn die Erholungs-Herzfrequenz ca. 115 Schläge/min erreicht hat. Auch sollte nach einer Trainingseinheit in den oben genannten Bereichen auf eine vollständige Regeneration geachtet werden und eine nachfolgende Trainingseinheit bei eventuell noch erhöhten Ruhe-Laktat- und Ruhe-Herzfrequenzwerten vermieden werden.**
- 7. Der Ausgangsblutzucker vor Belastung sollte 150 mg/dl nicht unterschreiten, um eine Hypoglykämie während oder nach der Belastung zu vermeiden und nicht über 250 mg/dl liegen, da in diesem Fall die Gefahr einer Stoffwechselentgleisung in Form einer Ketoazidose zu groß wäre. Als Ausgangsblutzucker wird ein Wert von 160 – 170 mg/dl empfohlen. Der erhöhte Blutzuckerwert vor der körperlichen Belastung wird durch die zusätzliche Einnahme von Kohlenhydraten oder eine Verringerung der Insulindosis erreicht (s.o.).**



Abb. 53: Diabetiker H. H. – Teilnehmer der vorliegenden Studie - beim Marathon de Sables (220 km in 6 Etappen) in der Sahara von Südmorokko. Er bewältigte diesen Lauf ohne akute oder nachfolgende gesundheitliche Probleme.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Bei **13 Sportlern mit Diabetes mellitus, Typ I** - $34,9 \pm 9,6$ Jahre, 179 ± 9 cm, 80 ± 11 kg - und **12 Gesunden Sportlern** - $36,3 \pm 7,7$ Jahre, 180 ± 5 cm, $75,1 \pm 6,6$ kg - wurden **kardiorespiratorische, metabolische und hormonelle Reaktionen** vor, während und nach **3 spiroergometrischen Belastungstests** mit **unterschiedlichen Belastungsintensitäten** auf dem Fahrradergometer untersucht. Die Untersuchungen fanden 1998 im **Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen**, in **3 Untersuchungsabschnitten** an **3 aufeinanderfolgenden Tagen** und jeweils zur **identischen Tageszeit** statt.

Am **1. Tag** wurden die Probanden unter **Vita-maxima-Bedingungen** auf dem Fahrradergometer im Sitzen nach der **0,5 Watt/kg KG-Methode** bis zur **Erschöpfung** belastet (**Test T1**).

Am **2. Tag** erfolgte eine **30-minütige Dauerbelastung** auf dem Fahrradergometer bei **50 % der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme** (**Test T2**).

Am **3. Tag** unterzogen sich die Probanden einem **Intervalltest** auf dem Fahrradergometer mit **3 einminütigen Belastungsintervallen** bei **110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme** (**Test T3**).

Die **Ergebnisse** können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Bei einer **Belastungszeit** von **884 ± 109 Sekunden** betrug die **körperliche Leistungsfähigkeit der Diabetiker 2483 ± 536 Wattminuten**.

Die **Gesunden Sportler** leisteten in einer **Belastungszeit** von **1013 ± 97 Sekunden** eine **Gesamtarbeit** von **2946 ± 587 Wattminuten**.

Dabei betrug die **maximale absolute Wattstufe** der **Diabetiker 308 ± 49 Watt** und die der **Gesunden Sportler 339 ± 43 Watt**.

Mit einer **relativen maximalen Wattstufe** von **$3,8 \pm 0,5$ Watt/kg KG** liegen die **Diabetiker** im **sehr gut trainierten Bereich** und unterscheiden sich {hochsignifikant ($p < 0,001$)} von den **Gesunden Sportlern**, die mit **$4,5 \pm 0,4$ Watt/kg KG** im **Hochleistungsbereich** liegen.

2. Die **maximalen Herzfrequenzen** der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** im **Test T1** bestätigen die **kardiozirkulatorische Ausbelastung** durch die **erschöpfende Fahrradspiroergometrie im Sitzen**.

Die **durchschnittlich gemessenen höchsten Herzfrequenzen** im **Test T2** entsprechen erwartungsgemäß denen einer **submaximalen Steady-State-Belastung** bei den Diabetikern und Gesunden Sportlern.

In dem **Test T3** werden von den Probanden durch die Kurzintervalle die **maximalen Herzfrequenzen nicht erreicht**, wobei hier der Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen signifikant ist:

Maximale/ höchste Herzschlag- frequenz Hf • min ⁻¹	Test T1		Test T2		Test T3	
	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler
	180 ± 13 Schläge/ min	177 ± 17 Schläge/ min	129 ± 16 Schläge/ min	117 ± 18 Schläge/ min	* 163 ± 14 Schläge/ min	153 ± 15 Schläge/ min

Das durchschnittliche **Blutdruckverhalten** während der **3 Belastungstests** zeigte bei beiden Untersuchungsgruppen einen **typischen fahradergometrisch induzierten Blutdruckverlauf**. Eine hypertone Regulationsstörung wurde bei keinem Probanden beobachtet.

3. Für das **maximale Atemminutenvolumen** (AMV | BTPS) im **Test T1** und die erreichten **Atemminutenvolumina** in den **Tests T2 und T3** wurden folgende Werte für die **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** festgestellt:

Maximales/ höchstes Atem- minuten- volumen BTPS	Test T1		Test T2		Test T3	
	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler
	* 118 ± 25 l/min	142 ± 32 l/min	46 ± 9 l/min	47 ± 13 l/min	89 ± 33 l/min	79 ± 13 l/min

(mit * sind signifikante Unterschiede zwischen den Diabetikern und Gesunden Sportlern in dem jeweiligen Test gekennzeichnet)

4. Für die **maximale absolute** und **maximale relative Sauerstoffaufnahme** in dem **Test T1** und die **höchste durchschnittliche absolute** und **relative Sauerstoffaufnahme** in den **Tests T2 und T3** der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** ergaben sich folgende Werte:

	Test T1		Test T2		Test T3	
	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler
Maximale/höchste absolute Sauerstoffaufnahme (ml·min⁻¹ STPD)	3423 ± 727 (ml·min⁻¹ STPD)	3804 ± 593 (ml·min⁻¹ STPD)	2084 ± 309 (ml·min⁻¹ STPD)	2188 ± 453 (ml·min⁻¹ STPD)	3198 ± 540 (ml·min⁻¹ STPD)	3235 ± 401 (ml·min⁻¹ STPD)
Maximale/höchste relative Sauerstoffaufnahme (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)	* 43,0 ± 8,0 (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)	50,6 ± 6,3 (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)	26,1 ± 4,1 (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)	29,0 ± 5,0 (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)	39,9 ± 4,9 (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)	43,1 ± 4,6 (ml·min⁻¹·kg⁻¹ STPD)

5. Mit ihrem **maximalen/höchsten Sauerstoffpuls** liegen die **Diabetiker** bei den 3 Belastungstests **etwas niedriger** als die **Gesunden Sportler**:

	Test T1		Test T2		Test T3	
	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler
maximaler/höchster Sauerstoffpuls (VO₂/Hf ml STPD)	20 ± 3 VO₂/Hf ml	22 ± 4 VO₂/Hf ml	18 ± 2 VO₂/Hf ml	20 ± 4 VO₂/Hf ml	19 ± 3 VO₂/Hf ml	22 ± 4 VO₂/Hf ml

6. Die Werte des **Ventilations-RQ** dokumentierten eine **maximale Ausbelastung** der **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** bei der **spiroergometrischen Belastung im Test T1**. In den Tests T2 und T3 wurden den Belastungen entsprechende VRQ-Werte erreicht:

Ventilations RQ (max. Wert bei Belastungsabbruch)	Test T1		Test T2		Test T3	
	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler	Diabetiker	Gesunde Sportler
	*	1,30 ± 0,17	1,33 ± 0,10	0,94 ± 0,14	0,95 ± 0,06	1,27 ± 0,12

7. Die **Laktatwerte** in dem **Test T1** bestätigen eine **maximale Ausbelastung** der beiden Untersuchungsgruppen. Im **Test T2** liegen die **Laktatwerte** der **Diabetiker** deutlich **unterhalb** der **aerob-anaeroben Schwelle** und die **Gesunden Sportler** sogar im Bereich ihrer **Ruhe-Ausgangswerte**. Am **deutlichsten unterscheiden** sich die **Diabetiker** und **Gesunden Sportler** mit ihren **Laktatwerten** in dem **Test T3**. Dieser Unterschied bleibt auch in der 10-minütigen Erholungsphase bestehen:

Laktat (mmol/l)	Test T1				Test T2				Test T3			
	Diabetiker		Gesunde Sportler		Diabetiker		Gesunde Sportler		Diabetiker		Gesunde Sportler	
	Abbruch	10 Min. Erhol.	Abbruch	10 Min. Erhol.	Abbruch	10 Min. Erhol.	Abbruch	10 Min. Erhol.	Abbruch	10 Min. Erhol.	Abbruch	10 Min. Erhol.
				*					*	*		
	12,8 ± 2,5 (mmol/l)	11,1 ± 2,7 (mmol/l)	13,2 ± 2,5 (mmol/l)	11,2 ± 2,6 (mmol/l)	2,4 ± 1,5 (mmol/l)	1,6 ± 0,2 (mmol/l)	1,4 ± 0,2 (mmol/l)	1,5 ± 0,6 (mmol/l)	8,6 ± 2,7 (mmol/l)	5,5 ± 2,9 (mmol/l)	6,2 ± 1,9 (mmol/l)	3,0 ± 1,3 (mmol/l)

8. Der Verlauf der **Glukosewerte** während und nach der Belastung war bei den **Diabetikern** und **Gesunden Sportlern** relativ **stabil**. Im Besonderen ergab sich für die **Diabetiker** zu **keinem Zeitpunkt** die **Gefahr** einer **Hypo- bzw. Hyperglykämie**:

	Test T1					
	Diabetiker			Gesunde Sportler		
	Ruhe	nach Belastung	2 Std. nach Belastung	Ruhe	nach Belastung	2 Std. nach Belastung
Glukose	165	156	121	110	122	91
mg/dl	± 54	± 48	± 48	± 12	± 18	± 16
	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl

	Test T2					
	Diabetiker			Gesunde Sportler		
	Ruhe	nach Belastung	2 Std. nach Belastung	Ruhe	nach Belastung	2 Std. nach Belastung
Glukose	141	107	137	107	90	102
mg/dl	± 37	± 39	± 42	± 12	± 12	± 13
	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl

	Test T3					
	Diabetiker			Gesunde Sportler		
	Ruhe	nach Belastung	2 Std. nach Belastung	Ruhe	nach Belastung	2 Std. nach Belastung
Glukose	169	165	164	97	100	92
mg/dl	± 55	± 66	± 70	± 28	± 14	± 14
	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl	mg/dl

9. Bei den **körperlichen Belastungen** von **unterschiedlicher Intensität** kam es bei den **Diabetikern** zu einem **normotonen, belastungsabhängigen Verhalten** der **Hormone Insulin, Glukagon, Wachstumshormon STH, Cortisol, Adrenalin und Noradrenalin**:

	Test T1			
	Diabetiker		Gesunde Sportler	
	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung
Insulin (µU/l)	*** 22,3 ± 8,2	*** 14,6 ± 5,0	11,7 ± 5,4	9,3 ± 2,3
Glukagon (pg/ml)	96 ± 19	82 ± 14	110 ± 33	100 ± 37
Cortisol (ng/ml)	82,7 ± 33,3	176 ± 58,8	106,8 ± 32,1	205,5 ± 69,0
STH (µg/l)	1,9 ± 4,3	12,8 ± 6,4	0,5 ± 0,5	14,7 ± 12,0
Adrenalin pg/ml	40,4 ± 25,7	45,4 ± 43,6	44,0 ± 20,7	47,6 ± 31,3
Noradrenalin (pg/ml)	181 ± 48	268 ± 58	214 ± 71	348 ± 125

	Test T2			
	Diabetiker		Gesunde Sportler	
	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung
Insulin (µU/l)	*** 27,6 ± 12,8	*** 16,3 ± 5,9	10,6 ± 4,9	7,5 ± 3,1
Glukagon (pg/ml)	84 ± 18	87 ± 20	106 ± 51	101 ± 43
Cortisol (ng/ml)	87,8 ± 41,8	87,4 ± 35,6	114,0 ± 50,7	87,4 ± 41,7
STH (µg/l)	2,0 ± 4,8	7,0 ± 5,1	0,5 ± 0,8	11,0 ± 11,3
Adrenalin pg/ml	34,1 ± 15,2	31,8 ± 18,9	32,5 ± 16,0	41,4 ± 14,7
Noradrenalin (pg/ml)	210 ± 55	218 ± 75	234 ± 86	269 ± 98

	Test T3			
	Diabetiker		Gesunde Sportler	
	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung
Insulin (µU/l)	*** 25,0 ± 10,8	*** 19,0 ± 9,5	10,7 ± 4,2	8,5 ± 3,8
Glukagon (pg/ml)	95 ± 20	100 ± 23	116 ± 30	109 ± 30
Cortisol (ng/ml)	97,4 ± 38,5	101,5 ± 39,9	105,6 ± 30,3	104,8 ± 51,1
STH (µg/l)	0,9 ± 1,6	6,5 ± 5,6	0,4 ± 0,5	4,8 ± 5,8
Adrenalin pg/ml	34,2 ± 21,7	37,8 ± 20,5	35,5 ± 11,8	39,5 ± 15,8
Noradrenalin (pg/ml)	183 ± 55	212 ± 60	240 ± 118	225 ± 96

Die **Eingangs** gestellten **Fragen** können auf der **Grundlage dieser**

Untersuchungen wie **folgt beantwortet** werden:

- ◆ **Sportliches Training muss durch die Modifikation der Belastungsintensität und eine längere Regenerationszeit die Besonderheiten der metabolischen Steuerung des Diabetikers berücksichtigen.**

- ◆ **Für ein submaximales Ausdauertraining im Grundlagenbereich ist die gewählte Belastung um ca. 10 % niedriger zu wählen als bei gesunden Sportlern, um die gleiche aerobe Anpassung zu erreichen.**

- ◆ **Ebenso ist in höheren Belastungsbereichen (Intervalltraining, Training für die Spielsportarten usw.) die Belastungsintensität entsprechend zu reduzieren und die Bedeutung der vollständigen Regeneration hervorzuheben.**

- ◆ **Das hormonelle Verhalten von gut eingestellten Diabetikern in Verbindung mit einer entsprechenden Compliance ist als Reaktion auf eine erschöpfende bzw. unterschiedlich intensive Belastung ähnlich wie das von gesunden Sportlern und wirkt sich nicht negativ auf ihr Blutzuckerverhalten aus.**

6. LITERATURVERZEICHNIS

ADLERCREUTZ, H., HÄRKÖNEN, M., KUOPPASALMI, K., KOSUNEN, K., NÄVERI, H., S. REHUNEN:

Physical activity and hormones.
Advances in cardiology 18, 1976, 144-157

American College of Sports Medicine and American Diabetes Association

Diabetes Mellitus and Exercise.
Medicine and Science In Sports and Exercise 29, 1997, i-vi

ÅSTRAND, P. O., K. RODAHL:

Textbook of Work Physiology.
McGraw-Hill, New York 1986

BARON, R., BACHL, N., SAMITZ, G., BAUMGARTL, P., L. PROKOP:

Grundlagen und Praxis einer zielorientierten Trainingsplanung für den sporttreibenden Diabetiker.
Wiener medizinische Wochenschrift 138, 1988, 353-354

BARWICH, D., WEICKER, H., WEIDNER, J., U. KEILHOLZ:

Serumkinetik hypophysärer und pankreatischer Hormone bei einmaliger fahrradergometrischer Belastung unterschiedlicher Dauer und Intensität.
In: JÄSCHKE, D. (Hrsg.):
Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaft.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo
1984, 158-164

BEHRMANN, R., J. WEINECK:

Diabetes und Sport.
Perimed Verlag, Erlangen 1992

BERGER, M., BERCHTHOLD, P., CÜPPERS, H. J., DROST, H., KLEY, H. K., MÜLLER, W. A., WIEGELMANN, W., ZIMMERMANN-TELSCHOW, H., GRIES, F.A., KRÜSKEMPER, H. L., H. ZIMMERMANN:

Metabolic and Hormonal Effects of Muskular Exercise in Juvenile Type Diabetics.
Diabetologia 13, 1977, 355-365

BERGER, M., P. BERCHTHOLD:

Physical Training As A Part Of The Therapy For Adult-Onset Diabetes.
Annals of Clinical Research 34, 1982, 69-73

BERGER, M.:

Typ-I-Diabetes und Sport.
Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 39, 1988, 272-281

BERGER, M. (Hrsg.):

Diabetes mellitus.

Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000

BERGER, M., T. PIEBER:

Definition und Klassifikation des Diabetes mellitus.

In: BERGER, M.:

Diabetes mellitus.

Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 12-14

BERGER, M., C. TRAUTNER:

Epidemiologie des Diabetes mellitus.

In: BERGER, M.:

Diabetes mellitus.

Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 15-24

BIEGERL, H.-D., K. JUNG:

Untersuchungen an insulinpflichtigen jugendlichen Diabetikern vor und nach einem einjährigen Trainingsprogramm.

In: NOWACKI, P. E., D. BÖHMER (Hrsg.):

Sportmedizin – Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit.

Kongreßband 26. Deutscher Sportärztekongreß, Bad Nauheim 1978

Thieme Verlag, Stuttgart – New York 1980, 335-337

BILO, H.J. G., GANS, R. O. B., POLEE, M. B., v.d. MATEN, J., POPP-SNIJDERS, C., A. J. M. DONKER:

Catecholamines and Blood Glucose Control in Type I Diabetes.

Diabetic Medicine 8, 1991, 108-112

BJORKMANN, O.:

Fuel Metabolism During Exercise in Normal and Diabetic Man.

Diabetes Metabolism Reviews 1, 1986, 319-357

BÖTTGER, I., SCHEIN, E. M., FALOONA, G. R., KNOCHEL, J. P., R. H. UNGER:

The Effect of Exercise on Glucagon Secretion.

J. Clin. Endocrinol. Metab. 35, 1972, 117-125

BÖHMER, K., RENNER, R., HEPP, K. D., R. LANDGRAF:

Protrahierter Blutzuckeranstieg bei Typ-I-Diabetikern nach kurzdauernder erschöpfender Muskelarbeit.

Dtsch. med. Wschr. 114, 1989, 821-824

BORGHOUTS, L. B., H. A. KEIZER:

Exercise and Insulin Sensitivity: A Review.

Int. J. Sports Med. 21, 2000, 1-12

BOTTINI, P., TANTUCCI, C., SCIONTI, L., DOTTORINI, M. L., PUXEDDU, E., REBOLDI, G., BOLLI, G. B., CASUCCI, G., SANTEUSANIO, F., SORBINI, C. A., P. PRUETT:

Cardiovaskular response to exercise in diabetic patients: influence of autonomic neuropathy of different severity.
Diabetologia 38, 1995, 244-250

BRINGMANN, W.:

Die Einschätzung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit für die Beurteilung der Sportfähigkeit und Trainingseffektivität.
Med. u. Sport 20, 1980, 104-113

BUDDECKE, E.:

Grundriss der Biochemie.
De Gruyter Verlag, Berlin – New York, 6. Aufl., 1980

BÜHL, A., P. ZÖFEL:

SPSS für Windows Version 6.1. Praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse.
Addison Wesley Longman Verlag, Bonn 1996

CHANTELAU, E. A.:

Diät(?) bei Diabetes mellitus.
In: BERGER, M.:
Diabetes mellitus.
Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 150-180

CHRISTENSEN, N. J., GALBO, H., HANSEN, J. F., HESSE, B., RICHTER, E. A., J. TRAP-JENSEN:

Catecholamines and Exercise.
Diabetes 28, 1979, 58-62

CHRISTENSEN, N. J., H. GALBO:

Sympathetic nervous activity during exercise.
Annual Review of Physiology 45, 1983, 139-153

CLEMENS, A., WAHL, P., KLÖPPEL, G., P. P. NAWROTH:

Typ-I-Diabetes.
In: NAWROTH, P. P. (Hrsg.):
Kompendium Diabetologie.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999, 85 – 168

COLBERG, S. R., HAGBERG, J. M., MCCOLE, S. D., ZMUDA, J. M., THOMPSON, P. D., D. E. KELLEY:

Utilization of glycogen but not plasma glucose is reduced in individuals with NIDDM during mild-intensity exercise.
J. Appl. Physiol. 81, 1996, 2027-2033

- DAVIS, T., KNUIMAN, M., KENDALL, P., VU, H., W. A. DAVIS:**
Reduced pulmonary function and its associations in type 2 diabetes: the Fremantle Diabetes Study.
Diabetes Research and Clinical Practice 50, 2000, 153-159
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG (Hrsg.):**
Ernährungsbericht 1980.
Henrich Verlag, Frankfurt/Main 1980
- DEICKERT, F.:**
Sport und Diabetes.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo – Hong Kong – Barcelona – Budapest 1991
- DE MARÉES, H., J. MESTER:**
Sportphysiologie II.
Moritz Diesterweg Verlag, Frankfurt/Main, Sauerländer Verlag Aarau, 2. Aufl., 1990
- DIETZE, G., STANDL, E., M. WICKLMAYR:**
Körperliche Aktivität und Sport bei Diabetes mellitus.
Zuckschwerdt Verlag, München 1981
- DUGI, K., KASSESSINOFF, T., P. P. NAWROTH:**
Typ-2-Diabetes mellitus und genetische Defekte der β -Zell-Funktion.
In: NAWROTH, P. P. (Hrsg.):
Kompendium Diabetologie.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999, 169-268
- ENDO, A., KINUGAWA, T., OGINO, K., KATO, M., HAMADA, T., OSAKI, S., IGAWA, O., I. HISATOME:**
Cardiac and Plasma Catecholamine Responses to Exercise in Patients with Type 2 Diabetes: Prognostic Implications for Cardiac-Cerebrovascular Events.
Am. J. Med. Sci. 320, 2000, 24-30
- ERIKSSON, J. G.:**
Exercise and the Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus.
Sports Med. 27, 1999, 381-391
- ESTACIO, R. O., WOLFEL, E. E., REGENSTEINER, J. G., JEFFERS, B., HAVRANEK, E. P., SAVAGE, S., R. W. SCHRIER:**
Effect of risk factors on exercise capacity in NIDDM.
Diabetes 45, 1996, 79-85
- ESTACIO, R. O., REGENSTEINER, J. G., WOLFEL, E. E., JEFFERS, B., DICKENSON, M., R. W. SCHRIER:**
The association between diabetic complications and exercise capacity in NIDDM patients.
Diabetes Care 21, 1998, 291-295

FRANZ, I. W.:

Welchen Stellenwert haben Sport und Bewegungstherapie im Therapiekonzept der Hypertonie?

In: DONAT, K., MATZDORF, F., P. E. NOWACKI (Hrsg.):
Sport und Hochdruck.

Perimed Verlag, Erlangen 1984, 8-24

GALBO, H.:

Hormonal and metabolic adaptation to exercise.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 1983

GALBO, H.:

The Hormonal Response to Exercise.

Diabetes Metabolism Reviews 4, 1986, 385-408

GALBO, H., v. LINSTOW, M., DELA, F., KJAER, M., K. MIKINES:

Exercise and Diabetes.

In: SATO, Y., POORTMANS, J., HASHIMOTO, I., Y. OSHIDA (Ed.):
Integration of Medical and Sports sciences.

Karger Verlag, Basel 1992, 227-236

**GARLASCHI, C., Di NATALE, B., Del GUERCIO, M. J., CACCAMO, A.,
GARGANTINI, L., G. CHIUMELLO:**

Effect of Physical Exercise on Secretion of Growth Hormone, Glucagon, and
Cortisol in Obese and Diabetic Children.

Diabetes 24, 1975, 758-761

GÖBEL, D., NOWACKI, P. E., HOFFMANN, J., H. LAUBE:

Typ-I-Diabetiker: Soll sich ihre Trainingsintensität von Gesunden unterscheiden?

In: BERNETT, P., D. JESCHKE (Hrsg.):

Sport und Medizin – Pro und Contra.

Kongressband 32. Deutscher Sportärztekongress München 1990,

W. Zuckschwerdt Verlag, München – Bern – Wien – San Francisco 1990, 930-933

GÖBEL, D.:

Typ-I-Diabetiker (Männer und Frauen): Kreislauf- und Stoffwechselbelastbarkeit
bei maximaler Fahrradspiroergometrie und submaximaler Rennrad-Ausdauer-
belastung.

Inaug. Diss. (Dr. med.), JLU Gießen 1994, 1-167

GOMER, M., M. GOMER:

Leistungssport bei Diabetes.

Leistungssport 5, 1994, 39-43

GOODYEAR, L. J., B. B. KAHN:

Exercise, Glukose Transport And Insulin Sensitivity.

Annu. Rev. Med. 49, 1998, 235-261

GOODYEAR, L. J.:

AMP – Activated Protein Kinase: A Critical Signaling Intermediary for Exercise-Stimulated Glukose-Transport?
Exercise and Sport Sciences Reviews 3, 2000, 113-116

GUDAT, U., M. BERGER:

Bewegungs- und Sporttherapie: Dinosaurier der Diabetesbehandlung?
Herz und Gefäße 12, 1992, 296-302

HAGAN, R. D., MARKS, J. F., P. A. WARREN:

Physiologic Responses of Juvenile-Onset Diabetic Boys to Muscular Work.
Diabetes 28, 1979, 1114-1119

HANEFELD, M.:

Primäre Prävention des Typ-2-Diabetes.
Dtsch. Med. Wochenschr. 127, 2002, 951-952

**HARTLEY, L. H., MASON, J. W., HOGAN, R. P., JONES, L. G., KOTCHEN, T. A.,
MOUGEY, E. H., PENNINGTON, L. L., T. RICKETTS:**

Multiple hormonal responses to grades exercise in relation to physical training.
J. Appl. Physiol. 33, 1972, 602-606

**HARTLEY, L. H., MASON, J. W., HOGAN, R. P., JONES, L. G., KOTCHEN, T. A.,
MOUGEY, E. H., WHERRY, F. E., PENNINGTON, L. L., T. RICKETS:**

Multiple hormonal responses to prolonged exercise in relation to physical training.
J. App. Physiol. 33, 1972, 607-610

HARTLEY, L. H.:

Growth hormone and catecholamine response to exercise in relation to physical training.
Med. Sci. Sports 7, 1975, 34-36

HECK, H.:

Laktat in der Leistungsdiagnostik.
Hofmann Verlag, Schorndorf 1990

HECK, H., H. SCHULZ:

Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik.
Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 7/8, 2002, 202-212

HEINEMANN, L., SAWICKI, P. T., NIEDERAU, C. M., A. A. R. STARKE:

Klinische Chemie.
In: BERGER, M.:
Diabetes mellitus.
Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 44-65

HENRICHS, A. R.:

Einfluß körperlicher Aktivität auf Stoffwechsel und hormonale Regulation bei Diabetes mellitus.

Sportarzt u. Sportmed. 9, 1977, 255

HESSE, K., W. SCHÄKER:

STH- und Cortisol-Regulationen unter zwei unterschiedlichen psychophysischen Belastungen in Abhängigkeit von individuellen psychologischen und operationellen Leistungsvoraussetzungen bei Leistungssportlern und Untrainierten.

In: HÄCKER, R., H. DE MARÉES (Hrsg.):

Hormonelle Regulation und psychopysische Belastung im Leistungssport.

Deutscher Ärzte Verlag, Köln 1991, 105-112

HILSTED, J., GALBO, H., N. J. CHRISTENSEN:

Impaired Responses of Catecholamines, Growth Hormone, and Cortisol to Graded Exercise in Diabetic Autonomic Neuropathy.

Diabetes 29, 1980, 257-262

HIRSCH, B. R., H. SHAMOON:

Defective Epinephrine and Growth Hormone Responses in Type I Diabetes Are Stimulus Specific.

Diabetes 36, 1987, 20-26

HOFMANN, M., P. P. NAWROTH:

Diabetische Neuropathie.

In: NAWROTH, P. P. (Hrsg.):

Kompendium Diabetologie.

Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999, 547-577

HOLLMANN, W.:

Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.

Steinkopf Verlag, Darmstadt 1959

HOLLMANN, W.:

Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Spiroergometrische Untersuchungen und Beurteilung von männlichen und weiblichen Personen des 1. – 8. Lebensjahrzehnts.

Wissenschaftliche Schriftenreihe des DSB Bd. 5

Barth Verlag, München 1963

HOLLMANN, W., H. VENRATH:

Die Beeinflussung von Herzgröße, maximaler Sauerstoffaufnahme und Ausdauergerne durch ein Ausdauertraining mittlerer und hoher Intensität.

Sportarzt u. Sportmed. 14, 1963, 189-193

HOLLMANN, W.:

Kriterien der körperlichen, cardialen und pulmonalen Leistungsgrenzen.
In: MELLEROWICZ, H., G. HANSEN (Hrsg.):
Kongreßbericht des I. Internationalen Seminars für Ergometrie.
Ergon Verlag, Berlin 1965, 186-188

HOLLMANN, W., H. LIESEN:

Über Trainingseinfluß auf kardiopulmonale und metabolische Parameter des
älteren Menschen.
Sportarzt u. Sportmed. 24, 1973, 145-186

HOLLMANN, W., T. HETTINGER:

Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen.
Schattauer Verlag, Stuttgart – New York, 2. Aufl., 1980
Schattauer Verlag, Stuttgart – New York, 3. Aufl., 1990

Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.
Schattauer Verlag, Stuttgart – New York, 4. Aufl., 2000

HOLLMANN, W.:

Lungenfunktion, Atmung, Gasstoffwechsel im Sport.
In: HOLLMANN, W. (Hrsg.):
Zentrale Themen der Sportmedizin.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, 3. Aufl., 1986, 144-168

HOUGH, D. O.:

Diabetes Mellitus In Sports.
Medical Clinics of North America 78, 1994, 423-437

HÜBINGER, A., RIDDESKAMP, I., LEHMANN, E., F. A. GRIES:

Metabolic response to different forms of physical exercise in type I diabetics
and the duration of the glucose lowering effect.
European Journal of Clinical Investigation 15, 1985, 197-203

HÜBINGER, A., FRANZEN, A., F. A. GRIES:

Hormonal And Metabolic Response To Physical Exercise in Hyperinsulinemic And
Non-Hyperinsulinemic Type 2 Diabetics.
Diabetes Research 4, 1987, 57-61

HUTCHINSON, J.:

On the capacity of the lung and on the respiratory functions with a view of
establishing precise and easy method of detecting disease by spirometer.
Tran. med. Chir. Soc. (Lond.) 29, 1846, 137-158

**INNOCENTI, F., FABBRI, A., ANICHINI, R., TUCI, S., PETTIN, G., VANNUCCI, F.,
DE GIORGIO, A., G. SEGHERI:**

Indications of reduced pulmonary function in type 1 (insulin-dependent)
diabetes mellitus.
Diabetes Research 25, 1994, 161-168

ISERMAN, B., KLEVESATH, M. S., P. P. NAWROTH:

Iatrogene Hypoglykämien.

In: NAWROTH, P. P. (Hrsg.):

Kompendium Diabetologie.

Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999, 305-341

ISRAEL, S.:

Sport, Herzgröße und Herz-Kreislauf-Dynamik.

Sportmedizinische Schriftenreihe Bd. 3

Barth Verlag, Leipzig 1968

ISRAEL, S.:

Sport und Herzschlagfrequenz.

Sportmedizinische Schriftenreihe Bd. 21

Barth Verlag, Leipzig 1982

JACOBER, B., SCHMÜLLING, R. M., M. EGGSTEIN:

Carbohydrate and Lipid Metabolism in Type I Diabetics during Exhaustive Exercise.

Int. J. Sports Med. 4, 1983, 104-108

JETTE, D. U.:

Physiological Effects of Exercise in the Diabetic.

Physical Therapy 3, 1984, 339-342

JOINT NATIONAL COMMITTEE ON DETECTION, EVALUATION, AND TREATMENT OF HIGH BLOOD PRESSURE

Bericht 1988 vom Joint National Committee on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure:

Archives of Internal Medicine 148, 1988, 1023-1038

JOSLIN, E. P.:

The treatment of diabetes mellitus, with observations upon the disease based upon 1300 cases.

Lea & Febinger Verlag, Philadelphia, 2. Aufl., 1917

JOSLIN, E.P., ROOT, H.F., WHITE, P., A. MARBLE:

The treatment of diabetes mellitus.

Lea & Febinger Verlag, Philadelphia 1935

JUNGERMANN, K., H. MÖHLER:

Biochemie.

Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1980

KATSCH, G.:

Die Arbeitstherapie der Zuckerkranken.

Ergebn. phys. diätet. Ther. 1, 1939, 1-36

KEUL, J., KINDERMANN, W., G. SIMON:

Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage der Leistungsdiagnostik.
Leistungssport 8, 1978, 22-32

KEUL, J., BERG, A., LEHMANN, M., H. DICKHUTH (Hrsg.):

Metabolische Anpassung durch Training und ihr Aussagewert für die Leistungsdiagnostik.
Gräfeling Verlag 1980

KINDERMANN, W., SCHNABEL, A., SCHMITT, W. M., BIRO, G., GASSENS, J., F. WEBER:

Catecholamines, Growth Hormone, Cortisol, Insulin, and Sex Hormones in Anaerobic and Aerobic Exercise.
J. Appl. Physiol. 49, 1982, 389-399

KING, D. S., DALSKY, G. P., STATEN, M. A., CLUTTER, W. E., VAN HOUTEN, D. R., J. O. HOLLOSZY:

Insulin action and secretion in endurance trained and untrained humans.
J. Appl. Physiol. 63, 1987, 2247-2252

KLEVESATH, M. S., ISERMAN, B., P. P. NAWROTH:

"Hypoglycemia unawareness".
In: NAWROTH, P. P. (Hrsg.):
Kompendium Diabetologie.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999, 605-623

KNICK, B., J. KNICK:

Diabetologie.
Kohlhammer Verlag, Stuttgart – Berlin – Köln – Mainz 1985

KNIPPING, H. W.:

Ergebnisse der Ergographie in der Klinik. Arbeitsinsuffizienz von Herz und Kreislauf.
Klin. Wschr. 17, 1938, 1457-1460

KÖBBERLING, J., H. TILLIL:

Diabetes mellitus bei verschiedenen endokrinologischen Erkrankungen.
In: BERGER, M.:
Diabetes mellitus.
Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 521-528

KOLB, H.:

Typ-I-Diabetes mellitus.
In: BERGER, M.:
Diabetes mellitus.
Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 247-252

KRAUSE, R.:

Die maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Medizinische Akademie Lübeck 1971, 1-152

KREBS, H. A.:

Some Factors Regulating The Rate Of Gluconeogenesis In Animal Tissues.

Advances in enzyme regulation 2, 1964, 71-81

KRZENTOWSKI, G., PIRNAY, F., PALLIKARAKIS, N., LUYCKY, A. S.,

LACROIX, M., MOSORA, F., P. J. LEFEBVRE:

Glukose utilisation during exercise in normal and diabetic subjects.

Diabetes 30, 1981, 983-989

KÜCHLIN, J.:

Physiologische Untersuchungen beim Ratzeburger Kraft- und Wintertraining der Ruderer.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Medizinische Hochschule Lübeck 1975, 1-152

KUNITOMI, M., TAKAHASHI, K., WADA, J., SUZUKI, H., MIYATAKE, N.,

OGAWA, S., OHTA, S., SUGIMOTO, H., SHIKATA, K., H. MAKINO:

Re-evaluation of exercise prescription for Japanese type 2 diabetic patients by ventilatory threshold.

Diabetes Research And Clinical Practice 50, 2000, 109-115

LANDT, K. W., CAMPAIGNE, B. N., JAMES, F. W., M. A. SPERLING:

Effects of exercise training on insulin sensitivity in adolescents with type I diabetes.

Diabetes Care 8, 1985, 461-465

LANG, K., O. RANKE:

Stoffwechsel und Ernährung.

Springer Verlag, Berlin 1950

LAUBE, H., E. F. PFEIFFER:

Exercise and Diabetes mellitus

In: BRUNNER, D., E. JOKL (Hrsg.):

The Role of Exercise in Internal Medicine.

Karger Verlag, Basel 1977, 135-144

LÜTJOHANN, U.:

Physiologische Untersuchungen beim Ratzeburger Kraft- und Wintertraining.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Medizinische Hochschule Lübeck 1974

**MADER, A., LIESEN, H., HECK, H., PHILIPPI, H., ROST, R., SCHÜRCH, P.,
W. HOLLMANN:**

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.

Sportarzt u. Sportmed. 27, 1976, 80-88 u. 109-112

MAIDORN, K.:

Vergleichende ergometrische Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Diabetikern.
Zentr. Arbeitsmed. 23, 1973, 365-370

MAIDORN, K., WÄCHTER, B., KÜHLING, P., KLEIN, W., RASCHKE, G., C. ROECKER:

Vergleichende Spirometrie bei Diabetikern und Nichtdiabetikern.
Diagnostik 7, 1974, 761-765

MAIDORN, K.:

Der arterielle Druck bei ergometrischer Leistung.
In: MELLEROWICZ, H.:
Ergometrie. Grundriß der medizinischen Leistungsanpassung.
Urban & Schwarzenberg Verlag, München – Wien – Baltimore, 3. Aufl., 1979,
147-171

MAKKAR, P., GANDHI, M., AGRAWAL, R. P., SABIR, M., R. P. KOTHARI:

Ventilatory pulmonary function tests in type 1 diabetes mellitus.
Journal of The Association of Physicians of India 48, 2000, 962-966

MAY, O., ARILDSEN, H., DAMSGAARD, E. M., H. MICKLEY:

Cardiovascular autonomic neuropathy in insulin-dependent diabetes mellitus: prevalence and estimated risk of coronary heart disease in the general population.
Journal of Internal Medicine 248, 2000, 483-491

MAYER-DAVIS, E. J., D´AGOSTINO, R., KARTER, A. J., HAFFNER, S. M., REWERS, M. J., SAAD, M., R. N. BERGMAN:

Intensity and amount of physical activity in relation to insulin sensitivity – the Insulin Resistance Atherosclerosis Study.
J. of the Amer. med. Assoc. 279, 1998, 669-674

McCARGAR, L. J., TAUNTON, J., S. PARE:

Benefits of exercise training for men with insulin dependent diabetes mellitus.
Diabetes Educ. 3, 1991, 179-184

McMILLAN, D. E.:

Exercise and diabetic microangiopathy.
Diabetes 28, 1979, 103-105

MEHNERT, H., K. SCHÖFFLING:

Diabetologie in Klinik und Praxis.
Stuttgart 1974

MEINDERS, A. E., WILLEKENS, F. L. A., L. HEERE:

Metabolic and Hormonal Changes in IDDM during Long-Distance-Run.
Diabetes Care 11, 1988, 1-7

MELLEROWICZ, H., P. E. NOWACKI:

Vergleichende Untersuchungen von Atem- und Kreislauffunktionen bei physikalisch gleicher ergometrischer Arbeit im Stehen, Sitzen und Liegen.
Z. Kreislauff. 50, 1961, 273-281

MELLEROWICZ, H., JOKL, E., G. HANSEN:

Ergebnisse der Ergometrie. COR- Beiträge zur Kardiologie.
Perimed Verlag, Erlangen, 1. Aufl., 1975
Perimed Verlag, Erlangen, 2. Aufl., 1983

MELLEROWICZ, H.:

Ergometrie. Grundriß der medizinischen Leistungsmessung.
Urban & Schwarzenberg Verlag, München – Wien – Berlin – Baltimore,
1. Aufl., 1962
Urban & Schwarzenberg Verlag, München – Wien – Berlin – Baltimore,
2. Aufl., 1975
Urban & Schwarzenberg Verlag, München – Wien – Berlin – Baltimore,
3. Aufl., 1979

MITCHELL, T. H., ABRAHAM, G., SCHIFFRIN, A., LEITER, L. A., E. B. MARLISS:

Hyperglycemia After Intense Exercise in IDDM Subjects During Continuous Subcutaneous Insulin Infusion.
Diabetes Care 11, 1988, 311-317

MOHAMMED, M. F. I.:

Die Entwicklung des Sportmedizinischen Leistungsprofils im Deutschen Fußballsport.
Inaug. Diss. (Dr. phil.), JLU Gießen 1999, 1-209

MOSHER, P. E., NASH, M. S., PERREY, A. C., LAPIERRE, A. R., R. B. GOLDBERG:

Aerobic circuit exercise training: effect on adolescents with well-controlled insulin-dependent diabetes mellitus.
Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 79, 1998, 652-657

MÜHLHAUSER, I., SCHERNTHANER, G., SEEBACHER, C., TEMPL, H., O. UKPONMWAN:

Einfluß von Muskelarbeit und Stoffwechselkontrollgrad auf Stress-Hormone (Cortisol, Wachstumshormon, Plasma-Adrenalin, Plasma-Noradrenalin) bei Patienten mit Typ-I-Diabetes.
Acta Medica Austriaca 8, 1981, 48-53

MÜHLHAUSER, I., SPRAUL, M., M. BERGER:

Insulinsubstitutionstherapie inkl. Insulinpumpentherapie.
In: BERGER, M.:
Diabetes mellitus.
Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 287-325

NAWROTH, P. P. (Hrsg.):

Kompendium Diabetologie.

Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999

NEUDECKER, W.:

Statische, dynamische und atemmechanische Lungenfunktionsgrößen bei trainierten und untrainierten Männern.

Inaug. Diss. (Dr. med.), JLU Gießen 1982, 1-65

NEUMANN, G.:

Ernährung im Sport.

Meyer und Meyer Verlag, Aachen 1996

NEUMANN, G., PFÜTZNER, A., A. BERBALK:

Optimiertes Ausdauertraining.

Meyer und Meyer Verlag, Aachen 1998

NIEMANN, D. C.:

Influence of Carbohydrate on the Immune Response to Intensive Prolonged Exercise.

Exercise Immunology Review 4, 1998, 64-76

NÖCKER, J.:

Physiologie der Leibesübungen.

Enke Verlag, Stuttgart, 3. Aufl., 1976

NOWACKI, N. S.:

Entwicklung des sportmedizinischen Leistungsprofils beim Skilanglauf in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Christian-Albrechts-Universität Kiel 1998, 1-92

NOWACKI, P. E.:

Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung.

In: MELLEROWICZ, H., G. HANSEN (Hrsg.):

I. Internationales Seminar der Ergometrie.

Ergon Verlag, Berlin 1965, 92-97

NOWACKI, P. E., E. SCHMID:

Über die sympathico-adrenale Reaktion im Training und Wettkampf bei verschiedenen Sportarten.

Die Medizinische Welt 39, 1970, 1682-1688

NOWACKI, P. E.:

Die Spiro-Ergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.

Leistungssport 2, 1971, 37-51

NOWACKI, P. E.:

Funktionsdiagnostik der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.

Der Kassenarzt 13, 1973, 77-94

NOWACKI, P. E.:

Die Objektivierung der körperlichen und kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit mit einfachen und komplizierten Methoden.
Physiotherapie 65, 1974, 1-12

NOWACKI, P. E.:

Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung.
In: MELLEROWICZ, H., JOKL, E., G. HANSEN (Hrsg.):
Ergebnisse der Ergometrie. COR – Beiträge zur Kardiologie.
Perimed Verlag, Erlangen, 1. Aufl., 1975

NOWACKI, P. E.:

Möglichkeiten der medizinischen Leistungsdiagnostik.
In: DSB, Bundesausschuß für Leistungssport (Hrsg.):
Informationen zum Training. Medizinische Betreuung des Leistungssportlers in
Training und Wettkampf.
Beiheft zu Leistungssport 3, 1975, 77-119

NOWACKI, P. E.:

Cardio-pulmonale Leistungsprüfung.
In: DSB, Bundesausschuß für Leistungssport (Hrsg.):
Informationen zum Training. Das sportmedizinische Untersuchungssystem.
Beiheft zu Leistungssport 4, 1975, 65-85

NOWACKI, P. E.:

Sportmedizinische und leistungsphysiologische Aspekte des Ruderns.
In: ADAM, K., LENK, H., NOWACKI, P. E., RULFS, M., W. SCHRÖDER:
Rudertraining.
Limpert Verlag, Bad Homburg v.d.H. 1977, 251-615

NOWACKI, P. E.:

Beurteilung körperlicher und biologischer Leistungsfähigkeit bei Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher schulsportlicher Aktivität.
Therapiewoche 28, 1978, 5402-5424

NOWACKI, P. E.:

Neue Aspekte der körperrgewichtbezogenen Fahrrad- und Laufbandergometrie für den Leistungs-, Breiten- und Rehabilitationssport.
In: KINDERMANN, W., W. HORT (Hrsg.):
Sportmedizin für Breiten und Leistungssport.
Berichtsband 27. Deutscher Sportärztekongress, Saarbrücken 1980
Demeter Verlag, Gräfeling 1981, 255-267

NOWACKI, P. E.:

Frau und sportliche Leistung – begrenzende kardiale Faktoren.
In: MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI (Hrsg.):
Frau und Sport. Die Bedeutung der Gymnastik – Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte. Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 19.
Perimed Verlag, Erlangen 1983, 30-53

NOWACKI, P. E.:

Zur Standardisierung der Laufband-Ergometrie.
In: MELLEROWICZ, H., I.-W. FRANZ (Hrsg.):
Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.
Perimed Verlag, Erlangen 1983, 259-278

NOWACKI, P. E.:

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.
Therapiewoche 34, 1984, 3829-3830

NOWACKI, P. E.:

Geschlechtsspezifische sportmedizinische Belastbarkeit in Abhängigkeit von Sportart und Alter.
In: MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI (Hrsg.):
Frau und Sport II.
Perimed Verlag, Erlangen 1985

NOWACKI, P. E.:

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.
In: EBERSPÄCHER, H. (Hrsg.):
Handlexikon Sportmedizin.
Rowohlt Verlag, Reinbek 1987, 237-246

NOWACKI, P. E., CAI, D. Y., BUHL, C., KRÜMMELBEIN, U.:

Biological performance of german soccer players (Professionals and Juniors) tested by special ergometry and treadmill methods.
In: REILLY, T., LEES, A., DAVIDS, K., W. J. MURPHY (Hrsg.):
Science and Football.
E. & F. N. Spon, London – New York 1988, 145-157

NOWACKI, P. E., H. J. MEDAU:

Olympische Disziplinen der Frau – Sportmedizinische Leistungsprofile.
In: MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI (Hrsg.):
Frau und Sport IV.
Perimed Verlag, Erlangen 1992, 37-83

NOWACKI, P.E.:

Persönliche Mitteilung 2003.

NUGENT, A. M., STEELE, I. C., AL-MODARIS, F., VALLELY, S., MOORE, A., CAMPBELL, N. P., BELL, P. M., BICHANAN, K. D., TRIMBLE, E. R., D.P. NICHOLLS:

Exercise responses in patients with IDDM.
Diabetes Care 20, 1997, 1814-21

PAGANO, G., TROVATI, M., MARTINY, W., AIRALDI, A., CANTINO, G., PISU, E., G. LENTI:

Metabolic And Hormonal Changes During Exercise In Healthy, Diabetic And Obese Subjects.
Acta Diabetologica Latina 16, 1979, 19-26

PEIRCE, N. S.:

Diabetes and exercise.
Brit. J. of Sport Med. 33, 1999, 161-173

POIRIER, P., GARNEAU, C., BOGATY, P., NADEAU, A., MAROIS, L., BROCHU, C., GINGRAS, C., FORTIN, C., JOBIN, J., J. G. DUMESNIL:

Impact of left ventricular diastolic dysfunction on maximal treadmill performance in normotensive subjects with well-controlled type 2 diabetes mellitus.
American Journal of Cardiology 85, 2000, 473-477

POORTMANS, J. R., SAERENS, P., EDELMAN, R., VERTONGEN, F., H. DORCHY:

Influence of the degree of metabolic control on physical fitness in type I diabetic adolescents.
Int. J. of Sports Med. 7, 1986, 232-235

PROKOP, L.:

Einführung in die Sportmedizin.
Fischer Verlag, Stuttgart – New York 1979

PRUETT, E. D. R.:

Fat and Carbohydrate Metabolism in Exercise and Recovery, and its Dependence upon Work Load Severity.
Institute of Work Physiology, Oslo 1971

PRUETT, E. D. R.:

Insulin And Exercise In Non-Diabetic And Diabetic Man.
In: FOTHERBY, K., S. B. PAL (Hrsg.):
Exercise endocrinology.
De Gruyter Verlag, Berlin – New York 1985, 1-23

PURDON, C., BROUSSON, M., NYBEEN, S. L., MILES, P. D. G., HALTER, J. B., VRANIC, M., E. B. MARLISS:

The role of Insulin and Catecholamines in the Glucoregulatory Response during Intense Exercise and Early Recovery in Insulin-Dependent Diabetic and Control Subjects.
Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism 76, 1993, 566-573

RAGUSO, C. A., COGAN, A. R., GASTALDELLI, A., SIDOSSIS, L. S., BASTYR, E. J., R. R. WOLFE:

Lipid and Carbohydrate Metabolism in IDDM During Moderate and Intense Exercise.
Diabetes 44, 1995, 1066-1074

RAMIREZ, L. C., DAL NOGARE, A., HSIA, C., ARAUZ, C., BUTT, I., STROWIG, S. M., SCHNURR-BREEN, L., P. RASKIN:

Relationship between diabetes control and pulmonary function in insulin-dependent diabetes mellitus.
American Journal of Medicine 91, 1991, 371-376

RAMIRES, P. R., FORJAZ, C. L. M., SILVA, M. E. R., DIAMENT, J., NICOLAU, W., LIBERMANN, B., C. E. NEGRÃO:

Exercise Tolerance In Lower Type I Diabetics Compared With Normal Young Men.

Metabolism: Clinical And Experimental 2, 1993, 191-195

RAMIRES, P. R., FORJAZ, C. L. M., STRUNZ, C. M. C., SILVA, M. E. R., DIAMENT, J., NICOLAU, W., LIBERMANN, B., C. E. NEGRÃO:

Oral glucose ingestion increases endurance capacity in normal and diabetic (type I) humans.

J. Appl. Physiol. 2, 1997, 608-614

REGENSTEINER, J. G., SIPPEL, J., McFARLING, E. T., WOLFEL, E. E., W. R. HIATT:

Effects of non-insulin dependent diabetes on oxygen consumption during treadmill exercise.

Medicine And Science In Sports And Exercise 27, 1995, 661-667

REGENSTEINER, J. G., BAUER, T. A., REUSCH, J. E. B., BRANDENBURG, S. L., SIPPEL, J., VOGELSONG, A. M., SMITH, S., WOLFEL, E. E., ECKEL, R. H.

W. R. HIATT:

Abnormal oxygen uptake kinetic responses in women with type II diabetes mellitus.

J. Appl. Physiol. 85, 1998, 310-317

REINDELL, H., KLEPZIG, H., K. MUSSHOF:

Das Sporthetz.

In: BERGMANN, G. von, FREY, G. W., H. SCHWIEGK (Hrsg.):

Handbuch der Inneren Medizin, Bd. 9, 1. Teil

Springer Verlag, Berlin – Göttingen – Heidelberg 1960, 931-951

REINDELL, H., KÖNIG, K., H. ROSKAMM:

Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.

Thieme Verlag, Stuttgart 1967

REUBER, F.:

Metabolische und kardiorespiratorische Reaktionen bei Gerätetauchern während maximaler Spiroergometrie und sportartspezifischer Tauchbelastung.

Inaug. Diss. (Dr. phil.), JLU Gießen 1994

RICHTER, E. A., H. GALBO:

Diabetes, Insulin and Exercise.

Sports Medicine 3, 1986, 275-288

RICHTER, E. A., RUDERMAN, N. B., S. H. SCHNEIDER:

Diabetes and exercise.

Am. J. med. 70, 1981, 201-208

RIDELL, M. C., BAR-OR, O., AYUB, B. V., CALVERT, R. E., G. J. F. HEIGENHAUSER:

Glukose Ingestion Matched With Total Carbohydrate Utilisation Attenuates Hypoglycemia During Exercise in Adolescents With IDDM.
Int. J. of Sports Nutr. 9, 1999, 24-34

RIDELL, M. C., BAR-OR, O., HOLLIDGE-HORVAT, M., SCHWARCZ, H. P., G. J. F. HEIGENHAUSER:

Glukose ingestion and substrate utilisation during exercise in boys with IDDM.
J. Appl. Physiol. 88, 2000, 1239-1246

RIECKERT, H.:

Hormonelle Steuerung.
In: EBERSPÄCHER, H. (Hrsg.):
Handlexikon Sportwissenschaft.
Rowohlt Verlag, Reinbek 1987, 156-160

RIECKERT, H.:

Kreislauf.
In: EBERSPÄCHER, H. (Hrsg.):
Handlexikon Sportwissenschaft.
Rowohlt Verlag, Reinbek 1987, 204-218

RÖCKER, L.:

Der Einfluß körperlicher Aktivität auf das Blut.
In: HOLLMANN, W. (Hrsg.):
Zentrale Themen der Sportmedizin.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, 3. Aufl., 1986, 168-195

RÖNNEMAA, T., MARNIEMI, J., LEINO, A., KARANKO, H., PUUKKA, P., V. A. KOIVISTO:

Hormone response of diabetic patients to exercise at cool and warm temperatures.
J. Appl. Physiol. 62, 1991, 109-115

RÖSEN, P.:

Physiologische Glukoseregulation.
In: NAWROTH, P. P. (Hrsg.):
Kompendium Diabetologie.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1999, 4-31

ROSKAMM, H., REIDNELL, H., H. MÜLLER:

Herzgröße und ergometrisch getestete Ausdauerleistungsfähigkeit bei Hochleistungssportlern aus neun deutschen Nationalmannschaften.
Zschr. f. Kreisf. Forschg. 55, 1966, 2-14

ROST, R., HOLLMANN, W., HECK, H., LIESEN, H., A. MADER:

Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren.
Thieme Verlag, Stuttgart – New York 1982

ROST, R.:

Herz und Sport.
Perimed Verlag, Erlangen, 2. Aufl., 1990

RUDERMAN, N. B., GOODMAN, M. N., CONOVER, C. A., M. BERGER:

Substrate Utilisation in Perfused Skeletal Muscle.
Diabetes 28, 1979, 13-17

SCHMEISL, G. W.:

Schulungsbuch für Diabetiker.
Fischer Verlag, Jena – Stuttgart – Lübeck – Ulm 1997

SCHMIDT, R. F., G. THEWS:

Physiologie des Menschen.
Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1980

**SCHNACK, C., FESTA, A., SCHWARZMAIER-D`ASSI, A., HABER, P.,
G. SCHERNTHANER:**

Pulmonary dysfunction in type 1 diabetes in relation to metabolic long-term control and to incipient diabetic nephropathy.
Nephron 74, 1996, 395-400

SCHNEIDER, S. H., VITUG, A., ANANTHAKRISHNAN, R., A. K. KHACHADURIAN:

Impaired Adrenergic Response to Prolonged Exercise in Type I Diabetes.
Metabolism: Clinical And Experimental 11, 1991, 1219-1225

SCHNORR, R. P., BRETZEL, R. G., MEDAU, H. J., P. E. NOWACKI:

Neuroendokrine und sympathico-adrenerge Hormonregulation bei verschiedenen Sportarten.
In: MEDAU, H. J., RÖTHIG, P., P. E. NOWACKI (Hrsg.):
Ganzheitlichkeit – Beiträge in Sport und Gymnastik.
Hofmann Verlag, Schorndorf 1996, 168-191

SCHÖLL, J.:

Der Sauerstoffpuls als sportmedizinische Leistungsgröße.
Inaug. Diss. (Dr. med.), JLU Gießen 1995, 1-62

SHEPHARD, R. J.:

Die maximale Sauerstoffaufnahme.
In: SHEPHARD, R. J., P. O. ÅSTRAND (Hrsg.):
Ausdauer im Sport.
Deutscher Ärzte Verlag, Köln 1993, 191-198

SILBERNAGEL, S., A. DESPOPOLUS:

Taschenatlas der Physiologie.
Thieme Verlag, Stuttgart – New York 1991

SILLS, I. N., F. J. CERNY:

Responses to continuous and intermittent exercise in healthy and insulin-dependent diabetic children.

Medicine And Science In Sports And Exercise 6, 1983, 4450-454

STARKE, A. A. R.:

Physiologie des Kohlenhydratstoffwechsels und Regulation der Glukosehomöostase.

In: BERGER, M.:

Diabetes mellitus.

Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 3-11

STARKE, A. A. R.:

Pathophysiologie und Pathobiochemie des Insulinmangels bei Typ-1-Diabetes.

In: BERGER, M.:

Diabetes mellitus.

Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 253-263

STARKE, A. A. R.:

Pathobiochemie, Pathophysiologie und Pathogenese des Stoffwechselsyndroms Typ-2-Diabetes.

In: BERGER, M.:

Diabetes mellitus.

Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 423-444

STEGEMANN, J.:

Leistungsphysiologie.

Thieme Verlag, Stuttgart, 2. Aufl., 1977

STEGEMANN, J.:

Herz und Kreislauf im Sport.

In: HOLLMANN, W. (Hrsg.):

Zentrale Themen der Sportmedizin.

Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, 3. Aufl., 1986, 111-128

STEGMANN, H., W. KINDERMANN:

Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle bei unterschiedlich Ausdauertrainierten aufgrund des Verhaltens der Lactatkinetik während Arbeits- und Erholungsphase.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 32, 1981, 213-221

STROBEL, G.:

Sympathoadrenerges System und Katecholamine im Sport.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 3, 2002, 84-85

SUNDKVIST, G., BERGSTRÖM, B., BRAMNERT, M., LILJA, B., P. MANHEM:

The activity of the renin-angiotensin-aldosterone system before and during submaximal bicycle exercise in relation to circulatory catecholamines in patients with Type I (insulin-dependent) diabetes mellitus.

Diabetologia 33, 1990, 148-151

SUTTON, J. R., YOUNG, J. D., LAZARUS, L., HICKIE, J. B., J. MAKSVYTIS:

The Hormonal Response To Physical Exercise.
Australian Annals of Medicine 18, 1969, 84-90

SUTTON, J. R., JONES, N. L., C. J. TOEWS:

Growth hormone secretion in acid-base alterations at rest and during exercise.
Clinical Science and Molecular Medicine 50, 1976, 241-241

SUTTON, J. R.:

Hormonal and metabolic responses to exercise in subjects of high and low work capacities.
Medicine And Science In Sports 10, 1978, 1-6

SUTTON, J. R.:

Metabolic responses to exercise in normal and diabetic individuals.
In: STRAUSS, R. H. (Ed.):
Sports Medicine.
Saunders Verlag, Philadelphia – London – Toronto – Montreal – Sydney – Tokyo
1991, 221-237

TAMBORLANE, W. V., SHERWIN, R. S., KOIVISTO, V., HENDLER, R., GENEL, M., P. FELIG:

Normalization of the Growth Hormone and Catecholamines Response to Exercise in Juvenile-Onset Diabetic Subjects Treated with a Portable Insulin Infusion Pump.
Diabetes 28, 1979, 785-788

TANTUCCI, C., BOTTINI, P. DOTTORINI, M. L., PUXEDDU, E., CASUCCI, G., SCIONTI, L., C. A. SORBINI:

Ventilatory response to exercise in diabetic subjects with autonomic neuropathy.
J. Appl. Physiol. 81, 1996, 1978-1986

THE EXPERT COMMITTEE ON THE DIAGNOSIS AND CLASSIFICATION OF DIABETES MELLITUS:

Report of the Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus.
Diabetes Care 20, 1997, 1183-1197

THURM, U., B. GEHR:

Diabetes- und Sportfibel.
Kirchheim Verlag, Mainz 2001

TOELLER, M., KLISCHEN, A., HEITKAMP, G., SCHUMACHER, W., MILNE, R., BUYKEN, A., KARAMANOS, B., F. A. GRIES and the EURODIAB IDDM

Complications Study Group:
Nutritional intake of 2868 IDDM patients from 30 centres in Europe.
Diabetologia 39, 1996, 929-939

TURGAN, N., COKER, C., HAMULU, F., ELMACI, S., YILMAZ, C., ERSÖZ, B., C. İŞLEĞEN:

Glukose Metabolism and Catecholamine Responses during Physical Exercise in Non-Insulin-Dependent Diabetes.

Eur. J. Clin. Chem. Clin. Biochem. 34, 1996, 683-689

TUTTLE, K. R., MARKER, J. C., DALSKY, G. P., SCHWARTZ, N. S., SHAH, S. D., CLUTTER, W. E., HOLLOSZY, J. O., P. E. CRYER:

Glucagon, not insulin, may play a secondary role in defense against hypoglycemia during exercise.

Am. J. Physiol. 254, 1988, E713-E719

URHAUSEN, A., WEILER, B., W. KINDERMANN:

Sympathische Aktivität und Herzfrequenzverhalten bei Ausdauerbelastungen unterschiedlicher Intensität.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 10, 1992, 446-448

VERA, M., SUFFOS, R., CARRILES, M., GELL, R., PICASSO, N., M. C. ALVAREZ:

A study of the respiratory function in insulin-dependent diabetic patients with and without limited joint mobility (LJM).

Acta Diabetologica Latina 27, 1990, 113-117

VEVES, A., SAOUAF, R., DONAGHUE, V. M., MULLOOLY, C. A., KISTLER, J. A., GIURINI, J. M., HORTON, E. S., R. A. FIELDING:

Aerobic exercise capacity remains normal despite impaired endothelial function in the micro-and macrocirculation of physically active IDDM patients.

Diabetes 46, 1997, 1846-1852

VIBERTI, G. C., HOME, P. D., BILOUS, R. W., ALBERTI, K. G. M. M., DALTON, N., KEEN, H., J. C. PICKUP:

Metabolic effects of physical exercise in insulin-dependent diabetics controlled by continuous subcutaneous insulin infusion or conventional injection therapy.

Acta Endocrinologica 105, 1984, 515-520

VITUG, A., SCHNEIDER, S. H., N. B. RUDERMAN:

Exercise and Type I Diabetes Mellitus.

Exercise And Sport Sciences Reviews 16, 1988, 285-304

VRANIC, M., M. BERGER:

Exercise and Diabetes Mellitus.

Diabetes 28, 1979, 147-163

VRANIC, M., GAUTHIER, C., BILINSKI, D., WASSERMAN, D., EL TAYEB, K., HETENYI, G., LICKLEY, J. R., H. L. A. LICKLEY:

Catecholamine responses and their interactions with other glucoregulatory hormones.

American Journal of Physiology 247, 1984, 145-156

WALLBERG-HENRIKSSON, H., GUNNARSSON, R., HENRIKSSON, J., OSTMAN, J., J. WAHREN:

Influence of physical training on formation of muscle capillaries in type-I-diabetes.

Diabetes 33, 1984, 851-857

WALLBERG-HENRIKSSON, H., GUNNARSSON, R., RÖSSNER, S., J. WAHREN:

Long-term physical training in female type I (insulin dependent) diabetic patients: absence of significant effect on glycaemic control and lipoprotein levels.

Diabetologia 29, 1986, 53-57

WANKE, T., FORMANEK, D., AUINGER, M., POPP, W., ZWICK, H., K. IRSIGLER:

Inspiratory muscle performance and pulmonary function changes in insulin-dependent diabetes mellitus.

American Review of Respiratory Disease 143, 1991, 97-100

WASSERMAN, K., M. B. McILROY:

Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise.

Amer. J. Cardiol. 14, 1964, 844-852

WASSERMAN, D. H., LICKLEY H. L. A., M. VRANIC:

Important role of glucagon during exercise in diabetic dogs.

J. Appl. Physiol. 59, 1985, 1272-1282

WASSERMAN, D. H., M. VRANIC:

Interaction Between Insulin and Counterregulatory Hormones in Control of Substrate Utilization in Health and Diabetes During Exercise.

Diabetes/Metabolism Reviews 1, 1986, 359-384

WASSERMAN, D. H., B. ZINMAN:

Exercise in individuals with IDDM.

Diabetes Care 17, 1994, 924-937

WEICKER, H., BARWICH, D., KLETT, G., F. RITTHALER:

Die hormonelle Regulation bei körperlicher Belastung.

Sportwissenschaft 11, 1981, 386-405

WEICKER, H.:

Hormonelle Regulation bei Ausdauer- und Kurzzeitbelastung.

In: FRANZ, I. W., MELLEROWICZ, H., W. NOACK (Hrsg.):

Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt.

Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo 1985

WEICKER, H., G. STROBEL:

Sportmedizin. Biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung.

Fischer Verlag, Stuttgart – Jena – New York 1994

WEINECK, J.:

Sportbiologie.
Spitta Verlag, Balingen 2000

WEYER, C.:

Muskelarbeit/Sport/Bewegungstherapie.
In: BERGER, M.:
Diabetes mellitus.
Urban & Fischer Verlag, München – Jena, 2. Aufl., 2000, 203-215

WILLIAMS, M. H.:

Ernährung, Fitness und Sport.
Dt. Ausg. hrsg. von R. ROST.
Ullstein/Mosby Verlag, Berlin – Wiesbaden 1997

WILMORE, J. H., D. L. COSTILL:

Physiology of sport and exercise.
Human Kinetics Verlag, 2. Aufl., 1999

ZETKIN, M., H. SCHALDACH (Hrsg.):

Lexikon der Medizin.
Ullstein Verlag, Wiesbaden 1999

ZHAO, Z.:

Qualitative und quantitative kardiorespiratorische Reaktionen bei Trainierten in Abhängigkeit von international standardisierten fahrradergometrischen Belastungsverfahren im Sitzen.
Inaug. Diss. (Dr. med.), Johannes Gutenberg Universität Mainz 1995, 1-150

ZINKER, B. A.:

Nutrition And Exercise In Individuals With Diabetes.
Clinics In Sports Medicine 3, 1999, 585-606

ZINMAN, B., MURRAY, F. T., M. VRANIC:

Glucoregulation during moderate exercise in insulin created diabetics.
J. Clin. Endocrinol. Metab. 45, 1977, 641-652

ZINMAN, B., ZUNIGA-GUAJARDO, S., D. KELLY:

Comparison of the acute and long-term effects of exercise on glucose control in type I diabetes.
Diabetes Care 7, 1984, 515-519

7. ANHANG

7.1 Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Proband bei der Spirometrie im Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen.
- Abb. 2: Spiroergometriesystem OXYCON-ALPHA mit integriertem Lungenfunktionsmessplatz, EKG-Registriergerät "Ergoscript 2012 PC™" und angeschlossener Datenverarbeitung und Drucker im Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen.
- Abb. 3: Zusammensetzung des TripleV-Sensors und Anschluss der Probanden an den TripleV-Sensor.
- Abb. 4: Diabetiker bei der Blutentnahme zur Laktatbestimmung.
- Abb. 5: Durchschnittliches Alter und mittlere Größe ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.
- Abb. 6: Mittleres Gewicht und mittlerer BMI ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.
- Abb. 7: Durchschnittliche HbA_{1c}-Werte ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.
- Abb. 8: Durchschnittlicher Trainingsaufwand in Stunden/Woche ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.
- Abb. 9: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) für die Gesamtarbeit in Wattminuten der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler. Die Gesamtarbeit wurde auf der Grundlage einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode berechnet.
- Abb. 10: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (nach NOWACKI).
- Abb. 11: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) der maximalen relativen Wattstufe (Watt/kg) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler. Die maximale relative Wattstufe wurde bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode erreicht.

- Abb. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen ($M \pm 1s$) der Belastungszeit (Sekunden) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler. Die maximale relative Wattstufe wurde bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode erreicht.
- Abb. 13: Durchschnittliches Verhalten der Herzfrequenz ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler in Test T1 vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.
- Abb. 14: Durchschnittliches Verhalten der Herzfrequenz ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2 (30-minütige Belastung bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).
- Abb. 15: Durchschnittliches Verhalten der Herzfrequenz ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3 (3 einminütige Intervalle bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).
- Abb. 16: Durchschnittliches Verhalten des systolischen und diastolischen Blutdrucks ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler im Test T1 vor und sofort nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.
- Abb. 17: Durchschnittliches Verhalten des systolischen und diastolischen Blutdrucks ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor und sofort nach dem Steady-State-Test T2 (30-minütige Belastung bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).
- Abb. 18: Durchschnittliches Verhalten des systolischen und diastolischen Blutdrucks ($M \pm 1s$) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler vor und sofort nach dem Intervalltest T3 (3 einminütige Intervalle bei 110 % der maximalen Sauerstoffaufnahme).
- Abb. 19: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) der Vitalkapazität der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler.
- Abb. 20: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des maximalen Atemminutenvolumens (AMV | BTPS) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.
- Abb. 21: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Steady-State Atemminutenvolumens (AMV | BTPS) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler beim Test T2.
- Abb. 22: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen ($\pm 1s$) des Atemminutenvolumens (AMV | BTPS) der Diabetiker Typ I vs. Gesunde Sportler beim Intervalltest T3.

- Abb. 23: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportlern vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.
- Abb. 24: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportlern vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.
- Abb. 25: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der absoluten Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportlern vor, während und nach dem Intervalltest T3.
- Abb. 26: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportlern vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode.
- Abb. 27: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportlern vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.
- Abb. 28: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der relativen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportlern vor, während und nach dem Intervalltest T3.
- Abb. 29: Mittelwerte (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) des maximalen Sauerstoffpulses ($\text{VO}_2/\text{Hf} \text{ ml STPD}$) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), beim Steady-State-Test T2 und beim Intervalltest T3.
- Abb. 30: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Ventilations-RQ von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1).
- Abb. 31: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Ventilations-RQ von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.
- Abb. 32: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Ventilations-RQ von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3.

- Abb. 33: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der Blutglukose (mg/dl) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode im Test T1.
- Abb. 34: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der Blutglukose (mg/dl) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.
- Abb. 35: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen (± 1 s) der Blutglukose (mg/dl) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.
- Abb. 36: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Insulins (μ U/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.
- Abb. 37: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Glukagons (pg/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.
- Abb. 38: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Cortisols (ng/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.
- Abb. 39: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Wachstumshormons STH (μ g/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.
- Abb. 40: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Adrenalins (pg/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.
- Abb. 41: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (± 1 s) des Noradrenalins (pg/ml) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor und 30 Minuten nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode (Test T1), dem Steady-State-Test T2 und dem Intervalltest T3.

- Abb. 42: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des Laktats (mmol/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener $\frac{1}{2}$ Watt/kg KG-Methode beim Test T1.
- Abb. 43: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des Laktats (mmol/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Steady-State-Test T2.
- Abb. 44: Mittelwertskurve (M) mit Standardabweichungen ($\pm 1 s$) des Laktats (mmol/l) von Diabetikern Typ I vs. Gesunde Sportler vor, während und nach dem Intervalltest T3.
- Abb. 45: Der Abfall der maximalen Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Alter und die altersabhängige Herzfrequenz während submaximaler Belastung (aus: ÅSTRAND, RODAHL 1986). Die maximalen Herzfrequenzen der Diabetiker (+) und Gesunden Sportler (*) vom Test T1 und die submaximalen Herzfrequenzen der beiden Untersuchungsgruppen vom Test T2 sind nachträglich aufgetragen.
- Abb. 46: Regulation des Glukose-Flusses während körperlicher Belastung, speziell bei sportlicher Leistung (modifiziert nach: WASSERMAN/ ZINMAN 1994).
- Abb. 47: Glukosehomöostase während der Muskelarbeit beim Typ-I-Diabetiker im Zustand des Insulinüberschusses (modifiziert nach: WEYER 2000).
- Abb. 48: Glukosehomöostase während der Muskelarbeit beim Typ-I-Diabetiker im Zustand des Insulinmangels (modifiziert nach: WEYER 2000).
- Abb. 49: Wichtige Einflussfaktoren des Insulinbedarfs (modifiziert nach GOMER, M., GOMER, M. 1994).
- Abb. 50: STH-Spiegel im Blut während mittlerer Belastung längerer Dauer (nach HARTLEY 1975).
- Abb. 51: Zeitliche Abfolge der hormonellen Gegenregulation bei Hypoglykämie (nach Klevesath u. Mitarb. 1999).
- Abb. 52: Effekt von Bewegung auf die Hormonsekretion und gleichzeitiger Effekt dieser Hormone auf den Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel (modifiziert nach PRUETT 1971).
- Abb. 53: Diabetiker H. H. – Teilnehmer der vorliegenden Studie - beim Marathon de Sables (220 km in 6 Etappen) in der Sahara von Südmarokko. Er bewältigte diesen Lauf ohne akute oder nachfolgende gesundheitliche Probleme.

7.2 Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Anthropometrische Daten der Probanden.
- Tab. 2: Diätetische Daten der Probanden; Auswertung der Ernährungsprotokolle.
- Tab. 3: Klassifizierung der Leistungsbereiche nach dem körperrgewichtszbezogenen Belastungsverfahren nach NOWACKI.
- Tab. 4: Vorbereitende Behandlung der Blutproben.
- Tab. 5: Testverfahren, verwendete Tests und Normwertbereiche der metabolischen Untersuchungsparameter.
- Tab. 6: Unterteilung der Signifikanz nach BÜHL u. ZÖFEL 1997.
- Tab. 7: Anzahl der aktiven Probanden in dem zeitlichen Verlauf von Test T1.
- Tab. 8: Blutdruckwerte der Diabetiker und Gesunden Sportler bei den Testen T1, T2 und T3.
- Tab. 9: Maximale biologische Leistungsgrößen von leistungssporttreibenden Diabetikern und Gesunden Sportlern in der Belastungsphase einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener ½ Watt/kg KG-Methode.
- Tab. 10: Klassifizierung von Übergewicht und Adipositas (WHO Report 1995).
- Tab. 11: Bewertung des prozentualen Körperfettanteils für Männer bzw. Frauen (nach WILLIAMS 1997).
- Tab. 12: Empfehlungen der Blutzuckerwerte und des HbA_{1c} nach der European IDDM Policy Group 1993.
- Tab. 13: Einstellungskriterien der HbA_{1c}-Werte nach SCHMEISL (1997).
- Tab. 14: Beurteilung der 5-Minuten-Erholungsfrequenz nach maximaler Belastung (Empfehlungen von NOWACKI 1975).
- Tab. 15: Klassifikation des Blutdrucks für Erwachsene von 18 Jahren und älter (modifiziert übernommen aus WILMORE, COSTILL 1999).

Tab. 16: Zuordnung des maximalen Atemminutenvolumens (max AMV I BTPS) zum Trainingszustand (16. – 40. Lebensjahr) modifiziert nach NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED 1999 u. NOWACKI 2003.

Tab. 17: Beurteilungskriterien für die maximale relative Sauerstoffaufnahme (VO_2 ml STPD $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) von Männern und Frauen als Kriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit nach NOWACKI 1987, modifiziert von NOWACKI N.S. 1998.

Tab. 18: Wirkungen des Insulins (nach einer Zusammenstellung von ZETKIN, SCHALDACH 1999).

Tab. 19: Wirkungen der Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin (modifiziert nach WEICKER, STROBEL 1994).

Tab. 20: Empfohlene Trainingsbereiche für Diabetiker.

7.3 Versuchsprotokolle – zusammengefasst

Herzfrequenz (min⁻¹) Test T1 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																			
Ruhe	72	74	56	70	70	58	89	83	70	83	82	80	67		73	9	89	56	13
02:00	87	91	70	87	77	85	91	97	81	102	94	87	65		86	10	102	65	13
03:00	92	97	73	91	81	96	93	97	87	97	98	85	77		90	8	98	73	13
04:00	88	95	72	91	82	86	92	100	89	104	100	91	72		89	9	104	72	13
05:00	97	104	88	106	89	101	106	108	92	111	109	109	75		100	10	111	75	13
06:00	100	109	84	102	91	94	100	108	97	113	109	96	86		99	9	113	84	13
07:00	107	118	97	120	101	107	112	116	108	121	120	108	94		110	9	121	94	13
08:00	114	123	103	125	105	118	115	120	109	128	119	115	104		115	8	128	103	13
09:00	119	138	107	132	114	127	121	129	118	132	132	122	116		124	9	138	107	13
10:00	126	141	110	143	120	128	127	135	126	143	133	125	114		129	10	143	110	13
11:00	135	152	120	150	131	147	134	145	132	160	143	138	127		140	11	160	120	13
12:00	143	158	125	155	134	148	135	151	138	161	145	142	131		144	10	161	125	13
13:00	150	169	140	164	142	161	147	161	145	175	154	158	139		154	11	175	139	13
14:00	155	178	145		151	171	154	169	154	182	158	165	151		161	11	182	145	12
15:00	164	187	152		154	184	161	177	161	189	173	173	158		169	12	189	152	12
16:00	167		156		160		165	184	167		177	182	161		169	9	184	156	9
17:00			158				177		173		186	186	173		176	10	186	158	6
18:00			165				180				191	189			181	10	191	165	4
E 1	148	166	125	141	151	163	169	165	165	161	161	175	142		156	13	175	125	13
E 3	106	119	93	115	104	124	131	127	124	132	121	139	109		119	12	139	93	13
E 5	93	104	77	99	88		118	111	108	122	112	133	92		105	15	133	77	12

Herzfrequenz (min⁻¹) Test T2 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD		Mittel	Stab	Max	Min	n	
Zeit																				
Ruhe	82	73	64	63	68	66	84	73	74	91	76	66	56		72	9	91	56	13	
02:00	94	101	84	86	80	96	97	105	99	103	102	95	83		94	8	105	80	13	
03:00	92	108	81	91	85	99	97	106	105	102	105	102	82		97	9	108	81	13	
04:00	109	117	101	104	94	115	113	116	120	118	127	115	95		111	10	127	94	13	
05:00	112	118	105	105	100	115	112	124	120	112	126	119	97		113	9	126	97	13	
06:00	109	122	105	105	98	116	116	121	124	118	132	121	97		114	10	132	97	13	
07:00	109	125	105	107	97	110	116	124	126	116	128	120	96		114	10	128	96	13	
08:00	110	129	101	105	100	116	114	131	126	121	133	116	97		115	12	133	97	13	
09:00	110	131	104	110	105	118	113	127	126	120	131	120	99		116	10	131	99	13	
10:00	109	133	111	113	102	119	120	127	128	116	129	126	94		117	11	133	94	13	
11:00	110	132	107	113	101	118	118	128	126	116	134	120	101		117	10	134	101	13	
12:00	114	136	104	110	102	119	116	129	128	116	133	127	97		118	12	136	97	13	
13:00	114	135	108	107	101	114	119	132	127	118	138	126	94		118	13	138	94	13	
14:00	116	136	110	110	93	120	120	129	128	120	134	132	99		119	13	136	93	13	
15:00	114	135	110	115	102	124	116	132	128	120	138	125	94		119	12	138	94	13	
16:00	114	140	112	113	100	116	120	132	129	120	138	138	100		121	13	140	100	13	
17:00	113	140	107	114	104	121	120	131	129	119	136	135	99		121	12	140	99	13	
18:00	118	141	107	113	100	116	120	129	129	122	139	139	96		121	14	141	96	13	
19:00	113	144	111	114	103	124	120	129	129	121	141	138	96		122	14	144	96	13	
20:00	113	140	107	113	103	124	122	129	132	122	141	133	97		121	13	141	97	13	
21:00	116	152	106	116	102	125	120	132	132	125	135	136	100		123	14	152	100	13	
22:00	114	152	108	115	101	122	125	132	131	125	142	141	97		123	16	152	97	13	
23:00	114	150	111	116	101	124	124	132	132	129	135	135	96		123	14	150	96	13	
24:00	120	152	107	118	104	122	122	132	131	125	139	141	97		124	15	152	97	13	
25:00	118	152	111	117	102	122	120	133	131	126	139	143	101		124	15	152	101	13	
26:00	120	150	110	118	102	122	122	136	128	125	141	143	97		124	15	150	97	13	
27:00	118	155	107	117	102	131	120	136	133	124	141	147	96		125	17	155	96	13	
28:00	119	157	109	119	103	120	121	136	132	132	142	142	94		125	17	157	94	13	
29:00	123	155	108	120	104	126	124	135	134	129	141	151	99		127	16	155	99	13	
30:00	119	152	107		104	128	126	135	134	128	142	145	97		126	16	152	97	12	
31:00	119	157	110		106	127	124	135	133	128	143	147	97		127	17	157	97	12	
32:00	121		108		106	126	122	138	134	131	143	142	97		124	15	143	97	11	
33:00	121		108			126	125	138	132	132		147	97		125	14	147	97	9	
E 1	107	136	100		97	109	110	116	116	100	131	121	75		110	16	136	75	12	
E 3	100	130	93		89	93	109	120	104	118	120	126	87		107	15	130	87	12	
E 5	77	119	77		79		96			100		102	62		89	17	119	62	8	

Herzfrequenz (min⁻¹) Test T3 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																			
Ruhe	75	81	68	72	70	58	94	83	82	100	75	66	59		76	12	100	58	13
02:00	110	124	107	107	92	106	114	114	109	124	119	104	96		110	9	124	92	13
03:00	107	125	109	106	92	106	107	116	118	120	116	102	86		108	11	125	86	13
04:00	102	129	105	107	90	104	114	115	120	119	114	101	85		108	12	129	85	13
05:00	107	130	107	111	95	100	113	116	119	133	111	100	84		110	13	133	84	13
06:00	106	127	107	108	101	105	120	125	126	135	119	110	89		114	12	135	89	13
07:00	167	171	141	152	133	138	150	156	154	163	163	153	133		152	12	171	133	13
08:00	150	155	117	132	115	122	133	135	139	126	127	125	106		129	13	155	106	13
09:00	140	145	108	125	102	116	132	134	134	127	127	113	95		123	14	145	95	13
10:00	166	182	148	158	138	148	158	167	161	175	167	160	135		159	13	182	135	13
11:00	153	162	122	135	116	128	136	143	145	134	142	126	100		134	16	162	100	13
12:00	137	153	111	133	103	126	129	136	141	136	133	118	101		127	15	153	101	13
13:00	169	187	154	162	139	156	158	171	165	180	177	167	138		163	14	187	138	13
E 1	157	166	127	138	114	124	134	145	148	141	143	133	100		136	17	166	100	13
E 3	127	132	110	120	96	112	115	122	126	126	121	110	87		116	12	132	87	13
E 5	103	105	84			96		102			96	88	71		93	11	105	71	8

Herzfrequenz (min⁻¹) Test T1 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	71	58	64	59	64	62	70	72	71	69	67	77		67	5	77	58	12
02:00	84	67	73	82	88	73	75	77	76	83	78	81		78	6	88	67	12
03:00	91	71	81	82	92	71	82	86	85	91	91	96		85	8	96	71	12
04:00	92	71	78	82	86	72	83	80	84	84	84	88		82	6	92	71	12
05:00	95	78	87	97	95	86	92	100	86	99	88	97		92	6	100	78	12
06:00	100	81	89	87	98	84	88	100	86	96	94	98		92	6	100	81	12
07:00	111	85	100	105	112	96	100	110	96	106	104	105		103	7	112	85	12
08:00	112	85	100	99	120	103	101	116	96	106	105	109		104	9	120	85	12
09:00	117	88	108	118	127	112	119	128	108	122	120	125		116	11	128	88	12
10:00	121	93	112	114	131	109	120	125	110	122	116	126		117	10	131	93	12
11:00	130	102	122	126	142	125	131	141	119	131	135	138		129	11	142	102	12
12:00	132	107	125	130	147	133	136	150	124	138	135	139		133	11	150	107	12
13:00	143	115	140	147	156	143	150	165	134	147	145	147		144	12	165	115	12
14:00	150	113	144	150	163	153	156	169	142	150	150	151		149	13	169	113	12
15:00	155	115	157	164	171	160	160	177	151	160	154	158		157	14	177	115	12
16:00	162	111	166	169	175	163	161	182	156	161	156	161		160	17	182	###	12
17:00	167	109	171	176	184	169	171	189	165	169	167	167		167	19	189	109	12
18:00	169	119		182	191	175			171	171	173	173		169	19	191	119	9
19:00	185	118				180					177	177		167	25	185	118	5
E 1	189	105	138	155	163	160	160	161	143	150	141	160		152	19	189	105	12
E 3	118	62	106	106	122	111	119	125	103	112	102	127		109	16	127	62	12
E 5	106	58	90	99	113	96	116	109	88		87	114		98	16	116	58	11

Herzfrequenz (min⁻¹) Test T2 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	65	48	71	62	65	66	67	66	65	60	59	68		64	6	71	48	12
02:00	88	67	91	101	88	83	83	91	84	86	86	90		87	8	101	67	12
03:00	91	62	96	96	89	77	86	87	81	90	92	86		86	9	96	62	12
04:00	105	81	109	117	109	102	102	111	92	106	105	111		104	9	117	81	12
05:00	108	81	113	113	119	105	102	121	91	110	105	109		106	11	121	81	12
06:00	111	83	111	113	121	105	99	116	94	111	109	109		107	10	121	83	12
07:00	109	80	113	116	120	105	103	119	97	110	110	108		108	10	120	80	12
08:00	107	83	112	123	127	107	101	121	96	111	105	112		109	12	127	83	12
09:00	108	85	115	117	129	110	103	122	96	116	108	114		110	11	129	85	12
10:00	108	84	114	120	133	110	102	120	97	115	109	112		110	12	133	84	12
11:00	110	84	119	118	132	111	104	119	96	116	106	115		111	12	132	84	12
12:00	112	85	114	119	133	113	104	125	96	116	106	118		112	12	133	85	12
13:00	111	86	116	123	132	116	105	124	96	116	110	114		112	12	132	86	12
14:00	113	82	118	118	134	111	104	127	98	116	109	115		112	13	134	82	12
15:00	113	85	117	121	136	116	104	121	95	116	108	115		112	13	136	85	12
16:00	111	82	116	121	136	113	105	127	96	115	109	116		112	13	136	82	12
17:00	111	86	117	122	136	115	105	128	96	116	108	116		113	13	136	86	12
18:00	113	88	116	127	136	118	106	128	97	115	106	120		114	13	136	88	12
19:00	110	84	117	125	136	116	108	129	97	118	107	120		114	13	136	84	12
20:00	109	84	113	130	139	113	105	127	96	116	109	120		113	14	139	84	12
21:00	112	85	120	125	138	120	107	128	95	116	109	120		115	14	138	85	12
22:00	112	84	119	122	139	118	105	131	99	116	109	120		115	14	139	84	12
23:00	107	87	116	126	138	119	105	128	98	119	109	119		114	13	138	87	12
24:00	109	86	118	132	139	120	107	133	96	118	109	121		116	15	139	86	12
25:00	108	86	119	125	139	119	102	131	99	114	109	120		114	14	139	86	12
26:00	112	87	116	124	138	119	108	132	97	116	107	120		115	13	138	87	12
27:00	109	86	115	126	141	122	105	134	99	119	110	122		116	15	141	86	12
28:00	106	88	117	126	142	120	104	136	98	116	113	116		115	15	142	88	12
29:00	117	73	119	127	142	122	111	131	98	116	108	125		116	17	142	73	12
30:00	106	75	119	119	143	127	106	133	99	116	110	120		114	17	143	75	12
31:00	114	69	118	124	143	127	106	133	99	116	110	124		115	18	143	69	12
32:00	107	105	120	123	143	127	104	135	100	120	110	124		118	13	143	100	12
33:00	112	78	118	130	150	124	107	136	98	116	111	120		117	18	150	78	12
E 1	97	50	103	114	125	100	92	114	87	100	98	104		99	18	125	50	12
E 3	101	64	99	104	111	98	88	107	86	97	91	94		95	12	111	64	12
E 5	86	60	88	110	80	76	79	94	70	79		87		83	12	110	60	11

Herzfrequenz (min⁻¹) Test T3 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	70	58	72	58	74	61	64	55	69	71	51	72		65	7	74	51	12
02:00	102	81	97	101	106	93	83	96	92	102	98	105		96	8	106	81	12
03:00	100	84	99	104	109	94	83	100	88	96	94	98		96	7	109	83	12
04:00	103	82	99	98	106	83	79	101	87	97	87	101		94	9	106	79	12
05:00	104	84	100	101	113	92	86	96	89	102	88	97		96	8	113	84	12
06:00	107	85	111	107	131	99	87	107	92	109	111	105		104	12	131	85	12
07:00	138	117	145	155	154	142	129	154	128	141	147	151		142	11	155	117	12
08:00	127	88	121	120	139	114	92	126	97	116	116	120		115	14	139	88	12
09:00	111	97	120	122	129	105	88	120	96	112	112	128		112	13	129	88	12
10:00	148	117	157	162	169	150	138	161	133	147	153	160		150	14	169	117	12
11:00	129	88	131	123	148	119	105	129	97	120	118	128		120	16	148	88	12
12:00	115	82	125	113	142	110	94	122	97	115	113	125		113	15	142	82	12
13:00	152	116	160	169	175	154	147	161	134	148	151	163		153	15	175	116	12
E 1	125	63	130	122	150	128	112	131	96	115	114	131		118	21	150	63	12
E 3	108	66	112	107	124	96	92	103	89	103	96	105		100	14	124	66	12
E 5		56	97		99	81	76	72	73		70			78	13	99	56	8

Absolute Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹) Test T1 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	561	635	349	351	460	290	339	440	532	645	535	507	448	469	109	645	290	13
02:00	832	769	652	687	443	784	584	609	696	668	598	892	742	689	114	892	443	13
03:00	1156	1019	886	841	834	668	733	739	878	804	920	835	842	858	121	1156	668	13
04:00	1193	1093	816	844	829	1147	765	753	1054	863	960	975	874	936	141	1193	753	13
05:00	1648	1447	1210	1144	1201	1320	1007	1046	1197	1058	1137	1153	1168	1210	168	1648	1007	13
06:00	1831	1646	1224	1337	1296	1367	1110	1236	1389	1185	1140	1302	1271	1333	193	1831	1110	13
07:00	2252	1867	1701	1513	1449	1925	1350	1431	1784	1429	1463	1563	1449	1629	252	2252	1350	13
08:00	2527	2303	1697	1678	1807	2029	1480	1557	1828	1539	1440	1685	1702	1790	309	2527	1440	13
09:00	2639	2621	1943	1795	1938	2443	1721	1841	1947	1697	1592	1748	2024	1996	336	2639	1592	13
10:00	2940	2762	2166	1938	2256	2438	1793	1996	2254	1881	1779	2030	1945	2168	347	2940	1779	13
11:00	3159	3192	2336	2138	2600	2814	2027	2263	2290	2094	2015	2379	1770	2391	420	3192	1770	13
12:00	3535	3412	2573	2423	2648	2878	2148	2380	2699	2134	2089	2461	1837	2555	477	3535	1837	13
13:00	3803	3801	2766	2708	2688	2916	2436	2671	2782	2456	2140	2741	1906	2755	521	3803	1906	13
14:00	4070	4190	2955		2790	2992	2467	2863	2941	2519	2546	2854	1994	2932	601	4190	1994	12
15:00	4677	4408	3189		2902	3076	2718	3111	3084	2707	2956	3132	2117	3173	675	4677	2117	12
16:00	4837		3258		2493		2780	3375	3387		2889	3302	2288	3179	696	4837	2288	9
17:00			3560				3028		3520		3234	3390	2316	3175	424	3560	2316	6
18:00			3646				3105				3195	3591		3384	237	3646	3105	4
E 1	3034	2465	1889	1775	2307	1903	1769	1951	3041	1461	1686	2468	1995	2134	478	3041	1461	13
E 3	1496	1214	962	999	1155	1156	928	1027	1090	793	950	1058	806	1049	178	1496	793	13
E 5	852	714	546	562	690		660	542	740	530	584	998	458	656	148	998	458	12

Absolute Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹) Test T2 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	799	605	386	360	334	399	433	258	527	376	564	529	419	461	136	799	258	13
02:00	1185	1202	961	833	739	1047	970	960	1134	680	993	781	845	948	161	1202	680	13
03:00	1447	1453	1111	931	1491	1081	1318	1184	1229	1057	1268	1380	1042	1230	173	1491	931	13
04:00	2201	1783	1368	1335	1536	1633	1713	1492	1907	1160	1895	1632	1441	1623	269	2201	1160	13
05:00	2325	2113	1753	1395	1885	1763	1684	1801	2044	1384	2128	1943	1621	1834	269	2325	1384	13
06:00	2281	2046	1705	1579	1806	1730	1760	1858	2041	1451	2376	2124	1592	1873	270	2376	1451	13
07:00	2394	2142	1836	1381	1698	1832	1842	1920	2207	1499	2034	2095	1635	1886	278	2394	1381	13
08:00	2379	2112	1793	1386	1894	1786	1774	1975	2200	1432	2588	1906	1588	1909	336	2588	1386	13
09:00	2436	2150	1808	1362	1780	1570	1697	1871	2143	1487	2316	1888	1685	1861	309	2436	1362	13
10:00	2426	2193	1930	1361	1830	1547	1902	1873	2016	1523	2227	2142	1563	1887	306	2426	1361	13
11:00	2252	2120	1827	1397	1639	1401	1769	1873	1927	1443	2235	2092	1650	1817	291	2252	1397	13
12:00	2335	2106	1813	1393	1709	1432	1848	1920	2037	1532	2204	2093	1587	1847	291	2335	1393	13
13:00	2348	2051	1859	1339	1746	1307	1805	1983	2022	1559	2346	2082	1567	1847	325	2348	1307	13
14:00	2323	2118	1906	1484	1789	1558	1827	1930	2108	1514	2044	2111	1682	1876	253	2323	1484	13
15:00	2417	2081	1976	1454	1885	1457	1865	1950	1952	1380	2460	2104	1645	1894	328	2460	1380	13
16:00	2361	2176	1920	1424	1718	1467	1905	1941	2070	1490	2277	2114	1649	1886	302	2361	1424	13
17:00	2361	2186	1958	1487	1663	1538	1850	1949	2160	1469	2049	2186	1510	1874	299	2361	1469	13
18:00	2379	2158	1868	1449	1750	1463	1904	1959	2027	1541	2183	2140	1598	1878	289	2379	1449	13
19:00	2299	2050	1953	1574	1814	1627	1938	1962	1886	1464	2307	2087	1594	1889	257	2307	1464	13
20:00	2268	2030	1827	1501	1684	1548	1889	1956	2211	1585	2227	2253	1663	1896	274	2268	1501	13
21:00	2408	2136	1848	1504	1859	1673	1856	1976	2019	1461	1872	2187	1663	1882	260	2408	1461	13
22:00	2347	2157	1945	1491	1837	1820	1907	1914	1950	1432	2051	2167	1642	1897	252	2347	1432	13
23:00	2285	2014	1907	1482	1744	1550	1883	1959	2051	1468	2072	2112	1544	1852	258	2285	1468	13
24:00	2481	2101	1911	1633	1848	1796	1898	1916	1854	1482	2227	2141	1701	1922	254	2481	1482	13
25:00	2183	2232	2011	1566	1767	1642	1837	1865	1939	1419	2161	2301	1677	1892	265	2301	1419	13
26:00	2477	2245	1875	1512	1590	1613	1887	1842	1832	1488	2220	2157	1615	1873	304	2477	1488	13
27:00	2333	2213	1993	1522	1841	1775	1895	1963	1966	1530	2050	2202	1641	1917	245	2333	1522	13
28:00	2307	2219	2061	1567	1735	1568	1957	1988	2105	1518	2173	2171	1564	1918	277	2307	1518	13
29:00	2496	2046	1934	1534	1772	1694	1963	1989	2165	1480	2181	2211	1626	1930	287	2496	1480	13
30:00	2361	2226	1959		1921	1827	1967	1954	2111	1484	2219	2213	1640	1990	245	2361	1484	12
31:00	2356	2200	1978		1938	1543	1919	1962	2111	1473	2245	2101	1581	1951	273	2356	1473	12
32:00	2324		2003		1691	1627	1877	1954	1967	1449	2118	2124	1524	1878	262	2324	1449	11
33:00	2514		1919			1653	1726	1718	2171	1453		1800	1792	1861	295	2514	1453	9
E 1	1911	32	1070		1551	1036	1248	1469	1414	1143	2057	1582	1092	1300	494	2057	32	12
E 3	1450	1421	1115		1263	858	1218	1098	770	915	1356	1251	111	1069	356	1450	111	12
E 5	1085	1253	544		791		530			350		390	371	664	323	1253	350	8

Absolute Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹) Test T3 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	336	561	499	323	439	337	426	497	500	323	414	502	538	438	82	561	323	13
02:00	1680	1631	1428	996	1136	1402	1310	1259	917	1070	1454	1438	1403	1317	224	1680	917	13
03:00	1904	1945	1521	1189	1478	1699	1297	1454	1573	1084	1792	1538	1546	1540	246	1945	1084	13
04:00	1799	1969	1489	1189	1383	1628	1446	1458	1579	1179	1871	1693	1409	1546	233	1969	1179	13
05:00	1736	1973	1485	1233	1490	1523	1396	1551	1447	1147	1548	1718	1495	1519	203	1973	1147	13
06:00	1793	2166	1523	1375	1875	1803	1224	1532	1477	1264	2342	1670	1539	1660	318	2342	1224	13
07:00	3994	3459	2766	2160	2614	2745	2612	2501	2803	2169	2811	2790	2833	2789	467	3994	2160	13
08:00	3051	2857	2137	1773	2040	2355	2105	2239	2299	1398	2348	2290	2147	2234	399	3051	1398	13
09:00	2661	2355	1555	1505	1695	1990	1726	1761	1861	1324	1915	1990	1629	1844	344	2661	1324	13
10:00	4145	3672	2852	2471	2635	2919	2822	2844	3094	2357	3221	2905	2971	2993	459	4145	2357	13
11:00	3105	2936	2075	1914	2082	2574	2151	2281	2252	1560	2388	2385	1952	2281	400	3105	1560	13
12:00	2667	2416	1724	1605	1658	2298	1722	1983	1939	1318	2119	2040	1654	1934	360	2667	1318	13
13:00	4598	4000	2955	2770	2863	3098	3104	2904	3592	2501	3181	3002	2961	3195	541	4598	2501	13
E 1	2766	2703	1880	1790	2009	2243	1876	2176	2153	1578	2202	2316	1869	2120	330	2766	1578	13
E 3	1932	1580	1175	1149	1226	1496	1151	1482	1462	1072	1373	1473	1154	1363	232	1932	1072	13
E 5	783	662	465			745		623			672	508	584	630	102	783	465	8

Absolute Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹) Test T1 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																	
Ruhe	576	428	500	410	393	258	569	364	454	446	578	584	463	98	584	258	12
02:00	852	422	708	630	208	899	811	575	560	685	861	668	657	191	899	208	12
03:00	1004	887	939	726	658	807	1028	763	722	764	917	861	840	113	1028	658	12
04:00	1114	946	961	767	713	947	967	955	754	777	788	851	878	115	1114	713	12
05:00	1562	1193	1138	1055	798	1258	1469	1493	968	1007	1010	1165	1176	224	1562	798	12
06:00	1611	1219	1240	1069	1027	1335	1586	1384	1048	1134	1186	1266	1259	185	1611	1027	12
07:00	2082	1622	1533	1449	1293	1801	2101	1769	1340	1465	1475	1675	1634	253	2101	1293	12
08:00	2073	1773	1607	1433	1343	2023	2093	1847	1384	1577	1538	1677	1697	254	2093	1343	12
09:00	2384	2025	1818	1732	1677	2113	2434	2393	1622	1819	1929	2170	2010	277	2434	1622	12
10:00	2562	2217	1984	1972	1802	2336	2654	2251	1669	2085	1949	2171	2138	278	2654	1669	12
11:00	2690	2634	2387	2106	2000	2584	2977	2636	1970	2305	2377	2721	2449	300	2977	1970	12
12:00	2770	2635	2481	2195	2161	2860	3054	2885	2075	2490	2420	2880	2576	309	3054	2075	12
13:00	2987	2844	2803	2461	2389	3156	3465	3190	2287	2625	2657	3130	2833	348	3465	2287	12
14:00	3280	2875	2919	2629	2505	3335	3617	3298	2536	2792	2841	3216	2987	341	3617	2505	12
15:00	3553	3170	3069	2876	2801	3522	3930	3609	2643	3057	3082	3429	3228	365	3930	2643	12
16:00	3871	3263	3292	2957	2912	3795	4289	3894	2746	2951	3304	3495	3397	459	4289	2746	12
17:00	4132	3319	3310	3132	3211	3923	4147	4129	2454	2932	3502	3694	3490	511	4147	2454	12
18:00	4411	3565		3272	3250	4136			2318	2748	3694	3879	3475	623	4411	2318	9
19:00	4514	3718				4179					3828	4121	4072	281	4514	3718	5
E 1	3626	2649	1876	2066	1516	2028	2873	1962	1060	1933	2086	2391	2172	631	3626	1060	12
E 3	1499	989	942	898	920	1035	1252	1131	489	1059	1066	1239	1043	234	1499	489	12
E 5	1022	764	608	453	553	659	736	820	298		628	796	667	186	1022	298	11

Absolute Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹) Test T2 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																	
Ruhe	392	338	529	438	390	447	615	489	268	439	229	415	416	102	615	229	12
02:00	1222	765	1051	794	575	1205	1259	1031	731	904	984	912	953	205	1259	575	12
03:00	1210	910	1065	1247	1218	1204	1445	1256	888	1140	1208	1211	1167	146	1445	888	12
04:00	1928	1698	1703	1593	1625	1988	2160	1924	1263	1616	1464	1874	1736	238	2160	1263	12
05:00	2150	1951	1895	1623	1927	2300	2252	2214	1161	1922	1651	2046	1924	309	2300	1161	12
06:00	2144	1961	1808	1721	1933	2181	2169	2256	1098	1879	1733	2035	1910	299	2256	1098	12
07:00	2255	1908	1930	1619	1957	2182	2231	2282	1076	1900	1698	2022	1922	326	2282	1076	12
08:00	2106	1883	1881	1621	2005	2129	2226	2434	1035	1940	1704	1942	1909	337	2434	1035	12
09:00	2286	1881	1863	1728	2089	2185	2255	2276	1069	1987	1774	2013	1951	324	2286	1069	12
10:00	2336	1889	1794	1720	2106	2133	2281	2439	1014	1986	1706	1907	1943	362	2439	1014	12
11:00	2161	1963	1880	1551	2104	2218	2239	2286	1059	1988	1592	2026	1922	344	2286	1059	12
12:00	2184	1930	1799	1577	1975	2198	2106	2287	1099	1984	1671	2009	1902	316	2287	1099	12
13:00	2141	1897	1925	1506	2008	2187	2116	2323	1074	1945	1699	1972	1899	324	2323	1074	12
14:00	2210	1905	1837	1596	2027	2231	2232	2483	1086	1999	1691	2085	1949	352	2483	1086	12
15:00	2073	2077	1832	1463	2048	2213	2293	2297	1119	2027	1627	2006	1923	341	2297	1119	12
16:00	2114	1983	1857	1537	2073	2180	2230	2315	1054	1927	1675	2001	1912	336	2315	1054	12
17:00	2088	2132	1841	1501	1909	2216	2192	2323	1140	2111	1748	2014	1935	324	2323	1140	12
18:00	2201	2000	1846	1415	1831	2273	2218	2365	1072	2004	1674	2026	1910	361	2365	1072	12
19:00	2113	2132	1842	1627	2023	2221	2184	2346	1178	1984	1825	2093	1964	302	2346	1178	12
20:00	2163	2046	1815	1591	2067	2235	2114	2268	1127	1960	1746	2207	1945	317	2268	1127	12
21:00	2162	2140	1910	1576	1918	2265	2268	2256	1048	1949	1772	2080	1945	339	2268	1048	12
22:00	2119	2115	1763	1536	1997	1969	2115	2111	1141	1813	1721	2105	1875	289	2119	1141	12
23:00	2077	1996	1855	1492	2020	2315	2188	2410	1038	1992	1625	2031	1920	363	2410	1038	12
24:00	2103	2143	1846	1490	1952	2052	2110	2436	1118	2016	1683	2041	1916	331	2436	1118	12
25:00	2137	2108	1776	1436	1957	2334	2110	2419	1178	1778	1776	2075	1924	343	2419	1178	12
26:00	2184	2226	1789	1591	1954	2273	2063	2426	1268	1880	1724	1993	1948	310	2426	1268	12
27:00	2106	2038	1876	1527	1945	2287	2095	2452	1153	2028	1735	2081	1944	330	2452	1153	12
28:00	2130	2010	1933	1604	2076	2242	2100	2469	1114	1993	1755	2121	1962	331	2469	1114	12
29:00	2118	2091	1864	1457	2054	2264	2133	2428	1129	1861	1733	2057	1932	342	2428	1129	12
30:00	2161	1989	1973	1389	1966	2161	2123	2248	1046	1944	1753	2113	1906	340	2248	1046	12
31:00	2262	1923	1905	1581	1966	2163	2289	2455	1048	1881	1718	2152	1945	361	2455	1048	12
32:00	2167	2039	1853	1489	1890	2413	2068	2347	1237	1977	1669	2042	1933	324	2413	1237	12
33:00	2021	1970	1739	1424	2325	2103	2387	3219	1199	1552	1799	2381	2010	515	3219	1199	12
E 1	1479	1358	1292	984	1336	1509	1372	1835	823	1273	1201	1419	1323	244	1835	823	12
E 3	1236	1248	1105	941	1043	1258	1294	1278	819	1052	923	1020	1101	153	1294	819	12
E 5	424	1104	521	925	405	457	486	444	309	330		259	515	250	1104	259	11

Absolute Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹) Test T3 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																	
Ruhe	568	526	385	374	510	255	442	342	431	450	298	461	420	89	568	255	12
02:00	1434	1258	1171	1270	1250	1415	1327	1123	969	1145	1395	1480	1270	144	1480	969	12
03:00	1832	1720	1401	1430	1553	1502	1713	1607	1068	1347	1606	1692	1539	198	1832	1068	12
04:00	1795	1707	1457	1320	1315	1585	1523	1589	1132	1313	1457	1579	1481	180	1795	1132	12
05:00	1851	1750	1413	1410	1275	1589	1520	1548	1093	1339	1559	1611	1497	198	1851	1093	12
06:00	2067	1674	1501	1623	1546	2294	1515	1623	1402	1426	1843	1588	1675	256	2294	1402	12
07:00	3419	3196	2452	2617	2323	3042	3021	2808	2414	2495	3184	3064	2836	350	3419	2323	12
08:00	2781	2265	1897	2053	2020	2244	2236	2158	1545	1833	2330	2288	2138	294	2781	1545	12
09:00	2283	1827	1707	1670	1806	1898	1938	1693	1198	1556	1968	1959	1792	254	2283	1198	12
10:00	3529	3167	2646	2705	2750	3429	3132	3015	2456	2636	3400	3371	3020	354	3529	2456	12
11:00	3012	2298	2068	2049	2050	2268	2244	2313	1501	1950	2496	2504	2229	350	3012	1501	12
12:00	2273	1748	1669	1586	1839	2034	1728	1793	1190	1625	1980	2042	1792	265	2273	1190	12
13:00	3787	3347	2756	2929	3038	3870	3168	3018	2441	3402	3512	3533	3233	404	3870	2441	12
E 1	2559	1999	1747	1850	1918	2194	2069	2005	1357	1789	2234	2273	2000	294	2559	1357	12
E 3	1551	1285	1218	1288	1326	1275	1357	1092	938	1224	1394	1443	1283	153	1551	938	12
E 5		1398	577		485	452	591	518	398		449		609	305	1398	398	8

Relative Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹ . kg⁻¹) Test T1 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	6	7	5	5	6	3	5	6	7	9	7	6	5	6	1	9	3	13
02:00	9	8	10	10	6	8	8	8	9	10	8	11	8	9	1	11	6	13
03:00	12	11	14	12	10	7	10	10	11	12	12	11	10	11	2	14	7	13
04:00	12	11	13	12	10	12	10	10	14	12	12	12	10	12	1	14	10	13
05:00	17	15	19	17	15	13	14	14	16	15	15	15	13	15	2	19	13	13
06:00	19	17	19	20	16	14	15	16	18	17	15	17	14	17	2	20	14	13
07:00	23	20	26	22	18	20	18	19	23	20	19	20	16	20	3	26	16	13
08:00	26	24	26	25	23	21	20	21	24	22	18	22	19	22	2	26	18	13
09:00	27	27	30	26	24	25	24	25	25	24	20	22	23	25	2	30	20	13
10:00	31	29	33	28	28	25	24	27	29	27	23	26	22	27	3	33	22	13
11:00	33	33	36	31	33	29	28	30	30	30	26	30	20	30	4	36	20	13
12:00	37	36	40	36	33	29	29	32	35	31	27	31	21	32	5	40	21	13
13:00	40	40	43	40	34	30	33	36	36	35	27	35	22	35	5	43	22	13
14:00	42	44	45		35	31	34	38	38	36	33	36	23	36	6	45	23	12
15:00	49	46	49		36	31	37	41	40	39	38	40	24	39	7	49	24	12
16:00	50		50		31		38	45	44		37	42	26	40	8	50	26	9
17:00			55				41		46		41	43	26	42	8	55	26	6
18:00			56				42				41	46		46	6	56	41	4
E 1	32	26	29	26	29	19	24	26	40	21	22	32	23	27	5	40	19	13
E 3	16	13	15	15	14	12	13	14	14	11	12	14	9	13	2	16	9	13
E 5	9	7	8	8	9		9	7	10	8	7	13	5	8	2	13	5	12

Relative Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹ . kg⁻¹) Test T2 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	8	6	6	5	4	4	6	3	7	5	7	7	5	6	1	8	3	13
02:00	12	13	15	12	9	11	13	13	15	10	13	10	10	12	2	15	9	13
03:00	15	15	17	14	19	11	18	16	16	15	16	18	12	15	2	19	11	13
04:00	23	19	21	20	19	17	23	20	25	16	24	21	16	20	3	25	16	13
05:00	24	22	27	20	24	18	23	24	27	19	27	25	18	23	3	27	18	13
06:00	24	22	26	23	23	18	24	25	27	20	30	27	18	23	3	30	18	13
07:00	25	23	28	20	21	19	25	25	29	21	26	27	18	24	3	29	18	13
08:00	25	22	27	20	24	18	24	26	29	20	33	24	18	24	4	33	18	13
09:00	25	23	28	20	22	16	23	25	28	21	29	24	19	23	4	29	16	13
10:00	25	23	29	20	23	16	26	25	26	21	28	27	18	24	4	29	16	13
11:00	24	22	28	20	20	14	24	25	25	20	28	27	19	23	4	28	14	13
12:00	24	22	28	20	21	15	25	25	26	21	28	27	18	23	4	28	15	13
13:00	25	22	28	20	22	13	24	26	26	22	30	26	18	23	4	30	13	13
14:00	24	22	29	22	22	16	25	26	27	21	26	27	19	24	3	29	16	13
15:00	25	22	30	21	24	15	25	26	25	19	31	27	19	24	4	31	15	13
16:00	25	23	29	21	21	15	26	26	27	21	29	27	19	24	4	29	15	13
17:00	25	23	30	22	21	16	25	26	28	21	26	28	17	24	4	30	16	13
18:00	25	23	28	21	22	15	26	26	26	22	28	27	18	24	4	28	15	13
19:00	24	22	30	23	23	17	26	26	24	21	29	27	18	24	4	30	17	13
20:00	24	21	28	22	21	16	25	26	29	22	28	29	19	24	4	29	16	13
21:00	25	23	28	22	23	17	25	26	26	20	24	28	19	24	3	28	17	13
22:00	25	23	30	22	23	19	26	25	25	20	26	28	18	24	3	30	18	13
23:00	24	21	29	22	22	16	25	26	27	21	26	27	17	23	4	29	16	13
24:00	26	22	29	24	23	18	26	25	24	21	28	27	19	24	3	29	18	13
25:00	23	24	31	23	22	17	25	25	25	20	27	29	19	24	4	31	17	13
26:00	26	24	29	22	20	16	25	24	24	21	28	27	18	23	4	29	16	13
27:00	24	23	30	22	23	18	25	26	26	21	26	28	18	24	3	30	18	13
28:00	24	23	31	23	22	16	26	26	27	21	28	28	18	24	4	31	16	13
29:00	26	22	29	22	22	17	26	26	28	21	28	28	18	24	4	29	17	13
30:00	25	23	30		24	19	26	26	27	21	28	28	18	25	4	30	18	12
31:00	25	23	30		24	16	26	26	27	21	28	27	18	24	4	30	16	12
32:00	24		31		21	17	25	26	26	20	27	27	17	24	4	31	17	11
33:00	26		29			17	23	23	28	20		23	20	23	4	29	17	9
E 1	20	0	16		19	11	17	19	18	16	26	20	12	16	6	26	0	12
E 3	15	15	17		16	9	16	15	10	13	17	16	1	13	4	17	1	12
E 5	14	15	8		12		7			7		7	5	9	3	15	5	8

Relative Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹ . kg⁻¹) Test T3 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	4	6	8	5	5	3	6	6	7	5	5	6	6	6	1	8	3	13
02:00	18	17	22	14	14	14	18	16	12	16	18	18	16	16	2	22	12	13
03:00	20	21	23	17	18	17	17	19	21	16	23	19	18	19	2	23	16	13
04:00	19	21	23	17	17	17	19	19	21	17	24	21	16	19	2	24	16	13
05:00	18	21	23	18	19	15	19	20	19	17	20	22	17	19	2	23	15	13
06:00	19	23	23	20	23	18	16	20	19	18	30	21	17	21	3	30	16	13
07:00	42	37	42	31	33	28	35	33	37	31	36	35	32	35	4	42	28	13
08:00	32	30	33	26	25	24	28	29	30	20	30	29	24	28	3	33	20	13
09:00	28	25	24	22	21	20	23	23	24	19	24	25	18	23	3	28	18	13
10:00	43	39	43	36	33	30	38	37	41	34	41	37	34	37	4	43	30	13
11:00	33	31	32	28	26	26	29	30	30	23	30	30	22	28	3	33	22	13
12:00	28	26	26	23	21	23	23	26	26	19	27	26	19	24	3	28	19	13
13:00	48	42	45	40	36	31	42	38	47	36	40	38	34	40	5	48	31	13
E 1	29	29	29	26	25	23	25	28	28	23	28	29	21	26	3	29	21	13
E 3	20	17	18	17	15	15	16	19	19	16	17	19	13	17	2	20	13	13
E 5	8	7	7				8	8			9	6	7	7	1	9	6	8

Relative Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹ . kg⁻¹) Test T1 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																	
Ruhe	7	6	7	6	5	3	6	5	7	6	8	8	6	1	8	3	12
02:00	11	6	10	10	3	11	9	7	8	9	12	9	9	2	12	3	12
03:00	13	12	14	11	9	10	12	10	10	10	12	11	11	1	14	9	12
04:00	14	13	14	12	10	12	11	12	11	10	11	11	12	1	14	10	12
05:00	20	17	17	16	11	16	17	19	14	13	14	15	16	2	20	11	12
06:00	20	17	18	17	14	17	18	17	15	14	16	16	17	2	20	14	12
07:00	26	23	23	23	18	23	24	22	19	18	20	22	22	2	26	18	12
08:00	26	25	24	22	19	26	24	23	20	20	21	22	23	2	26	19	12
09:00	30	28	27	27	23	27	28	30	23	23	26	28	27	2	30	23	12
10:00	32	31	29	31	25	30	30	28	24	26	26	28	28	2	32	24	12
11:00	34	37	35	33	28	33	34	33	28	29	32	35	33	3	37	28	12
12:00	35	37	37	34	30	37	35	36	30	31	33	37	34	3	37	30	12
13:00	38	40	41	38	33	40	39	40	33	33	36	40	38	3	41	33	12
14:00	41	40	43	41	35	43	41	41	37	35	38	42	40	3	43	35	12
15:00	45	45	45	45	39	45	44	45	38	39	42	44	43	3	45	38	12
16:00	49	46	49	46	40	49	49	49	40	37	45	45	45	4	49	37	12
17:00	52	47	49	49	44	50	47	52	35	37	47	48	46	5	52	35	12
18:00	55	50		51	45	53			33	35	50	50	47	7	55	33	9
19:00	57	52				53					52	53	53	2	57	52	5
E 1	46	37	28	32	21	26	33	25	15	24	28	31	29	7	46	15	12
E 3	19	14	14	14	13	13	14	14	7	13	14	16	14	3	19	7	12
E 5	13	11	9	7	8	8	8	10	4		9	10	9	2	13	4	11

Relative Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹ . kg⁻¹) Test T2 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																	
Ruhe	5	5	8	7	5	6	7	6	4	6	3	5	6	1	8	3	12
02:00	15	11	16	12	8	15	14	13	11	11	13	12	13	2	16	8	12
03:00	15	13	16	19	17	15	16	16	13	14	16	16	16	2	19	13	12
04:00	24	24	25	25	23	25	24	24	18	20	20	24	23	2	25	18	12
05:00	27	27	28	25	27	29	25	28	17	24	22	26	26	3	29	17	12
06:00	27	28	27	27	27	28	25	28	16	24	23	26	25	3	28	16	12
07:00	28	27	29	25	27	28	25	29	16	24	23	26	26	3	29	16	12
08:00	26	26	28	25	28	27	25	30	15	24	23	25	25	4	30	15	12
09:00	29	26	28	27	29	28	26	28	15	25	24	26	26	3	29	15	12
10:00	29	27	27	27	29	27	26	30	15	25	23	25	26	4	30	15	12
11:00	27	28	28	24	29	28	25	29	15	25	22	26	26	4	29	15	12
12:00	27	27	27	25	27	28	24	29	16	25	23	26	25	3	29	16	12
13:00	27	27	28	23	28	28	24	29	16	24	23	25	25	4	29	16	12
14:00	28	27	27	25	28	29	25	31	16	25	23	27	26	4	31	16	12
15:00	26	29	27	23	28	28	26	29	16	26	22	26	26	4	29	16	12
16:00	27	28	27	24	29	28	25	29	15	24	23	26	25	4	29	15	12
17:00	26	30	27	23	26	28	25	29	16	27	24	26	26	3	30	16	12
18:00	28	28	27	22	25	29	25	30	15	25	23	26	25	4	30	15	12
19:00	27	30	27	25	28	28	25	29	17	25	25	27	26	3	30	17	12
20:00	27	29	27	25	29	29	24	28	16	25	24	29	26	3	29	16	12
21:00	27	30	28	25	27	29	26	28	15	25	24	27	26	4	30	15	12
22:00	27	30	26	24	28	25	24	26	16	23	23	27	25	3	30	16	12
23:00	26	28	27	23	28	30	25	30	15	25	22	26	25	4	30	15	12
24:00	26	30	27	23	27	26	24	30	16	25	23	26	25	4	30	16	12
25:00	27	30	26	22	27	30	24	30	17	22	24	27	26	4	30	17	12
26:00	27	31	26	25	27	29	23	30	18	24	23	26	26	3	31	18	12
27:00	26	29	28	24	27	29	24	31	17	26	24	27	26	4	31	17	12
28:00	27	28	29	25	29	29	24	31	16	25	24	27	26	4	31	16	12
29:00	27	29	28	23	28	29	24	30	16	23	23	27	26	4	30	16	12
30:00	27	28	29	22	27	28	24	28	15	24	24	27	25	4	29	15	12
31:00	28	27	28	25	27	28	26	31	15	24	23	28	26	4	31	15	12
32:00	27	29	27	23	26	31	23	29	18	25	23	26	26	3	31	18	12
33:00	25	28	26	22	32	27	27	40	17	20	24	31	27	6	40	17	12
E 1	19	19	19	15	19	19	16	23	12	16	16	18	18	3	23	12	12
E 3	16	18	16	15	14	16	15	16	12	13	13	13	15	2	18	12	12
E 5	5	16	8	14	6	6	5	6	4	4		3	7	4	16	3	11

Relative Sauerstoffaufnahme (ml . min⁻¹ . kg⁻¹) Test T3 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP	Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																	
Ruhe	7	7	6	6	7	3	5	4	6	6	4	6	6	1	7	3	12
02:00	18	18	17	20	17	18	15	14	14	14	19	19	17	2	20	14	12
03:00	23	24	21	22	22	19	19	20	15	17	22	22	21	2	24	15	12
04:00	23	24	22	21	18	20	17	20	16	17	20	20	20	2	24	16	12
05:00	23	25	21	22	18	20	17	19	16	17	21	21	20	3	25	16	12
06:00	26	24	22	25	21	29	17	20	20	18	25	21	22	3	29	17	12
07:00	43	45	36	41	32	39	34	35	35	31	43	40	38	4	45	31	12
08:00	35	32	28	32	28	29	25	27	22	23	32	30	29	4	35	22	12
09:00	29	26	25	26	25	24	22	21	17	20	27	25	24	3	29	17	12
10:00	44	44	39	42	38	44	35	38	35	33	46	44	40	4	46	33	12
11:00	38	32	31	32	28	29	25	29	22	25	34	32	30	4	38	22	12
12:00	29	25	25	25	25	26	20	22	17	20	27	26	24	3	29	17	12
13:00	48	47	41	46	42	49	36	38	35	43	48	46	43	5	49	35	12
E 1	32	28	26	29	27	28	23	25	20	23	30	29	27	3	32	20	12
E 3	19	18	18	20	18	16	15	14	14	15	19	19	17	2	20	14	12
E 5		20	9		7	6	7	6	6		6		8	4	20	6	8

VRQ Test T1 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																			
Ruhe	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8		0,9	0,1	1,0	0,8	13
02:00	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8		0,9	0,1	1,0	0,8	13
03:00	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	0,7	0,9	0,7		0,8	0,1	1,0	0,7	13
04:00	0,9	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7		0,9	0,1	1,0	0,7	13
05:00	0,9	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,7		0,8	0,1	1,0	0,7	13
06:00	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7		0,9	0,1	1,0	0,7	13
07:00	0,9	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,7		0,9	0,1	1,0	0,7	13
08:00	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8		0,9	0,1	1,0	0,8	13
09:00	0,9	1,0	0,9	1,1	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0	0,8	0,9	0,8		0,9	0,1	1,1	0,8	13
10:00	1,0	1,1	1,0	1,1	0,9	1,0	0,9	1,1	0,9	1,1	0,9	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	13
11:00	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,0	0,9	1,1	0,9	1,1	0,9	1,0	1,0		1,0	0,1	1,2	0,9	13
12:00	1,1	1,1	1,0	1,3	1,2	1,1	1,0	1,1	0,9	1,1	0,9	1,0	0,9		1,1	0,1	1,3	0,9	13
13:00	1,1	1,1	1,0		1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0		1,1	0,1	1,2	1,0	12
14:00	1,1	1,2	1,0		1,3	1,2	1,0	1,2	1,1	1,3	1,0	1,1	1,0		1,1	0,1	1,3	1,0	12
15:00	1,2	1,2	1,1		1,3	1,4	1,0	1,3	1,1	1,3	1,1	1,1	1,1		1,2	0,1	1,4	1,0	12
16:00	1,2		1,1		1,4		1,1	1,3	1,2		1,1	1,1	1,1		1,2	0,1	1,4	1,1	9
17:00			1,1				1,1		1,2		1,2	1,1	1,2		1,2	0,0	1,2	1,1	6
18:00			1,2				1,2				1,2	1,1			1,2	0,0	1,2	1,1	4
E 1	1,4	1,6	1,4	1,4	1,5	1,7	1,5	1,7	1,4	1,7	1,4	1,4	1,3		1,5	0,1	1,7	1,3	13
E 3	1,3	1,3	1,2	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3		1,4	0,1	1,5	1,2	13
E 5	1,3	1,6	0,9		1,4		1,2	1,4	1,4	1,4	1,1	1,2	1,3		1,3	0,2	1,6	0,9	11

VRQ Test T2 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																			
Ruhe	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9		0,9	0,1	1,1	0,8	13
02:00	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		0,8	0,0	0,9	0,8	13
03:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8		0,8	0,1	0,9	0,7	13
04:00	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		0,8	0,0	0,9	0,8	13
05:00	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9		0,9	0,0	1,0	0,8	13
06:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	13
07:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	13
08:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
09:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	13
10:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
11:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
12:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
13:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9		0,9	0,1	1,0	0,9	13
14:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
15:00	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,1	0,8	13
16:00	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
17:00	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9		0,9	0,0	1,0	0,8	13
18:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
19:00	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
20:00	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0		1,0	0,0	1,0	0,9	13
21:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
22:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0		1,0	0,0	1,0	0,9	13
23:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	0,0	1,0	0,8	13
24:00	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9		0,9	0,1	1,0	0,9	13
25:00	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	13
26:00	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
27:00	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	13
28:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9		0,9	0,1	1,1	0,9	13
29:00	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	13
30:00	1,0	1,0	0,9		0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	12
31:00	1,0	1,0	0,9		0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
32:00	1,0		0,9		0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8		0,9	0,1	1,0	0,8	11
33:00	1,0		0,9			0,9	0,9	1,0	1,0	0,9		0,9	1,0		0,9	0,0	1,0	0,9	9
E 1	1,1		1,0		0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	0,1	1,1	0,9	11
E 3	1,1	0,9	0,9		0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
E 5	1,0	0,9	0,9		1,0		1,0					1,0	0,5		0,9	0,2	1,0	0,5	7

VRQ Test T3 Diabetiker

PROBANDEN	RP	MH	HH	BN	CJ	BT	SJ	HP	MS	FF	FT	GM	SD		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																			
Ruhe	1,0	0,8	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	13
02:00	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7		0,8	0,1	0,9	0,7	13
03:00	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8		0,9	0,0	0,9	0,8	13
04:00	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8		0,9	0,1	1,0	0,8	13
05:00	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	13
06:00	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	13
07:00	1,4	1,0	1,0	1,0	1,2	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0		1,0	0,1	1,4	0,9	13
08:00	1,6	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2		1,3	0,1	1,6	1,1	13
09:00	1,4	1,0	1,1	1,2	1,3	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2	1,1		1,2	0,1	1,4	1,0	13
10:00	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	0,9		1,0	0,1	1,2	0,9	13
11:00	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2		1,2	0,1	1,3	1,1	13
12:00	1,2	1,0	1,1	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1		1,2	0,1	1,3	1,0	13
13:00	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9		1,0	0,1	1,2	0,9	13
E 1	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2		1,2	0,1	1,4	1,2	13
E 3	1,1	0,9	0,9	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,2	1,1	0,9		1,1	0,1	1,2	0,9	13
E 5	1,2	1,0	1,1			1,0		1,3			1,2	1,2	0,9		1,1	0,1	1,3	0,9	8

VRQ Test T1 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	1,0	1,2	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9		1,0	0,1	1,2	0,8	12
02:00	0,9	1,2	0,9	0,9	1,1	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0		0,9	0,1	1,2	0,8	12
03:00	1,0	1,1	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0		0,9	0,1	1,1	0,8	12
04:00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9		0,9	0,1	1,0	0,7	12
05:00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9		0,8	0,1	1,0	0,7	12
06:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9		0,8	0,0	0,9	0,8	12
07:00	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9		0,8	0,0	0,9	0,8	12
08:00	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,8	12
09:00	0,8	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0		0,9	0,0	1,0	0,8	12
10:00	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
11:00	1,0	0,9	1,1	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0		1,0	0,0	1,1	0,9	12
12:00	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	0,1	1,1	1,0	12
13:00	1,0	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	0,1	1,2	1,0	12
14:00	1,0	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,0	1,1	1,0	1,0		1,1	0,1	1,2	1,0	12
15:00	1,1	1,1	1,3	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0		1,1	0,1	1,3	1,0	12
16:00	1,1	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0		1,2	0,1	1,3	1,0	12
17:00	1,2	1,1	1,4	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0		1,2	0,1	1,4	1,0	12
18:00	1,2	1,2		1,2	1,4	1,3			1,3	1,2	1,1	1,1		1,2	0,1	1,4	1,1	9
19:00	1,3	1,2				1,4					1,2	1,1		1,2	0,1	1,4	1,1	5
E 1	1,4	1,6	1,6	1,5	1,8	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5	1,4	1,5		1,6	0,1	1,8	1,4	12
E 3	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2		1,4	0,1	1,5	1,2	12
E 5	1,2	1,1	1,4	1,2	1,3	1,3	1,5	1,3	1,2		1,2	1,2		1,3	0,1	1,5	1,1	11

VRQ Test T2 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	1,0	1,4	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9		0,9	0,1	1,4	0,8	12
02:00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8		0,8	0,1	0,9	0,7	12
03:00	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7		0,8	0,1	0,9	0,7	12
04:00	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7		0,8	0,0	0,9	0,7	12
05:00	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	12
06:00	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	12
07:00	0,9	0,9	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,1	0,8	12
08:00	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,8	12
09:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
10:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,9	12
11:00	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
12:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,0	0,9	12
13:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	12
14:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,0	0,9	12
15:00	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,0	1,1	0,9	12
16:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
17:00	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
18:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
19:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,0	0,9	12
20:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,0	0,9	12
21:00	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
22:00	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
23:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,0	0,9	12
24:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9		1,0	0,0	1,0	0,9	12
25:00	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,1	0,9	12
26:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
27:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	12
28:00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,9	12
29:00	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
30:00	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,0	1,0	0,9	12
31:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,9	12
32:00	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,1	0,9	12
33:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	12
E 1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
E 3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
E 5	1,3	0,9	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1		0,9		1,0	0,1	1,3	0,9	11

VRQ Test T3 Gesunde Sportler

PROBANDEN	GT	HR	SW	VM	BR	SM	OM	SP	ZI	SB	GM	OP		Mittel	Stab	Max	Min	n
Zeit																		
Ruhe	1,1	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	0,9	0,9	0,8	1,0		0,9	0,1	1,1	0,8	12
02:00	0,7	1,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8		0,8	0,1	1,0	0,7	12
03:00	0,7	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9		0,8	0,1	0,9	0,7	12
04:00	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9		0,9	0,1	1,0	0,7	12
05:00	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9		0,9	0,1	1,0	0,8	12
06:00	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0		1,0	0,0	1,0	0,9	12
07:00	0,9	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	0,0	1,1	0,9	12
08:00	1,1	1,1	1,4	1,2	1,3	1,5	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2		1,3	0,1	1,5	1,1	12
09:00	1,0	1,0	1,3	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1		1,1	0,1	1,3	1,0	12
10:00	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9		1,0	0,1	1,0	0,9	12
11:00	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	1,3	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2		1,2	0,1	1,3	1,1	12
12:00	1,1	1,0	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1	1,1		1,1	0,1	1,2	1,0	12
13:00	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9		1,0	0,1	1,1	0,9	12
E 1	1,1	1,1	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,1	1,3	1,2	1,2		1,2	0,1	1,4	1,1	12
E 3	1,1	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	1,0		1,0	0,1	1,1	0,9	12
E 5		0,9	1,1		1,2	1,1	1,1	1,2	0,9		1,0			1,1	0,1	1,2	0,9	8

Glukose (mg/dl) Test T1 Diabetiker														
Zeit	Ruhe	3	5	7	9	11	13	MAX		E 3	E 10	E 30	E 60	E 120
PROBANDEN														
RP	123	136	150	145	149	147	132	112		115	152	133	129	134
MH	122	143	138	123	139	111		109		153	137	170	213	141
HH	163	157	154	125	152	152		152		122	166	161	175	136
BN	210	199	219	202	193	221		210		221	209	207	196	167
CJ	164	166	172	167	160	156	162	147		161	165	142	137	92
BT	86	83	77	79	81	84		82		100	107	70	65	91
HP	289	274	283	276	260	239	247	219		209	198	164	101	50
SJ	147	147	142	137	141	144	136	144		175	153	139	118	116
MS	163	153	151	148	149	147	144	153		155	155	113	136	129
FF	142	143	153	157	163	155	144	150		171	147	113	104	41
FT	215	213	229	213	223	206	234	214		222	238	221	250	234
GM	100	111	100	93	92	92	88	96		119	103	76	51	103
SD	221	222	249	227	229	241	234	238		247	245	230	143	143
MITTEL	165	165	171	161	164	162	169	156		167	167	149	140	121
STABW	54	48	57	53	49	50	53	49		45	42	48	55	48
MAX	289	274	283	276	260	241	247	238		247	245	230	250	234
MIN	86	83	77	79	81	84	88	82		100	103	70	51	41
N	13	13	13	13	13	13	9	13		13	13	13	13	13

Glukose (mg/dl) Test T2 Diabetiker														
Zeit	Ruhe	5	10	15	20	25	30			E 3	E 10	E 30	E 60	E 120
PROBANDEN														
RP	200	207	161	148	133	188	190			167	148	128	159	154
MH	89	107	114	82	87	75	81			82	98	144	133	88
HH	139	145	148	141	137	139	120			107	139	142	176	150
BN	118	104	80	69	57	38				56	51	92	151	215
CJ	187	183	169	171	175	176	164			165	176	227	323	165
BT	185	177	166	179	163	157	146			153	156	134	133	181
HP	160	125	112	91	76	72	57			60	63	78	62	124
SJ	113	109	104	102	97	95	94			98	100	114	120	153
MS	132	114	108	90	87	87	87			96	103	121	117	110
FF	146	155	146	138	135	115	108			113	125	103	66	107
FT	168	167	150	141	124	107	96			98	99	89	130	177
GM	108	111	97	93	90	84	78			80	86	92	96	100
SD	90	86	86	78	71	64	63			58	67	124	118	60
MITTEL	141	138	126	117	110	107	107			103	109	122	137	137
STABW	36	36	30	36	35	44	39			37	37	37	62	42
MAX	200	207	169	179	175	188	190			167	176	227	323	215
MIN	89	86	80	69	57	38	57			56	51	78	62	60
N	13	13	13	13	13	13	12			13	13	13	13	13

Glukose (mg/dl) Test T3 Diabetiker														
Zeit	Ruhe	5	6	8	9	11	12			E 3	E 10	E 30	E 60	E 120
PROBANDEN														
RP	162	209	218	223	190	135	181			180	214	217	231	163
MH	156	151	144	136	133	156	125			133	127	131	117	126
HH	205	193	191	204	226		189			209	203	206	182	146
BN	234	217	186	209	242	233	192			240	239	240	241	247
CJ	180	188	205	197	206	153	178			152	166	233	307	354
BT	174	171	172	177	183	168	180			166	161	173	163	203
HP	137	142	142	142	139	136	131			119	100	127	103	114
SJ	96	98	91	83	81	81	82			77	74	93	93	169
MS	166	179	182	161	158	154	149			149	140	128	130	119
FF	184	220	225	213	218	221	207			194	195	222	166	72
FT	301	316	351	329	358	316	348			344	326	278	252	174
GM	91	90	85	82	80	73	102			86	80	114	78	103
SD	111	104	102	96	94	91	85			87	87	79	40	140
MITTEL	169	175	176	173	178	160	165			164	162	172	162	164
STABW	55	59	67	66	74	67	66			70	70	61	75	70
MAX	301	316	351	329	358	316	348			344	326	278	307	354
MIN	91	90	85	82	80	73	82			77	74	79	40	72
N	13	13	13	13	13	13	12			13	13	13	13	13

Glukose (mg/dl) Test T1 Gesunde Sportler															
Zeit	Ruhe	3	5	7	9	11	13	15	MAX		E 3	E 10	E 30	E 60	E 120
PROBANDEN															
SW	97	92	98	97	95	95	93		91		93	93	80	100	82
GT	131	127	114	128	113	118	114	115	125		165	138	110	91	107
VM	89	93	94	97	97	98	100	99	105		105	100	89	86	95
RH	104	94	90	104	105	107	92	103	138		157	161	131	80	81
BR	107	107	115	113	106	121	111	116	127		136	132	101	88	88
SM	100	97	104	99	105	94	97	95	93		116	111	89	97	86
OM	116	117	113	118	117	117	123	130	133		172	155	165	170	112
SP	114	117	121	128	124	122	122		124		149	147	127	139	92
ZI	122	115	114	120	117	117	109		118		132	113	98	102	110
SB	102	108	102	107	106	112	119		123		154	153	118	89	85
GM	119	121	113	112	127	117	130	126	128		145	145	129	101	53
OP	116	106	114	125	124	136	118	132	160		187	139	93	74	99
MITTEL	110	108	108	112	111	113	111	115	122		143	132	111	101	91
STABW	11	11	9	11	10	12	12	13	18		27	22	23	26	15
MAX	131	127	121	128	127	136	130	132	160		187	161	165	170	112
MIN	89	92	90	97	95	94	92	95	91		93	93	80	74	53
N	12	12	12	12	12	12	12	8	12		12	12	12	12	12

Glukose (mg/dl) Test T2 Gesunde Sportler															
Zeit	Ruhe	5	10	15	20	25					E 3	E 10	E 30	E 60	E 120
PROBANDEN															
SW	131	113	86	78	80	92	78				84	90	102	114	97
GT	109	122	105	103	101	102	102				106	107	93	94	96
VM	92	90	84	86	87	85	90				82	89	92	78	114
RH	98	92	92	91	86	80	74				61	80	70	79	108
BR	97	90	89	90	78	73	71				73	81	90	80	125
SM	121	112	96	86	79	83	85				87	106	105	86	87
OM	119	115	107	103	103	129	97				103	102	106	87	91
SP	88	91	95	95	98	98	100				102	113	105	94	81
ZI	102	110	104	98	98	99	93				90	106	85	98	116
SB	113	106	106	105	104	101	101				109	100	120	98	103
GM	110	97	84	82	85	86	86				91	102	76	78	116
OP	106	101	104	105	101	111	106				102	101	87	81	89
MITTEL	107	103	96	94	92	95	90				91	98	94	89	102
STABW	12	11	9	9	10	15	11				14	10	13	11	13
MAX	131	122	107	105	104	129	106				109	113	120	114	125
MIN	88	90	84	78	78	73	71				61	80	70	78	81
N	12	12	12	12	12	12	12				12	12	12	12	12

Glukose (mg/dl) Test T3 Gesunde Sportler															
Zeit	Ruhe	5	6	8	9	11	12				E 3	E 10	E 30	E 60	E 120
PROBANDEN															
SW	88	91	89	91	90	98	89				100	95	87	79	84
GT	125	113	106	95	98	86	83				88	95	111	105	107
VM	111	100	78	90	89	86	80				82	88	60	70	114
RH	85	75	69	93	82	74	85				70	77	78	79	110
BR	133	123	121	113	115	115	117				103	92	95	90	110
SM	101	93	99	97	94	96	98				92	92	87	83	83
OM	102	94	107	93	105	102	126				120	121	106	87	77
SP	108	105	99	97	95	89	94				88	94	102	94	87
ZI	115	110	105	109	101	109	106				104	111	122	101	71
SB	96	93	93	99	102	101	104				104	96	93	88	79
GM	110	101	100	107	101	96	107				101	96	91	82	85
OP	93	102	99	102	103	95	110				141	128	102	97	94
MITTEL	97	100	97	99	98	96	100				99	99	95	88	92
STABW	28	12	13	7	8	11	14				18	14	15	10	14
MAX	133	123	121	113	115	115	126				141	128	122	105	114
MIN	85	75	69	90	82	74	80				70	77	60	70	71
N	12	12	12	12	12	12	12				12	12	12	12	12

Laktat (mmol/l) Test T1 Diabetiker											
Zeit	Ruhe	4	6	8	10	12	14	MAX		E 3	E 10
PROBANDEN											
RP	1,2	1,5	1,5	1,9	3,1	5,5		10,8		10,5	7,4
MH	1,4	1,5	2,1	3,9	5,4	9,3		13,9		14,1	10,6
HH	1,2	1,2	1,4	1,6	1,7	5,7		9,9		9,2	7,2
BN	1,4	1,9	2,4	4,9	6,4			10,4		11,6	9,3
CJ	1,0	1,4	1,4	2,2	3,9	7,1		12,9		14,6	13,1
BT	0,8	1,3	1,8	2,6	4,4	7,6		10,1		13,4	11,9
HP	1,6	2,0	2,6	4,3	6,9	10,1	13,6	16,8		19,7	15,8
SJ	1,3	1,1	1,2	1,2	1,7	2,7	4,8	14,7		16,7	13,3
MS	1,0	1,7	1,6	1,8	2,7	4,1	6,7	9,9		10,1	6,9
FF	1,2	1,4	2,4	3,4	5,1	8,8		13,5		15,1	11,9
FT	1,6	1,4	1,7	2,1	3,5	6,2	9,6	14,7		14,4	9,8
GM	1,6	1,8	2,1	2,8	4,0	5,8	8,0	16,7		16,9	14,1
SD	1,2	1,1	1,3	1,8	2,7	4,8	8,6	12,5		12,7	13,1
MITTEL	1,3	1,4	1,8	2,6	4,0	6,5	8,6	12,8		13,8	11,1
STABW	0,2	0,3	0,5	1,1	1,6	2,1	2,7	2,4		2,9	2,7
MAX	1,6	2,0	2,6	4,9	6,7	10,1	13,6	16,8		19,7	15,8
MIN	0,8	1,1	1,2	1,2	1,7	2,7	4,8	9,9		9,2	6,9
N	13	13	13	13	13	12	6	13		13	13

Laktat (mmol/l) Test T2 Diabetiker											
Zeit	Ruhe	5	10	15	20	25	30			E 3	E 10
PROBANDEN											
RP	1,9	1,6	1,5	1,7	2,8	1,8	1,4			1,3	1,4
MH	1,9	3,6	3,4	3,2	3,1	3,6	3,0			2,3	2,0
HH	1,4	1,7	1,3	1,4	2,3	1,7	1,6			1,7	1,5
BN	1,6	1,6	1,8	2,0	1,9					1,9	1,5
CJ	1,8	1,5	1,4	2,0	1,5	1,4	1,4			1,2	1,8
BT	1,7	1,5	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4			1,3	1,3
HP	1,9	4,0	3,8	3,6	3,2	2,9	3,0			2,0	1,7
SJ	1,8	1,9	1,7	1,8	1,6	1,6	1,7			1,3	1,6
MS	2,6	2,7	2,3	2,1	1,8	1,9	2,0			1,6	1,8
FF	2,0	3,2	2,9	2,1	1,9	1,9	1,7			1,5	1,7
FT	1,2	3,3	3,2	2,9	2,8	2,5	3,2			1,9	1,6
GM	1,4	3,6	4,8	5,2	3,6	3,6	6,5			7,9	
SD	1,2	1,5	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5			1,3	1,2
MITTEL	1,7	2,4	2,4	2,4	2,2	2,1	2,4			2,1	1,6
STABW	0,4	0,9	1,1	1,1	0,8	0,8	1,4			1,7	0,2
MAX	2,6	4	4,8	5,2	3,6	3,6	6,5			7,9	2
MIN	1,2	1,5	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4			1,2	1,2
N	13	13	13	13	13	12	12			13	12

Laktat (mmol/l) Test T3 Diabetiker											
Zeit	Ruhe	5	6	8	9	11	12			E 3	E 10
PROBANDEN											
RP	1,5	1,2	7,1	10,9	11,3	13,6	13,0			12,2	9,4
MH	1,6	2,1	5,7	7,2	8,7	9,6	12,1			9,9	5,5
HH	2,2	1,9	4,6	4,8	5,9	7,2	6,2			5,4	3,2
BN	1,8	2,7	4,9	6,5	7,4	7,6	8,4			9,8	7,9
CJ	1,4	1,4	4,5	5,4	6,6	6,6	8,0			6,7	4,1
BT	1,3	1,0	1,9	2,5	3,5	3,7	4,3			3,5	2,4
HP	1,5	2,8	6,4	8,2	10,1	11,3	12,1			12,4	8,0
SJ	1,6	2,0	4,2	4,3	5,5	5,6	6,1			5,3	2,9
MS	1,6	2,1	5,5	6,6	7,3	8,7	8,9			8,4	4,9
FF	1,3	2,2	4,9	5,4	6,3	6,5	6,8			6,2	3,1
FT	1,3	2,5	7,5	7,9	9,6	10,2	11,3			11,0	12,0
GM	1,2	1,9	4,7	6,2	7,5	8,3	9,3			9,0	5,7
SD	2,1	2,0	3,7	4,4	4,9	5,2	5,4			6,8	2,9
MITTEL	1,6	2,0	5,0	6,2	7,3	8,0	8,6			8,2	5,5
STABW	0,3	0,5	1,4	2,0	2,1	2,6	2,7			2,7	2,9
MAX	2,2	2,8	7,5	10,9	11,3	13,6	13,0			12,4	12,0
MIN	1,2	1,0	1,9	2,5	3,5	3,7	4,3			3,5	2,4
N	13	13	13	13	13	13	13			13	13

Laktat (mmol/l) Test T1 Gesunde Sportler											
Zeit	Ruhe	4	6	8	10	12	14	MAX		E 3	E 10
PROBANDEN											
SW	1,2	1,3	1,4	2,0	2,9	4,8	8,4	10,7		11,9	8,7
GT	1,4	1,5	1,6	1,8	2,4	3,3	5,3	17,8		15,5	12,8
VM	1,2	1,2	1,3	1,4	1,8	2,7	4,3	9,0		8,0	4,6
RH	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	3,4	10,5		12,9	11,3
BR	1,4	1,6	2,0	2,6	3,8	5,5	9,0	15,5		17,3	15,4
SM	0,8	0,9	1,2	1,9	2,4	4,4	6,2	14,3		15,1	13,0
OM	0,9	1,3	1,3	1,8	2,4	4,4	7,6	10,9		13,0	10,1
SP	1,1	1,4	1,8	2,4	4,4	6,4	10,1	13,8		14,5	12,9
ZI	2,0	1,7	1,7	1,9	2,4	3,6	8,5	13,3		14,2	10,1
SB	1,5	1,6	1,8	2,0	4,2	4,5	8,0	13,9		15,5	11,4
GM	1,4	1,7	2,5	2,6	3,3	4,0	5,0	15,4		14,6	13,0
OP	1,1	1,9	1,8	2,6	3,2	4,0	5,1	13,2		14,4	11,1
MITTEL	1,3	1,5	1,7	2,1	2,9	4,2	6,7	13,2		13,9	11,2
STABW	0,3	0,3	0,3	0,4	0,8	1,1	2,0	2,4		2,3	2,6
MAX	2,0	1,9	2,5	2,6	4,4	6,4	10,1	17,8		17,3	15,4
MIN	0,8	0,9	1,2	1,4	1,8	2,3	3,4	9		8,0	4,6
N	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12

Laktat (mmol/l) Test T2 Gesunde Sportler											
Zeit	Ruhe	5	10	15	20	25	30			E 3	E 10
PROBANDEN											
SW	1,8	2,9	2,4	2,2	2,1	1,9	1,9			1,3	1,4
GT	1,1	1,3	1,2	1,4	1,3	1,1	1,1			1,0	1,1
VM	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2			1,0	1,0
RH	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6			1,7	1,6
BR	1,2	2,5	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7			1,5	1,3
SM	1,4	2,0	1,9	1,5	1,5	1,5	1,5			1,2	1,1
OM	1,4	1,2	1,4	1,3	1,6	1,3	1,3			1,3	1,3
SP	1,7	2,1	1,9	1,6	1,6	1,6	1,6			1,9	1,2
ZI	1,7	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0			2,0	1,2
SB	1,5	3,0	2,0	2,4	3,4	4,0	1,3			2,4	3,0
GM	1,6	3,1	1,9	1,9	1,7	1,7	1,5			1,3	2,7
OP	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2			0,9	0,9
MITTEL	1,4	1,9	1,6	1,6	1,6	1,6	1,4			1,5	1,5
STABW	0,3	0,7	0,5	0,4	0,6	0,8	0,2			0,5	0,6
MAX	1,8	3,1	2,4	2,4	3,4	4	1,9			2,4	3
MIN	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0			0,9	0,9
N	12	12	12	12	12	12	12			12	12

Laktat (mmol/l) Test T3 Gesunde Sportler											
Zeit	Ruhe	5	6	8	9	11	12			E 3	E 10
PROBANDEN											
SW	1,4	1,3	4,4	6,1	7,5	7,8	8,5			8,8	5,5
GT	1,4	1,2	3,8	4,2	5,1	4,7	5,1			3,9	2,2
VM	1,3	1,2	4,0	4,0	5,7	4,9	5,6			4,5	2,0
RH	1,2	1,3	3,1	3,5	4,2	3,4	4,5			3,0	1,6
BR	1,0	1,8	5,7	6,7	8,4	8,9	10,8			9,9	5,8
SM	0,9	1,2	3,7	5,4	6,4	6,9	6,2			7,2	3,5
OM	1,2	1,4	3,7	3,3	4,1	4,0	4,0			3,3	2,1
SP	1,4	1,8	4,4	5,3	6,6	6,1	7,4			7,0	3,7
ZI	1,9	1,6	3,3	3,6	4,1	3,5	3,9			3,1	1,9
SB	1,6	1,7	3,8	4,4	5,8	5,0	6,2			5,4	2,6
GM	1,2	1,5	5,0	5,5	6,6	6,2	6,8			5,5	3,0
OP	1,1	1,4	4,3	4,0	5,0	5,1	5,4			4,7	2,4
MITTEL	1,3	1,4	4,1	4,7	5,8	5,5	6,2			5,5	3,0
STABW	0,3	0,2	0,7	1,1	1,3	1,6	1,9			2,2	1,3
MAX	1,9	1,8	5,7	6,7	8,4	8,9	10,8			9,9	5,8
MIN	0,9	1,2	3,1	3,3	4,1	3,4	3,9			3,0	1,6
N	12	12	12	12	12	12	12			12	12

PROBANDEN	INSULIN (μU/ml) Diabetiker					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
RP	15,4	8,9	16,7	12,7	13,9	9,5
MH	17,0	9,3	36,6	22,3	33,2	22,6
HH	18,9	10,0	14,1	12,6	13,7	16,8
BN	14,6	12,3	21,1	11,9	11,8	10,3
CJ	28,1	11,2	16,6	7,8	18,1	7,4
BT	25,2	15,6	17,5	13,1	11,1	10,2
HP	24,9	16,2	22,6	14,6	42,7	19,5
SJ	39,4	25,1	39,8	28,1	30,6	21,4
MS	26,3	21,5	55,4	25,7	36,5	27,0
FF	26,4	20,4	43,1	20,2	38,9	40,9
FT	14,2	9,8	23,4	15,5	16,3	29,5
GM	30,2	17,1	33,6	14,1	26,1	16,9
SD	9,9	11,9	18,5	13,5	31,6	15,2
MITTEL	22,3	14,6	27,6	16,3	25,0	19,0
STABW	7,9	5,0	12,3	5,7	10,9	9,1
MAX	39,4	25,1	55,4	28,1	42,7	40,9
MIN	9,9	8,9	14,1	7,8	11,1	7,4
N	13	13	13	13	13	13

PROBANDEN	GLUKAGON (pg/ml) Diabetiker					
	Test T1		Test T1		Test T1	
	Ruhe	Ruhe	Ruhe	Ruhe	Ruhe	Ruhe
RP	63	91	95	64	101	126
MH	85	91	97	80	125	127
HH	105	97	95	100	104	108
BN	114	105	85	97	116	110
CJ	85	81	57	88	71	87
BT	94	82	78	70	79	79
HP	119	58	87	66	77	78
SJ	77	79	92	104	101	113
MS	125	82	86	102	108	129
FF	121	92	91	99	117	117
FT	82	77	81	89	90	80
GM	96	80	111	120	85	84
SD	87	53	42	48	57	57
MITTEL	96	82	84	87	95	100
STABW	18	14	17	19	19	22
MAX	125	105	111	120	125	129
MIN	63	53	42	48	57	57
N	13	13	13	13	13	13

PROBANDEN	CORTISOL (ng/ml) Diabetiker					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
RP	90	139	130	88	106	156
MH	95	151	107	160	190	186
HH	31	61	27	43	48	87
BN	69	238	41	78	80	112
CJ	75	186	82	66	58	73
BT	53	231	63	51	80	47
HP	99	262	161	137	111	84
SJ	100	199	125	67	89	105
MS	50	98	46	53	57	45
FF	166	199	122	104	138	101
FT	86	206	60	116	120	113
GM	100	200	119	65	110	130
SD	63	119	59	108	80	80
MITTEL	83	176	88	87	97	102
STABW	32	56	40	34	37	38
MAX	166	262	161	160	190	186
MIN	31	61	27	43	48	45
N	13	13	13	13	13	13

PROBANDEN	WACHSTUMSHORMON (µg/l) Diabetiker					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
RP	0,5	10,8	0,5	9,3	0,2	14,5
MH	0,3	14,9	0,2	3,5	0,2	6,0
HH	1,2	3,6	0,6	5,9	0,3	6,5
BN	0,2	10,9	0,2	8,5	0,2	5,8
CJ	1,3	7,3	0,5	1,3	0,4	2,6
BT	1,1	15,6	0,2	7,8	0,2	5,9
HP	0,2	8,5	17,7	5,3	0,2	3,1
SJ	0,2	12,5	0,2	4,4	0,2	1,6
MS	2,9	16,9	0,6	19,3	0,4	21,1
FF	0,2	24,4	0,7	0,8	1,0	5,7
FT	15,8	11,3	1,8	7,6	0,2	4,1
GM	0,4	24,1	3,0	3,8	2,9	7,7
SD	0,2	5,0	0,2	13,5	5,7	0,6
MITTEL	1,9	12,8	2,0	7,0	0,9	6,5
STABW	4,1	6,2	4,6	4,9	1,6	5,4
MAX	15,8	24,4	17,7	19,3	5,7	21,1
MIN	0,2	3,6	0,2	0,8	0,2	0,6
N	13	13	13	13	13	13

PROBANDEN	ADRENALIN (pg/ml)					
	Diabetiker					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
RP	39,3	49,2	41,1	20,8	14,2	28,6
MH	56,9	37,5	68,5	67,8	39,9	48,1
HH	75,0	40,0	46,4	38,5	50,4	55,1
BN	55,6	59,8	44,7	38,1	72,1	53,2
CJ	15,7	23,0	16,7	12,0	14,5	20,2
BT	27,0	60,0	24,7	27,7	30,7	30,0
HP	12,0	16,2		12,0	12,0	15,2
SJ	35,0	37,5	35,0	40,0	50,0	25,0
MS	20,0	27,5	16,5	20,2	15,7	42,7
FF	44,7	187,0	46,0	40,0	43,2	39,7
FT	29,2	25,4	20,0	17,5	15,0	17,5
GM	99,0	12,0	30,1	65,9	68,5	89,5
SD	15,9	15,7	19,4	12,9	18,1	26,0
MITTEL	40,4	45,4	34,1	31,8	34,2	37,8
STABW	24,7	43,6	15,2	18,2	20,6	19,7
MAX	99,0	187	68,5	67,8	72,1	89,5
MIN	12,0	12	16,5	12,0	12,0	15,2
N	13	13	12	13	13	13

PROBANDEN	NORADRENALIN (pg/ml)					
	Diabetiker					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
RP	137	200	174	154	120	184
MH	203	168	199	223	146	165
HH	255	310	260	296	210	231
BN	178	211	137	267	172	165
CJ	149	311	327	126	178	250
BT	186	345	220	162	257	287
HP	119	286	267	182	205	164
SJ	120	255	137	275	260	255
MS	137	242	149	137	72	130
FF	198	339	243	375	215	342
FT	185	340	207	285	167	197
GM	250	227	221	189	146	159
SD	241	249	190	164	235	230
MITTEL	181	268	210	218	183	212
STABW	46	56	53	72	52	58
MAX	255	345	327	375	260	342
MIN	119	168	137	126	72	130
N	13	13	13	13	13	13

PROBANDEN	INSULIN ($\mu\text{U}/\text{ml}$) Gesunde Sportler					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
SW	24,4	11,2		9,5	6,1	5,0
GT	10,0	11,6	8,7	6,5	15,5	15,6
VM	11,3	8,6	9,5	5,6	8,7	7,5
RH	11,8	7,9	5,4	4,1	4,0	3,5
BR	9,0	8,0	11,6	7,0	10,0	5,4
SM	7,6	5,1	8,8	9,2	4,9	5,0
OM	14,3	12,6	22,5	12,2	13,1	8,3
SP	10,1	10,0	12,9	14,4	11,5	12,5
ZI	8,9	5,5	4,8	4,7	11,6	11,7
SB	20,6	11,5	9,7	6,8	16,7	9,5
GM	5,4	8,3	16,1	4,7	9,7	5,0
OP	7,3	11,1	6,2	5,5	16,8	13,5
MITTEL	11,7	9,3	10,6	7,5	10,7	8,5
STABW	5,4	2,3	4,9	3,1	4,2	3,8
MAX	24,4	12,6	22,5	14,4	16,8	15,6
MIN	5,4	5,1	4,8	4,1	4,0	3,5
N	12	12	11	12	12	12

PROBANDEN	GLUKAGON (pg/ml) Gesunde Sportler					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
SW	103	37	25	15	103	86
GT	110	111	135	107	154	134
VM	128	131	93	115	125	98
RH	206	150	230	201	182	185
BR	84	60	95	64	104	104
SM	119	118	113	110	102	120
OM	99	89	154	126	158	107
SP	100	91	82	104	75	83
ZI	104	110	95	99	89	86
SB	96	80	72	82	99	85
GM	73	63	77	82	88	
OP	97	156	98	110	112	111
MITTEL	110	100	106	101	116	109
STABW	32	35	49	41	31	29
MAX	206	156	230	201	182	185
MIN	73	37	25	15	75	83
N	12	12	12	12	12	11

PROBANDEN	CORTISOL (ng/ml) Gesunde Sportler					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
SW	71	102	95	63	117	72
GT	101	276	99	124	85	177
VM	110	108	97	65	144	59
RH	120	120	102	69	102	83
BR	88	201	66	48	93	108
SM	74	235	130	85	43	83
OM	126	284	65	51	93	70
SP	58	145	116	46	94	48
ZI	94	267	128	136	98	189
SB	124	214	243	184	134	179
GM	151	251	166	87	106	63
OP	164	263	61	92	159	127
MITTEL	107	206	114	87	106	105
STABW	31	66	49	40	29	49
MAX	164	284	243	184	159	189
MIN	58	102	61	46	43	48
N	12	12	12	12	12	12

PROBANDEN	WACHSTUMSHORMON (µg/l) Gesunde Sportler					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
SW	0,2	1,2	0,2	0,2	0,3	0,4
GT	0,5	21,9	0,2	38,8	0,2	4,4
VM	0,2	10,6	0,2	10,2	1,0	5,4
RH	0,2	15,6	0,2	17,7	1,0	3,3
BR	0,2	27,3	0,2	11,7	0,2	3,1
SM	0,2	4,8	0,2	0,2	0,2	4,3
OM	1,4	40,1	0,2	9,3	0,2	22,2
SP	0,2	5,1	3,1	2,5	0,2	0,4
ZI	0,2	5,9	0,2	11,1	0,2	4,3
SB	0,5	6,7	0,9	3,5	1,5	6,3
GM	1,7	9,6	0,2	3,4	0,3	0,7
OP	0,2	27,8	0,2	23,6	0,2	3,2
MITTEL	0,5	14,7	0,5	11,0	0,4	4,8
STABW	0,5	11,5	0,8	10,8	0,4	5,6
MAX	1,7	40,1	3,1	38,8	1,5	22,2
MIN	0,2	1,2	0,2	0,2	0,2	0,4
N	12	12	12	12	12	12

PROBANDEN	ADRENALIN (pg/ml) Gesunde Sportler					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
SW	30,5	35,0	18,5	25,0	45,0	25,0
GT	81,7	28,5	20,2	17,2	41,7	31,5
VM	31,5	47,5	70,7	47,5	33,7	43,2
RH	51,0	38,7	36,2	50,0	44,7	41,3
BR	79,5	54,0	50,5	50,0	55,0	71,0
SM	35,5	38,0	31,2	45,0	34,7	39,5
OM	58,0	69,7	41,7	51,7	34,0	63,7
SP	46,0	44,0	22,2	62,7	38,2	27,5
ZI	31,7	28,2	28,7	23,5	13,0	28,2
SB	30,7	16,7	29,7	33,0	31,5	24,0
GM	40,2	34,0	28,0	32,7	15,5	25,7
OP	12,0	137,0	12,0	58,5	39,2	53,2
MITTEL	44,0	47,6	32,5	41,4	35,5	39,5
STABW	19,8	29,9	15,3	14,1	11,3	15,2
MAX	81,7	137	70,7	62,7	55,0	71,0
MIN	12,0	16,7	12,0	17,2	13,0	24,0
N	12	12	12	12	12	12

PROBANDEN	NORADRENALIN (pg/ml) Gesunde Sportler					
	Test T1		Test T2		Test T3	
	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30	Ruhe	E 30
SW	86	149	163	148	163	124
GT	158	134	82	123	106	67
VM	171	342	259	305	207	200
RH	228	233	200	170	150	192
BR	247	482	229	320	219	278
SM	171	408	345	383	298	296
OM	281	451	223	272	327	194
SP	330	396	404	365	335	290
ZI	279	346	276	306	308	330
SB	270	535	250	411	507	405
GM	137	313	140	160	132	144
OP	213	390	242	267	132	175
MITTEL	214	348	234	269	240	225
STABW	68	119	83	94	113	92
MAX	330	535	404	411	507	405
MIN	86	134	82	123	106	67
N	12	12	12	12	12	12

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn **Univ.-Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki** für die Überlassung des Themas, für die engagierte Betreuung, für die wertvollen Hinweise bei der Abfassung der vorliegenden Dissertation und seine stete Bereitschaft zum gedanklichen Austausch.

Ebenso möchte ich Herrn **Rolf Peter Hoehle, Geschäftsführer des Medizinischen Zentrums Parkhöhe**, Bad Wildungen, für seine Zusammenarbeit danken. Er stellte Unterkunft und Verpflegung für die Probanden, Personal und sein sportmedizinisches Untersuchungslabor zur Verfügung und schaffte dadurch die Voraussetzungen zur Durchführung der Untersuchungen.

Mein Dank gilt auch Herrn **Dr. Peter Schnorr** für die ärztliche Betreuung und Begleitung der Untersuchungen, seine Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und für die Fülle hilfreicher Anregungen.

Ferner danke ich den Medizinisch-Technischen-Assistentinnen Frau **Andrea Reinbold** und Frau **Jessica Ernd** für ihre große Hilfe und Verlässlichkeit bei der Durchführung der sportmedizinischen Leistungstests und allen damit verbundenen Tätigkeiten.

Außerdem möchte ich der Diätassistentin Frau **Marion Konzemann** herzlich für die Auswertung der Ernährungsprotokolle danken.

Mein besonderer Dank gilt den **Probanden**, die sich uneigennützig und sehr verlässlich für die Durchführung der Untersuchungen zur Verfügung stellten.

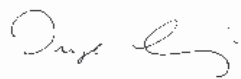
Den Firmen **Lifescan, Lilly** und **Lipha** sei besonders herzlich für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungsreihe gedankt.

Für die Geduld während der Entstehung dieser Dissertation danke ich ganz herzlich **meinem Mann** Michael und **meinen Kindern** Patrick, Ann-Kathrin und Niklas.

LEBENS LAUF

<u>Name:</u>	Inge Gerding, geb. Görres
<u>Geburtsdatum:</u>	25.07.1959
<u>Geburtsort:</u>	Prüm/ Rheinland Pfalz
<u>Eltern:</u>	Josef Görres (gestorb. 1983), Posthauptschaffner und Frieda Görres, geb. Schlösser, Hausfrau
<u>Familienstand:</u>	verheiratet seit 1985 mit Michael Gerding, Diplom-Sportlehrer
<u>Nationalität:</u>	deutsch
<u>Kinder:</u>	Patrick Amadeus, geb. 23.11.1988 Ann-Kathrin Maria, geb. 20.09.1990 Niklas David, geb. 01.06.1993
<u>Schulbildung:</u>	
1966 bis 1970	Grundschule Stadtkyll
1970 bis 1979	St. Matthias Gymnasium Gerolstein
1979	Allgemeine Hochschulreife
<u>Hochschulausbildung:</u>	
WS 1979/80 bis WS 1984/85	Studiengang Diplom-Sport, Deutsche Sporthochschule Köln
WS 1984/85	Diplom Prüfung, Abschluss: Diplom-Sportlehrerin
<u>Berufstätigkeit:</u>	
September 1985 bis August 1987	Anstellung als Dipl.-Sportlehrerin beim Turnverein Ibbenbüren (Arbeits-Beschaffungs-Maßnahme)
November 1987 bis Dezember 1987	Lehrauftrag Sport (1/2 Stelle) in den Klassen 5 bis 12 am Johannes Kepler Gymnasium, Ibbenbüren
Februar 1988 bis Juni 1988	Anstellung als Dipl.-Sportlehrerin in einem Fitness- Studio, Osnabrück
September 1995 bis Mai 2000	Anstellung als Dipl.-Sportlehrerin im Medizinischen Zentrum Parkhöhe, Bad Wildungen
Mai 2000 bis November 2003	Lehrauftrag Sport (1/2 Stelle) in den Klassen 5 bis 13 am Gustav Stresemann Gymnasium, Bad Wildungen

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Dissertation selbstständig verfasst und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt habe. Wörtlich oder sinngemäß übernommene Textstellen aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften oder Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind mit Quellenangaben kenntlich gemacht.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Inge Gerding', written in a cursive style.

Inge Gerding

