

*Aus dem  
Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie  
der  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof.Dr.med. Gerold Stucki*

***Oberflächen-EMG-Untersuchungen zum  
Kontraktionsverhalten der Skelettmuskulatur  
unter lokaler Wärmeanwendung***

*Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München*

*vorgelegt von  
Thomas Fischer  
aus München*

*2002*

*Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München*

*Berichterstatter: Prof.Dr.rer.nat. Dr.med.habil. H.G. Pratzel*

*Mitberichterstatter: Prof.Dr.med. W. Müller-Felber*

*Mitbetreuung durch die  
promovierten Mitarbeiter: Dr.med. I. Magyarosy  
Prof.Dr.med. K.-H.Krause*

*Dekan: Prof.Dr.med.Dr.h.c. K. Peter*

*Tag der mündlichen Prüfung: 04.07.2002*

# **Inhaltsverzeichnis**

1	Einführung.....	1
2	Material und Methode .....	3
2.1	Versuchsaufbau.....	3
2.1.1	Probandenkollektiv.....	3
2.1.1.1	Probanden im Kraftreihenversuch.....	3
2.1.1.2	Probanden im Ermüdungsversuch.....	4
2.1.2	Geräte und Materialien .....	4
2.1.2.1	Fettmeßgerät B.I.A.....	4
2.1.2.2	EMG-Gerät .....	6
2.1.2.3	Versuchsstuhl .....	8
2.1.2.4	Kraftmeßgerät .....	9
2.1.2.5	Verstärker .....	11
2.1.2.6	Elektroden.....	11
2.1.2.7	Wärmepackung .....	13
2.1.2.8	Videorecorder zur Datendokumentation.....	13
2.2	Versuchsablauf.....	13
2.2.1	Fettmessung .....	13
2.2.2	Versuchsvorbereitungsphase .....	14
2.2.3	Aufwärmphase.....	15
2.2.4	Kraftreihenversuch der Versuchsgruppe .....	16
2.2.4.1	Standardversuch der Kraftreihenmessung.....	16
2.2.4.2	Wärmeversuch der Kraftreihenmessung .....	17
2.2.5	Kraftreihenversuch der Kontrollgruppe.....	17
2.2.6	Ermüdungsversuch.....	17
2.2.6.1	Standardversuch der Ermüdungsmessung .....	17
2.2.6.2	Wärmeversuch der Ermüdungsmessung .....	18
2.3	Auswertung der Daten.....	18
2.3.1	Datenerhebung im Kraftreihenversuch.....	18

2.3.2	Datenerhebung im Ermüdungsversuch.....	19
3	Ergebnisse.....	21
3.1	Ergebnisse des Kraftreihenversuchs.....	21
3.1.1	Probandenkollektiv im Kraftreihenversuch.....	21
3.1.2	Ergebnisse der Versuchsgruppe im Kraftreihenversuch.....	22
3.1.2.1	Das Verhalten der RMS-Werte der Versuchsgruppe.....	22
3.1.2.2	Das Verhalten der TURNS-Werte der Versuchsgruppe.....	23
3.1.2.3	Das Verhältnis der TURNS zu den RMS-Werten bei gleicher Kraft.....	24
3.1.3	Ergebnisse der Kontrollgruppe des Kraftreihenversuchs.....	25
3.1.3.1	Verhalten der RMS-Werte in der Kontrollgruppe.....	25
3.1.3.2	Verhalten der TURNS-Werte in der Kontrollgruppe.....	26
3.2	Ergebnisse des Ermüdungsversuchs.....	27
3.2.1	Probandenkollektiv im Ermüdungsversuch.....	27
3.2.2	Ergebnisse des Versuchs mit 50%MVC-Belastung.....	28
3.2.2.1	Zeitverlauf der RMS-Werte bei 50%MVC.....	28
3.2.2.2	Zeitverlauf der TURNS-Werte bei 50%MVC.....	29
3.2.2.3	Zeitlicher Verlauf der RMS/TURNS- Relation bei 50%MVC.....	30
3.2.2.4	Vergleich der absoluten Zeitdauer bei 50%MVC.....	30
3.2.3	Ergebnisse des Versuchs mit 30%MVC-Belastung.....	31
3.2.3.1	Zeitverlauf der RMS-Werte bei 30%MVC.....	31
3.2.3.2	Zeitverlauf der TURNS-Werte bei 30%MVC.....	32
3.2.3.3	Zeitlicher Verlauf der RMS/TURNS- Relation bei 30%MVC.....	33
3.2.3.4	Vergleich der absoluten Zeitdauer bei 30%MVC.....	33
4	Diskussion.....	35
4.1	Entwicklung der Methode.....	35
4.1.1	Literaturübersicht EMG.....	35
4.1.2	Oberflächen-EMG-Messung.....	38
4.1.3	Elektroden.....	40
4.1.4	Kraftmessung.....	42
4.1.5	Wärmeanwendung.....	43

4.2	Versuchsgestaltung.....	45
4.2.1	Aufwärmphase.....	45
4.2.2	Kraftreihenversuch.....	46
4.2.3	Ermüdungsversuch.....	48
4.3	Diskussion der Ergebnisse.....	50
4.3.1	Amplitudenverhalten im Kraftreihenversuch.....	50
4.3.2	Frequenzverhalten im Kraftreihenversuch.....	51
4.3.3	Amplituden-Frequenz-Relation im Kraftreihenversuch.....	52
4.3.4	Amplitudenverhalten im Ermüdungsversuch.....	52
4.3.5	Frequenzverhalten im Ermüdungsversuch.....	54
4.3.6	Amplituden-Frequenzen-Relation im Ermüdungsversuch.....	56
4.3.7	Zeitdauer des Ermüdungsversuchs.....	57
4.4	Schlußfolgerung.....	59
5	Zusammenfassung.....	61
6	Literaturverzeichnis.....	63
7	Anhang.....	81
7.1	Ergebnisse der Versuchsgruppe im Kraftreihenversuch.....	81
7.2	Ergebnisse der Kontrollgruppe im Kraftreihenversuch.....	82
7.3	Originaldaten der Probanden des Kraftreihenversuchs.....	83
7.4	Ergebnisse des Ermüdungsversuchs.....	90
8	Danksagung.....	113
9	Lebenslauf.....	115

## **Abkürzungsverzeichnis**

Ag/AgCl.....	Silber/Silberchlorid
B.I.A.....	bioelectrical impedance analysis
BMI.....	body mass index
CV.....	conduction velocity
EMG.....	Elektromyographie
Hz.....	Hertz
iEMG.....	integriertes EMG
M.....	Musculus
Mm.....	Musculi
MPF.....	mean power frequency
msec.....	Millisekunden
MU.....	Motorische Einheit(en)
MVA.....	maximum voluntary activity
MVC.....	maximum voluntary contraction
N.....	Newton
Nm.....	Newtonmeter
RMS.....	root mean square
SEM.....	Standardfehler des Mittelwertes
SD.....	Standardabweichung
$\mu$ V.....	Mikrovolt

## 1 Einführung

Der Einsatz von physikalischen Reizen auf den Bewegungsapparat ist ein breiter Anwendungsbereich der Physikalischen Medizin. Vor allem die analgetische Wirkung von Wärme in unterschiedlichen Applikationsformen bei chronisch entzündlichen als auch traumatischen Schmerzzuständen der Skelettmuskulatur wird häufig zu Hilfe genommen.

Der genaue Wirkungsmechanismus der Wärme auf das Kontraktionsverhalten der Muskulatur ist dabei unbekannt. Aus klinischer Empirik stammt der Begriff der Muskelrelaxierung, der nur einen subjektiven Empfindungszustand beschreibt. Schwierigkeiten ergeben sich jedoch bei dem Versuch eine objektive Methode zu finden, die das Kontraktionsverhalten bei unterschiedlichen Reizen auf die Muskulatur untersucht.

Eine Möglichkeit besteht darin, den Kontraktionszustand der Muskulatur mittels elektrophysiologischer Untersuchungen als objektives Verfahren zu messen. Voraussetzungen dafür müssen aber erst geschaffen werden, um bereits existierende Zusammenhänge zwischen elektrophysiologischen Mustern und dem Kontraktionszustand der Skelettmuskulatur verwenden zu können. Die Grundidee dabei ist der Einsatz der Oberflächen-Elektromyographie als geeignete Methode zur Verlaufsbeobachtung physikalischer Anwendungen wie Wärmepackungen auch an Muskelgruppen, deren mechanische Kontraktionskraft dynamometrisch schwer zu erfassen ist - z.B. der autochthonen Rückenmuskulatur. Deshalb kommt ein neu entwickeltes Kraftmeßgerät zum Einsatz, das die Zusammenhänge zwischen mechanischer Kontraktionskraft und elektrophysiologischen Parametern klären soll.

Ziel dieser Arbeit ist es nun mittels Oberflächen-Elektromyographie und Kraftmessung mit Hilfe eines neu entwickelten Dynamometers zu untersuchen, wie sich die Skelettmuskulatur am Beispiel der *musculi extensores carpi radialis* unter der Applikation einer Wärmepackung verhält, und welche Veränderungen dabei die EMG-Parameter zeigen.



## **2 Material und Methode**

### **2.1 Versuchsaufbau**

Die Untersuchung zur Wirkungsweise der lokalen Wärmetherapie erfolgte an den Mm. extensores carpi radialis. In zwei voneinander unabhängigen Versuchen wird zum einen das Skelettmuskelverhalten mit unterschiedlicher Belastungsstärke bei kurzen isometrischen Kontraktionen (Kraftreihenversuch mit 10%, 30%, 50% und 80% der maximal willkürlichen Kontraktionskraft [MVC]) und zum anderen mit zwei verschiedenen Belastungsstärken bei anhaltender isometrischer Kontraktion (Ermüdungsversuch mit 30% und 50%MVC ) untersucht.

#### **2.1.1 Probandenkollektiv**

Allgemeine Kriterien für die Teilnahme an den Versuchen waren ein Alter zwischen 20 und 30 Jahren sowie eine gesunde körperliche Verfassung mit subjektivem Wohlbefinden. Außerdem mußten die Probanden ausgeruht sein und durften am Versuchsstag keiner körperlichen Anstrengung ausgesetzt sein.

Darüber hinaus wurden im Vorfeld der Versuche der Body-Mass-Index (BMI) und der Körperfettanteil mittels Bioelektrischer Impedanzanalyse (B.I.A.) (*siehe Kap. 2.1.2.1*) bestimmt. Ausschlußkriterium für die Versuchsteilnahme waren ein BMI-Wert von mehr als 25 sowie ein Fettgehaltswerte von weniger als 8% oder mehr als 30% des Körperfettgehalts.

##### **2.1.1.1 Probanden im Kraftreihenversuch**

Am Kraftreihenversuch nahmen 8 Frauen und 13 Männer teil. Darunter waren zwei Probanden Linkshänder. Alle 21 Probanden nahmen sowohl an den Haupt- als auch an den Kontrollversuchen teil, wobei ein zeitlicher Abstand von mindestens 5 Tagen zwischen den Terminen liegen mußte.

### **2.1.1.2 Probanden im Ermüdungsversuch**

An den Ermüdungsversuchen nahmen insgesamt 10 Frauen und 12 Männer teil. Darunter 2 Linkshänder. Alle 22 Probanden waren am Versuchstag ausgeruht sowie am Vortag keiner stärkeren körperlichen Belastung ausgesetzt.

### **2.1.2 Geräte und Materialien**

Zu den Geräten, die sowohl für die Kraftreihen- als auch die Ermüdungsversuche notwendig waren gehörten ein Fettmeßgerät, ein Gerät zur elektromyographischen Messung, ein Versuchsstuhl, ein Kraftmeßgerät, ein Verstärker, ein Schreiber und ein Videorekorder (*siehe Abbildungen 1a, 1b*).

An Materialien wurden Klebeelektroden und eine Wärmepackung verwendet.

#### **2.1.2.1 Fettmeßgerät B.I.A.**

Zur Fettgehaltsbestimmung wurde das Gerät vom Typ AKERN-RJL BIA 101 der Firma DATA INPUT verwendet. Die Methode beruht auf der nicht-invasiven Bioelektrischen Impedanzanalyse (B.I.A.) zur Messung von Widerständen im Körper.

Durch Anlegen von 4 Hautelektroden wird ein schwacher Wechselstrom in den Körper geleitet. Dabei werden die Widerstandskomponenten (Resistance und Reactance) der Leitfähigkeit (Impedance) gemessen. Über die Resistance (Ohmscher Widerstand) und die Reactance (Kapazitiver Widerstand) berechnet sich die Körperzusammensetzung der Hauptbestandteile des Körpers: Wasser, Magermasse und Fett.



Abbildung 1a: Geräteaufstellung

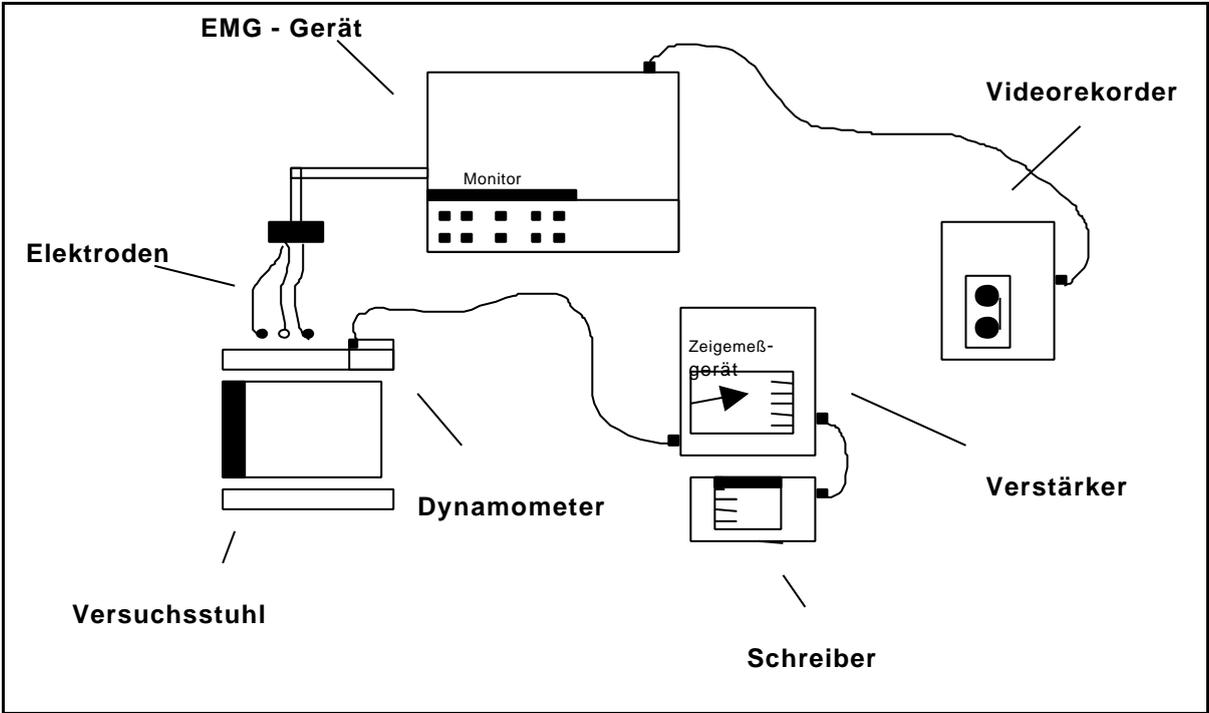


Abbildung 1b: Skizze der Geräteanordnung

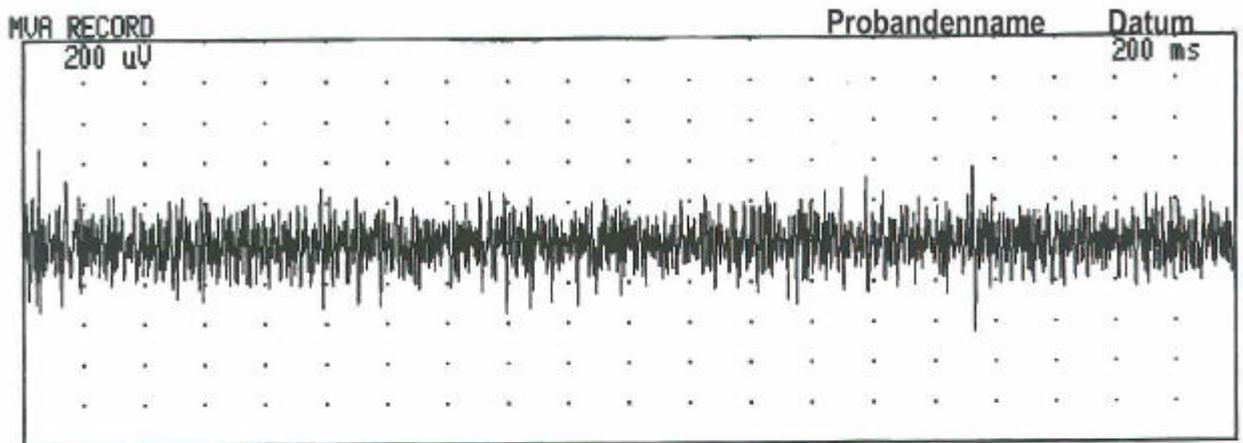
### 2.1.2.2 EMG-Gerät

Zur Oberflächen-EMG-Messung wurde das Gerät Typ "Viking" der Firma Nicolet verwendet. Ein Softwareprogram mit der Bezeichnung "Maximum Voluntary Activity" (MVA) ermöglicht die Registrierung der elektrophysiologischen Aktivität des abgeleiteten Muskels (siehe Abbildung 1c). Die Darstellung der Aktivität in Form eines Interferenzmusters erfolgte über jeweils 200 Millisekunden, wobei folgende zwei wichtige elektrophysiologische Parameter über einen Zeitraum von 4 Sekunden berechnet wurden:

- Root Mean Square (RMS): Dieser gemittelte Amplitudenparameter mit der Einheit Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ) berechnet sich aus den über 4 Sekunden ermittelten Einzelwerten (Zahl 1 – Zahl n), indem die Summe der Quadrate dieser Werte durch die Anzahl der Werte n geteilt und daraus die Quadratwurzel gezogen wird.

$$\sqrt{\frac{\sum [(Zahl\ 1)^2 \dots (Zahl\ n)^2]}{n}}$$

- TURNS: Dieser Frequenzparameter berechnet sich aus der Anzahl der positiven und negativen Spitzen (peaks) des über den Zeitraum von einer Sekunde ermittelten Interferenzmusters, wobei die Amplitudendifferenz mindestens 0,1 mV betragen muß.



RMS: 87  $\mu\text{V}$

TURNS: 201 /s

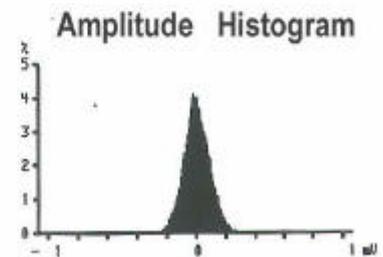


Abbildung 1c: Bildschirmfenster des MVA-Programmes am EMG-Gerät mit Angabe der Parameter RMS und TURNS.

### 2.1.2.3 Versuchsstuhl

Ein spezieller Versuchsstuhl ermöglichte für alle Probanden die gleiche Sitzposition. Der Stuhl wurde dafür so justiert, daß der Proband eine möglichst entspannte, aber dennoch aufrechte Sitzhaltung einnehmen konnte. Die Füße wurden dafür auf Antritte gestellt, so daß der Winkel im Kniegelenk etwa  $90^\circ$  betrug. Zwei höhen- und seitenverstellbare Armlehnen wurden so positioniert, daß sich beide Schultern auf gleicher Höhe befanden und die Arme seitlich entspannt auf den Armstützen auflagen (siehe *Abbildung 1d*).

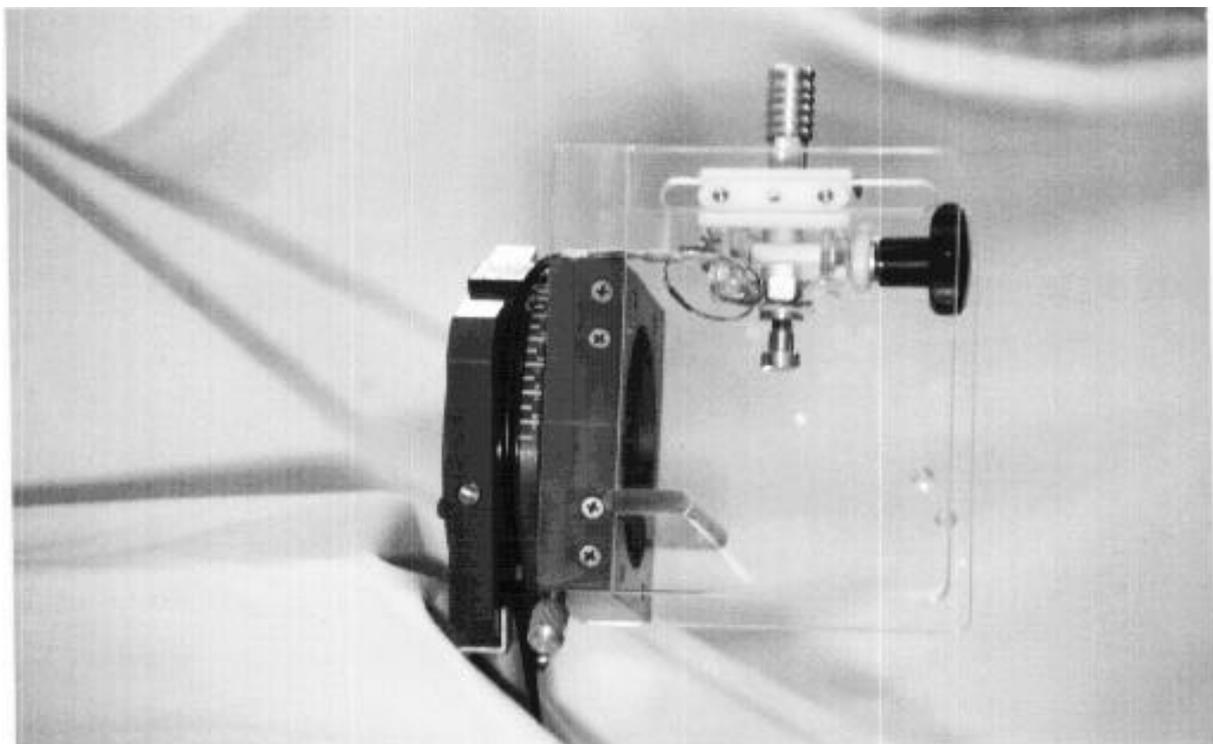


*Abbildung 1d : Proband auf Versuchsstuhl*

#### 2.1.2.4 Kraftmeßgerät

Für diese Arbeit wurde eigens ein Dynamometer konzipiert, damit die Kraft der Mm.extensores carpi radialis möglichst genau gemessen werden konnte (*siehe Abbildungen 1e und 1f*).

Im Wesentlichen besteht das Dynamometer aus zwei Komponenten. Zum einen aus einer Grundkonstruktion und zum anderen aus einem Drucksensorgehäuse, das einen Druckabnehmer und einen Drucksensor enthält. Die Grundkonstruktion kann seitlich am Versuchsstuhl befestigt werden und ermöglicht durch verschiedene bewegliche Elemente, das Sensorgehäuse in verschiedene Positionen zu bringen und dort zu fixieren. Abbildung 1f veranschaulicht die Einstellungsvarianten.



*Abbildung 1e: Kraftmeßgerät mit Drucksensor*

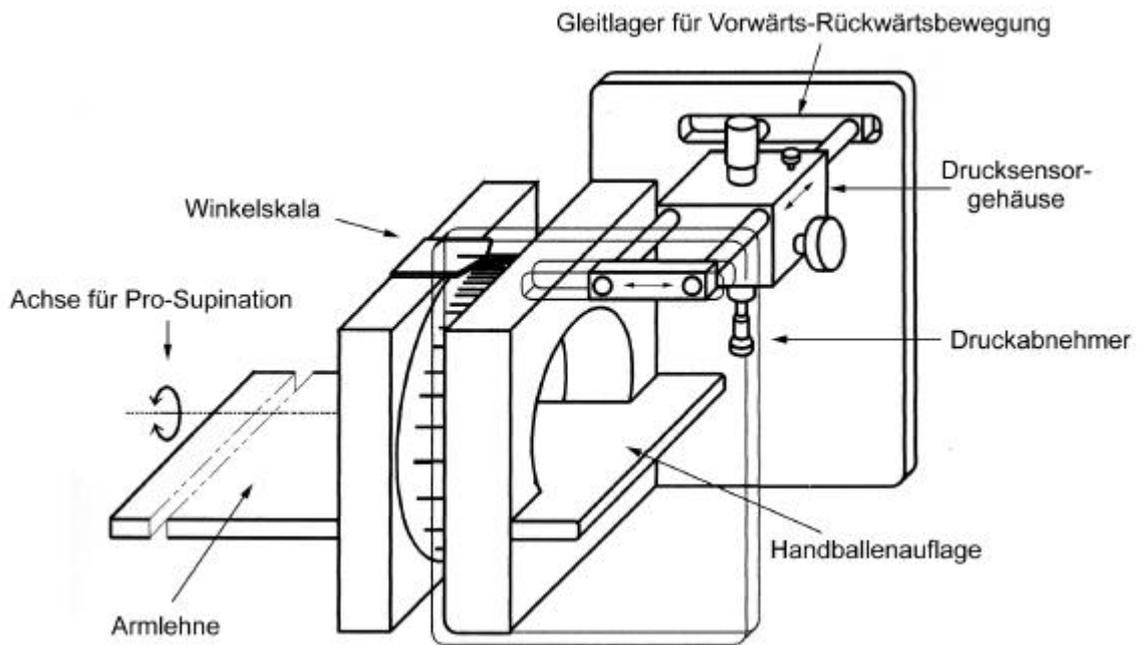


Abbildung 1 f: Zeichnung des Dynamometers

Die relative Höhe zur Armlehne kann verstellt werden. Anhand einer Winkelskala kann der Pro-/Supinationswinkel unterschiedlich justiert werden. Zwei Schienen ermöglichen desweiteren Seitwärtsverschiebung und zwei Gleitlager Vorwärts-Rückwärtsbewegungen des Sensors. Zwei Plexiglasscheiben an der Vorder- und Rückseite ermöglichen eine exakte Positionierung des Armes. Außerdem kann das gesamte Druckelement innerhalb des Gehäuses in der Höhe verstellt werden.

Der Drucksensor besteht aus einem Piezoelement (Modell ELH-TC11-500, Entran Sensoren GmbH), das im Bereich von 0-500N eine lineare Kraftmessung gewährleistet. Jedoch werden dabei nur diejenigen Kräfte erfaßt, die genau entlang des Kraftvektors verlaufen. Auftretende Scherkräfte werden vernachlässigt.

### **2.1.2.5 Verstärker**

Die Kraft wird vom Drucksensor in elektrische Signale transformiert und auf einen Verstärker übertragen (Recomed Vorverstärker TF). Dieser Verstärker wurde zur Messung der Kraft auf Newtonmeter (Nm) geeicht. Die auf den Sensor übertragene Kraft konnte somit an einer Verstärkeranzeige abgelesen werden. Zur visuellen Erleichterung wurde zusätzlich noch ein optisches Anzeigeelement der Firma Neuberger angeschlossen. Individuelle Einstellungen des Verstärkungsmodus ermöglichten somit eine präzise visuelle Kontrolle des Krafteinsatzes für den Probanden.

Ein an den Verstärker angeschlossener Schreiber registrierte die Kraftveränderungen im Zeitverlauf und diente zudem der Dokumentation.

### **2.1.2.6 Elektroden**

Zur Kraftmessung wurden erst nach korrekter Positionierung des Unterarms und des Handgelenks die Oberflächenelektroden angebracht. Es handelte sich dabei um unipolare Ag/AgCl-Ableitelektroden (F55 der Firma 3M Medical-Surgical Division) mit einem Durchmesser der leitfähigen Kontaktfläche von 1,7 cm. Der Durchmesser der Klebefläche beträgt 5,5 cm.

Zur Verbesserung der Leitfähigkeit der Kontaktfläche zwischen Haut und Elektrode wurde ein AgCl-Kontaktgel aufgetragen. Die Ableitelektroden wurden dabei am proximalen Drittel der Strecke zwischen Ursprung und Ansatz des Musculus extensor carpi radialis brevis auf der Haut aufgeklebt, so daß sie parallel zum Faserverlauf angeordnet waren (*siehe Abbildungen 1g und 1h*). Der Interelektroden-abstand betrug dabei 3,5 cm. Zur Erdung diente eine zusätzliche Elektrode, die am linken Oberarm angebracht wurde.

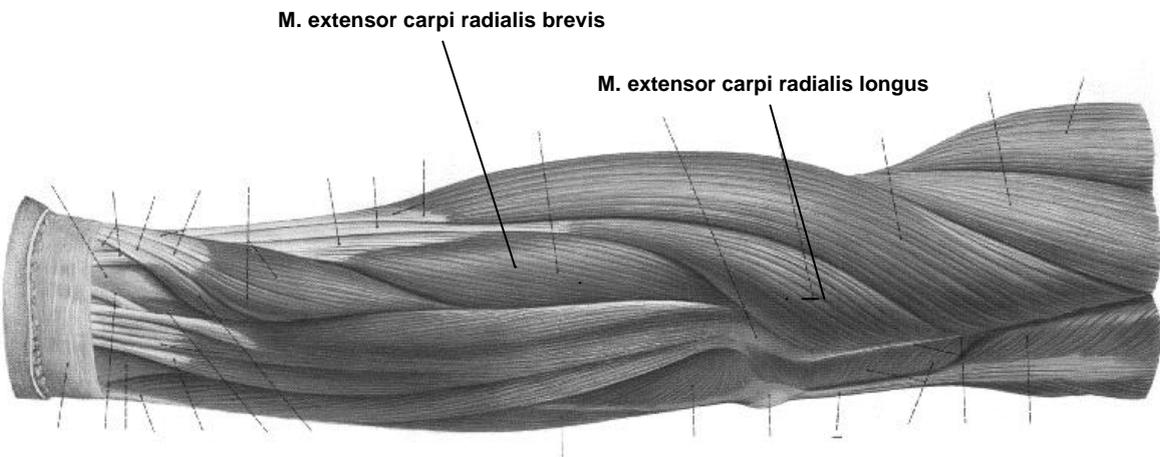


Abbildung 1g: Anatomie des linken Unterarms mit Darstellung der Mm. extensores carpi radialis.

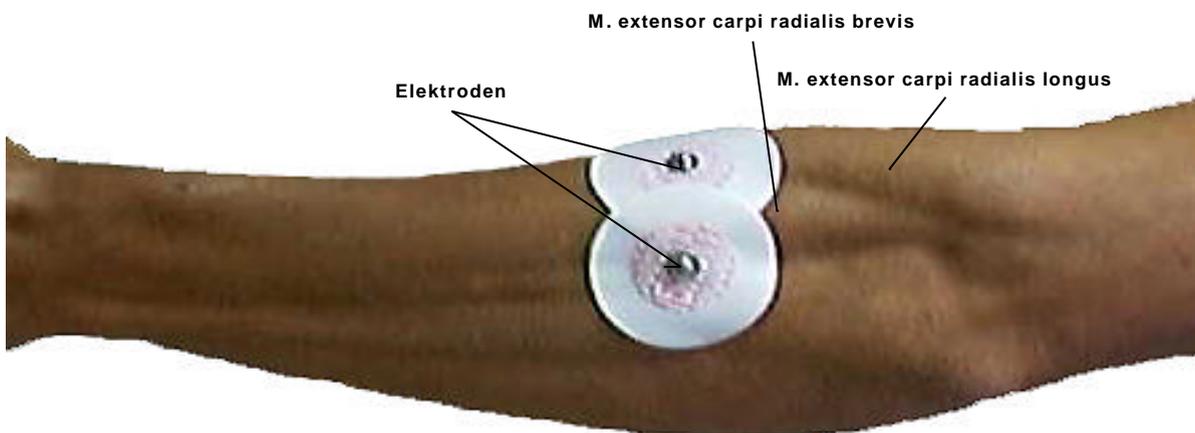


Abbildung 1h: Foto des linken Unterarms mit Positionierung der Elektroden in Beziehung zu den Mm. extensores carpi radialis

### **2.1.2.7 Wärmepackung**

Zur lokalen Erwärmung des Muskels wurde eine eingeschweißte Moorpackung verwendet. Die Größe der Packung betrug 30cm x 30cm x 2,5cm, das Gewicht 400g. Die Packung enthielt Übergangs- (Hochmoor)- Torf aus dem Moorkommen „Leopoldskron in Salzburg“. Vor der Applikation wurde die Packung in einem Wassertopf bis auf 45°C erhitzt.

### **2.1.2.8 Videorecorder zur Datendokumentation**

Die Signale des EMG-Gerätes für den Monitor wurden zusätzlich von einem VHS-Videorecorder zur Dokumentation aufgezeichnet.

## **2.2 Versuchsablauf**

Die Durchführung jedes Versuchs begann mit einer Fettgehaltsbestimmung des Probanden, einer Versuchsvorbereitungsphase und einer Aufwärmphase. Anschließend erfolgte der Hauptversuch, d.h. entweder der Kraftreihenversuch und der zugehörige Kontrollversuch oder der Ermüdungsversuch mit Kontrolle. Diese einzelnen Abschnitte werden im folgenden näher erläutert.

### **2.2.1 Fettmessung**

Vor jedem Versuch wurde das Gewicht, die Größe und der Fettgehalt des Probanden gemessen.

Der Fettgehalt wurde dabei mittels B.I.A. bestimmt. Es wurden hierzu jeweils zwei Elektroden an Handgelenken und Fußrücken angebracht. Jeder Proband wurde zweimal gemessen (vor Hauptversuch und vor Kontrollversuch) und daraus dann der Mittelwert bestimmt.

## 2.2.2 Versuchsvorbereitungsphase

Zunächst wurde der Proband mit dem Versuchsablauf vertraut gemacht. Anschließend nahm er auf dem Versuchsstuhl Platz, indem er eine aufrechte Sitzhaltung einnahm. Die Hüft- und Kniegelenke waren jeweils im rechten Winkel gebeugt.

Der linke Arm wurde auf der Schiene plaziert und die Elektroden angebracht (vgl. Kap.2.1.2.6). Die linke Hand wurde dann, nachdem ein Druckpolster auf dem Metacarpale-II-Knöchelchen angebracht wurde, so in dem Druckmeßgehäuse eingeführt, daß der Handballen gerade noch auflag. Das Druckpolster diente der Vermeidung von Druckschmerzen. Des Weiteren wurde auf diesem ein fester Bereich mit ca. 1cm x 1cm markiert, der die Position des Druckabnehmers festlegte. Außerdem wurde der Unterarm proximal des Handgelenks mit Klettbindern auf der Armlehne locker fixiert (siehe Abb. 1d).

Das Dynamometer wurde mit einem Pro-/Supinationswinkel von 30 Grad nach Neutral-Null-Methode im Handgelenk eingestellt. Außerdem wurde der Druckabnehmer, der den Drucksensor enthält, in der Handflächenebene so positioniert, daß das Druckpolster und der Abnehmer optimal übereinstimmten. Damit auch der Ab-/Adduktionswinkel im Handgelenk einheitlich 0 Grad betrug, wurde der Drucksensor in der Höhe verstellt. Dieser exakte Aufbau war notwendig, damit die Bewegungsrichtung, nämlich die Extension im Handgelenk, genau mit der Druckmeßrichtung (Kraftvektor) übereinstimmte.

Die Kontraktion des Muskels bewirkte jetzt eine Extension des Handgelenks, wobei das Metacarpale-II-Knöchelchen die Kraft auf den Druckabnehmer übertrug, welcher die mechanische Kraft mit Hilfe eines Piezo-Kristalls in elektrische Energie umwandelte und nach Verstärkung durch den Receiver auf einem geeichten Zeigermeßinstrument wiedergab. Somit war der Proband in der Lage seine aufgewandte isometrische Kraft visuell zu kontrollieren.

Damit der Kraftverlauf reproduzierbar war, wurden die Daten zusätzlich 1:1 mit Hilfe eines Schreibers dokumentiert.

Anschließend wurde das Programm MVA gestartet. Der Proband wurde zunächst aufgefordert, sich möglichst zu entspannen. Anhand der jetzt gemessenen Ruhewerte konnte nochmals der Elektrodenkontakt geprüft werden. Die Ausgangswerte der TURNS mußten sich in einem Bereich zwischen 20 und 50 Hz befinden. Dies konnte durch eine korrekte Anbringung der Elektroden gewährleistet werden. Jetzt konnte mit den Hauptversuchen begonnen werden.

### **2.2.3 Aufwärmphase**

Der Aufwärmversuch diente sowohl dazu, eine evtl. vorhandene Anspannung zu verringern, als auch den Muskel in einen aktiven Zustand zu versetzen.

Zur besseren Vergleichbarkeit der aufgewandten Kräfte der einzelnen Probanden wurde zunächst die maximale Kraft ermittelt, die der Proband in der Lage war zu drücken. Dazu wurde der Proband aufgefordert seine maximal mögliche Kraft einzusetzen. Der höchste angezeigte Wert wurde notiert. Der gemessene Kraftwert entsprach dem vorläufigen 100% MVC-Wert. Anhand dieses Wertes wurden die Kraftlevel als 10%, 30%, 50% und 80% des vorläufigen MVC-Wertes berechnet. Diese Kraftbereiche wurden auf dem Zeigemeßgerät markiert.

Nach einer Pause von 5 Minuten wurde der Proband aufgefordert bis zu dem markierten 10%-Kraftpunkt zu drücken und diesen isometrisch für etwa 15 Sekunden zu halten. Zur Bildung von drei Wertepaaren, bestehend aus den EMG-Parameter TURNS und RMS, wurden alle 4 Sekunden deren Werte berechnet und notiert.

Nach einer einminütigen Pause wurde der beschriebene Ablauf für 30%MVC durchgeführt. Die nächste Pause betrug 2 Minuten. Anschließend erfolgte die 50%-ige Belastung mit einer nachfolgenden Pause von 3 Minuten. Die 80%ige MVC-Kontraktion wurde durchgeführt und nach einer 5 Minuten-Pause der Proband erneut aufgefordert mit maximal möglicher Kraft die Handgelenkstreckung durchzuführen. Die dabei erreichte Kraft wurde als neuer, absoluter Maximalkraftwert (MVC) verwendet. Die ermittelten RMS- bzw. TURNS-Werte wurden notiert.

Am Ende des Aufwärmversuch erfolgte eine 6minütige Pause. Im Anschluß daran konnte mit den Hauptversuchen, dem Kraftreihen- bzw. Ermüdungsversuch, begonnen werden.

## **2.2.4 Kraftreihenversuch der Versuchsgruppe**

In dieser Untersuchung wurden kurze isometrische Kontraktionen mit den Belastungsstärken 10%, 30%, 50% und 80% der maximal willkürlichen Kontraktionskraft (MVC) einmal bei Raumtemperatur (Standardversuch) und zum anderen nach 15-minütiger Wärmeapplikation (Wärmeversuch) durchgeführt. Diese Abschnitte werden im folgenden erläutert.

### **2.2.4.1 Standardversuch der Kraftreihenmessung**

Anhand des absoluten Maximalkraftwertes (MVC), der im Aufwärmversuch ermittelt wurde, wurden jetzt die Kräfte für 10%, 30%, 50% und 80% des MVC berechnet. Diese Werte wurden erneut auf dem Zeigemeßgerät festgelegt, so daß der Proband die vorgegebenen Kraftlevel gezielt regulieren konnte. Bevor der Proband mit dem Versuch beginnen konnte, wurde ein der Moorpackung im Gewicht entsprechender, standardisierter Wasserbeutel appliziert. Dieser war in Handtücher gewickelt, um nicht kühlend auf die Muskulatur zu wirken. Die Temperatur zwischen Beutel und Haut wurde gemessen und notiert.

Im Anschluß an die Aufwärmphase wurde der Proband aufgefordert bis zur 10%-Markierung auf dem Zeigemeßgerät zu drücken und diese isometrisch 15 Sekunden lang zu halten. Dabei wurden die Wertepaare der RMS bzw. TURNS ermittelt. Zusätzlich konnte über den Schreiber kontrolliert werden, ob die geforderte Kraft konstant gehalten wurde. Es folgte eine einminütige Pause. Anschließend wurden die Werte bei 30%, 50% und 80%MVC mit der gleichen Vorgehensweise ermittelt, wobei die Pausen zwischen 30% und 50%MVC zwei Minuten und zwischen 50% und 80%MVC drei Minuten betragen.

#### **2.2.4.2 Wärmeversuch der Kraftreihenmessung**

Sofort nach Beendigung des Standardversuchs wurde die auf erhitzeMoorpackung in Handtücher gewickelt und direkt über dem Muskel appliziert. Die ansteigende Hauttemperatur wurde dabei kontrolliert. Nach einer Applikationsdauer von 15 min wurde der Ablauf des zuvor beschriebenen Standardversuchs wiederholt.

#### **2.2.5 Kraftreihenversuch der Kontrollgruppe**

Als Kontrollgruppe standen die gleichen Probanden zur Verfügung. Es wurde wie bei der Versuchsgruppe im Anschluß an den Aufwärmversuch und der sechsminütigen Pause ein Standardversuch durchgeführt. Nach einer Pause von 15 Minuten wurde jedoch anstatt des Wärmeversuchs der Standardversuch wiederholt.

#### **2.2.6 Ermüdungsversuch**

In dieser Untersuchung wurden anhaltende isometrische Kontraktionen der Kraftbereiche 30% und 50% der maximal willkürlichen Kontraktionskraft sowohl unter Raumluft (Standardversuch), als auch nach Wärmeapplikation (Wärmeversuch) durchgeführt.

##### **2.2.6.1 Standardversuch der Ermüdungsmessung**

Anhand des im Aufwärmversuches ermittelten Maximalkraftwertes wurde zunächst die 30%- und 50%MVC-Marke auf dem Zeigemeßgerät markiert. Nach Ablauf der Aufwärmphase sowie der sechsminütigen Pause wurde der Proband aufgefordert eine isometrische Kontraktion mit 50%MVC durchzuführen. Die RMS- und TURNS-Werte wurden nun solange ermittelt, bis der Proband die geforderte Kraft nicht mehr aufbringen konnte. Diese Zeitdauer wurde in Sekunden notiert. Nach einer Pause von 20 Minuten erfolgte der gleiche Versuchsablauf mit einer Kontraktionskraft von

30%MVC. Anhand des Schreibers wurde der konstante Krafteinsatz kontrolliert. Die Zeitdauer wurde erneut festgehalten.

### **2.2.6.2 Wärmeversuch der Ermüdungsmessung**

Gleich im Anschluß an den Standardversuch wurde die auf 50°C erhitzte Moorpackung appliziert. Nach 20 Minuten erfolgte eine Belastung mit 50%MVC. Nach einer weiteren 20-minütigen Pause wurden die EMG-Parameter unter dem isometrischen Kraftlevel mit 30%MVC ermittelt.

## **2.3 Auswertung der Daten**

Mit Hilfe eines statistischen Softwareprogramms (Microsoft Excel) wurden Mittelwerte, Standardabweichung und Verteilung berechnet. Damit ein Vergleich der Daten unterschiedlicher Probanden möglich war, wurden nicht Absolutwerte verwendet, sondern die Relation zu den ermittelten RMS- bzw. TURNS-Werten bei Maximalkraft (100% MVC).

Dabei werden die bei Erhebung des Maximalkraftwertes ermittelten RMS- bzw. TURNS-Werte auf 100% festgelegt, d.h. bei jedem Probanden beträgt sowohl der RMS- als auch der TURNS-Wert bei einer isometrischen Kraft von 100%MVC auch 100%. Dies erklärt die Angabe in Prozent und nicht in mV (RMS) bzw. Hz (TURNS).

Aufgrund der beim Vergleich der Stichproben nachgewiesenen Normalverteilung konnte der Student-T-Test für paarige Stichproben angewandt werden.

### **2.3.1 Datenerhebung im Kraftreihenversuch**

Bei jedem Probanden wurden für jeden Kraftbereich drei RMS- bzw. TURNS-Werte ermittelt. Ausnahme bildete nur der 80%MVC-Bereich, an dem nur jeweils zwei Werte

ermittelt wurden. Davon wurde der arithmetische Mittelwert gebildet und die erhaltenen Werte in Prozent zur MVC wie oben beschrieben umgerechnet.

Der Vergleich der somit erhaltenen Werte im Standard- und Wärmeversuch bzw. Standard und Kontrollversuch erfolgte mittels Student-T-Test für paarige Stichproben.

### **2.3.2 Datenerhebung im Ermüdungsversuch**

Damit die zeitlich erhobenen Werte aller 18 Probanden verglichen werden konnten, wurde die Zeitdauer auch prozentual dargestellt, wobei die Zeit von Beginn bis an den Zeitpunkt, an dem die geforderte Kraft nicht mehr gehalten werden konnte, auf 100% festgelegt wurde. Es wurden 10 Zeitabschnitte ausgewählt (10%-100% der Zeitdauer) und die Mittelwerte der dazugehörigen RMS bzw. TURNS berechnet. Anschließend konnten die Mittelwerte aller Probanden miteinander verglichen werden.



### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse des Kraftreihenversuchs

Im folgenden werden die Probandendaten dargestellt und die Ergebnisse der Versuchs- und Kontrollgruppe des Kraftreihenversuchs zusammengefaßt.

##### 3.1.1 Probandenkollektiv im Kraftreihenversuch

Sowohl die Versuchsgruppe als auch die Kontrollgruppe setzte sich aus den gleichen 21 Probanden (13 Männer, 8 Frauen) zusammen.

Das Durchschnittsalter betrug dabei 25,2 Jahre. Die maximale Abweichung vom Durchschnittsalter betrug 5 Jahre. Die durchschnittliche Größe der Probanden betrug 177 cm, bei einer maximalen Schwankung von 18 cm. Das Durchschnittsgewicht belief sich im Mittel auf 70 kg ( $\pm 22$  kg) und der mittlere Fettgehalt 16,4% ( $\pm 11\%$ ). (siehe *Tabelle 1a*)

Probanden	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	Fettgehalt [%]
Gesamt	25,2 $\pm$ 5	177 $\pm$ 18	70 $\pm$ 22	16,4 $\pm$ 11
Männer	25 $\pm$ 5	182 $\pm$ 13	77 $\pm$ 15	15,7 $\pm$ 12
Frauen	26 $\pm$ 3	170 $\pm$ 6	59 $\pm$ 8	17,5 $\pm$ 7

*Tabelle 1a: Durchschnittswerte der am Kraftreihenversuch teilnehmenden Probanden mit Angabe der maximalen Abweichung*

### 3.1.2 Ergebnisse der Versuchsgruppe im Kraftreihenversuch

Nachfolgend werden die Parameter RMS und TURNS als Ergebnisse aus der Versuchsgruppe des Kraftreihenversuchs aufgezeigt und deren Relation bestimmt.

#### 3.1.2.1 Das Verhalten der RMS-Werte der Versuchsgruppe

Die Auswertung der RMS-Werte zeigt zunächst sowohl im Standard- als auch im Wärmeversuch ein lineares Verhalten zur Höhe der Belastungsintensität (Isometrische Kraft). Die Korrelation ist streng linear. In der Gegenüberstellung der Werte des Standardversuchs mit denen des Wärmeversuchs und den zugehörigen Standardabweichungen des Mittelwertes (SEM) zeigt sich kein signifikanter Unterschied bei jeder gemessenen Belastungsstärke (10%, 30%, 50%, 80%MVC). Auch die in Ruhe ermittelten Werte weichen nicht signifikant voneinander ab.

(vgl. Abbildung 2 und Tabelle 2 im Anhang)

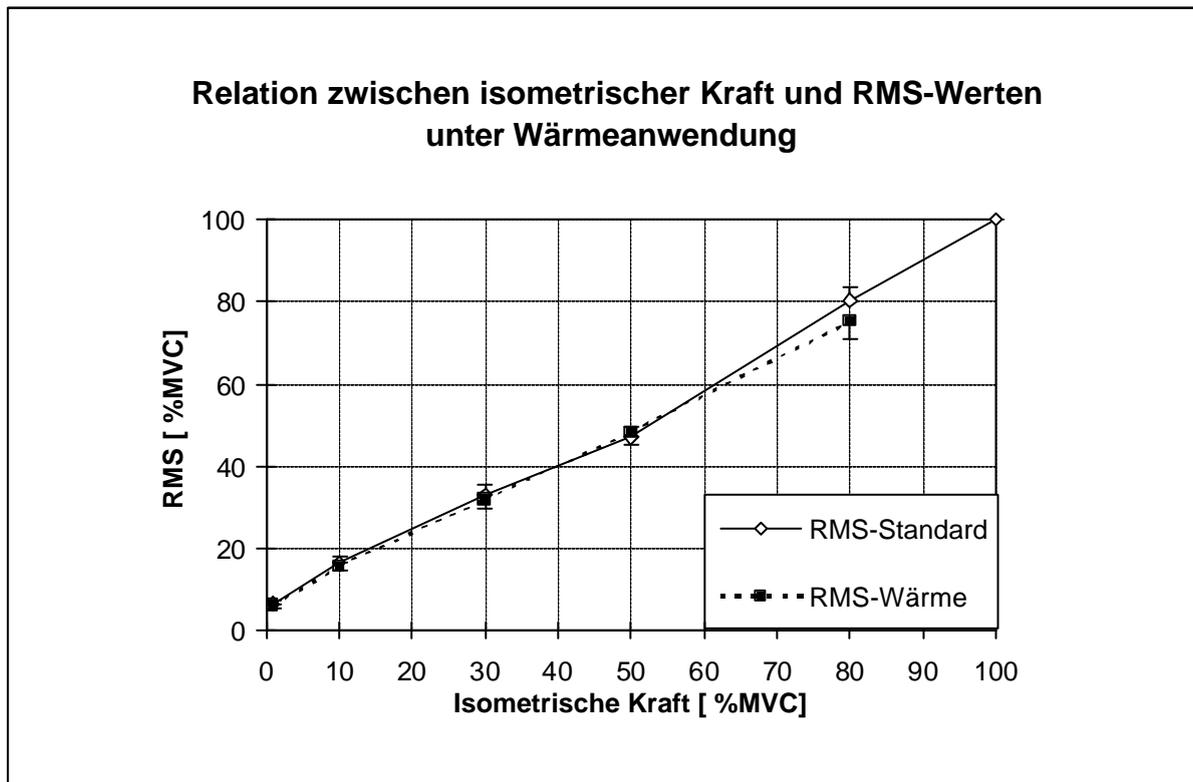


Abbildung 2: Mittelwerte des Amplitudenparameters RMS bei zunehmenden isometrischen Kontraktionen (10%, 30%, 50%, 80% und 100%MVC) vor (Standard) und nach Wärmeapplikation (Wärme) mit SEM.

### 3.1.2.2 Das Verhalten der TURNS-Werte der Versuchsgruppe

Der Frequenzparameter TURNS nimmt im Standardversuch mit steigender Belastung zu, jedoch ist die Beziehung nicht linear. Im niedrigen Kraftbereich (10% und 30%MVC) steigen die TURNS stark an, im höheren Bereich (50%-100%MVC) ist die Zunahme der TURNS bei Kraftsteigerung geringer. Im Vergleich dazu zeigen die TURNS-Werte nach Wärmeaufgabe (TURNS-Wärme) einen ähnlichen Kurvenverlauf. Die einzelnen Werte im Wärmeversuch sind für die isometrischen Kraftbereiche 30%, 50% und 80%MVC signifikant höher.

(siehe Abbildung 3 und Tabelle 3 im Anhang)

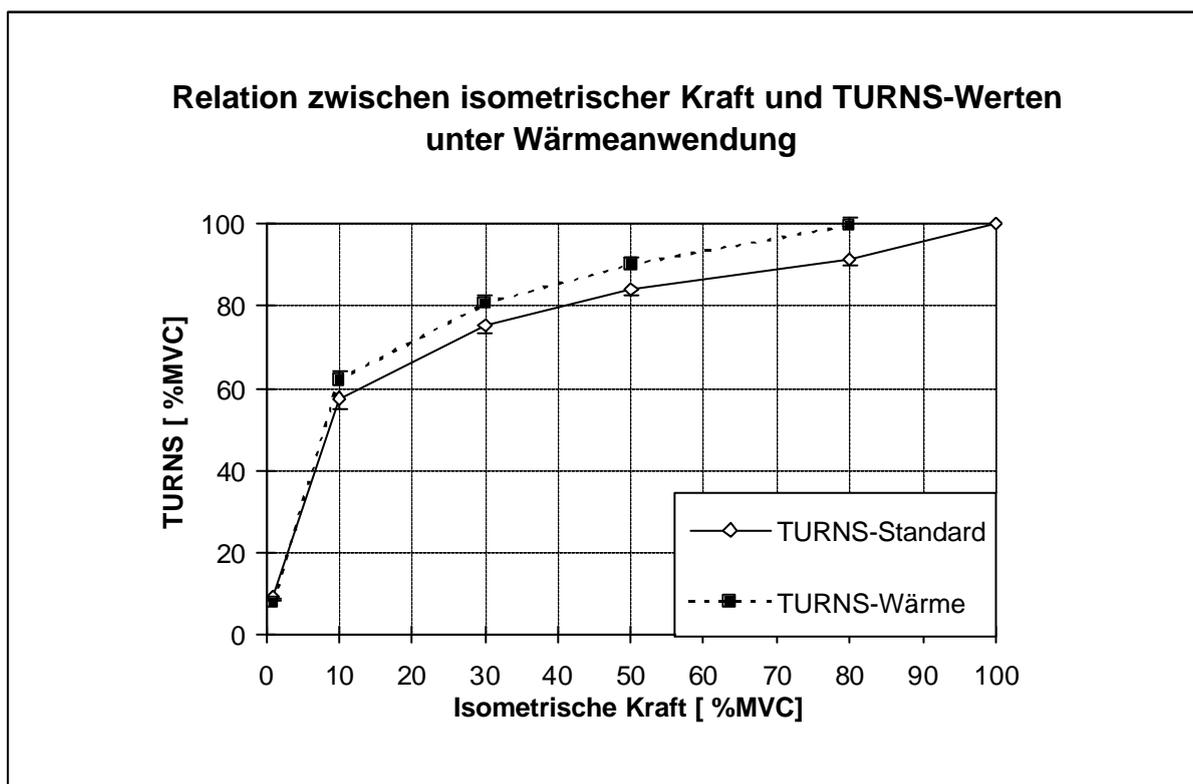


Abbildung 3: Mittelwerte des Frequenzparameters TURNS bei zunehmenden isometrischen Kontraktionen (10%, 30%, 50%, 80% und 100%MVC) vor (Standard) und nach Wärmeapplikation (Wärme) mit SEM.

### 3.1.2.3 Das Verhältnis der TURNS zu den RMS-Werten bei gleicher Kraft

Bei einem Vergleich der TURNS- mit den RMS-Werten bei gleicher Kraft (z.B. 10%MVC) zeigt sich, daß nach Wärmeapplikation bei gleichen RMS-Werten die zugehörigen TURNS-Werte höher sind (siehe Abb 4).

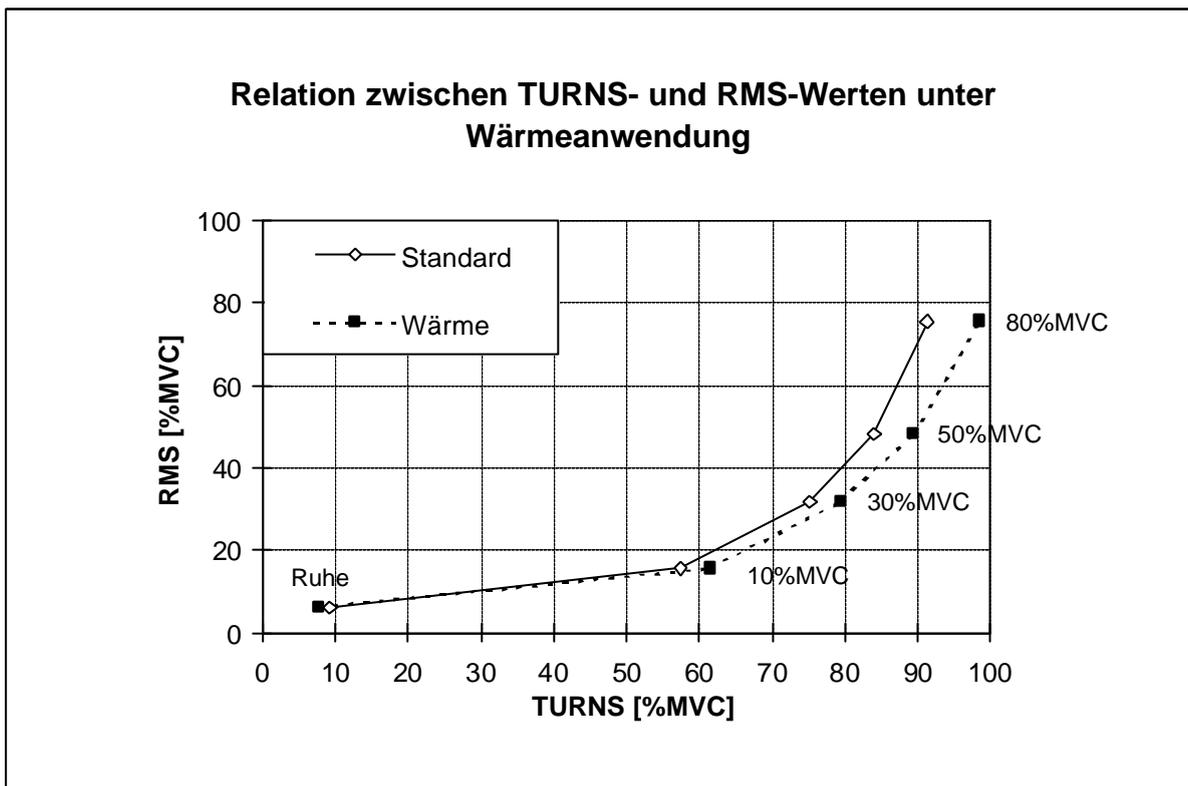


Abbildung 4: Das Verhältnis der Mittelwerte von Frequenzen (TURNS) und Amplituden (RMS) im Versuch vor (Standard) und nach Wärmeapplikation (Wärme) bei gleichen isometrischen Kraftleveln (10%, 30%, 50% und 80%MVC).

### 3.1.3 Ergebnisse der Kontrollgruppe des Kraftreihenversuchs

Im folgenden werden die Parameter RMS und TURNS als Ergebnisse aus der Kontrollgruppe des Kraftreihenversuchs aufgezeigt und deren Relation bestimmt.

#### 3.1.3.1 Verhalten der RMS-Werte in der Kontrollgruppe

In den Kontrollversuchen zeigte sich sowohl im Standard- als auch im Kontroll-versuch mit steigender isometrischer Kraft eine lineare Zunahme der RMS-Werte. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in beiden aufeinander-folgenden Versuchen (Standard, Kontrolle). (siehe Abb.5 und Tabelle 4 im Anhang)

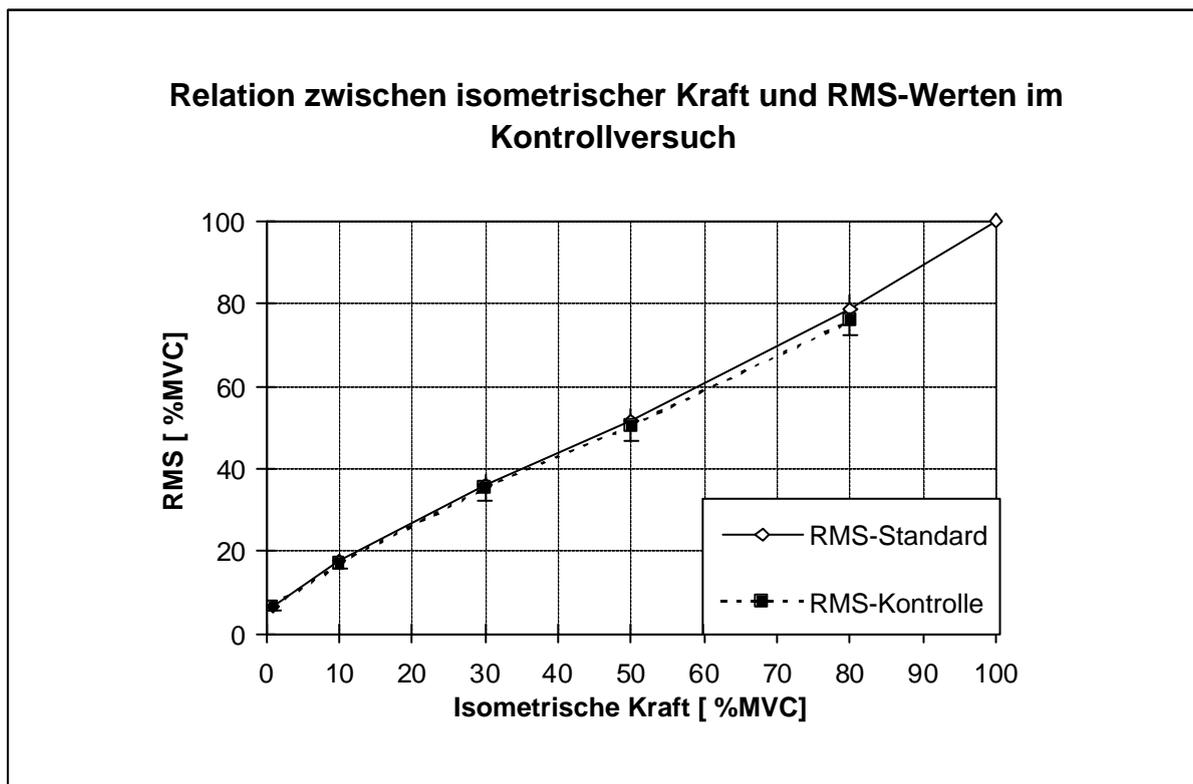
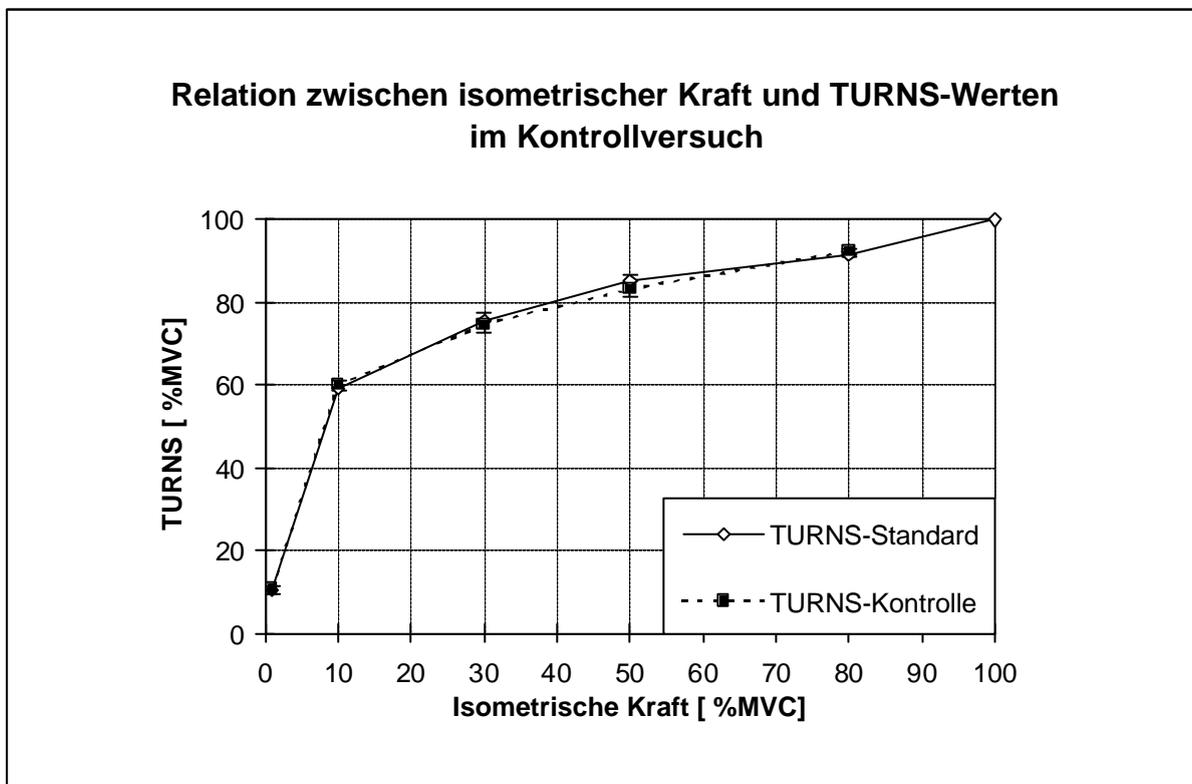


Abbildung 5: Mittelwerte des Amplitudenparameters RMS bei zunehmenden isometrischen Kontraktionen (10%, 30%, 50% und 80%MVC) im Rahmen der Kontrollversuche (RMS-Standard, RMS-Kontrolle) und SEM.

### 3.1.3.2 Verhalten der TURNS-Werte in der Kontrollgruppe

Analog dem TURNS-Verlauf des Standardversuchs der Versuchsgruppe (vgl. *Abbildung 2*) zeigte sich eine starke Zunahme der TURNS bis 10%MVC. Bei nachfolgender Steigerung der isometrischen Kraft von 10% auf 30%MVC und weiter bis auf 80%MVC stiegen die TURNS stetig an, jedoch war die prozentuale Zunahme geringer. Der nachfolgende Kontrollversuch wies keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Verlaufs auf. (siehe *Abb. 6 und Tabelle 5 im Anhang*).



*Abbildung 6: Mittelwerte des Frequenzparameters TURNS bei zunehmenden isometrischen Kontraktionen (10%, 30%, 50%, 80% und 100%MVC) im Vergleich der Kontrollversuche (TURNS-Standard, TURNS-Kontrolle) und SEM.*

### 3.2 Ergebnisse des Ermüdungsversuchs

Nach der Darstellung der Probanden werden die Ergebnisse des Hauptversuchs mit anhaltenden isometrischen Kontraktionen getrennt bei 50% und 30%MVC erläutert.

#### 3.2.1 Probandenkollektiv im Ermüdungsversuch

An diesem Versuchsabschnitt haben insgesamt 22 Probanden, davon 10 Frauen und 12 Männer, teilgenommen. Das Durchschnittsalter betrug 25 Jahre mit einer maximalen Abweichung von 4 Jahren. Die durchschnittliche Größe der Probanden lag bei 175 cm mit einer Schwankungsbreite von 19 cm. Das mittlere Gewicht wies 67 kg ( $\pm 25$  kg), der mittlere Fettgehalt 16,6% ( $\pm 11\%$ ) auf. (vgl. Tabelle 2)

Probanden	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	Fettgehalt [%]
Gesamt	25 $\pm$ 4	175 $\pm$ 19	67 $\pm$ 25	16,6 $\pm$ 11
Männer	24 $\pm$ 5	180 $\pm$ 15	74 $\pm$ 18	15,9 $\pm$ 11
Frauen	27 $\pm$ 3	169 $\pm$ 7	57 $\pm$ 10	17,7 $\pm$ 7

*Tabelle 2: Durchschnittswerte für Alter, Größe, Gewicht und Fettgehalt der am Ermüdungsversuch teilnehmenden Probanden mit maximaler Schwankungsbreite.*

### 3.2.2 Ergebnisse des Versuchs mit 50%MVC-Belastung

Zunächst werden die Ergebnisse der RMS-bzw.TURNS-Werte im zeitlichen Verlauf mit Vergleich zwischen Standard und Wärme erläutert. Im Anschluß folgt eine Darstellung der Relation RMS und TURNS sowie die Zeitdauer der mit einer isometrischen Kontraktion von 50%MVC durchgeführten Versuche.

#### 3.2.2.1 Zeitverlauf der RMS-Werte bei 50%MVC

Die Ausgangswerte der RMS entsprechen den RMS-Werten des Kraftreihen-versuchs bei 50%MVC. Im weiteren zeitlichen Verlauf zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme der Werte, wobei unter Wärme der Zuwachs niedriger ist (siehe Abb.7 und vgl. Abb.2). Dabei muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß es interindividuell zu erheblichen Schwankungen der RMS-Werte kommt (siehe Kap.7.4 im Anhang).

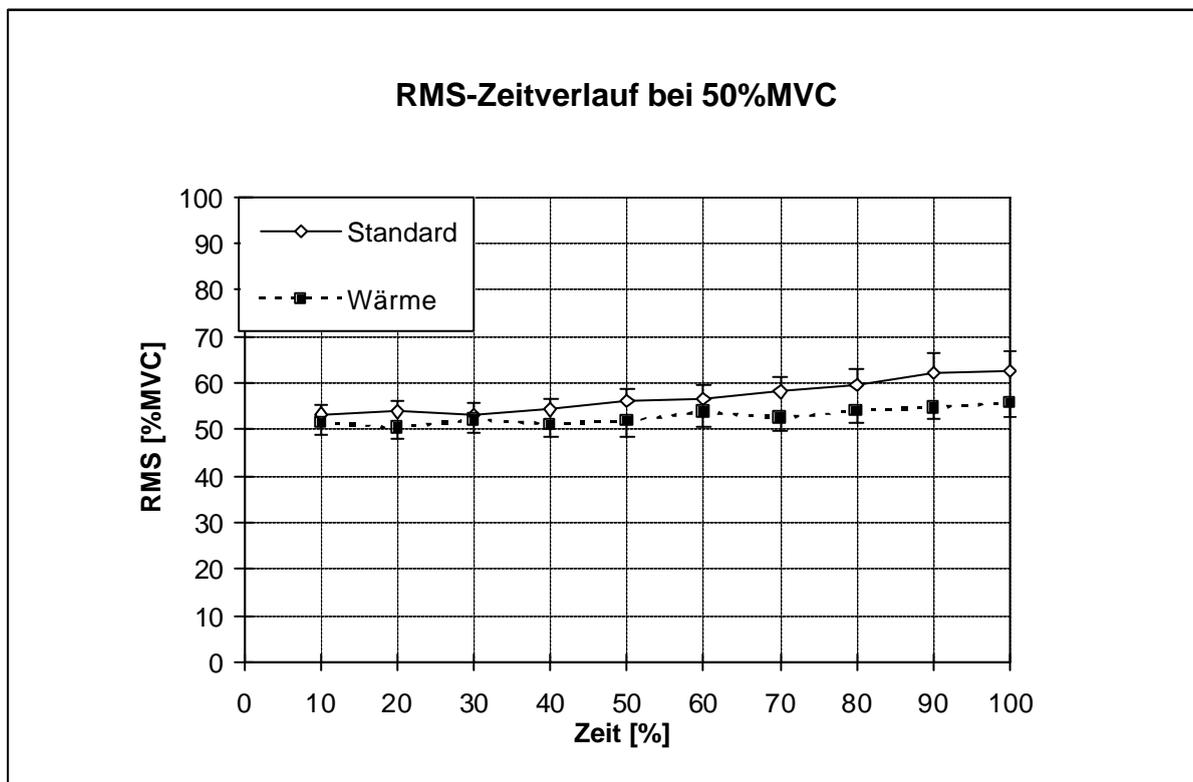


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der RMS-Mittelwerte vor (Standard) und nach Wärmeauflage (Wärme) bei einer bis zum Ausdauerpunkt (100%) anhaltenden isometrischen Kontraktion von 50% der maximal willkürlichen Kraft (MVC) und SEM.

### 3.2.2.2 Zeitverlauf der TURNS-Werte bei 50%MVC

Die Ausgangswerte der TURNS entsprechen den Werten im Kraftreihenversuch. Im weiteren Verlauf zeigt sich ein Abfall der TURNS-Werte, der zunehmend flacher wird. Im Standardversuch betragen die TURNS 84%MVC nach 4 Sekunden und nur noch 68%MVC am "Endurance point" (100%Zeit). Unter Wärmeeinfluß sind die Werte zu Beginn etwas höher (90%MVC), fallen jedoch nicht ganz so steil ab (siehe Abb.8 und vgl. Abb.3).

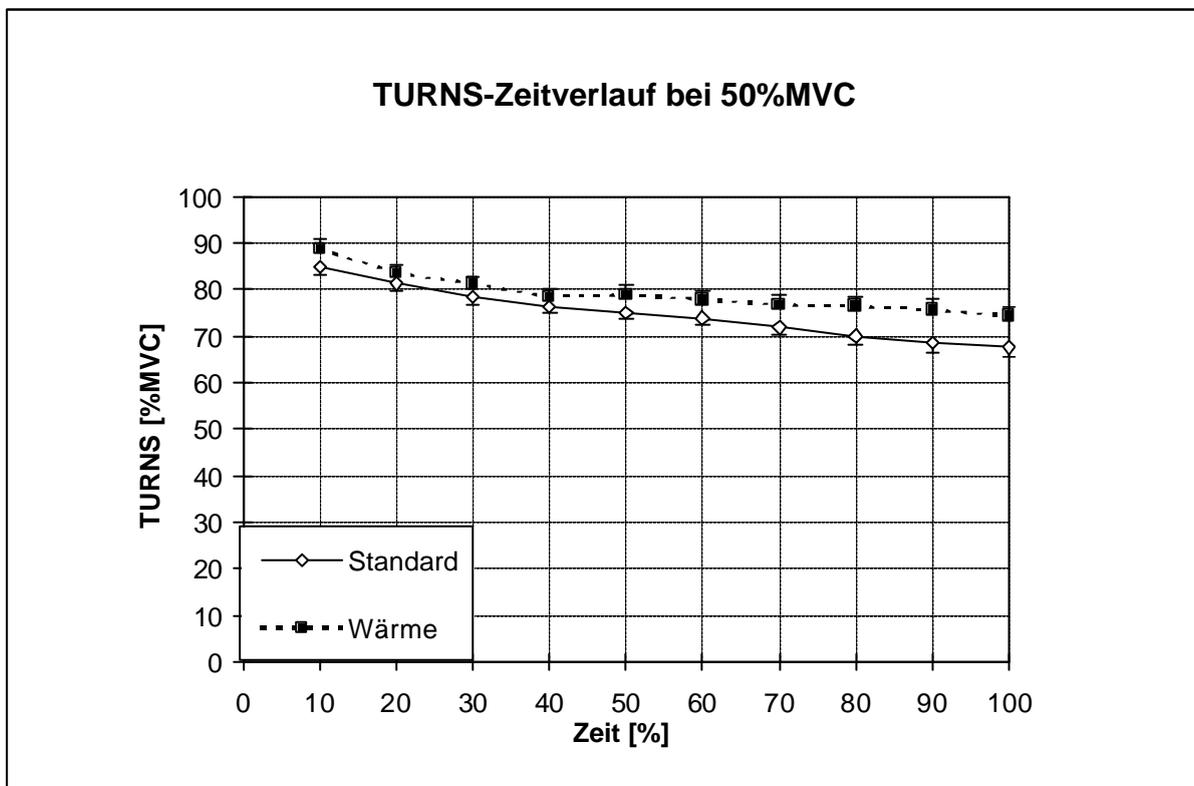


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der TURNS-Mittelwerte vor (Standard) und nach Wärmeauflage (Wärme) bei einer bis zum Ausdauerpunkt (100%) anhaltenden isometrischen Kontraktion von 50% der maximal willkürlichen Kraft (MVC) und SEM.

### 3.2.2.3 Zeitlicher Verlauf der RMS/TURNS-Relation bei 50%MVC

Die Werte nehmen sowohl bei Wärme als auch im Standardversuch kontinuierlich zu, wobei die Wärmewerte zu jedem vergleichbaren Zeitpunkt niedriger sind.

(siehe Abb.9)

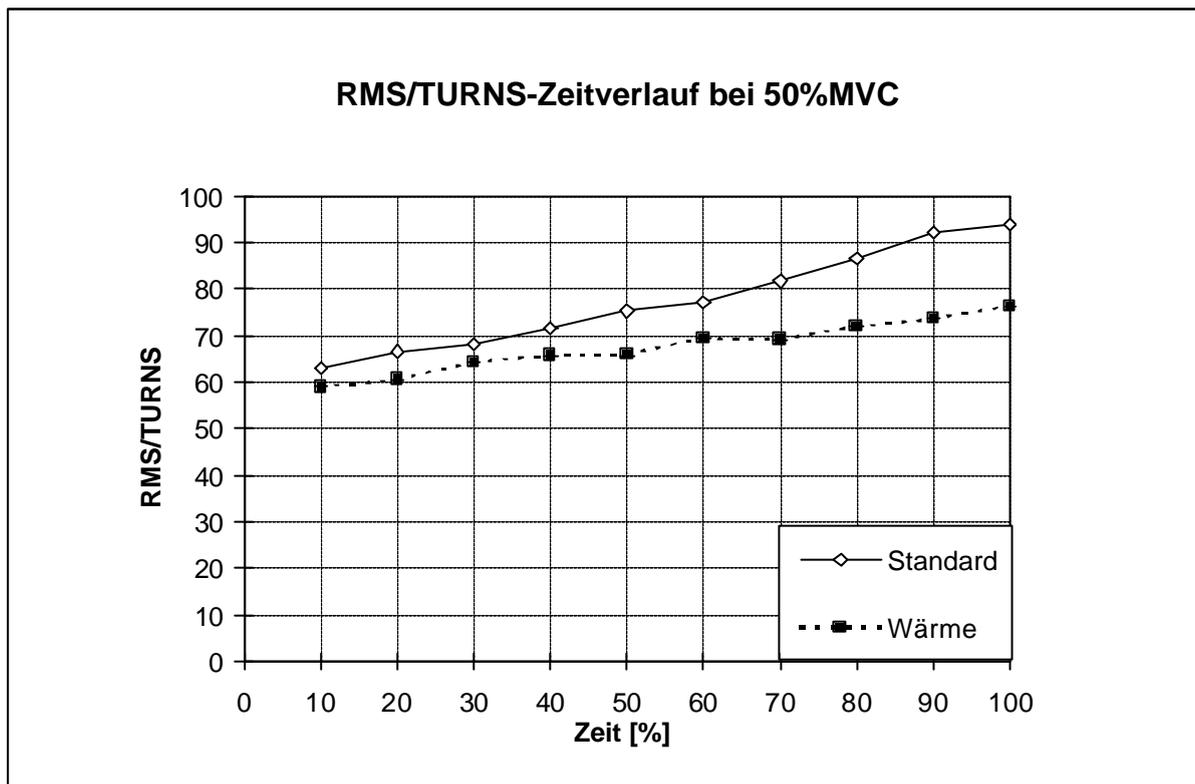


Abbildung 9: Mittelwerte der Relation RMS/TURNS im Zeitverlauf einer anhaltenden isometrischen Kontraktion mit 50%MVC sowohl im Standard- als auch im Wärmeversuch.

### 3.2.2.4 Vergleich der absoluten Zeitdauer bei 50%MVC

Die Zeitdauer von 100% entspricht dem Zeitpunkt, an dem die Kontraktion mit 50%MVC nicht mehr gehalten werden kann. Beim Vergleich der absoluten Zeitspannen zeigte sich, daß die Probanden den Standardversuch im Durchschnitt 58 Sekunden halten konnten, den Versuch unter Wärmeeinfluß 54 Sekunden lang. In beiden Versuchen kam es zu interindividuellen Unterschieden mit einer maximalen Abweichung vom Mittelwert von 19 Sekunden.

### 3.2.3 Ergebnisse des Versuchs mit 30%MVC-Belastung

Vorerst werden die Ergebnisse der RMS-bzw.TURNS-Werte im zeitlichen Verlauf mit Vergleich zwischen Standard und Wärme erläutert. Im Anschluß folgt eine Darstellung der Relation RMS und TURNS sowie die Zeitdauer der mit einer isometrischen Kontraktion von 30%MVC durchgeführten Versuche.

#### 3.2.3.1 Zeitverlauf der RMS-Werte bei 30%MVC

Bei 30%-iger Belastung entsprechen die Anfangswerte den Werten im Kraftreihenversuch. Im weiteren Verlauf zeigt sich sowohl im Standard-, als auch im Wärmeversuch zunächst eine leichte Abnahme bis 30% der Zeitdauer, dann ab 40% eine kontinuierliche Zunahme der RMS-Werte. Die Wärmewerte weisen bei jedem Zeitabschnitt ein niedrigeres Niveau auf. (siehe Abb. 10 und vgl. Abb. 2)

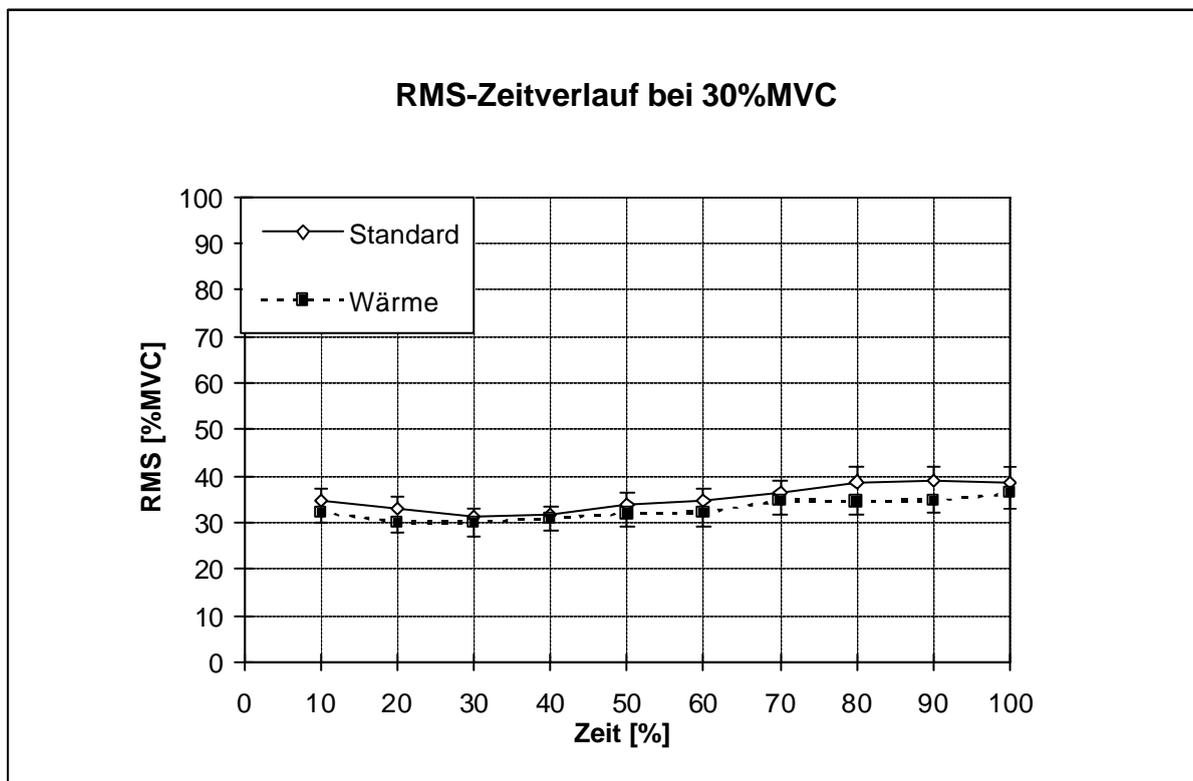


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der RMS-Mittelwerte vor (Standard) und nach Wärmeauflage (Wärme) bei einer bis zum Ausdauerpunkt (100%) anhaltenden isometrischen Kontraktion von 30% der maximal willkürlichen Kraft (MVC) und SEM.

### 3.2.3.2 Zeitverlauf der TURNS-Werte bei 30%MVC

Der Verlauf der TURNS-Werte bei 30% ist ähnlich dem Verlauf unter 50%-Belastung. Die TURNS nehmen im Zeitverlauf sowohl im Standard- als auch im Wärmeversuch kontinuierlich ab. Die Wärmewerte sind zu jedem Zeitpunkt höher. (siehe Abb. 11)

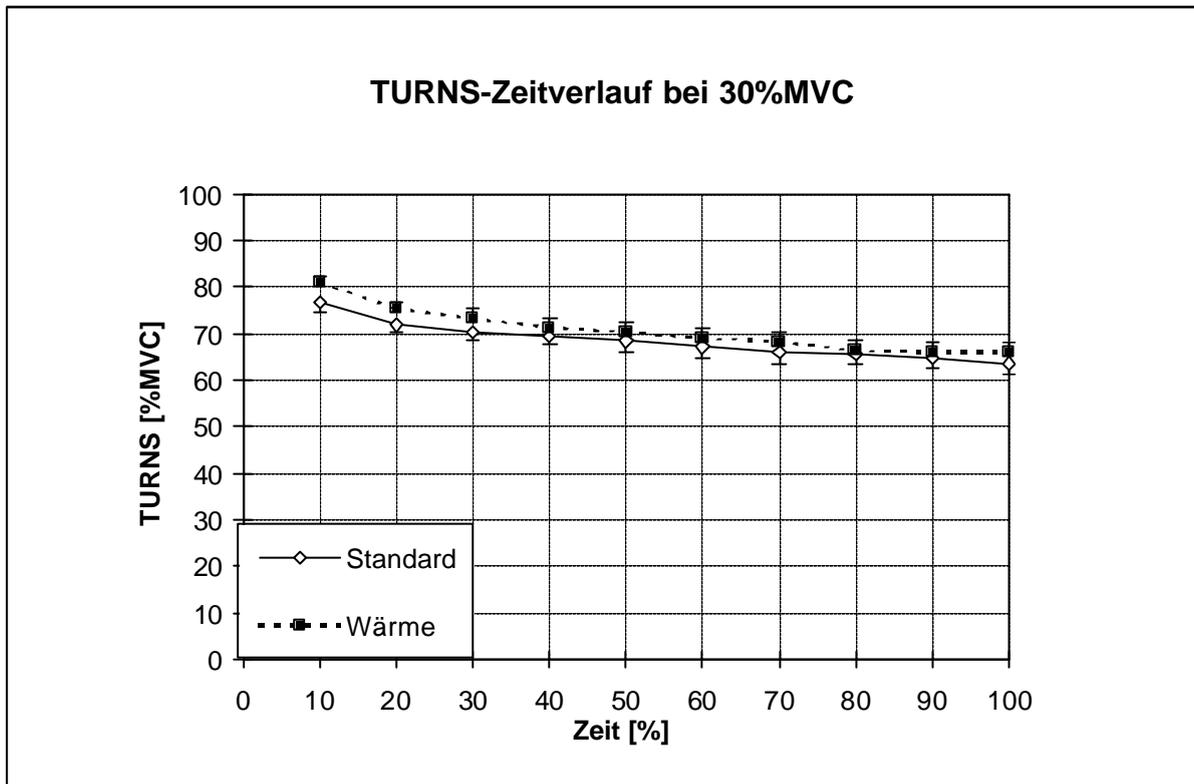


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der TURNS-Mittelwerte vor (Standard) und nach Wärmeaufgabe (Wärme) bei einer bis zum Ausdauerpunkt (100%) anhaltenden isometrischen Kontraktion von 30% der maximal willkürlichen Kraft (MVC) und SEM.

### 3.2.3.3 Zeitlicher Verlauf der RMS/TURNS-Relation bei 30%MVC

Wie im Belastungsbereich von 50%MVC nimmt das Verhältnis aus Amplituden und Frequenzen im Zeitverlauf zu, wobei hier ebenso die Wärmewerte signifikant über denen im Standardversuch liegen. (siehe Abbildung 12)

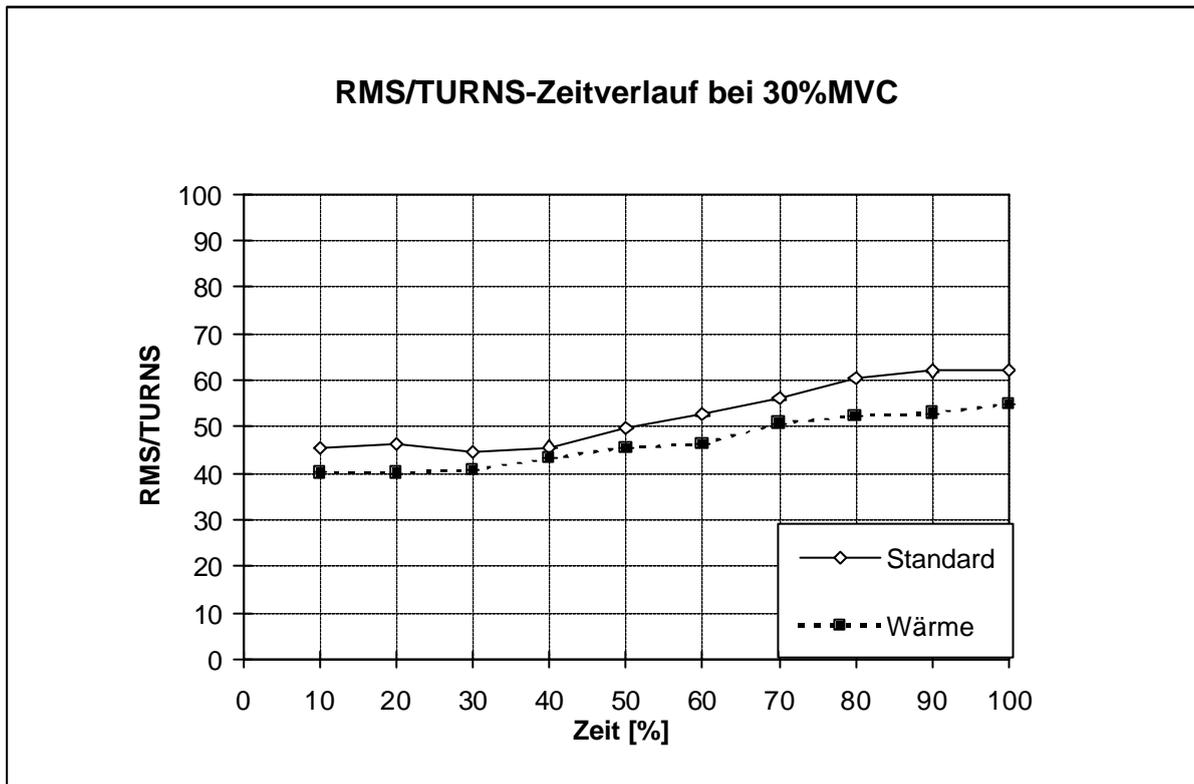


Abbildung 12: Mittelwerte der Relation RMS/TURNS im Zeitverlauf einer anhaltenden isometrischen Kontraktion mit 30%MVC sowohl im Standard- als auch im Wärmeversuch.

### 3.2.3.4 Vergleich der absoluten Zeitdauer bei 30%MVC

Im Standardversuch konnte die 30%-Belastung im Mittel für 158 Sekunden, im Wärmeversuch 148 Sekunden gehalten werden.



## **4 Diskussion**

Der Diskussionsteil umfaßt mehrere Abschnitte. Zunächst wird die angewandte Methode diskutiert. Anschließend werden die Versuchsgestaltung und die Ergebnisse besprochen. Die Schlußfolgerung enthält einen Lösungsvorschlag für die eingangs gestellte Frage dieser Arbeit.

### **4.1 Entwicklung der Methode**

Damit es möglich ist, den Einfluß von lokaler Wärmeanwendung auf das Kontraktionsverhalten der Skelettmuskulatur zu untersuchen, muß zunächst eine Methode gesucht werden, die es ermöglicht, die kontraktile Aktivität der Muskulatur quantitativ zu erfassen. Hierzu eignet sich die Kraftmessung mittels Dynamometrie.

Zur präziseren Zustandsbeschreibung unterschiedlichen Kontraktionsverhaltens der Muskulatur ist jedoch noch zusätzlich die Messung der elektrischen Muskelaktivität erforderlich, die mit Hilfe der Elektromyographie erfaßt werden kann.

Ein kurzer historischer Überblick über die Entwicklung der Elektromyographie soll dabei die in dieser Arbeit verwendete Methode veranschaulichen.

#### **4.1.1 Literaturübersicht EMG**

Die ersten elektrophysiologischen Untersuchungen am Skelettmuskel wurden bereits vor rund hundert Jahren durchgeführt. 1909 verwendete Piper erstmals Oberflächenelektroden. Anhand eines Kraftmeßgerätes und eines Galvanometers untersuchte dieser das Ermüdungsverhalten der Handgreifmuskulatur [PIPER 1909, 1912]. Ergebnis dieser Methode war die Erkenntnis, daß sich im Verlauf einer isometrischen Kontraktion die Frequenzen und Amplituden der abgeleiteten elektrophysiologischen Aktivität verändern. Genauere Untersuchungen zeigten dabei einen Abfall der Frequenzen und eine Zunahme der Amplituden [COBB et al. 1923].

1928 wurden erstmals Nadelelektroden verwendet, um die Entladungsfrequenzen einzelner motorischer Nervenfasern messen zu können [ADRIAN et al. 1928]. Dabei

kam man zu dem Ergebnis, daß mit steigender Kontraktionskraft die Entladungsfrequenz des Aktionspotentials einer einzelnen motorischen Einheit zunimmt. In weiteren Versuchen mittels invasiver Nadelelektroden entdeckte man unter Erhöhung der Kontraktionskraft einer isometrischer Anspannung neben Anstiegen der Entladungsfrequenzen auch eine Zunahme der Anzahl einzelner motorischer Einheiten [ECCLES et al. 1930].

Erst durch den Einsatz von Oberflächen Elektroden fand man eine direkte Beziehung zwischen der isometrischen Kontraktionskraft des Muskels und des elektrophysiologisch abgeleiteten Potentials [BAYER et al. 1950, KNOWLTON et al. 1956]. Als Meßparameter für die elektrische Aktivität wurde das Integral des abgeleiteten Interferenzmusters verwendet (iEMG). Die Untersuchungen an verschiedenen Muskelgruppen zeigten sehr unterschiedliche Ergebnisse. Für den Musculus gastrocnemius wurde z.B. eine streng lineare Beziehung zwischen Kraft und iEMG nachgewiesen [LIPPOLD 1952, BIGLAND et al. 1954]. Für die Unterarmbeuger M. biceps brachii und M. brachialis resultierten jedoch sehr widersprüchliche Ergebnisse mit linearen, curva-linearen und exponentiellen Verläufen. [BAYER et al. 1950, INMAN et al. 1952, BUCHTHAL et al. 1954, KNOWLTON et al. 1956, DeVRIES 1968, LAURIG 1970, KURODA et al. 1970, VREDENBREGT et al. 1973]. Einige Autoren erkannten, daß die Diskrepanz hauptsächlich auf die unterschiedlichen Methoden zurückzuführen war [NIGHTINGALE 1960, PERRY et al. 1981].

Erste Versuche, die Wirkung physikalischer Therapien zu objektivieren, wurden 1956 mittels Oberflächen-Elektromyographie am lumbalen M. erector trunci unternommen [BRÜGGER et al. 1954]. Hierbei wurde der inaktive Muskel untersucht, dessen elektrisches Signal so schwach ist, daß Störgrößen die Ergebnisse beeinträchtigten [GÖPFERT et al. 1963].

Etwa im selben Zeitraum wurden mit Hilfe der Elektrophysiologie Muskelleistung und Trainingseffekte auf die Skelettmuskulatur untersucht [BUCHTHAL 1955, HETTINGER et al. 1953, FRIEDEBOLD et al. 1957, STOBOY 1958]. 1958 zeigte Clarke, daß mit Zunahme der Muskeltemperatur die Dauer einer anhaltenden isometrischen Kontraktion

abnimmt, wobei gleichzeitig die elektrische Aktivität (iEMG) zunimmt [CLARKE et al. 1958].

Eine Studie, die erstmals sowohl Nadel-, als auch Oberflächenelektroden verwendete, bestätigte die lineare Beziehung zwischen isometrischer Kontraktionskraft und dem iEMG-Parameter am M. gastrocnemius. Anhand der Nadelelektroden wurde die Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten gemessen, die mit steigender Kontraktionskraft linear zunahm [BERGSTRÖM 1959].

Weiterhin entdeckte man, daß das abgeleitete EMG nicht nur von der Größe der Kraft, sondern auch von der Dauer der Kraftbelastung abhängt [EASON 1960, LIPPOLD 1960]. Ein mathematisches Modell zur korrekten Definition von Emg-Parametern und eine neue Methode, die sog. Spektral-Power-Analyse, wurden entwickelt [KADEFORS et al. 1968, LINDSTRÖM 1970, LAGO et al. 1977]. Diese ermöglichte unter Anwendung der Fast-Fourier-Transformation die getrennte Untersuchung der unterschiedlichen Frequenzbereiche des EMG-Musters. Der dabei gemessene Amplitudenparameter wird als Root Mean Square (RMS) berechnet. Durch Einführung dieser Frequenzspektrumanalyse konnte gezeigt werden, daß es im Verlauf einer isometrischen Kontraktion zu einer Zunahme des RMS-Wertes und einer Abnahme der gemittelten Frequenzwerte kommt [KADEFORS et al. 1968, LINDSTRÖM 1970, MORTIMER et al. 1970].

Parallel dazu laufende Studien im Bereich der invasiven Elektromyographie mittels Nadelelektroden kamen zu neuen Erkenntnissen über einzelne motorische Einheiten und deren Rekrutierungs- bzw. Entladungsverhalten [MILNER-BROWN 1975, GRIMBY 1976, HANNERZ 1974]. Dabei fand man heraus, daß in der Skelett-muskulatur unterschiedliche motorische Einheiten existieren, die Aktionspotentiale mit verschiedenen großen Amplituden erzeugen. Außerdem sind die motorischen Einheiten in der Lage die Entladungsfrequenz zu regulieren [MILNER-BROWN 1975].

Spätere Studien, die zusätzlich zur Spektralanalyse auch die Leitungsgeschwindigkeit der Motoneurone ermittelten, entdeckten einen engen Zusammenhang zwischen der Leitungsgeschwindigkeit „conduction velocity“ (CV) und den gemittelten

Entladungsfrequenzen „mean power frequency“ (MPF) [SADOYAMA et al. 1981, DeLUCA et al. 1982a,b, BIGLAND-RITCHIE et al 1981].

Wichtige Erkenntnisse über Veränderungen durch Faktoren wie Temperatur, Muskellänge und Fasertypisierung folgten erst in späteren Arbeiten [PETROFSKY et al. 1979-86, GERDLE et al. 1988, ARENDT-NIELSEN et al. 1984-1992]. Die Frequenzanalyse brachte neue Erkenntnisse über das Ermüdungsverhalten der Muskulatur. Mit jeder weiteren Studie kommt man der vollständigen Analyse des komplexen elektrophysiologischen Musters der Skelettmuskulatur näher.

#### **4.1.2 Oberflächen-EMG-Messung**

Die Kraftmessung mittels Dynamometrie gibt lediglich Auskunft über den mechanischen Kontraktionszustand eines Muskels, jedoch nicht über die elektrische Aktivität oder den Muskeltonus. Die Oberflächen-Elektromyographie eignet sich, wie im vorhergehenden Kapitel gezeigt wurde, zur Messung des elektrophysiologischen Potentials eines Muskels und kann damit zur Muskeltonusbestimmung heran-gezogen werden.

Optimal wäre zunächst die Messung der elektrischen Ruheaktivität eines Muskels. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß immer eine Restaktivität besteht, die erheblich durch äußere Reizeinwirkungen beeinflusst wird [GÖPFERT 1963]. Außerdem wirken sich Störgrößen, wie benachbarte Muskelgruppen, als auch Hintergrundrauschen auf die Messungen aus und verhindern somit die Bestimmung der "wahren" Ruheaktivität. Unsere Untersuchungen wurden deshalb am aktiven, arbeitenden Muskel vorgenommen.

Das Oberflächen-EMG ermöglichte dabei das Summenpotential vieler aktivierter motorischer Einheiten (MU) eines Muskels abzuleiten. Die Untersuchung einzelner MU mittels Nadelelektroden gewährt hingegen keinen Einblick in das Verhalten eines Muskels, sondern spiegelt nur die Aktivität eines geringen Teils der Gesamtheit motorischer Untereinheiten wider [MILNER-BROWN et al. 1974].

Als Meßgröße für das elektrophysiologische Potential läßt sich das von vielen Autoren beschriebene integrierte EMG (iEMG) verwenden [BAYER et al. 1950, INMAN et al. 1952, BUCHTHAL et al. 1954, KNOWLTON et al. 1956, DEVRIES 1968, LAURIG 1970, KURODA et al. 1970, VREDENBREGT et al. 1973]. Das elektrophysiologische Muster während einer isometrischen Kontraktion läßt sich jedoch auch getrennt nach Amplituden und Frequenzen darstellen. Die getrennte Analyse dieser relevanten elektrophysiologischen Parameter sollte in dieser Arbeit eine exaktere Beschreibung des Muskelzustands ermöglichen.

Als Meßgröße für die mittlere Amplitude bot sich hierbei der „Root Mean Square-“ Wert (RMS) an [KADEFORS et al. 1968, LINDSTRÖM 1970, MORTIMER et al. 1970]. Der RMS-Wert des Oberflächen-EMGs zeigt dabei an, wie groß die mittlere Spannungsamplitude aller im Meßversuch erfaßten Motorischen Einheiten ist. Wie bereits gezeigt, können anhand des RMS-Parameters Aussagen über die Höhe der Kontraktionskraft getroffen werden [LAURIG 1970, PETROFSKY et al. 1982, LAWRENCE et al. 1983, MORITANI et al. 1987, Gerdle et al. 1988, LOSCHER et al. 1994].

Als Frequenzparameter eignet sich der durch die Spektralanalyse berechnete "Mean Power Frequency" (MPF)-Wert [SADOYAMA et al. 1981, DELUCA et al. 1982, BIGLAND-RITCHIE 1979, BIGLAND-RITCHIE et al. 1981]. Einen etwas sensibleren Frequenzparameter stellt jedoch der TURNS-Wert dar [GUGGEMOS 1995, MAGYAROSY et al. 1990, EBENBICHLER et al. 1994, FINSTERER et al. 1996]. Dieser gibt an, wieviele Wendepunkte (daher der Begriff "TURNS") das elektrophysiologische Muster innerhalb einer Sekunde durchläuft. Die Spannungs-differenz muß dabei mindestens 0,1 mV betragen, um einen TURN zu werten. Geringere Schwankungen, die vorwiegend durch Störeinflüsse entstehen, werden dadurch herausgefiltert. Der TURNS-Wert entspricht dabei dem in der Literatur verwendeten "Zero Crossing Rate" (ZCR), welcher die Zahl der Nulldurchgänge des elektrophysiologischen Musters wertet [UMEZU et al. 1998, HAGG 1997]. Die TURNS- bzw. ZCR-Werte und der MPF-Wert verhalten sich dabei ähnlich [HAGG 1991].

### 4.1.3 Elektroden

Die Elektroden spielen in der Oberflächenelektromyographie eine entscheidende Rolle. Sowohl die Größe, die Platzierung über dem abzuleitenden Muskel, der Interelektrodenabstand als auch der Ableitungsmodus können das elektro-physiologische Potential beeinflussen [KOMI et al. 1970, ZUNIGA et al. 1970, LAURIG et al. 1970, MORTIMER et al. 1970, MILNER-BROWN 1975, MORITANI et al. 1978, DELUCA 1979, PETROFSKY et al. 1980, ZIPP 1982, ROY 1986, FUGLEVAND 1992, KOH 1993].

Die Elektrodengröße hat Einfluß auf den absoluten Meßwert der Amplituden [PETROFSKY et al. 1980, LAURIG et al. 1970]. Deshalb wurden für alle Versuche die in der Klinik herkömmlich eingesetzten EKG-Klebelektroden Ag-AgCl mit dem Innendurchmesser von 1,7 cm verwendet. Durch Berechnung der Amplitudenwerte in Relation zum 100%MVC-Wert ist anzunehmen, daß die Ergebnisse durch die Elektrodengröße nicht beeinflußt werden.

Bei der Positionierung der Elektroden wurde darauf geachtet, daß sich möglichst nur der abzuleitende Muskel in unmittelbarer Nähe befand, weil anderenfalls benachbarte Muskelgruppen das Signal verfälschen könnten. [KOH 1993]. Außerdem sollten möglichst oberflächige Muskelfasern gemessen werden, da bei tieferen Fasern ein Effekt entsteht, der die hochfrequenten Signale herausfiltert. [DELUCA 1979].

Mit zunehmendem Abstand der Elektroden von den aktiven Muskelfasern nehmen sowohl die mittlere Amplitude als auch die gemessenen Frequenzen ab [SADOYAMA et al 1981]. Weitere Untersuchungen kamen zum Ergebnis, daß die höchsten Werte für die Amplituden- als auch die Frequenzparameter erhalten werden, wenn die Elektroden in der Region der Innervationszone und distal des Sehnenansatzes plziert werden. Außerdem läßt sich in dieser Position eine lineare Beziehung zwischen Frequenzparametern und Leitungsgeschwindigkeit feststellen [ROY 1986] .

Darüberhinaus konnte gezeigt werden, daß eine Verringerung des Interelektrodenabstands die störenden Signale aktiver motorischer Einheiten benachbarter Muskeln reduziert. [ZIPP 1982].

Die Reproduzierbarkeit der Versuche stellt aufgrund des Einflusses der Elektrodenplatzierung ein wesentliches Problem dar. Sowohl Untersuchungen mit Nadel- als auch mit Oberflächenelektroden wiesen in älteren Studien eine sehr schlechte Reliabilität auf, weshalb die Elektrodenposition innerhalb eines Versuches beibehalten wurde [KOMI et al. 1970, JONNISON 1973, ROY 1986, LI et al. 1996]. Elektroden, die hintereinander geschaltet werden, d.h. längs zur Faserrichtung, zeigen größere mittlere Amplitudenwerte als parallel angeordnete [MORTIMER et al. 1970, ZEDKA et al 1997]. Eine Erklärung hierfür wäre, daß die Signale der Elektroden in Serie mehrfach gemessen werden. Eine Studie kam sogar zu dem Ergebnis, daß vorwiegend die Elektrodenanordnung für die unterschiedlichen Ansichten bzgl. der Relation zwischen Kraft und Amplituden verantwortlich ist [MORITANI et al. 1978].

Aufgrund dieser vielfachen Einflüsse wurden in Vorversuchen unterschiedliche Elektrodenplatzierungen getestet. Die Befestigung der Anode über den im Querschnitt größten Muskelbauch der Mm. ext. carpi radialis und der Katode in einem Abstand von 3,5 cm lateral zeigte die geringsten Störeinflüsse. Die parallele Anordnung der Elektroden verhindert zudem ein Verrutschen während der Muskelkontraktionen [ZEDKA et al. 1997].

Als Modus wurde eine unipolare Ableitung gewählt. Die oberflächige Lage der Mm. extensor carpi radialis und große Nähe zu den auf der Haut angebrachten Elektroden gewährleistete eine gute Signalübermittlung und Verringerung der Störeinflüsse benachbarter Muskelgruppen. Durch Beibehaltung der Elektrodenposition während der Versuche blieben die Meßwerte eines Probanden vergleichbar. Die Frage der Reproduzierbarkeit konnte jedoch nicht geklärt werden. Zur Verbesserung der elektrischen Kontaktfläche wurde die Haut kurz mit alkoholgetränkten Wattetupfern desinfiziert und anschließend die Elektroden mit wenig Kontaktgel aufgeklebt.

#### 4.1.4 Kraftmessung

Damit in dieser Studie das Kontraktionsverhalten der Skelettmuskulatur bei unterschiedlich starker Muskelanspannung untersucht werden konnte, wurde die Kraft mittels Dynamometrie gemessen.

An einer Bewegung sind meist mehrere Muskelgruppen beteiligt. Für diese Arbeit wurde eine Muskelgruppe ausgewählt, die ohne Beteiligung benachbarter Muskeln eine Bewegung in einer Ebene durchführt und mittels Oberflächen-EMG untersucht werden konnte. Die Mm. extensores carpi radialis, die isoliert zur Streckung im Handgelenk führen, waren deshalb besonders gut geeignet [KAKUDA et al. 1998, ROMAIGUERE et al. 1989].

Zur Konstanthaltung des Kraftniveaus wurde als Muskularbeitsform die isometrische Kontraktion verwendet. Es konnte gezeigt werden, daß dynamische Arbeitsformen sowohl durch Änderung der Muskellänge als auch durch Änderung der Kontraktionsgeschwindigkeit Einfluß auf die elektrophysiologischen Größen haben [VREDENBREGT et al. 1973, HANNERZ 1974, YONEDA et al. 1985, DOUD et al. 1987, GERDLE et al. 1988]. Auch exzentrische und konzentrische dynamische Arbeitsformen weisen unterschiedliches Verhalten bezüglich der elektrophysiologischen Parameter auf [KOMI 1973, POTVIN 1997]. Zunehmende Muskellänge führt dabei zu einer Abnahme der Leitungsgeschwindigkeit und der mittleren Frequenzen [ARENDET-NIELSEN et al. 1992, BAZZY et al. 1986].

Die maximale willkürliche Kontraktionskraft eines Muskels ist in genau einer Richtung der Bewegungsebene am größten. Die Richtung des Kraftvektors einer isometrischen Kontraktion ist dabei von der Muskellänge bzw. dem Gelenkwinkel abhängig [VREDENBREGT et al. 1973]. Die Richtung, in der die Anzahl an rekrutierten motorischen Einheiten am größten ist, weist die höchsten EMG-Amplitudenwerte auf. Dabei ist die Amplitude direkt proportional zum Kosinus des Winkels zwischen der optimalen Richtung und der des Kraftvektors [THEEUWEN et al. 1999].

Ein eigens hierfür konzipiertes Kraftmeßgerät gewährleistete alle geforderten Bedingungen optimal. Die Konstruktion ließ lediglich die Messung einer senkrecht zum Metakarpale-II-Knöchelchen durchgeführten Bewegung zu. Außerdem war der Unterarm auf einer Schiene fixiert, so daß eine störende, falsche Beugung im Ellbogengelenk vermieden werden konnte. Aufgrund des Einflusses unterschiedlicher Muskellänge wurde der Winkel im Handgelenk für alle Probanden so justiert, daß die isometrische Kontraktion in 0° nach der Neutral-Null-Methode durchgeführt wurde. Der Drucksensor konnte individuell verschoben werden, so daß es möglich war den Druckpunkt je nach Handgröße genau über dem Metakarpale-II-Knöchelchen zu plazieren. Da unterschiedliche Pro-/ Supinations-winkel im Handgelenk die Parameter ebenso beeinflussen, wurde dieser Winkel auch konstant bei 0° belassen. Durch einheitliche Messungen der linken Seite konnten Unterschiede der Amplitudenwerte aufgrund nachgewiesener Differenzen des linken und rechten Handgelenks [HAGBERG 1989] vernachlässigt werden. Tageszeitliche Schwankungen der Muskelkraft, die sich sowohl auf die Maximalkraft als auch auf das Ermüdungsverhalten auswirken können [GAUTHIER et al. 1996], wurden durch Messungen zur selben Tageszeit minimiert.

#### **4.1.5 Wärmeanwendung**

Von der Problemstellung ausgehend, ein geeignetes Verfahren zur lokalen Erwärmung einer Muskelgruppe zu finden, das zudem noch möglichst praxisnah ist, wurde die Applikationsform einer eingeschweißten Moorpackung angewandt. Vorteile sind zum einen die gute Verformbarkeit des Mediums, um sich der Haut-oberfläche anzupassen und zum anderen gute Wärmespeichereigenschaften des Peloids [RACHOR et al. 1981]. In einer Analyse der verwendeten Moorzusammen-setzung zeigte sich die Temperatur für einen Zeitraum von 11 Minuten konstant, wobei ein Abfall um 1°C erst nach 25 Minuten eintrat [HÖLL 1995].

Die Größe der Packung wurde so gewählt, daß sie den zu untersuchenden Muskelbereich vollständig abdeckte. Eine Schichtdicke von 3 cm sollte dabei eine ausreichende Wärmespeicherung gewährleisten. Damit der Wärmeverlust an die Umgebung nicht zu groß war, wurde die Packung zusätzlich mit Handtüchern umwickelt.

Vorraussetzung dafür, daß ein Wärmetransport von der Packung zum Muskel stattfindet, ist ein bestehender Temperaturgradient. In Tierexperimenten konnte gezeigt werden, daß die Muskeltemperatur selbst bei Belastung und standardisierter Umgebungstemperatur 39°C nicht überschreitet [DREXEL 1978]. Wird eine Wärmepackung von 45°C appliziert, findet mittels Konduktion ein Wärmefluß statt. Die dadurch erhöhte Muskeldurchblutung und der einhergehende Wärmeabtransport hat kaum Einfluß auf die zunehmende Muskeltemperatur [KLEINSCHMIDT 1985].

Ein Verzicht auf invasive Temperaturmessung an den Probanden verhinderte die Auslösung von Schmerzreizen, die Einfluß auf die elektromyographischen Untersuchungen haben könnten. Der Nachweis in Tierversuchen, daß bei 20-minütiger Applikation einer 45°C heißen Packung noch in einer Tiefe von 3 cm ein Temperaturanstieg von 2-3°C meßbar ist [SCHNITZER 1981], war für die Untersuchung ausreichend. Obwohl der Körper eine Hautschmerzgrenze von 42°C besitzt, wird eine Moorpackung bis 50°C toleriert [SCHMIDT 1989]. Die Begründung hierfür liegt in den gleichen Wärmeeindringzahlen von Moor und Körpergewebe [KLEINSCHMIDT 1988]. Diese nachgewiesene Schmerztoleranzgrenze von 50°C [SCHMIDT 1989] und die zusätzliche Befragung jedes einzelnen Probanden auf Verträglichkeit bei ca. 45°C, ermöglichte weitgehend den Ausschluß von Schmerzreizen, die das EMG-Muster nachhaltig beeinflussen können.

Die Temperaturmessung zwischen Packung und Haut ergab nach 15 Minuten Einwirkzeit der Thermopackung immer noch 40,6°C ( $\pm 0,4^\circ\text{C}$ ). Am Ende des Wärmeversuchs wies die Packung eine durchschnittliche Temperatur von 38°C auf.

Da auch tageszeitliche Wirkunterschiede durch wechselnde Reagibilität des Organismus auf thermische Reize nachgewiesen werden konnten, erfolgte der Versuch bei allen Probanden zur selben Tageszeit (Beginn zwischen 17 und 18 Uhr) und zur gleichen Jahreszeit (Frühling). [HILDEBRANDT 1970, HELLER et al. 1982]. Erwähnenswert erscheint auch noch, daß die Umgebungstemperatur konstant zwischen 20°C und 22°C betrug und somit die Laktatakkumulation und damit Ausdauerfähigkeit nicht durch Schwankungen der Raumtemperatur beeinflußt wurde [YOUNG et al. 1985].

## **4.2 Versuchsgestaltung**

In diesem Abschnitt wird die Gestaltung der einzelnen Versuchsabschnitte mit Aufwärmphase, Kraftreihen- und Ermüdungsversuch diskutiert.

### **4.2.1 Aufwärmphase**

Vor Beginn sowohl des Kraftreihen-, als auch des Ermüdungsversuchs mußte die maximal willkürliche Kontraktionskraft (MVC) jedes Probanden bestimmt werden. Die meisten Autoren verwendeten zur Bestimmung der maximal willkürlichen Kontraktionsstärke den größten von drei hintereinander gemessenen Werten [u.a. PETROFSKY et al. 1982]. Diese hatten jedoch keine Aufwärmphase, sondern ließen die Probanden ohne Vorbelastungen der jeweiligen Muskelgruppen die Kontraktionen durchführen.

Eine wichtige Ausgangsbedingung für einen möglichst hohen Maximalkraftwert stellt jedoch die Betriebsbereitschaft der beanspruchten Muskelgruppe dar. Deshalb war es notwendig die Muskulatur vor der maximalen isometrischen Belastung aufzuwärmen [HOLLMANN 1985].

Durch den Aufwärmversuch konnte gezeigt werden, daß die Muskulatur erst nach wiederholter Kraftbelastung zur maximalen Kontraktion fähig ist. Somit konnte der erste maximale Versuch gewertet werden.

Der Ablauf der Aufwärmphase wurde dabei genauso wie der spätere Hauptversuchsablauf gestaltet, damit sich der Proband mit den Aufgaben vertraut machen konnte. Außerdem wurden somit für alle Probanden die gleichen Ausgangsbedingungen sichergestellt.

#### 4.2.2 Kraftreihenversuch

Ziel des Kraftreihenversuchs sollte die Untersuchung kurzer nicht-ermüdender isometrischer Kontraktionen für verschiedene Kraftlevel sein. Dabei wurden Frequenz und Amplitude des myoelektrischen Signals unter Standardbedingungen und unter Muskelerwärmung ermittelt.

Im folgenden wird die Notwendigkeit unterschiedlicher Kraftbereiche erläutert. Als "motorische Einheit" bezeichnet man ein Motoneuron und die zugehörigen Muskelfasern. Je nach Muskelgruppe kann dabei die Anzahl der Fasern beträchtlich schwanken. Von einem feinmotorischen Innervationsverhältnis 1:10 bis hin zum kraftbetonten, grobmotorischen 1:1000 Verhältnis [LAURIG et al. 1970]. Aus elektrophysiologischen Erkenntnissen unterscheidet man zwei Typen von motorischen Einheiten. Es gibt niederfrequent entladende Einheiten, die Fasern vom "Slow-Twitch" Typ enthalten und eher hochfrequent entladende Einheiten vom "Fast-Twitch" Typ [MONSTER 1979]. "slow-twitch", oder auch Typ I-Fasern genannt, sind vorwiegend an Bewegungen sehr niedriger Belastung (0-30%MVC) beteiligt und besitzen viele Mitochondrien und oxidative Enzyme. Die "fast-twitch" oder auch Typ II-Fasern haben eine hohe Kontraktionskraft und sind deshalb an Belastungen im höheren Kraftbereich (30%-100%MVC) mittels anaerobem Stoffwechsel beteiligt. Bei unterschiedlich hohen Kraftbelastungen sind deshalb unterschiedliche motorische Einheiten aktiv [FREUND 1983, KOSSEV et al. 1991]. Das Verhältnis an langsamen und schnellen motorischen Einheiten bei einer isometrischen Kontraktion eines bestimmten Kraftlevels beeinflusst deshalb die elektrophysiologischen Parameter. In den aufsteigenden Kraftreihen sind deshalb zunächst vorwiegend Fasern vom Typ I, mit zunehmender Belastung auch Fasern vom Typ II beteiligt [YOUNG 1984, LINSSEN 1991].

Um Veränderungen der Oberflächen-EMG-Parameter aufgrund der Aktivierung unterschiedlicher Muskelfasertypen feststellen zu können, wurden sowohl Kontraktionen im niedrigen Bereich von 10% und 30% der Maximalkraft, als auch im hohen Bereich von 50% und 80% durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die

Kraftbereiche in Prozent der Maximalkraft (MVC) eines jeden Probanden berechnet. Dadurch konnten interindividuelle Trainingzustände berücksichtigt werden.

Da das MVA-Programm die gemessenen Werte für TURNS bzw. RMS über 4 Sekunden mittelt, führten die Probanden isometrische Kontraktionen bei 10%, 30% und 50% der MVC solange durch, bis genau drei Wertepaare gemessen waren. Dementsprechend wurden diese Kontraktionen jeweils etwa 12 Sekunden lang gehalten, bis die erste Pause erfolgte. Es konnte davon ausgegangen werden, daß bei niedriger Belastung diese Kontraktionszeit lediglich zu vernachlässigbarer Ermüdung der Muskulatur führt. Die darauffolgende Pausenlänge von zwei Minuten war deshalb ausreichend [KOMI et al. 1976, PETROFSKY et al. 1980]. Bei Belastungen über 50%MVC ist jedoch eine längere Pause notwendig [RAINOLDI et al. 1999]. Aus diesem Grund wurde die Pause auf drei Minuten verlängert. Für die 80%-ige Belastung wurde die maximale Kontraktionsdauer auf 8 Sekunden verkürzt und zusätzlich die Pause auf 5 Minuten verlängert. Die Wahl der Pausenlänge zwischen den einzelnen Belastungsbereichen geht aus sportphysiologischen Untersuchungen hervor. In diesen konnte gezeigt werden, daß zu kurze Erholungsphasen zur Ermüdung der Muskulatur beitragen und somit auch die EMG-Parameter nachhaltig beeinflussen [HOLLMANN et al 1990, MÜLLER et al. 1955].

Fehlende signifikante Änderungen der EMG-Parameter in den Kontrollversuchen bestätigten die Einhaltung einer ausreichenden Erholungsphase.

Folgende Voraussetzungen wurden für die Gewährleistung identischer Versuchsbedingungen geschaffen:

Der Druckabnehmer wurde individuell angepaßt (siehe Kap. 4.1.4). Außerdem wurde ein Druckpolster am Metakarpale-II-Knöchelchen zur Vermeidung von Schmerzreizen, die das EMG-Muster beeinflussen, angebracht.

Eine Markierung des Druckaufnehmers auf dem Schutzpolster gewährleistete eine identische Druckübertragung durch Beibehaltung des Pro-/ Supinationswinkel im

Handgelenk. Um eine Verschiebung des Unterarms zu verhindern, wurde dieser leicht fixiert.

Zu Beginn des Kontrollversuchs wurde ein der Moorpackung im Gewicht entsprechender Beutel mit Wasser aufgelegt, damit in allen Versuchsabschnitten die gleichen Druckverhältnisse herrschten. Damit der Muskel eher etwas gekühlt, aber auf keinen Fall erwärmt wurde, eignete sich ein Wasserbeutel. Zur Kontrolle wurde zusätzlich ein Thermometer zwischen Beutel bzw. Packung und Muskel angebracht und kurz vor jedem Versuch die Temperatur gemessen.

Das Zeigemeßgerät auf Augenhöhe erleichterte dem Probanden die einzelnen Kontraktionen konstant zu halten. Außerdem wurden die Schwankungen mit einem Schreiber zusätzlich aufgezeichnet und bei Abweichungen von mehr als zwei Prozent des geforderten Kraftwertes der Versuch vorzeitig abgebrochen.

#### **4.2.3 Ermüdungsversuch**

Im zweiten Abschnitt der Arbeit wurde noch ein weiterer Aspekt, nämlich das Kontraktionsverhalten anhand des EMG bei länger anhaltenden isometrischen Kontraktionen untersucht.

Schon von Beginn einer jeden isometrischen Kontraktion an finden Veränderungen des elektrophysiologischen Musters statt. Von besonderem Interesse war dabei der Zeitraum von Beginn der Kontraktion bis zum sog. "Ausdauerpunkt". Dieser Ausdauerpunkt wurde als Zeitpunkt, an dem die geforderte Kraft nicht mehr gehalten werden konnte, definiert [LINDSTRÖM et al. 1977]. Um die individuellen Kraft-Zeit-Verläufe vergleichen zu können, wurde diese Zeitspanne prozentual berechnet.

Zu Veränderungen der EMG-Parameter kommt es nicht nur durch unterschiedliche Belastungen, sondern auch im zeitlichen Verlauf einer anhaltenden isometrischen Kontraktion [SADOYAMA et al 1981, HÄKKINEN et al. 1983, PETROFSKY et al. 1979, VIITASALO 1977, DEVRIES 1968b, HAGBERG 1981, ARENDT-NIELSEN 1988,

PETROFSKY 1982, LIPPOLD 1960, SCHERRER et al. 1959, SADOYAMA et al. 1981, KADEFORS et al. 1968, HÄKKINEN et al. 1986].

Da beobachtet werden konnte, daß das Ermüdungsverhalten auch von der Fasertypisierung abhängig ist [STEPHENS et al. 1972], wurden die Kraftbereiche 30% und 50% der MVC gewählt. Wie sich in Vorversuchen zeigen ließ, konnte eine höhere Belastung, mit z.B. 80% der MVC, nicht ausreichend lange gehalten werden, um genügend Daten für eine Auswertung zu generieren. Kontraktionen unterhalb von 30%MVC dauerten jedoch zu lange, um diese in den Versuchsaufbau aufnehmen zu können.

Mit dem Schreiber konnten die Schwankungen mitverfolgt werden, und sobald der geforderte Kraftbereich um 5% unterschritten wurde, kam es zum Abbruch des Versuchs. Somit konnte der Ausdauerpunkt ziemlich genau bestimmt werden.

Probleme ergaben sich bei der Wahl geeigneter Pausen zwischen den Versuchen, da sehr unterschiedliche Ansichten über ausreichende Erholungszeiten zwischen den Kraftbelastungen vorherrschten [HOLLMANN 1985, MÜLLER et al. 1955, HETTINGER 1968]. Aus diesem Grund wurden eigene Vorversuche durchgeführt. Eine Pausendauer von 20 Minuten zwischen den einzelnen Versuchsabschnitten schien ausreichend bemessen, denn einerseits konnten die Kontraktionen identischer Kraftlevel etwa gleich lang gehalten werden und andererseits wiesen die elektrophysiologischen Größen zu Beginn jedes Versuchs wieder die gleichen Ausgangswerte auf.

### **4.3 Diskussion der Ergebnisse**

Im folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Versuche getrennt nach Amplituden und Frequenzen diskutiert.

#### **4.3.1 Amplitudenverhalten im Kraftreihenversuch**

Wie bereits bekannt, werden in isometrischen Kontraktionen bei zunehmendem Kraftaufwand zusätzliche motorische Einheiten aktiviert [EDWARDS et al. 1956, BERGSTRÖM 1959]. Diese sog. Rekrutierung erfolgt nach dem "size principle" [HENNEMANN et al. 1968, MILNER-BROWN et al. 1973]. Das "size principle" beinhaltet die Aktivierung von motorischen Einheiten mit zunächst niedrigem Potential (siehe Kap. 4.2.2) und erst bei zunehmender Kraft auch MU mit höherem Potential, die eine stärkere Entladung auslösen können [KOSSEV et al. 1991]. Im Oberflächen-EMG zeigt sich das Rekrutierungsverhalten durch Überlagerung einzelner Entladungen in einer Zunahme der Amplitudenwerte RMS.

Wie in den Ergebnissen dieser Arbeit ersichtlich, nehmen die Amplitudenwerte RMS sowohl im Standard- als auch im Wärmeversuch zu (siehe Abb.2 Kap.3.1.2.1 u. Tab.2 im Anhang). Die Art der Relation zwischen Kraft und Amplituden hängt dabei vorwiegend von der Muskelfaserzusammensetzung der beanspruchten Muskelgruppe ab [CHAFFIN et al. 1981]. Für Muskeln, die vorwiegend aus "Slow Twitch"-Fasern (Typ I-Fasern) bestehen, so z.B der M. soleus, wurde ein linearer Zusammenhang zwischen Kraft und RMS-Werten nachgewiesen [PETROFSKY et al. 1982, GERDLE et al. 1988, LOSCHER et al. 1994]. Im Gegensatz dazu fand man für den am häufigsten untersuchten Muskel, den M. biceps brachii, der einen hohen Prozentsatz an Fasern vom Typ II enthält, unter gleichmäßig zunehmender Kraft einen exponentiellen Anstieg der RMS-Werte. [LAWRENCE et al. 1983, LAURIG 1970, MORITANI et al. 1987]. Wie ermittelt wurde, zeigt der RMS-Wert der Mm. extensor carpi radialis ein lineares Verhalten zum steigenden Kraftaufwand (siehe Abb.2 Kap.3.1.2.1).

An den Mm. ext. carpi radialis konnte unter Wärmeapplikation im Vergleich zum Standardversuch keine signifikante Veränderung der Amplitudenwerte RMS

nachgewiesen werden. Dies ist übereinstimmend mit einer Studie, die isometrische Kontraktionen der Handgreifmuskulatur untersuchte [HOLEWIJIN et al. 1992]. In Untersuchungen am M. biceps brachii ließen sich jedoch signifikante Anstiege der Amplituden unter Wärmeanwendung feststellen [PETROFSKY et al. 1980].

#### **4.3.2 Frequenzverhalten im Kraftreihenversuch**

Mit zusätzlicher Rekrutierung neuer motorischer Einheiten unter Kraftzunahme kommt es neben dem Amplitudenanstieg auch zu einer Frequenzverschiebung in einen höheren Bereich. Dieser Effekt läßt sich einerseits durch die Überlagerung der zunehmenden Entladungen rekrutierter motorischer Einheiten erklären. Andererseits sind die einzelnen motorischen Einheiten in der Lage, ihre Entladungsfrequenzen zu variieren und diese somit bei größerer Belastung zu erhöhen [HANNERZ 1974, MONSTER 1979, YONEDA et al. 1986, KOSSEV et al. 1991].

Die Art der Relation zwischen mittleren Frequenzen und der geforderten Kraft ist dabei auch abhängig von der zu untersuchenden Muskelgruppe und deren Faserzusammensetzung [ARENDE-NIELSEN et al. 1985, PETROFSKY et al. 1986, SADOYAMA et al. 1988].

An den Mm. ext. carpi radialis nahmen die TURNS-Werte vom Ruhewert zum 10%MVC-Wert sprunghaft zu (siehe Abb.3 Kap.3.1.2.2). Ab 10%MVC ist die Zunahme der Frequenzwerte geringer, so daß sich zunächst ein steiler, jedoch mit zunehmender Belastung immer flacher werdender Kurvenverlauf darstellen läßt.

Unter Wärmeeinfluß konnten im Vergleich zum Standardversuch für die Kraftbereiche 30%, 50% und 80% signifikant höhere TURNS-Werte nachgewiesen werden. Die Kurvenverläufe sind dabei ähnlich. Es konnte gezeigt werden, daß nicht nur die mittlere Frequenz MPF oder TURNS, sondern auch die Entladungsfrequenzen der einzelnen motorischen Einheiten zunehmen [NEWTON et al. 1965]. Für die Höhe der Frequenzen wird die Erregungsleitungsgeschwindigkeit (CV) des Aktionspotentials verantwortlich gemacht, die bei Temperaturanstieg zunimmt [PETROFSKY et al. 1980, SADOYAMA

et al. 1981]. Der MPF-Wert verhält sich dabei direkt proportional zur Muskeltemperatur [MERLETTI et al. 1984].

### **4.3.3 Amplituden-Frequenz-Relation im Kraftreihenversuch**

Da das Oberflächen-EMG ein Interferenzmuster als Summe der Aktivität überlagerter Potentiale einzelner motorischer Einheiten darstellt, kann durch Berechnung der Fläche unter der Kurve (iEMG) ein Parameter bestimmt werden, der die elektrophysiologische Gesamtaktivität des Muskels widerspiegelt. In dieser Arbeit wurden jedoch Amplituden und Frequenzen getrennt untersucht. Es wird angenommen, daß das Verhältnis der Parameter zueinander bei gleicher isometrischer Kraft Auskunft über die mittlere elektrophysiologische Aktivität einer aktivierten motorischen Einheit gibt.

Wie bereits aus den Ergebnissen hervorging (siehe Kap. 3.3.3), nahmen in beiden Versuchen mit steigender Kraft die RMS-Werte stärker zu als die TURNS-Werte. Dies bedeutet, daß im niedrigen Kraftbereich bei Kraftzunahme die Frequenz-erhöhung, im höheren Kraftbereich zunehmend die Rekrutierung die entscheidende Rolle spielt.

Nach Wärmeanwendung war im Vergleich zum Standardversuch das Verhältnis RMS/TURNS bei jedem gemessenen Kraftlevel kleiner. Dies läßt die Annahme zu, daß unter Wärme die Feuerungsrate (TURNS) der motorischen Einheiten stärker als unter Standardtemperatur zunimmt und die elektrophysiologische Stärke (RMS) im wesentlichen nicht verändert wird. Diese Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse, daß bei gleichen TURNS-Werten die Amplitudenwerte RMS unter Wärme signifikant niedriger sind [MAGYAROSY et al. 1992, 1996] (vgl. Abb. 4 Kap. 3.3.3).

### **4.3.4 Amplitudenverhalten im Ermüdungsversuch**

Im zeitlichen Verlauf einer isometrischen Kontraktion kommt es zu Veränderungen der Amplitudenwerte. Beobachtet man dabei nur den Zeitraum bis zum sog. "Ausdauerpunkt", an dem die geforderte Kraft aufgrund von Ermüdungser-scheinungen nicht mehr aufgewendet werden kann, so zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme der iEMG- [WEIZSÄCKER 1921, SCHERRER et al. 1959, MATON et al. 1981] bzw. RMS-Werte [VIITASALO et al. 1977, PETROFSKY et al. 1979, HAGBERG et al. 1981,

SADOYAMA et al. 1981, HÄKKINEN et al 1983]. Kontraktionen, die über diesen Zeitpunkt hinaus anhielten, zeigten einen Abfall der Amplituden durch Abnahme der Kraft [STEPHENS et al. 1972, BIGLAND-RITCHIE et al. 1981].

Eine Ursache für die RMS-Zunahme im ersten Zeitabschnitt ist die Rekrutierung zusätzlicher motorischer Einheiten [MILNER-BROWN et al. 1973, MATON et al. 1981]. Diese erfolgt wie bei Zunahme der Kraft nach dem "size principle" (siehe Kap. 4.2.2). Die Steigung der Kurve ist dabei von der Kraft und der Faserzusammensetzung des Muskels abhängig. Je höher das Kraftniveau, desto steiler der Anstieg der Amplitudenwerte pro Zeiteinheit [LIPPOLD et al. 1960, DeVRIES et al. 1968, VREDENBREGT et al. 1973]. Außerdem zeigen Muskeln mit hohem Anteil an Typ-II- oder fast-twitch-Fasern, wie z.B der M. biceps brachii, einen stärkeren Zuwachs der RMS-Werte als Muskeln mit vorwiegend Typ-I-Fasern [GAMET et al. 1989, LINSSEN 1991].

Die Ergebnisse des 50%MVC-Bereichs zeigten eine Zunahme der RMS-Werte. Die Werte bei 30%MVC wiesen keine signifikanten Änderungen auf.

Unter Wärmeanwendung zeigten die Amplitudenwerte einen signifikant flacheren Verlauf. Dies bedeutet, daß sich unter Wärme die Zahl der aktivierten motorischen Einheiten im Verlauf einer Kontraktion nicht wesentlich ändert. Die niedrigeren Amplitudenwerte können dabei als herabgesetzter Muskeltonus gedeutet werden [MAGYAROSI 1992]. Das Rekrutierungsverhalten kann aufgrund von Ermüdungserscheinungen erklärt werden (siehe Kap 4.2.4). Darüberhinaus spielt auch die Zunahme der elektrische Aktivität von antagonistischen Muskelgruppen eine wichtige Rolle [GAMET et al. 1989]. Es ist somit anzunehmen, daß die Wirkung von Wärme auch eine Relaxierung von Antagonisten bewirkt.

#### 4.3.5 Frequenzverhalten im Ermüdungsversuch

Schon in den Anfängen der EMG-Messung zeigte sich in den Ermüdungsversuchen eine Verschiebung der Frequenzen von hoch nach tief im Zeitverlauf [PIPER 1912, COBB et al. 1923]. Diese Frequenzverlagerung wurde später durch zahlreiche Autoren bestätigt [KOGI et al 1962, VIITASALO et al. 1977, PETROFSKY et al 1981, , STULEN et al. 1981, SADOYAMA et al 1981, MILLS 1982, PETROFSKY et al. 1983, ARENDT-NIELSEN et al. 1984, ARENDT-NIELSEN et al. 1985, BROMAN et al. 1985].

Als Ursachen für diesen Frequenzabfall wurden zum einen der Zusammenhang zur Erregungsleitungsgeschwindigkeit [LINDSTRÖM et al 1977, STULEN et al 1981, MERLETTI et al. 1984, EBERSTEIN et al 1985, ARENDT-NIELSEN et al. 1988] und zum anderen ein Synchronisationseffekt [LIPPOLD et al. 1968, KROGH-LUND et al 1991, MASUDA et al. 1999] diskutiert.

Der Zusammenhang zwischen Erregungsleitungsgeschwindigkeit (CV) und der Entladungsfrequenz wird dabei als linear beschrieben [STULEN et al. 1981, DELUCA et al. 1983, SADOYAMA et al. 1983]. Ausgangspunkt für die Abnahme der CV ist die Akkumulation von sauren Stoffwechselmetaboliten, wie Laktat und Pyruvat [MORTIMER et al. 1970, EDWARDS et al. 1974]. Zu dieser Anreicherung kommt es während anhaltender Kontraktion durch anaeroben Stoffwechsel. Der entscheidende Mechanismus kommt durch die abnehmende Erregbarkeit der Muskelmembranen infolge des pH-Abfalls zustande [TASAKI et al. 1967, ORCHARDSON et al. 1978]. Das Ausmaß der Anhäufung der sauren Stoffwechselvalenzen ist dabei zum einen von der anfallenden Konzentration, aber auch von der Eliminationsgeschwindigkeit abhängig. Die Art der Muskelfaserzusammensetzung und die Kontraktionsstärke bestimmen im wesentlichen die Energiebereitstellung. Muskeln, die vorwiegend aus Fasern vom Typ II bestehen, verursachen durch anaeroben Stoffwechsel einen höheren Laktatanstieg als Muskeln mit vorwiegend Typ I-Fasern [SJODIN 1976, TESCH et al. 1978]. Im Kontraktionsbereich von 30-50% MVC kommt es dabei zur schnellsten Laktatzunahme [KARLSSON et al. 1974, TESCH et al. 1976].

Die Geschwindigkeit der Elimination wird vorwiegend durch den Blutfluß im Muskel reguliert. Bei Muskelaktivität kann dabei zur Deckung des erhöhten Sauerstoff- bzw Energiebedarfs die Vaskularisierung des Muskels auf den 20-30fachen Ruhewert vergrößert werden [KÜCHLER 1988, WITZLEB 1985]. Mit zunehmender Kontraktionsstärke nimmt jedoch der intramuskuläre Druck stark zu, so daß ab etwa 60% MVC der Kapillardruck nicht ausreicht, um den Muskel weiterhin zu durchbluten [HUMPHREYS et al. 1963, ULMER 1985]. Außerdem nimmt bei anhaltenden Kontraktionen besonders im niedrigen Kraftbereich (z.B 25%MVC) der intramuskuläre Druck im Zeitverlauf zu [CRENSHAW et al. 1997]. Es kommt dabei zu einem verminderten Abbau der sich anhäufenden sauren Stoffwechselmetaboliten [MORTIMER et al. 1971].

Wie andere Studien bereits belegten, kann die Relation der Entladungsfrequenz zur Erregungsleitungsgeschwindigkeit nicht der einzige Grund für die Veränderungen sein [BIGLAND-RITCHIE 1981, MILLS et al. 1984, ZWARTS 1987]. Außerdem kann die Laktatanreicherung keinen direkten Einfluß auf den Frequenzabfall haben, da es auch bei sehr niedrigen Belastungen ohne Laktatnachweis zu einer Frequenz-verschiebung kommt [ALFONSI et al. 1991].

Die Synchronisierung der Entladungen aktiver motorischer Einheiten führt zudem zu Veränderungen der elektrophysiologischen Parameter [LIPPOLD 1957, KROGH-LUND et al. 1991, MASUDA 1999]. Schon gleich von Beginn einer Kontraktion an werden die Entladungen aktivierter motorischer Einheiten synchronisiert, d.h. gleichzeitig abgefeuert. Dies hat zur Folge, daß die mittleren Frequenzen MPF oder TURNS trotz konstantem Kraftaufwand absinken [LIPPOLD et al. 1960, PERSON et al. 1970, KROGH-LUND 1991, MASUDA 1999].

Über die Höhe und den Verlauf des Frequenzabfalls existieren unterschiedliche Ansichten. Dies erklärt sich durch die unterschiedliche Methodik bzgl. Zeitdauer und Stärke der Kontraktion und die unterschiedlichen Muskeln, die untersucht wurden.

Zum einen wurde ein linearer [PETROFSKY et al. 1980, MILLS 1982], zum anderen ein exponentieller [LINDSTRÖM et al. 1977, HAGBERG 1981] Zusammenhang gefunden.

Auch über die Höhe des Abfalls, bezogen auf den Ausgangswert, existieren unterschiedliche Ansichten [PETROFSKY et al. 1981, DELUCA 1985].

Sowohl für den 30%MVC als auch den 50%MVC-Bereich zeigte sich ein zu Beginn steiler Frequenzabfall, der zunehmend abflachte. Die Kurven waren nicht-linear und der Abfall vom Ausgangswert betrug in beiden Kraftbereichen etwa 20%, wenn man die Zeitdauer der Kontraktion betrachtet.

Unter Wärmeanwendung nahmen die TURNS-Werte in gleichem Maße ab, jedoch blieben alle zum gleichen Zeitpunkt gemessenen Durchschnittswerte über den Mittelwerten des Standardversuchs. Die Kurven waren dabei ähnlich. Eine Erklärung für die höheren Werte unter Wärmeeinwirkung ist ein höherer Ausgangswert (siehe Kap. 4.3.2) und damit zeitlich verzögerter Abfall. Ein weiterer Grund stellt die verbesserte Vaskularisierung der Muskulatur unter Wärme und somit schnellere Elimination der anfallenden sauren Metaboliten dar [EDWARDS et al. 1975].

#### **4.3.6 Amplituden-Frequenz-Relation im Ermüdungsversuch**

Ebenso wie für den Kraftreihenversuch kann die Relation der RMS und TURNS weitere Einsichten über Veränderungen der aktivierten motorischen Einheiten unter Wärme liefern.

Wie aus den Ergebnissen hervorging (siehe Kap. 3.5.3 und 3.6.3), nimmt das Verhältnis RMS/TURNS im zeitlichen Verlauf der anhaltenden Kontraktion in jedem Versuchsabschnitt zu. Dies ist zum einen durch den Abfall der TURNS, zum anderen durch die kompensierte Amplitudenzunahme erklärbar [MATON 1981]. Unter Wärme nimmt sowohl bei 30%MVC als auch bei 50%MVC der RMS/TURNS-Quotient langsamer zu. Es ist anzunehmen, daß der geringere TURNS-Abfall unter erhöhter Temperatur die Aufrechterhaltung der RMS hervorruft. Es bleibt jedoch anzumerken, daß durch interindividuelle Schwankungen der Parameter im Ausdauer Versuch (siehe Kap. 7.3 im Anhang) die Aussagefähigkeit der Mittelwerte eingeschränkt ist.

#### 4.3.7 Zeitdauer des Ermüdungsversuchs

Der Vorgang einer anhaltenden Kontraktion, der dazu führt, daß eine vorgegebene Kraftbelastung nicht unendlich lange aufrechterhalten werden kann, wird als Ermüdung bezeichnet. Man unterscheidet dabei einen zentralen [IKAI 1967, BIGLAND-RITCHIE 1986] von einem peripheren Ermüdungsprozeß (siehe 4.3.4). Untersuchungen ergaben, daß beide Formen einzeln oder zusammen vorkommen können [ASMUSSEN 1978,1979, GIROUX et al. 1990].

Die Zeitspanne, in der eine isometrische Arbeit aufrechterhalten werden kann, ist von mehreren Faktoren abhängig. Die Höhe der Kontraktionskraft stellt dabei den größten limitierenden Parameter dar. So kann z.B. eine isometrische Muskelanspannung unter 8%MVC etwa eine Stunde lang [HAGBERG et al. 1981], eine 50%ige MVC lediglich  $89 \pm 27$  Sekunden durchgeführt werden [HÄKKINEN et al. 1983]. Ein Kontraktionsversuch mit maximaler Anspannung zeigt dabei einen Abfall von 65%MVC pro Minute [ARENDET-Nielsen et al. 1988]. Als Ursache kommt hierfür eine relative Ischämie in Frage, die bei zunehmender Kraft entsteht, da der intramuskuläre Druck den Kapillardruck übersteigt [BONDE-PETERSEN et al. 1975, 1981]. Als Folge der Ischämie kommt es zur schnelleren Akkumulation von sauren Stoffwechselmetaboliten und einer mit dem pH-Abfall einhergehenden Kontraktionsschwäche. Desweiteren ermüden die bei stärkeren Kontraktionen agierenden Muskelfasern vom Fast-Twitch Typ II (siehe 4.3.4) rascher [STEPHENS et al. 1972, BEELEN et al. 1991].

Eine weitere wichtige Einflußgröße ist die Temperatur. Clarke konnte nachweisen, daß bei 27°C Muskeltemperatur ein Temperaturoptimum vorliegt, d.h. daß die Kontraktion mit einer konstanten Kraft am längsten aufrechterhalten werden kann [CLARKE et al. 1958]. Ein Anstieg der Temperatur darüber hinaus verkürzt die Kontraktionszeit [ASMUSSEN et al. 1989]. Die Ursache hierfür liegt in der schnelleren Akkumulation saurer Stoffwechselmetaboliten begründet. Bei Temperaturen unterhalb des Optimums sorgen zentrale Faktoren für eine frühere Ermüdung.

In dieser Arbeit betrug die durchschnittliche Zeitdauer für den 30%MVC-Bereich 158 Sekunden, für den 50%MVC-Bereich nur 58 Sekunden. Nach der Wärmeanwendung jedoch waren die Mittelwerte der Zeitdauer etwas kürzer als im Standardversuch (siehe Kap. 3.2.2.4 u. 3.2.3.4). Eine Erklärung hierfür ist die schnellere Akkumulation der sauren Metaboliten unter Wärme [CLARKE et al. 1958]. Jedoch kann eine unzureichende Pausendauer und somit fehlende vollständige Erholung vom vorhergehenden Versuch nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Auf eine gezielte Klärung der Ursachen bzgl. interindividueller Unterschiede der Kontraktionszeiten wurde im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.

#### 4.4 Schlußfolgerung

Um nun die Frage beantworten zu können, wie sich das Kontraktionsverhalten der Skelettmuskulatur unter dem Einfluß von Wärme verändert, muß man die Analyse getrennt nach Amplituden und Frequenzen näher betrachten.

Wie gezeigt werden konnte, kommt es durch den Einfluß von Wärme zu signifikanten Veränderungen der relevanten elektrophysiologischen Parameter. Das Oberflächen-EMG-Muster zeigte dabei signifikant höhere Frequenzwerte TURNS zu Beginn, aber auch im weiteren Verlauf einer isometrischen Kontraktion für alle gemessenen Belastungsbereiche. Die Amplitudenwerte unter Wärme wiesen am Anfang jeder Kontraktion keine signifikanten Unterschiede auf, jedoch waren die RMS-Werte im Rahmen der Ermüdung niedriger als im Standardversuch.

Eine Erklärung für die nachgewiesenen Veränderungen des elektrophysiologischen Potentials durch den Einfluß von Wärme wird in der folgenden Argumentation versucht.

Zu Beginn jeder isometrischen Kontraktion sind  $n$  motorische Einheiten beteiligt. Das Summenpotential aller aktivierten MU kann durch Berechnung des RMS-Wertes ermittelt werden. Mit zunehmender Kraft werden zusätzliche MU rekrutiert ("size principle"), und als Folge nimmt der RMS-Wert zu. Die genaue Relation ist dabei von der Muskelfaserausammensetzung abhängig. An den Mm. extensores carpi radialis ergibt sich ein linearer Zusammenhang. Mit zunehmendem Kraftlevel kommt es außerdem zu einer Zunahme der mittleren Feuerfrequenz TURNS und zu Unregelmäßigkeiten der Entladungen, sog. "bursts" [GRIMBY 76, HANNERZ et al. 1974]. Es ist anzunehmen, daß unter Wärme die Anzahl der aktiven MU gleich bleibt, die Entladungsfrequenz sich jedoch erhöht. Verantwortlich dafür ist die höhere Erregungsleitungsgeschwindigkeit CV [STULEN et al. 1981]. Im Verlauf einer Kontraktion kommt es zu dem in vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Ermüdungserscheinungen des Amplitudenzuwachses und der Verschiebung zu niedrigeren Frequenzen. Der Abfall der Frequenzen kann zum einen durch eine Verminderung der Erregungsleitungsgeschwindigkeit im Rahmen des

Ermüdungsprozesses, zum anderen durch einen Synchronisationseffekt erklärt werden (siehe Kap. 4.2.3). Unter Wärme ist zu jedem Zeitpunkt die mittlere Frequenz TURNS höher. Dies ist durch die höhere Erregungsleitungsgeschwindigkeit, die verbesserte Synchronisierung oder durch beides erklärbar. Die erhöhte Feuerfrequenz verzögert die Rekrutierung neuer MU. Der RMS-Wert nimmt vermutlich deshalb nicht so stark zu. Darüberhinaus beeinflusst ein weiterer Effekt die Muskulatur. Wie bereits gezeigt werden konnte, nimmt bei anhaltender Kontraktion nicht nur das Potential des belasteten Muskels, sondern auch das des Antagonisten zu. Der Wärmeeffekt trägt vermutlich dazu bei, daß der Kraftaufwand der antagonistischen Muskulatur nicht erhöht wird und es dadurch zu keiner bzw. nur geringer Rekrutierung neuer MU kommt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß mit dieser Arbeit eine geeignete Methode entwickelt wurde, um mittels Oberflächen-EMG-Messungen und Dynamometrie den Kontraktionszustand der Skelettmuskulatur unter thermischen Reizen erfassen zu können. Die getrennte Analyse der Parameter RMS und TURNS brachte dabei neue Erkenntnisse bzgl. Amplituden- und Frequenzverhalten der an der Kontraktion beteiligten aktivierten motorischen Einheiten. Die signifikanten Unterschiede unter Wärme weisen auf die Bedeutung der Anwendung von applizierten Moorpackungen hin. Somit stellt dieses Verfahren eine gute Basis für weitere Untersuchungen von thermotherapeutischen bzw. auch anderen physikalischen Reizen auf das Verhalten der Skelettmuskulatur dar.

## 5 Zusammenfassung

### **Hintergrund:**

Die Objektivierung der Wirkung von thermotherapeutischen Maßnahmen in Form von perkutanen Wärmepackungen in der Rehabilitationsmedizin stellt ein wichtiges, jedoch noch ungeklärtes Problem dar. In dieser Arbeit wird durch den Einsatz der nichtinvasiven Oberflächen-Elektromyographie und der Messung der dabei wichtigen Parameter, nämlich der getrennten Analyse der Frequenzen (TURNNS) und der Amplituden (RMS), der Versuch gemacht, das individuelle Verhalten der Skelettmuskulatur vor und nach Wärmeapplikation zu beleuchten. Die Untersuchung erfolgt dabei nicht im Ruhezustand, sondern im ersten Teil in kurzen aufsteigenden isometrischen Kraftreihen (10%, 30%, 50% und 80%MVC) und im zweiten Teil bei länger anhaltender isometrischer Kraft (30% und 50%MVC). Durch Einsatz eines neu entwickelten Dynamometers für die Mm. extensores carpi radialis konnte die Kraft dabei kontrolliert werden.

### **Kraftreihenversuch:**

An jeweils 21 Probanden (11 Männer, 10 Frauen, 20-30 Jahre) in Versuchs- und Kontrollgruppe wurden für unterschiedlich starke isometrische Kontraktionen der Mm. extensores carpi radialis die Parameter TURNNS und RMS ermittelt. Nach 20-minütiger Wärmeapplikation wurde der Ablauf wiederholt. Dabei zeigte sich eine signifikante Erhöhung der TURNNS für die Kraftbereiche 30%, 50% und 80%MVC (gepaarter T-Test;  $p < 0,05$ ). Die RMS-Veränderungen hingegen waren nicht signifikant.

### **Ermüdungsversuch:**

An 22 Probanden (12 Männer, 10 Frauen, 20-30 Jahre) wurden vor und nach Wärmeapplikation anhaltende isometrische Kontraktionen für die Kraftbereiche 30% und 50% MVC durchgeführt und dabei in 4 Sekunden-Abständen TURNNS- und RMS-Werte ermittelt. Hier zeigte sich für beide Kraftbereiche sowohl im Versuch ohne, als auch im Versuch unter Wärmeapplikation ein Abfall der TURNNS-Werte. Die RMS-Werte

nahmen im Verlauf der Kontraktion in allen Abschnitten zu. Unter Wärmeeinwirkung blieben die RMS jedoch zu jedem Zeitpunkt signifikant unterhalb der Werte im Standardversuch.

### **Folgerung:**

Die Unterschiede der myoelektrischen Aktivität bei unterschiedlichen thermischen Wärmereizen lassen sich auf mehrere Ursachen zurückführen. Zum einen beeinflusst die Temperatur die Leitungsgeschwindigkeit, welche mit der Frequenz im Zusammenhang steht. Zum anderen spielen Rekrutierung, Synchronisierung und Feuerrate unterschiedlicher motorischer Einheiten eine Rolle. Dabei konnte deutlich gezeigt werden, daß die elektrische Aktivität, gemessen an den Amplituden (RMS), die Kontraktionskraft des Muskels wiedergibt und im wesentlichen unabhängig von thermischen Reizen ist. Erst im Verlauf einer Kontraktion nehmen die Werte zu, wobei dieser Anstieg unter Wärme deutlich geringer ist. Der Frequenzparameter TURNS, der unter Wärmeeinfluß bei konstanter Kontraktionskraft signifikant höhere Werte aufweist, stellt einen guten Verlaufswert dar, um die Wirkung von thermischen Reizen zu erfassen. Speziell an Muskelgruppen, an denen die Dynamometrie Schwierigkeiten bereitet, könnten mittels Untersuchung der TURNS-Werte unter Konstanthaltung der RMS-Werte Hinweise über den Kontraktionszustand des Muskels unter physikalischen Stimuli erhalten werden. Diese Arbeit stellt somit eine Methode vor, die der Objektivierung therapeutischer Anwendungen in der physikalischen Rehabilitationsmedizin dient.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Adrian, E.D. Bronk, D.W.  
*The discharge of impulses in motor nerve fibres*  
J Physiol, 1929, 67: 119-151
2. Alfonsi, E. Ricciardi, L. Arrigo, A. Lozza, A. Sandrini, G. Zandrini, C. Moglia, A.  
*Local venous lactate changes and spectral analysis of surface EMG during fatiguing isometric efforts in intrinsic hand muscles.*  
Funct Neurol 1991 Apr-Jun;6(2):121-7
3. Arendt-Nielsen, L. Forster, A. Mills, K.R.  
*The relationship between muscle fiber conduction velocity and force in human vastus lateralis*  
J Physiol, 1984, 6: 353-355
4. Arendt-Nielsen, L. Mills, K.R.  
*The relationship between mean power frequency of EMG spectrum and muscle fiber conduction velocity*  
Electroenc. and clin. Neuro, 1985, 60: 130-134
5. Arendt-Nielsen, L. Mills, K.R.  
*Muscle fibre conduction velocity, mean power frequency, mean EMG voltage and force during submaximal fatiguing contractions of human quadriceps*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1988, 58: 20-25
6. Arendt-Nielsen, L. Gantchev, N. Sinkjaer, Th.  
*The influence of muscle length on muscle fibre conduction velocity and development of muscle fatigue*  
Electroenc. and clin. Neuro, 1992, 85: 166-172
7. Asmussen, G. Gaunitz, U.  
*Temperature effects on isometric contractions of slow and fast twitch muscles of various rodents-dependence on fibre type composition: A comparative study*  
Biomed. Biochim. Acta, 1989, 48: 536-541
8. Asmussen, E.  
*Muscle fatigue*  
Med. and science in sports, 1979, 11: 313-321
9. Asmussen, E.  
*A central nervous component in local muscular fatigue*  
Eur. J. appl. Physiol., 1978, 38: 9-15

10. Bayer, H. Flechtenmacher, C.  
*Ermüdung und Aktionsstromspannung bei der isometrischen Muskelkontraktion des Menschen*  
Arbeitsphysiologie, 1950, 14: 261-270
11. Bazy, A.R. Korten, J.B. Haddad G.G.  
*Increase in electromyogram low frequency power in non-fatigued contracting skeletal muscle*  
J.Appl. Physiol, 1986, 61: 1012-1017
12. Beelen, A. Sargeant, A.J.  
*Effect of fatigue on maximal power output at different contraction velocities in humans*  
J.Appl. Physio. .1991, 71: 2332-2337
13. Bergström, R.M.  
*The relation between the number of impulses and the Integrated electric activity in electromyogram*  
Acta physiol. scand., 1959, 45: 97-101
14. Bigland, B. Lippold, O.C.J.  
*The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles*  
J. Physiol., 1954, 123: 214-224
15. Bigland-Ritchie, B.R.  
*Changes in muscle activation during prolonged maximal voluntary contractions*  
J. Physiol., 1979, 292: 14-15
16. Bigland-Ritchie, B.R. Donovan, E.F. Roussos, C.S.  
*Conduction velocity and EMG power spectrum changes in fatigue of sustained maximal effort.*  
J. Appl. Physio. 1981, 51: 1300-1305
17. Bigland-Ritchie, B.R.  
*Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors*  
J. Appl. Physio. 1986, 61: 421-429
18. Bonde Petersen, F  
*Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles*  
Eur J Appl Physiol , 1975, 34: 43ff

19. Bonde Petersen, F., Robertson, C.H.  
*Blood flow In red and white calf muscles in cats during isometric and isotonic exercise*  
Acta Physiol Scand., 1981, 112: 243ff
20. Broman, H., Bilotto, G., DeLuca, C.J.  
*Myoelectrical signal conduction velocity and spectral parameters: influence of force and time*  
J.Appl. Physiol., 1985, 58:1428-1737
21. Brügger, A. Lehner, F.  
*Versuch einer objektiven Erfassung der Wirkungen physikalischer Behandlungen auf den krankhaft beeinflussten lumbalen Erector trunci*  
Archiv f. physik. Therapie, 1956, 8: 300ff
22. Buchthal, F. Guld, Ch. Rosenfalck, P.  
*Action potential parameters in normal human muscle and their dependence on physical variables*  
Acta Physiol. Scand., 1954, 32: 200-218
23. Buchthal, F. Guld, Ch. Rosenfalck, P.  
*Propagation velocity in electrically activated muscle fibres in man*  
Acta Physiol. Scand., 1955, 34: 75-89
24. Chaffin, D.B. Lee, M. Freyvalds, A.  
*Muscle strength assessment from EMG analysis*  
Med. Sci. Sports Exercise, 1980, 12: 205-211
25. Clarke, S. Hellon, R. Lind, A.  
*The Duration of sustained contractions of the human forearm at different muscle temperatures*  
J. Physiol., 1958, 143: 454-473
26. Cobb, S. Forbes, A.  
*Electromyographic studies of muscular fatigue in man*  
J. Physiol. 1923, 65: 234-251
27. Crenshaw, A.G. Karlsson, S. Gerdle, B. Friden, J.  
*Differential responses in intramuscular pressure and EMG fatigue indicators during low- vs. high-level isometric contractions to fatigue*  
Acta Physiol Scand 1997 Aug;160(4):353-61
28. DeLuca, C.J.  
*Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans*  
Crit. Rev. Biomed. Eng., 1985, 11: 251-279

29. DeLuca, C.J.  
*Physiology and mathematics of myoelectric signals*  
IEEE Trans Biomed Eng, 1979, 26: 313-325
30. De Luca, C.J. LeFever, R.S. McCue, M.P. Xenakis, A.P.  
*Behavior of human motor units in different muscles during linearly varying contractions*  
J. Physiol., 1982a, 329: 113-128
31. De Luca, C.J. LeFever, R.S. McCue, M.P. Xenakis, A.P.  
*Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions*  
J. Physiol., 1982b, 329: 129-142
32. DeVries, H.A.  
*Efficiency of electrical activity as a physiological measure of the functional state of muscle tissue*  
Am. J. Phys. Med., 1968a, 47: 10-22
33. DeVries, H.A.  
*Method of evaluation of muscle fatigue and endurance from electromyographic fatigue curve*  
Am. J. Phys. Med., 1968b, 47: 125-135
34. Doud, J.R Walsh, J.M.  
*Muscle fatigue and muscle length interaction: effect on the EMG frequency component*  
Electromyogr. clin. Neurophysiol., 1995, 35: 331-339
35. Drexel, H.  
*Kryo-und Thermotherapie in der orthopädischen Behandlung*  
Orthopäde, 1978, 7: 266-273
36. Eason, R.G.  
*Electromyographic study of local and generalized muscle impairment*  
J. Appl. Physiol., 1960, 15: 479-482
37. Ebenbichler, G. Zauner-Dungl, A. Resch, K.L. Uher, E.M. Bochsansky, Th. Ernst, E.  
*Standardization of a modified surface-EMG method*  
Muscle Nerve, 1994, 17: 691
38. Eberstein, A. Beattie, B.  
*Simultaneous measurement of muscle conduction velocity and EMG power spectrum changes during fatigue*  
Muscle & Nerve, 1985, 8: 768-773

39. Eccles, J.C. Sherrington, Sir C.  
*Numbers and contraction-values of individual motor-units examined in some muscles of the limb*  
Proc. Roy Soc. London, 1930, 326-360
40. Edwards, R.G. Lippold, O.C.,J.  
*The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle*  
J. Physiol., 1956, 132: 677-681
41. Edwards, R. Hill, D. Jones, D.  
*Metabolic changes associated with the slowing of relaxation in fatigued mouse muscle*  
J. Physiol., 1975, 251: 287-301
42. Edwards, R. Hill, D. Jones, D.  
*Heat production and chemical changes during isometric contractions of the human quadriceps muscle*  
J. Physiol., 1975, 251: 303-315
43. Finsterer, J.  
*Temperature dependency of turn/amplitude parameters*  
Pflügers Archiv, 1996, 431: 950-953
44. Freund, H.J  
*Motor unit and muscle activity in voluntary motor control*  
Physiological Reviews, 1983, 63: 387-436
45. Friedebold, G. Stoboy, H.  
*Die Veränderung der elektrischen Aktivität der Skelettmuskulatur unter den Bedingungen eines isometrischen Trainings*  
Z. exper. Med., 1957, 129: 401ff
46. Fuglevand, A.J. Winter, D.A. Aftab, E.P. Stashuk, D.  
*Detection of motor unit action potentials with surface electrodes: influence of electrode size and spacing*  
Biological Cybernetics, 1992, 67: 143-153
47. Gamet.D. Maton, B.  
*The fatigability of two agonistic muscles in human isometric voluntary submaximal contraction: an EMG study*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1989, 58: 361-374
48. Gauthier, A. Davenne, D. Martin, A. Cometti, G. Van Hoecke, J.  
*Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions*  
Chronobiol Int 1996 Jul;13(2):135-46

49. Gerdle, B. Eriksson, N-E. Brundin, L. Edström, M.  
*Surface EMG recordings during maximum static shoulder forward flexions in different positions*  
Eur.J.Appl.Physiol., 1988, 57: 404-408
50. Gerdle, B. Eriksson, N-E. Hagberg, C.  
*Changes in the surface electromyogram during increasing isometric shoulder forward flexions*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1988, 57: 404-408
51. Gerdle, B. Johansson, C. Lorentzon, R.  
*Relationship between work and electromyographic activity during repeated leg muscle contractions in orienteers*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1988, 58: 8-12
52. Gerdle, B. Eriksson, N.-E. Brundin, L.  
*The behaviour of mean power frequency of the surface electromyogram in biceps brachii with increasing force and during fatigue. With special regard to the electrode distance*  
EMG clin. Neurophysiol., 1990, 30: 483-489
53. Giroux, Ch. Maton, B.  
*Surface EMG and motor unit activity of partially denervated human muscle during fatiguing submaximal isometric contraction*  
Electromyogr. clin. Neurophysiol. 1990, 30: 282-291
54. Göpfert, H.  
*Physiologische Grundlagen der Elektromyographie*  
Archiv f. Physik. Ther., 1963, 6: 365-409
55. Grimby, L. Hannerz, J.  
*Disturbances in voluntary recruitment order of low and high frequency motor units on blockades of proprioceptive afferent activity*  
Acta physiol. scand., 1976, 96: 207-216
56. Häkkinen, K. Komi, P.V.  
*Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force- and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1986, 55: 588-596
57. Hagberg, M.  
*Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise*  
J.Appl. Physiol., 1981, 51: 1-7

58. Hagberg, C. Hagberg, M.  
*Surface EMG amplitude and frequency dependency on exerted force for the upper trapezius muscle: a comparison between right and left sides*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1989, 58: 641-645
59. Hagg, G.M.  
*Comparison of different estimators of electromyographic spectral shifts during work when applied on short test contractions*  
Med. Biol. Eng. Comput., 1991, 29(5): 511-516
60. Hagg, G.M.  
*Interpretation of EMG spectral alterations and alteration indexes at sustained contraction*  
J. Appl. Physiol., 1992, 73(4): 1211-1217
61. Humphreys P.W. and Lind A.R.  
*The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained handgrip contractions*  
J. Physiol., 1963, 166: 120-135
62. Hannerz, J.  
*Discharge properties of motor units in relation to recruitment order in voluntary contraction*  
Acta physiol. scand., 1974, 91: 374-384
63. Heller, M. Engel, P.  
*Die Wirkung lokaler Wärmeanwendungen auf Kreislauf und Thermoregulation bei Applikation zu verschiedenen Tageszeiten*  
Z.Phys.Med.Baln.Klim., 1982, 11:383-390
64. Henneman, E. Olson, C.B.  
*Relation between structure and function in the design of skeletal muscles*  
J. Neurophysiol. 1965, 28: 581ff
65. Henneman, E. Somjen, G. Carpenter, D.O.  
*Functional significance of cell side in spinal motoneurons*  
J. Neurophysiol. 1965, 28: 560-580
66. Hettinger, Th.  
*Isometrisches Muskeltraining*  
Thieme Verlag, Stuttgart, 1968
67. Hettinger, Th. Müller, E.A.  
*Muskelleistung und Muskeltraining*  
Arbeitsphysiologie, 1953, 15: 111-126

68. Holewijn M. Heus, R.  
*Effects of temperature on electromyogram and muscle function*  
Eur. J Appl. Physiol., 1992, 65: 541-545
69. Höll  
*Peloidanalyse der Wärmepackung*  
Laborunion Prof. Höll, Salzburg
70. Hollmann, W. Hettinger, Th.  
*Sportmedizin: Arbeits und Trainingsgrundlagen*  
Schattauer Verlag, Stuttgart, 1990
71. Ikai, M. Yabe, K. Ischii, K.  
*Muskelkraft und muskuläre Ermüdung bei willkürlicher Anspannung und elektrischer Reizung des Muskels*  
Sportarzt u. Sportmed., 1967, 18: 197ff
72. Inman, V.T. Ralston, H.J. Saunders, C. M. Feinstein, B. and Wright, E.  
*Relation of human electromyogram to muscle tension*  
Electroenceph. Clin. Neurophysiol. , 1952, 4: 107-194
73. Kadefors, R. Kaiser, E. Petersen, I.  
*Dynamic spectrum analysis of myopotentials with special reference to muscle fatigue*  
Electromyography, 1968, 8: 39-74
74. Kakuda, N. Miwa, T. Nagaoka, M.  
*Coupling between single muscle spindle afferent and EMG in human wrist extensor muscles: physiological evidence of skeletofusimotor (beta) innervation*  
Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1998 Aug;109(4):360-3
75. Karlson, J. Funderburk, C. Essen, B. Lind, A.R.  
*Constituents of human muscle in isometric fatigue*  
J. Appl. Physiol., 1975, 38: 208-211
76. Kossev, A. Gerasimenko, Y. Gantchev, N. und Christova, P.  
*Influence of interimpulse interval on the propagation velocity of the motor unit potentials*  
Electromyograph. clin. Neurophysiol., 1991, 31: 27-33
77. Kleinschmidt, J.G. Kleinschmidt, J.Th. Erdl, R. Brunner, L.  
*Wärmetherapie mit Peloiden*  
Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim., 1985, 14:365-373

78. Knowlton, G.C. Hines, T.F. Keever, K.W. Bennett, R.L.  
*Relation between electromyographic voltage and load*  
J. Appl. Physiol., 1956, 9: 473-476
79. Kogi, K. Hakamada, T.  
*Slowing of surface electromyogram and muscle strength in muscle fatigue*  
Rep. Inst. Sci. Lab. , 1962, 60: 27-41
80. Koh, T.J. Grabiner, M.D.  
*Evaluation of methods to minimize cross talk in surface EMG*  
Biomechanics, 1993, 26: 151-157
81. Komi, P.V.  
*Relationship between muscle tension, EMG and velocity of contraction under concentric and eccentric work*  
IN: Desmedt, J.E. TI: New Developments in EMG and Clinical Neurophysiology, Karger Verlag Basel, 1973, 1: 607-622
82. Komi, P. Buskirk, E.  
*Reproducibility of electromyographic measurements with inserted wire electrodes and surface electrodes*  
Electromyography, 1970, 10: 357ff
83. Komi, P.V. Viitasalo J.H.T.  
*Signal characteristics of EMG at different levels of muscle tension*  
Acta Physiol. Scand., 1976, 96: 267-276
84. Krogh-Lund, C. Jorgensen, K.  
*Changes in conduction velocity, median frequency, and root mean square-amplitude of the electromyogram during 25% maximal voluntary contraction of triceps brachii muscle, to limit of endurance*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1991, 63: 60-69
85. Kuchler, G. IN: Rüdiger, W. (Hrsg.)  
*Lehrbuch der Physiologie*  
Hüthig Verlag, Heidelberg, 1988, 3: 78-199
86. Kuroda, E. Klissouras, V. Milsum, J.H.  
*Electrical and metabolic activities and fatigue in human isometric contraction*  
J. Appl. Physiol., 1970, 29(3): 358-367
87. Lago, P. Jones, N.B.  
*Effect of motor unit firing time statistic on e.m.g. spectra*  
Med. Biol. Eng. Comput., 1977, 15: 648-655

88. Laurig, W.  
*Elektromyographie als arbeitswissenschaftliche Untersuchungsmethode zur Beurteilung von statischer Muskelarbeit*  
IN: Schriftreihe „Arbeitswissenschaft“
89. Lawrence, J.H. DeLuca, C.J.  
*Myoelectric signal versus force relationship in different human muscles*  
J. Appl. Physiol., 1983, 54: 1653-1659
90. Li, W. Sakamoto, K.  
*The influence of location of electrode on muscle fiber conduction velocity and EMG power spectrum during voluntary isometric contraction measured with surface array electrodes*  
Appl Human Sci 1996 Jan;15(1):25-32
91. Lind, A.R. Petrofsky, J.S.  
*Amplitude of the surface electromyogram during fatiguing isometric contractions*  
Muscle & Nerve, 1979, 2: 257-264
92. Lindström, L. Magnusson, R. Petersen, I.  
*Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signal*  
EMG, 1970, 10: 341-356
93. Lindström, L. Kadefors, R. Petersen, I.  
*An electromyographic index for localized muscle fatigue*  
Appl. Physiol., 1977, 43: 750-754
94. Linssen, H.J.P.  
*Fatigue in type I fiber predominance: A muscle force and surface EMG study on the relative role of type I and Type II muscle fibers*  
Muscle Nerve, 1991, 14: 829-837
95. Lippold, O.C.J.  
*The relation between integrated action potentials in human muscles and its isometric tension*  
J. Physiol., 1952, 246: 492-499
96. Lippold, O.C.J., Redfearn, J.W.T. Vuco, J.  
*The rythmical activity of groups of motor units in the voluntary contraction of muscles*  
J. Physiol., 1957, 137: 473-487
97. Lippold, O.C.J.  
*The electromyography of fatigue*  
Ergonomics, 1960, 3: 121-131

98. Loscher, W.N. Cresswell, A.G. Thorstensson, A.  
*Electromyographic responses of the human triceps surae and force tremor during sustained submaximal isometric plantar flexion*  
Acta Physiol Scand 1994 Sep;152(1): 73-82
99. Magyarosy I, Krause K-H, Resch KL, Guggemos W, Utzschneider I, Gall H, Ernst E.  
*Surface EMG response to heat and cold application on back muscles: Implications for the therapy of low back pain*  
Eur J Phys Med Rehabil 1996, 6: 38-41.
100. Magyarosy I, Resch KL, Guggemos W, Krause K-H  
*Effects of thermotherapy on the back muscle*  
Eur J Phys Med Rehabil 1992, 2: 16.
101. Magyarosy, I.  
*Zur Wirkungsweise von Moorpackungen auf das Kontraktionsverhalten der Skelettmuskulatur*  
Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim., 1990, 19: 242
102. Masuda, B. Masuda, T. Sadoyama, T. Inaki, M. Katsuta, S.  
*Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions*  
J. Electromyogr. Kinesiol., 1999 Feb, 9(1): 39-46
103. Maton, B.  
*Human motor unit activity during the onset of muscle fatigue in submaximal isometric isotonic contraction*  
Eur. J. of Applied Physiol., 1981, 46: 271-281
104. Merletti, R. Sabbahi, M.A. DeLuca, C.J.  
*Median frequency of the myoelectrical signal- effects of muscle ischemia and cooling*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1984, 52: 258-265
105. Mills, K.S.  
*Power spectral analysis of electromyogram and compounded muscle action potential during muscle fatigue and recovery*  
J. Physiol., 1982, 362: 401-409
106. Mills, K.S. Edwards, R.H.T.  
*Muscle fatigue in myophosphorylase deficiency: power spectral analysis of the electromyogram*  
EEG Clin. Neuro., 1984, 57: 330-335

107. Milner-Brown, H.S. Stein, R.B.  
*The relation between the surface electromyogram and muscular force*  
*J. Physiol.*, 1975, 246: 549-569
108. Milner-Brown, H.S. Stein, R.B. Yemm, R.S.  
*The Orderly Recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions*  
*J. Physiol.* 1973, 230: 359-370
109. Monster W.  
*Firing rate behavior of human motor units during isometric voluntary contraction: relation to unit size*  
*Brain Res.* 1979, 171: 349-354
110. Moritani, M.A. DeVries, H.A.  
*Reexamination of the relationship between the surface integrated electromyogram (EMG) and force of isometric contraction*  
*Am. J. Phys. Med.*, 1978, 57: 263ff
111. Moritani, T. Muro, M.  
*Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction*  
*Eur. J. of Applied Physiol.*, 1987, 56: 260-265
112. Mortimer, J. Magnusson, R. Petersen, I.  
*Conduction velocity in ischemic muscle: effect on EMG frequency spectrum*  
*Am. J. Physiol.*, 1970, 219(5): 1324-1329
113. Mortimer, J. T. Kerstein, M.D. Magnusson, R. Petersen, I.  
*Muscle blood flow in human biceps as a function of developed muscle force*  
*Arch. Surg.* , 1971, 103: 376-377
114. Müller, E.A. Karrasch, K.  
*Der Einfluß der Pausenanordnung auf die Ermüdung bei Schwerarbeit*  
*Int. Z. angew. Physiol.*, 1955, 16: 45ff
115. Newton, M.J., Lehmkuhl, D.  
*Muscle spindle response to body heating and localized muscle cooling*  
*J. Am. Phys. Ther. Association*, 1965, 45(2): 91-105
116. Nightingale, A.  
*The graphic representation of movement. II. relationship between muscle force and the EMG in the stand-at-ease position*  
*Ann. Phys. Med.* 1960, 5: 187ff

117. Orchardson, R.  
*The generation of nerve impulses in mammalian axons by changing the concentrations of the normal constituents of extracellular fluid*  
J. Physiol., 1978, 275: 177-183
118. Perry, J. Bekey, G.A.  
*EMG-Force relationship in skeletal muscle*  
Critical Reviews in Biomedical Engineering, 1981, 1-22
119. Person, R.S. und Libkind, M.S.  
*Simulation of electromyograms showing interference patterns*  
EEG klin. Neurophysiol., 1970, 28: 625-632
120. Petrofsky, J.S. Glaser, R.M. Chandler, A.P.  
*Evaluation of the amplitude and frequency components of the surface EMG as an index of muscle fatigue*  
Ergonomics, 1982, 25: 213-223
121. Petrofsky, J.S. Dahms, T.E. Lind, A.R.  
*Power spectrum analysis of EMG during static exercise*  
The Physiologist, 1975, 18: 350
122. Petrofsky, J.S. Chandler, A.P.  
*The physiology of static exercise*  
Exercise & Sport Sciences Reviews, 1986, 14: 1-44
123. Petrofsky, J.S. Lind, A.R.  
*The influence of temperature on the amplitude and frequency components of the EMG during brief and sustained isometric contractions*  
Eur. J. of Applied Physiol., 1980, 44: 189-200
124. Petrofsky, J.S. Lind, A.R.  
*Frequency analysis of surface EMG during sustained isometric contractions*  
Eur. J. of Applied Physiol., 1980, 43: 173-182
125. Piper, H.  
Pflügers Arch., 1909, cxxix, 145
126. Piper, H.  
Elektrophysiologie menschlicher Muskeln  
Springer Verlag, Berlin, 1912, 126ff
127. Potvin, J.R.  
*Effects of muscle kinematics on surface EMG amplitude and frequency during fatiguing dynamic contraction*  
J. Appl. Physiol., 1997, 82: 144-151

128. Rachor, B. Schnizer, W.  
*Thermotherapie*  
Z. Allg. Med., 1981, 57:1501-1509
129. Rainoldi, A. Galardi G Maderna L Comi G Lo Conte L Merletti R  
*Repeatability of surface EMG variables during voluntary isometric contractions of the biceps brachii muscle*  
J Electromyogr Kinesiol 1999 Apr;9(2):105-19
130. Romaiquere, P. Vedel, J.P. Pagni, S. Zenatti, A.  
*Physiological properties of the motor units of the wrist extensor muscles in man*  
Exp. Brain Res., 1989, 78(1): 51-61
131. Roy, S.H. DeLuca, C.J. Schneider, J.  
*Effects of electrode location on myoelectric conduction velocity and median frequency estimates*  
J. Appl. Physiol., 1986, 61: 1510-1517
132. Sadoyama, T. Miyano, H.  
*Frequency analysis of surface EMG to evaluation of muscle fatigue*  
Eur. J. of Applied Physiol., 1981, 47: 239-246
133. Sadoyama, T. Masuda, T. Miyata, H. und Katsuta, S.  
*Fibre conduction velocity and fibre composition in human vastus lateralis*  
Eur J Appl. Physio., 1988, 57: 767-771
134. Sadoyama, T. Inaki, M. Katsuta, S.  
*Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions*  
J Electromyogr Kinesiol 1999 Feb;9(1):39-46
135. Scherrer, J. Bourguignon, A.  
*Changes in the electromyogram produced by fatigue in man*  
Am J. Phys Med , 1959,38: 148-158
136. Schmidt, K.L  
*Grundlagen und Wirkung länger applizierter Kälte- und Wärmeanwendungen in der Therapie*  
Kompendium der Balneologie u. Kurortmedizin.  
Steinkopf Verlag Darmstadt. 1989:325
137. Schnizer, W. Kleinschmidt, J. Dirnagl, K. Bloching, H.  
*Physikalische Grundlagen zur Anwendung von Heißpackungen*  
Physik. Therapie, 1981, 2: 12-16

138. Schulz, L.  
*Der jahreszeitliche Gang der Temperaturempfindung des Menschen anhand einer zehnjährigen Beobachtungsreihe*  
Archiv Physik. Therapie, 1960, 3: 245-255
139. Sjodin, B.  
*Lactat dehydrogenase in human skeletal muscles*  
Acta Physiol. Scand., 1976, Suppl. 436
140. Stafford, D.E. Petrofsky, J.S.  
*Interactions between fatiguing and non-fatiguing isometric contractions*  
Journal of Applied Physiol., 1981, 51: 399-404
141. Stephens, J.A. Taylor, A.  
*Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man*  
J. Physiol., 1972, 220: 1-18
142. Stoboy, H.  
*Das Verhalten der motorischen Einheiten unter den Bedingungen eines isometrischen Trainings*  
Int. Z. angew. Physiol., 1959, 17: 391-399
143. Stulen, F.B. DeLuca, C.J.  
*Frequency parameters of the myoelectrical signal as measure of muscle conduction velocity*  
IEEE Trans Biomed. Eng., 1981, 28: 515-523
144. Tasaki, I. Singer, I. Takenaka, T.  
*Effects of internal and external ionic environment on excitability of squid giant axon*  
J. Gen Physiol., 1967, 48: 1095-1099
145. Tesch, P.  
*Lactate in fast and slow twitch skeletal muscle fibers of man during isometric contraction*  
Acta Physiol. Scand., 1977, 99: 230-236
146. Tesch, P.  
*Muscle fatigue and its relation to lactat accumulation and LDH activity in man*  
Acta Physiol. Scand., 1978, 103: 413-418
147. Theeuwen, M. Gielen, C.C. Miller, L.E. Doorenbosch, C.  
*The relation between the direction dependence of electromyographic amplitude and motor unit recruitment thresholds during isometric contractions*  
Exp Brain Res 1994;98(3):488-500

148. Ulmer, H.V. IN: Schmidt, R.F., Thews, G. (Hrsg.)  
*Physiologie des Menschen*  
Springer Verlag, Berlin, 1990, 26: 683-703
149. Umezu, Y. Kawazu. T. Tajima, F. Ogata, H.  
*Spectral electromyographic fatigue analysis of back muscles in healthy adult women compared with men*  
Arch. Phys. Med. Rehabil., 1998, 79(5): 536-538
150. Viitasalo, J.H.T.  
*Signal characteristics of EMG during fatigue*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1977, 37: 111-121
151. Vredenburg, J.  
*Surface electromyography in relation to force, muscle length, and endurance*  
IN: Desmedt, J.E. TI: New Developments in EMG and Clinical Neurophysiology,  
Karger Verlag Basel, 1973, 1: 607-622
152. Wachholder, K.  
*Bewegung im Licht der elektrophysiologischen. Untersuchung*  
Ergebnisse d. Physiol., 1928, 26: 568
153. Weizsäcker, J.  
*Über Willkürbewegungen und Reflexe bei Erkrankungen des Zentralnervensystems*  
Dtsch Z Nervenheilk 1921, 70: 115-130
154. Winkel, J. Jörgensen, K.  
*Significance of skin temperature changes in surface electromyography*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1991, 63: 345-348
155. Witzleb, E. IN: Schmidt, R.F. Thews, G. (Hrsg.)  
*Physiologie des Menschen*  
Springer Verlag, Berlin, 1990, 20: 505-572
156. Yoneda, M.  
*Recruitment threshold force and its changing type of motor units during voluntary contraction at various speeds in man*  
Brain Res., 1986, 372: 89-94
157. Young, A.  
*The relative isometric strength of type I and type II muscle fibres in the human quadriceps*  
Clin. Physiol., 1984, 4: 23-32

158. Young, A.J. Sawka T.  
*Skeletal Muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation*  
J. Appl. Physiol 1985, 59: 1929-1935
159. Zedka, M. Kumar, S. Narayan, Y.  
*Comparison of surface EMG signals between electrode types, interelectrode distances and electrode orientations in isometric exercise of the erector spinae muscle*  
Electromyogr Clin Neurophysiol 1997 Oct;37(7):439-47
160. Zipp, P.  
*Effect of electrode geometry on the selectivity of myoelectric recordings with surface electrodes*  
Eur. J. Appl. Physiol., 1982, 50: 35-40
161. Zuniga, E.N. Truong, X.T. Simons, D.G.  
*Effect on skin electrode position on averaged electromyographic potentials*  
Arch. Phys. Med. Rehabil. , 1970, 51: 264-272
162. Zwarts  
*Relationship between average muscle fibre conduction velocity and EMG power spectra during isometric contraction, recovery and applied ischemia*  
Eur. J. Appl. Physiol. 1987: 56: 212-216



## 7 Anhang

### 7.1 Ergebnisse der Versuchsgruppe im Kraftreihenversuchs

RMS						
Kraft [%MVC]	Mittelwerte		Standardabweichung		Vergleich	
	Standard	Wärme	Standard	Wärme	Ttest	Signifikanz
Ruhe	6,65	6,20	3,05	2,64	0,6177	n.s.
10%	16,55	15,59	6,33	3,83	0,7602	n.s.
30%	33,24	31,90	10,32	10,11	0,8652	n.s.
50%	46,98	48,28	11,76	13,15	0,5994	n.s.
80%	80,38	75,38	13,36	18,55	0,4528	n.s.
100%	100,00					

Tabelle 2: Gegenüberstellung der RMS-Werte vor (Standard) und unter Wärmeapplikation (Wärme) mit Standardabweichung und Signifikanzniveaus im Student-T-Test.

TURNS						
Kraft [%MVC]	Mittelwerte		Standardabweichung		Vergleich	
	Standard	Wärme	Standard	Wärme	Ttest	Signifikanz
Ruhe	9,35	7,92	5,00	7,92	0,3156	n.s.
10%	57,47	62,05	10,67	62,05	0,1668	n.s.
30%	75,20	80,56	8,42	80,56	0,0499	*
50%	84,03	90,14	6,37	90,14	0,0052	**
80%	91,29	99,48	6,62	99,48	0,0032	**
100%	100,00					

Tabelle 3: Gegenüberstellung der TURNS-Mittelwerte vor (Standard) und unter Wärme-Applikation (Wärme) mit Standardabweichung und Signifikanzniveaus im Student-T-Test.

## 7.2 Ergebnisse der Kontrollgruppe im Kraftreihenversuch

RMS-Kontrolle						
Kraft [%MVC]	Mittelwerte		Standardabweichung		Vergleich	
	Kontroll-St	Kontrolle-W	Kontroll-St	Kontrolle-W	Ttest	Signifikanz
Ruhe	6,44	6,53	3,52	3,81	0,93810162	n.s.
10%	16,98	16,58	5,70	5,51	0,79991047	n.s.
30%	35,59	35,04	12,65	14,59	0,86425194	n.s.
50%	50,45	49,24	13,59	16,62	0,84040006	n.s.
80%	78,03	75,27	14,04	16,63	0,7281494	n.s.
100%	100,00	100,00				

*Tabelle 4: Gegenüberstellung der RMS-Mittelwerte im Kontrollversuch (Kontroll-St) und dem 15min später folgendem Versuch (Kontrolle-W) ohne Wärmeapplikation mit Standardabweichung und Signifikanzniveaus im Student-T-Test.*

TURNS-Kontrolle						
Kraft [%MVC]	Mittelwerte		Standardabweichung		Vergleich	
	Kontroll-St	Kontrolle-W	Kontroll-St	Kontrolle-W	Ttest	Signifikanz
Ruhe	10,32	10,52	3,66	4,39	0,88645211	n.s.
10%	58,25	59,20	9,80	8,24	0,75529558	n.s.
30%	76,06	74,82	8,76	7,95	0,65990241	n.s.
50%	85,40	83,40	6,62	7,43	0,39945128	n.s.
80%	92,24	92,61	5,84	5,33	0,84192011	n.s.
100%	100,00					

*Tabelle 5: Gegenüberstellung der TURNS-Mittelwerte im Kontrollversuch (Kontroll-St) und dem 15min später folgendem Versuch (Kontrolle-W) ohne Wärmeapplikation mit Standardabweichung und Signifikanzniveaus im Student-T-Test.*

### 7.3 Originaldaten der Probanden des Kraftreihenversuchs

Proband Nr. 1 - And1												Proband Nr. 1 - AndB															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	32	31	32	Ruhe	32	32	31	Ruhe	31	31	31	Ruhe	48	48	48	Ruhe	40	39	43	Ruhe	41	41	42				
10%	86	84	84	10%	95	95	92	10%	88	89	92	10%	94	90	93	10%	88	88	89	10%	93	99	96				
30%	173	181	175	30%	242	240		30%	261	263	262	30%	162	166	163	30%	150	184	179	30%	199	189	176				
50%	371	376	356	50%	369	395		50%	355	405		50%	270	245	231	50%	249	306		50%	222	227					
80%	500	458		80%	414	416		80%	416	458	416	80%	359	356		80%	357	458		80%	451						
100%	541			100%	541			100%				100%	401			100%	401	458		100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	25	27	26	Ruhe	28	30	27	Ruhe	24	25	25	Ruhe	85	81	86	Ruhe	66	64	62	Ruhe	68	67	69				
10%	197	192	196	10%	243	234	231	10%	219	221	220	10%	330	318	309	10%	329	314	311	10%	319	330	299				
30%	304	299	292	30%	297	273		30%	316	307	292	30%	418	408	379	30%	388	378	373	30%	393	383	370				
50%	356	326	303	50%	302	280		50%	327	315		50%	440	429	431	50%	430	400		50%	424	407					
80%	359	327		80%	332	295		80%	397	378	350	80%	442	416		80%	386	427		80%	403						
100%	377			100%	377			100%				100%	455			100%	455	401		100%							

Proband Nr. 2 - Bra1												Proband Nr. 2 - BraB															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	32	32	32	Ruhe	29	28	29	Ruhe	29	29	30	Ruhe	31	30	32	Ruhe	29	30	29	Ruhe	30	29	30				
10%	150	141	143	10%	126	131	132	10%	116	140	166	10%	271	353	317	10%	309	304	280	10%	187	182	175				
30%	416	458	500	30%	277	262	260	30%	391	416	416	30%	666	708	666	30%	583	583	458	30%	333	345	416				
50%	583	708		50%	423	416		50%	584	708		50%	708	791		50%	625	750		50%	625	625					
80%	708	833		80%	583	666		80%	750			80%	916			80%	958			80%	916						
100%	1041			100%	833			100%				100%	1166			100%	1166			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	22	20	23	Ruhe	14	13	16	Ruhe	11	14	12	Ruhe	25	28	25	Ruhe	20	24	21	Ruhe	21	19	19				
10%	188	183	186	10%	224	235	244	10%	221	217	224	10%	228	213	218	10%	234	227	216	10%	233	222	216				
30%	269	241	230	30%	279	260	259	30%	309	268	246	30%	256	233	229	30%	259	231	228	30%	254	253	233				
50%	275	283		50%	357	334		50%	360	324		50%	282	275		50%	327	284		50%	305	281					
80%	332	325		80%	395	362		80%	372			80%	356			80%	321			80%	323						
100%	381			100%	392			100%				100%	383			100%	383			100%							

Proband Nr. 3 - Cam1												Proband Nr. 3 - Cam1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	52	53	51	Ruhe	54	53	53	Ruhe	49	46	47	Ruhe	52	52	53	Ruhe	52	51	49	Ruhe	51	51	49				
10%	85	83	77	10%	74	76	73	10%	92	85	91	10%	113	106	115	10%	127	121	141	10%	108	118	112				
30%	143	147	154	30%	138	136	135	30%	148	157	186	30%	179	177	200	30%	207	213	227	30%	191	211	168				
50%	211	216	235	50%	209	218	220	50%	248	244	262	50%	206	217	189	50%	262	265	270	50%	325	364	389				
80%	330			80%	458			80%	425			80%	348			80%	387			80%	381						
100%	500			100%	500			100%				100%	458			100%	458			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	58	59	59	Ruhe	66	64	65	Ruhe	61	53	59	Ruhe	62	67	62	Ruhe	67	70	73	Ruhe	67	71	70				
10%	231	217	220	10%	212	209	209	10%	232	241	221	10%	292	277	265	10%	249	249	237	10%	244	250	240				
30%	318	316	302	30%	309	284	285	30%	300	279	280	30%	322	299	285	30%	260	262	255	30%	293	272	260				
50%	365	338	322	50%	345	290	295	50%	327	301	280	50%	344	319	307	50%	299	285	264	50%	295	278	256				
80%	327			80%	336			80%	310			80%	350			80%	301			80%	316						
100%	328			100%	347			100%				100%	340			100%	340			100%							

Proband Nr. 4 - Daf1												Proband Nr. 4 - Daf1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	45	43	45	Ruhe	43	44	43	Ruhe	41	43	43	Ruhe	34	34	33	Ruhe	30	29	30	Ruhe	30	30	30	Ruhe	30	30	30
10%	162	162	155	10%	140	140	136	10%	109	107	100	10%	100	111	104	10%	89	99	103	10%	89	93	95				
30%	315	316	297	30%	334	347	327	30%	195	198	204	30%	207	209	211	30%	190	185	173	30%	175	168	182				
50%	395	395	425	50%	377	458	458	50%	322	323	318	50%	265	277	274	50%	260	282		50%	215	251					
80%	500	750		80%	875	833		80%	386			80%	408	416		80%	371	416		80%	346	416					
100%	916			100%	916			100%				100%	708			100%	708			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	45	44	48	Ruhe	46	50	46	Ruhe	44	48	42	Ruhe	35	37	36	Ruhe	23	21	21	Ruhe	23	23	21				
10%	268	265	263	10%	288	278	269	10%	263	259	252	10%	202	247	253	10%	254	276	272	10%	263	269	247				
30%	298	273	291	30%	299	315	293	30%	329	321	322	30%	334	317	314	30%	327	327	322	30%	331	321	319				
50%	349	302	300	50%	307	290		50%	364	361	359	50%	358	317	335	50%	339	354		50%	330	307					
80%	332	336		80%	294	296		80%	394			80%	371	365		80%	368	346		80%	335	363					
100%	352			100%	354			100%				100%	383			100%	383			100%							

Proband Nr.5 - Dauj1												Proband Nr.5 - Dauj1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	28	28	28	Ruhe	30	30	30	Ruhe	29	29	30	Ruhe	38	40	39	Ruhe	41	39	41	Ruhe	40	40	41				
10%	151	162	151	10%	263	261	283	10%	135	197	200	10%	126	123	119	10%	222	214	202	10%	262	257	233				
30%	272	277	244	30%	458	358	413	30%	253	327		30%	500	458	458	30%	583	583	583	30%	583	541	583				
50%	287	271		50%	458	316		50%	265	283	291	50%	303	416	458	50%	500	708	625	50%	583	625					
80%	303	330		80%	666			80%	500			80%	625	791		80%	791			80%	791						
100%	666			100%	666			100%				100%	875			100%	833			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	14	15	17	Ruhe	28	27	26	Ruhe	20	24	23	Ruhe	38	37	35	Ruhe	39	39	38	Ruhe	38	38	39				
10%	213	224	223	10%	232	234	232	10%	159	222	217	10%	154	148	151	10%	215	208	206	10%	197	193	192				
30%	289	265	268	30%	268	263	240	30%	197	237		30%	242	244	233	30%	237	223	214	30%	232	221	214				
50%	311	310		50%	211	307		50%	301	291	295	50%	212	274	263	50%	255	260	239	50%	259	240					
80%	367	329		80%	312			80%	345			80%	326	261		80%	260			80%	270						
100%	374			100%	374			100%				100%	349			100%	325			100%							

Proband Nr.6 - Fim1												Proband Nr.6 - Fim1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	40	40	39	Ruhe	36	37	37	Ruhe	34	35	36	Ruhe	37	38	39	Ruhe	40	38	40	Ruhe	40	41	39				
10%	168	157	148	10%	120	126	137	10%	129	151	152	10%	223	221	260	10%	184	177	164	10%	199	190	188				
30%	583	541	541	30%	345	332	381	30%	500	500	500	30%	708	708	708	30%	583	541	541	30%	791	791	708				
50%	708	666	708	50%	625	583	583	50%	625	583	583	50%	916	916		50%	750	791		50%	916	916					
80%				80%	833	708		80%	708	791		80%	916	916		80%	791	875		80%	1083						
100%	958			100%	958			100%				100%				100%	985			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	41	42	37	Ruhe	29	29	28	Ruhe	25	26	27	Ruhe	33	31	31	Ruhe	37	38	37	Ruhe	35	37	33				
10%	224	218	213	10%	233	229	237	10%	270	278	268	10%	256	251	251	10%	228	230	227	10%	239	230	231				
30%	312	278	267	30%	314	305	292	30%	343	297	294	30%	303	259	253	30%	309	282	267	30%	307	284	248				
50%	302	285	266	50%	360	306	289	50%	364	333	302	50%	331	287		50%	338	309		50%	334	282					
80%				80%	360	314		80%	388	335		80%	355	312		80%	361	313		80%	323						
100%	344			100%	344			100%				100%	344			100%	333			100%							

Proband Nr. 7 - Fis1												Proband Nr. 7 - Fis1																			
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme											
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3				
Ruhe	32	34	34	Ruhe	29	32	33	Ruhe	31	31	31	Ruhe	39	39	39	Ruhe	29	29	29	Ruhe	33	34	33								
10%	103	104	113	10%	104	106	98	10%	140	146	134	10%	98	97	94	10%	58	55	56	10%	90	94	90								
30%	228	236	219	30%	273	281	265	30%	352	329	304	30%	189	191	163	30%	140	138	137	30%	185	175	176								
50%	347	334	294	50%	280	334	312	50%	336	416	426	50%	299	281	285	50%	234	242	220	50%	330	349	335								
80%	416	458		80%	583			80%	666	935		80%	403			80%	345	365		80%	541	500									
100%	500			100%	666			100%				100%	500			100%	500			100%											
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	12	13	10	Ruhe	34	42	36	Ruhe	36	37	28	Ruhe	37	40	38	Ruhe	17	16	17	Ruhe	26	29	26								
10%	164	169	167	10%	225	226	216	10%	212	226	209	10%	203	209	205	10%	158	158	154	10%	182	173	171								
30%	201	222	204	30%	280	277	272	30%	272	269	278	30%	273	278	278	30%	273	264	268	30%	205	195	195								
50%	236	231	214	50%	308	282	279	50%	297	308	296	50%	314	297	286	50%	306	286	281	50%	253	225	215								
80%	256			80%	322			80%	352	306		80%	325			80%	336	303		80%	274	244									
100%	273			100%	336			100%				100%	309			100%	325			100%											

Proband Nr. 8 - Got1												Proband Nr. 8 - Got1																			
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme											
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3				
Ruhe	38	37	34	Ruhe	34	34	33	Ruhe	33	32	32	Ruhe	38	37	39	Ruhe	33	32	31	Ruhe	32	31	31								
10%	112	116	119	10%	110	107	110	10%	112	112	110	10%	103	115	116	10%	128	126	122	10%	93	99	88								
30%	248	264	243	30%	299	323	327	30%	277	270	304	30%	354	375	394	30%	335	374	365	30%	184	195	200								
50%	708	750		50%	415	458		50%	625	625		50%	500	583	583	50%	458	458	458	50%	420	410	408								
80%	791			80%	708	833		80%	708			80%	750	750		80%	708			80%	583										
100%	875			100%	875			100%				100%	791			100%	791			100%											
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	38	39	36	Ruhe	30	33	34	Ruhe	33	33	26	Ruhe	47	47	45	Ruhe	28	25	24	Ruhe	25	24	24								
10%	205	204	212	10%	225	223	222	10%	248	245	240	10%	167	200	200	10%	210	210	206	10%	207	204	199								
30%	249	241	254	30%	261	267	247	30%	315	297	277	30%	253	234	225	30%	272	262	249	30%	285	251	237								
50%	291	266		50%	339	285		50%	296	279		50%	308	271	252	50%	281	264	253	50%	298	268	261								
80%	307			80%	348	302		80%	320			80%	330	300		80%	300			80%	315										
100%	325			100%	341			100%				100%	343			100%	343			100%											

Proband Nr. 9 - Hoe1												Proband Nr. 9 - Hoe1																			
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme											
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3				
Ruhe	37	37	38	Ruhe	35	34	35	Ruhe	33	33	32	Ruhe	38	36	38	Ruhe	37	37	37	Ruhe	37	37	36								
10%	88	77	75	10%	79	86	77	10%	84	84	71	10%	82	86	88	10%	82	101	96	10%	82	98	89								
30%	103	94	107	30%	107	112	112	30%	111	91	89	30%	240	212	210	30%	197	155	162	30%	115	117	111								
50%	151	148		50%	151	175		50%	198	181		50%	234	237		50%	262	258		50%	190	255									
80%	281	297		80%	307	340		80%	315	380		80%	421	708		80%	404			80%	416	416									
100%	416	416		100%	500			100%				100%	541			100%	541			100%											
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	46	46	50	Ruhe	42	35	39	Ruhe	30	30	26	Ruhe	47	48	47	Ruhe	45	47	39	Ruhe	40	41	40								
10%	194	177	183	10%	178	175	173	10%	213	208	201	10%	179	170	182	10%	179	193	187	10%	175	187	186								
30%	217	222	226	30%	221	225	233	30%	253	254	249	30%	264	255	246	30%	244	251	245	30%	220	221	216								
50%	254	250		50%	261	283		50%	303	288		50%	300	289		50%	285	282		50%	225	276									
80%	296	285		80%	303	286		80%	324	335		80%	292	268		80%	291			80%	293	275									
100%	309	292		100%	330			100%				100%	266			100%	300			100%											

Proband Nr. 10 - Jos1												Proband Nr. 10 - Jos1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	39	39	38	Ruhe	37	37	38	Ruhe	34	33	33	Ruhe	35	33	34	Ruhe	35	34	35	Ruhe	34	34	34	Ruhe	34	34	34
10%	66	64	62	10%	75	70	67	10%	69	70	64	10%	75	72	67	10%	82	86	71	10%	88	88	81				
30%	105	95	103	30%	147	136	129	30%	145	135	126	30%	158	156	158	30%	248	239	213	30%	222	231	239				
50%	149	150		50%	209	230		50%	223	229	223	50%	261	266	261	50%	349	340	336	50%	309	332	360				
80%	251	275		80%	356	352		80%	311			80%	355	500		80%	458	583		80%	458	458					
100%	416			100%	418			100%				100%	583			100%	750			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	35	37	36	Ruhe	34	34	37	Ruhe	28	26	27	Ruhe	28	29	30	Ruhe	32	29	31	Ruhe	29	32	29				
10%	196	196	194	10%	212	215	213	10%	211	211	208	10%	181	176	174	10%	176	180	175	10%	198	185	180				
30%	258	257	252	30%	260	263	260	30%	297	295	266	30%	254	243	229	30%	238	215	207	30%	220	244	228				
50%	308	302		50%	286	277		50%	318	294	276	50%	258	244	253	50%	260	240	229	50%	282	300	280				
80%	330	310		80%	316	291		80%	332			80%	288	294		80%	273	258		80%	303	278					
100%	365			100%	300			100%				100%	351			100%	300			100%							

Proband Nr. 11 - Kaa1												Proband Nr. 11 - Kaa1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	34	33	36	Ruhe	30	31	32	Ruhe	30	30	29	Ruhe	36	36	36	Ruhe	32	33	33	Ruhe	34	34	34	Ruhe	34	34	34
10%	114	111	113	10%	97	102	97	10%	97	91	92	10%	103	100	95	10%	109	107	116	10%	99	100	101				
30%	169	174	173	30%	163	153	156	30%	154	143	138	30%	191	195	203	30%	204	193	181	30%	224	210	211				
50%	397	356	397	50%	231	213	197	50%	266	269	234	50%	333	264	253	50%	367	335	380	50%	398	348	416				
80%	625			80%	558	500		80%	374	416		80%	458	583		80%	666	666		80%	500	583	625				
100%	708			100%	583			100%				100%	708			100%	708			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	23	22	35	Ruhe	20	22	23	Ruhe	15	17	14	Ruhe	28	27	29	Ruhe	29	27	28	Ruhe	28	29	29				
10%	222	224	215	10%	232	235	231	10%	225	229	235	10%	191	187	190	10%	196	194	207	10%	212	214	209				
30%	242	236	238	30%	259	253	248	30%	288	262	268	30%	249	234	248	30%	246	236	241	30%	253	254	253				
50%	298	271	262	50%	295	280	268	50%	323	303	291	50%	267	245	258	50%	284	274	271	50%	310	287	279				
80%	325			80%	339	312		80%	306	353		80%	296	285		80%	344	313		80%	303	310	309				
100%	338			100%	352			100%				100%	361			100%	361			100%							

Proband Nr.12 - Kai1												Proband Nr.12 - Kai1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	34	33	34	Ruhe	33	35	34	Ruhe	32	32	32	Ruhe	36	34	34	Ruhe	34	33	33	Ruhe	34	34	32	Ruhe	34	34	32
10%	52	53	53	10%	52	48	48	10%	49	45	45	10%	48	47	48	10%	49	48	45	10%	53	49	48				
30%	80	81	82	30%	67	71	69	30%	77	79	72	30%	64	62	59	30%	70	64	62	30%	63	67	64				
50%	115	120	111	50%	136	112	124	50%	117	94	94	50%	98	86		50%	114	114		50%	93	84					
80%	166	188		80%	154	183		80%	137	145		80%	131	136		80%	192	190		80%	152	142					
100%	278			100%	238			100%				100%	176			100%	213			100%							
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	29	29	30	Ruhe	25	32	31	Ruhe	27	22	24	Ruhe	30	30	29	Ruhe	29	33	32	Ruhe	28	31	29				
10%	136	139	143	10%	126	125	122	10%	145	125	112	10%	152	152	160	10%	156	152	149	10%	170	160	162				
30%	227	214	210	30%	192	186	189	30%	213	210	200	30%	234	220	216	30%	228	222	211	30%	218	221	212				
50%	254	246	230	50%	257	249	232	50%	252	249	255	50%	288	272		50%	282	258		50%	256	247					
80%	301	295		80%	285	278		80%	296	283		80%	329	300		80%	323	289		80%	309	287					
100%	350			100%	322			100%				100%	348			100%	322			100%							

Proband Nr.13 - Kaip1												Proband Nr.13 - Kaip1																			
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme											
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3				
Ruhe	38	39	40	Ruhe	37	38	39	Ruhe	30	32	32	Ruhe	40	40	39	Ruhe	36	36	35	Ruhe	33	35	34								
10%	190	184	170	10%	205	162	119	10%	160	110	135	10%	185	185	176	10%	110	111	110	10%	146	135	141								
30%	296	239	256	30%	293	277	298	30%	247	255	255	30%	311	316	321	30%	232	228	234	30%	271	273	268								
50%	541	416		50%	625	416	361	50%	263	583	708	50%	417	399		50%	333	351	348	50%	390	394									
80%	875	1000	875	80%	1083	1125		80%	1333			80%	625	541		80%	625	541	958	80%	708	625									
100%	1083	833		100%	1208	833		100%				100%	916			100%	1666	916		100%											
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	34	35	37	Ruhe	38	38	37	Ruhe	28	25	28	Ruhe	39	41	39	Ruhe	42	43	42	Ruhe	43	41	41								
10%	195	216	213	10%	180	184	191	10%	230	223	219	10%	255	240	240	10%	230	231	227	10%	259	257	256								
30%	313	308	294	30%	308	300	285	30%	321	311	305	30%	333	333	311	30%	375	366	354	30%	316	316	320								
50%	334	359		50%	236	332	327	50%	220	346	358	50%	370	352		50%	330	420	393	50%	383	381									
80%	215	367	346	80%	338	309		80%	396			80%	407	407		80%	407	407	361	80%	452	411									
100%	374	257		100%	316	374		100%				100%	446			100%	446	396		100%											

Proband Nr. 14 Kle1												Proband Nr. 14 Kle1																			
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme											
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3				
Ruhe	30	30	30	Ruhe	26	26	26	Ruhe	27	27	27	Ruhe	30	29	29	Ruhe	30	30	30	Ruhe	30	29	30								
10%	104	97	93	10%	76	79	80	10%	57	58	60	10%	110	106	107	10%	89	99	99	10%	93	94	87								
30%	176	196	177	30%	159	169	166	30%	125	113	112	30%	197	182	182	30%	166	174	177	30%	185	171	182								
50%	203	207	227	50%	164	196		50%	148	163		50%	269	285		50%	173	228		50%	185	175									
80%	308	345	362	80%	253	263		80%	202	245		80%	302	426		80%	348			80%	311										
100%	394			100%	362			100%				100%	500			100%	500			100%											
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	20	17	19	Ruhe	9	9	8	Ruhe	10	10	9	Ruhe	21	19	20	Ruhe	21	22	21	Ruhe	22	20	21								
10%	199	193	181	10%	180	185	194	10%	159	160	153	10%	188	179	185	10%	164	166	166	10%	174	173	173								
30%	261	252	226	30%	250	245	232	30%	231	246	233	30%	235	228	239	30%	223	226	212	30%	219	208	202								
50%	296	263	253	50%	269	264		50%	272	270		50%	254	258		50%	243	227		50%	217	222									
80%	289	268	336	80%	308	293		80%	303	271		80%	278	270		80%	262			80%	262										
100%	278			100%	336			100%				100%	284			100%	284			100%											

Proband Nr.15 - Loe1												Proband Nr.15 - Loe1																			
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme											
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3				
Ruhe	33	33	33	Ruhe	31	32	32	Ruhe	31	31	31	Ruhe	44	42	43	Ruhe	37	37	37	Ruhe	33	33	33								
10%	143	125	117	10%	106	103	98	10%	140	135	140	10%	122	110	114	10%	88	101	94	10%	89	84	86								
30%	336	363	338	30%	272	261	272	30%	352	329	304	30%	224	220	220	30%	213	219	236	30%	304	317	335								
50%	340	380	424	50%	278	312	312	50%	352	426	416	50%	308	315		50%	416	458		50%	428	458									
80%	625			80%	583			80%	666	958		80%	583	625		80%	708			80%	750										
100%	1083			100%	875			100%				100%	875			100%	791			100%											
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3				
Ruhe	45	47	42	Ruhe	34	39	36	Ruhe	35	37	26	Ruhe	45	45	45	Ruhe	31	34	33	Ruhe	30	30	29								
10%	223	225	242	10%	221	226	214	10%	210	220	208	10%	233	234	233	10%	186	186	191	10%	196	191	185								
30%	264	277	269	30%	280	277	272	30%	272	271	260	30%	285	284	265	30%	278	276	268	30%	287	278	269								
50%	319	301	283	50%	308	282	279	50%	297	308	296	50%	305	297		50%	326	296		50%	320	295									
80%	358			80%	321			80%	340	301		80%	342	299		80%	330			80%	318										
100%	331			100%	322			100%				100%	303			100%	330			100%											

Proband Nr.16 - May1												Proband Nr.16 - May1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	32	34	34	Ruhe	39	39	40	Ruhe	40	39	39	Ruhe	33	33	35	Ruhe	34	33	35	Ruhe	33	34	35	Ruhe	33	34	35
10%	103	104	113	10%	111	108	102	10%	77	74	74	10%	82	78	81	10%	79	83	84	10%	82	86	84	10%	82	86	84
30%	228	236	219	30%	329	288	308	30%	174	156	150	30%	171	187	190	30%	190	195	187	30%	204	193	198	30%	204	193	198
50%	347	334	294	50%	416	346	358	50%	274	318	331	50%	283	266	335	50%	336	309	332	50%	340	367	398	50%	340	367	398
80%	416	458		80%	625			80%	541			80%	458	500		80%	458	458		80%	583	500		80%	583	500	
100%	500			100%	625			100%				100%	708			100%	750			100%	666			100%	666		
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	28	33	31	Ruhe	47	44	52	Ruhe	43	41	41	Ruhe	29	28	30	Ruhe	31	28	27	Ruhe	26	30	28	Ruhe	26	30	28
10%	234	244	225	10%	233	213	205	10%	264	228	223	10%	178	172	169	10%	179	181	177	10%	175	178	172	10%	175	178	172
30%	305	285	279	30%	300	272	262	30%	347	319	284	30%	215	207	220	30%	239	241	236	30%	220	231	248	30%	220	231	248
50%	368	344	319	50%	342	295	298	50%	352	312	304	50%	244	249		50%	260	282		50%	310	287		50%	310	287	
80%	425	344		80%	335			80%	326			80%	288	278		80%	303	289		80%	336	298		80%	336	298	
100%	424			100%	424			100%				100%	361			100%	343			100%	315			100%	315		

Proband Nr. 17 - Neu1												Proband Nr. 17 - Neu1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	28	28	28	Ruhe	28	28	27	Ruhe	27	28	28	Ruhe	29	31	34	Ruhe	28	27	31	Ruhe	30	32	29	Ruhe	30	32	29
10%	88	92	102	10%	66	71	71	10%	64	66	66	10%	75	78	69	10%	78	81	75	10%	73	76	71	10%	73	76	71
30%	239	226	212	30%	146	136	152	30%	136	124	121	30%	181	195	203	30%	158	178	193	30%	192	224	210	30%	192	224	210
50%	345	416	398	50%	244	234	232	50%	169	172	204	50%	309	332		50%	294	300		50%	367	300		50%	367	300	
80%				80%	348			80%	347			80%	458			80%	398			80%	583			80%	583		
100%	458			100%	541			100%				100%	666			100%	500			100%				100%			
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	15	10	17	Ruhe	12	11	10	Ruhe	9	11	11	Ruhe	26	28	29	Ruhe	27	27	26	Ruhe	28	27	26	Ruhe	28	27	26
10%	152	162	169	10%	162	169	167	10%	208	205	200	10%	191	187	185	10%	192	193	189	10%	187	185	186	10%	187	185	186
30%	206	203	212	30%	201	222	206	30%	237	230	229	30%	224	220	219	30%	202	222	226	30%	219	268	278	30%	219	268	278
50%	234	205	210	50%	244	231	214	50%	266	250	247	50%	227	258		50%	217	305		50%	298	295		50%	298	295	
80%				80%	256			80%	275			80%	294			80%	262	243		80%	222			80%	222		
100%	230			100%	256			100%				100%	384			100%	303			100%				100%			

Proband Nr.18 - Pfe1												Proband Nr.18 - Pfe1															
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme							
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	31	33	30	Ruhe	29	29	29	Ruhe	29	29	28	Ruhe	38	36	39	Ruhe	36	36	35	Ruhe	39	41	38	Ruhe	39	41	38
10%	69	74	69	10%	47	47	49	10%	66	69	69	10%	87	91	86	10%	84	86	86	10%	81	83	91	10%	81	83	91
30%	98	100	93	30%	101	98	105	30%	124	129	129	30%	132	177	191	30%	222	213	207	30%	181	256	244	30%	181	256	244
50%	173	173	149	50%	152	158	142	50%	178	206	216	50%	277	249	286	50%	298	299	295	50%	285	295	278	50%	285	295	278
80%	258	328		80%	341	458		80%	458	500		80%	344			80%	301			80%	316			80%	316		
100%	666			100%	666			100%				100%	458			100%	403			100%				100%			
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	21	22	22	Ruhe	13	12	12	Ruhe	10	11	10	Ruhe	40	38	36	Ruhe	31	34	32	Ruhe	35	34	40	Ruhe	35	34	40
10%	206	201	199	10%	147	149	146	10%	218	226	224	10%	199	202	202	10%	221	228	200	10%	211	244	211	10%	211	244	211
30%	263	270	260	30%	254	249	249	30%	313	314	299	30%	278	256	262	30%	217	226	268	30%	290	301	287	30%	290	301	287
50%	354	325	297	50%	296	304	286	50%	349	342	329	50%	322	299	385	50%	356	311	298	50%	301	322	323	50%	301	322	323
80%	311	304		80%	321	277		80%	394	414		80%	350			80%	305			80%	316			80%	316		
100%	366			100%	366			100%				100%	383			100%	340			100%				100%			

Proband Nr. 19 - Schl1												Proband Nr. 19 - Schl1											
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme			
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	37	37	38	Ruhe	37	35	35	Ruhe	31	32	31	Ruhe	42	40	41	Ruhe	39	38	38	Ruhe	39	40	42
10%	88	77	75	10%	53	54	55	10%	56	54	50	10%	82	81	79	10%	85	74	71	10%	70	73	69
30%	103	94	107	30%	115	105	95	30%	136	113	102	30%	209	201	200	30%	144	131	104	30%	127	130	112
50%	151	148		50%	141	119	106	50%	175	175		50%	247	266		50%	198	195		50%	194	176	
80%	281	297		80%	210			80%	276			80%	380			80%	269	306		80%	270		
100%	416	416		100%	306			100%				100%	326			100%	412			100%			
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	46	46	50	Ruhe	23	27	25	Ruhe	23	23	24	Ruhe	44	41	39	Ruhe	37	38	36	Ruhe	37	38	38
10%	194	177	183	10%	129	131	134	10%	179	169	164	10%	185	177	184	10%	196	184	182	10%	177	172	173
30%	217	222	226	30%	228	228	227	30%	264	243	238	30%	275	282	253	30%	249	225	208	30%	241	236	213
50%	254	250		50%	276	248	259	50%	274	265		50%	310	293		50%	253	266		50%	274	253	
80%	296	285		80%	276			80%	317			80%	183			80%	291	274		80%	330		
100%	309	292		100%	296			100%				100%	322			100%	326			100%			

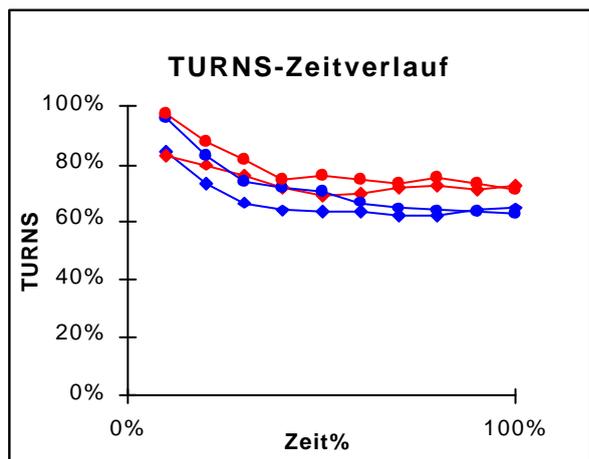
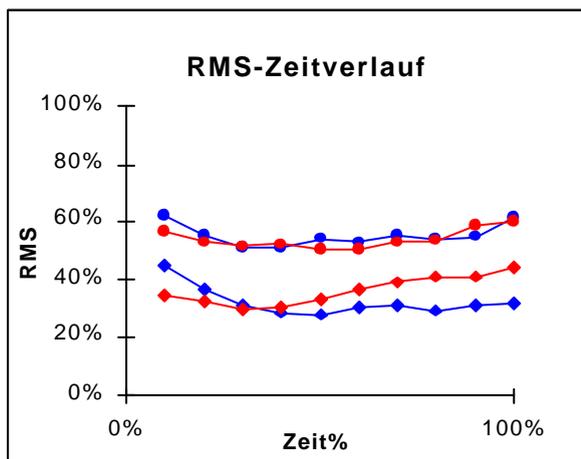
Proband Nr. 20 - UII1												Proband Nr. 20 - UII1											
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme			
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	36	37	35	Ruhe	49	51	49	Ruhe	41	41	41	Ruhe	34	34	34	Ruhe	40	40	41	Ruhe	48	47	46
10%	107	81	74	10%	79	71	73	10%	74	69	71	10%	51	51	54	10%	53	53	52	10%	59	58	57
30%	142	132	115	30%	108	97	101	30%	81	91	91	30%	80	77	80	30%	83	82	83	30%	65	105	107
50%	226	191	175	50%	153	136	129	50%	123	128		50%	92	100	97	50%	106	111	119	50%	96	129	131
80%	406			80%	273			80%	160			80%	151	159		80%	129	159		80%	141	189	
100%	416			100%	416			100%				100%	247			100%	306			100%			
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	30	32	30	Ruhe	75	73	74	Ruhe	53	50	51	Ruhe	29	30	29	Ruhe	38	41	41	Ruhe	58	61	61
10%	152	153	147	10%	162	163	162	10%	192	195	186	10%	121	129	135	10%	114	111	109	10%	134	128	136
30%	215	213	213	30%	229	230	225	30%	266	259	225	30%	180	191	198	30%	192	192	194	30%	137	202	222
50%	261	260	254	50%	266	265	259	50%	277	294		50%	198	232	239	50%	225	231	236	50%	192	232	249
80%	292			80%	295			80%	291			80%	266	289		80%	232	261		80%	257	276	
100%	308			100%	308			100%				100%	204			100%	279			100%			

Proband Nr. 21 - ZiI1												Proband Nr. 21 - ZiI1											
Aufwärmphase				Standard				Wärme				Aufwärmphase				Standard				Wärme			
MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3	MVC	Rms1	Rms2	Rms3
Ruhe	34	34	33	Ruhe	33	32	32	Ruhe	31	33	31	Ruhe	37	36	35	Ruhe	35	35	36	Ruhe	35	33	35
10%	110	107	110	10%	112	112	110	10%	140	146	134	10%	75	80	81	10%	67	64	61	10%	71	71	71
30%	299	323	327	30%	277	270	304	30%	345	329	304	30%	161	167	169	30%	137	131	131	30%	161	163	165
50%	415	458		50%	625	625		50%	336	416	426	50%	291	257		50%	252	252		50%	222	219	214
80%	708	833		80%	708			80%	666			80%	500	500		80%	625	708		80%	500	541	
100%	875			100%				100%				100%				100%	791			100%			
MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3	MVC	Turns1	Turns2	Turns3
Ruhe	30	33	34	Ruhe	33	33	26	Ruhe	36	37	28	Ruhe	29	30	30	Ruhe	25	26	27	Ruhe	27	26	30
10%	225	223	222	10%	248	245	240	10%	212	226	209	10%	182	184	182	10%	169	167	160	10%	174	169	174
30%	261	267	247	30%	315	297	277	30%	272	269	278	30%	242	244	237	30%	222	215	220	30%	220	214	214
50%	339	285		50%	296	279		50%	297	308	296	50%	300	305		50%	298	309		50%	281	208	272
80%	348	302		80%	320			80%	352			80%	348	347		80%	400	350		80%	326	315	
100%	341			100%				100%				100%				100%	379			100%			

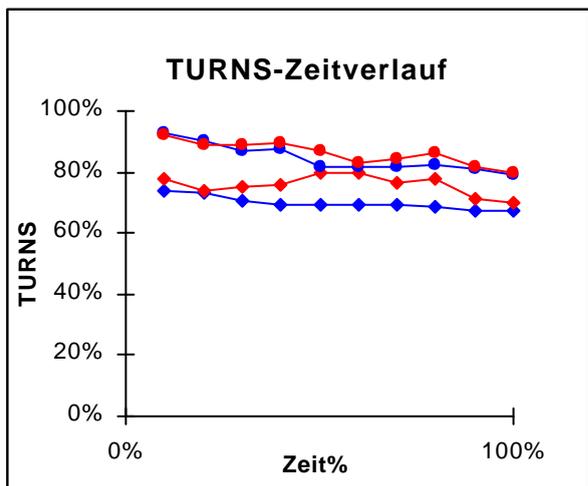
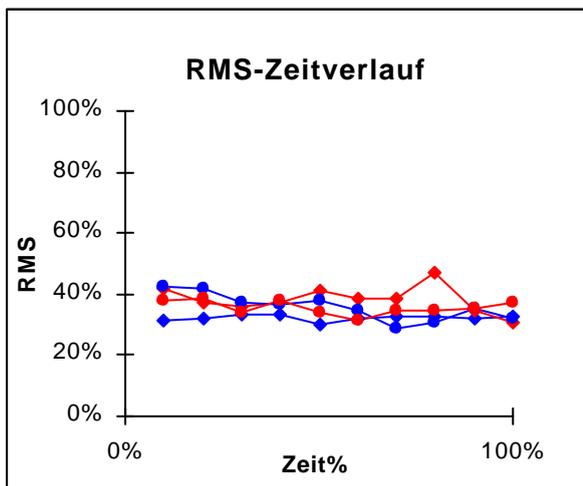
## 7.4 Ergebnisse des Ermüdungsversuchs

Auflistung der Datenreihen jedes einzelnen Probanden mit Abbildungen

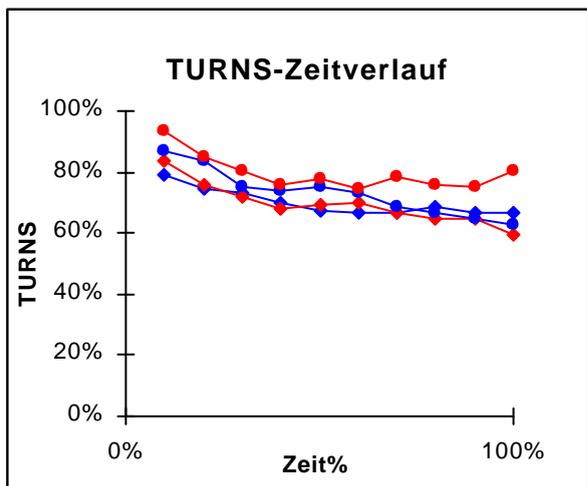
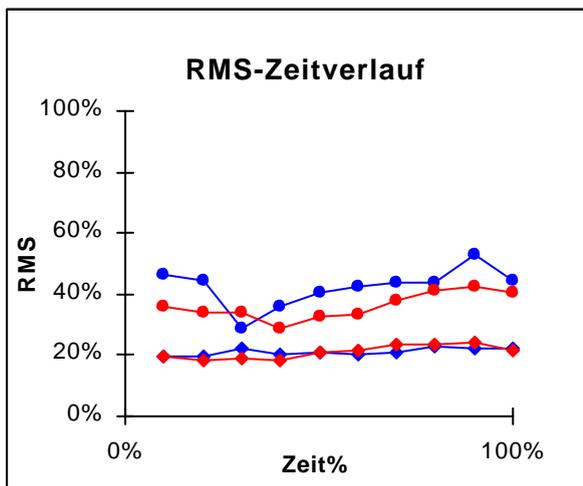
Proband Nr.1				
	30% MVC		50% MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,4528	0,3465	0,6209	0,5695
20%	0,3647	0,3249	0,5552	0,5266
30%	0,3107	0,2995	0,5083	0,5154
40%	0,2847	0,3076	0,5094	0,5209
50%	0,2784	0,3348	0,5397	0,5026
60%	0,3067	0,3631	0,5300	0,5003
70%	0,3116	0,3891	0,5580	0,5323
80%	0,2913	0,4128	0,5443	0,5352
90%	0,3145	0,4088	0,5517	0,5875
100%	0,3225	0,4449	0,6149	0,6003
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8452	0,8290	0,9581	0,9742
20%	0,7342	0,8006	0,8290	0,8774
30%	0,6667	0,7606	0,7409	0,8194
40%	0,6403	0,7161	0,7183	0,7473
50%	0,6328	0,6946	0,7043	0,7570
60%	0,6349	0,7011	0,6656	0,7441
70%	0,6183	0,7199	0,6473	0,7312
80%	0,6199	0,7242	0,6430	0,7548
90%	0,6387	0,7102	0,6312	0,7290
100%	0,6478	0,7277	0,6258	0,7129



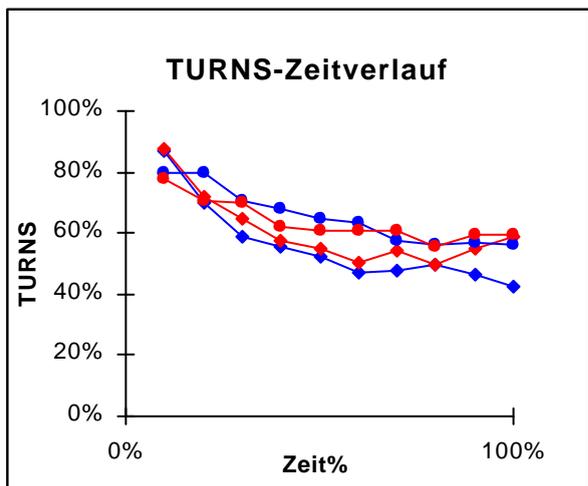
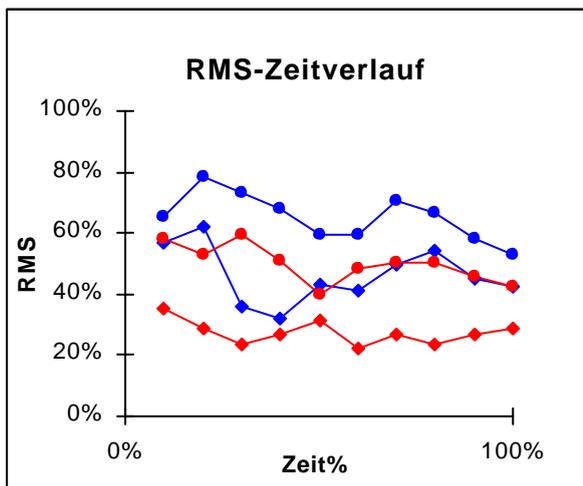
Proband Nr. 2				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3106	0,4193	0,4233	0,3775
20%	0,3178	0,3696	0,4177	0,3850
30%	0,3364	0,3587	0,3752	0,3375
40%	0,3344	0,3696	0,3678	0,3800
50%	0,2981	0,4130	0,3789	0,3375
60%	0,3199	0,3835	0,3475	0,3150
70%	0,3282	0,3882	0,2847	0,3450
80%	0,3261	0,4674	0,3050	0,3488
90%	0,3178	0,3447	0,3512	0,3525
100%	0,3261	0,3043	0,3216	0,3725
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7400	0,7800	0,9281	0,9245
20%	0,7311	0,7400	0,9029	0,8885
30%	0,7056	0,7517	0,8705	0,8885
40%	0,6944	0,7550	0,8741	0,8957
50%	0,6900	0,7967	0,8201	0,8669
60%	0,6933	0,8000	0,8201	0,8273
70%	0,6956	0,7667	0,8165	0,8417
80%	0,6867	0,7767	0,8219	0,8651
90%	0,6711	0,7133	0,8112	0,8141
100%	0,6750	0,7000	0,7878	0,8004



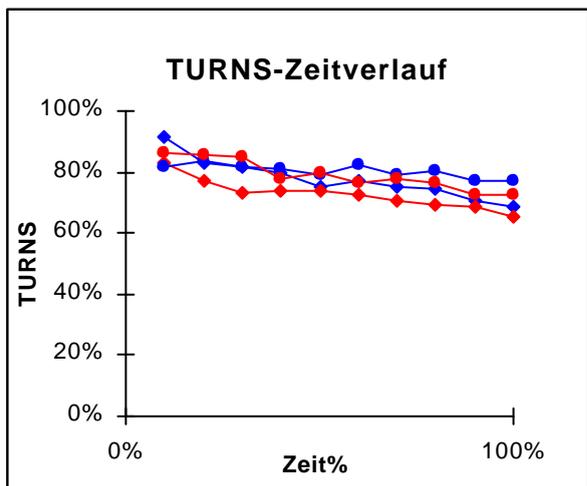
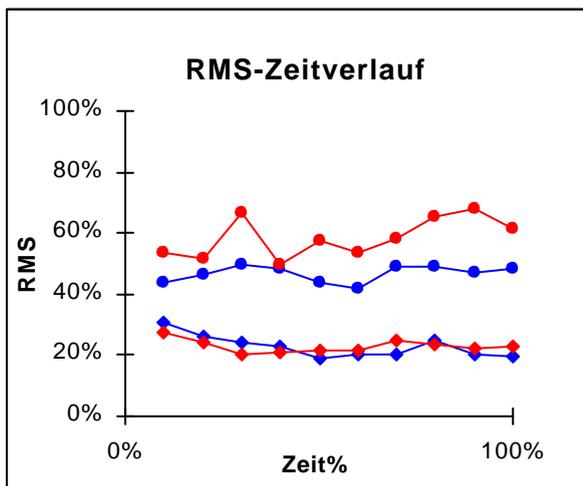
Proband Nr. 3				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,1937	0,1953	0,4610	0,3584
20%	0,1987	0,1838	0,4429	0,3380
30%	0,2217	0,1921	0,2848	0,3369
40%	0,2012	0,1845	0,3574	0,2876
50%	0,2110	0,2110	0,4059	0,3273
60%	0,2057	0,2164	0,4229	0,3305
70%	0,2091	0,2357	0,4409	0,3805
80%	0,2310	0,2353	0,4409	0,4127
90%	0,2222	0,2389	0,5265	0,4227
100%	0,2227	0,2164	0,4459	0,4067
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7878	0,8392	0,8682	0,9325
20%	0,7465	0,7551	0,8392	0,8489
30%	0,7320	0,7197	0,7513	0,8055
40%	0,6977	0,6817	0,7374	0,7556
50%	0,6742	0,6929	0,7546	0,7797
60%	0,6661	0,7010	0,7310	0,7476
70%	0,6656	0,6667	0,6870	0,7846
80%	0,6840	0,6501	0,6667	0,7578
90%	0,6640	0,6474	0,6484	0,7540
100%	0,6667	0,5916	0,6302	0,8039



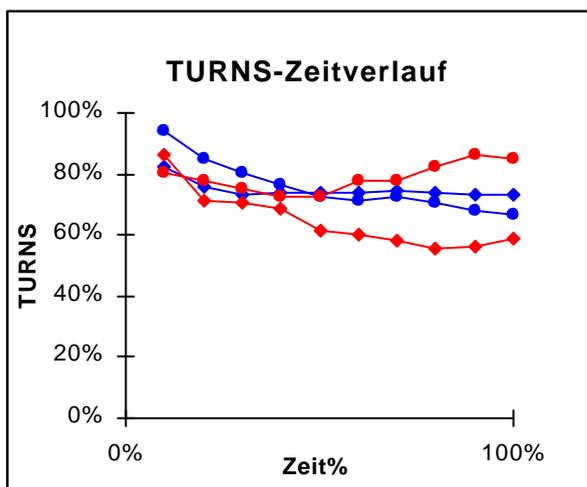
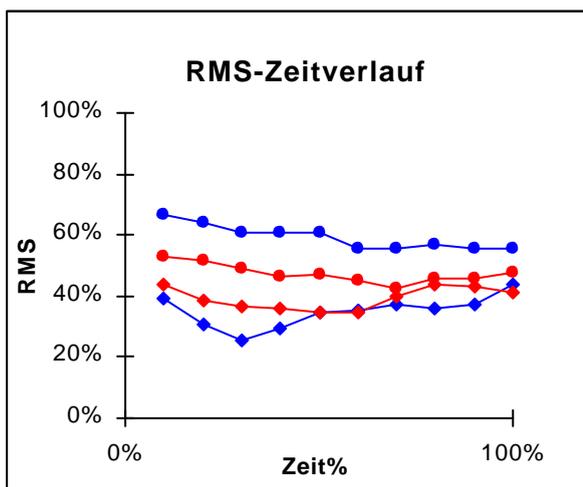
Proband Nr. 4				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,5660	0,3551	0,6552	0,5798
20%	0,6192	0,2870	0,7856	0,5266
30%	0,3619	0,2327	0,7324	0,5952
40%	0,3186	0,2676	0,6767	0,5129
50%	0,4310	0,3139	0,5969	0,3997
60%	0,4121	0,2201	0,5935	0,4837
70%	0,4949	0,2670	0,7050	0,5043
80%	0,5412	0,2338	0,6647	0,5026
90%	0,4541	0,2647	0,5798	0,4563
100%	0,4275	0,2864	0,5317	0,4237
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8675	0,8779	0,7948	0,7792
20%	0,6978	0,7221	0,7948	0,7065
30%	0,5853	0,6459	0,7091	0,6987
40%	0,5584	0,5740	0,6779	0,6208
50%	0,5234	0,5506	0,6442	0,6078
60%	0,4708	0,5030	0,6351	0,6052
70%	0,4786	0,5437	0,5766	0,6104
80%	0,4942	0,4987	0,5636	0,5584
90%	0,4649	0,5515	0,5662	0,5948
100%	0,4260	0,5896	0,5636	0,5974



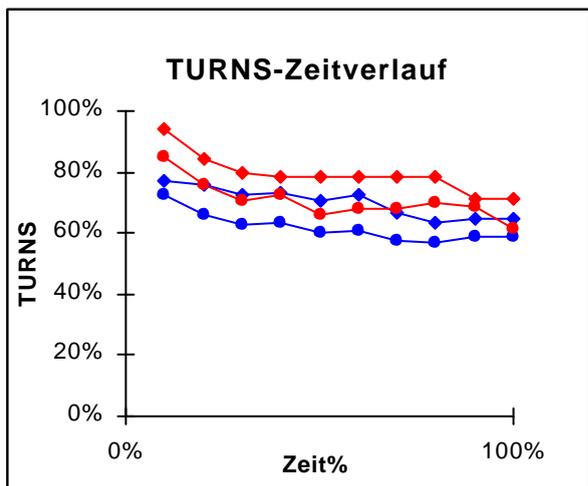
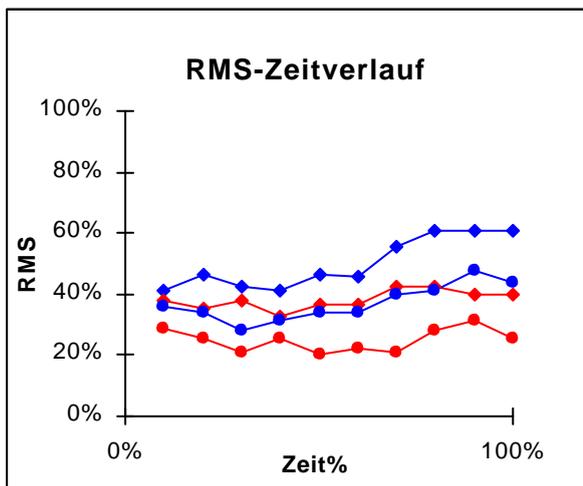
Proband Nr. 5				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3050	0,2750	0,4379	0,5342
20%	0,2625	0,2420	0,4627	0,5155
30%	0,2434	0,2045	0,4938	0,6677
40%	0,2267	0,2105	0,4845	0,4938
50%	0,1879	0,2145	0,4379	0,5745
60%	0,1996	0,2185	0,4193	0,5373
70%	0,2052	0,2460	0,4907	0,5807
80%	0,2452	0,2365	0,4907	0,6553
90%	0,2052	0,2215	0,4705	0,6801
100%	0,1972	0,2288	0,4829	0,6149
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,9137	0,8309	0,8200	0,8600
20%	0,8327	0,7683	0,8367	0,8533
30%	0,8201	0,7345	0,8167	0,8467
40%	0,7974	0,7396	0,8133	0,7800
50%	0,7518	0,7388	0,7900	0,7967
60%	0,7734	0,7237	0,8267	0,7667
70%	0,7542	0,7036	0,7900	0,7767
80%	0,7446	0,6957	0,8033	0,7667
90%	0,7026	0,6871	0,7733	0,7267
100%	0,6894	0,6547	0,7700	0,7233



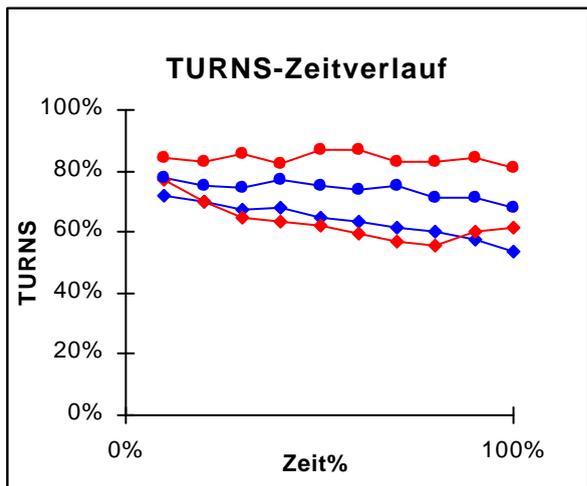
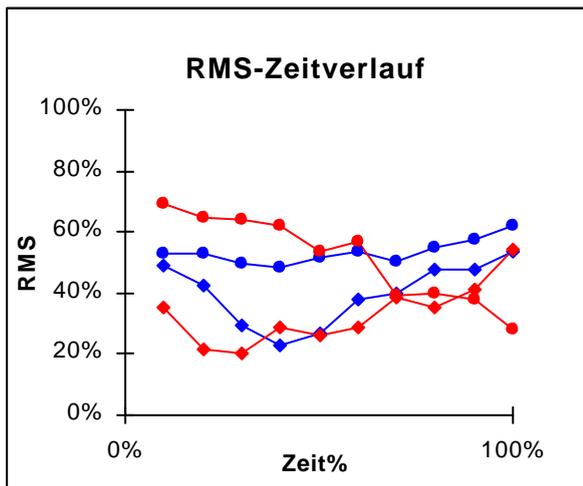
Proband Nr. 6				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3947	0,4367	0,6667	0,5307
20%	0,3047	0,3840	0,6387	0,5173
30%	0,2567	0,3660	0,6107	0,4920
40%	0,2920	0,3567	0,6107	0,4660
50%	0,3487	0,3453	0,6107	0,4680
60%	0,3547	0,3453	0,5547	0,4493
70%	0,3700	0,3973	0,5547	0,4280
80%	0,3620	0,4353	0,5667	0,4607
90%	0,3700	0,4300	0,5560	0,4593
100%	0,4373	0,4127	0,5547	0,4773
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8224	0,8638	0,9397	0,8034
20%	0,7569	0,7103	0,8466	0,7776
30%	0,7293	0,7052	0,8017	0,7517
40%	0,7397	0,6845	0,7638	0,7241
50%	0,7379	0,6138	0,7276	0,7241
60%	0,7414	0,6034	0,7155	0,7759
70%	0,7431	0,5845	0,7224	0,7759
80%	0,7362	0,5586	0,7069	0,8241
90%	0,7345	0,5603	0,6828	0,8655
100%	0,7293	0,5897	0,6690	0,8517



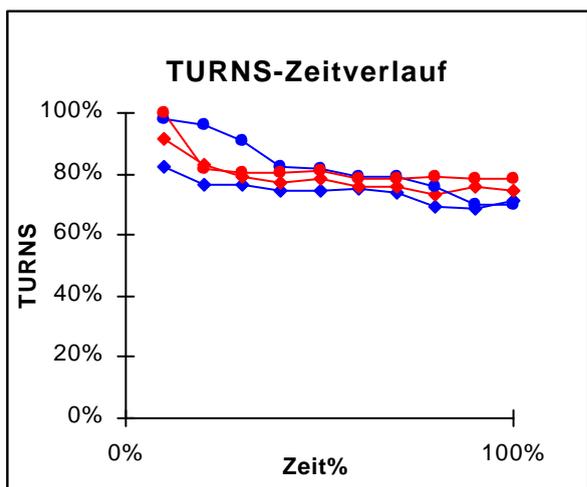
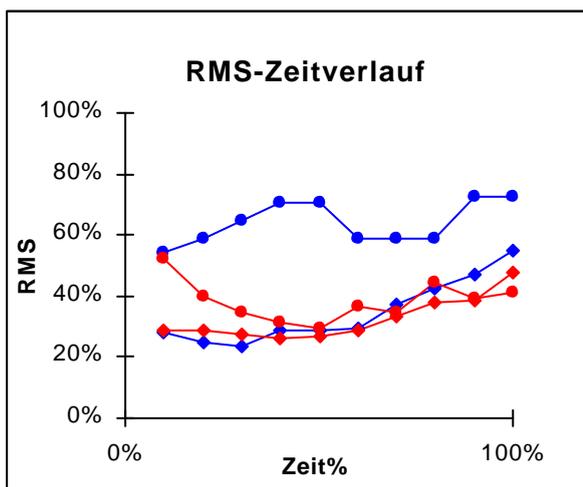
Proband Nr. 7				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,4096	0,3805	0,3624	0,2889
20%	0,4627	0,3552	0,3422	0,2560
30%	0,4229	0,3780	0,2823	0,2111
40%	0,4147	0,3300	0,3127	0,2535
50%	0,4671	0,3666	0,3384	0,2004
60%	0,4564	0,3666	0,3375	0,2219
70%	0,5525	0,4260	0,3991	0,2105
80%	0,6056	0,4260	0,4096	0,2781
90%	0,6056	0,4008	0,4779	0,3116
100%	0,6056	0,4008	0,4399	0,2579
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7686	0,9388	0,7261	0,8511
20%	0,7580	0,8457	0,6622	0,7606
30%	0,7287	0,7979	0,6294	0,7088
40%	0,7314	0,7846	0,6356	0,7247
50%	0,7061	0,7872	0,6011	0,6582
60%	0,7261	0,7872	0,6046	0,6822
70%	0,6636	0,7872	0,5754	0,6769
80%	0,6370	0,7872	0,5674	0,6981
90%	0,6476	0,7101	0,5904	0,6835
100%	0,6476	0,7101	0,5878	0,6157



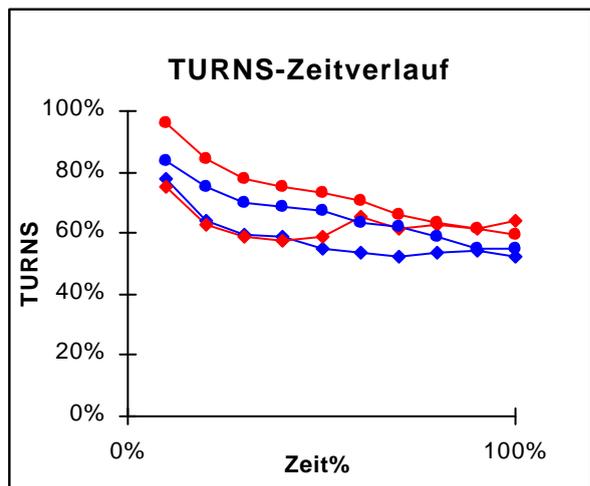
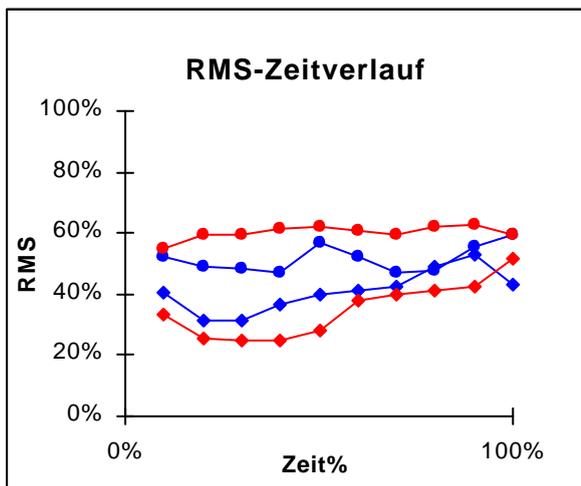
Proband Nr.8				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,4915	0,3510	0,5267	0,6933
20%	0,4280	0,2175	0,5317	0,6483
30%	0,2924	0,2027	0,5000	0,6417
40%	0,2316	0,2895	0,4842	0,6217
50%	0,2705	0,2613	0,5167	0,5367
60%	0,3799	0,2903	0,5367	0,5717
70%	0,3983	0,3863	0,5033	0,3950
80%	0,4795	0,3510	0,5500	0,3983
90%	0,4781	0,4131	0,5783	0,3817
100%	0,5367	0,5445	0,6192	0,2817
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7165	0,7743	0,7782	0,8400
20%	0,7008	0,6995	0,7507	0,8333
30%	0,6706	0,6496	0,7480	0,8567
40%	0,6811	0,6312	0,7703	0,8233
50%	0,6496	0,6194	0,7507	0,8667
60%	0,6352	0,5971	0,7402	0,8667
70%	0,6115	0,5709	0,7507	0,8300
80%	0,6010	0,5525	0,7113	0,8300
90%	0,5722	0,6010	0,7100	0,8400
100%	0,5354	0,6129	0,6824	0,8100



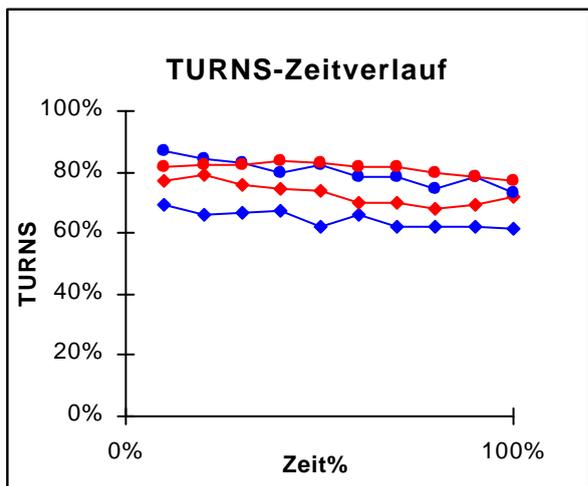
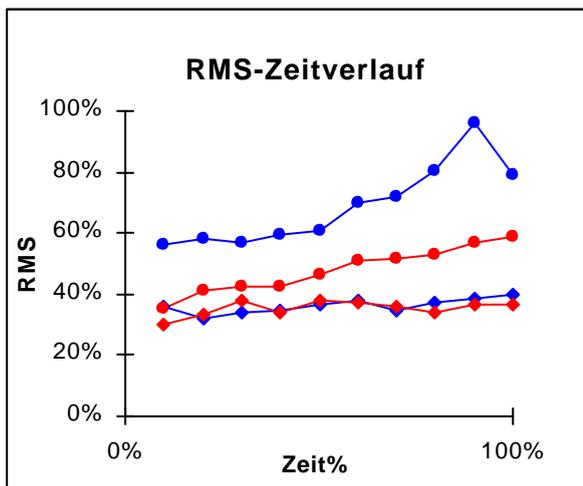
Proband Nr. 9				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,2801	0,2863	0,5438	0,5240
20%	0,2472	0,2872	0,5876	0,4011
30%	0,2321	0,2740	0,6469	0,3482
40%	0,2872	0,2608	0,7062	0,3114
50%	0,2900	0,2679	0,7062	0,2952
60%	0,2947	0,2872	0,5876	0,3679
70%	0,3719	0,3352	0,5876	0,3453
80%	0,4266	0,3768	0,5876	0,4435
90%	0,4732	0,3835	0,7260	0,3941
100%	0,5494	0,4760	0,7260	0,4124
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8223	0,9138	0,9811	0,9968
20%	0,7676	0,8275	0,9590	0,8186
30%	0,7634	0,7897	0,9054	0,8013
40%	0,7445	0,7687	0,8265	0,8028
50%	0,7476	0,7823	0,8202	0,8107
60%	0,7487	0,7603	0,7918	0,7871
70%	0,7392	0,7592	0,7886	0,7855
80%	0,6940	0,7311	0,7571	0,7918
90%	0,6845	0,7603	0,6972	0,7823
100%	0,7098	0,7445	0,6972	0,7823



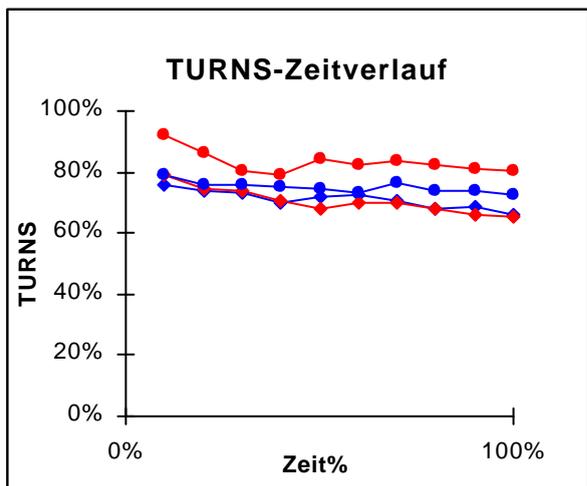
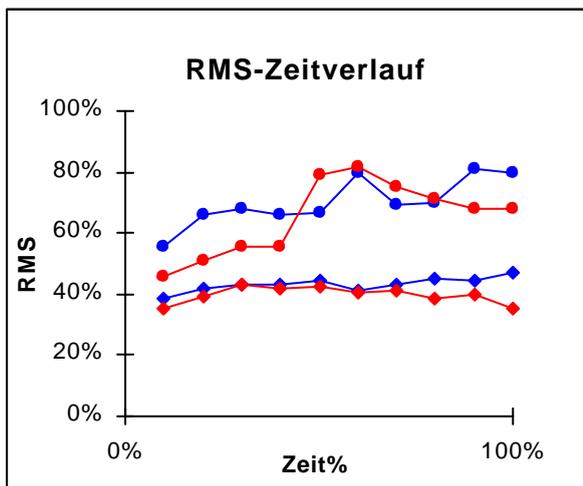
Proband Nr.10				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,4040	0,3330	0,5230	0,5500
20%	0,3155	0,2565	0,4920	0,5980
30%	0,3120	0,2510	0,4850	0,5950
40%	0,3676	0,2512	0,4730	0,6140
50%	0,4017	0,2803	0,5660	0,6190
60%	0,4135	0,3816	0,5220	0,6110
70%	0,4245	0,4012	0,4730	0,5940
80%	0,4890	0,4144	0,4760	0,6200
90%	0,5327	0,4240	0,5533	0,6260
100%	0,4300	0,5173	0,5950	0,5980
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7807	0,7514	0,8380	0,9637
20%	0,6397	0,6271	0,7500	0,8464
30%	0,5973	0,5912	0,7025	0,7779
40%	0,5905	0,5732	0,6872	0,7528
50%	0,5461	0,5857	0,6718	0,7291
60%	0,5363	0,6508	0,6327	0,7067
70%	0,5223	0,6128	0,6215	0,6578
80%	0,5384	0,6302	0,5866	0,6355
90%	0,5456	0,6136	0,5512	0,6173
100%	0,5223	0,6406	0,5517	0,5978



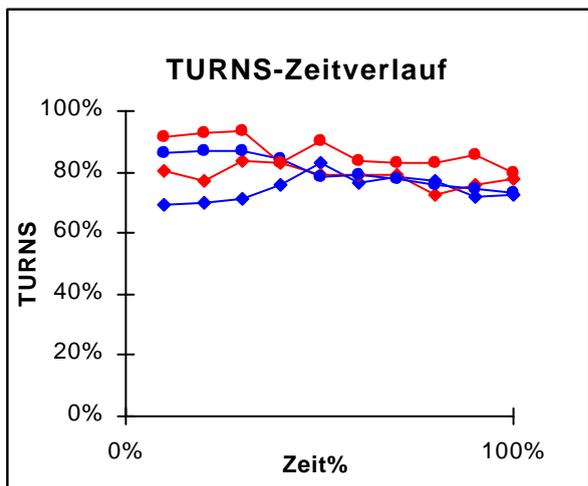
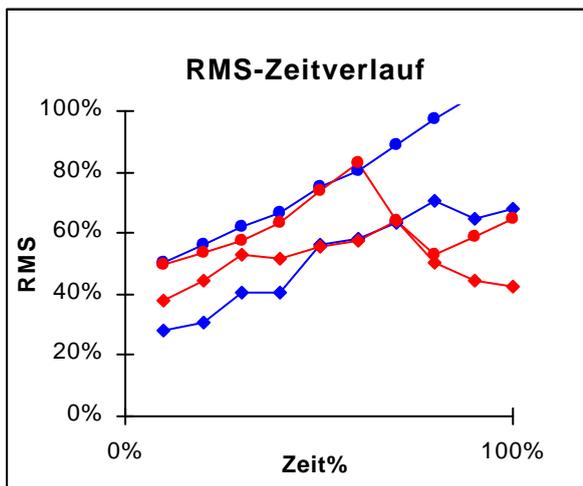
Proband Nr. 11				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3592	0,3000	0,5645	0,3526
20%	0,3171	0,3329	0,5842	0,4105
30%	0,3368	0,3789	0,5684	0,4263
40%	0,3487	0,3408	0,5974	0,4250
50%	0,3684	0,3763	0,6105	0,4645
60%	0,3816	0,3711	0,7000	0,5118
70%	0,3434	0,3618	0,7184	0,5158
80%	0,3711	0,3368	0,8026	0,5289
90%	0,3868	0,3658	0,9605	0,5697
100%	0,4000	0,3658	0,7921	0,5868
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,6900	0,7683	0,8683	0,8150
20%	0,6617	0,7883	0,8433	0,8217
30%	0,6650	0,7600	0,8333	0,8233
40%	0,6750	0,7467	0,7967	0,8383
50%	0,6233	0,7400	0,8267	0,8317
60%	0,6600	0,7017	0,7867	0,8200
70%	0,6233	0,6983	0,7833	0,8167
80%	0,6200	0,6783	0,7433	0,7967
90%	0,6233	0,6933	0,7833	0,7850
100%	0,6167	0,7167	0,7300	0,7683



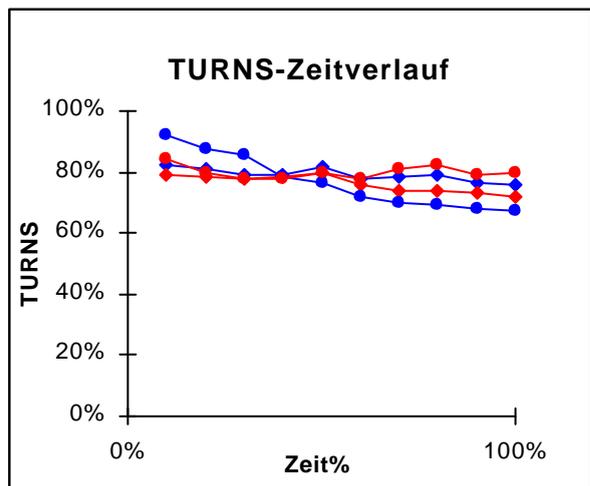
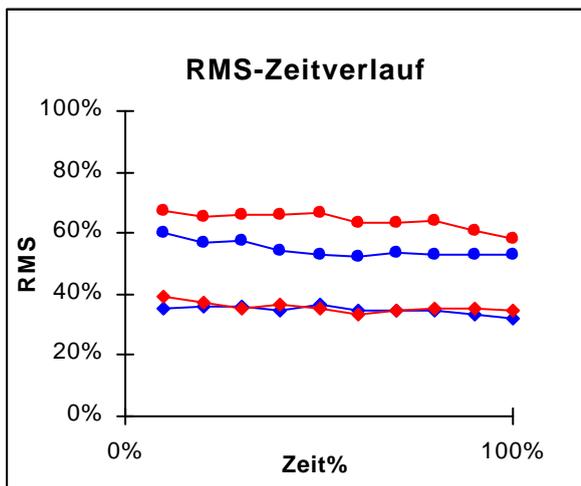
Proband Nr. 12				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3838	0,3513	0,5575	0,4575
20%	0,4200	0,3925	0,6600	0,5075
30%	0,4338	0,4288	0,6775	0,5575
40%	0,4292	0,4213	0,6625	0,5575
50%	0,4425	0,4238	0,6675	0,7900
60%	0,4092	0,4063	0,7975	0,8175
70%	0,4325	0,4100	0,6900	0,7500
80%	0,4517	0,3875	0,7025	0,7150
90%	0,4475	0,4000	0,8075	0,6800
100%	0,4700	0,3525	0,7975	0,6800
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7605	0,7921	0,7895	0,9237
20%	0,7382	0,7434	0,7579	0,8632
30%	0,7342	0,7382	0,7553	0,8026
40%	0,7018	0,7039	0,7500	0,7895
50%	0,7193	0,6789	0,7447	0,8421
60%	0,7228	0,6987	0,7316	0,8237
70%	0,7070	0,7013	0,7658	0,8342
80%	0,6798	0,6803	0,7368	0,8237
90%	0,6842	0,6579	0,7368	0,8132
100%	0,6605	0,6553	0,7237	0,8026



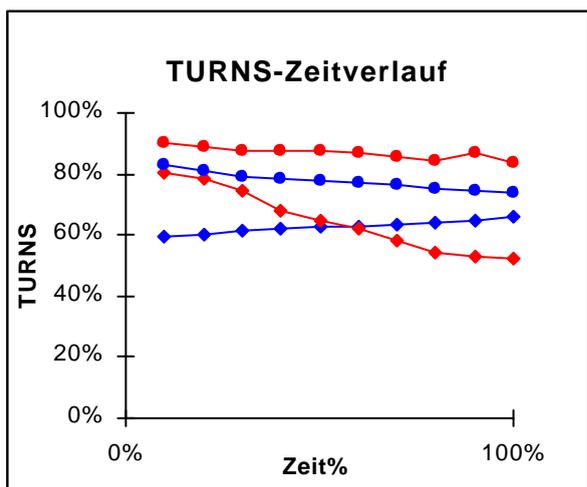
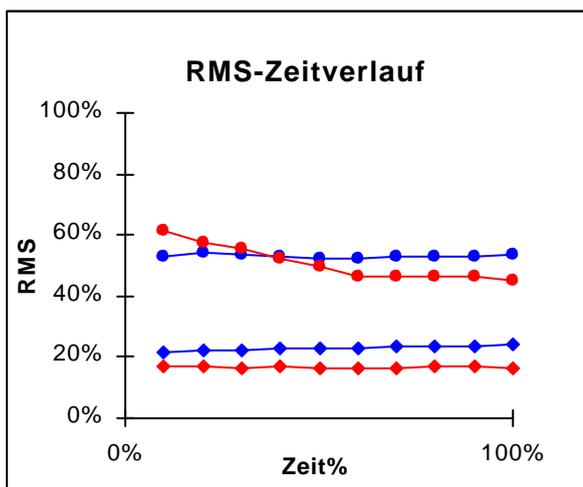
Proband Nr. 13				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,2782	0,3774	0,5010	0,4960
20%	0,3093	0,4416	0,5621	0,5370
30%	0,4037	0,5292	0,6233	0,5780
40%	0,4056	0,5195	0,6699	0,6340
50%	0,5593	0,5564	0,7534	0,7400
60%	0,5827	0,5778	0,8058	0,8320
70%	0,6342	0,6430	0,8893	0,6380
80%	0,7072	0,5058	0,9709	0,5300
90%	0,6488	0,4436	1,0515	0,5900
100%	0,6829	0,4261	1,1320	0,6460
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,6919	0,8042	0,8642	0,9164
20%	0,7010	0,7715	0,8681	0,9256
30%	0,7102	0,8342	0,8721	0,9347
40%	0,7598	0,8290	0,8407	0,8329
50%	0,8277	0,7937	0,7859	0,9008
60%	0,7650	0,7937	0,7885	0,8381
70%	0,7833	0,7885	0,7807	0,8303
80%	0,7689	0,7258	0,7598	0,8303
90%	0,7167	0,7611	0,7467	0,8564
100%	0,7285	0,7755	0,7337	0,7963



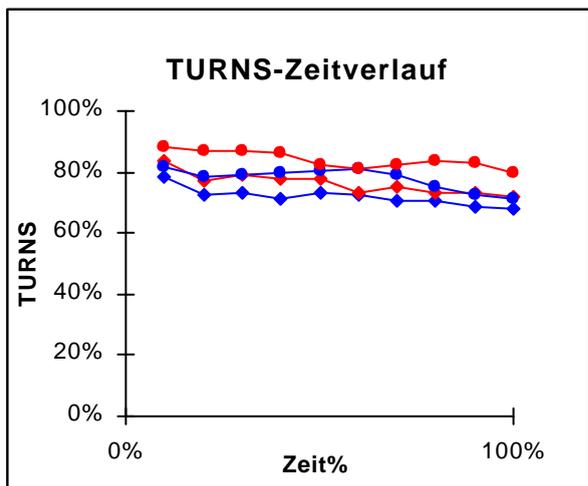
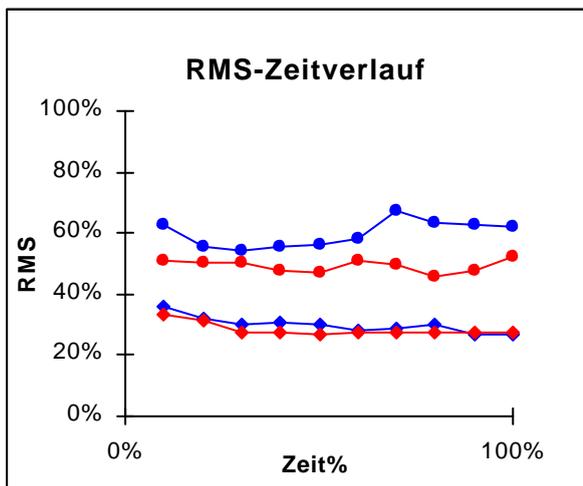
Proband Nr. 14				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3519	0,3911	0,6011	0,6756
20%	0,3574	0,3719	0,5711	0,6533
30%	0,3604	0,3533	0,5761	0,6578
40%	0,3459	0,3639	0,5422	0,6578
50%	0,3656	0,3500	0,5317	0,6661
60%	0,3493	0,3328	0,5239	0,6322
70%	0,3481	0,3444	0,5328	0,6339
80%	0,3459	0,3506	0,5300	0,6417
90%	0,3363	0,3511	0,5311	0,6100
100%	0,3219	0,3456	0,5272	0,5817
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8248	0,7931	0,9201	0,8455
20%	0,8085	0,7859	0,8726	0,7981
30%	0,7940	0,7805	0,8591	0,7751
40%	0,7877	0,7859	0,7846	0,7751
50%	0,8144	0,7967	0,7629	0,7995
60%	0,7787	0,7575	0,7209	0,7805
70%	0,7841	0,7391	0,7019	0,8103
80%	0,7877	0,7385	0,6911	0,8211
90%	0,7678	0,7304	0,6829	0,7900
100%	0,7606	0,7182	0,6734	0,7981



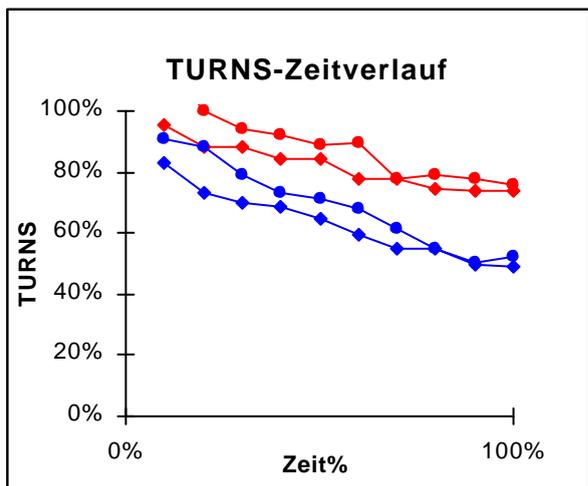
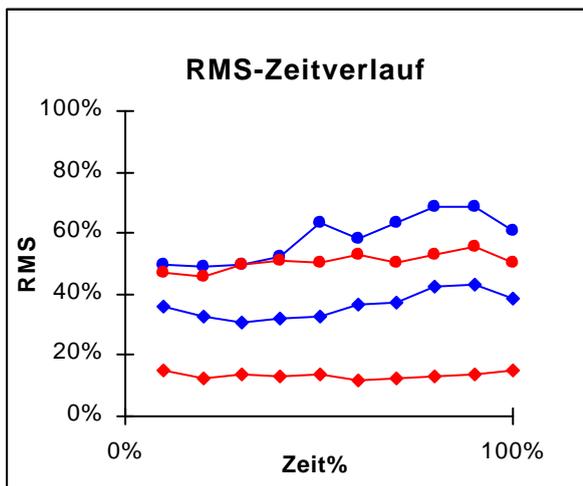
Proband Nr. 15				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,2183	0,1717	0,5308	0,6117
20%	0,2214	0,1717	0,5450	0,5750
30%	0,2202	0,1663	0,5375	0,5550
40%	0,2257	0,1678	0,5300	0,5250
50%	0,2310	0,1644	0,5233	0,4967
60%	0,2300	0,1628	0,5208	0,4667
70%	0,2342	0,1611	0,5275	0,4650
80%	0,2353	0,1717	0,5317	0,4633
90%	0,2379	0,1700	0,5300	0,4667
100%	0,2417	0,1667	0,5342	0,4533
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,5916	0,8028	0,8323	0,9006
20%	0,5989	0,7873	0,8090	0,8913
30%	0,6162	0,7430	0,7888	0,8789
40%	0,6186	0,6791	0,7826	0,8789
50%	0,6255	0,6460	0,7780	0,8727
60%	0,6282	0,6222	0,7702	0,8665
70%	0,6346	0,5839	0,7624	0,8540
80%	0,6418	0,5419	0,7531	0,8447
90%	0,6482	0,5280	0,7453	0,8696
100%	0,6579	0,5248	0,7376	0,8385



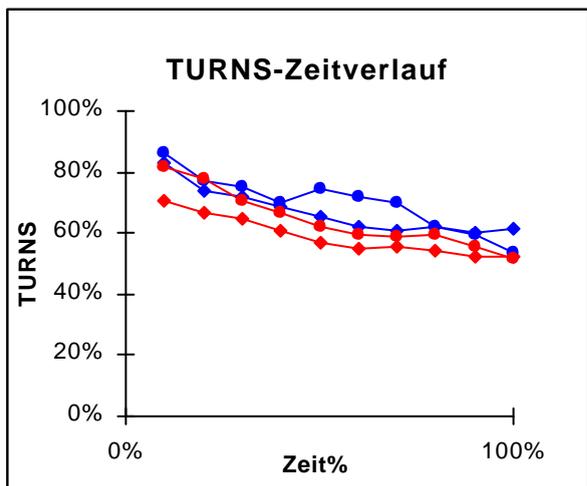
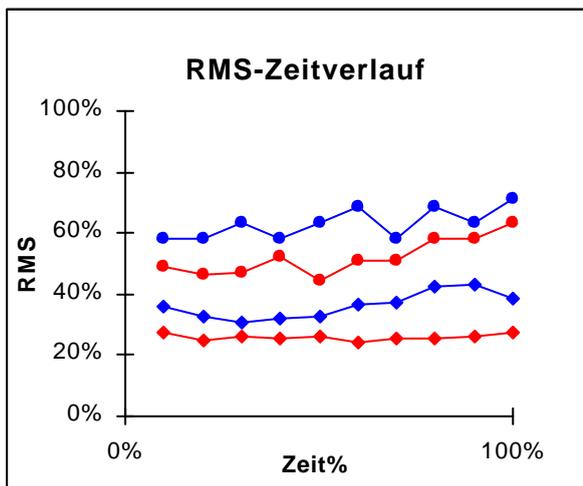
Proband Nr. 16				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3600	0,3317	0,6300	0,5083
20%	0,3233	0,3111	0,5567	0,5050
30%	0,3022	0,2767	0,5417	0,5017
40%	0,3067	0,2778	0,5583	0,4783
50%	0,3000	0,2683	0,5650	0,4733
60%	0,2822	0,2767	0,5800	0,5067
70%	0,2878	0,2767	0,6717	0,4967
80%	0,3033	0,2733	0,6367	0,4567
90%	0,2667	0,2733	0,6300	0,4783
100%	0,2650	0,2767	0,6200	0,5217
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,7860	0,8351	0,8140	0,8842
20%	0,7228	0,7719	0,7842	0,8667
30%	0,7298	0,7930	0,7912	0,8702
40%	0,7099	0,7754	0,8000	0,8596
50%	0,7351	0,7807	0,8035	0,8263
60%	0,7275	0,7333	0,8105	0,8088
70%	0,7088	0,7485	0,7912	0,8211
80%	0,7035	0,7298	0,7509	0,8351
90%	0,6895	0,7351	0,7263	0,8281
100%	0,6789	0,7158	0,7105	0,7947



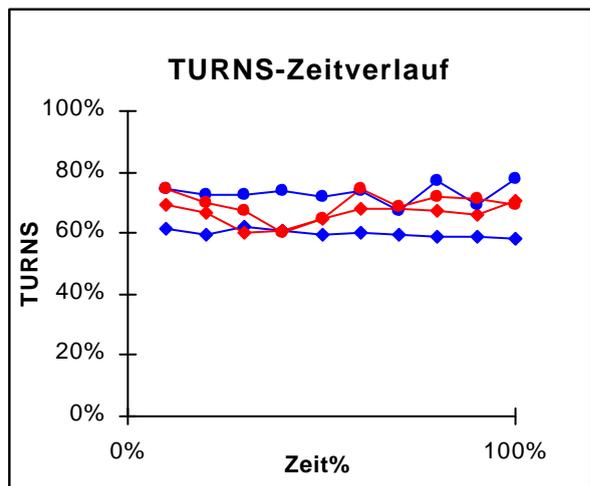
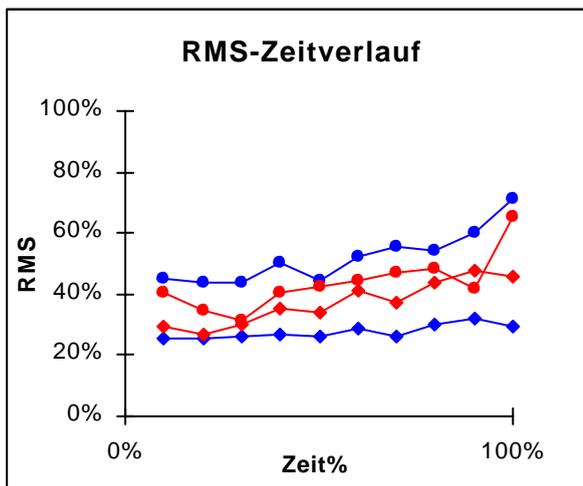
Proband Nr.17				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3607	0,1500	0,4994	0,4728
20%	0,3274	0,1214	0,4880	0,4576
30%	0,3059	0,1340	0,4956	0,4968
40%	0,3203	0,1290	0,5259	0,5107
50%	0,3249	0,1361	0,6321	0,5044
60%	0,3641	0,1160	0,5790	0,5284
70%	0,3713	0,1255	0,6321	0,5044
80%	0,4218	0,1283	0,6839	0,5272
90%	0,4282	0,1378	0,6839	0,5525
100%	0,3865	0,1475	0,6049	0,5057
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8301	0,9529	0,9098	1,1647
20%	0,7346	0,8824	0,8824	1,0000
30%	0,7020	0,8853	0,7922	0,9412
40%	0,6837	0,8402	0,7333	0,9216
50%	0,6458	0,8444	0,7098	0,8863
60%	0,5948	0,7784	0,6784	0,8980
70%	0,5464	0,7804	0,6118	0,7765
80%	0,5516	0,7471	0,5490	0,7922
90%	0,4993	0,7363	0,5059	0,7765
100%	0,4922	0,7386	0,5235	0,7569



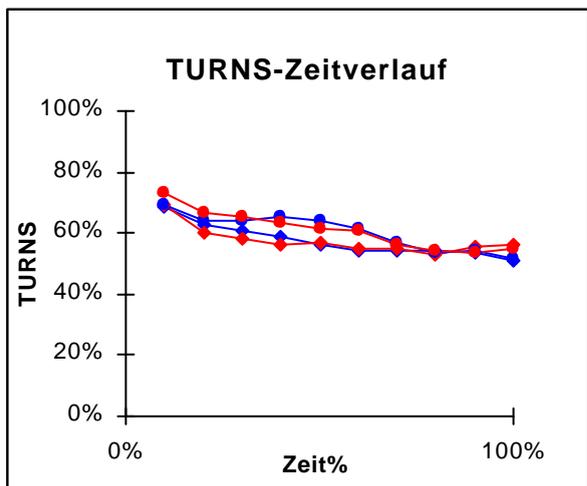
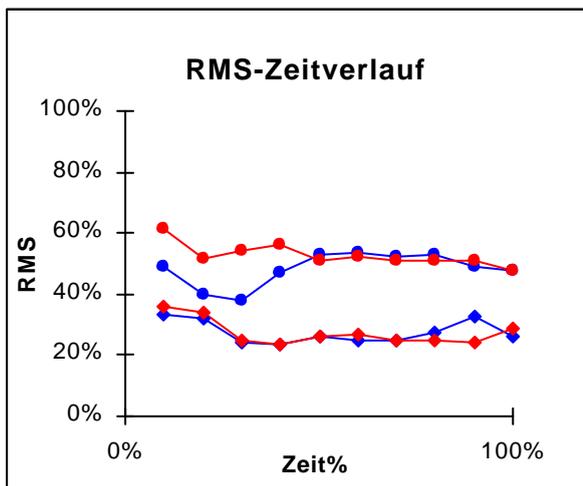
Proband Nr. 18				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3607	0,2764	0,5790	0,4905
20%	0,3274	0,2478	0,5790	0,4614
30%	0,3059	0,2604	0,6321	0,4716
40%	0,3203	0,2554	0,5790	0,5259
50%	0,3249	0,2625	0,6321	0,4463
60%	0,3641	0,2424	0,6839	0,5107
70%	0,3713	0,2519	0,5790	0,5120
80%	0,4218	0,2547	0,6839	0,5790
90%	0,4282	0,2642	0,6321	0,5790
100%	0,3865	0,2739	0,7105	0,6321
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8301	0,7046	0,8627	0,8196
20%	0,7363	0,6654	0,7686	0,7765
30%	0,7216	0,6458	0,7490	0,7059
40%	0,6873	0,6092	0,6980	0,6667
50%	0,6562	0,5712	0,7451	0,6196
60%	0,6206	0,5510	0,7216	0,5922
70%	0,6059	0,5569	0,7020	0,5882
80%	0,6186	0,5431	0,6235	0,5961
90%	0,6039	0,5255	0,5961	0,5529
100%	0,6131	0,5203	0,5373	0,5176



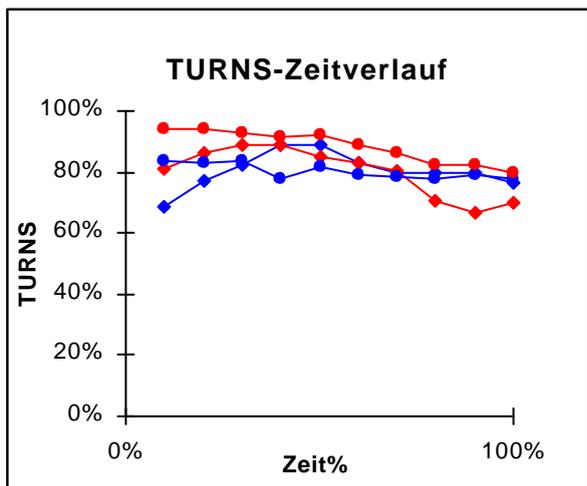
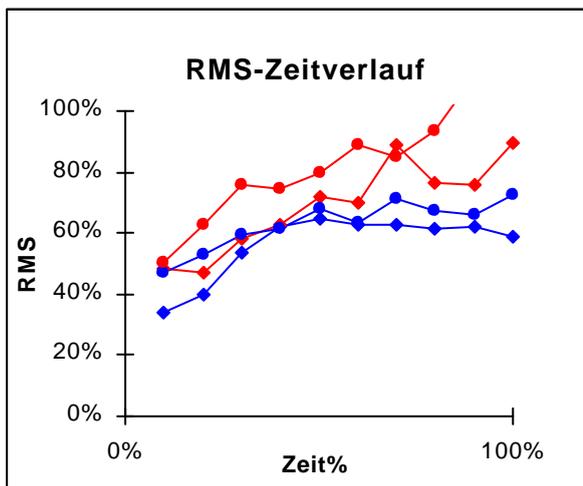
Proband Nr.19				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,2519	0,2965	0,4537	0,4062
20%	0,2528	0,2708	0,4396	0,3432
30%	0,2622	0,3008	0,4383	0,3149
40%	0,2699	0,3548	0,5039	0,4075
50%	0,2622	0,3406	0,4447	0,4242
60%	0,2866	0,4100	0,5244	0,4422
70%	0,2596	0,3728	0,5578	0,4730
80%	0,2991	0,4379	0,5398	0,4859
90%	0,3196	0,4799	0,5990	0,4165
100%	0,2973	0,4550	0,7147	0,6530
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,6168	0,6950	0,7474	0,7423
20%	0,5954	0,6658	0,7242	0,7010
30%	0,6211	0,6031	0,7242	0,6753
40%	0,6057	0,6108	0,7371	0,6031
50%	0,5979	0,6482	0,7216	0,6469
60%	0,6018	0,6830	0,7397	0,7448
70%	0,5954	0,6804	0,6753	0,6856
80%	0,5885	0,6718	0,7680	0,7216
90%	0,5911	0,6581	0,6959	0,7113
100%	0,5808	0,7070	0,7758	0,6907



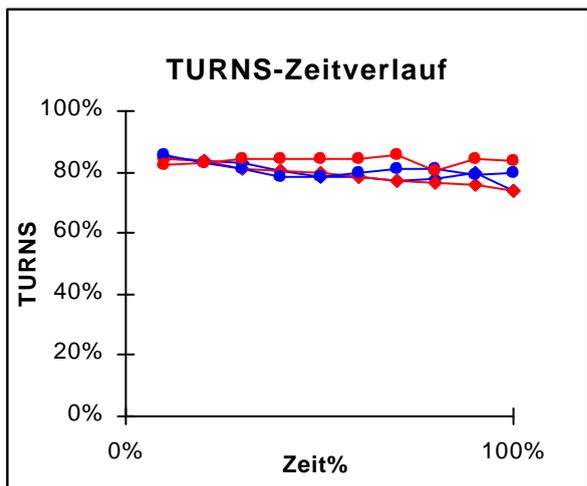
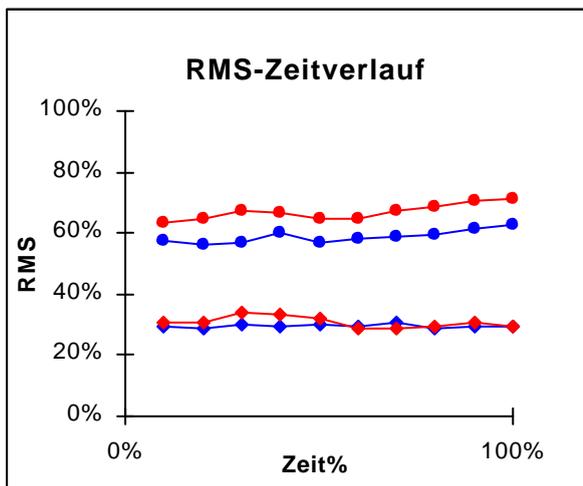
Proband Nr.20				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3333	0,3590	0,4897	0,6141
20%	0,3199	0,3369	0,3981	0,5141
30%	0,2397	0,2468	0,3788	0,5410
40%	0,2372	0,2346	0,4699	0,5603
50%	0,2596	0,2583	0,5282	0,5071
60%	0,2474	0,2667	0,5353	0,5231
70%	0,2500	0,2506	0,5199	0,5090
80%	0,2737	0,2468	0,5295	0,5090
90%	0,3250	0,2404	0,4923	0,5077
100%	0,2628	0,2859	0,4795	0,4795
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,6850	0,6950	0,6913	0,7300
20%	0,6281	0,6038	0,6438	0,6663
30%	0,6100	0,5813	0,6400	0,6563
40%	0,5913	0,5625	0,6563	0,6350
50%	0,5600	0,5700	0,6438	0,6175
60%	0,5413	0,5500	0,6175	0,6050
70%	0,5400	0,5475	0,5700	0,5625
80%	0,5400	0,5300	0,5338	0,5425
90%	0,5388	0,5525	0,5413	0,5375
100%	0,5100	0,5600	0,5150	0,5475



Proband Nr. 21				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,3429	0,4829	0,4714	0,5057
20%	0,3990	0,4700	0,5314	0,6257
30%	0,5362	0,5823	0,5971	0,7614
40%	0,6238	0,6303	0,6143	0,7443
50%	0,6467	0,7183	0,6771	0,7943
60%	0,6305	0,6964	0,6343	0,8900
70%	0,6248	0,8920	0,7143	0,8486
80%	0,6129	0,7634	0,6714	0,9371
90%	0,6189	0,7607	0,6600	1,1157
100%	0,5879	0,8957	0,7229	1,1886
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,6877	0,8136	0,8388	0,9421
20%	0,7683	0,8602	0,8275	0,9383
30%	0,8262	0,8902	0,8363	0,9282
40%	0,8866	0,8892	0,7809	0,9131
50%	0,8908	0,8524	0,8161	0,9194
60%	0,8270	0,8268	0,7884	0,8917
70%	0,7968	0,8010	0,7834	0,8615
80%	0,7953	0,7068	0,7783	0,8249
90%	0,7965	0,6644	0,7909	0,8262
100%	0,7664	0,7003	0,7809	0,7960



Proband Nr.22				
	30%MVC		50%MVC	
Zeit[%]	RMS-Standard	RMS-Wärme	RMS-Standard	RMS-Wärme
10%	0,2940	0,3040	0,5726	0,6368
20%	0,2902	0,3103	0,5641	0,6496
30%	0,2990	0,3392	0,5705	0,6709
40%	0,2915	0,3304	0,5983	0,6667
50%	0,3015	0,3204	0,5684	0,6496
60%	0,2927	0,2877	0,5812	0,6496
70%	0,3040	0,2864	0,5855	0,6709
80%	0,2864	0,2915	0,5940	0,6880
90%	0,2940	0,3040	0,6154	0,7051
100%	0,2940	0,2965	0,6282	0,7137
	TURNS-Standard	TURNS-Wärme	TURNS-Standard	TURNS-Wärme
10%	0,8492	0,8431	0,8585	0,8215
20%	0,8369	0,8354	0,8292	0,8308
30%	0,8277	0,8123	0,8092	0,8462
40%	0,8031	0,8031	0,7815	0,8431
50%	0,7846	0,7969	0,7815	0,8462
60%	0,7846	0,7831	0,7969	0,8431
70%	0,7723	0,7723	0,8123	0,8585
80%	0,7785	0,7662	0,8092	0,8031
90%	0,7969	0,7569	0,7908	0,8431
100%	0,7415	0,7415	0,7969	0,8338





## **8 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei Herrn Prof.Dr.rer.nat. Dr.med.habil. H.G.Pratzel und bei Prof.Dr.med. Senn zur Überlassung des Themas dieser Arbeit bedanken.

Weiterhin gilt mein besonderer Dank meinen Betreuern Herrn Dr. I. Magyarosy und Herrn Prof.Dr.med. K.-H. Krause aus dem Friedrich-Baur-Institut, die mir bereitwillig mit wertvollen wissenschaftlichen Hilfestellungen beiseite standen.

Außerdem möchte ich allen Probanden danken, die sich mir freiwillig zur Verfügung stellten sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Balneologie und Klimatologie für die hilfreiche Unterstützung.



## 9 Lebenslauf

### Zu meiner Person:

Name	Thomas Fischer
Geburtsdatum	21.08.1972
Geburtsort	München
Familienstand	ledig
Nationalität	Österreich

### Ausbildung:

#### Schulbildung

1985-1992	Max-Planck-Gymnasium, München
9.07.1992	Abitur

#### Hochschulstudium

WS 92-WS 99	Ludwig-Maximilian-Universität
25.08.1994	Ärztliche Vorprüfung, München
21.08.1996	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, München
18.09.1997	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, München
19.04.2000	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, München

### Praktische Erfahrung:

Famulaturen	Urologie, Orthopädie, Allgemeinarztpraxis, Kardiologie
Praktisches Jahr	Chirurgie, Innere, Anästhesiologie
Zusätzlich	Traumatologie Krankenhaus München-Harlaching
Auslandspraktikum	Orthopädische Klinik Denver/USA

### Beruf:

Seit Juli 2000	AIP in der Orthopädischer Klinik Lindenlohe
----------------	---

