

IBoaT-Report 3.2

**Projekt "Fit & Sail"**

**Pilotstudie: Vergleich der Wirkungen von  
Vibrationstraining und Fahrtensegeln  
auf die Sprungkraft**

Wolf-Dieter Mell

Dezember 2006

## **Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell**

### **Institut für Boots-Tourismus (IBoaT)**

Jenastr. 14  
D-53125 Bonn  
Tel.: (+49) 228 -25 62 92  
Fax: (+49) 228 -25 87 80  
email: mell@iboat.de  
Internet: <http://www.iboat.de>

# **IBoaT-Report**

## **Arbeitsbericht des Institutes für Boots-Tourismus**

ISSN: 1860-7888 IBoaT-Report (Print)  
1860-7896 IBoaT-Report (Internet)

Herausgeber: Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell  
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT), Bonn

Druck: Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell  
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT), Bonn  
Printed in Germany

Vertrieb: Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell  
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT), Bonn  
IBoaT-Report: Booklet geheftet,  
Preis pro Heft: 10,00 € (inkl. MwSt. und Versand),  
Bestellung: <http://www.iboat.de/iboat-report/index.htm>

Das Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) ist eine private, unabhängige wissenschaftliche Forschungs- und Beratungseinrichtung.

## Inhalt

1	Vorbemerkung und Dank	4
2	Grundlagen und Thesen	7
2.1	Wirkungsprinzip der Galileo™-Vibrationsplatte	7
2.2	Fahrtensegeln	8
2.3	Leonardo™ Sprungmessplatte	9
2.4	Thesen	10
3	Design der Studie	10
3.1	Vibrationstraining	10
3.2	Einfacher beidbeiniger Sprung auf der Messplatte (S2LJ)	11
3.2.1	Normdaten: "Esslinger Fitness Index"	12
3.3	Fahrtensegel-Törn	14
3.4	Null-Training	17
3.5	Probanden	17
4	Ergebnisse und Auswertung	18
4.1	Daten	18
4.2	Reproduzierbarkeit	19
4.3	Auswirkungen von Vibrationstraining, Fahrtensegel-Törn und Null-Training auf die relative Sprungkraft	20
4.4	Abschätzung der Trainingsfunktion	21
4.5	Mögliche Störgrößen und Messprobleme	25
5	Interpretation und Folgerungen	29
6	Zusammenfassung	33
7	Quellen	35
8	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	39
9	Haftungsausschluss und Kontakt	40

# 1 Vorbemerkung und Dank

Das Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) ist eine unabhängige wissenschaftliche Forschungs- und Beratungseinrichtung. Aufgabe des Institutes ist die Erhebung und Analyse von Daten, Strukturen und Prozessen für den Bereich des Boots-Tourismus, die Untersuchung von Zusammenhängen und die Bereitstellung handlungsrelevanter Ergebnisse für die Akteure in diesem Segment.

In Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Wassersportwirtschaft e.V. in Köln und dem Arbeitsbereich Sportmedizin des Institutes für Sport und Sportwissenschaften der Universität Kiel hat IBoaT im Jahr 2005 das Forschungsprojekt "Fit & Sail" zur Untersuchung der körperlichen und mentalen Auswirkungen des Fahrtensegelns auf ältere Menschen initiiert.

Das Ziel des Projektes ist:

1. Die Erhebung, Auswertung und Umsetzung von Daten über die körperlichen und geistigen Eigenschaften von Männern und Frauen in einem Alter von ca. 50 - 85 Jahren im Hinblick auf ihre Fähigkeit, ein Segelboot sicher zu beherrschen und mit ihm mehrwöchige Törns erfolgreich und ohne gesundheitliche Gefährdung durchzuführen.
2. Ein Beitrag zur Klärung der Frage, ob, in welchem Umfang und unter welchen Randbedingungen Segeln / Fahrtensegeln Gesundheit, Lebensgefühl und Wohlbefinden älterer Menschen fördert oder behindert.
3. Das Ableiten der technischen Eigenschaften, die ein Segelboot und seine Ausrüstung haben sollte, um - abhängig von der Altersgruppe und den Eigenschaften des Reviers - den körperlichen und geistigen Eigenschaften älterer männlicher und weiblicher Segler optimal zu entsprechen.
4. Das Entwickeln von Lösungen zur Anpassung der Konstruktion und der Ausrüstung von Segelbooten an altersbedingte körperliche und geistige Anforderungen älterer Segler.

Zur Vorbereitung der wissenschaftlichen Untersuchungen wurde eine Serie von Pilotstudien vor allem zur Klärung methodischer Fragen durchgeführt, beschrieben u.a. in:

- IBoat-Report 3.1: Seniorens Segeln  
Studie: Langzeitmessung Herz-Kreislaufbelastung  
Fahrtensegeln und Alltagsaktivitäten  
Wolf-Dieter Mell, September 2005

- IBoaT-Report 3.2: Projekt "Fit & Sail"  
Pilotstudie: Vergleich der Wirkungen von  
Vibrationstraining und Fahrtensegeln  
auf die Sprungkraft  
Wolf-Dieter Mell, Dezember 2006
- IBoat-Report 3.3: Projekt "Fit & Sail"  
Pilotstudie: Einfluss des Fahrtensegelns  
auf die körperliche Leistungsfähigkeit,  
Burkhard Weisser, Wolf-Dieter Mell, Februar 2007

In der vorliegenden Studie, dem IBoaT-Report 3.2, werden in diesem Zusammenhang die Ergebnisse einer Untersuchung vorgestellt, in der sich ältere Probanden zunächst einem 6-wöchigen, die Muskulatur anregenden Vibrationstraining mit einer Galileo-Home™ Vibrationsplatte unterzogen. Anschließend unternahm einer der Probanden einen 3-wöchigen Fahrtensegel-Törn, auf den eine 3-wöchige Null-Trainingsphase folgte. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen wurden individuell als Zeitreihen der Sprungleistung mit einer Sprungmessplatte gemessen. Ziel dieser Untersuchung war es u.a., einen reproduzierbaren Vergleichsmaßstab für die vermuteten muskulären Trainingswirkungen des Fahrtensegelns zu testen.

Interpretiert werden sowohl die beobachteten Trainings- und Detrainingeffekte als auch im Vergleich zu alters- und geschlechtsabhängigen Normdaten die Zeitkonstanten und Maximalwerte der Trainingswirkungen.

Wir danken folgenden Sponsoren, die das Projekt "Fit & Sail" mit Sach- und Dienstleistungen oder finanziellen Zuwendungen großzügig unterstützen (Stand: 12/2006):

- **HanseYachts AG**  
Salinenstraße 22  
D-17489 Greifswald  
Telefon: 03834 - 57 92 0  
e-mail: zentrale@hanseyachts.com  
www.hanseyachts.com/
- **ancora Marina GmbH & Co KG**  
An der Wiek 7 - 15  
D-23730 Neustadt / Holstein  
Telefon: 04561 - 51 71 0  
e-mail: info@ancora-marina.com  
www.ancora-marina.com

- **A.W Niemeyer GmbH**  
Holstenkamp 58  
D-22525 Hamburg  
Telefon: 040 - 89 96 97 220  
e-mail: [service@awniemeyer.de](mailto:service@awniemeyer.de)  
[www.awniemeyer.de](http://www.awniemeyer.de)
- **International Marine Certification Institute (IMCI)**  
Rue Abbé Cuypers 3  
B-1040 Brussels  
Telefon: +32 - 2 - 74 16 83 6  
e-mail: [info@imci.org](mailto:info@imci.org)  
[www.imci.org](http://www.imci.org)
- **Volvo Penta Central Europe GmbH**  
Am Kiel-Kanal 1  
D-24106 Kiel  
Telefon: 0431 - 39 94 0  
[www.volvopenta.com](http://www.volvopenta.com)

Wir danken besonders der Firma

**Novotec Medical GmbH**  
Durlacher Strasse 35  
D-75172 Pforzheim  
Telefon: 07231 - 154 48 44  
[kontakt@novotecmedical.de](mailto:kontakt@novotecmedical.de)  
[www.galileo-training.com](http://www.galileo-training.com)

welche die vorliegende Studie durch die Bereitstellung eines Galileo-Home™ Trainers und einer Leonardo™ Sprungsmessplatte unterstützte und ermöglichte.

Ein spezieller Dank gilt den Probanden dieser Studie, insbesondere Ulrike Fiebig, ohne deren Sorgfalt und Ausdauer diese Studie nicht erfolgreich hätte durchgeführt werden können.

Und wir danken sehr herzlich Herrn Prof. Weisser und dem Fit&Sail-Team der Sportwissenschaftler an der Universität Kiel, mit denen die Pilotstudien wissenschaftlich vorbereitet wurden und deren kritische Analyse der Ergebnisse - u.a. auf dem Workshop am 7.12.06 in Kiel - wichtige Hinweise zur Interpretation der Daten geliefert hat.

## 2 Grundlagen und Thesen

### 2.1 Wirkungsprinzip der Galileo™-Vibrationsplatte

Auszüge aus der Produktbeschreibung des Galileo™ Trainingsgerätes von Novotec Medical GmbH (s. [www.galileo-training.com/vibrationstraining.php](http://www.galileo-training.com/vibrationstraining.php)):

Das Galileo™ Trainingsgerät (Novotec Medical GmbH) arbeitet wie eine Wippe mit einer Amplitude von 0..6 mm (medial nach distal, dies entspricht einem Hub von 0..12mm) bei einstellbarer Frequenz, z.B. 5..30 Hertz.

Durch die schnelle, seitenalternierende Bewegung der Galileo-Trainingsplattform werden in der Muskulatur so genannte "Dehnreflexe" ausgelöst, die eine Kontraktion der Muskulatur in den Beinen bis hinauf in den Rumpf bewirken. Diese Reflexe werden nicht vom Willen des Trainierenden gesteuert, sondern erfolgen selbstständig über das Rückenmark.

Die Anzahl der Dehnreflexe pro Sekunde wird über die einstellbare Trainingsfrequenz bestimmt. Wird beispielsweise eine Trainingsfrequenz von 25 Hertz gewählt, erfolgen pro Sekunde jeweils 25 Kontraktionszyklen in Beuger- und Streckermuskulatur.

Dehnreflexe werden in der Muskulatur ausgelöst, wenn der Muskel vorgespannt ist - z.B. beim Stehen oder in der Hocke - und gleichzeitig in sehr kurzer Zeit gedehnt wird. Der Dehnreflex äußert sich durch eine schnelle Verkürzung des gedehnten Muskels und erfolgt eigenständig über das Rückenmark, diesen Reflex nutzt das Galileo™ Trainingsgerät immer abwechselnd im linken und rechten Bein.

Durch die Wippfunktion (Seitenalternation) der Galileo-Trainingsplattform werden über die Beine Kräfte in den Körper eingeleitet. Dadurch wird die Lage des Beckens verändert - wie auch beim Gehen - und über die Rücken- und Bauchmuskulatur gehalten.

Die Trainingsfrequenz hat unmittelbaren Einfluss auf den Effekt des Galileo-Trainings.

Bei hohen Frequenzen zwischen 20 und 30 Hertz verhindert die Muskelphysiologie eine vollständige Entspannung des Muskels innerhalb der kurzen Zeit zwischen zwei Zyklen. Vielmehr wird der Muskel immer genau dann zu einer erneuten Kontraktion gezwungen, wenn er gerade im Begriff ist, sich wieder zu entspannen bzw. schon teilweise entspannt ist. Dies hat zur Folge, dass insbesondere die inter- und intramuskuläre Koordination bei

größeren Kräften und innerhalb sehr kurzer Zeitspannen trainiert wird, was letztendlich zur Steigerung der Muskelleistung führt.

Die Verbesserung der Muskelleistung der Unterkörpermuskulatur durch ein seitenalternierendes Vibrationstraining wird in zahlreichen Studien beschrieben (s. Quellen).

In der vorliegenden Studie interessierten darüber hinaus der Zeitverlauf und die Veränderungsraten der Wirkungen des Vibrationstrainings.

## **2.2 Fahrtensegeln**

Eine systematische sportmedizinische Parametrisierung der Ursachen und Wirkungen des Fahrtensegelns auf die körperliche Leistungsfähigkeit steht noch aus.

In einer Langzeitmessung der Herz-Kreislaufbelastungen eines älteren Probanden beim Fahrtensegeln (s. IBoAT-Report 3.1, 2005) wurden einerseits Belastungsspitzen an der Leistungsgrenze, aber auch trainingsrelevante Belastungsphasen im Leistungsbereich "Ausdauertraining" identifiziert.

Die Beobachtung der Bewegungsabläufe führte darüber hinaus zu der Vermutung, dass Fahrtensegel-Törns ausreichender Dauer messbare Auswirkungen nicht nur auf die Ausdauer, sondern auch auf die Sensomotorik und auf die Muskelleistung, u.a. der Unterkörpermuskulatur, insbesondere älterer, wenig trainierter Segler haben könnten.

Dieser speziellen Frage geht das Teilprojekt "Einfluss des Fahrtensegelns auf die körperliche Leistungsfähigkeit" nach, dessen vorbereitende Überlegungen und Untersuchungen in einer Pilotstudie (IBoAT-Report 3.3, 2006) zusammengefasst werden.

Ein wichtiger Teilaspekt ist dabei die durch Herzfrequenzmessungen erhärtete Beobachtung, dass auch in den ruhigen Phasen eines Segeltörns - z.B. auf "langen Schlägen" oder im Hafen - sich die Akteure an Bord intensiver bewegen (mit Schwerpunkten auf Bewegungsabläufe wie "Aufstehen"/"Hinsetzen", "Bücken"/"Aufrichten") als zunächst vermutet.

Die aus diesen Bewegungen resultierende Anregung der Unterkörpermuskulatur ist Gegenstand dieser Studie. Ein spezieller Zweck des Untersuchungsdesigns ist es dabei, ggf. feststellbare Veränderungen mit standardisierbaren, alternativen Trainingswirkungen zu vergleichen.

## 2.3 Leonardo™ Sprungmessplatte

Die Sprungmessplatte Leonardo™ von Novotec Medical GmbH besteht aus einer linken und einer rechten Teilplatte mit je 4 Kraftsensoren. Die Sensoren sind über USB mit einem PC verbunden und werden mit 800 Hz abgetastet.

Die Software Leonardo Mechanography v4.1 erfasst den zeitlichen und örtlichen Verlauf der Bodenreaktionskräfte und bestimmt anhand dieser Daten die im Folgenden aufgeführten Parameter:

Berechnung und Analyse auf Basis der ermittelten orts aufgelösten Bodenreaktionskräfte (getrennt nach linkem und rechtem Bein):

- Kraft
- Leistung
- Energie

Berechnung und Analyse von körperschwerpunktbezogenen Größen wie

- Geschwindigkeit
- Energie
- Sprunghöhe
- Steifigkeit

Analyse der Variation des effektiven Kraft-Einleit-Punktes (Center of Force, CoF) und des Körperschwerpunktes (Center of Gravity, CoG)

Referenzwerte für

- individuelle Leistungsfähigkeit (Esslinger Fitness Index, EFI: W/kg Körpergewicht nach Geschlecht und Altersgruppe)
- individuelle Bestimmung der Maximalkraft pro Bein
- individuelle Bestimmung der Leistungsfähigkeit beim Chair-Rising-Test (CRT)

Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Unterkörpermuskulatur wurde der einfache beidbeinige Sprung (Single Two Leg Jump, S2LJ) auf der Messplatte durchgeführt. Auf der Grundlage der Sensordaten wurde von der Software pro Sprung die maximale Leistung beim Absprung (Summe links + rechts) normiert auf das Körpergewicht ( $P_{\text{tot max rel}}$ ) berechnet. Diese Maßzahl korreliert nach einer Studie von Runge et al. (Runge 2004) besonders eng mit dem Alter und dem Geschlecht der Probanden und liefert nach Ergebnissen der gleichen Studie trennschärfere und präzisere Ergebnisse als der für den gleichen Zweck bei älteren Menschen häufig eingesetzte Chair-Rising-Test (CRT).

Auf der Grundlage der Messungen bei 169 Frauen und 89 Männern in der o.g. Studie verwendet die Software ergänzend die altersabhängigen Trendlinien unter der Bezeichnung "Esslinger Fitness Index" als Normwerte für  $P_{\text{tot max rel}}$ .

## 2.4 Thesen

These 1:

Längerfristiges, intensives Vibrationstraining bewirkt eine Steigerungsrate der Sprungleistung, deren Wert umgekehrt proportional zum erreichten Trainingszustand mit zunehmender Leistung abnimmt. Die durch ein definiertes Vibrationstraining zunehmende Leistung nähert sich asymptotisch einem von Alter und Geschlecht abhängigen maximalen Wert.

These 2:

Fahrtensegeln hat auf die Sprungleistung eine ähnlich trainierende Wirkung wie ein Vibrationstraining.

These 3:

Bei der Sprungleistung haben die Steigerungsrate durch intensives Vibrationstraining und die Degressionsrate durch Null-Training eine ähnliche Größenordnung.

## 3 Design der Studie

### 3.1 Vibrationstraining

Bei dem Vibrationstraining mit dem Galileo™ Trainingsgerät steht der Trainierende breitbeinig mit je einem Fuß auf einem Ende der Wippe. Die Amplitude des Galileo-Home™ Trainers beträgt dann ca. 4 mm.

Für die vorliegende Studie wurde eine locker aufrechte Körperhaltung vorgeschrieben, die Knie und die Hüften leicht federnd angewinkelt, um die Vibrationsstöße kräftig bis in die Oberschenkel, aber nur noch stark gedämpft in den Rumpf und den Kopf zu leiten.

Auf der Basis früherer Studien empfiehlt der Hersteller für eine optimale Trainingswirkung Vibrationsfrequenzen von 20-25 Hz. Für die vorliegende Studie wurde eine Frequenz von 22 Hz gewählt.

Aus früheren Studien mit der Vibrationsplatte ergibt sich, dass ein typisches Training aus 1-2 Trainingseinheiten je 3 Minuten täglich besteht. Zur Verstärkung der Wirkung wurde für die vorliegende Studie ein täglicher Trainingszyklus aus 3 Trainingseinheiten je 2 Minuten, getrennt durch Pausen von je 2 Minuten, also eine Trainingszeit von täglich 10 Minuten definiert.

Trainiert wurde täglich an 7 Tagen die Woche.

Der im Folgenden ausgewertete Teil des Vibrationstrainings dauerte genau 6 Wochen (15.5.06 - 26.6.06).

### **3.2 Einfacher beidbeiniger Sprung auf der Messplatte (S2LJ)**

Die Messung des einfachen beidbeinigen Sprunges auf einer Kraftmessplatte erfolgt in vier Phasen:

1. Der Proband steht neben der Platte, der Messvorgang wird durch Knopfdruck gestartet, die Platte justiert sich auf "Null".
2. Der Proband stellt sich ruhig auf die Platte, das System misst das Körpergewicht und die Gewichtsverteilung auf die Sensoren.
3. Auf ein akustisches Signal des Messsystems springt der Proband aus dem Stand auf der Platte "so hoch wie möglich", landet mit beiden Füßen wieder auf der Platte und bleibt ruhig stehen. Das Messsystem erfasst hochauflösend den Zeitverlauf der Kräfte pro Sensor. Ein akustisches Signal des Systems bezeichnet das Ende des Messvorganges.
4. Aus dem Zeitverlauf der Sensorkräfte werden die Absprung- und Landekräfte sowie die Absprung- und die Flugzeiten bestimmt und aus ihnen und dem Körpergewicht Geschwindigkeiten, Kräfte, Energien und Leistungen berechnet.

Dem Vorschlag von Runge et al. (2004) folgend, wurde als Messgröße der berechnete Wert  $P_{\text{tot max rel}}$  (maximale Leistung beim Absprung, Summe rechts plus links, normiert auf das Körpergewicht) verwendet.

Da die Sprünge der Probanden nur mit einer gewissen Bandbreite zu reproduzierbaren Ergebnissen führen, wurden pro Messvorgang 2-3 Sprünge durchgeführt, einzeln gemessen und in die Auswertung übernommen. Eine Mittelwertbildung wurde nicht durchgeführt.

Eine Alternative zu diesem Verfahren wäre die vom Hersteller und einigen Autoren empfohlene Methode "best of 3", bei der nur das beste Ergebnis von 3 aufeinander folgenden Messungen verwendet wird.

Um während der Dauer des Vibrationstrainings auch eine eventuelle kurzfristige Auswirkung des Trainings auf die Sprungleistung zu prüfen, wurden pro Training 2 Messvorgänge durchgeführt:

Ein Messvorgang mit 2-3 Sprüngen unmittelbar vor dem Training,

ein Messvorgang mit 1-3 Sprüngen 2 Minuten nach der letzten Trainingseinheit. In der Summe wurden pro Training zwischen 3 und maximal 6 Sprüngen durchgeführt und gemessen.

Da es bei einigen älteren Probanden während der Dauer des Vibrationstrainings gelegentlich zu Behinderungen bei den (ungewohnten) Sprüngen - z.B. durch leichte "Zerrungen" der Bauchmuskulatur - kam, wurde in diesen Fällen die S2LJ-Messungen vor und nach dem Vibrationstraining für mehrere Tage ausgesetzt.

Das Studiendesign sah für einen Probanden vor, nach dem 6-wöchigen Vibrationstraining einen 3-wöchigen Segeltörn durchzuführen. Während dieses Törns wurden keine Leistungsmessungen durchgeführt.

Nach dem Törn war für diesen Probanden eine mehrwöchige Null-Trainingsphase eingeplant, in dieser Phase wurde die Sprungleistung regelmäßig 2-mal pro Woche mit 2-3 Sprüngen pro Messvorgang erfasst.

### 3.2.1 Normdaten: "Esslinger Fitness Index"

In mehreren Studien haben Runge et al. umfangreiche Untersuchungen mit der Sprungmessplatte Leonardo™ an einem breiten Probandenkollektiv mit dem Ziel durchgeführt, einerseits das Messverfahren mit anderen Leistungstests (u.a. Chair-Rising-Test und Timed-up-and go) zu vergleichen, andererseits um alters- und geschlechtsabhängige Normdaten zu gewinnen (Rittweger 2004, Runge 2004).

Aus einer Studie mit 169 Frauen zwischen 20 und 88 Jahren und 89 Männern zwischen 18 und 79 Jahren ergibt sich nach Runge eine hochsignifikante Abhängigkeit der relativen Sprungleistung  $P_{\text{tot max rel}}$  vom Lebensalter und dem Geschlecht der Probanden. Die folgende Abbildung zeigt diesen Zusammenhang.

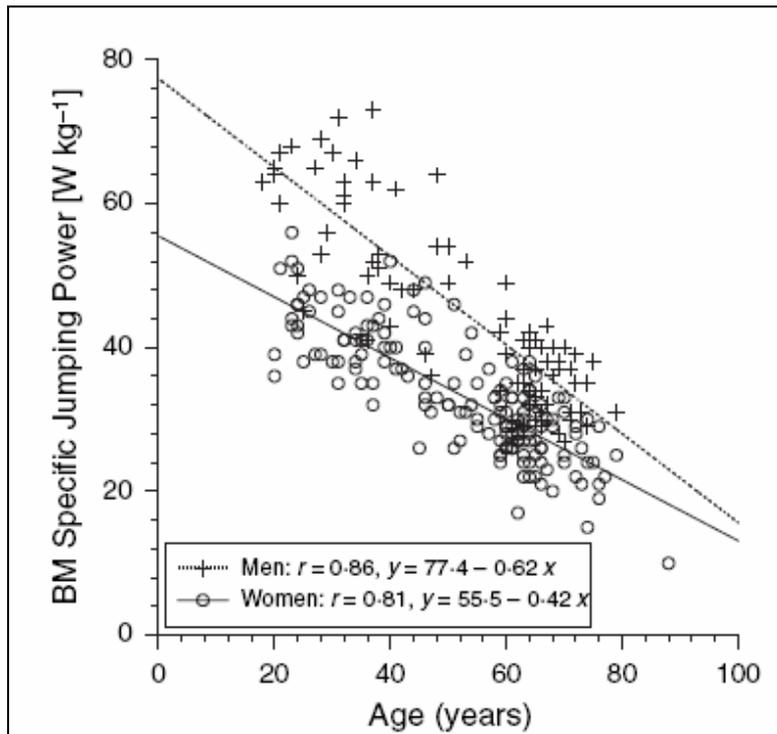
Runge verwendet als Messwerte für  $P_{\text{tot max rel}}$  hierbei "best of 3", d.h. den höchsten Messwert aus drei aufeinander folgenden Versuchen.

Seine Trendlinie:

$$\text{Männer: } P_{\text{tot max rel}} = 77,4 - 0,62 * \text{Lebensalter [W / kg]}$$

$$\text{Frauen: } P_{\text{tot max rel}} = 55,5 - 0,42 * \text{Lebensalter [W / kg]}$$

Diese Ergebnisse werden von der Software Leonardo Mechanography unter der Bezeichnung "Esslinger Fitness Index" als Normdaten für "gesund gealterte Menschen" verwendet.



**Abb. 3.2-1: Relative Sprungleistung, abhängig von Geschlecht und Alter**  
(Quelle: Runge 2004)

Aus diesen Trends ergeben sich folgende Ableitungen auf die altersabhängige Sprungkraft:

	Alter	relative Sprungkraft	Diff. 30 - 80 Jahre
<b>Männer</b>	30	58,8	
	80	27,8	31,0
<b>Frauen</b>	30	42,9	
	80	21,9	21

- Sowohl bei Männern als auch bei Frauen sinkt die relative Sprungkraft in den 50 Lebensjahren von 30 bis 80 auf rund die Hälfte, d.h. im Mittel pro Lebensdekade um 10% der Leistung mit 30 Jahren.
- Frauen haben im Mittel eine um rund 25% geringere relative Sprungkraft als Männer, wobei der relative Leistungsunterschied mit zunehmendem Alter geringer wird.

Diese Tendenzen decken sich mit den alters- und geschlechtsabhängigen Befunden aus vielen anderen sport- und alterswissenschaftlichen Untersuchungen (s. Quellen).

### 3.3 Fahrtensegel-Törn

Der Fahrtensegel-Törn war Teil der Pilotstudie "Einfluss des Fahrtensegelns auf die körperliche Leistungsfähigkeit" und wird in dem Arbeitsbericht IBoAT-Report 3.3 im Detail dokumentiert.

Der Törn wurde mit einer Neptun 22 durchgeführt und bestand aus zwei Abschnitten:

Teil 1 (s. Abb. 3.3-1):

Zeitraum	27.6.2006 - 8.7.2006
Crew	Proband, m, 66 Jahre Ehefrau, w, 62 Jahre
Anzahl Tage	12 Tage
Anzahl sm	95 sm
Törngebiet	Niederlande: Süd-Friesland Ijsselmeer Markermeer

Teil 2 (s. Abb. 3.3-2):

Zeitraum	9.7.2006 - 15.7.2006
Crew	Proband, m, 66 Jahre Crewmitglied, m, 37 Jahre
Anzahl Tage	7 Tage
Anzahl sm	117 sm
Törngebiet	Niederlande: Süd-Friesland Ijsselmeer Watt bis Terschelling

Der Törn dauerte für den Probanden 19 Tage, es wurden insgesamt 221 sm, davon 76 sm unter Segeln zurückgelegt.

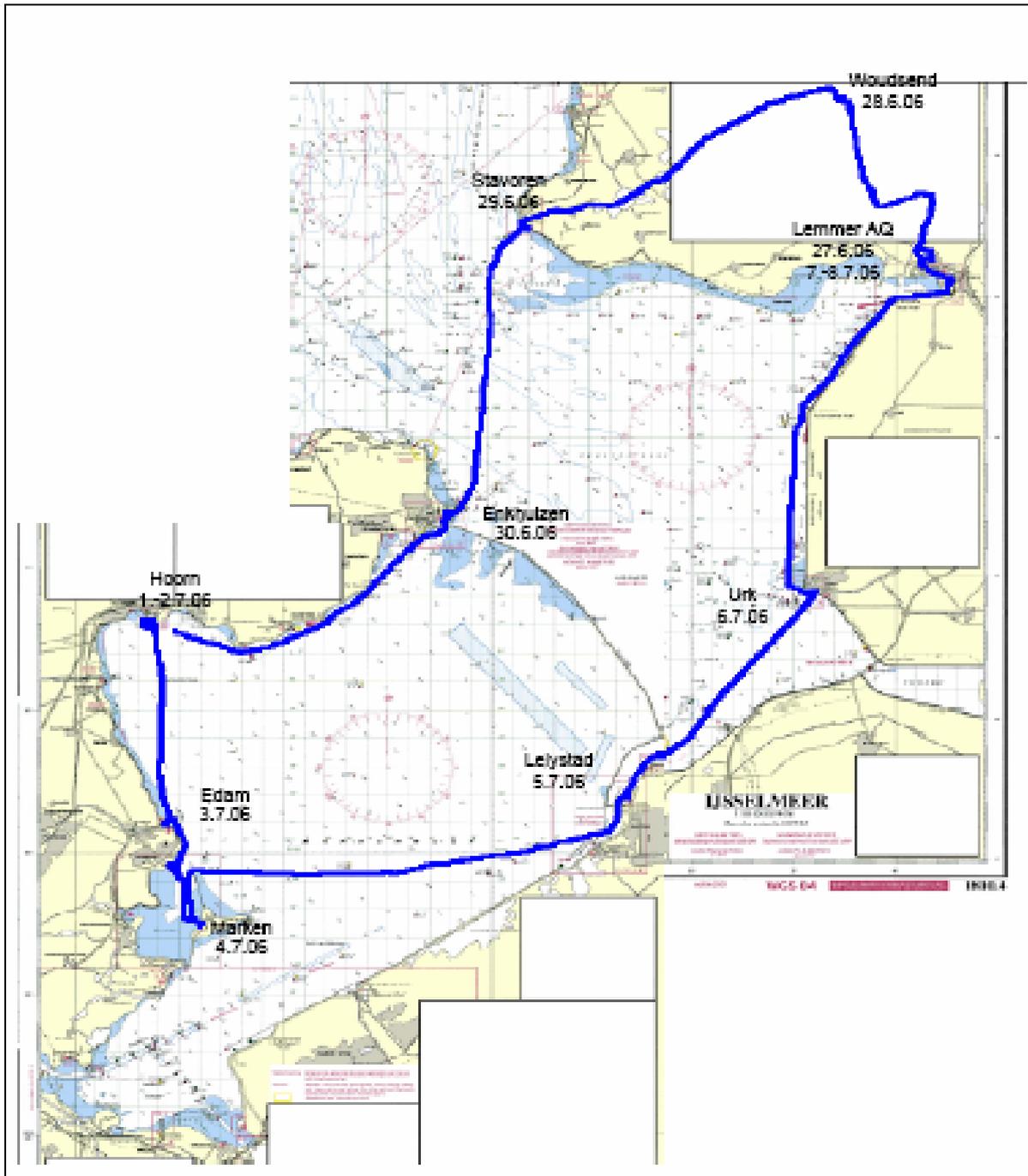


Abb. 3.3-1: Fahrtensegel-Törn Teil 1

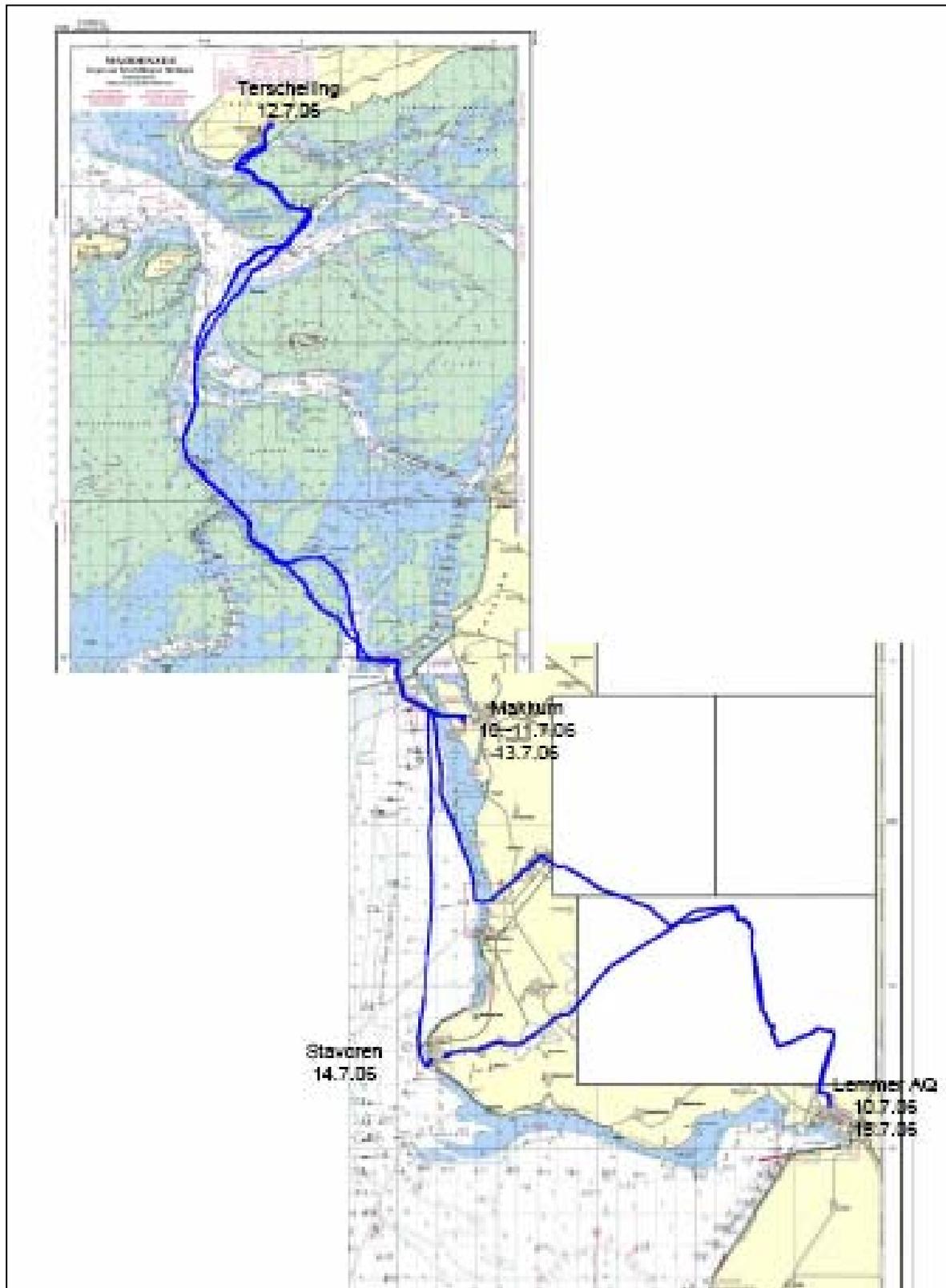


Abb. 3.3-2: Fahrtensegel-Törn Teil 2

Das Leben an Bord eines konventionellen, kleinen Fahrtensegelbootes spielt auf drei Ebenen ab: Unter Deck (Salon, Pantry und Schlafräum), im Cockpit und auf Deck. Die Höhenunterschiede zwischen diesen Ebenen betragen auf der Neptun 22 rund jeweils 70 cm.

Das Boot ist mit Rollreiffanlagen für das Großsegel und die Genua ausgerüstet, die während der Fahrt vom Cockpit aus bedient werden. Das Boot ist Pinnengesteuert, der Motorantrieb erfolgt über einen im Schacht fest eingebauten Außenborder mit elektrischem Anlasser und einer mechanischen Fernbedienung in Reichweite des Rudergängers.

Die Navigation und die Kartenarbeit erfolgten während der Fahrt vom Cockpit aus.

### 3.4 Null-Training

Zur Überprüfung der Auswirkungen einer länger andauernden Trainings-Unterbrechung wurde für den Hauptprobanden unmittelbar im Anschluss an den Törn eine 3-wöchige "Erholungsphase" ohne Vibrationstraining und ohne nennenswerte sportliche Betätigung durchgeführt.

Die körperliche Betätigung in dieser Phase beschränkte sich auf die vor Beginn des Vibrationstrainings üblichen Alltagstätigkeiten, allerdings ohne die zuvor regelmäßig 2-3-mal pro Woche durchgeführten ca. 30-minütigen Walking-Einheiten.

Während dieser Null-Training-Phase wurden regelmäßig ca. zweimal pro Woche die Sprungleistung und ca. 14-tägig die Herz-Kreislauf-Leistung (Fahrrad-Ergometer und Laktat) gemessen (s. IBoaT-Report 3.3).

### 3.5 Probanden

Die vorliegende Studie ist eine Einzelfalluntersuchung mit zwei Probanden.

Probandenprofil:

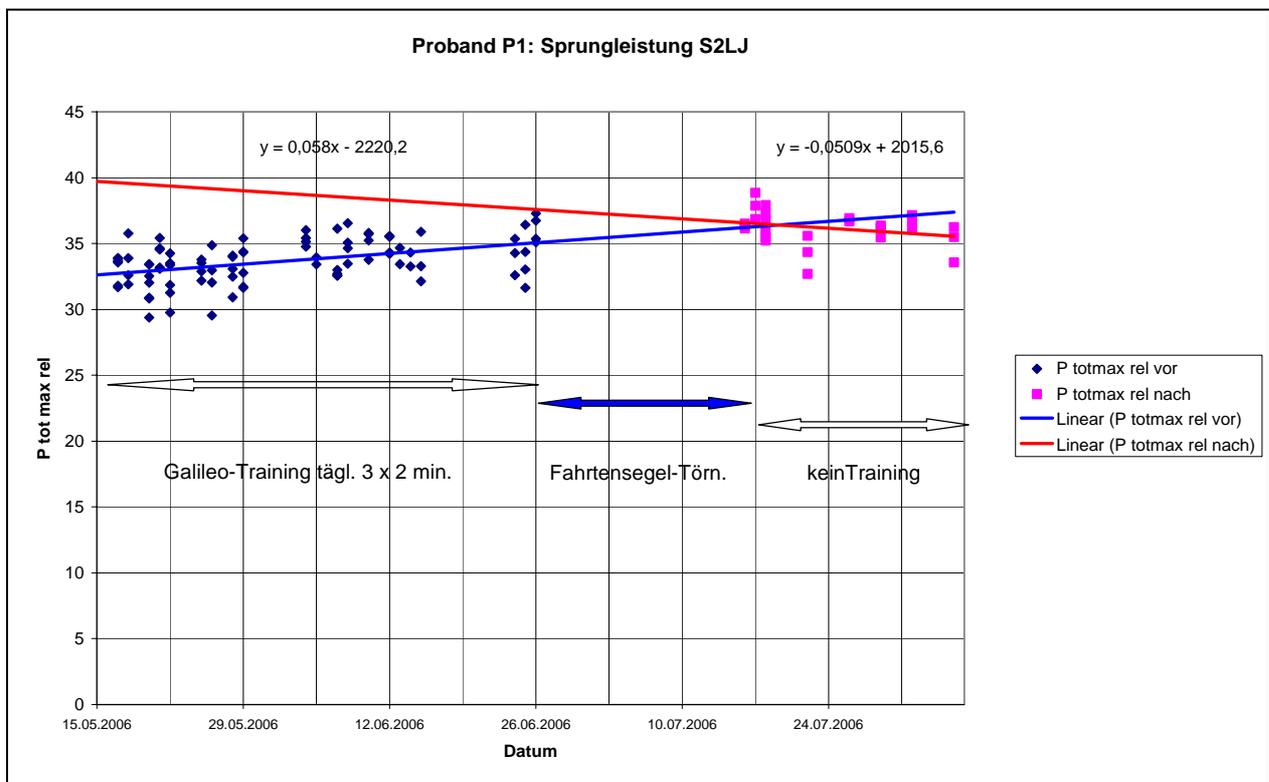
Bezeichnung des Probanden	Geschlecht	Alter	Studienteile	Fitness
P1	m	66	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 Wochen Vibrationstraining</li> <li>• 19 Tage Fahrtensegel-Törn</li> <li>• 3 Wochen Null-Training</li> </ul>	normal, leicht unter Durchschnitt
P2	w	47	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 Wochen Vibrationstraining</li> </ul>	sportlich, deutlich über Durchschnitt

Die Daten weiterer Teilnehmer einer "Galileo-Trainingsgruppe" waren wegen unsystematischer Trainingslücken für die vorliegende Studie nicht verwendbar.

## 4 Ergebnisse und Auswertung

### 4.1 Daten

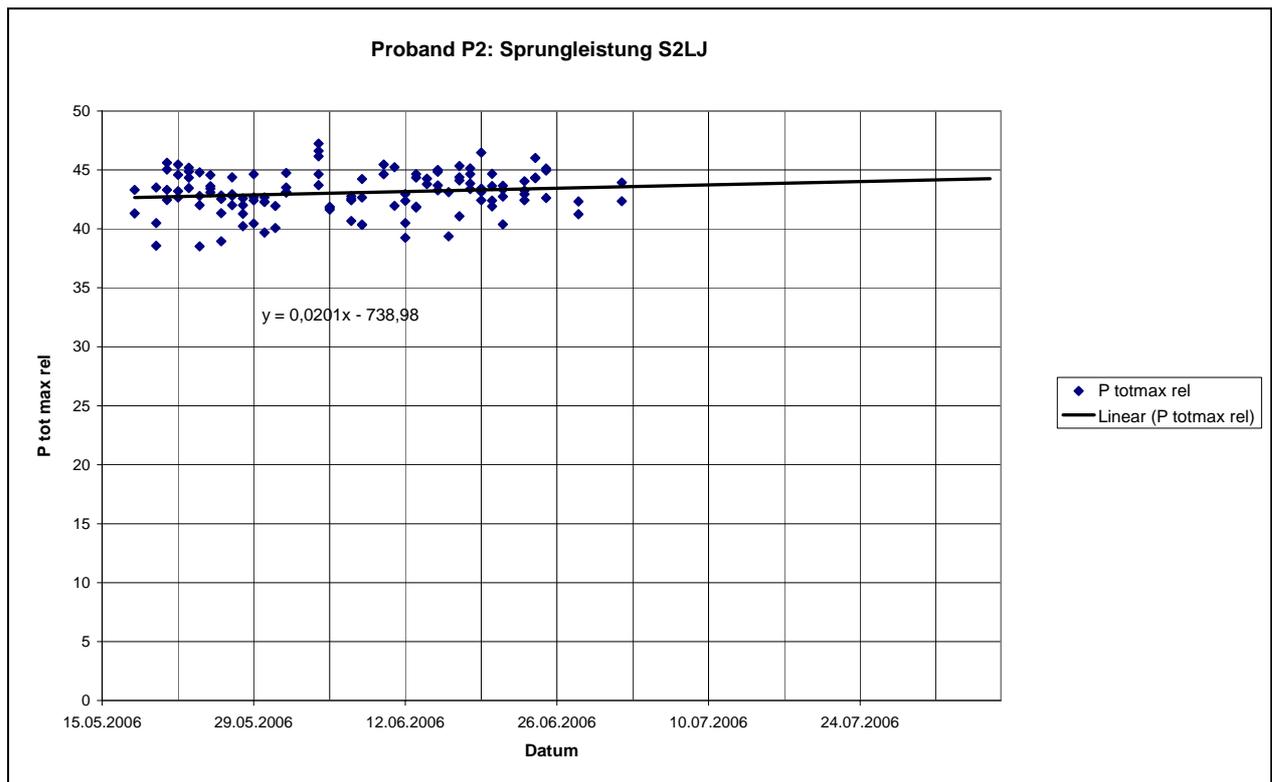
Die folgenden beiden Abbildungen und Tabellen beschreiben die Veränderungen der relativen Sprungleistung der beiden Probanden.



**Abb. 4.1-1: Proband 1: Veränderung der relativen Sprungleistung durch Vibrationstraining, einen Segeltörn und Null-Training**

Daten Proband P1:

Geschlecht, Alter	männlich, 66 Jahre
Normdaten EFI ("best of")	36,5 W/kg
mittlere Sprungleistung zu Beginn des Trainings	32,5 W/kg
Sprungleistung zu Beginn des Trainings "best of"	33,9 W/kg <sup>1)</sup>
Steigerungsrate durch das Vibrationstraining	0,058 W/kg / Tag



**Abb. 4.1-2: Proband 2: Veränderung der relativen Sprungleistung durch Vibrationstraining**

Daten Proband P2:

Geschlecht, Alter	weiblich, 47 Jahre
Normdaten EFI ("best of")	35,76 W/kg
mittlere Sprungleistung zu Beginn des Trainings	42,6 W/kg
Sprungleistung zu Beginn des Trainings "best of"	44,0 W/kg <sup>1)</sup>
Steigerungsrate durch das Vibrationstraining	0,020 W/kg / Tag

<sup>1)</sup> Anmerkung:

In Kap. 3.2 wird auf die unterschiedlichen Verfahren zur Behandlung der Bandbreite für mehrere Sprünge eines Messvorganges hingewiesen. Zum Vergleich der gemessenen Leistungen mit den Normdaten des EFI (Verfahren: "best of") wird der Wert der Trendlinie zu Beginn des Trainings um den in Kap. 4.2 berechneten Korrektursummanden 1,4 W/kg erhöht.

## 4.2 Reproduzierbarkeit

Wie bereits in Kap. 3.2 erwähnt, ist bei den Daten für mehrere Sprünge eines Messvorganges eine nicht unerhebliche Bandbreite zu beobachten, die im Folgenden an Hand der Messungen für P1 kurz untersucht wird:

1. Ein Vergleich der Daten der beiden Messvorgänge jeweils vor und nach dem Vibrationstraining ergibt keine signifikanten Unterschiede. Hieraus folgt, dass ein Vibrationstraining die relative Sprungleistung nicht unmittelbar signifikant verändert. Die Veränderung der Sprungleistung durch Vibrationstraining erfolgt ggf. pro Trainingseinheit mit jeweils kleinen, unter der Messgenauigkeitsgrenze liegenden Steigerungsraten.
2. Die Untersuchung der Ergebnisbandbreite für die Sprünge eines Messvorganges ergibt folgendes Ergebnis:
  - Für P1 mit einer über die gesamte Trainingszeit gemittelten relativen Sprungleistung von 33,8 W/kg wurde pro Messvorgang mit mehreren Sprüngen eine mittlere Bandbreite von  $\pm 0,95$  W/kg (= 2,8%) um den jeweiligen Mittelwert des Messvorganges festgestellt.
  - Der Maximalwert pro Messvorgang ("best of") lag durchschnittlich um 1,42 W/kg (= 4,2%) über dem Mittelwert.

### **4.3 Auswirkungen von Vibrationstraining, Fahrtensegel-Törn und Null-Training auf die relative Sprungkraft**

Die Abbildungen 4.1-1 und -2 zeigen die Messwerte der beiden Probanden über der Zeitachse sowie Trendlinien der einzelnen Datengruppen:

- Die Trendlinie für das tägliche Galileo-Training ergibt für P1 eine Steigung von 0,058 W/kg/Tag, für P2 eine Steigung von 0,020 W/kg/Tag.
- Die Trendlinie für die Verringerung der Leistung von P1 während der Trainingspause ergibt einen Leistungsabfall von 0,051 W/kg/Tag.
- Die beiden Trendlinien für die Leistungssteigerung durch Training und Leistungsabfall durch Null-Training schneiden sich zum Zeitpunkt der Beendigung des Törns und dem Beginn des Null-Trainings. Dies kann dahin gehend interpretiert werden, dass nach Beendigung des 6-wöchigen Vibrationstrainings ein Training mit etwa gleicher Wirkung während des knapp 3-wöchigen Fahrtensegel-Törns erfolgte.

Damit ergeben sich folgende Hinweise auf die Auswirkungen von Vibrationstraining, Fahrtensegel-Törns und Null-Training:

- Regelmäßiges, intensives Training mit einer Vibrationsplatte vom Typ Galileo™ verbessert die relative Sprungkraft proportional zur Trainingsdauer.

(Es wird darauf hingewiesen, dass nach den vorliegenden Studien (s. Quellen) ein tägliches Vibrationstraining von 3\*2 Minuten in Relation zu anderen Versuchsanordnungen mit der Vibrationsplatte als "intensiv" eingestuft werden kann.)

- Der Trainingseffekt pro Tag ist umso größer, je geringer die Fitness des Probanden (Leistung / Norm-Leistung) zu Beginn des Trainings ist.
- Die körperlichen Bewegungen beim Fahrtensegeln haben vermutlich eine Sprungkraft-trainierende Wirkung, die einem regelmäßigen, intensiven Vibrationstraining entspricht.
- Die Daten lassen darauf schließen, dass nach Beendigung eines Trainings der beschriebenen Art bei einer Trainingspause kurzfristig ein Leistungsabfall eintritt, dessen Degressionsrate in der gleichen Größenordnung liegt, wie die Steigerungsrate durch das Training.

#### 4.4 Abschätzung der Trainingsfunktion

Auf die vorliegenden Trainingsdaten der beiden Probanden P1 und P2 lässt sich folgender Interpretationsansatz anwenden:

Für definiertes, kontinuierliches Training mit definierter, gleich bleibender Trainingsintensität wird angenommen:

- Die Leistungssteigerung pro Zeiteinheit ist umso größer, je geringer das Verhältnis Leistung/Norm-Leistung ist, die Leistungssteigerung pro Zeiteinheit sinkt mit zunehmendem Verhältnis Leistung/Norm-Leistung.
- Die Leistung steigt asymptotisch bis zu einem von diesem Training (sowie von einem alters- und geschlechtsabhängigen Normwert) abhängenden Maximalwert.

Dieser Interpretationsansatz kann in einem einfachen mathematischen Modell als lineare dynamische Differentialgleichung wie folgt beschrieben werden:

$$T \Delta P / \Delta t + P(t) = P_{\max}$$

mit:

$P(t)$ : aktuelle Leistung, abhängig von  $t$

$t$  Zeitachse

$T$ : Zeitkonstante der Funktion

$P_{\max}$  maximale Leistung der Funktion

$\Delta P / \Delta t$  Steigung der Funktion  $P(t)$  zum Zeitpunkt  $t$

ersetzt man  $P_{\max}$  durch das Produkt  $\text{Max} * P_{\text{Norm}}$

mit:

$P_{\text{Norm}}$ : alters- und geschlechtsabhängiger  
Normwert der Leistung eines Probanden

$\text{Max}$ : Faktor, um den die maximale Leistung  
vom Normwert abweicht

so ergibt sich:

$$T \Delta P / \Delta t + P(t) = \text{Max} * P_{\text{Norm}}$$

Die Werte für

$\Delta P / \Delta t$  (= Leistungssteigerung der Trendlinie pro Tag),

$P(t)$  (= mittlere Leistung während des Training) und

$P_{\text{Norm}}$  (= EFI des Probanden)

liegen für zwei Probanden vor, sodass die Parameter  $T$  und  $\text{Max}$  berechnet werden können:

$$\mathbf{T = 250 \text{ Tage}}$$

$$\mathbf{Max = 1,3}$$

$$\mathbf{P_{\max} = 1,3 * P_{\text{Norm}}}$$

Die Integration dieser Differentialgleichung ergibt die zeitabhängige Funktion:

$$\mathbf{P(t) = Max * P_{\text{Norm}} * (1 - e^{-t/T})}$$

Auf die alters- und geschlechtsabhängige Normleistung standardisiert, hat dann die Trainingsfunktion für die relative Sprungleistung die Form

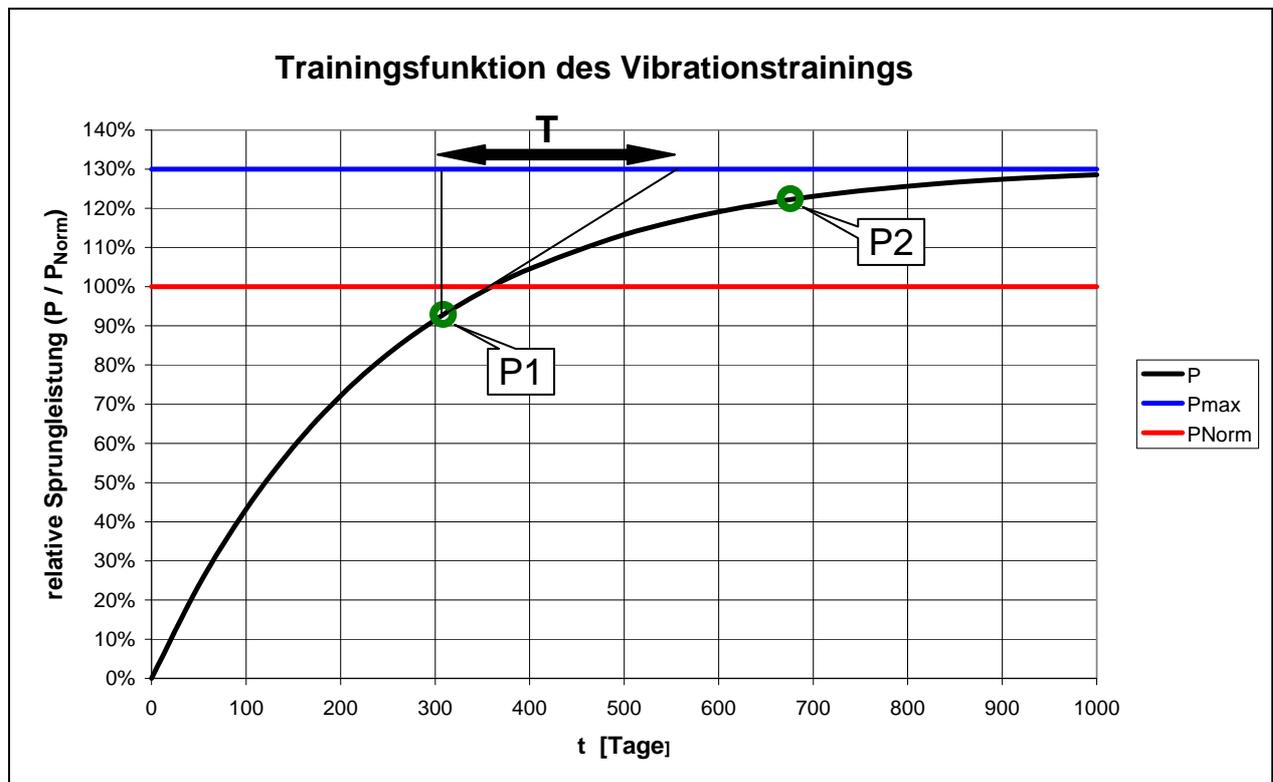
$$\mathbf{P(t) / P_{\text{Norm}} = Max * (1 - e^{-t/T})}$$

Diese Trainingsfunktion ist in der folgenden Abbildung graphisch dargestellt.

Die Zeitkonstante  $T$  in dieser Funktion hat die Eigenschaft, dass nach Ablauf der Zeit  $t = T$  (also im vorliegenden Fall nach einem Training von 250 Tagen) sich der Abstand zwischen der Leistung  $P(t)$  zu Beginn des Trainings und der maximal erreichbaren Leistung  $P_{\max}$  um 63% verringert hat und dass nach Ablauf von  $t = 3T$  (also im konkreten Fall einem Training von 750 Tagen, rund 2 Jahren) die mit diesem Training erreichbare Leistungssteigerung zu 95% erreicht wird.

D.h.: Mit einem Vibrationstraining (oder mit einem Fahrtensegel-Törn) werden Leistungsveränderungen nur relativ langsam erzielt. Bei mittlerer Fitness des Probanden liegt sie in der Größenordnung von rund 1% pro Woche.

Für signifikante Verbesserungen ist ein länger dauerndes - mindestens mehrwöchiges - Training erforderlich. Die wahrnehmbare Leistungssteigerung ist allerdings umso größer, je schwächer die Leistung des Probanden zu Beginn des Trainings ist.



**Abb. 4.4-1: Trainingsfunktion für ein Vibrationstraining der in Kap. 3.1 dargestellten Intensität**

### Beispiele

Proband P1:

Mann, 66 Jahre,

Normleistung (EFI, "best of"): 36,5 W/kg => 100 %

Startleistung ("best of"): 33,9 W/kg => 92,9 %

Proband P2:

Frau, 47 Jahre,

Normleistung (EFI, "best of"): 35,76 W/kg => 100 %

Startleistung ("best of"): 44,0 W/kg => 123,0 %

### Hinweise:

1. Die als Trainingsfunktion verwendete lineare Differentialgleichung 1. Ordnung ist ein in der Regelungstechnik und zur Beschreibung

biologischer Prozesse häufig verwendetes mathematisches Modell zur Abbildung dynamischer Vorgänge, bei denen "die Bäume nicht in den Himmel wachsen".

Sie besagt, dass Wachstumsraten nicht nur von den auslösenden Wachstumsimpulsen (z.B. der Trainingsintensität) abhängen, sondern dass deren Wirkung durch die rückgekoppelte Ausgangsvariable (z.B. den erreichten Leistungsstand) verringert wird. Sowohl die Wachstumsimpulse als auch die Rückkopplung können dabei in komplexer Weise verzögert auf die Wachstumsraten wirken.

Diese Dynamik kann bei Bedarf mit Differentialgleichungen höherer Ordnung abgebildet werden. Die dabei berücksichtigten Unterschiede zu Differentialgleichungen 1. oder 2. Ordnung betreffen in vielen Fällen nur das Zeitverhalten in der Anfangsphase des Prozesses sowie die Eigenschaften von Schwingungen während des Prozesses.

Es hat sich bei der Beschreibung komplex rückgekoppelter Systeme in vielen Fällen bewährt, als brauchbare Näherung des Zeitverhaltens von Differentialgleichungen höherer Ordnung für den Zeitbereich  $t > T$  Differentialgleichungen 1. Ordnung (wie für die Trainingsfunktion) zu verwenden (s. hierzu u.a. Leonhard 1969 und Mell 1976).

Als Alternative zu Trendfunktionen zur Beschreibung zeitlicher Abläufe sollte bei der Modellierung natürlicher Prozesse berücksichtigt werden, dass einerseits Vorgänge mit einer impliziten Begrenzung von Wachstum immer einen internen Rückkopplungsmechanismus besitzen, und dass andererseits rückgekoppelte Systeme sich in den meisten Fällen in guter Näherung und erklärungsrelevanter durch Differentialgleichungen geringer Ordnung modellieren lassen.

2. Eine nützliche Eigenschaft der Beschreibung von Trainingsfunktionen mit Hilfe einer einfachen Differentialgleichung besteht darin, dass die Dynamik des Trainingsprozesses durch nur drei Parameter beschrieben (und prognostiziert) werden kann:
  - Der Normwert beschreibt den alters- und geschlechtsabhängigen "Mittelwert" z.B. einer speziellen Leistungsfähigkeit einer Population.
  - Der Maximalwert beschreibt den Grenzwert, der durch ein definiertes Training erreicht werden kann.

- Die Zeitkonstante definiert zusammen mit dem Maximalwert die zeitliche Veränderungsrate durch das Training, abhängig vom aktuellen Leistungsstand.

Zur quantitativen Abschätzung des Maximalwertes und der Zeitkonstante eines Trainingsdesigns sind neben den Normwerten nur zwei vergleichbare Trainingszeitreihen von Probanden mit möglichst unterschiedlichen Werten der Anfangsfitness erforderlich.

## 4.5 Mögliche Störgrößen und Messprobleme

Die in dieser Studie vorgetragenen Messwerte enthalten eine Reihe von Unsicherheiten und möglichen Störgrößen, deren Wirkungen im Einzelnen nicht kontrolliert wurden und die bei zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden sollten:

- **Trainingseffekte der zur Messung der Sprungleistung mehrfach durchgeführten Sprünge:**

Es ist sehr wahrscheinlich, dass die tägliche Durchführung mehrerer S2LJ-Sprünge ("so hoch wie möglich") einen eigenen physiologischen Trainingseffekt besitzt. Allerdings wird diese Störgröße in Relation zu der Trainingswirkung des Vibrationstrainings als relativ untergeordnet eingeschätzt, da Messungen durch Sprünge auch in der Null-Trainingsphase durchgeführt wurden und dabei eine Leistungsabnahme in der zu erwartenden Größenordnung festgestellt wurde. Dieser Effekt muss allerdings im Hinblick auf die unten diskutierte mögliche Temperaturabhängigkeit der gemessenen Leistungen noch überprüft werden.

- **Verzögerte Trainingswirkung des Vibrationstrainings:**

Dieser Effekt könnte bewirkt haben, dass während des Fahrtensegel-Törns nicht ein eigenständiges Training, sondern die verzögerte Wirkung des Vibrationstrainings beobachtet wurde.

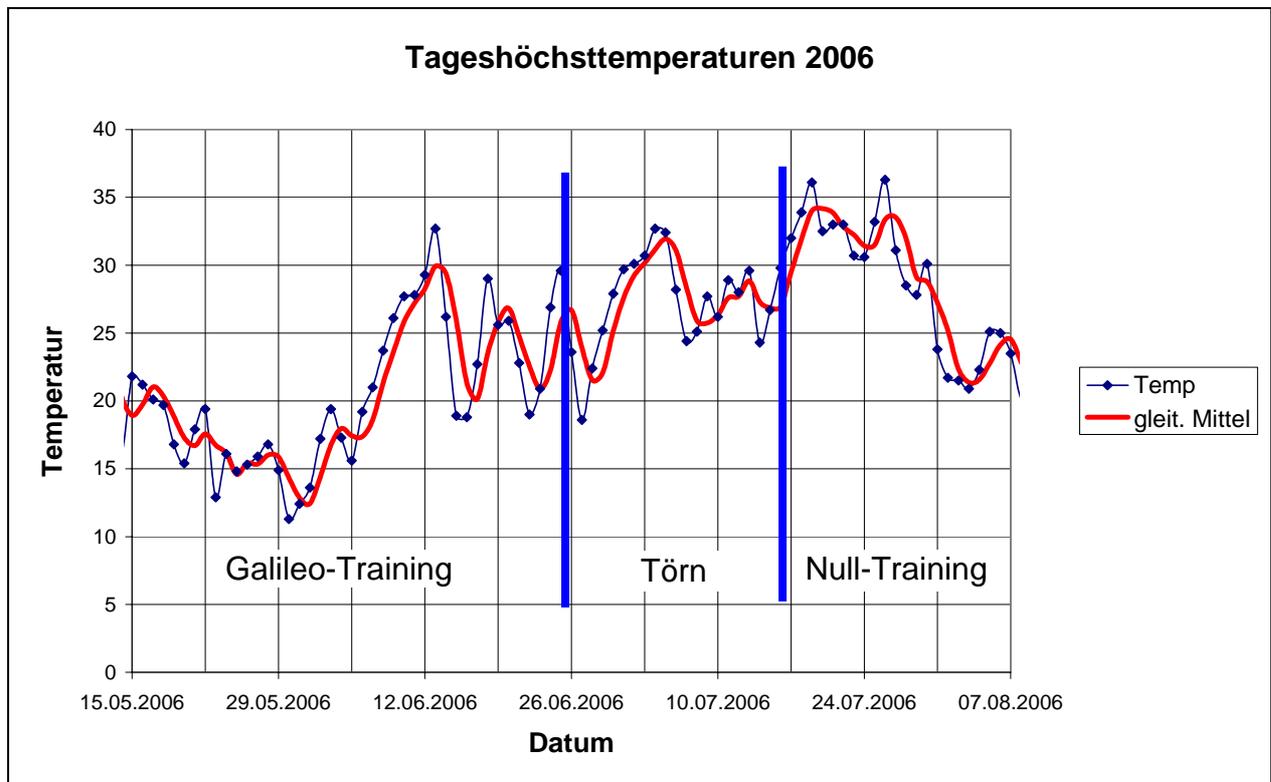
Gegen diese Vermutung spricht die Beobachtung, dass unmittelbar mit Beginn des Detrainings auch der erwartete Leistungsrückgang beobachtet wurde.

Klarheit könnte hier nur ein Design mit einer Kontrollgruppe schaffen.

- **Tagestemperatur:**

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Tageshöchsttemperaturen (für Düsseldorf, Quelle: DWD) während des Studienverlaufes. Die rote Kurve beschreibt den gleitenden Mittelwert über 3 Tage, d.h. den Mittelwert der Höchsttemperaturen "heute",

"gestern" und "vorgestern" als Index des physiologisch wahrgenommenen aktuellen Klimas.



**Abb. 4.5-1: Tageshöchsttemperaturen während der Studie**

Die Temperaturkurven zeigen, dass mit Beginn der Null-Trainings-Phase die Tageshöchsttemperaturen sprunghaft von im Mittel 27 °C für knapp zwei Wochen auf Werte um 35 °C anstiegen.

Es ist sportmedizinisch bekannt, dass bei hohen Außentemperaturen mit abnehmender Differenz zwischen Körper- und Umgebungstemperatur die Ableitung der im Körper bei der Energieerzeugung entstehenden Wärme behindert wird und die Leistungsfähigkeit des Körpers sinkt (s. Quellen).

Diese Leistungsminderung basiert vermutlich auf einer aus thermodynamischen Gründen verringerten Energieversorgung bei unverändertem Trainingszustand der Muskulatur und sollte nach einem dauerhaften Absinken der Umgebungstemperatur und einer mehrtägigen Anpassungszeit wieder verschwinden.

Aus diesem Ansatz ergibt sich die Frage, ob die nach dem Törn gemessene Leistungsfähigkeit des Probanden P1 (und damit die Trainingswirkung des Fahrtensegel-Törns) durch die Hitzewelle beeinträchtigt war, ob "bei Normaltemperatur" nicht ggf. deutlich höhere

Werte zu erwarten gewesen wären, und ob diese "temperaturbedingte Leistungsminderung" quantitativ bestimmt werden kann.

Ein Hinweis auf die Größenordnung dieser "temperaturbedingten Leistungsminderung" liefern die Daten in Abbildung 4.1-1, die zwischen den Messungen unmittelbar nach Ende des Törns (Datum: 17.7.2006) und den folgenden Messungen am Ende der Woche nach Einsetzen der Hitzewelle einen Leistungsabfall von 2-3 W/kg nahelegen.

- **Bandbreite der Messtechnik beim S2LJ**

Wie in Kap. 4.2. dargestellt, muss bei Leistungsmessungen mit der Sprungmessplatte eine Messungenauigkeit von rund  $\pm 1$  W/kg (rund 3% des Messwertes) und eine "best of"-Abweichung von bis zu 1,5 W/kg (rund 5% des Messwertes) berücksichtigt werden. Diese Bandbreite beruht nicht auf den technischen Eigenschaften des Systems, sondern auf den individuellen Abweichungen z.B. in der Sprungtechnik, der Tagesform oder der Motivation des Probanden bei den einzelnen Sprüngen.

Rechnet man (wie z.B. für Proband P1) mit einer Leistungsveränderung durch Training von rund 0,05 W/kg/Tag, dann wäre bei Einzelmessungen (z.B. nur vor und nach dem Trainingszeitraum) eine Veränderung verlässlich erst nach 20-30 Tagen zu erkennen.

Dieses messtechnische Problem kann u.a. durch statistische Verfahren, z.B. Mittelwerte oder "best of" über mehrere aufeinander folgende Sprünge, oder Trendlinien für zeitlich auseinander liegende Messungen angegangen werden, muss aber in jedem Fall bei Untersuchungen mit der Sprungmessplatte beachtet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die oben diskutierte vermutete Abhängigkeit der Leistung vom Tagesklima bei starken Temperaturunterschieden zwischen den einzelnen Messungen ebenfalls in der Größenordnung 2-3 W/kg liegen könnte.

- **Boot, Törn und Revier**

Das Fahren auf einem Fahrtensegelboot in einer verantwortlichen, mitarbeitenden Rolle bewirkt durch die Tätigkeitsanforderungen umfangreiche körperliche Bewegung an Bord. Die Art und die Häufigkeitsverteilung dieser Bewegungen und deren Relevanz als Trainingsimpulse muss noch sportmedizinisch evaluiert werden.

Es liegt auf der Hand, dass die Häufigkeit und die Intensität der individuellen körperlichen Anstrengungen während eines Törns von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, u.a.

- Größe und Bauart des Bootes  
(z.B. die Krängungsstabilität, die Länge der Wege, die Positionen und Bedienungshaltungen von Winschen, Klampen oder Schalthebeln, die Zugänglichkeit der Stauräume, die Bedienbarkeit der Pantry etc.),
- Führung der Leinen, Fallen und Schoten und die tatsächlichen Zugkräfte zu deren Bedienung,
- Rolle des Probanden an Bord  
(Skipper, Vorschiff / Schoten, Gast),
- Länge und Schwierigkeitsgrad der Etappen  
(ruhige Schläge für einige Stunden von Hafen zu Hafen oder mehrtägiger Ritt über offenes Wasser),
- Wetterbedingungen, unter denen die einzelnen Etappen bewältigt werden,
- Art und Anforderungen des Reviers  
(ruhiges Binnenrevier oder offenes Wasser mit richtigem Seegang).

Unter diesem Gesichtspunkt war der Test-Törn auf einem relativ kleinen Boot eine seglerisch ruhige Angelegenheit mit meist kurzen Etappen auf ruhigem Wasser bei wenig bis mäßigem Wind, allerdings für den Probanden als Skipper immer im Bewusstsein der Verantwortung und auf dem Sprung, Leinen zu trimmen, Ausrüstungsteile zurück an "ihren" Platz zu bringen, auf dem Wasser den Kurs oder im Hafen die Festmacher zu überprüfen usw.. Subjektiv bewirkte der Törn eine erheblich höhere Bewegungsintensität als im Alltag.

Für zukünftige Untersuchungen dieses Aspektes wird empfohlen, mit Hilfe spezieller Logbücher und Fragebögen die täglichen Parameter von Probanden an Bord zu erfassen und zu versuchen, durch Korrelationen Hinweise auf Wirkungszusammenhänge zu ermitteln (s. dazu IBoAT-Report 3.3).

## 5 Interpretation und Folgerungen

Bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse soll nicht übersehen werden, dass es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine Einzelfallstudie handelt, die zunächst nur Hinweise auf Zusammenhänge und ggf. auf methodische Probleme geben kann.

1. Die beiden Kernthesen dieser Untersuchung besagten (s. Kap. 2.4), dass sowohl ein Galileo-Vibrationstraining als auch ein mehrwöchiger Fahrtensegeltörn messbare Verbesserungen der Sprungleistung des Probanden bewirken. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen:

- Die von einer Sprungmessplatte gemessene Sprungleistung "so hoch wie möglich" registriert eine komplexe Kombination von Muskelleistung, überwiegend der Beinmuskulatur, und sensomotorischer Koordination zur explosiven Aktivierung des Sprungapparates.
- Durch ein Vibrationstraining wird entsprechend der Wirkungstheorie der Vibrationsplatte (s. Kap. 2.1) vorrangig die Muskulatur gekräftigt und trainiert. In einigen Studien (s. Quellen) wurde hierbei eine Vergrößerung des Muskelumfangs beobachtet.  
Ein spezieller Reiz des Vibrationstrainings liegt in dem vergleichsweise geringen Zeitaufwand für das Training, dem eher passiven Trainingsdesign ohne aktive körperliche Anstrengung und der daraus resultierenden einfacheren Motivierbarkeit insbesondere trainingsunerfahrener Probanden.
- Die Bewegungsabläufe an Bord haben mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht nur trainierende Wirkungen auf die Muskulatur sondern in erheblichem Umfang auch Trainingseffekte auf die Sensomotorik nicht nur der Sprungkraft sondern auch der allgemeinen Koordination und der Stabilisierung des Gleichgewichtes.  
In einschlägigen Studien (s. Quellen) wird darauf hingewiesen, dass die gemessene Sprungkraft ein guter Prädiktor z.B. für die Wahrscheinlichkeit von Stürzen als Folge unzureichender Stabilität des Gleichgewichtes sei.

Die Thesen werden durch die Daten und ihre Auswertungen bestätigt:

- Ein mehrwöchiges intensives Vibrationstraining verbessert signifikant die Sprungleistung der Probanden (womit die Ergebnisse früherer Studien anderer Autoren bestätigt werden). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass dieses Training aus den oben genannten Gründen nur beschränkt

vergleichbar mit den Trainingseffekten "echter" Bewegungen z.B. an Bord eines Fahrtenseglers ist.

- Ein Fahrtensegel-Törn in einer aktiven Rolle hat sehr wahrscheinlich eine mindestens ebenso intensiv trainierende Wirkung auf die Sprungleistung, wie ein Vibrationstraining.  
Es besteht die Vermutung, dass bei Berücksichtigung klimatischer Einflüsse auf die Messergebnisse die tatsächliche Leistungsverbesserung durch die Bewegung an Bord die Steigerungsrate durch das Vibrationstraining sogar deutlich übersteigt.  
Es kann aus den Daten allerdings nicht geklärt werden, zu welchen Anteilen diese Wirkung auf einer Leistungsverbesserung der Muskulatur oder der Sensomotorik beruht.

Die gemessenen Steigerungsraten sind zwar relativ gering und erschließen sich erst durch eine Trendanalyse, sie sind aber in Relation zu den altersabhängigen Normwerten durchaus beachtlich:

- Für den 66-jährigen Probanden P1 mit einer in der Nähe seines Normwertes liegenden Fitness wurde durch das Vibrationstraining eine täglich Verbesserung von 0,058 W/kg festgestellt, das sind rund 0,4 W/kg pro Woche, bezogen auf die Ausgangsleistung rund 1% pro Woche.
- Die zugehörigen Normdaten des EFI weisen einen altersabhängigen Leistungsrückgang von rund 0,6 W/kg pro Lebensjahr aus.
- Als bildhafter Vergleich:  
Ein dreiwöchiger Fahrtensegeltörn macht den Probanden in seiner Sprungleistung um rund 3% fitter und mindestens um zwei Jahre jünger.

Dies sollte in zukünftigen Studien überprüft und weiter untersucht werden.

2. Die Messergebnisse lassen sich sehr gut in einem einheitlichen Modell mit einer Differentialgleichung 1. Ordnung als dynamische Trainingsfunktion interpretieren.

Dieses Modell beschreibt einerseits den oberen Grenzwert, der mit einem definierten Training erreicht werden kann. Dieser Maximalwert gibt u.a. auch Hinweise auf den zweckmäßigen Anwendungsbereich eines Trainingsdesigns.

Im vorliegenden Fall weist für das Vibrationstraining und das Fahrtensegeln ein Grenzwert von ca. 30% über dem Normwert darauf hin,

- dass Vibrationstraining seine muskulatur-stimulierende Wirkung vorwiegend bei Personen mit einer eher unterdurchschnittlichen

körperlichen Fitness entfalten wird und dass Anwendungen im Leistungssport voraussichtlich zu enttäuschenden Ergebnissen führen werden.

- Ähnliches gilt für die Prognose der körperlichen Trainingswirkung von Fahrtensegel-Törns: Signifikante Verbesserungen der Leistungsfähigkeit durch einem Törn werden eher bei untrainierten Seglern zu beobachten sein, während bei körperlich fitten Seglern die Bewegungen an Bord eher der Erhaltung als der zusätzlichen Förderung ihrer Leistungsfähigkeit dienen werden.

Das Modell beschreibt andererseits die Geschwindigkeit der Veränderungen durch Training, die im vorliegenden Fall mit einer Zeitkonstante von 250 Tagen relativ langsam ist. D.h., dass Trainingserfolge messtechnisch erst nach mehreren Wochen Training signifikant erkennbar sein werden. Hierbei prognostiziert die Trainingsfunktion, dass für Probanden mit geringerer Fitness Leistungsverbesserungen sowohl früher als auch mit höherer Steigerungsraten zu erwarten sind.

3. Ein wichtiges Problem ist die relativ hohe Ungenauigkeit der Messungen mit Abweichungen von bis zu 1,5 W/kg innerhalb eines Messvorganges von mehreren Sprüngen im Vergleich zu trainingsbedigten Leistungsveränderungen von rund 0,4 W/kg pro Woche.

(Es wird noch einmal darauf hingewiesen, dass die Messungenauigkeiten nicht auf die Technik der Messplatte, sondern auf die individuelle Varianz bei der Reproduktion "gleicher" Bewegungsabläufe zurückzuführen ist.)

Hinzu kommen vermutete Einflüsse der aktuellen Tagestemperatur auf die gemessenen Leistungen, deren Größenordnung z.B. für einen Temperaturanstieg von 27°C auf 35°C im Bereich von 2-3 W/kg liegen könnte.

Diese Messprobleme für kleine individuelle physiologische Veränderungen u.a. bei der Überprüfung von Trainingswirkungen müssen bei weiteren Studien aufgefangen werden:

- Einerseits durch eine geeignete Messtechnik, ein geeignetes Studien- und Auswertungsdesign und / oder durch statistische Verfahren,
- andererseits durch die Kontrolle externer Parameter und Störgrößen, wobei z.B. das Phänomen der in der Sportmedizin seit langem bekannten Leistungsreduktion bei starkem Anstieg der Außentemperaturen für die verschiedenen Messverfahren (und unter besonderer Berücksichtigung der physiologischen Eigenschaften älterer Menschen) soweit möglich auch korrelativ untersucht und quantitativ berücksichtigt werden sollte.

4. Zu einer Bestätigung der These 3 (s. Kap. 2.4) über die Größe der Degression der Sprungleistung während einer längeren Phase des Null-Trainings reichen die erhobenen Daten nicht aus:

Zwar zeigt die Trendlinie der Messwerte auf den ersten Blick eine deutliche Leistungsabnahme während des Null-Trainings in der Größenordnung der Steigerung während des aktiven Trainings, die Zusammenschau dieser Daten mit den Klimawerten des gleichen Zeitraumes lässt aber offen, ob und in welchem Umfang es sich hierbei um eine echte, dauerhafte Leistungsverringerung handelt, oder ob dieser Vorgang durch einen vorübergehenden Leistungsrückgang auf Grund hoher Umgebungstemperaturen überlagert wird.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Fit & Sail" zur Untersuchung der körperlichen und mentalen Leistungen und Belastungen älterer Segler auf Fahrtensegelbooten in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Wassersportwirtschaft e.V. in Köln und dem Institut für Sport und Sportwissenschaften der Universität Kiel wurde in einer Pilotstudie untersucht, ob und wie ein 3-wöchiger Fahrtensegeltörn im Vergleich zu einem 6-wöchigen muskelanregenden Vibrationstraining auf einer Galileo™-Vibrationsplatte die körperliche Leistungsfähigkeit (gemessen als Sprungkraft auf einer Leonardo™-Sprungmessplatte) verändert.

Die Ergebnisse waren signifikant:

- Ein mehrwöchiges intensives Vibrationstraining verbesserte die Sprungleistung eines Probanden mit mittlerer Fitness um rund 1% pro Woche.
- Der 3-wöchige Fahrtensegeltörn hatte auf die Sprungleistung des Probanden eine mindestens ebenso intensiv trainierende Wirkung, wie das Vibrationstraining.

Aus den gemessenen Zeitreihen der Leistungsdaten der Probanden lässt sich eine Trainingsfunktion auf der Basis einer Differentialgleichung 1. Ordnung mit folgenden Parametern ableiten:

- Die maximale Trainingswirkung des in dieser Studie durchgeführten Trainingsdesign liegt bei rund 130% der als Normwert verwendeten mittleren alters- und geschlechtsabhängigen Sprungleistung "gesund gealterter" Personen des "Esslinger Fitness Index" von Runge et al.
- Die Zeitkonstante dieses Trainings liegt bei ca. 250 Tagen, was besagt, dass mit einem kontinuierlichen Training dieser Art pro Woche eine Leistungssteigerung von rund 3% der Differenz zwischen aktueller Leistung und maximaler Trainingswirkung erreicht werden kann.
- Aus diesem Trainingsmodell folgt auch, dass Training und Fahrtensegeln bei Personen mit geringerer Fitness schneller und wirkungsvoller zu Verbesserungen der Leistungsfähigkeit führen, als bei Personen mit bereits hoher Fitness.

Die Studie diskutiert ergänzend einige Probleme bei der Messtechnik und der Beurteilung von "Störgrößen", die bei weiterführenden Untersuchungen berücksichtigt werden sollten:

- Die Mess-Ungenauigkeit für Sprungleistungen mit einer Sprungmessplatte liegt wegen der individuellen Varianz bei der Reproduktion von Sprüngen mit etwa 3-5% deutlich über der täglich oder wöchentlich zu erwartenden Leistungsverbesserung. Dieses Problem kann durch Mehrfachmessungen und geeignete statistische Verfahren aufgefangen werden.
- Es gibt Hinweise darauf, dass auch in dieser Studie die registrierten Leistungen nicht nur von der antrainierten Leistungsfähigkeit, sondern nicht unerheblich auch von den aktuellen Tagestemperaturen abhängen. Eine Hitzewelle mit einem Anstieg der Mittagstemperaturen von 27°C auf bis zu 35°C könnte z.B. nach unseren Daten eine Verringerung der Leistungsfähigkeit des Probanden um bis zu 10% zur Folge gehabt haben. Ein solcher Effekt würde die messtechnische Kontrolle individueller Trainingswirkungen erheblich beeinflussen und sollte quantitativ überprüft werden.
- Selbstverständlich haben auch die konstruktiven Eigenschaften des Bootes, die Aufgaben des Probanden an Bord, das Revier, das Wetter und der Törnverlauf einen maßgeblichen Einfluss auf die Bewegungsintensität während eines Törns und damit auf mögliche Trainingswirkungen. Diese Parameter wurden bei der vorliegenden Studie noch nicht berücksichtigt, sie lassen sich aber bei Bedarf aus Logbüchern und Fragebögen erfassen und mit den Messergebnissen korrelieren.

Zusammengefasst: Die vorliegende Pilotstudie bestätigt, dass aktives Fahrtensegeln und intensives muskelanregendes Vibrationstraining signifikante positive Auswirkungen auf die Sprungkraft und damit auf die körperliche Leistungsfähigkeit insbesondere wenig trainierter älterer Menschen haben. Die in Relation zur verfügbaren Messtechnik relativ kleinen Steigerungsraten setzen allerdings für deutliche Ergebnisse länger dauernde mehrwöchige "Trainingseinheiten" voraus.

## 7 Quellen

### Literatur und Printmedien:

Berschin, G., Behrens, A., Sommer, H.M., Zum Einsatz von Vibrationskrafttraining in der Rehabilitation nach VBK-Rekonstruktion, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005 59: Poster 319

Bös, K. (Hg.), Handbuch Motorische Tests, Göttingen-Bern-Toronto-Seattle (2001)

Bosco, C., Cardinale, M., Colli, R., Tihanyi, J., Duvillard, S.P. von, Viru, A., The Influence of Whole-Body Vibration on the Mechanical Behaviour of Skeletal Muscle, Clinical Physiology 19: (1999) 183 - 187

Cochrane, D.J., Stannard, S.R., Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players, Br J Sports med (2005) 39: 860 - 865

Conzelmann, A., Entwicklung konditioneller Fähigkeiten im Erwachsenenalter, Schondorf (1997)

Eberspächer, H. (Hg.), Handlexikon Sportwissenschaft (1992)

Harthard, M., Kleinmond, C., Lammel, C., Schießl, H., Jeschke, D., Recovery Effects of GALILEO 2000, "International Course on Osteoporosis, Vienna, June 2-5, 1999"

Heitkamp, C.H., Möst, M., Furian, T., Maiwald, C., Horstmann, T., Laktatverhalten bei einem Training der laufspezifischen Muskulatur auf einer schwingenden Plattform, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2005 59: Poster 239

Hollmann, W., Hettinger, T.: Sportmedizin-Arbeits-und Trainingsgrundlagen, 2. Aufl. Schattauer, Stuttgart - New York (1980)

Holstermann, U., Fit & Sail - Wassersport auch mit über 60?, in Skipper 2/2007

Hütte I Des Ingenieurs Taschenbuch (1955)

Immich, H., Medizinische Statistik, Stuttgart-New York (1974)

Iwamoto, J., Takeda, T., Sato, Y., Uzawa, M., Effect of whole body vibration exercise on bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate, Aging Clin Exp Res (2005) 17: 157 - 163

Leonardo Mechanography Grund Reaktion Force Platform, Handbuch, Novotec Medical GmbH (2006)

Leonhard, W., Einführung in die Regelungstechnik, Braunschweig Frankfurt (1969)

Mechling, H., Munzert, J.: Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre, Schorndorf (2003)

Mell, W.-D., Ein Beitrag zur Analyse von Konfliktstrategien, in Angermann, A. (Hg.), Beiträge zur Datenverarbeitung und Unternehmensforschung, Meisenheim am Glan (1976)

- Mell, W.-D., Senioresegeln - Studie: Langzeitmessung Herz-Kreislaufbelastung Fahrtsegeln und Alltagsaktivitäten, IBoaT-Report 3.1, Bonn (2005)
- Mell, W.-D., Untersuchung Senioresegeln, in *Wassersportwirtschaft* 4/2005
- Meusel, H., Alterssport, in Eberspächer, H. (Hg.), *Handlexikon Sportwissenschaft* (1992)
- Müller, M., Den Leuten den Stress nehmen, in *Yacht* 21/2006
- Müller, M., Gesünder segeln, in *Yacht* 5/2006
- Müncheberg, M.J., Länger segeln im Alter, *Die Welt* 6.1.2007
- Nes, I.J.W. van, Geurts, A.C.H., Hendricks, H.A.T., Duysens, J., Short Term Effects of Whole Body Vibration on Postural Control in Unilateral Chronic Stroke Patients, *Am J Phys Med Rehab* 83: (2004) 867-873
- Nöcker, J., Die biologischen Grundlagen der Leistungssteigerung durch Training, *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport* (1989).
- Nowacki, P. E., sportmedizinische Leistungsdiagnostik, in Eberspächer, H. (Hg.), *Handlexikon Sportwissenschaft* (1992)
- Riekert, H., Ermüdung, in Eberspächer, H. (Hg.), *Handlexikon Sportwissenschaft* (1992)
- Riekert, H., Siewers, M., Sportmedizinische Aspekte beim Segeln, *Deutsches Ärzteblatt Jg. 96 Heft 9* (1999)
- Riekert, H., Sportmedizin und Umgebungsbedingungen, in Eberspächer, H. (Hg.), *Handlexikon Sportwissenschaft* (1992)
- Rittweger, J., G. Beller, D. Felsenberg, Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man, *Clinical Physiology* 20 : (2000) 234 - 142
- Rittweger, J., H. Schießl, D. Felsenberg, M. Runge, Reproducibility of the Jumping Mechanography As a Test of Mechanical Power Output in Physically Competent Adult and Elderly Subjects, *JAGS* 52 128-131 (2004)
- Rittweger, J., H. Schießl, D. Felsenberg, Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement, *Europ J Appl Physiol* (2001)
- Rittweger, J., J. Ehrig, K. Just, M. Mutschelknauss, KA. Kirsch, D. Felsenberg, Oxygen uptake in Whole-Body Vibration Exercise: Influence of vibration Frequency, Amplitude and External Load, *Int.J Sports Med* 23: (2002) 428 - 432
- Rittweger, J., Mutschelknauss, M., Felsenberg, D., Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise, *Clin Physiol & Func Im* (2003) 23: 81 - 86
- Röbler, O., Marsch, S., Abendroth, K., Meuser, K., Hübscher, J., Wirkung mechanischer Stimuli mittels oszillierender Interventionen durch GALILEO 2000 auf Muskelkraft und Knochendichte, *Osteologie Jena* 1999

- Runge, M., Die Muskeln als Determinate des erfolgreichen Alterns, MedReport 13: (2003) 12 - 13
- Runge, M., Rehfeld, G., Resnicek, E., Balance Training and Exercise in Geriatric Patients, "J Musculoskel Neuron Interact 2000, 1 54 - 58"
- Runge, M., Rittweger, J., Russo, C.R., Schießl, H., Felsenberg, D., Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance ? A comparison of muscle cross section, chair rising test and jumping power, Clin Physiol Funct Imaging (2004) 24: 335 - 340
- Runge, M., Schießl, H., Rittweger, J., Klinische Diagnostik des Regelkreises Muskel-Knochen am Unterschenkel, Osteologie 11: (2002) 25 - 37
- Runge, M., Wenn Hochbetagete aus dem Leben fallen, Der Allgemeinarzt 4: (2000) 286 - 292
- Russo, C.R., Lauretani, F., Bandinelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Ferrucci, L., High-Frequency Vibration Training Increases Muscle Power in Postmenopausal Women, Arch Phys Med Rehabil 84: (2003) 1854 - 1857
- S. Torvinen, P. Kannus, H. Sievänen, T.A.H. Järvinen, M. Pasanen, S Kontulainen, T.L N. Järvinen, M Järvinen P Oja, I Vuori, Effect of a 4-month Vertical Whole-Body Vibration on Performance and Balance, Medicine & Science in Sports and Exercise (2002) 34: 1523 - 1528
- Schlitter, M., Hartard, M., Häring, S., Bartenstein, P., Schießl, H., Jeschke, D., Langzeiteffekte des GALILEO 2000, "International Course on Osteoporosis, Vienna, June 2-5, 1999"
- Siewers, M., Riekert, H., Sportmedizinische Aspekte beim Windsurfen, Deutsches Ärzteblatt Jg. 98 Heft 1-2 (2001)
- Spitzenpfeil, P., Schwarzer, J., Fiala, M., Mester, J., Strength Training with Whole-Body Vibrations - Single Case Studies and Time Series Analyses, 4th Annual Congress of the European College of Sport Science, Rome (1999)
- Tracht, J., Forschungsprojekt Fit & Sail, in Wassersportwirtschaft 2/2006
- Wasserman, K, Whipp, BJ, Koysl, SN, Beaver, WL: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 35 (1973) 236-243.
- Weisser, B. Hochdruck und Sport: Was müssen ältere Menschen dabei beachten? *Druckpunkt, 1*, 30-32. (2001)
- Weisser, B., Mechling, H. Sportmedizinische Aspekte des Alterssports. *Motorik*, 25 (3), 93-102. (2002).
- Weisser, B., Moderate Segeltouren sind für Hypertoniker kein Problem, in Corifeo Newsletter 3/05 (2005)
- Weisser, B.. Sport senkt den Blutdruck – auch bei Senioren. *Münchener Medizinische Wochenschrift*, 143, 882. (2001)

**Internet:**

[www.bwvs.de/index.1024.1.html](http://www.bwvs.de/index.1024.1.html)

[www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe\\_tageswerte.htm](http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe_tageswerte.htm)

[www.galileo-training.com/leonardo\\_mechanography.php](http://www.galileo-training.com/leonardo_mechanography.php)

[www.galileo-training.com/literatur.php?t=-1](http://www.galileo-training.com/literatur.php?t=-1)

[www.galileo-training.com/vibrationstraining.php](http://www.galileo-training.com/vibrationstraining.php)

[www.iboat.de/iboat/index.html#Fit&Sail](http://www.iboat.de/iboat/index.html#Fit&Sail)

[www.sport-training.de/pdf/skript-gesundheitssport.pdf](http://www.sport-training.de/pdf/skript-gesundheitssport.pdf)

[www.swissolympic.ch/PortalData/31/Resources//dokumente/spitzensport/sportwissenschaft/downloads/Heat\\_and\\_Exercise\\_d.pdf](http://www.swissolympic.ch/PortalData/31/Resources//dokumente/spitzensport/sportwissenschaft/downloads/Heat_and_Exercise_d.pdf)

[www.uni-kiel.de/sportalt/psych/abschiedsvorlesung.pdf](http://www.uni-kiel.de/sportalt/psych/abschiedsvorlesung.pdf)

## 8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb. 3.2-1:	Relative Sprungleistung, abhängig von Geschlecht und Alter .....	13
Abb. 3.3-1:	Fahrtensegel-Törn Teil 1 .....	15
Abb. 3.3-2:	Fahrtensegel-Törn Teil 2 .....	16
Abb. 4.1-1:	Proband 1: Veränderung der relativen Sprungleistung durch Vibrationstraining, einen Segeltörn und Null-Training.....	18
Abb. 4.1-2:	Proband 2: Veränderung der relativen Sprungleistung durch Vibrationstraining .....	19
Abb. 4.4-1:	Trainingsfunktion für ein Vibrationstraining der in Kap. 3.1 dargestellten Intensität.....	23
Abb. 4.5-1:	Tageshöchsttemperaturen während der Studie .....	26

## 9 Haftungsausschluss und Kontakt

Irren ist menschlich, daher muss folgendes gesagt werden:

Die in diesem Arbeitsbericht dargestellten Daten und Informationen wurden mit größter Sorgfalt erhoben, analysiert und ausgewertet. Dennoch ist es möglich, dass bei den Recherchen, Interpretationen oder beim Schreiben Fehler gemacht worden sind.

Der Autor übernimmt die volle inhaltliche Verantwortung für diese Untersuchung, muss aber jeden Haftungsanspruch aus Schäden, die möglicherweise durch die Verwendung der Informationen aus dieser Studie entstehen, ablehnen.

Bei Hinweisen und Fragen zum Inhalt dieser Untersuchung bitten wir um formlose Kontaktaufnahme (Adresse siehe Impressum Seite 2).