

JOANNEUM



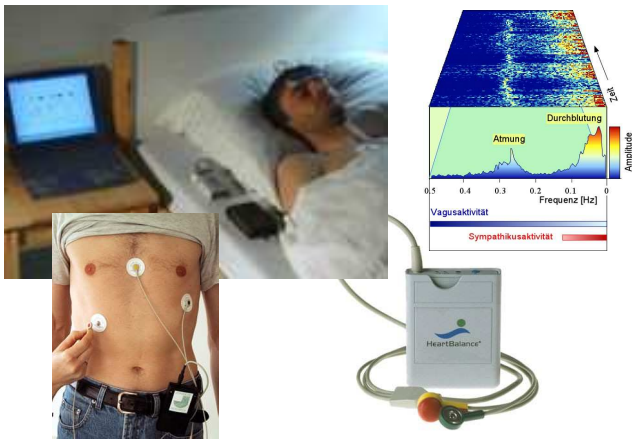
RESEARCH

**Evaluation der Auswirkungen eines  
Arvenholzumfeldes auf Kreislauf,  
Schlaf, Befinden und vegetative  
Regulation**

# Auswirkungen von Arvenholz als Einrichtungsmaterial auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation

Die positiven Eigenschaften des Holzes der "Königin der Alpen" (Arvelkiefer oder Arve; lat.: *pinus cembra*) werden seit Jahrhunderten geschätzt und genutzt. Erstmals wurde dieses Erfahrungswissen einer empirisch wissenschaftlichen Analyse unterzogen.

Wissenschaftler der Forschungsgesellschaft mbH JOANNEUM RESEARCH (Institut für Nichtinvasive Diagnostik [IND], Weiz) evaluieren im Auftrag eines interregionalen Forschungsprogramms in einer Blindstudie die Auswirkungen von Arvenholz auf Belastungs- und Erholungsfähigkeit an 30 gesunden Erwachsenen.



HeartMan - Einkanaliger, hochauflösender EKG-Rekorder.

## Institut und Methoden

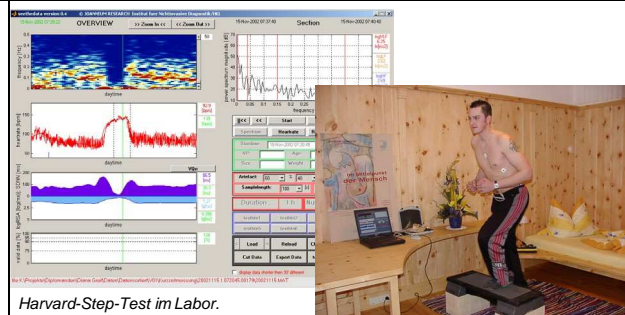
Die Umsetzung modernster Sensortechnologien und Auswertungsmethoden des IND erschließt neue Möglichkeiten in der Messung von Stress und Erholung im normalen Tagesablauf, ob am Arbeitsplatz, in der Freizeit oder während des Schlafs.

Das am Institut angewandte und laufend weiterentwickelte Messmethodenrepertoire ermöglicht es unter anderem, das autonome Nervensystem sowie Funktionen des Stammhirns nichtinvasiv zu beobachten.

Die Herzfrequenz ist die wichtigste Stellgröße eines komplexen Regelnetzwerkes, an dem Herz, Kreislauf, Atmung, Temperatur, Stoffwechsel und psychomentele Einflüsse beteiligt sind. Dies verleiht der Herzfrequenz ihre typische zeitliche Struktur, die als Herzfrequenzvariabilität messbar wird.

## Versuchsablauf

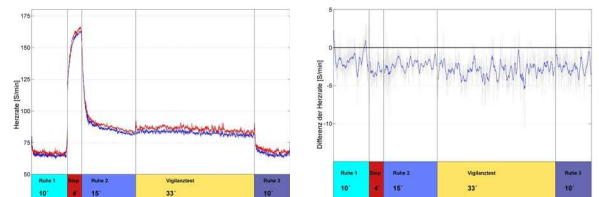
Ein balanciertes, gekreuztes Messwiederholungsdesign wurde in psychischen und physischen Belastungssituationen im Labor und über 24 Stunden in Alltagssituationen der Versuchspersonen durchgeführt. Mit Hilfe hochauflösender EKG-Rekorder wurde die Herzfrequenz und ihre Variabilität, vegetative Parameter und die biologische Rhythmik der Erholung untersucht. Psychometrische Methoden wurden zur Messung der Befindlichkeit, Vigilanz und subjektiven Schlafqualität eingesetzt.



Harvard-Step-Test im Labor.

## Ergebnisse

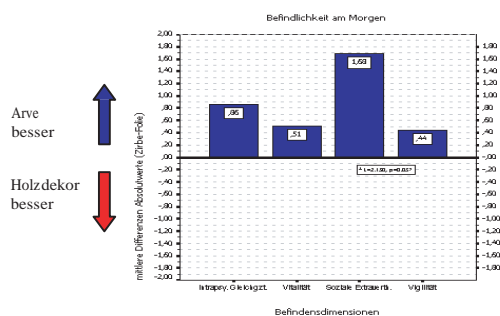
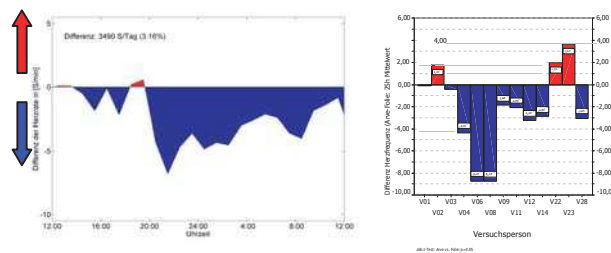
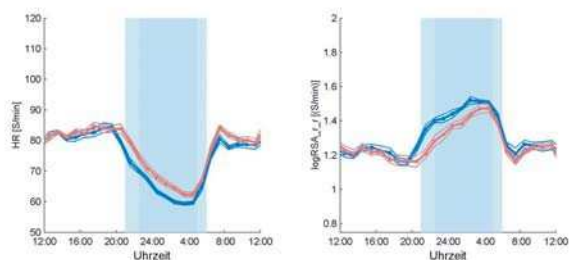
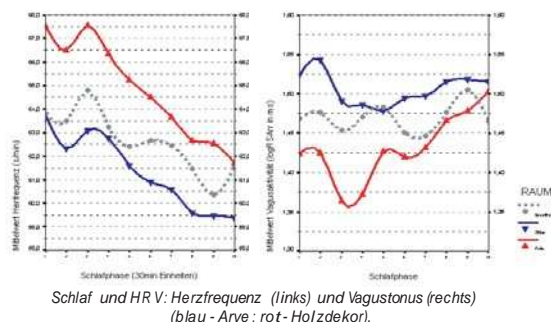
Bei der Testbatterie im Labor zeigten sich signifikante Unterschiede in der Erholungsqualität zwischen Arvenholzzimmer und identisch gestaltetem Holzdekorzimmer. Dies äußert sich in einer niedrigeren Herzrate in körperlichen und mentalen Belastungssituationen und anschließenden Ruhephasen bzw. in einem beschleunigten vegetativen Erholungsprozess.



Mittlerer Herzfrequenzverlauf bzw. Differenzen aller Vpn über den gesamten Messablauf in den beiden Versuchsbedingungen (Holzdekor rot; Arve blau).

**„Im Arvenbett schläft sich's besser!“**

Eine anschließende Längsschnittsuntersuchung bestätigte den signifikanten Einfluss des Einrichtungsmaterials auf körperliches und psychisches Befinden. Im Schlaf zeigte sich eine deutlich bessere Schlafqualität im Arvenholzbett im Vergleich zu einem Holzdekorbett. Die bessere Nachterholung geht mit einer reduzierten Herzfrequenz und einer erhöhten Schwingung des Organismus im Tagesverlauf einher. **Die durchschnittliche „Ersparnis“ im Arvenholzbett lag bei 3500 Herzschlägen pro Tag, was etwa einer Stunde Herzarbeit entspricht.**



Basler Befindlichkeitsfragebogen (Differenz: Arve minus Holzdekor).

Diese physiologischen Ergebnisse stimmten mit der subjektiven Einschätzung der Versuchspersonen überein, welche über einen erholsameren Schlaf, ein besseres Allgemeinbefinden und erstaunlicherweise eine höhere "soziale Extravertiertheit" berichteten. Vielleicht ein Grund, warum Gaststuben früher mit Arvenholz verkleidet waren.

Das Material der Wohnungseinrichtung hat offensichtlich größere Auswirkungen auf Befinden und Gesundheit als bisher bekannt. Für das edle Holz der "Königin der Alpen" tun sich neue Anwendungsfelder auf.

JOANNEUM RESEARCH -  
 Institut für Nichtinvasive Diagnostik  
 Franz-Pichler-Strasse 30  
 A-8160 Weiz  
 Tel: 03172-603-2900  
 FAX: 03172-603-2904  
 Email: [ind@joanneum.at](mailto:ind@joanneum.at)

Internet: <http://www.joanneum.at/ind>

**Interregionale Projektpartner:**  
 Forstbetrieb Imst der ÖBF-AG, A- 6460 Imst  
 Landesdomänenverwaltung Bozen, I- 39100 Bozen  
 Fürstlich Schwarzenberg'sche Forstverwaltung Steiermark A-  
 8850 Murau  
 Bündner Waldwirtschaftsverband SELVA, CH-7001 Chur

**Evaluation der Auswirkungen eines  
Arvenholzumfeldes auf Kreislauf,  
Schlaf, Befinden und vegetative  
Regulation**

# Endbericht

Oktober 2003

## **Evaluation der Auswirkungen eines Arvenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation**

### **Forschungsprojekte:**

#### **1. Belastungsfähigkeit und Einrichtung**

*Auswirkungen des Einrichtungsmaterials in Bezug auf physiologische Ruhewerte, subjektive Befindlichkeit, psychophysiologische Belastungs- und Erholungswerte*

#### **2. Schlafqualität und Bettenmaterial**

*Einfluss von Arvenholzbetten auf die Erholungsfähigkeit und den Umgang mit alltäglichen Belastungen*

#### **Durchführende:**

Mag. Vincent Grote, DI Helmut Lackner, Dr. Franziska Muhry, Michael Trapp, Univ. Prof. Maximilian Moser

---

#### **Ansprechpartner:**

Univ. Prof. Dr. Maximilian Moser  
JOANNEUM RESEARCH Institut für Nichtinvasive Diagnostik  
Franz-Pichler-Straße 30  
A-8160 Weiz  
Tel.: 03172 603 2900  
Fax: 03172 603 2904  
Email: maximilian.moser@joanneum.at  
Internet: <http://www.joanneum.at/ind>

## INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG .....	4
1. Einleitung .....	5
1.1 Methodische Grundlagen .....	6
2. Methode .....	11
2.1 Versuchsdesign .....	11
2.1.1. Versuchsdesign im Labor: Belastungsfähigkeit und Einrichtung (Studie 1).....	11
2.1.2 Versuchsdesign im Feld: Schlafqualität und Bettenmaterial (Studie 2) .....	12
2.2 Versuchspersonen.....	13
2.3 Versuchsmaterial.....	15
2.3.1 Versuchsleiterprotokoll - Testbatterie im Labor (Studie 1) .....	15
2.3.2 Basler Befindlichkeits-Skala .....	16
2.3.3 Das Tätigkeitsprotokoll.....	16
2.3.4. HeartMan .....	17
2.3.5 Einkanaliges EEG - Quisi® .....	19
2.3.6 Vigilanztest.....	19
2.3.7 Fragebögen zur Erfassung der Schlafqualität.....	20
2.3.8 Wetterstation .....	20
2.3.9 Der Step-Test.....	21
2.3.10 Auswertesoftware.....	21
2.4 Versuchsräume bzw. Versuchsbetten .....	22
2.5 Auswertungen der HRV .....	23
3. Ergebnisse .....	24
3.1 Ergebnisse Studie 1: Belastungsfähigkeit und Einrichtung (Raumwirkung).....	25
3.1.1 AutoChrones Bild der gesamten Messabfolge im Labor .....	25
3.1.2 Physikalische Raumbedingungen der beiden Versuchsräume (Studie 1) .....	26
3.1.3 Physiologische Ergebnisse der Studie 1 .....	27
3.1.4 Psychologische Ergebnisse der Studie 1.....	31
3.1.5 Inhaltliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen in Studie 1 .....	33
3.2 Ergebnisse Studie 2: Schlafqualität und Bettenmaterial .....	34
3.2.1 Physiologie.....	34
3.2.2 Psychologie.....	42
3.2.3 Inhaltliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnisse in Studie 2.....	44
4. Diskussion .....	45
5. Anhang .....	47

## ZUSAMMENFASSUNG

Die positiven Eigenschaften des Holzes der "Königin der Alpen" (Arve - Zirbelkiefer; lat.: *pinus cembra*) werden seit Jahrhunderten geschätzt und genutzt. Erstmals wurde dieses Erfahrungswissen einer empirischen wissenschaftlichen Analyse unterzogen.

Wissenschaftler der Forschungsgesellschaft JOANNEUM RESEARCH (Institut für Nichtinvasive Diagnostik, Weiz) evaluierten im Auftrag eines interregionalen Forschungsprogramms in einer Blindstudie die Auswirkungen von Arvenholz auf Belastungs- und Erholungsfähigkeit an 30 gesunden Erwachsenen.

### Versuchsablauf

Ein balanciertes, gekreuztes Messwiederholungsdesign wurde in psychischen und physischen Belastungssituationen im Labor und über 24 Stunden in Alltagssituationen der Versuchspersonen durchgeführt. Mit Hilfe hochauflösender EKG-Rekorder wurde die Herzfrequenz und ihre Variabilität, vegetative Parameter und die biologische Rhythmik der Erholung untersucht. Psychometrische Methoden wurden zur Messung der Befindlichkeit, Vigilanz und subjektiven Schlafqualität eingesetzt.

### Ergebnisse

Bei der Testbatterie im Labor zeigten sich signifikante Unterschiede in der Erholungsqualität zwischen Arvenholzzimmer und identisch gestaltetem Holzdekorzimmer. Dies äußert sich in einer niedrigeren Herzrate in körperlichen und mentalen Belastungssituationen und anschließenden Ruhephasen bzw. in einem beschleunigten vegetativen Erholungsprozess.

Eine begleitende Längsschnittuntersuchung bestätigte den signifikanten Einfluss des Einrichtungsmaterials auf körperliches und psychisches Befinden. Im Schlaf zeigte sich eine deutlich bessere Schlafqualität im Arvenholzbett im Vergleich zu einem Holzdekorbett. Die bessere Nachterholung geht mit einer reduzierten Herzfrequenz und einer erhöhten Schwingung des Organismus im Tagesverlauf einher. Die durchschnittliche „Ersparnis“ im Arvenholzbett lag bei 3500 Herzschlägen pro Tag, was etwa einer Stunde Herzarbeit entspricht.

Diese physiologischen Ergebnisse stimmten mit der subjektiven Einschätzung der Versuchspersonen überein, welche über einen erholsameren Schlaf, ein besseres Allgemeinbefinden und vor allem eine höheren "soziale Extravertiertheit" berichteten. Vielleicht ein Grund, warum Gaststuben früher mit Arvenholz verkleidet waren.

Das Material der Wohnungseinrichtung hat offensichtlich größere Auswirkungen auf Befinden und Gesundheit als bisher bekannt. Für das edle Holz der "Königin der Alpen" tun sich neue Anwendungsfelder auf.

# Abschlußbericht: Wirkungen von Arvenholz

## 1. Einleitung

Die Zirbellkiefer, Arve ist ein Charakteristikum der Hochlagen der Alpen. Sie wächst langsam, kann bis 20 Meter hoch werden und bis zu 1000 Jahre alt. Ihr feinjähriges, gelbliches Holz ist sehr dauerhaft und wird in alpinen Regionen wegen seines angenehmen Duftes gerne für Inneneinrichtungen und Schlafzimmermöbel verwendet.



*Arve (pinus cembra).*

Seit Jahrhunderten wird zur Innenverkleidung von Bauernhäusern und Gaststuben, zur Herstellung von Truhen und Betten, für die Aufbewahrung von Lebensmitteln sowie zur Herstellung von Kinderwiegen im alpinen Raum bevorzugt Arvenholz benutzt. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass Arvenholz besonders geeignet ist, eine für den Menschen wohltuende Atmosphäre zu erzeugen. Komponenten dieser Atmosphäre sind der Geruch des Holzes, die feinfasrige Konstitution, Inhaltsstoffe (Ätherische Öle mit besonderen sinnesphysiologischen Qualitäten) und nicht zuletzt Farbe und Aussehen des Arvenholzes.

Die in Auftrag gegebenen Forschungsprojekte sollen abklären, ob Auswirkungen von Arvenholz auf den menschlichen Organismus mit wissenschaftlichen Methoden empirisch nachweisbar sind. Dabei wurden folgende Fragestellungen näher untersucht:

### **Studie 1: Belastungsfähigkeit und Einrichtung**

Wirken körperliche und mentale Anforderungen in einem mit Arvenholz ausgekleideten Raum weniger belastend als in einem Raum, der mit Holzdekorspanplatten verkleidet ist?

### **Studie 2: Schlafqualität und Bettenmaterial**

Wie ist die Schlaf- bzw. Erholungsqualität in Arvenholzbetten im Vergleich zu gleichartigen Holzdekorbetten?



## 1.1 Methodische Grundlagen

In jüngster Zeit wurden Messmethoden verfügbar, die es erlauben, nichtinvasive Messungen am autonomen Nervensystem vorzunehmen. Dieses funktionelle System unseres Organismus koordiniert, synchronisiert und lenkt zahlreiche Körperfunktionen.

Das Autonome Nervensystem, auch Vegetatives Nervensystem genannt, wird in der Peripherie in zwei Subsysteme unterteilt, das sympathische und das parasympathische Nervensystem. Das autonome Nervensystem reguliert jene Funktionen, auf die wir willentlich nur sehr bedingt Einfluss nehmen können. Es stimmt die Systeme der Versorgung und der Entsorgung aufeinander ab und sorgt für ein geordnetes Zusammenwirken. Dadurch werden die verschiedenen Funktionskreise koordiniert und zu einer leistungsfähigen Ganzheit zusammengefasst.

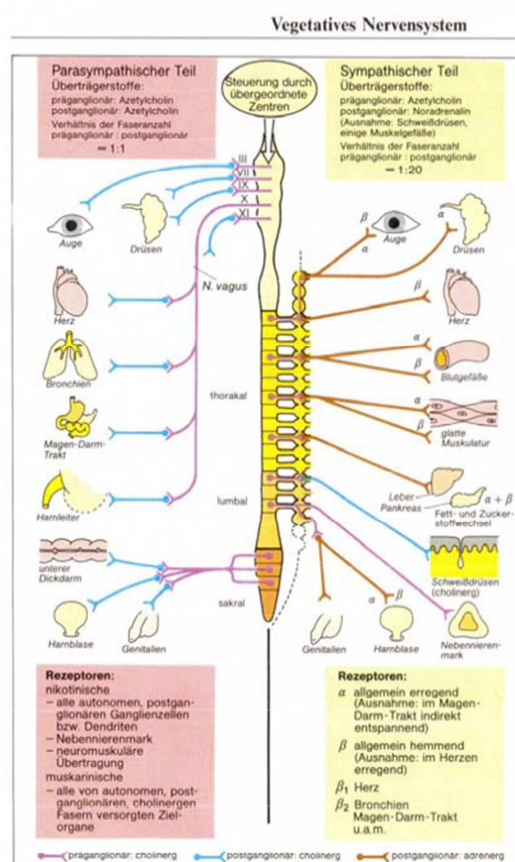


Abb.1: Schematische Übersicht des Autonomen (vegetativen) Nervensystems (aus Silbernagl & Despopoulos, 1991, S. 51).

Das Vegetativum reguliert unter anderem:

- Herztätigkeit, Blutdruck, Verteilung der Blutströme
- Atemtiefe und Atemfrequenz
- Thermoregulation
- Drüsensekretion (z.B. Speichel und Verdauungssäfte)
- Magen- und Darmmotorik, Blasenentleerung
- Sexualfunktionen

Es steht über den Hypothalamus als übergeordnete Steuerungsebene in enger Verbindung mit dem limbischen System, das Emotionen und Gefühle vermittelt, sowie mit dem endokrinen System.

Sympathikus und Parasympathikus haben großteils antagonistische Wirkungen auf die einzelnen Organe: Bei sympathischer Dominanz sind die Pupillen geweitet, Atem- und Herzfrequenz gesteigert, Luftröhre und Bronchien geweitet und der Großteil des Blutes strömt in die Muskulatur, ins Gehirn und in die Lunge. Man spricht von einer ergotropen ( $\epsilon\rho\gamma\omicron\nu = \text{Tat, Arbeit; } \tau\rho\omicron\pi\omicron\sigma = \text{Richtung}$ ) Reaktion, d.h. der Organismus ist auf wache Leistungsbereitschaft ausgerichtet. Wenn die parasympathischen Einflüsse vorherrschen, sind Atem- und Herzfrequenz ruhig, die Muskeln sind entspannt, die Blutströme werden in den Magen-Darm-Trakt geleitet. Es ist dies die trophotrope Reaktion ( $\tau\rho\phi\omicron\phi\sigma = \text{Ernährung}$ ). Viele Organe werden sowohl von sympathischen wie auch von parasympathischen Nerven innerviert.

Für die Messung der vegetativen Einstellung wurde in den letzten Jahrzehnten eine Methode entwickelt, welche die nichtinvasive Untersuchung des autonomen Nervensystems ermöglicht - die Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV).

Die Herzfrequenz ist die wichtigste Stellgröße eines komplexen Regelnetzwerkes, an dem Herz, Kreislauf, Atmung, Temperatur, Stoffwechsel und psychomentele Einflüsse beteiligt sind. Dies verleiht der Herzfrequenz ihre typische zeitliche Struktur, die als Herzfrequenzvariabilität (HRV) messbar wird.

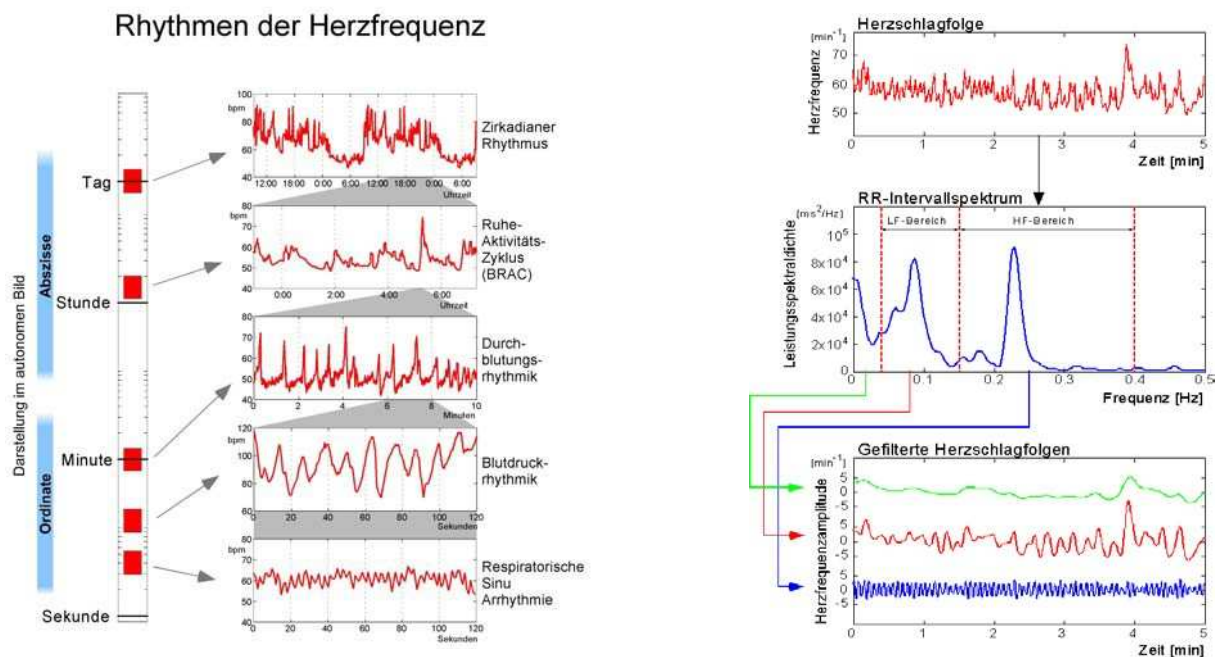


Abb.2: Schematische Übersicht-Rhythmen der Herzfrequenz bzw. Beispiel für eine Spektralanalyse der HRV.

Der prominenteste Anteil der HRV ist die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA), die hochfrequente Variabilität der Herzfrequenz, welche die Modulation des Herzrhythmus durch die Atmung widerspiegelt. Sie ist gleichzeitig ein Maß für die Aktivität (den Tonus) des Vagus im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,4 Hz. Die niederfrequenten Komponenten der Herzfrequenzvariabilität korrespondieren mit der Blutdruckrhythmik bei einer Frequenz von ca. 0,10 Hz. Sie werden vorwiegend sympathisch, aber auch parasympathisch moduliert.

Um den Tonus der einzelnen Äste des autonomen Nervensystems zu beschreiben, kann man eine Spektralanalyse durchführen (siehe Abb.2, rechts). Die Messdaten werden beispielsweise mit Hilfe der Fouriertransformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich übertragen und als Leistungsspektrum dargestellt.

### Der HeartMan - ein mobiles Messgerät des vegetativen Tonus



Abb.3: HeartMan - Hochauflösender EKG-Rekorder.

Mit dem in dieser Untersuchung verwendeten Messgerät, dem HeartMan, kann die Herzfrequenz gemessen werden. Der HeartMan ist spezialisiert auf die hochgenaue Aufzeichnung von Herzschlagintervallen (R-R Intervallen). Aus den Herzschlagintervallen werden verschiedene Parameter der Herzfrequenzvariabilität errechnet. Mit Hilfe von evaluierten Algorithmen kann der kontinuierlichen Verlauf von insgesamt 20 physiologischen Parametern während der Arbeit und in Ruhe ermittelt werden. Diese Messmethode ist geeignet zur mobilen Überwachung der funktionellen, autonomen Regulation des Kreislaufs und ermöglicht auch eine 24-Stunden-Kontrolle des Herzrhythmus (Holter Monitoring).

### Kennwerte des ANS

- Folgende Kennwerte werden berechnet bzw. quantifiziert:
  - *TOT (total frequency)*: Die Leistung im gesamten Frequenzbereich von 0.0033 – 0.5 Hertz (Hz).
  - *HF (high frequency)*: Der HF-Bereich umfasst Schwankungen mit Periodendauern von 2.5 Sekunden bis 7 Sekunden (0.15 - 0.4 Hz). Die Leistung im HF-Band entspricht der Aktivität des Parasympathikus und spiegelt hauptsächlich Herzfrequenzvariationen wieder, die auf Modulation über die Atmung zurückzuführen sind.
  - *LF (low frequency)*: Das LF-Band umfasst den Frequenzbereich von 7 - 25 Sekunden (0.04 – 0.15 Hz). Die Leistung in diesem Band wird vorwiegend vom Sympathikus als auch in geringerem Maß vom Parasympathikus beeinflusst. Diese Region wurde früher auch Barorezeptorbereich genannt, da die Aktivität dieses Rezeptors hier sehr gut wiederspiegelt wird. Die niederfrequenten Komponenten der Herzfrequenzvariabilität korrespondieren mit der Blutdruckrhythmik mit einer Frequenz von ca. 0,10 Hz.

- *LF/HF (vegetativer Quotient, VQ)*: Der Quotient aus den beiden vorangehenden Parametern spiegelt das momentane vegetative Aktivierungsniveau des Organismus wieder und ist das derzeit beste verfügbare Maß der „autonomen Balance“. Höhere Werte zeigen eine aktive, leistungsorientierte Einstellung des Körpers, tiefe Werte eine auf Erholung ausgerichtete.
- *SDNN (standard deviation of normal-to-normal intervals)*: Die Standardabweichung über je fünf Minuten artefaktbereinigte RR-Intervall-Serien ist ein Maß für die Gesamtvariabilität über alle Frequenzbereiche. Langzeitstudien haben gezeigt, dass die Gesamtvariabilität ein Maß für die Vitalität ist: Menschen mit geringerer SDNN leben kürzer.
- *logRSA*: Der Median der absoluten Differenzen aufeinanderfolgender Herzfrequenzwerte misst, ähnlich der HF, vorrangig die raschen, atmungsinduzierten Änderungen, ohne jedoch eine strikte Grenze bei einer bestimmten Frequenz zu ziehen. Die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) ist somit die hochfrequente Variabilität der Herzfrequenz, welche die Stärke der Modulation des Herzrhythmus durch die Atmung widerspiegelt. Sie ist gleichzeitig ein Maß für den Tonus der Vagusaktivität.
- *QPA*: Der *Puls-Atem-Quotient* gibt an, wie oft das Herz während eines Atemzuges schlägt (Verhältnis der Herzschläge zu einem Atemzyklus). Während der Nacht und in Ruhe konnte beobachtet werden, dass es bei Gesunden zu einer Einstellung des Quotienten auf ein Verhältnis von etwa 4:1 kommt, unabhängig vom Quotienten unter ergotropen Bedingungen am Tag, der zwischen 2:1 und 22:1 liegen kann.

### Das AutoChrono Bild

Das AutoChrono Bild ist eine übersichtliche Darstellung der komplexen Rhythmusinformationen, die in der Herzfrequenz bzw. Herzfrequenzvariabilität enthalten sind. Es ist ein Bild der menschlichen Eigenzeit ("autos" = selbst, eigen; "chronos" = Zeit). Dabei wird die Information in drei Dimensionen (Abszisse = Zeit, Ordinate = Frequenz, Farbe = Amplitude) dargestellt.

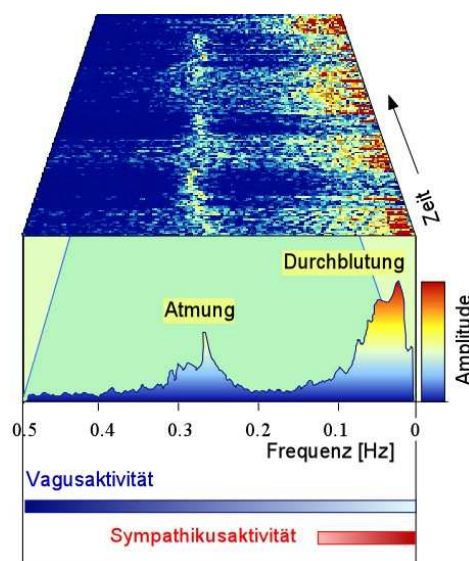


Abb.4: Das AutoChrono Bild.



Jede Zeile ist das Ergebnis der Frequenzanalyse eines kurzen Abschnitts einer Zeitreihe, z.B. einer Herzschlagfolge. Die Amplitude der jeweiligen Rhythmen wird dabei farblich codiert. Eine geringe Amplitude ergibt blau, eine höhere weiß, eine sehr hohe rot. Das Bild wird Zeile für Zeile zusammengesetzt – man erhält eine zeitabhängige Darstellung der in der Herzschlagfolge enthaltenen Rhythmen, z.B. über 24 Stunden. Diese kurz vorgestellten Methoden der Herzfrequenzvariabilitätsanalyse erlauben detaillierte Einblicke in die autonomen Fähigkeiten der Belastungs- und Erholungsregulation.

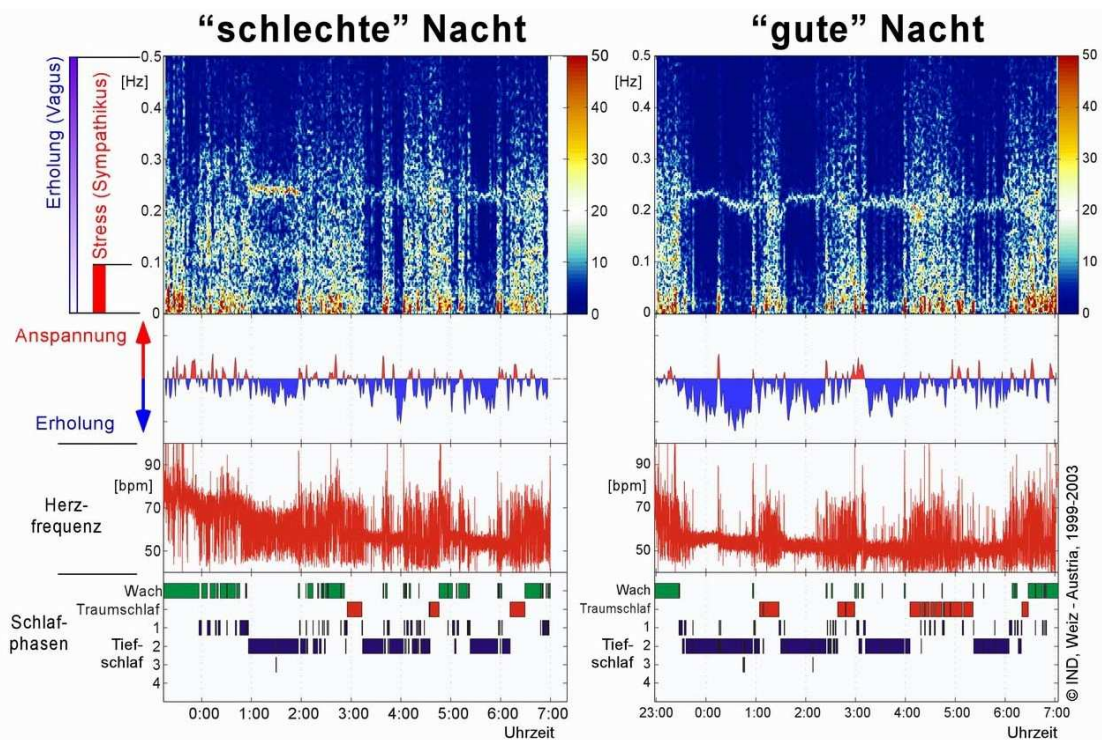


Abb. 5: Daten aus einem Schlaflabor: AutoChronie Bilder ein- und desselben Versuchsteilnehmers, wenn er schlecht schläft (links) bzw. gut schläft (rechts). Der Unterschied zeigt sich insbesondere in der Schlafarchitektur. Der gute Schlaf verläuft zyklisch (rechts), wobei sich die Ruhig Schlafphasen deutlich vom REM-Schlaf (Traumschlaf) unterscheiden. Der schlechte Schlaf ist fragmentiert und vegetativ unruhig. Die vegetative Balance (Anspannung-Erholung) beim guten Schlaf ist vagotoner (rechtes Bild) als beim schlechten Schlaf (linkes Bild). Zum Vergleich ist auch die Standard-Schlafphasenklassifikation nach Rechtschaffen und Kales dargestellt, die anhand von EEG-, EOG- und EMG-Aufzeichnungen vorgenommen wird (jeweils unterstes Diagramm).

Während des Schlafes stellt sich eine trophotrope Reaktionslage ein. Der Vagustonus überwiegt, während die Sympathikusaktivität abnimmt. Durch diese vegetative Umstellung kommt es zu einem Blutdruckabfall bzw. zu einer Senkung der Herz-, Atemfrequenz und Schweißsekretion, wobei in REM-Phasen, bei spontanen Erwachen (Arousals) oder bei Weckreizen sich sofort wieder ein sympathischer Tonus bemerkbar macht. In der nächtlichen Ruhephase nehmen auch Phasen- und Frequenzkoordination der Atem- und Herzrhythmen zu, was auf Ökonomie und Restitution des vegetativen Systems schließen lässt.

## 2. Methode

### 2.1 Versuchsdesign

Um die in der Einleitung genannten Fragestellungen zu prüfen, wurden zwei einfache Blindstudien mit einem gekreuzten Messwiederholungsdesign durchgeführt.

#### 2.1.1. Versuchsdesign im Labor: Belastungsfähigkeit und Einrichtung (Studie 1)

Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5
warming-up	Ruhe	körperl. Beanspruchung	Ruhe	mentale Beanspruchung Vigilanztest	Ruhe
10 Minuten	10 Min.	4 Min.	15 Min.	37 Min.	10 Min.

Abb. 6.: Versuchsablauf Testbatterie im Labor.

Hierzu wurden 31 VersuchsteilnehmerInnen (siehe auch Pkt. 2.3 - Versuchspersonen) in einem Zeitraum von vier Wochen gebeten, zweimal - in einem Arvenzimmer bzw. Holzdekorzimmer - (die Abfolge der Versuchsräume wurde balanciert) zur selben Zeit und am selben Wochentag vormittags je 90 Minuten an einem genau definierten Messablauf mitzuwirken. Über die eigentliche Absicht dieser Untersuchung wussten die TeilnehmerInnen nicht Bescheid. Es wurde ihnen nur mitgeteilt, dass der Einfluss verschiedener Belastungsbedingungen auf das Erholungsvermögen untersucht werden soll. Gemessen wurde die Herzfrequenz von einem hochauflösenden EKG-Monitor (HeartMan). Der Versuchsleiter war hierbei in den Ruhephasen (liegend) bzw. während des Vigilanztests nicht im Versuchsraum anwesend. Die physiologische Messung wurde in eine mobile 25 Stunden Langzeit-EKG-Messung eingebettet, um Aussagen über die individuelle Belastungs- und Erholungsbilanz treffen zu können. Begleitend wurden auch psychometrische Methoden und physikalische Messungen eingesetzt, um mögliche Auswirkungen wie z.B. Befinden bzw. Einflussfaktoren wie physikalische Raumparameter zu erheben.

Folgende Tests wurden durchgeführt (siehe auch Versuchsmaterial-2.3):

#### gemessene physikalische Parameter:

- Daueraufmerksamkeitstest (Wiener Testsystem)
- Basler Befindlichkeits Fragebogen (BBF)
- Belastungs-Erholungs Fragebogen (EBF)
- Persönlichkeitsfragebogen (NEO-FFI) u.a.m.
- Temperatur
- Luftdruck
- Luftfeuchtigkeit

## 2.1.2 Versuchsdesign im Feld: Schlafqualität und Bettenmaterial (Studie2)

Projektwoche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Informationsgespräch, Einschulung	■	■																						
Vormessungen (2x24h HeartMan u. Fragebögen)		1x	1x																					
Belastungsmessungen (Dauer: ca.90 Minuten)									1x								1x							
Schlafmessungen mit Quisi									1x				1x				1x							
24 Stunden Messungen-HeartMan (di-mi bzw. do-fr)							2x	2x	2x		1x		1x		2x	2x	2x					1x		
Fragebögen und Tätigkeitsprotokolle																								
Rückmeldung der Ergebnisse						■										■								■

Abb. 7. Versuchsablauf der Feldstudie (Studie 2 - Schlafqualität).

In der zweiten Studie wurde der Einfluss des Bettmaterials auf den Schlaf geprüft. Bei dieser blinden Verlaufsstudie im Feld kam ein gekreuztes Messwiederholungsdesign mit 15 gesunden Erwachsenen zum Einsatz. Die Einteilung in zwei Versuchsgruppen erfolgte randomisiert. Die Probanden verbrachten ihre Nachtruhe für einen längeren Zeitraum (~ 3-4 Wochen) einmal in einem Arvenbett (blau), in dem eigenen Bett (grau) bzw. in einem Holzdekorbett (rot; Reihenfolge abh. von Versuchsgruppe; siehe auch Pkt. 2.3 - Versuchsmaterial).

Über den gesamten Beobachtungszeitraum erfolgten regelmäßig mobile 25 Stunden Langzeit-EKG-Messungen (HeartMan), um Aussagen über alltägliche Belastungen und Erholungsvorgänge (insbesondere den Schlaf) treffen zu können. Begleitend wurden auch psychometrische Methoden, Tätigkeitsprotokolle und punktuell einkanalige EEG-Ableitungen (Schlafmessungen - Quisi<sup>®</sup>) angewandt, um mögliche Auswirkungen bzw. Einflussfaktoren wie z.B. subjektive Schlafqualität, Stressverarbeitung und Befinden auf mehreren Ebenen abzubilden.

Die VersuchsteilnehmerInnen waren über den eigentlichen Zweck der Untersuchung nicht informiert. Es wurde ihnen erklärt, dass das Ziel dieser Studie darin begründet ist, zu sehen, "wie sich verschiedene alltägliche Tätigkeiten und Belastungen auf die Nachtruhe auswirken, bzw. inwieweit das eigene, gewohnte Bett dabei eine Rolle spielt".

Zu dem verwendeten Versuchsmaterial zählten (nähere Beschreibung siehe Versuchsmaterial-2.4):

- Pittsburgh Schlafqualitäts-Index (PSQI)
- Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Schlafqualität (IND-FB)
- Tätigkeitsprotokollen mit subj. Belastungseinschätzungen (IND-TÄT)
- Basler Befindlichkeits Fragebogen (BBF)
- Belastungs-Erholungs Fragebogen (EBF-24 bzw. EBF-72)

Je Versuchsperson wurden insgesamt 17 Langzeit-EKG-Messung und drei Schlafmessungen mit einem einkanaligen EEG durchgeführt. Begleitend erfolgte immer eine Protokollierung der Tagesaktivitäten bzw. mussten psychologische Fragebögen ausgefüllt werden. Bis auf zwei Versuchspersonen (Vpn) in dieser Stichprobe nahmen alle TeilnehmerInnen auch an der Testbatterie im Labor teil (Studie 1).

## 2.2 Versuchspersonen

Teilnehmerliste						
Code	Geschlecht	Gruppe	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	
1	V01	w	Grp 1	17	63	175
2	V02	w	Grp 2	34	54	158
3	V03	w	Grp 2	28	58	174
4	V04	m	Grp 2	31	90	183
5	V05	w	Grp 2	35	63	167
6	V06	m	Grp 2	33	82	174
7	V08	w	Grp 2	31	65	178
8	V09	m	Grp 2	27	82	188
9	V11	m	Grp 1	38	84	184
10	V12	w	Grp 2	32	53	163
11	V14	w	Grp 1	42	54	166
12	V21	w	Grp 1	41	60	162
13	V22	m	Grp 1	44	75	176
14	V23	m	Grp 1	43	60	167
15	V28	m	Grp 2	27	72	182
16	V30	m	Grp 1	36	70	183
17	V31	m	Grp 1	47	79	177
18	V32	m	Grp 2	21	86	191
19	V33	m	Grp 2	49	85	175
20	V34	w	Grp 1	35	55	163
21	V35	w	Grp 1	38	58	163
22	V36	w	Grp 1	35	61	167
23	V37	m	Grp 2	32	92	187
24	V39	w	Grp 1	28	53	159
25	V40	w	Grp 2	20	57	172
26	V43	w	Grp 2	21	59	175
27	V47	w	Grp 2	22	58	162
28	V48	w	Grp 2	25	49	158
29	V50	w	Grp 1	47	59	168
30	V51	w	Grp 2	44	50	160
31	V52	w	Grp 2	37	70	165
32	V55	m	Grp 1	28	64	178
33	V56	m	Grp 2	27	73	182

Abb. 8: In die Endauswertung eingegangene Versuchsteilnehmer.

Die Versuchsteilnehmer im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden mit Hilfe von Aushängern (siehe Anhang) im Raum Weiz rekrutiert. Im Vorfeld der Untersuchung erfolgten ausführliche Informationsveranstaltungen am IND, um die potentiellen Bewerber über Aufwand, eigenen Nutzen und Ablauf der Studie aufzuklären und einem vorzeitigen Abbrechen im Studienverlauf entgegenzuwirken. Insgesamt meldeten sich 56 Personen, welche in weiterer Folge mit zwei 25h-Probemessungen (gleichzeitig Baselinemessungen) mit dem HeartMan und begleitenden Fragebögen konfrontiert wurden. Einige Teilnehmer mussten aufgrund von chronischen Erkrankungen, Medikamentenkonsum, Extrasystolen bzw. Arrhythmien von den Untersuchungen ausgeschlossen werden (da dies die Analyse der HRV stark beeinträchtigen kann), bzw. kam es auch zu vereinzelt freiwilligen Austritten (z.B. Messaufwand zu groß, Elektrodenunverträglichkeit, etc.). Die Angabe der



Gruppe in Abbildung 8 gibt die Abfolge der Untersuchung wieder. Personen in Gruppe 1 starteten im Arvenzimmer bzw. -bett, Gruppe 2 begann mit dem Holzdekorversuchsraum bzw. -bett. Die ersten 15 Teilnehmer (grün; V01 bis V28) nahmen an der Längsschnittstudie "Schlafqualität und Bettenmaterial" und auch an der Laborstudie "Belastungsfähigkeit und Einrichtung" (grün bzw. orange; Ausnahme: V05 und V09 - gelb hinterlegt; diese Vpn waren beruflich verhindert) teil.

Alle ProbandInnen erhielten für ihre Teilnahme eine finanzielle Zeitkostenentschädigung (€ 30 -Studie 1 bzw. € 200 - Studie 2) sowie ausführliche Rückmeldungen über ihre Messergebnisse. Dieses Vorgehen erschien notwendig, um eine ausreichende Compliance über den Messablauf zu gewährleisten.

Das mittlere Alter der gesunden Versuchspersonen in Studie 1 (Belastungsfähigkeit und Einrichtung; N = 31) betrug 33,3 Jahre mit einem Range (R) von 17-49 Jahre (Gewicht: M = 66kg; R: 49-92kg; Größe: M = 172cm; R: 158-191cm). Dabei handelte es sich um 18 Frauen und 13 Männer. Vier Versuchspersonen (V03, 14, 21, 22) mussten von der Analyse ausgeschlossen werden, da die Raumtemperatur während der Messungen unter 16 Grad Celsius lag, bzw. eine Testperson (V21) während der Messphase Extrasystolen entwickelte.

Das mittlere Alter der Versuchspersonen in Studie 2 (Schlafqualität und Bettenmaterial; N = 15) betrug 33,5 Jahre mit einem Range (R) von 17-44 Jahre (Gewicht: M = 68kg; R: 53-90kg; Größe: M = 173cm; R: 158-188cm ). Dabei handelte es sich um 8 Frauen und 7Männer.

## 2.3 Versuchsmaterial

Im folgenden Abschnitt soll noch einmal ausführlich auf das verwendete Versuchsmaterial eingegangen werden. Die Datenerhebung erfolgte wie bereits erwähnt auf mehreren Ebenen mit psychologischen als auch mit physiologischen Messmethoden. Bei den psychologischen Tests handelte es sich größtenteils um standardisierte Fragebögen. Zusätzlich wurde in Studie 1 ein Versuchsleiterprotokoll geführt, in dem alle, die Versuchspersonen betreffenden und relevant erschienenen Daten notiert wurden.

### 2.3.1 Versuchsleiterprotokoll - Testbatterie im Labor (Studie 1)

Datum und Uhrzeit der Messung		
Start der 25h-Messung		
Zimmer A oder B		
<b>Angaben zur Person</b>		
<b>Name</b>		Tel.
VPID		Heartmannummer
Geburtsdatum		Geschlecht
Größe		Gewicht
Raucher		Medikamente
Zyklustag		Rechtshänder / Linkshänder
chronische Erkrankungen		
Teilnehmer		falls ja, VPID:
Teilnehmer an Schlafstudie		falls ja, VPID:
<b>Vorab:</b> Handy aus, Toilette ...		
<b>Checkliste und Zeitplan</b>		
<b>Im Versuchsraum durchzuführen</b>		
		check      Uhrzeit
Heartman anlegen (optional)	3min	
Beschreibung des Versuch	2min	
Soziodemographische Daten	3min	
Basler Fragebogen	2min	
Ruhephase	<b>10min (E!)</b>	
Stehphase	<b>3min (E!)</b>	
Steptest	<b>4min (E!)</b>	
Ruhephase	<b>15min (E!)</b>	
Stehphase	<b>3min (E!)</b>	
Basler Fragebogen	2min	
Vigilanztest	<b>37min (E,E!)</b>	
Ruhephase	<b>10min (E!)</b>	
Basler Fragebogen	2min	
Begleitfragebogen		
NeoFFI		
Nächster Termin		
Rückmeldungstermin		
<b>Umfeld</b>	<b>Beginn</b>	<b>Ende</b>
Temperatur <b>innen</b>		
Temperatur <b>ausßen</b>		
Luftdruck		
relative Luftfeuchtigkeit		

Abb. 9: Versuchsleiterprotokoll im Labor (Studie 1).

### 2.3.2 Basler Befindlichkeits-Skala

Die Basler Befindlichkeits-Skala stellt eine Self-Rating Methode zur Verlaufsmessung der Befindlichkeit dar und wurde in beiden Studien eingesetzt (Zeitpunkte: Studie 1: Siehe Versuchsleiterprotokoll; Studie 2: Am Morgen einer Messung - nach dem Aufstehen). Bei diesem Test werden bipolare Items verwendet. Das Messziel kann als Versuch interpretiert werden, die lineare Dimension von einem hohen Aktivierungsniveau der Stimmung resp. des Antriebsgefühls von einem tiefen Aktivierungsniveau der Stimmung bzw. des Antriebsgefühls zu differenzieren. Dieser Test wurde deshalb für diese Studie ausgewählt, da er in Bezug auf die sprachliche Verständlichkeit als äußerst leicht und schnell begreiflich angesehen werden kann und eine rasche Durchführung ermöglicht.

Das Bild zeigt das Formular der Basler Befindlichkeits-Skala. Oben sind Felder für Ort, Tag/Monat/Jahr, Diagnose, Alter, Geschlecht, Testverlauf, Prib.-Nr. und ein freies Feld vorgesehen. Darunter befindet sich der Titel 'Ich fühle mich jetzt' und ein Bereich mit 16 horizontalen Balken, die von 1 bis 16 nummeriert sind. Rechts daneben sind vier Dimensionen farblich hervorgehoben: 1. Vitalität (rot), 2. Intrapsychischer Gleichgewichtszustand (lila), 3. Soziale Extravertiertheit (gelb) und 4. Vigilanz (grün). Die Balken sind farblich den Dimensionen zugeordnet: 1 (rot), 2 (lila), 3 (gelb), 4 (grün), 5 (rot), 6 (gelb), 7 (grün), 8 (lila), 9 (rot), 10 (gelb), 11 (grün), 12 (lila), 13 (rot), 14 (gelb), 15 (grün), 16 (grün).

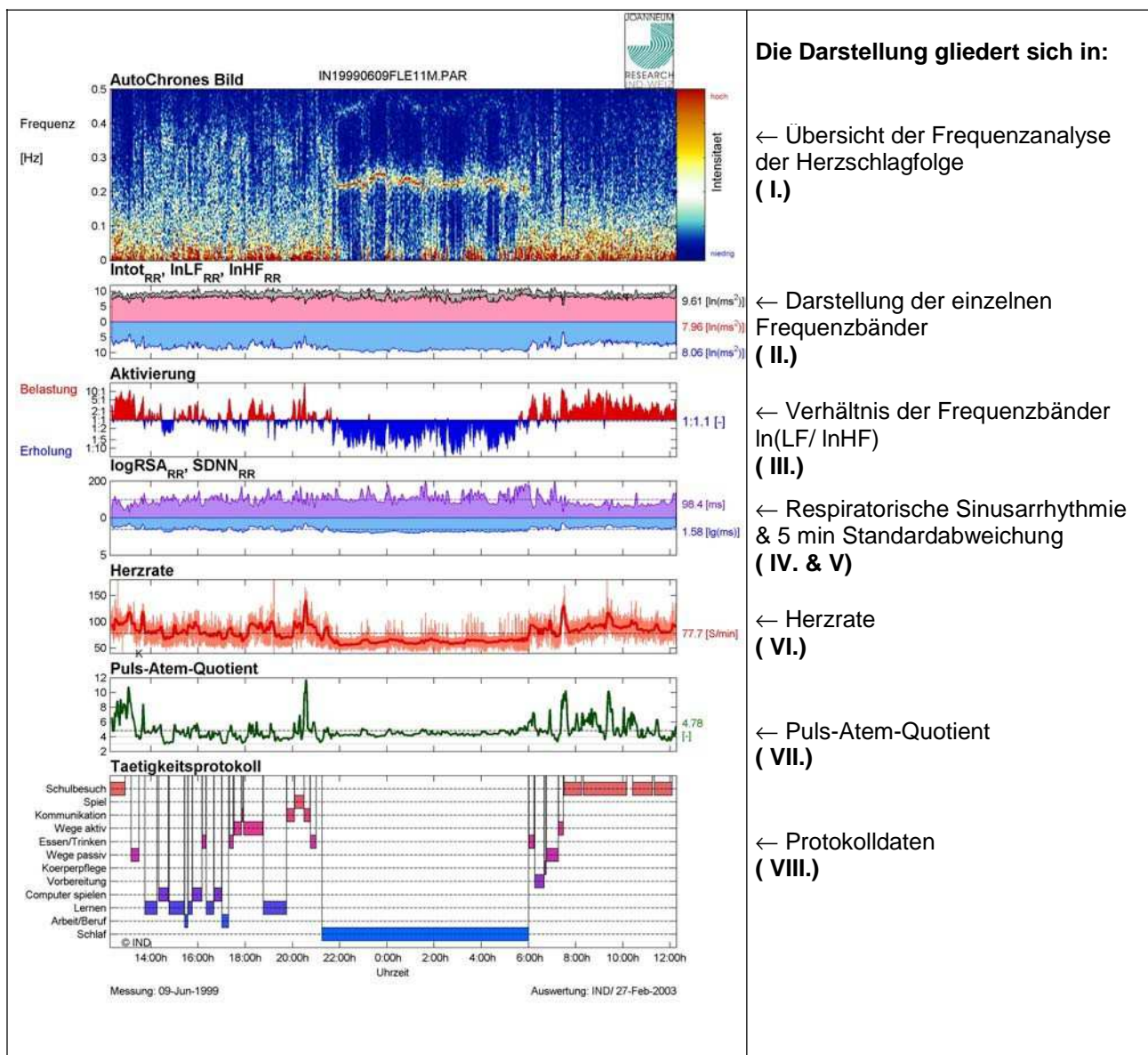
Abb. 10: Basler Befindlichkeitsfragebogen und Dimensionen (farbige Darstellung - Zuordnung zu einzelnen Dimensionen).

### 2.3.3 Das Tätigkeitsprotokoll

Um eine bessere Interpretation der gesammelten EKG – Daten zu gewährleisten, mussten die Probanden ein Tätigkeitsprotokoll führen, aus dem die gesamten Tagesaktivitäten hervorgehen. Am Tätigkeitsprotokoll wurde das Datum des Messbeginns bzw. der Vp-Code der Probanden vermerkt. Weiters wurden Beginn und das Ende der jeweiligen Tätigkeit notiert. Um den Versuchspersonen unnötige Schreiarbeit zu ersparen, wurde eine Kategorienliste entwickelt (siehe Anhang: Messtagebuch), welche die häufigsten Tagesaktivitäten beinhaltet. Wurde eine spezifische Tätigkeit nicht in dieser Auflistung gefunden, hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit, diese unter der Rubrik „Bemerkungen“ anzuführen. Ein weiterer erhobener Parameter war die subjektiv erlebte Belastung bei der entsprechenden Tätigkeit, welche mit Zahlenwerten von 0 bis 6 (0 = überhaupt nicht; 6 = sehr stark) eingeschätzt werden konnte. Die Ergebnisse dieser Erhebung wurden allerdings nicht einer expliziten Auswertung unterzogen, sondern dienten zur Kontrolle bzw. zu Rückmeldungszwecken.

### 2.3.4. HeartMan

Eine Beschreibung des HeartMan ist bereits in der Einleitung (Pkt. 1.1) erfolgt und entfällt daher an dieser Stelle. Die HeartMan-Messung dauerte in der Regel 25 Stunden. Der HeartMan wurde immer an denselben Wochentagen in der Zeit von 11:00 bis 13:00 angelegt. Gekoppelt an die Messungen waren das Tätigkeitsprotokoll und psychologische Fragebögen auszufüllen. Um eine standardisierte und fehlerfreie Messung zu gewährleisten, wurde allen Probanden eine schriftliche Beschreibung mit Informationen in Bezug auf das Anlegen und die korrekte Bedienung des HeartMan ausgefolgt (neben ausführlichen mündlichen Instruktionen; siehe Messtagebuch im Anhang). Die statistische und grafische Aufbereitung der erhaltenen Datensätze erfolgte mit institutseigenen Auswerteroutinen in MatLab® bzw. im Statistikprogramm SPSS®. Als ein Ergebnis der EKG-Messung erhält man unter anderem als grafische Aufbereitung das AutoChrono Bild, auf dessen Entstehung und Informationsgehalt noch einmal kurz eingegangen werden soll.



**Die Darstellung gliedert sich in:**

← Übersicht der Frequenzanalyse der Herzschlagfolge ( I.)

← Darstellung der einzelnen Frequenzbänder ( II.)

← Verhältnis der Frequenzbänder  $\ln(LF/ \ln HF)$  ( III.)

← Respiratorische Sinusarrhythmie & 5 min Standardabweichung ( IV. & V)

← Herzrate ( VI.)

← Puls-Atem-Quotient ( VII.)

← Protokolldaten ( VIII.)

Abb. 11: Kurzinformation zum AutoChronen Bild (25h-Messung).

Die Berechnung der einzelnen Parameter erfolgt anhand von Zeitindizes der detektierten R-R-Intervalle. Daraus wird die Herzfrequenz ermittelt. Die detektierten R-R-Intervalle sowie die Herzfrequenz dienen als Basis für die weiteren in der Grafik dargestellten Parameter der Herzfrequenzvariabilität.

ad (I.) Für die Darstellung der Frequenzanalyse wird die Herzschlagfolge in äquidistante Abschnitte unterteilt und durch die sogen. Fouriertransformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich gebracht. Diese Transformation zerlegt das Gesamtsignal in einzelne Sinusschwingungen und gibt die Größenordnung der einzelnen Frequenzanteile wieder. Der Frequenzbereich von 0-0,5 Hz wird entsprechend der Größenordnung der Frequenzanteile anhand der Farbskala (in der Abb. rechts oben) kodiert und je Zeitabschnitt aufgetragen. (siehe auch: Einleitung)

ad (II.) Der Frequenzbereich wird in die folgenden Bänder unterteilt:

0.04 Hz	bis	0.15 Hz ...	Low Frequency (LF) [Entsprechung: Vagus- und Sympathikusaktivität]
0.15 Hz	bis	0.4 Hz ...	High Frequency (HF) [Entsprechung: Vagusaktivität]
0	bis	0.4 Hz ...	total

Anschließend wird die Leistung innerhalb der entsprechenden Bänder ermittelt und unter Verwendung des natürlichen Logarithmus umgerechnet. Aus Übersichtlichkeitsgründen wird der Parameter lnHF (blau) in der Darstellung nach unten geklappt, da sich die einzelnen Parameter ansonsten überlagern würden.

ad (III.) Der Parameter VQ stellt das Verhältnis der errechneten Leistungen der Bänder je Zeitabschnitt dar und gibt somit das Verhältnis von Sympathikusaktivität zu Vagusaktivität wider.

ad (IV.) Unter der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) versteht man die atmungsbedingte Änderung der Herzrate. Die RSA errechnet sich zu  $RSA = \text{Median}(|HR_i - HR_{i-1}|)$  wobei der Median den Zentralwert der sortierten Zahlenfolge innerhalb eines Zeitabschnittes darstellt. Die RSA wird mittels dekadischem Logarithmus zur logRSA umgerechnet und als solche aufgetragen, wobei die Kurve wieder nach unten geklappt wird.

ad (V.) Der Parameter  $SDNN_{index}$  stellt den Mittelwert der Standardabweichungen (Standard Deviations) der RR-Intervalle innerhalb eines fünf minütigen Zeitabschnittes dar. Die Standardabweichung (Streuung) errechnet sich allgemein:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N [x(n) - \bar{x}]^2}$$

ad (VI.) Die Berechnung der Herzrate erfolgt, wie eingangs erwähnt, aus den detektierten R-R-Intervallen.

ad (VII.) Der Puls-Atem-Quotient stellt das Verhältnis von Herzfrequenz zu Atemfrequenz dar. Eine Ganzzahligkeit von 4:1 (Herzfrequenz: Atemfrequenz) stellt hierbei das Ideal dar.

ad (VIII.) Die Darstellung der Protokolldaten erfolgt anhand der Einträge der Versuchspersonen (Vpn). Die Reihung der Aktivitäten erfolgt nach aufsteigender mittlerer Herzfrequenz.

### 2.3.5 Einkanaliges EEG - Quisi®

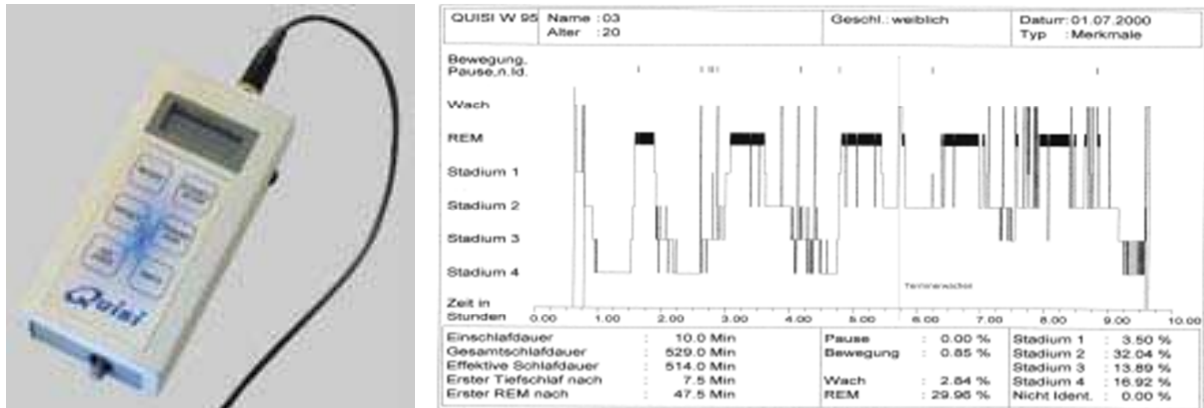


Abb. 12: Quisi und Schlafprofil - Einsatz in Studie 2.

Auf der rechten Seite in Abbildung 12 ist ein klassisches Schlafprofil dargestellt, wie es auch in Schlaflabors von Medizinern oder Psychologen, in der Regel visuell, ausgewertet wird. Quisi - ein einkanaliges, mobiles EEG-Gerät - berechnet das Schlafprofil in einer automatischen Analyse mittels eines neuronalen Netzwerkes. Die Weiterverarbeitung der erhaltenen Analysen bzw. Kennwerte wurde mit dem Statistik Programm SPSS durchgeführt.

### 2.3.6 Vigilanztest

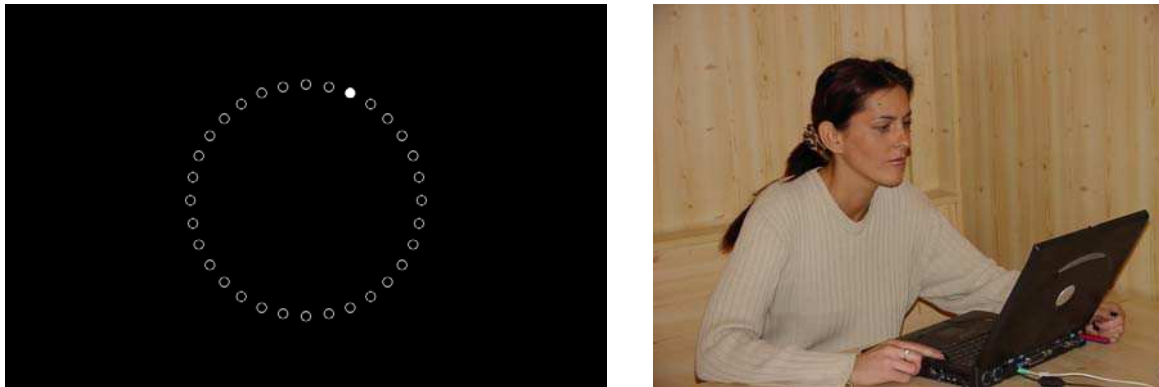


Abb. 13: Daueraufmerksamkeitstest am Laptop - Einsatz in Studie 1.

Dieser Test wird zur Prüfung von Aufmerksamkeitsleistungen (Vigilanz) im Sinne "anhaltender Wachsamkeit in reizarmen Beobachtungssituationen (Induzierung mentaler Beanspruchung) angewendet. Bei dem eingesetzten Verfahren handelt es sich um die Testform nach Müggenburg ("Vigil" aus Wiener Testsystem), in der erschwerend keine Kreisbahn auf dem Bildschirm angezeigt wird. Die Testdauer beträgt etwa 35 Minuten.





### 2.3.9 Der Step-Test

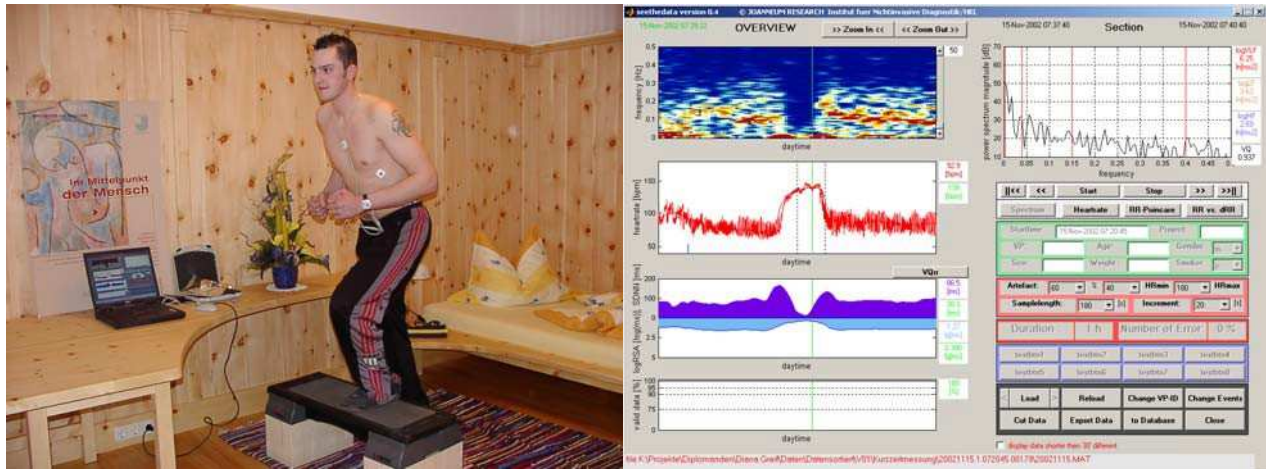


Abb. 15: Harvard-Step-Test in Studie 1: Belastungsfähigkeit und Einrichtung.

Die körperliche Belastungsphase - der Harvard-Step-Test - dauerte genau vier Minuten, wobei die Höhe der Steppstufe an die Körpergröße der entsprechenden Versuchsperson angepasst wurde. Die Trittfrequenz betrug 0,5 Hertz (2 Sekunden). Dabei wurden von einzelnen Versuchsteilnehmern maximale Herzfrequenzen von bis zu 190 Herzschlägen in der Minute erreicht (Range: 124-194 bpm;  $M = 157$ ).

Um einen reibungslosen und standardisierten Ablauf des Step-Tests zu garantieren kam es bereits im Vorfeld zu einem Probedurchgang. Hierbei wurde die Höhe des Steppers eingestellt und die Versuchsperson an die vorgeschriebene Stepfrequenz von 0,5 Hertz gewöhnt.

#### 2.3.10 Auswertesoftware

Das Institut für Nichtinvasive Diagnostik verfügt über umfangreiche Erfahrung im Hard- und Softwarebereich zur Akquisition, Verarbeitung und Visualisierung von Vitalparametern. Der Arbeitsbereich erstreckt sich von der Stressforschung und Prävention über Sport- und Arbeitsmedizin bis hin zur Schlafforschung. Dabei gewährleisten optimale infrastrukturelle Bedingungen einen hohen Qualitätsstandard. Die Entwicklung der Auswertealgorithmen zur HRV-Analyse basieren auf jahrelangen Projekterfahrungen in der Weltraummedizin (AUSTROMIR), Chronobiologie, Arbeitsmedizin (z.B. BAUFIT) und der interdisziplinären Zusammenarbeit mit anerkannten Experten. Mit Hilfe von erprobten, wissenschaftlich evaluierten HRV-Auswerteroutinen mittels des Programmpaketes MATLAB 6.1 ist eine exakte Berechnung, Analyse und grafischen Datenaufbereitung der psychophysiologischen Parameter möglich, wobei die statistische Weiterverarbeitung in der Regel mit dem Statistikprogramm SPSS 10.1.4 erfolgte.



## 2.4 Versuchsräume bzw. Versuchsbetten



Abb. 16: Versuchsräume der Studie 1: Belastungsfähigkeit und Einrichtung - Apfelholzschlüssel.

Die Laborversuche in Studie 1 fanden in den Räumlichkeiten bzw. in Zusammenarbeit mit der Tischlerei Binder in Preding bei Weiz statt. Es wurde darauf geachtet, dass die beiden Versuchsräume bzw. die Versuchsbetten in Studie 2 bis auf das Baumaterial möglichst identisch gestaltet sind.

Die beiden Versuchsräume haben folgende Abmessungen: Länge - 500 cm, Breite - 300 cm und eine Höhe von 290 cm (Tür: 200/95; Fenster: 100/80). Der Holzbedarf bei dem Arvenraum betrug ca. 0,8 m<sup>3</sup> für die Kassettendecke (Oberfläche gewachst; COMPLEX Waterproof Antikwachs FF), ca. 1,5 m<sup>3</sup> für die Wände (Oberfläche geölt - widerstandsfähiger als Wachs; COMPLEX Hartöl) bzw. für Bett, Schreibtisch, Bank, Kasten, Fenster, Tür ca. 1,2 m<sup>3</sup> (Oberflächen geölt; COMPLEX Hartöl). Der gesamte Holzverschnitt betrug ca. 25%. In beiden Räumen wurden Parkettböden aus Lärche (Nagelparkett >Select< 22mm; geölt) verwendet. Für das Holzdekorzimmer (gleiche Größe) wurden 18 folierte Pressspanplatten (2800/2050/19; Dekorspanplatten Holzdesign foliert mit ABS-Umleimer gerundet) verarbeitet. Die teilnehmenden Versuchspersonen schliefen bei Studie 2 (Schlafqualität und Bettenmaterial) in jeder der Versuchsbedingungen (Baseline: Eigenes Bett; Versuchsbedingung 1: Holzdekor- Pressspanbett; Versuchsbedingung 2: Arvenbett; Nachbeobachtung: Eigenes Bett; siehe auch 2.2.1) immer mit einem identischen Lattenrost bzw. auf ihrer gewohnten Liegematratze. Eine Ausnahme bildeten zwei Vpn (V12; V23), welche keine Betten in Standardgröße zur Verfügung hatten und daher einen Lattenrost bzw. eine Matratze für das Holzdekor- bzw. Arvenbett zur Verfügung gestellt bekommen haben.



Holzdekor



Arve

Abb. 17: Versuchsbetten der Studie 2: Schlafqualität und Einrichtung. (rot: Spanplatte beschichtet - Holzdekor)

Die Probandenbetten hatten die Maße 200/180 bzw. 200/90 mit Kopfhaupt und Fußhaupt in Rahmenkonstruktion mit eingefräster Füllung. Die Holzmenge betrug samt Verschnitt 0,3m<sup>3</sup> für ein Doppelbett bzw. 0,2m<sup>3</sup> für ein Einzelbett (2 Stück). Die folierten Betten bestanden wiederum aus Dekorspanplatten mit Holzdesign.

Das Arvenholz (6m<sup>3</sup>) wurde vom Tiroler Waldbesitzerverband (Brixnerstraße 1; A-6020 Innsbruck) bzw. von den Bundesforsten Imst für den Bettenbedarf (2,5m<sup>3</sup>) bereitgestellt.

In der für dieses Projekt verarbeiteten Holzmenge kann man ca. 50-60% Verschnitt bzw. Auslese annehmen, da auch schlechte Holzbretter und Pfosten ausgesondert wurden.

Der gesamte Arbeitsaufwand (Boden, Decke, Wände, Möbel, Fenster, Tür, Betten, Schnitzereien, etc.) für die Möbeltischlerei Binder betrug ca. 800 Stunden (für beide Projekte).

## 2.5 Auswertungen der HRV

Die Berechnung der HRV-Kennwerte erfolgte bei den Laborversuchen immer in fünf Minuten-Abschnitten, wobei die Übergänge zwischen den einzelnen Versuchphasen (siehe auch 2.1.1) nicht mit in die Berechnungen eingingen.

Bei der Feldstudie (Studie 2) erfolgte die Berechnung der HRV ebenfalls aus fünf Minuten-Segmenten, die gegebenenfalls für bestimmte Zeitbereiche gemittelt wurden.

Artefaktbehaftete Bereiche (weniger als 95% gültige Messwerte für den beobachteten Abschnitt) gingen in die entsprechenden Analysen nicht mit ein.

### 3. Ergebnisse

Der folgende Ergebnisteil gliedert sich in zwei Abschnitte, welche die entsprechenden Auswertungen und Resultate der beiden Forschungsstudien getrennt vorstellt.

**1. Abschnitt: Belastungsfähigkeit und Einrichtung (Seite 25 - 33)**

Wirken körperliche und mentale Anforderungen in einem mit Arvenholz ausgekleideten Raum weniger belastend als in einem Raum, der mit Holzdekorspanplatten verkleidet ist?

**2. Abschnitt: Schlafqualität und Bettenmaterial (Seite 34 - 44)**

Wie ist die Schlaf- bzw. Erholungsqualität in Arvenholzbetten im Vergleich zu gleichartigen Holzdekorbetten?

Wie im Methodenteil bereits präsentiert handelt es sich bei beiden Projekten um ein "cross-over" - Design, welches direkte, paarweise Vergleiche der entsprechenden Versuchsperson zwischen der zweifach gestuften Versuchsbedingung (unabhängige Variable: Wandverkleidungs- bzw. Bettenmaterial) zulässt.

In den Abbildungen und Grafiken wird die Versuchsbedingung "Arvenholz" immer blau dargestellt bzw. "Holzdekor" rot. Häufig wurden für die Berechnungen Differenzwerte (Abhängige Variable: Arve minus Holzdekor) verwendet. Als abhängige Variable (AV) gingen physiologische und psychologische Werte in die Auswertung mit ein. Das statistische Signifikanzniveau war mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (Alphafehler) von 5% festgelegt, wobei aufgrund des explorativen Charakters 2-seitig getestet wurde. Die exakten p-Werte sind in der Regel als Fußnote in den Abbildungen ersichtlich. Für die statistische Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse kamen in der Regel parametrische, inferenzstatistische Verfahren zum Einsatz, wobei keine Alpha-Adjustierung erfolgte. Die Voraussetzungen (metrische Daten, Normalverteilung, homogene Varianzen, etc.) dafür sind gegeben und werden nicht explizit in diesem Bericht vorgestellt.

Bei den Abbildungen im Ergebnisteil wird immer auch die Stichprobengröße (n) mit angeführt. Bei dieser Angabe handelt es sich immer um die Anzahl der Versuchspersonen und nicht um die Anzahl der herangezogenen Messzeitpunkte.

### 3.1 Ergebnisse Studie 1: Belastungsfähigkeit und Einrichtung (Raumwirkung)

#### 3.1.1 AutoChrones Bild der gesamten Messabfolge im Labor

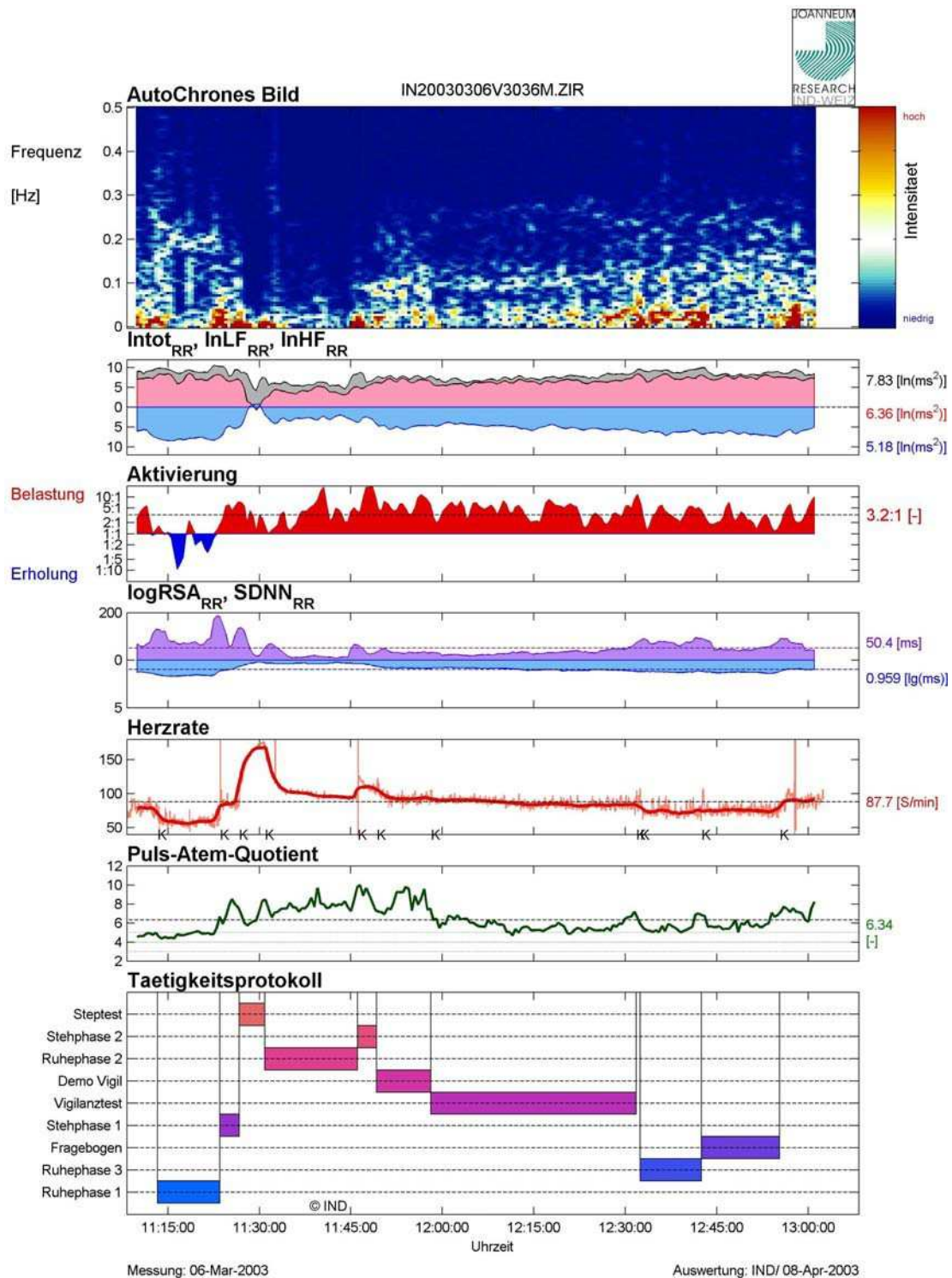


Abb. 18: Beispiel eines AutoChronen Bildes einer Person über den gesamten Messablauf im Labor (n=1).

In dieser Abbildung 18 - dem AutoChronen Bild - ist der gesamte Versuchsablauf bei einer Versuchsperson übersichtlich dargestellt. Gut erkennbar ist ein Absinken der Herzrate in Ruhephase 1 mit gleichzeitiger Absenkung der vegetativen Balance in Richtung Vagotonie (Entspannung). Im



Spektrogramm tritt das Atmungsband (Respiratorische Sinusarrhythmie - RSA) verstärkt hervor. In der anschließenden körperlichen Belastungsphase steigt die Herzfrequenz stark an und die Schwingungsfähigkeit des Herzens (Herzfrequenzvariabilität; HRV) wird drastisch reduziert. Die darauffolgende Ruhephase ist gekennzeichnet von einem langsamen, kontinuierlichen Abfall der Herzrate bei dem gleichermaßen die Variabilität des Herzschlages wieder langsam zunimmt und in Ruhephase 3 wieder einen vorläufigen Höhepunkt erreicht. Allerdings unterscheidet sich diese Ruhephase 3 deutlich von der Ruhephase 1 am Versuchsbeginn, da die Belastungsabfolgen noch nachwirken bzw. ein aktiver, vegetativer Erholungsprozess in Gang ist. Dieser ist gekennzeichnet von einer Zunahme langsamer Schwingungen der Herzrate (v.a. VLF und LF-Komponente: Sympatikoton bzw. LF auch vagoton vermittelt). Die RSA (vgl. Ruhephase 1) würde erst später - bei vollständiger Erholung - wieder sichtbar werden.

### 3.1.2 Physikalische Raumbedingungen der beiden Versuchsräume (Studie 1)

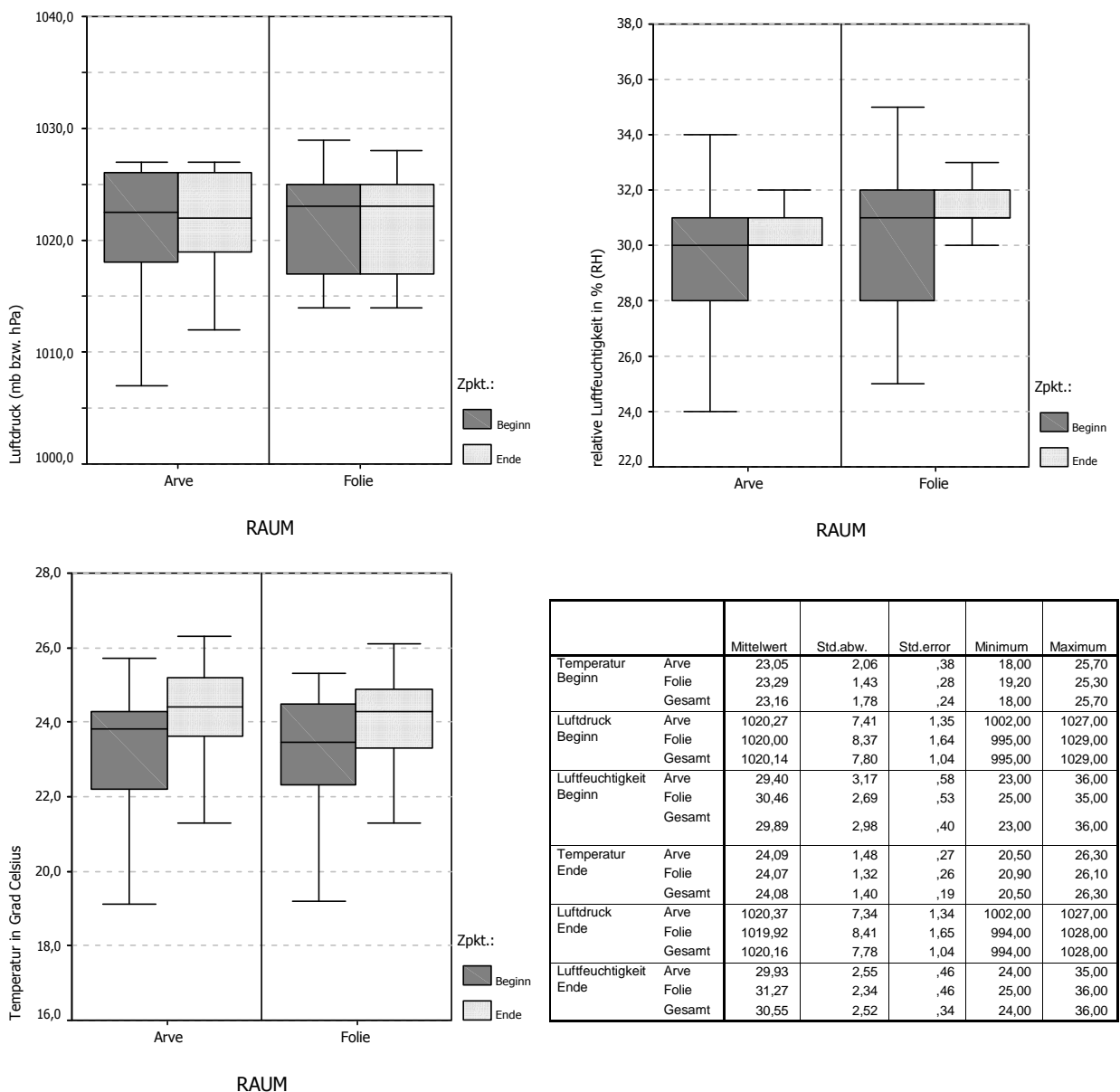
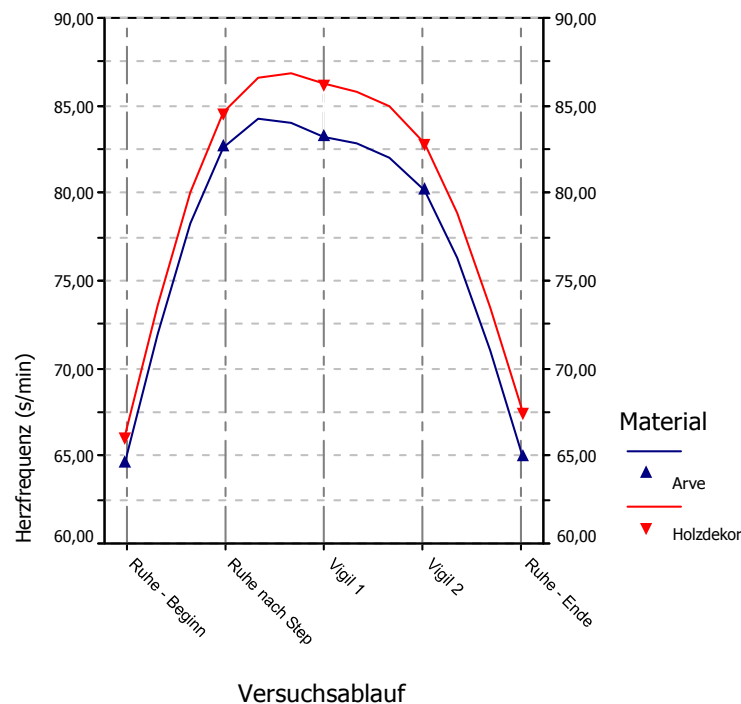


Abb. 19: Physikalische Raumbedingungen am Beginn und Ende der Testbatterie (n=30).

Die räumlichen und physikalischen Bedingungen in den beiden Versuchsräumen wurden jeweils am Beginn bzw. am Ende einer Testung auf einem Versuchsleiterprotokoll notiert. Aus den Darstellungen in Abbildung 19 kann man ersehen, dass die Umgebungsparameter gut ausbalanciert waren und keine überzufälligen Unterschiede in den beobachteten Parametern (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit) zwischen den Versuchsräumen bestanden. Deskriptiv ist eine leicht erhöhte relative Luftfeuchtigkeit im Holzdekor-Versuchsraum erkennbar ( $p=.116$ ), die im Laufe des Versuchs, ähnlich wie die Raumtemperatur, in beiden Räumen leicht ansteigt ( $p=.002$ ). Die durchschnittliche Differenz von einem Prozent relativer Luftfeuchtigkeit kann jedoch als physiologisch vernachlässigbar angesehen werden. Ein möglicher Einfluss auf die HRV wurde geprüft, konnte in diesem Datensatz jedoch nicht aufgefunden werden.

### 3.1.3 Physiologische Ergebnisse der Studie 1

#### 3.1.3.1 Herzrate Versuchsablauf



ALM: Material - sign. Unterschiede ( $F=11,36$ ;  $p=0.001$ )

Abb.20: Mittlerer Herzfrequenzverlauf über bestimmte Messabschnitte im Labor ( $n=27$ ).

In Abbildung 20 ist der mittlere Herzfrequenzverlauf für beide Versuchsräume dargestellt. Der Messablauf wurde hierfür in fünf Minuten Abschnitte eingeteilt, welche durch die verschiedenen Versuchsphasen repräsentiert werden. Für die Berechnungen werden allgemein nur artefaktfreie Messabschnitte ausgewählt bzw. etwaige Ausreißer werden bereinigt und Übergänge zwischen einzelnen Versuchsphasen bleiben unberücksichtigt. Der Aufmerksamkeitstest wurde in zwei physiologische Messabschnitte eingeteilt - einem Anfangsbereich ("Vigil 1" - erste fünf Minuten) und einem Endbereich ("Vigil" 2 - letzte fünf Minuten). Generell zeigt sich im Versuchsablauf eine signifikant niedrigere Herzrate im Arvenraum, welche in der ersten Phase des Aufmerksamkeitstests (Vigil 1) am höchsten wird. Bei Frauen ist der Unterschied etwas stärker ausgeprägt (Abbildung 21).

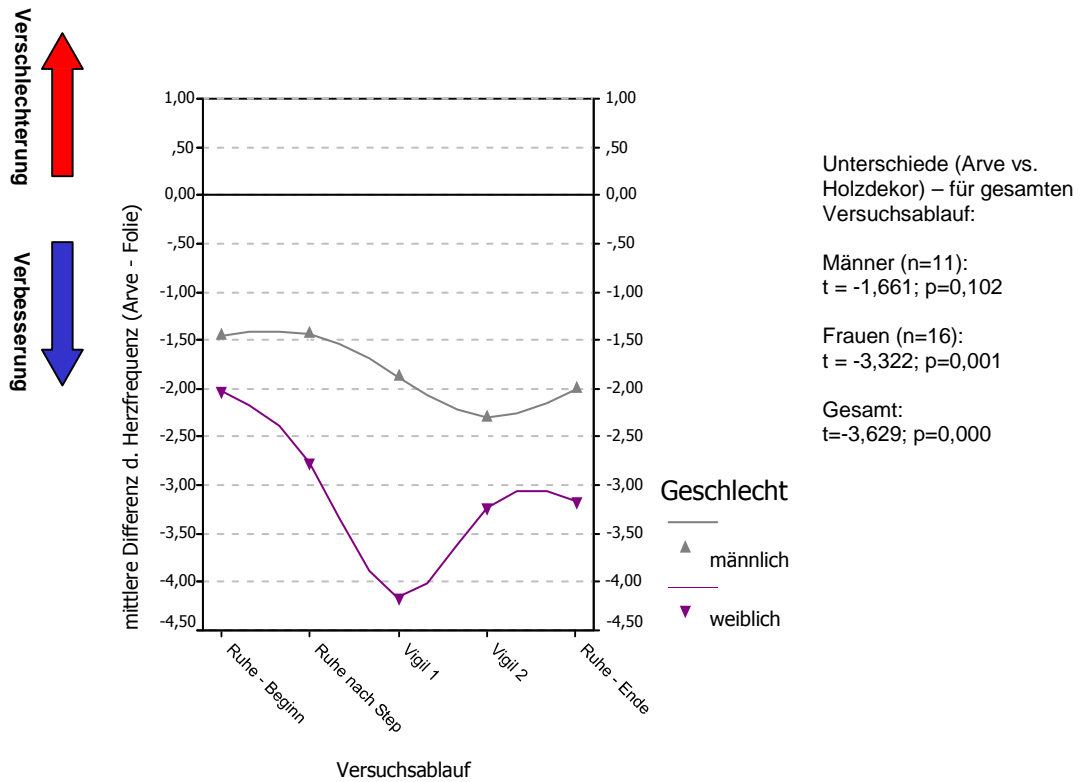


Abb.21: Mittlere Differenzen der Herzfrequenz (Arve minus Holzdekor) über den Messablauf im Labor nach Geschlecht.

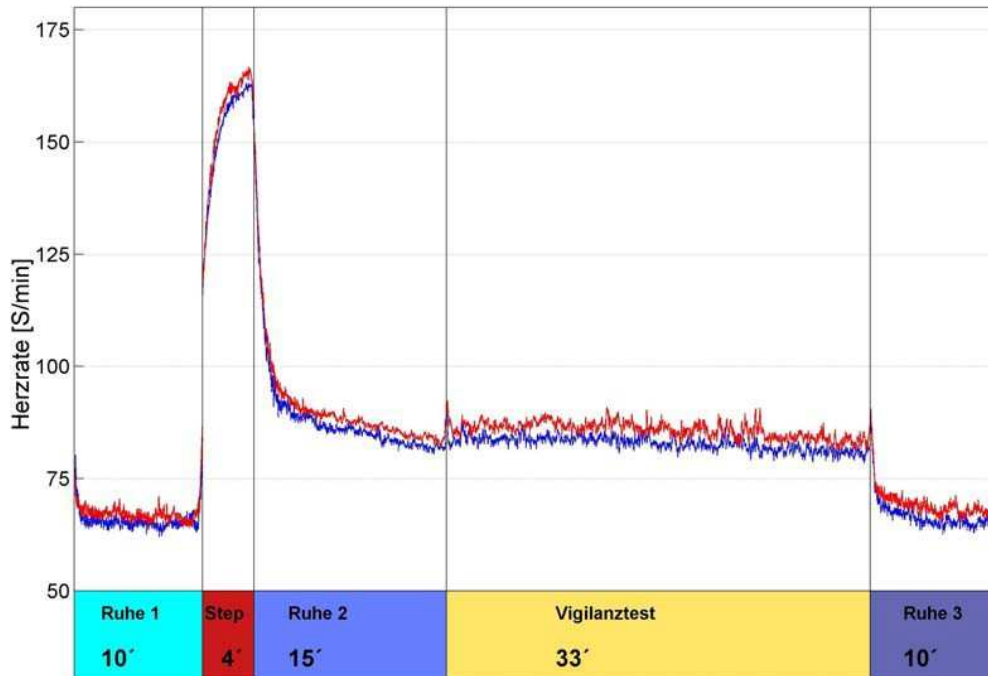


Abb.22: Mittlerer Herzfrequenzverlauf aller Vpn über den gesamten Messablauf in den beiden Versuchsbedingungen (n=27).

In Abbildung 22 ist der kontinuierliche Verlauf der Herzrate in den einzelnen, exakt definierten Messabschnitten dargestellt. Wie mit Abbildung 20 vergleichbar zeigt sich eine deutlich reduzierte Herzrate im Arvenzimmer (blau), wobei die geglättete Differenz in Abbildung 23 dargestellt wird.

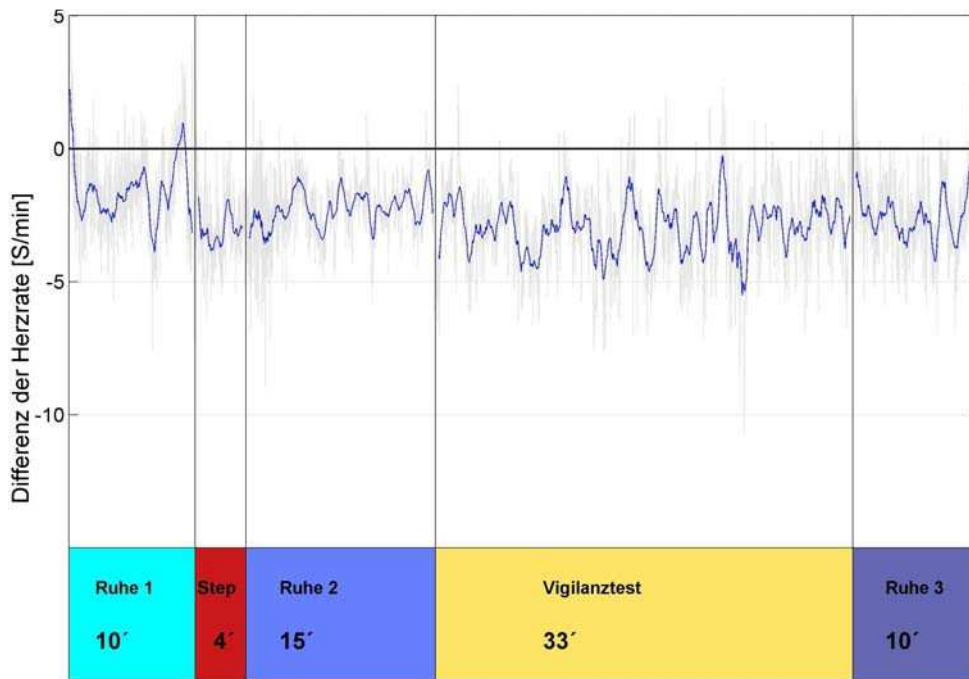


Abb.23: Mittlere Differenzen der Herzfrequenz (Arve minus Holzdekor) aller Vpn über den Messablauf im Labor (n=27).

### 3.1.3.2 Herzfrequenzvariabilität im Labor - lnLF

Die Abnahme der Herzfrequenzvariabilität im Low-Frequency Band (10 Sekunden Rhythmus) wird in der Literatur oft als Indikator für "biologische Kosten" (Beanspruchung des Organismus) angeführt und zeigt sich auch in dieser Studie von der Raumwirkung beeinflusst (Abbildung 24). V.a. in den unterschiedlichen Ruhebedingungen (Liegephases mit geschlossenen Augen) zeigen sich Unterschiede zwischen den beiden Versuchsräumen. Im Holzdekorzimmer war die LF-Komponente im Vergleich zum Arvenzimmer in manchen Versuchsphasen signifikant reduziert.

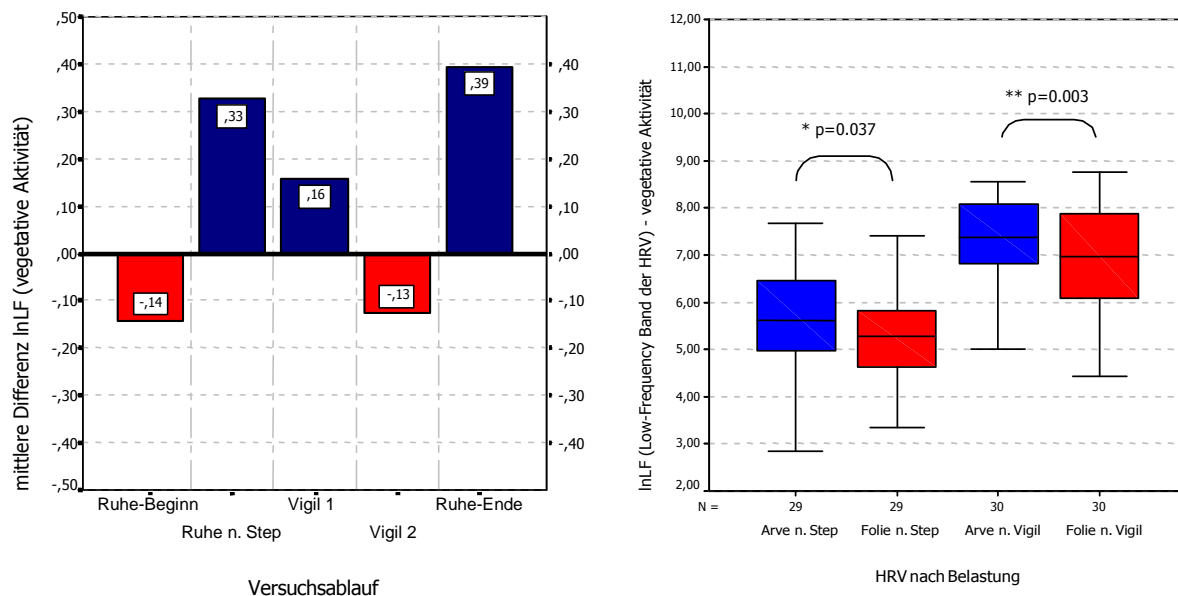


Abb.24: Differenzen der LF-Komponente (Arve minus Holzdekor) über den Messablauf und entsprechende Absolutwerte im Labor.



### 3.1.3.3 Weitere Auswertungen - Wetterfähigkeit

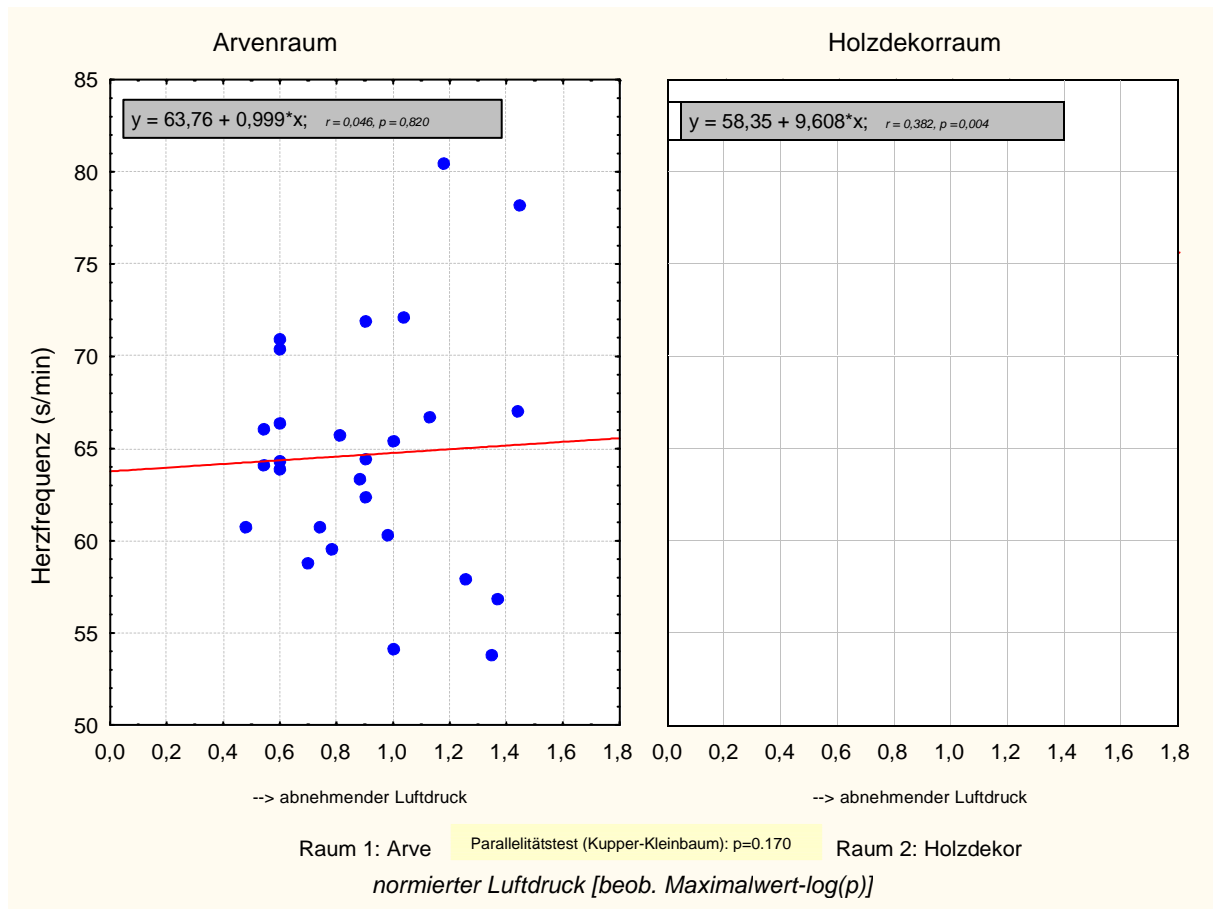


Abb.25: Raumwirkung und mögliche Interaktion mit vorherrschenden Luftdruck; Eine physiologische "Wetterfähigkeit" ist nur im Holzdekorraum (rechts) gegeben (n=27).

Wenn man die Abhängigkeit der Herzschlagfrequenz vom Luftdruck betrachtet, so zeigt sich, dass im Arvenraum (links) kein Zusammenhang festgestellt werden kann (Abbildung 25). Anders im Holzdekorraum (rechts), hier zeigt sich ein Einfluss des Luftdrucks auf die Herzrate (je niedriger der Luftdruck desto höher die Herzrate). Eine mögliche "Wetterfähigkeit" ist also im Holzdekorraum physiologisch wahrscheinlicher als im Arvenraum.

### 3.1.4 Psychologische Ergebnisse der Studie 1

#### 3.1.4.1 Vigilanztest

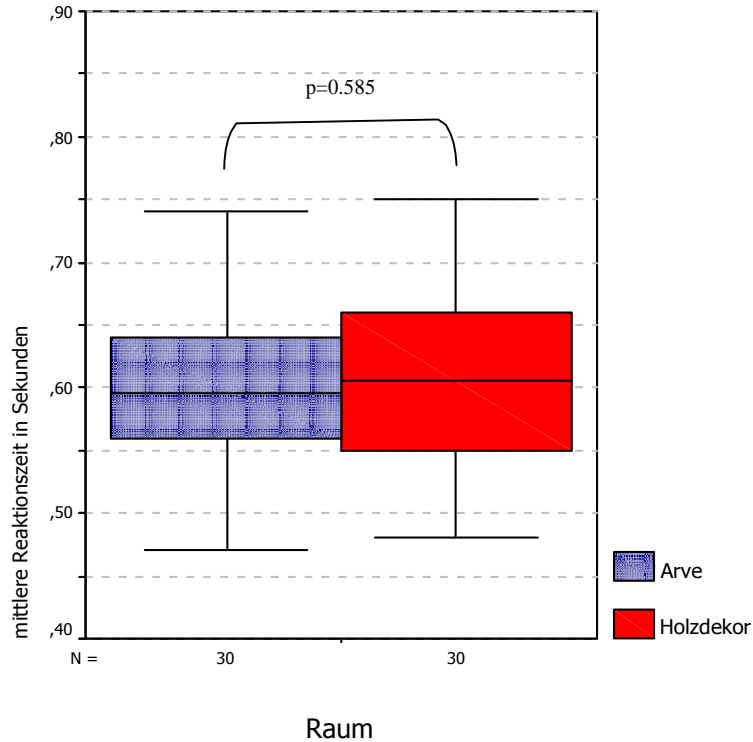
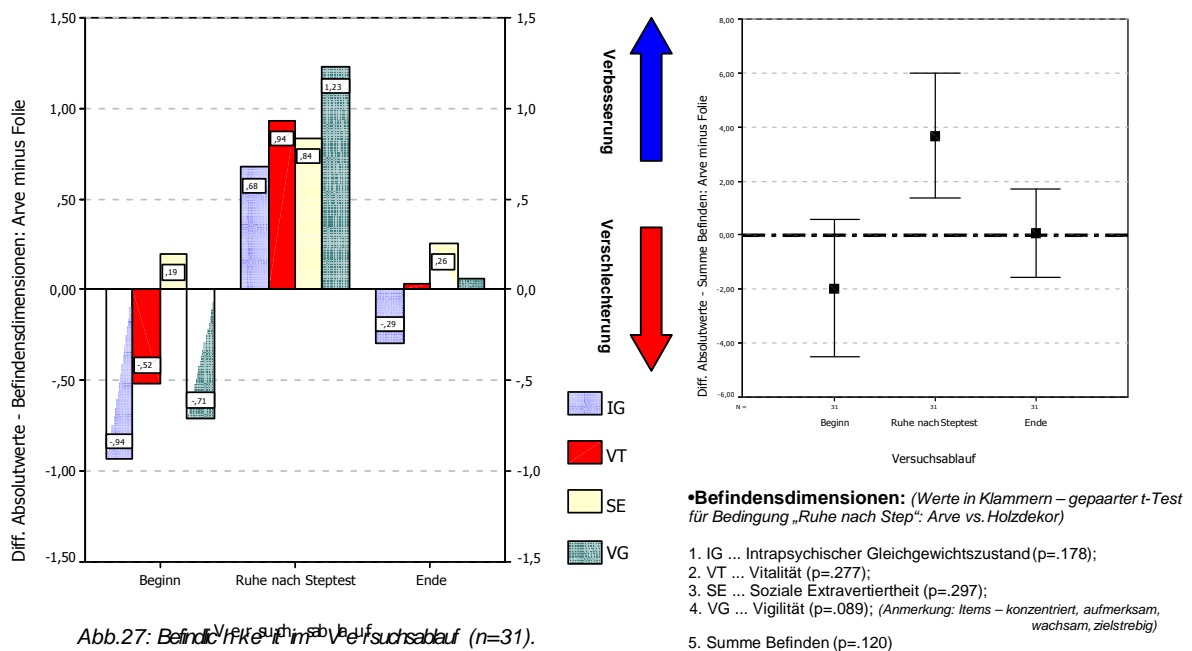


Abb.26: Ergebnisse Daueraufmerksamkeitstest (n=30).

Während des Aufenthalts in den Versuchsräumen mussten die Probanden einen Daueraufmerksamkeitstest im Sitzen durchführen. Bei dieser mentalen Beanspruchung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Leistungskennwerten (Reaktionszeit, Verlauf, Fehler, etc.), sehr wohl jedoch auf der physiologischen Ebene (z.B. Abbildung 20).

### 3.1.4.2 Befinden

Während des Versuchsablaufs wurde dreimal ein standardisierter Fragebogen zur Befindlichkeit dargeboten (siehe Pkt.: 2.4.2). Bei Vergleich des subjektiven Befindens in den beiden Räumen zeigt sich, dass am Beginn der Studie das Befinden im Holzdekorraum etwas besser beschrieben wurde, was sich jedoch im Testverlauf ändert (Abbildung 27). In der Ruhephase nach der körperlichen Belastung (Stepptest) berichten die Probanden im Arvenraum über ein tendenziell höheres Maß an Vigilant und auch die anderen Befindensdimensionen bzw. das Gesamtbefinden werden verstärkt (positiver) wahrgenommen und eingeschätzt. Die soziale Extravertiertheit ist zu allen Zeitpunkten im Arvenraum deskriptiv etwas höher. Am Ende des Versuchsablauf verschwinden diese Befindensunterschiede in den beiden Räumen wieder.



### 3.1.5 Inhaltliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen in Studie 1

Folgende Unterschiede zwischen Holzdekor- und Arvenzimmer wurden bei den Belastungstests gefunden:

- A1. Die Herzfrequenz im Arvenzimmer ist geringer, insbesondere in den zwischen Arven- und Holzdekorzimmer an die Belastungsphasen anschließenden Erholungsphasen.
- A2. Bei Auftrennung nach dem Geschlecht zeigen beide Geschlechter die gleiche Tendenz, wobei Frauen stärkere Unterschiede aufweisen. Bei Frauen und Männer nimmt die Differenz mit der Dauer des Aufenthalts zu - die maximale Wirkung wird nach ca. 45 Minuten erreicht, danach stabilisiert sich die Wirkung.
- A3. Die Abnahme der Blutdruckkomponente in der HRV ist nach Belastung im Arvenzimmer niedriger - die biologischen Kosten der Beanspruchung sind somit geringer.
- A4. Die Herzfrequenz der Vpn ist im Holzdekorzimmer luftdruckabhängig - es besteht eine Wetterfühligkeit - ein Zeichen für Instabilität des Kreislaufs.  
Diese Abhängigkeit ist im Arvenraum nicht zu beobachten.
- A5. Nach Belastung erleben sich die Vpn im Arvenraum tendenziell vigilanter, ausgeglichener, vitaler und kontaktfreudiger. Zwar erreichen die Werte kein hochsignifikantes Niveau, doch geben sie mit den im 2. Teil der Studie erhobenen signifikanten Erhöhungen der Kontaktfreudigkeit eine interessante Fragestellung:  
Noch vor einigen Jahrzehnten waren Gastzimmer in Landgasthöfen mit Arvenholz verkleidet - wurde damit die Gesprächigkeit und Kontaktfreudigkeit im Wirtshaus erhöht?
- A6. Die psychologischen Messverfahren konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsräumen (Holzdekor bzw. Arve) aufzeigen. Dies spricht gegen mögliche Verzerrungen durch Placeboeffekte (z.B. Erwartungshaltung der Vpn). Die vorhandenen physiologischen Unterschiede können von den TeilnehmerInnen kaum wahrgenommen werden - objektive Methoden sind den subjektiven Einschätzungen offensichtlich überlegen.

### 3.2 Ergebnisse Studie 2: Schlafqualität und Bettenmaterial

In der zweiten Studie wurde ein möglicher Einfluss des Bettmaterials auf die Schlafqualität geprüft. Die Probanden verbrachten ihre Nachtruhe für einen längeren Zeitraum (~ 3 bis 4 Wochen) einmal in einem Arvenbett (blau), in dem eigenen Bett bzw. in einem Holzdekor-, Spanplattenbett (rot; Pkt. 2.2.1).

#### 3.2.1 Physiologie

##### 3.2.1.1 AutoChrono Bilder der gesamten Messabfolge im Feld (Studie 2)

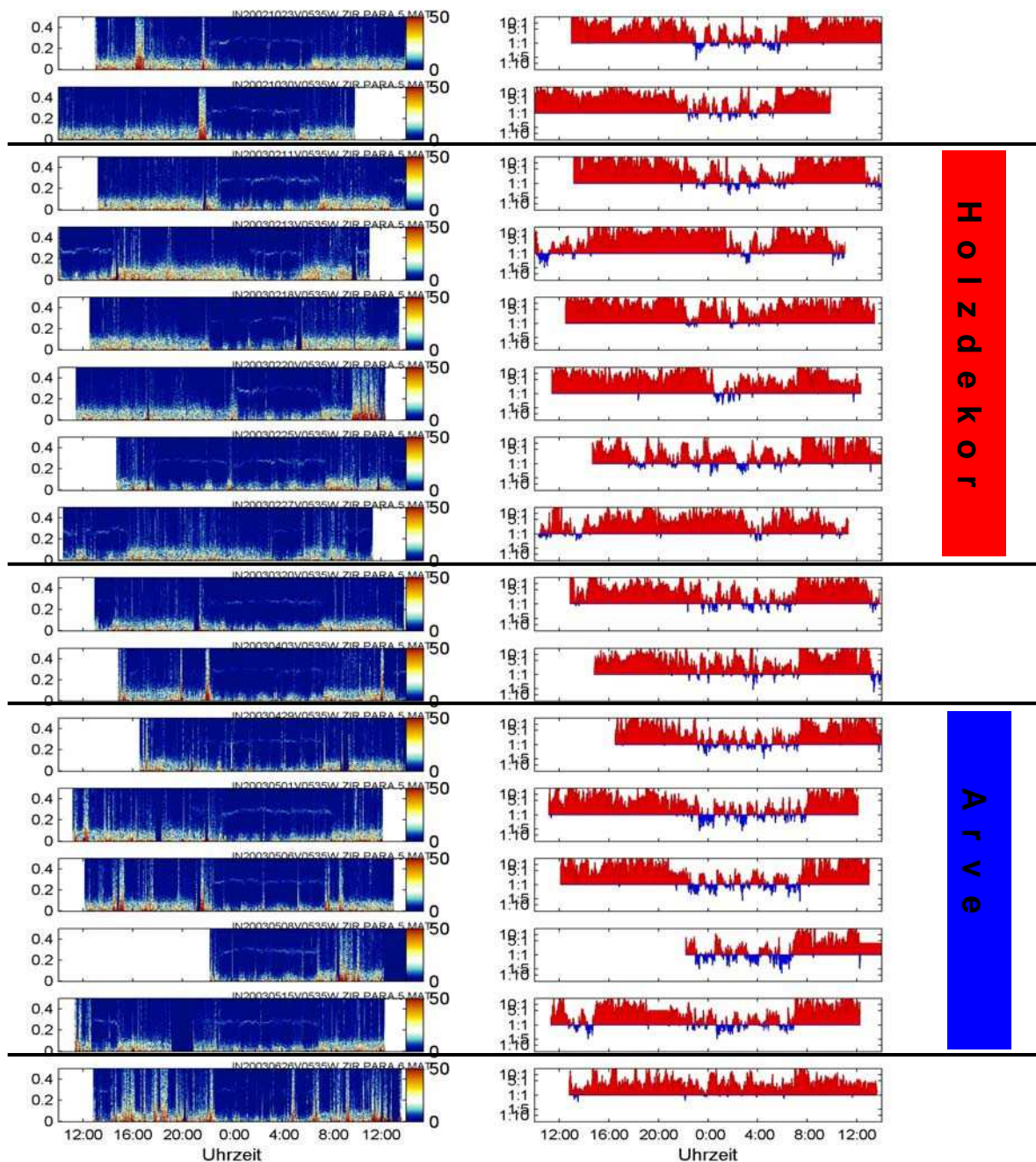


Abbildung 28: Beispiel der Messung einer Versuchsperson über den gesamten Messablauf; Im AutoChronon Bild (links) sind die Körperhythmen im Tagesverlauf abgebildet, in der vegetativen Bilanz (rechts) der Ablauf von Belastung (rot) und Erholung (blau) im jeweiligen Tagesverlauf. Die Zunahme der Erholungsphasen (blau) in der Nacht im Arvenholzbett sind deutlich erkennbar (n=1).

In der Abbildung 28 ist der gesamte Versuchsablauf einer Versuchsperson anhand des AutoChronen Bildes (links) und vegetativen Bilanz (rechts) in der Übersicht dargestellt. Es ist erkennbar, dass sich die Schlafarchitektur und damit die Erholungsfähigkeit deutlich - in Abhängigkeit von dem Bettrahmenmaterial - bei der hier vorgestellten Person verändert. Die Schlafarchitektur (ultradiane Rhythmik) und -tiefe ist am Verlauf der vegetativen Bilanz (VQ; lnLF/lnHF; rechte Seite Abb. 28) gut erkennbar. Im Holzdekorbett erreicht der VQ nur selten den erholsamen, blau markierten vagotonen Bereich und die Schlafphasen (NREM/REM) sind nicht so deutlich und rhythmisch ausgebildet wie im der Arvenholzbett.

### 3.2.1.2 Tagesgänge (Studie 2)

Bei einer chronobiologischen Darstellung über 24 Stunden zeigen sich verstärkte Tagesamplituden (zirkadiane Rhythmen; z.B. HR, logRSA - Abbildung 29) in den physiologischen Kennwerten mit einer stärkeren Nachtabenkung in den Arvenholzbetten. Hierfür wurden Fünf-Minuten-Segmente über eine Stunde gemittelt und über 24 Stunden aufgetragen. Ergänzend zum mittleren Tagesverlauf sind die Standardfehler des Mittelwertes (SEM) aufgetragen. Die Daten der 15 Versuchspersonen wurden für die entsprechenden Versuchsbedingungen (Arvenbett versus Holzdekorbett) zusammengefasst, wobei in der Regel sechs Messzeitpunkte (25 Stunden-Messungen) je Person bzw. Versuchsbedingung in die Analyse eingingen (d.h. 6 x 15 Datensätze für einen Messpunkt).

Die deutlichsten Effekte bzw. Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen zeigen sich während der Nachtruhe. In dieser Zeit wirken die vorgegebenen Versuchsbedingungen auch direkt auf den Organismus ein.

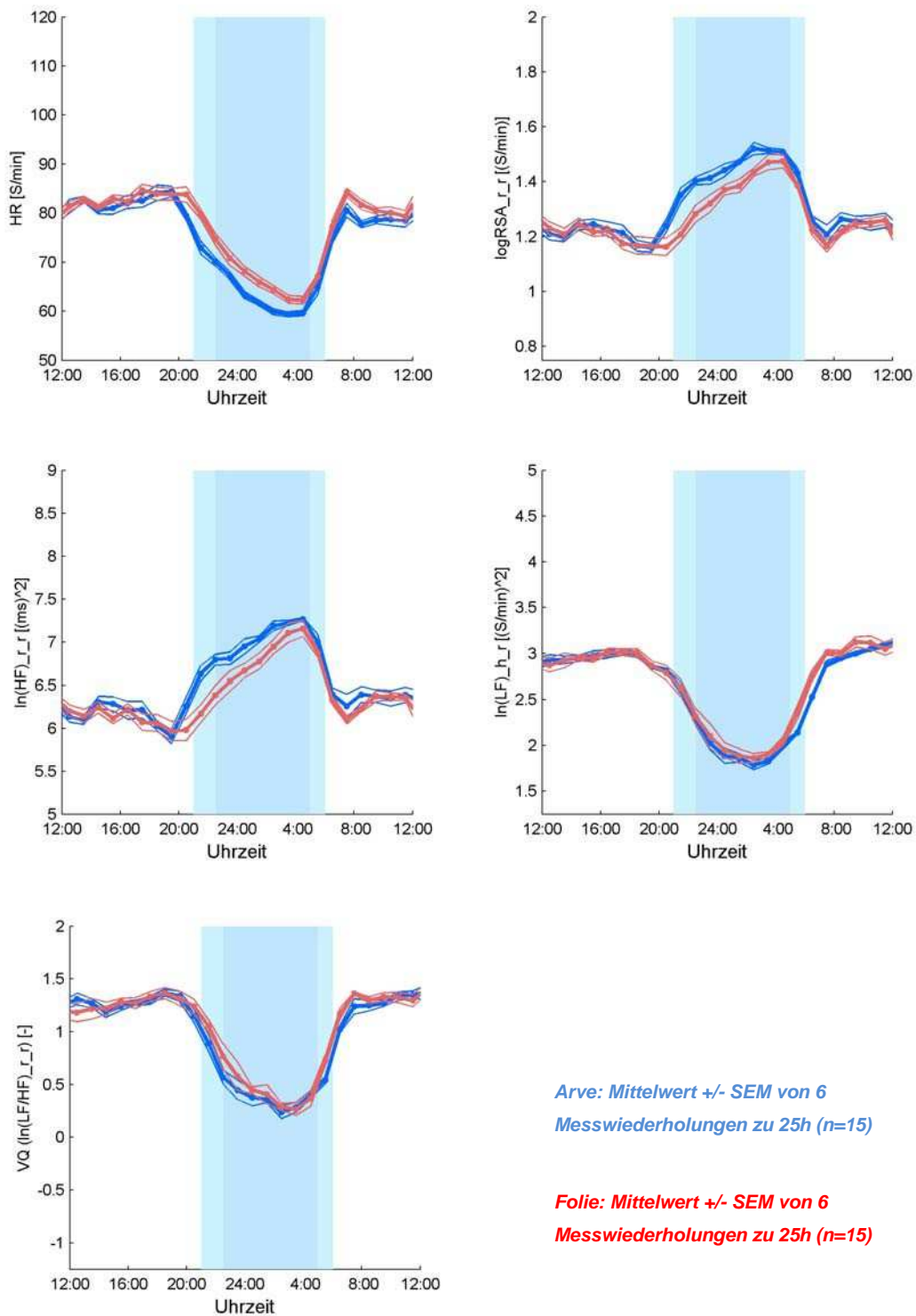


Abbildung 29: Gemittelte Tagesgänge physiologischer Parameter während der Schlafzeiten in Holzdekorbetten (Folie, rot) und Arvenholzbetten (Arve, blau); Deutliche Unterschiede sind in der Nacht zu bemerken: Der Schlaf im Arvenholzbett ist deutlich erholsamer (geringere Herzfrequenz, höherer Vagustonus und etwas geringerer vegetativer Quotient).

In weiterer Folge werden die signifikanten Unterschiede einzelner HRV-Parameter getrennt vorgestellt. Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten allgemein nicht statistisch abgesichert festgestellt werden, waren tendenziell jedoch gleich gewichtet.

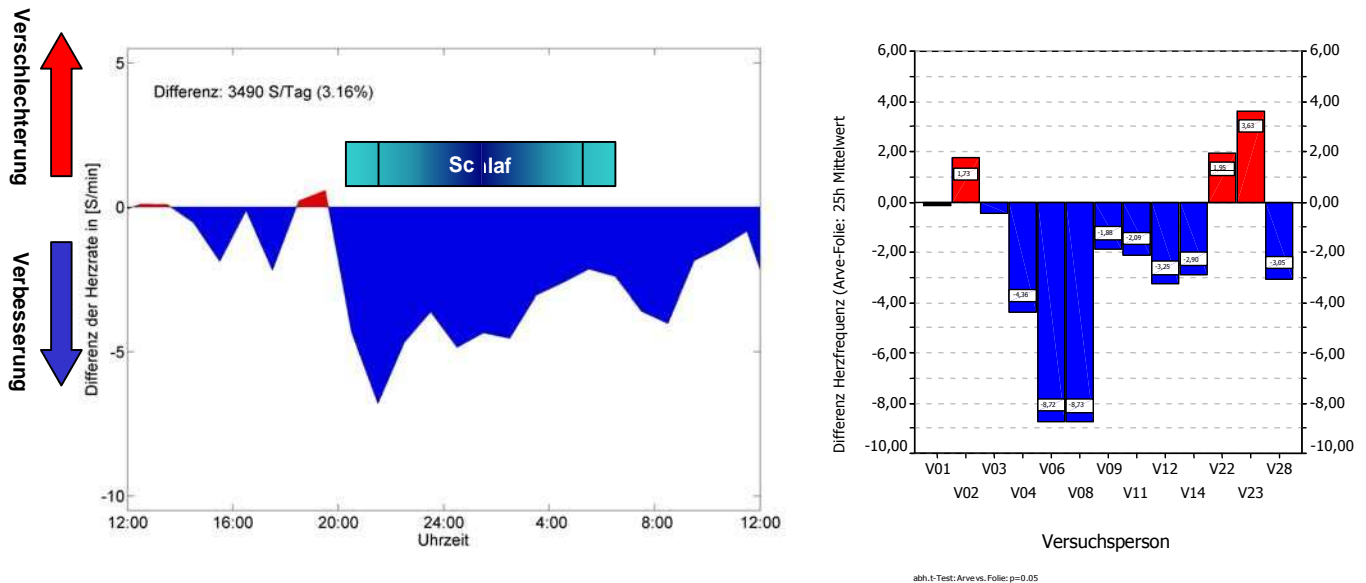


Abbildung 30: Differenzen des Herzratenverlaufs und der Tagesmittelwerte für jede Versuchsperson (n=13).

Als ergänzender Auswertungsschritt wurden die Differenzwerte zwischen den Schlafwerten in Arven- bzw. Holzdekorbetten gebildet (Abb. 30 - linke Grafik). Es ist erkennbar, dass die Herzrate mit dem Beginn der Schlafzeit deutlich niedriger wird, wenn man seine Nachtruhe in einem Arvenbett verbringt (im Vergleich zu einem Holzdekorbett). Morgens nehmen die Unterschiede etwas ab, doch hält sich den ganzen Tag die Wirkung des Arvenholzbettes. Die gesamte Ersparnis an Herzschlägen in der Nacht und am Morgen beträgt ca. 3500 Schläge/Tag, das entspricht etwa einer Stunde Herzschlagdauer. Auf der rechten Seite der Abbildung 30 sind die Tagesmittelwerte der einzelnen Teilnehmer über 25 Stunden aufgetragen und hier zeigt sich bei der überwiegenden Zahl der Versuchspersonen das gleiche Bild. Der Schlaf in einem Arvenbett führt zu einem signifikanten mittleren Absinken der Herzrate, um bis zu neun Herzschlägen in der Minute. Für eine weitere statistische Prüfung wurden die physiologischen Tagesverläufe auf drei zweistündige Messabschnitte (13-15, 1-3 und 8-10 Uhr) reduziert (Abbildung 31).



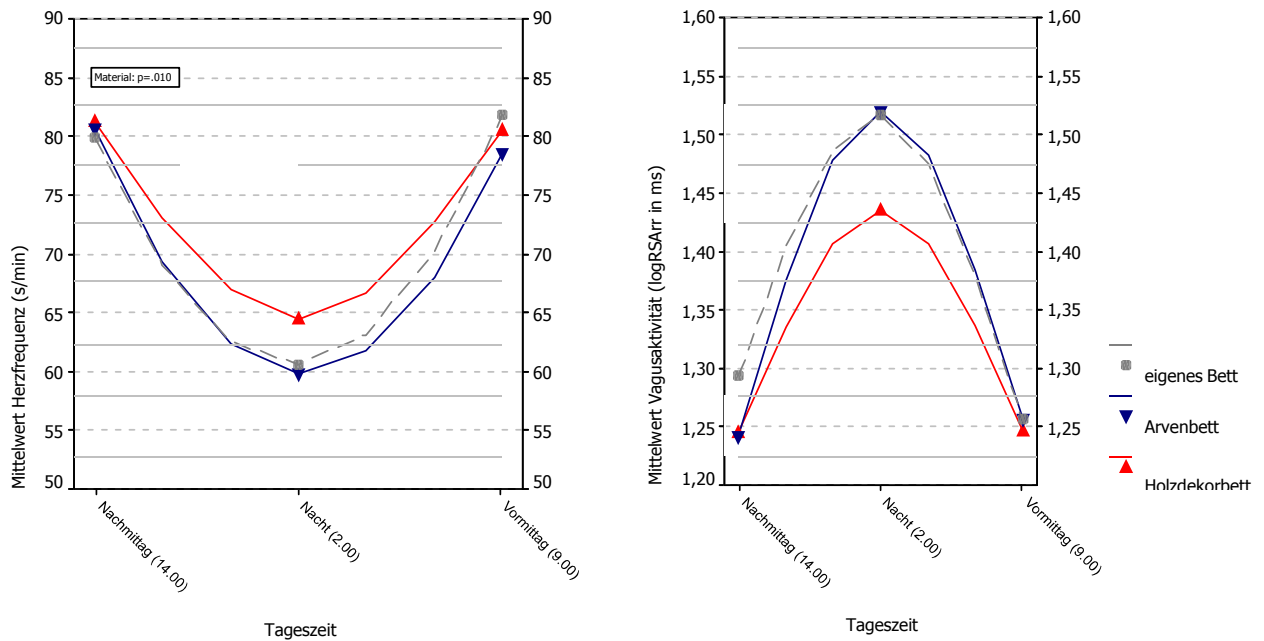


Abbildung 31: HR und Vagustonus zu verschiedenen Tageszeiten bei Schlaf im Arvenbett (blau) oder Holzdekorbett (rot); Besonders in der Nacht sind die Unterschiede deutlich ausgeprägt und zeigen eine bessere Erholung im Arvenholzbett an ( $n=15$ ).

Bei inferenzstatistischer Testung der Tagesgänge zeigt sich, dass sich bei der Herzrate die beiden Versuchsbedingungen hoch signifikant unterscheiden lassen (mehrfaktorielles ALM für Messwiederholungen). Der zirkadiane Rhythmus ist im Arvenbett besser ausgeprägt, was v.a. auf eine erniedrigte Herzrate während des Schlafes zurückgeführt werden kann. Bei der logRSA (Vaguswert) und weiteren HRV-Parametern (siehe auch Abb. 29) zeigt sich ein ähnliches Bild. Der Vagustonus (logRSA, lnHF) ist im Holzdekorbett - während des Schlafes - verringert, wobei der Sympathikustonus (lnLF bzw. lnVLF - nicht explizit dargestellt) nahezu unverändert bleibt. Zusätzlich sind in Abbildung 31 auch die zwei Baselinemessungen im eigenen Bett (grau-strichliert) erkennbar. In die Auswertungen gingen in der Regel jeweils sechs Messungen pro Person ein (Arve und Holzdekor) bzw. zwei Messungen im eigenen Bett.

### 3.2.1.3 Physiologie: Schlaf (Studie 2)

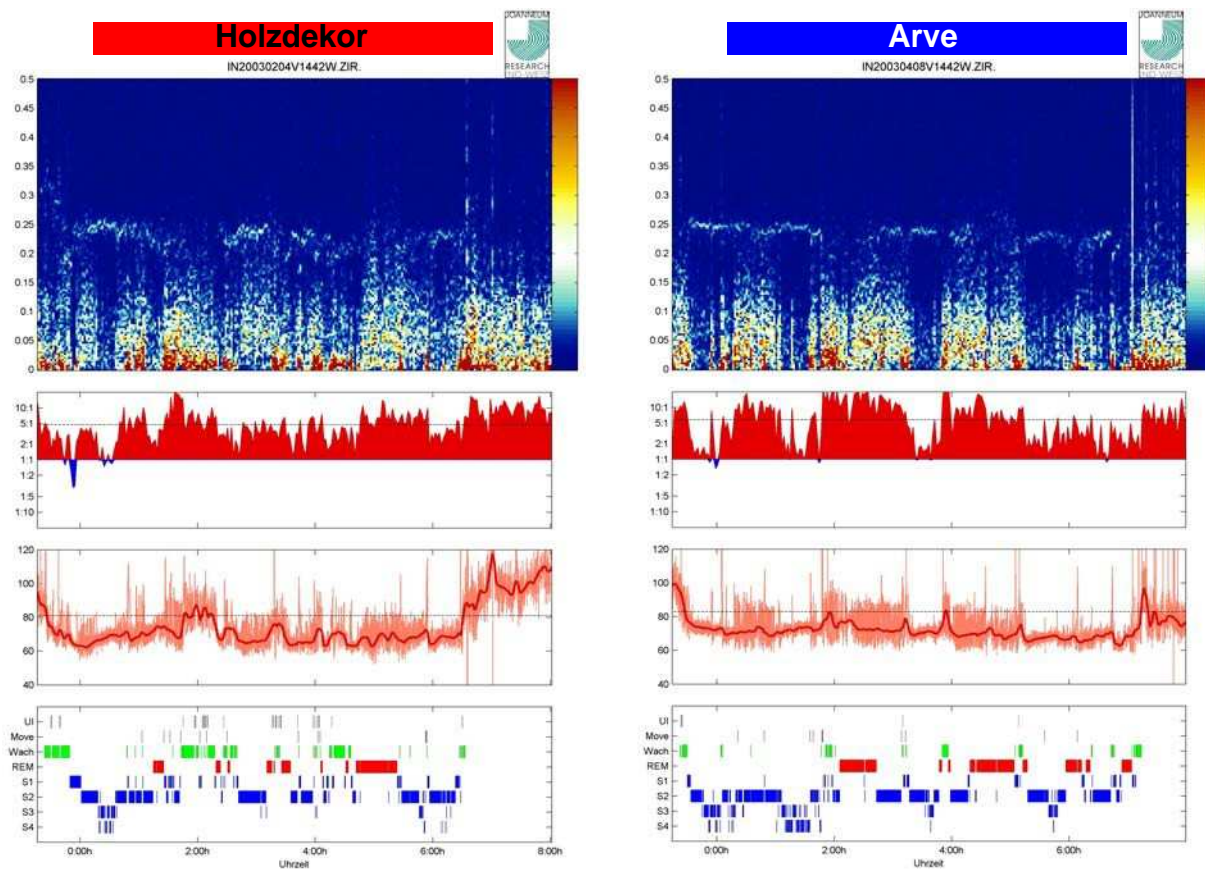


Abbildung 32: Schlaf: HRV und EEG (n=1).

In Abbildung 32 sind zwei Nächte derselben Versuchsperson (V14) mit zusätzlichem Schlafprofil (Quasi-Messung) dargestellt. Im Holzdekorbett verläuft die Nachtruhe bei diesem Fallbeispiel unruhig - die Abfolge der Schlafzyklen und die Schlaffeffizienz (72,5%<sub>Holzdekor</sub> vs. 90,8%<sub>Arve</sub>) scheint beeinträchtigt (siehe 1, 2 und 4 Zeile) bzw. die Einschlafzeit verzögert (37 Minuten<sub>Holzdekor</sub> vs. 11 Minuten<sub>Arve</sub>). Wenn man diesen Schlaf mit der Nachtruhe im Arvenbett vergleicht, zeigt sich v.a. eine bessere Schlafarchitektur (ultradiane Rhythmik - Abfolge Schlafphasen), bei größerem Tiefschlafanteil (6,8%<sub>Holzdekor</sub> vs. 15,7%<sub>Arve</sub>), kürzerer Schlaf- bzw. Tiefschlafzeit (17,5 Minuten<sub>Holzdekor</sub> vs. 11,5 Minuten<sub>Arve</sub>) und weniger Wachphasen (15,5%<sub>Holzdekor</sub> vs. 5,7%<sub>Arve</sub>) im Arvenbett. Die vegetative Balance (2 Zeile) ist vom Niveau her vergleichbar, allerdings mit unterschiedlicher Rhythmizität. Um diese Ergebnisse des ausgewählten Fallbeispiels zu überprüfen, wurden wiederum die beiden Versuchsbedingungen für die gesamte Stichprobe einander gegenübergestellt.

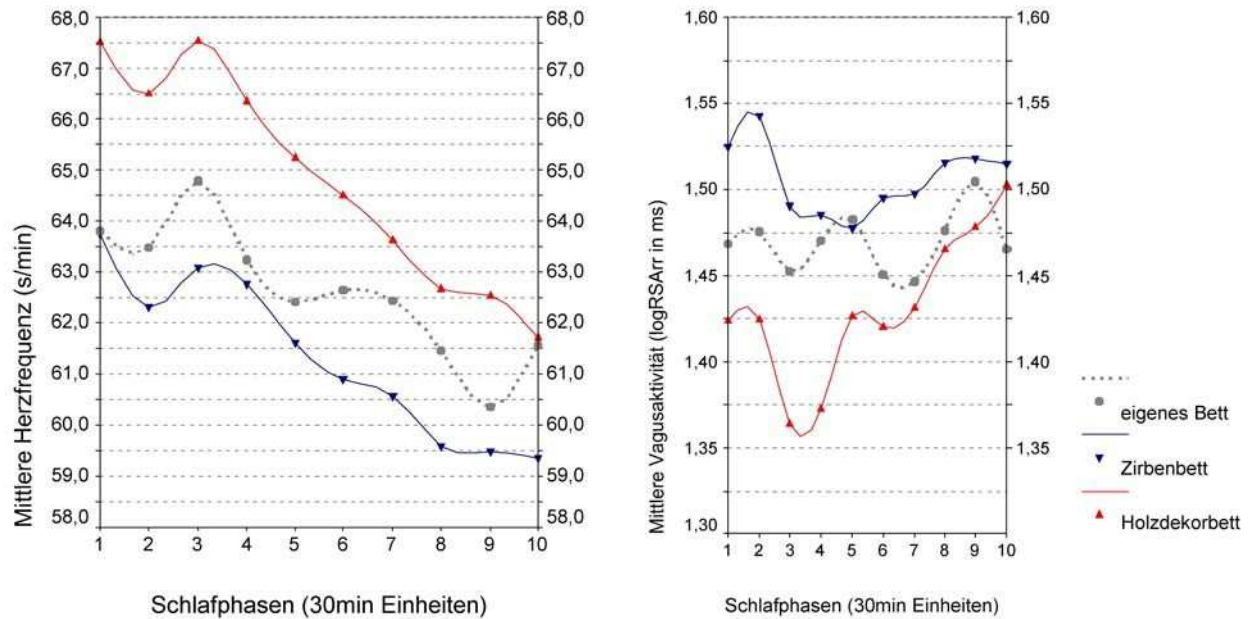


Abbildung 33: Schlaf und HRV: HR und logRSA (n=15).

Bei statistischer Betrachtung der Nachtruhe bestätigt sich der im Einzelfall dargestellte Unterschied zwischen den beiden Versuchsbedingungen (Abb. 33). Die Herzrate ist im Holzdekorbett (rot) von Anfang um durchschnittlich drei Herzschläge höher als im Arvenbett (blau), wobei dieser Unterschied auch in den ersten fünf Stunden des Schlafes konstant erhalten bleibt (ALM: Faktor Material:  $p < 0.050$ ). Die Baselinemessungen befinden sich ungefähr dazwischen. Der Vagustonus zeigt einen ähnlichen Verlauf (ALM: Faktor Material:  $p < 0.050$ ), wobei sich die beiden Versuchsbedingungen gegen Ende des Kernschlafes (nach den ersten vier Schlafstunden) wieder langsam annähern. Im Arvenbett kann sich das Probandenkollektiv von Beginn der Bettruhe an gut erholen (hoher Vaguswert), wohingegen im Holzdekorbett erst nach fünf Stunden Ruhe das gleiche Entspannungsniveau erreicht wird. Auch die InLF-Komponente der HRV zeigt ein signifikant höheres Niveau im Arvenbett (nicht dargestellt), was auf eine deutlich verstärkte HRV rückschließen lässt und einen vergleichbaren vegetativen Quotienten (VQ) unter beiden Bedingungen bewirkt.

Bemerkenswert erscheint, dass das eigene Bett (grau) der Versuchspersonen Werte zwischen denen des Holzdekorbettes (schlechter) und des Arvenholzbettes (besser) erzeugt. Trotzdem das Arvenholzbett für die Vpn neu und ungewohnt ist, schlafen die Vpn besser als im gewohnten Bett.

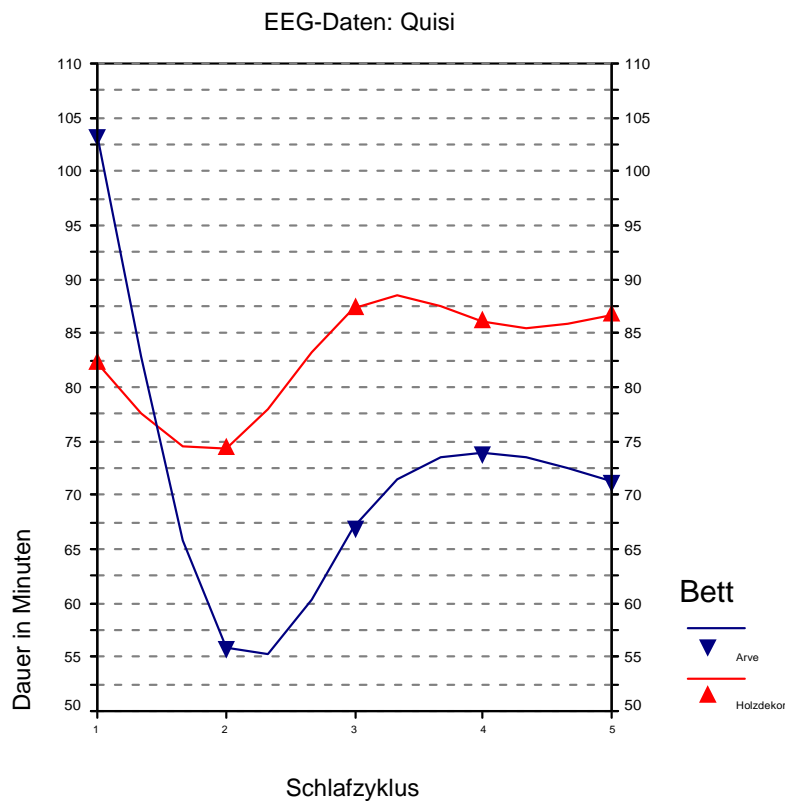


Abbildung 34: Schlaf und EEG: Schlafzyklen (n=8).

Wie bereits im Methodenteil beschrieben, kamen auch einkanalige EEG-Nachtableitungen zum Einsatz (Quisi; siehe auch Abb. 32), wobei sich hier in den Ergebnissen (klassische Parameter in der Schlafforschung) generell weniger Unterschiede zwischen den Bedingungen feststellen lassen. Auffallend waren hier v.a. die veränderte Zeitdauer der einzelnen Schlafzyklen (Abb. 34). Im Holdekorbett dauerte der erste Schlafzyklus im Schnitt nur 82 Minuten, wohingegen im Arvenbett die Probanden durchschnittlich 103 Minuten in ihrem ersten Schlafzyklus verweilten. (ALM: Wechselwirkung: Raum x Zyklus:  $p=0.076$ ).

Der ersten Schlafphase wird von einigen Schlafforschern besondere Bedeutung für die Schlafqualität zugeschrieben. Eine Verlängerung könnte daher als günstig interpretiert werden.

Die Ableitung des EEG misst kortikale Anteile der Gehirnaktivität, also die Aktivität der Hirnrinde. Mit der Messung der HRV werden Stammhirnanteile messbar, die dem Schlafzentrum näher liegen und daher die Schlafqualität besser wiedergeben.

### 3.2.2 Psychologie

Begleitend zu den physiologischen Messungen mussten regelmäßig psychometrische Fragebögen beantwortet werden, um die möglichen Auswirkungen des Bettenmaterials auch auf psychologischer Ebene abbilden zu können. Dabei zeigte sich, dass die erhaltenen psychologischen Rückmeldungen der Versuchsteilnehmer in die gleiche Richtung gehen wie die bereits vorgestellten physiologischen Resultate.

#### 3.2.2.1 Befinden (Studie 2)

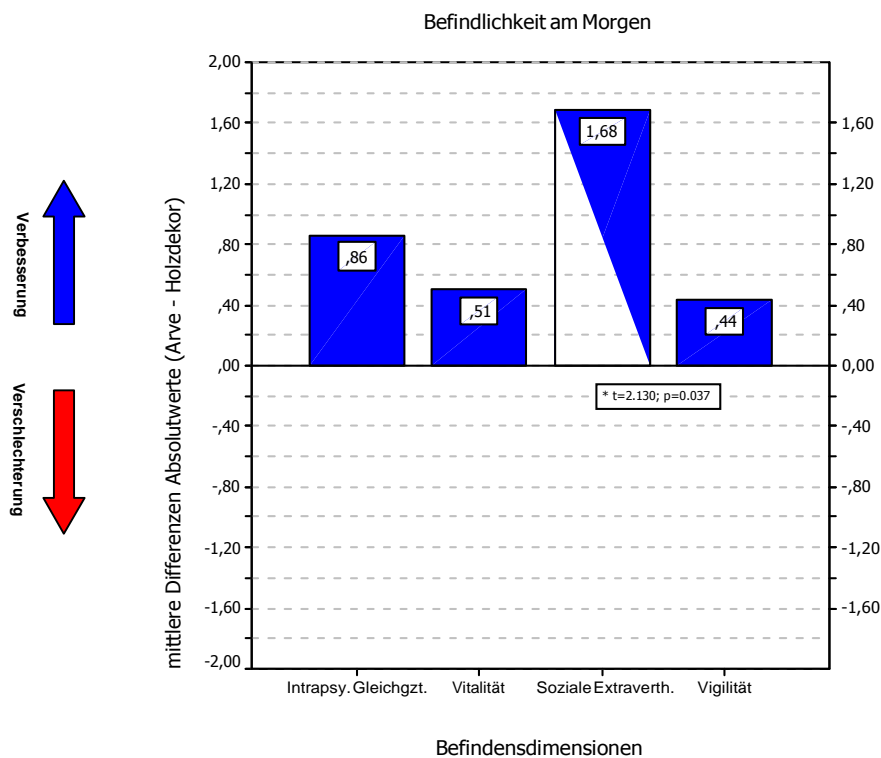


Abbildung 35: Morgendliches Befinden (n=15).

Der standardisierte Befindlichkeitsfragebogen wurde von den Probanden immer am Morgen einer 25 Stunden EKG-Messung ausgefüllt und soll das Befinden nach dem Aufwachen dokumentieren. Bedeutsame statistische Unterschiede zeigen sich hier bei der Dimension „Soziale Extravertiertheit“ (Abb. 35; vgl. auch Abb.27). Diese Befindensdimension wird durch folgende Einzelitems repräsentiert:

*redselig, gesellig, mitteilsam, kontaktfreudig, ungehemmt*

Auch die restlichen Befindensdimensionen zeigen in die gleiche positive Richtung (stärkere Ausprägung im Arvenholzbett), konnten jedoch nicht statistisch abgesichert werden.

### 3.2.2.2 Subjektive Schlafqualität (Studie 2)

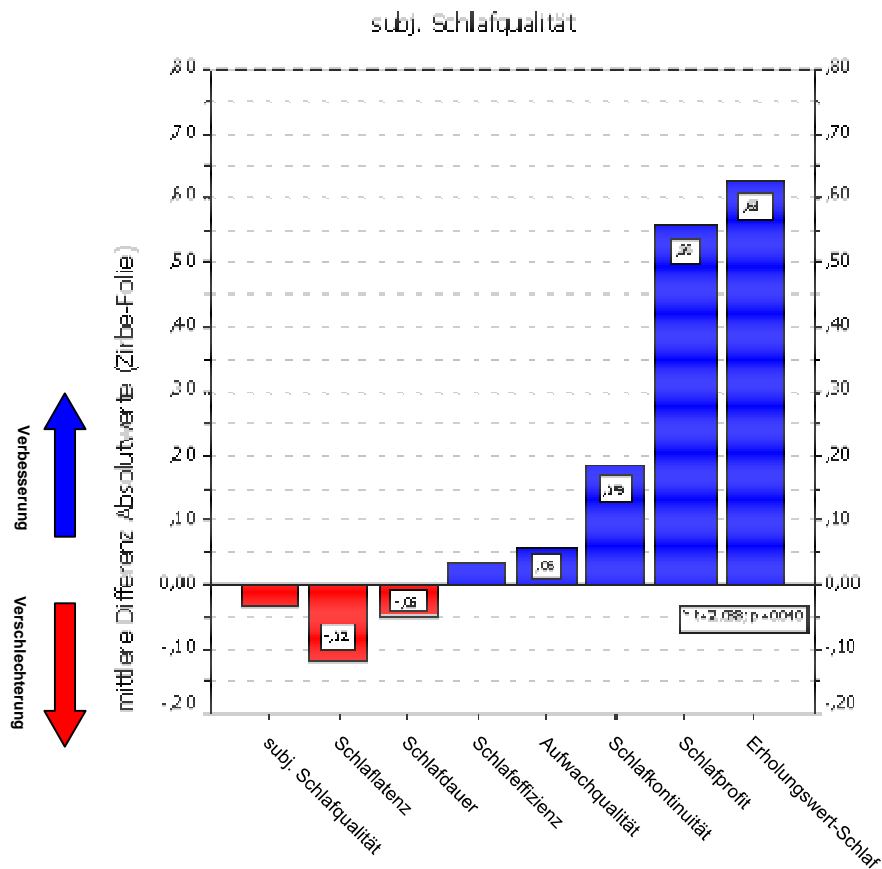


Abbildung 36: Wahrgenommene Schlafqualität (n=15).

Neben der objektiven Schlafqualität mit Hilfe der HRV-Analyse und dem EEG wurden auch subjektive Einschätzungen der Schlafqualität von den Versuchspersonen begleitend miterhoben. Die deutlichsten statistischen Unterschiede zeigen sich hier bei der Dimension „Schlafprofil“ (Abb. 36). Diese Fragebogendimension gibt den Wunsch nach einer längeren Bettruhe wieder. Positive Differenzwerte in dieser Darstellung stehen allgemein für positivere Einschätzungen im Arvenholzbett und können tendenziell auch im zusammengefassten Erholungswert aufgefunden werden. Bezüglich der subjektiv eingeschätzten Schlafdauer, Schlaflatenz, Schlaffeffizienz und Aufwachqualität kann man keine bemerkenswerten Differenzen zwischen den beiden Bedingungen erkennen.



### 3.2.3 Inhaltliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnisse in Studie 2

A 1. Es zeigt sich, dass die Schlafqualität in den beiden Versuchsbedingungen – Arvenbett bzw. Holzdekorbett signifikant unterschiedlich ist:

- Beim Schlaf im Arvenbett zeigt sich eine signifikant erniedrigte Herzrate im Vergleich zum Spanplattenbett mit Holzdekor.
- Die Vagusaktivität (vegetative Erholung) ist im Arvenbett stärker ausgeprägt.
- Die Schlaftiefe ist im Holzdekorbett im Vergleich zum Arvenbett reduziert.
- Der erste Schlafzyklus, während dem der Schlaf in der Regel am tiefsten ist, fällt im Holzdekorbett kürzer aus.

A 2. Der Einfluss des Arvenbettes macht sich auch am Tag nachhaltig, positiv bemerkbar:

- Die zirkadianen Amplituden (Tagesgänge) der vegetativen Parameter (v.a. während dem Schlaf) sind im Arvenholzbett deutlicher ausgeprägt.
- Die mittlere Herzfrequenz über 25 Stunden ist im Arvenholzbett niedriger.  
Die Ersparnis an Herzschlägen in Arvenholzbetten betrug im Vergleich zu Holzdekorbetten ~ 3500 Herzschläge, was einer Stunde Herzschlag pro Tag entspricht.
- Bei der Einzelfallbetrachtung der AutoChronen Bilder lassen sich die quantitativ berichteten Ergebnisse auch qualitativ gut abbilden.
- Das gewohnte eigene Bett der Probanden war dem neuen Holzdekorbett überlegen, dem Arvenholzbett jedoch unterlegen, was die erreichte Schlaferholung betrifft.

B. Die psychologischen Ergebnisse ergänzen die physiologischen Analysen und zeigen, dass eine Verbesserung des Befindens bzw. der Schlafqualität bei längerer Exposition im Arvenbett auch subjektiv wahrgenommen werden kann:

- Die soziale Extravertiertheit der Versuchspersonen ist nach der Nachtruhe in einem Arvenbett signifikant stärker ausgeprägt.
- Die subjektive Nachterholung wird im Arvenholzbett als besser eingeschätzt.

## 4. Diskussion

Im Rahmen dieser beiden Forschungsprojekte:

- **Studie 1: Belastungsfähigkeit und Einrichtung**
- **Studie 2: Schlafqualität und Bettenmaterial**

wurde eine Evaluation der Auswirkungen des Umgebungsmaterials in Bezug auf physiologische Ruhewerte, subjektive Befindlichkeit, psychophysiologische Belastungswerte und Erholungswerte durchgeführt bzw. der Einfluss der Wohn- bzw. Schlafumgebung auf die Erholungsfähigkeit und den Umgang mit alltäglichen Belastungen von Erwachsenen empirisch untersucht.

Dabei wurden folgende Fragestellungen im Rahmen einer Quer- (Studie 1) und einer Längsschnittstudie (Studie 2) explorativ mit psychologischen und physiologischen Methoden bearbeitet:

- Studie 1: Wirken körperliche und mentale Anforderungen in einem mit Arvenholz ausgekleideten Raum weniger belastend als in einem Raum, der mit Holzdekor-Spanplatten verkleidet ist?
- Studie 2: Wie ist die Schlaf- bzw. Erholungsqualität in Arvenholzbetten im Vergleich zu gleichartigen Holzdekorbetten?

Bei der Überprüfung der Fragestellungen wurde auf gängige chronobiologische und psychophysiologische Instrumentarien zurückgegriffen, welche dem "State of the Art" in der wissenschaftlichen Stress- und Erholungsforschung entsprechen.

Dabei zeigte sich, dass die beiden Hauptfragestellungen mit unerwarteter Deutlichkeit positiv beantwortet werden können. Die Frage nach den zugrundeliegenden Ursachen und möglichen Wirkprinzipien des Arvenholzes kann zu diesem Zeitpunkt nicht beantwortet werden. Das Ziel dieser Studie war es, mögliche Effekte zu dokumentieren bzw. objektiv abzubilden.

### **Studie 1:**

Die erhaltenen Datensätze und weiterfolgenden Analysen zeigen, dass das Material der Einrichtung einen maßgeblichen Einfluss auf die Belastungs- und Erholungsfähigkeit eines Menschen hat. Es zeigte sich, dass eine körperliche Leistung in einem Arvenraum deutlich ökonomischer vom menschlichen Organismus erbracht wird, als in einem sonst vergleichbaren Raum mit anderer Materialqualität. Diese Schlussfolgerung kann aufgrund der signifikant niedrigeren Herzrate im Arvenzimmer gezogen werden (Abb. 20 - 23) und zeigt sich auch im darauf folgenden Erholungsprozess, in dem ein positiver vegetativer Grundtonus früher und schneller wieder aufgebaut wurde (Abb. 24: LF-Komponente in der auf körperliche Belastung folgende Ruhephasen).

Deutliche Unterschiede der psychischen Leistungsfähigkeit in körperlichen und mentalen Beanspruchungsphasen konnten in dem verwendeten standardisierten Setting nicht festgestellt werden (Abb. 26). Im Gegensatz dazu scheint jedoch der körperliche Umgang mit der Belastung in

Abhängigkeit vom Einrichtungsmaterial ein entscheidender zu sein (Abb. 20-24). Geschlechtsspezifische Einflüsse könnten ebenfalls eine Rolle spielen (Abb. 21), wobei jedoch beide Geschlechter vom Einfluss des hochwertigen Arvenmaterials profitierten. Wenn man das Befinden der Versuchspersonen näher betrachtet, kann ebenfalls ein positiver Effekt beobachtet werden (Abb. 27), welcher v.a. nach körperlicher Anstrengung in das Bewusstsein der Betroffenen rückt. Ein mit Holzdekor auf Spanplatte ausgekleideter Raum wirkt sich nicht so günstig auf die Vigilanz einer Versuchsperson aus, wie ein mit massivem Arvenholz ausgekleideter Raum. Auffallend ist die Tendenz, durch Arvenholz sozial extravertierter gestimmt zu sein, was sich bei längerer Exposition (siehe Studie 2) auch statistisch absichern lässt.

In Hinblick auf zunehmende alltägliche Belastungen kann man daher erwarten, dass die Wahl des Einrichtungsmaterials einen bedeutenden Faktor für die Gesundheit und das Wohlbefinden darstellt. Aufgrund des durchgeführten Versuchsdesigns, der identischen Raumparameter (mit Ausnahme des Baumaterials) der balancierten Versuchsreihenfolge und der Unkenntnis der Versuchspersonen über das Ziel der Studie lassen sich mögliche maskierende Einflüsse bzw. Artefakte (z.B. Lerneffekte, Reihenfolgeeffekte, Erwartungshaltung, Rolle der Tageszeit, Trends, etc.) weitgehend ausschließen.

### **Studie 2:**

Die Ergebnisse der Studie 2 erhärten die Aussagekraft und die Schlussfolgerungen der ersten Studie, da sich hier ebenfalls ein signifikanter Einfluss des Einrichtungsmaterials (des Bettes) feststellen lässt. Die Effekte gehen in die gleiche Richtung und manifestierten sich in mehreren Parametern und Ebenen, sowohl physiologisch als auch psychologisch.

Wiederum kommt es zu einer verbesserten kardiovaskulären Verarbeitung der alltäglichen Anforderungen, wenn man im Arvenbett schläft. Die durchschnittliche Herzrate ist im Tagesverlauf signifikant reduziert (Abb. 29-31), was sich v.a. auf eine bessere Schlaferholung zurückführen lässt (Abb. 18, 32-34). Im Schlaf zeigt sich in einem Holzdekorbett eine niedrigere bzw. später einsetzende Vagusaktivierung, was sich auch in einer höheren Herzrate im Holzdekorbett äußert. Allgemein scheint die HRV durch die Arvenholzexposition angeregt zu werden, was die Erholungsfähigkeit bzw. einen ökonomischeren Umgang mit Belastungen unterstützt. Hervorzuheben sind ebenfalls die verstärkt ausgeprägten Tagesgänge im Arvenholzbett (Abb. 29, 31), welche als erhöhte Schwingungsfähigkeit und damit protektiver Faktor und größerer Aktionsspielraum für den Einzelnen interpretiert werden können.

Die verwendeten psychologischen Methoden kommen zu ähnlich positiven Resultaten, einer höher eingeschätzten Erholungsqualität des Schlafes (Abb. 36) und weisen eine signifikant stärkere soziale Extravertiertheit (neben einer allgemein besseren Befindensqualität; Abb. 35) nach Schlaf im Arvenholzbett aus.

Der Einfluss des Einrichtungsmaterials kann somit nicht vernachlässigt werden! Damit eröffnet sich ein breites Forschungsfeld und zukünftige Studien werden sich wohl verstärkt mit den zugrundeliegenden Ursachen und Einflussfaktoren der Wirkung von Einrichtungsmaterialien auf den Organismus zu beschäftigen haben.