HUMAN RESEARCH
Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung
Franz-Pichler-Straße 30
8160 Weiz, Österreich

# Endbericht

*6.5.2014*

HRI.AF.2013.19 (Anbot Nr. AN-1310) *Version 3.06*

# Wirkung von Pneumatit®
# auf Befinden und kardiovegetativen Zustand
# beim Menschen

Auftraggeber:

widar Forschung – Fintan Fünf
Klosterplatz 1, 8462 Rheinau, Schweiz

Hr. Markus Sieber

von:

DI Matthias Frühwirth, Mag. Dr. Vincent Grote, DI Puswald Bernhard, Andrea Zöbinger &
Univ.-Prof. Dr. Maximilian Moser

# Synopsis

| | |
|---|---|
| **Titel der Studie:** | Wirkung von Pneumatit® auf Befinden und kardiovegetativen Zustand beim Menschen |
| **Projektleitung:** | DI Matthias Frühwirth (Human Research Institut) |
| **Institutsleitung:** | Univ. Prof. Dr. Maximilian Moser |
| **Organisation:** | Die Studie wurde vom Human Research Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung (Weiz, Österreich) geplant, das auch die Messgeräte bereitstellte und die Auswertungen und statistische Analyse übernahm.<br>Die Herstellung der Testprodukte (Versuchsräume aus Beton mit und ohne Pneumatit®) und die Durchführung der Messungen erfolgte durch Fintan Fünf in Rheinau (Schweiz). |
| **Statistik:** | Mag. Dr. Vincent Grote |
| **HRV-Aufbereitung:** | DI Puswald Bernhard |
| **Fragebogeneingabe:** | Andrea Zöbinger |
| **Auftraggeber:** | Fintan Fünf, Rheinau, Schweiz (Hr. Markus Sieber) |
| **Zielsetzung:** | Erhebung der Wirkung von mit Pneumatit® versetztem Beton auf kardiovegetative Parameter und Befinden |
| **Methodik:** | prospektive randomisierte kontrollierte cross-over Studie |
| **Fallzahl:** | 53 Versuchspersonen |
| **Testprodukt:** | Beton, der während des Mischprozesses mit Pneumatit® versetzt wurde |
| **Aktive Inhaltsstoffe:** | Pneumatit® |
| **Anwendungsart:** | Aufenthalt in Versuchsräumen aus dem Testbeton bzw. aus dem Vergleichsbeton |
| **Testintervention** | Ruhephasen (2x15min) und Daueraufmerksamkeitstest am Computer (33min) |
| **Expositionssdauer:** | ca. 1 Stunde |
| **Vergleichsprodukt:** | Beton, dem Testprodukt gleichartig nur ohne Pneumatit® |
| **Zusammenfassung der Ergebnisse:** | 53 gesunde Personen im Alter zwischen 18 und 54 Jahren (39 +/- 11 Jahre) wurden auf kardial vegetativer und psychologischer Ebene in einem Ruhe-Beanspruchungs-Setting untersucht.<br>Im subjektiven Befinden und in der Schläfrigkeit zeigten sich Vorteile des Versuchsraumes mit Pneumatit®-Zusatz, welche sich gegen Ende des Versuchsablaufs beobachten ließen. Aufgrund der Testbelastung stieg generell die Schläfrigkeit und das Befinden verschlechterte sich, doch gelang es den Versuchspersonen im Pneumatit®-Raum besser, Schläfrigkeit hintanzuhalten und eine gute Stimmung aufrechtzuerhalten. Dabei wurde der Raum mit Pneumatit®-Zusatz „schwächer“, offener“ und tendenziell „großzügiger“ wahrgenommen als der Vergleichsraum ohne Zusatzstoffe. |

Leistungsbezogene Kennwerte und subjektive Beanspruchung zeigten keine unterschiedlichen Raumwirkungen im gewählten Versuchssetting.

Die Ergebnisse zur kardial-vegetativen Regulation (Herzratenvariabilitäts-Kennwerte) zeigten mögliche Vorteile des Versuchsraums mit Pneumatit®-Zusatz im Sinne eines größeren vegetativen Entspannungspotentials in der Ruhephase bei gleichbleibender monotoner Aufmerksamkeitsleistung in der Belastungsphase, jedoch sind die Ergebnisse nicht durchwegs einheitlich und aufgrund unerwarteter Ausgangswertunterschiede nicht eindeutig interpretierbar. Teilergebnisse, die umgekehrt auf eine günstigere Wirkung des Normalbetonraumes hinweisen würden, kamen in der Studie nicht vor.

Auf Grund des gewählten Mehrebenenansatzes kann davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Wirkungen der beiden Versuchsräume auf den menschlichen Organismus beobachtet wurden. Eine Replikation der beobachteten Effekte ist jedoch notwendig, um Wirkungen auf die Herzratenvariabilität zu sichern bzw. allgemein gültige Aussagen zu Auswirkungen von Beton mit Pneumatit®-Zusatz treffen zu können.

# Inhaltsverzeichnis

**1. Studienziel & Rahmenbedingungen ... 5**

1.1. Einleitung – Pneumatit® ... 5

**2. Methodik ... 6**

2.1. Design ... 6
2.2. Prüfmittel und Anwendung: PNEUMATIT® ... 7
2.3. Vigilanztest ... 8
2.4. Herzratenvariabilitäts-Messungen ... 9
2.5. Psychometrische Fragebogenmethoden ... 11
2.6. Temperatur- und Feuchtigkeitslogger ... 12
2.7. Ein- und Ausschlusskriterien ... 12
2.8. Versuchsablauf und Randomisierung ... 12
2.9. Verblindung ... 13
2.10. Ethische Rahmenbedingungen - Anzuwendende Bestimmungen ... 13
2.11. Messgrößen, Fragestellungen und Hypothesen ... 13
2.12. Statistische Methoden ... 14

**3. Beschreibung des ausgewerteten Datensatzes ... 16**

3.1. Versuchspersonen ... 16
3.2. Datensets für die Auswertung ... 16
3.3. Unvorhergesehene Ereignisse ... 17

**4. Ergebnisse ... 18**

4.1. Allgemeine Hinweise ... 18
4.2. Studienergebnisse – Psychometrische Methoden ... 18
4.3. Ergebnisse – HRV ... 22

**5. Diskussion ... 29**

5.1. Studiendesign ... 29
5.2. Psychometrische Maße ... 29
5.3. Physiologische Maße: HRV-Kennwerte ... 30
5.4. Schlussfolgerung ... 31

**6. Zusammenfassung ... 32**

**7. Anhang ... 33**

7.1. HRV Ausgangswert- und Post-hoc-Analyse ... 33
7.2. Exploratorische Analyse der Versuchsreihenfolge – 1. vs. 2. Messung ... 34
7.3. Wetterdaten ... 35
7.4. Farbcodierte Übersichtsdarstellung der HRV-Parameter ... 39
7.5. Originaldatenkurven der Herzrate ... 49
7.6. Allgemeine Information zum Human Research Institut ... 63
7.7. Abbildungsverzeichnis ... 64
7.8. Literatur ... 64

# 1. Studienziel & Rahmenbedingungen

Ziel der Studie ist, potentielle Unterschiede zwischen mit Pneumatit® versetztem Beton und Normalbeton in der Wirkung auf den Menschen in einer prospektiven randomisierten doppelblinden Cross-Over-Studie wissenschaftlich zu untersuchen. Das Setting des Versuchs orientiert sich an konzentrierter Aufmerksamkeitsleistung, wie sie z.B. bei geistigen oder Überwachungstätigkeiten in Innenräumen (Büros) gefordert ist.

## 1.1. Einleitung – Pneumatit®

Pneumatit® ist ein biogenes Betonzusatzmittel. Substantiell besteht es aus einer Reihe anorganischer und organischer Substanzen, die in einem vielstufigen Herstellungsprozess verarbeitet und schließlich auf die homöopathische Potenz D5 gebracht wurden. Entwickelt wurde das Mittel von Herrn José Martinez für das Unternehmen widar in Rheinau (CH) unter der Leitung von Herrn Markus Sieber.

Pneumatit® soll eine basale biologische Aktivität in zementhaltige mineralische Baustoffe einführen und sie dauerhaft mit ihnen verbinden. Dadurch soll Pneumatit® die Umfeldwirkung des Baustoffs auf biologische Systeme, beispielsweise auf die menschliche und tierische Physiologie, verbessern.

Vergleichsversuche im Labor[1] zeigten, dass sich die physikalischen Materialeigenschaften des ausgehärteten Pneumatit®-Betons nicht von konventionellem Beton unterscheiden, der ansonsten identisch, aber ohne Pneumatit®-Zusatz hergestellt wurde. Auf der Frischbetonstufe wies der konventionelle Beton allerdings „eine tendenziell geringere Plastizität und einen etwas höheren Luftporengehalt auf“.

In subjektiven Erfahrungsberichten, die teils nach Einfach-Blindversuchen zustande kamen, werden deutliche Erlebnisunterschiede zwischen Pneumatit®- und Normalbeton behauptet[2]: Während konventioneller Beton als schwer, hart, kalt und auch gesundheitlich beeinträchtigend (z.B. Gelenkschmerzen verursachend) beschrieben wird, wird Pneumatit®-Beton als leicht, weit, warm, weich, wohltuend, lebendig, schwingend, atmend und mit „Glücks- und Dankbarkeitsgefühlen“ erlebt. Es werden entsprechende Bildern assoziiert: „grüne Sommerwiese“, „Nachgiebigkeit von Waldboden“, „ein guter Ort zum Wohnen“, „Durchlässigkeit bis zur Erde hinunter“, „Luxus“.

In einem Pilot-Vergleichstest mit der EAV-Methode (Elektroakupunktur nach Dr. Voll)[3] an drei Probanden wurden bei Normalbeton gesundheitlich negative Eigenschaften festgestellt, die durch Zusatz von Pneumatit® vollständig wegfallen. Eine ganze Reihe von Untersuchungen auf überphysischer Ebene stellte übereinstimmend höhere Qualität der gesundheitlich relevanten Lebens- oder ätherischen Kräfte sowie weitere positive Wirkungen bei Pneumatit®-Beton fest[4]. Eine radiästhetische Untersuchung kommt zum gleichen Ergebnis[5].

---

[1] *Originalbericht HOLCIM (Allschwil CH), 31.05.2012: http://www.pneumatit.ch/fintan/images/pdf/12_01_02_Holcim_Untersuchungsbericht_Pnt_mit_Anhaengen.pdf*

[2] *Auswahl unter http://www.pneumatit.ch/fintan/index.php/homepage/erfahrungen*

[3] *Originalbericht von Dr. Fr. Begher (Überlingen D), 29.08.2008: http://www.pneumatit.ch/fintan/images/pdf/08_09_29_EAV_Gutachten_Pneumatit.pdf*

[4] *Originalberichte zum Herunterladen unter: http://www.pneumatit.ch/fintan/index.php/grundlagen/wirksamkeit-nachweis*

[5] *Originalbericht Paul Leibundgut (Neuhausen CH), 16.05.2012: http://www.pneumatit.ch/fintan/images/pdf/12_05_09_Pnt_Radiaesthesie_Gutachten_Leibundgut.pdf*

# 2. Methodik

## 2.1. Design

Die Versuchspersonen (VPN) wurden während eines rund einstündigen Aufenthalts in zwei außen und innen identen Versuchsräumen (unabhängige Variable, UV) gemessen und befragt. Jede Versuchsperson (VP) durchlief das Procedere zwei Mal, einmal im Raum mit Pneumatit®, einmal im Raum mit Normalbeton (Cross-Over-Studie).

- Eine Vorruhephase (Adaptation) fand für beide Versuchsbedingungen in derselben Umgebung außerhalb der Versuchsräume statt.
- Die standardisierten Messabfolgen erfolgten (innerhalb einer VP) an aufeinanderfolgenden Tagen.
- Der Aufenthalt in den Versuchsräumen dauerte ca. 1 Stunde.
- Jede VP wurde zur gleichen Uhrzeit wie am Vortag gemessen.
- Die Hälfte der VPN startete im Raum „Oben“ am 1. Tag, die Hälfte im Raum „Unten“.
- Die „Identität“ der beiden Versuchsräume, waren den Versuchsleitern (VL) und VPN nicht bekannt, auch nicht den Auswertenden (Dreifachblindverfahren, siehe Abschnitt 2.9, Seite 13).
- Es wurden eine einheitliche Belastungsphase (Vigilanztest) und Ruhephasen gesetzt.

| Tag 1 | | | |
|---|---|---|---|
| neutraler Raum | ... | **... Raum X ...** | ... |
| Adaptation (Vorruhe) | Ruhe 1 | Aktivität | Ruhe 2 |
| | | Vigilanztest | |
| 15 min | 15 min | 30 min | 15 min |

| Tag 2 | | | |
|---|---|---|---|
| neutraler Raum | ... | **... Raum Y ...** | ... |
| Adaptation (Vorruhe) | Ruhe 1 | Aktivität | Ruhe 2 |
| | | Vigilanztest | |
| 15 min | 15 min | 30 min | 15 min |

*Abbildung 1: Grobschema des Versuchsablaufes.*
*Der Raum ist am zweiten Tag für jede Versuchsperson jeweils der andere.*

Die Versuche wurden jeweils vormittags von 9 bis 12 Uhr und nachmittags von 14 bis 17 Uhr in der Schweiz, in Rheinau, durchgeführt. Durch entsprechende Verschränkung im Ablauf wurden pro Halbtag gewöhnlich vier Messungen vorgenommen (je zwei in jedem Raum).

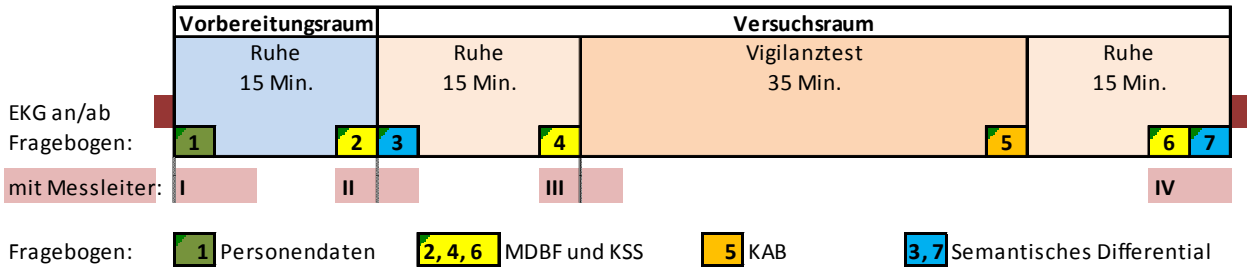



*Abbildung 2: Detailliertes Schema des Versuchsablaufes.*
*Die Nettozeit der Ruhephasen (abzüglich der Zeit für das Ausfüllen der Fragebogen) betrug zwischen 7 und 14 Minuten.*

## 2.2. Prüfmittel und Anwendung: PNEUMATIT®

### *2.2.1. Art der Anwendung und Dosierung*

Das Testprodukt war in verarbeiteter Form in einem von zwei identen Versuchsräumen als Bestandteil der Betonwandungen enthalten. Ein direkter Kontakt der Probanden mit dem unverarbeiteten Testprodukt war nicht vorgesehen. Die beigesetzte Menge war 125 ml pro $m^3$ Frischbeton.

### *2.2.2. Zusammensetzung Pneumatit®*

Pneumatit® besteht aus Concha nautili pompilii, Os femoris garruli glandarii, Plumbum, Aurum, Argentum, Ferrum, Mercurius, Zincum, Cuprum in einer alkoholisch-wässrigen Suspension. Das Ausgangsprodukt wird durch Potenzierung auf $10^{-5}$ verdünnt.

### *2.2.3. Versuchsräume*

Die Aufbauten und Bereitstellung der Versuchsräume erfolgten durch *Fintan Fünf*. Die Räume bestanden aus mehreren Dutzend Einzelelementen, deren Guss und Zusammenbau von einer beauftragten Baufirma ausgeführt wurden. Um eine Verwechslung der Betonteile mit und ohne Pneumatit® zu vermeiden, wurden diese beim Guss an den Stosskanten, die nach dem Zusammenbau verdeckt waren, markiert.

*Abbildung 3: Wiese mit Versuchsräumen.*
*Li. Abb.: Der auf diesem Bild linke Raum ist der Pneumatit®-Raum (im Text mit „Oben“, weil ferner vom Rhein, bezeichnet), der rechte Raum ist aus Normalbeton („Unten“). Re. Abb.: Ansicht von vorne. Wenn die Versuchspersonen in den Räumen waren, hatten Sie einen ungestörten Ausblick über die Wiese, Hecken und Wald im Hintergrund. Ein leichter Baumwollvorhang diente dazu, Insekten fernzuhalten.*

*Abbildung 4: Innenansicht der Versuchsräume.*
*Die Einrichtung war in beiden Versuchsräumen ident.*

## 2.3. Vigilanztest

Zur gleichmäßigen kontrollierten Belastung der Versuchspersonen wurde ein Test der Dauerauf-merksamkeit (Vigilanz) gewählt.

Dieser Test am Computer (VIGIL; Wiener Testsystem) dient zur Überprüfung der Fähigkeit, die Aufmerksamkeit in einer monotonen Reizsituation aufrechterhalten zu können. Vigilanzanforderungen sind durch folgende Bedingungen bestimmt: Bei längerer Versuchsdauer wird vom Probanden ununterbrochene Wachsamkeit verlangt. Die zu beachtenden Signale erscheinen unregelmäßig und sie erwecken nicht unwillkürliche Aufmerksamkeit. Daraus ergibt sich die Forderung nach relativ geringer Intensität der Reizdarbietung und niedriger Frequenz der kritischen Ereignisse. Im Allgemeinen werden maximal 60 kritische Reize pro Stunde vorgeschlagen. Der Leistungsabfall bei Vigilanzexperimenten wird mit der Abnahme des Aktivierungsniveaus des Probanden und der damit einhergehenden Zunahme der Reaktionslatenz erklärt. Nach der neurophysiologischen Aktivierungstheorie wird der Cortex infolge Reizarmut vom aufsteigenden retikulären Aktivierungssystem (ARAS) nur unzureichend stimuliert. Die Gehirnrinde erhält für die Aufrechterhaltung bestimmter Tätigkeiten daher nicht die entsprechenden Weckimpulse, was zur psychischen Ermüdung und damit zur Abnahme der Leistungseffizienz führt. In diesem Zusammenhang entstand der Begriff von der Überforderung durch Unterforderung. Die Durchführung erfolgt, indem ein hell aufleuchtender Punkt sich entlang einer Kreisbahn in kleinen Sprüngen weiter bewegt. Manchmal vollzieht der Punkt einen Doppelsprung, auf den der Proband durch Drücken einer Reaktionstaste zu reagieren hat. Die "Anzahl Richtige", "Anzahl Falsche", "Mittelwert der Reaktionszeit Richtige [s]", "Anstieg Richtige" und "Anstieg der Reaktionszeiten Richtige" samt entsprechenden Bestimmtheitsmaßen werden ausgewertet.

## 2.4. Herzratenvariabilitäts-Messungen

### *2.4.1. Physiologischer Hintergrund*[1]

Die Herzrate ist eine der wichtigsten Stellgrößen eines komplexen Regelnetzwerkes, an dem Herz, Kreislauf, Atmung, Temperatur, Stoffwechsel und psychomentale Einflüsse beteiligt sind. Dies verleiht der Herzrate ihre typische zeitliche Struktur, die als Herzratenvariabilität (HRV) messbar wird.

Um den Tonus (die Aktivität) der einzelnen Äste des autonomen Nervensystems beschreiben zu können, analysiert man die Modulationen der Momentanherzrate. Die schnellen Änderungen werden dem Vagus (dem Hauptnerv des parasympathischen Teils des autonomen Nervensystems) zugeordnet. Der Vagus ist in Ruhe bzw. in Erholungszuständen aktiv. Langsamer agiert der Sympathikus, der aktiv wird, wenn der Mensch in einen leistungsbereiten Zustand kommen soll. 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 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. Viele Organe werden sowohl von sympathischen wie auch von parasympathischen Nerven innerviert, wie auch das Herz selbst von sympathischen wie auch von parasympathischen Nerven innerviert wird. Eine Erhöhung der sympathischen Aktivität beschleunigt den Herzschlag, eine Zunahme der parasympathischen Aktivität verlangsamt den Herzschlag. Eine Analyse der Herzratenvariabilität, der Fluktuation der zeitlichen Abstände der Herzschläge, kann daher Aufschluss über die zugrunde liegende Aktivität des autonomen Nervensystems geben.

### *2.4.2. Vorverarbeitung*

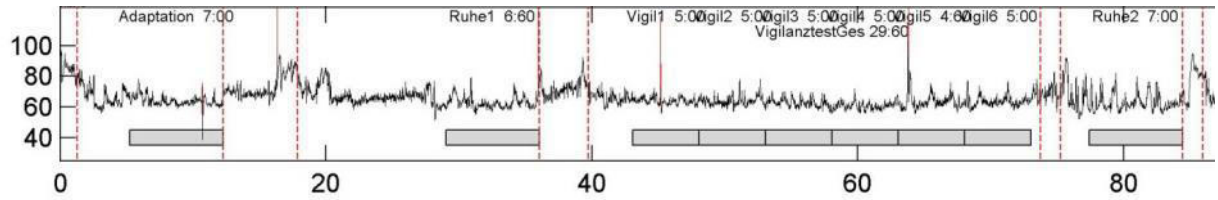



*Abbildung 5: Beispiel eines Einzelverlaufs der Momentanherzrate im Versuchsablauf.*
*Die grauen Balken zeigen die gewählten Analyseabschnitte HRV-Segmente (Ziellänge in Adaptions- und Ruhephasen 7min, Vigilanz sequentiell je 5 min; Einheit x-Achse: Minuten, y-Achse: Herzrate, beats per minute [bpm];*

Aus den verschiedenen Phasen des Versuchs (Sitzen in den Entspannungsstühlen, Vigilanztest) wurden jeweils Blöcke fixer Länge am Ende der jeweiligen Phase definiert. Die Zuordnung passierte über die Event-Tastendrucke am Aufzeichnungsgerät, die anhand des Versuchsleiterprotokolls überprüft und gegebenenfalls korrigiert wurden. In der Serie der RR-Intervalle wurden Ausreißer bzw. Messartefakte automatisch markiert, alle Messungen dann einzeln visuell kontrolliert: Phasen körperlicher Aktivität (gehen) sowie deren Ausklingphasen (abfallender Herzratenverlauf) in den Übergängen der einzelnen Ver-

[1] *Eine detaillierte Beschreibung des physiologischen Hintergrundes und Erklärung der HRV-Parameter kann im Skriptum „Kurzbeschreibung von HRV-Methoden und Auswertungen", Human Research Institut, nachgelesen werden.*

suchsphasen wurden aus den Berechnungsblöcken herausgenommen. Ebenso wurden technische oder pathologische Störungen, wenn sie nicht als Einzelschlag interpoliert werden können, nach Möglichkeit ausgeklammert.

### *2.4.3. HRV-Kennwerte*

Für die Berechnung der Spektralparameter wurde die gesamte RR-Intervall- bzw. Momentanherzraten-Folge gleichabständig mit 4 Hz abgetastet (Berger, et al., 1986). Die Berechnung der HRV-Parameter erfolgte nach den Empfehlungen der Task Force of the European Society of Cardiology (Task Force of the ESC and NASPE, 1996). Die Spektralparameter wurden über eine Fourier Analyse nach der Welch-Methode berechnet, die Werte der spektralen Bandleistungen logarithmiert um eine Näherung an eine Normalverteilung zu erzielen.

Die Quantifizierung der respiratorischen Sinusarrhythmie erfolgte durch den Median aufeinanderfolgender absoluter RR-Intervall-Differenzen (Moser, et al., 1998; Moser, et al., 1994) und ergab den Parameter logRSA. Die pattern predominance (Bettermann, et al., 1999) quantifiziert ebenfalls vornehmlich atmungsbezogene Schwankungen und wurde, passend zur Einteilung in 5-Minuten-Abschnitten, bis zur Klassenlänge 8 berechnet.

Atemfrequenz und Puls-Atem-Quotient wurden indirekt aus der respiratorischen Sinusarrhythmie berechnet (Bettermann, et al., 1996). Die Quantifizierung des Phasen-Plots der RR-Intervalle erfolgte durch die Parameter SD1 und SD2 (Huikuri, et al., 1996).

| Abkürzung | Parameter | Einheit |
|---|---|---|
| HR | Median der Momentanherzrate | bpm |
| logRSArr | Respiratorische Sinusarrhythmie basierend auf RR-Intervallen | ms |
| logRSAhf | Respiratorische Sinusarrhythmie basierend auf Momentanherzrate | bpm |
| pp8 | Pattern predominance | 1 |
| lnHFrr | high frequency variability, HF (0.15 – 0.4 Hz) | $ms^2$ |
| lnLFrr | low frequency variability, LF (0.04 – 0.15 Hz) | $ms^2$ |
| lnVLFrr | very low frequency variability, VLF (0.0033 – 0.04 Hz) | $ms^2$ |
| lnTOTrr | total variability, TOT (<0.4 Hz) | $ms^2$ |
| VQrr | vegetativer Quotient = LF/HF | 1 |
| lnHFhf | high frequency variability, HF (0.15 – 0.4 Hz) | $bpm^2$ |
| lnLFhf | low frequency variability, LF (0.04 – 0.15 Hz) | $bpm^2$ |
| lnVLFhf | very low frequency variability, VLF (0.0033 – 0.04 Hz) | $bpm^2$ |
| lnTOThf | total variability, TOT (<0.4 Hz) | $bpm^2$ |
| VQhf | vegetativer Quotient = LF/HF | 1 |
| ATMFrsa | Atemfrequenz, berechnet aus der RSA | 1/min |
| QPArsa | Puls-Atem-Quotient | 1 |
| SD1 | Nebenachse der Konfidenzellipse im Poincaré-Plot | ms |
| SD2 | Hauptachse der Konfidenzellipse im Poincaré-Plot | ms |
| SDNN | Standardabweichung der RR-Intervalle in 5 Minuten | ms |
| Valid | Qualitätsparameter: Anteil verwandter 5-Minuten-Subabschnitte | 1 |
| rValid | Qualitätsparameter: Anteil verwandter Einzelschläge | 1 |

*Abbildung 6: Abkürzungsverzeichnis der HRV-Kennwerte.*

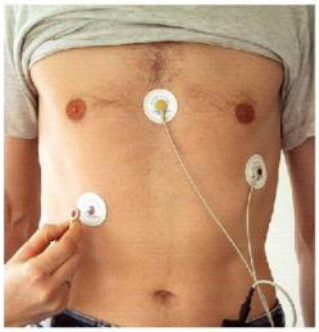


*Abbildung 7: Messgerät zu HRV-Messung: ChronoCord – hochauflösender EKG-Rekorder.*

Das verwendete physiologische Messgerät zur Erfassung der HRV, das ChronoCord® (Human Research Institut, Graz; www.humanresearch.at), ist auf die hochgenaue Aufzeichnung von Herzschlagintervallen (RR-Intervallen) spezialisiert (Abtastrate: 8000Hz) und beinhaltet einen Licht- und Beschleunigungssensor. Aus den Herzschlagintervallen, werden offline verschiedene kardial-vegetative Parameter der Herzratenvariabilität (HRV) berechnet. Die eingesetzte Messmethode eignet sich zur mobilen Aufzeichnung der funktionellen autonomen Regulation des Kreislaufs und ermöglicht eine 24-Stunden-Kontrolle des Herzrhythmus (Holter-Monitoring), ohne den Tagesablauf der gemessenen Personen nennenswert zu beeinflussen. Die angewandte Messmethode ist nichtinvasiv.

## 2.5. Psychometrische Fragebogenmethoden

Befinden (MDBF)

Der Mehrdimensionale Befindensfragebogen (MDBF) ist ein Instrument zur Erfassung dreier bipolar konzipierter Dimensionen der aktuellen psychischen Befindlichkeit: Gute – Schlechte Stimmung, Wachheit – Müdigkeit und Ruhe – Unruhe. Der MDBF kann sowohl in Einzelsitzungen als auch in Gruppen vorgegeben werden. Die Vorgabe im Rahmen der Studie erfolgte dreimal im Versuchsablauf (Ende Adaptationsphase, Ende Ruhe 1 bzw. Ruhe 2).

Karolinska Sleepiness Scale (KSS):

Die KSS erfasst die subjektive Tagesschläfrigkeit auf einer 9-stufigen Skala von 1 („sehr wach“) bis 9 („sehr müde“). Diese Müdigkeitsskala wurde in der vorliegenden Studie parallel zum Befinden (MDBF) erhoben (3x: Ende Adaptation, Ende Ruhe 1 bzw. Ruhe 2).

Beanspruchung (KAB):

Der Kurzfragebogen zur Aktuellen Beanspruchung (KAB) wurde entwickelt, um die subjektiv erlebte Beanspruchung mit kurzen Retestintervallen zu erfassen. Aktuelle Beanspruchung wird als Teilaspekt des momentanen Befindens und als eindimensionales bipolares Konstrukt definiert. Mit dem KAB kann die Veränderung subjektiv erlebter Beanspruchung innerhalb kurzer Zeiträume erfasst werden. Das Erhebungsinstrument besteht nach mehreren Entwicklungsschritten aus sechs bipolar angeordneten positiven und negativen Adjektiven, die eine sechsstufige Rangskala begrenzen (Jetzt fühle ich mich: angespannt/gelassen, beklommen/gelöst, unbekümmert/besorgt, unruhig/entspannt, skep-

tisch/vertrauensvoll, behaglich/unwohl). Die Vorgabe im Rahmen der Studie erfolgte einmalig im Versuchsablauf (nach Aktivitätsphase - Vigil).

Semantisches Differential (SD):

Ein semantisches Differential ist ein Verfahren, das die Vorstellungen bzw. Eigenschaftszuschreibungen von Personen zu bestimmten Begriffen oder Sachverhalten untersucht. Es verwendet keine direkten Fragen, sondern gibt Eigenschaften vor, welche im Bezug zum Untersuchungsthema beurteilt werden sollen. Dabei werden eine Reihe von Eigenschaftspaaren wie "kalt - warm", "anregend - ermüdend" zur subjektiven Beurteilung der Beleuchtungssituation vorgegeben. Die Vorgabe im Rahmen der Studie erfolgte zweimal je Versuchsdurchgang (Beginn Ruhe 1 und Ende Ruhe 2).

## 2.6. Temperatur- und Feuchtigkeitslogger

Die Raumtemperatur und relative Luftfeuchte in den Versuchsräumen wurde mit Loggern des Typs iButton DS1923 (Hersteller Dallas-Maxim) gemessen. Messwerte wurden kontinuierlich alle 30 Minuten gespeichert. Die Temperatur wurde mit einer Auflösung von 0.0625° aufgezeichnet, die Genauigkeit beträgt 0.5°. Die Feuchte wurde mit einer Auflösung von 0.6% aufgezeichnet, die Genauigkeit beträgt 5% (vgl. Anhang).

## 2.7. Ein- und Ausschlusskriterien

Die StudienteilnehmerInnen mussten zwischen 18 – 55 Jahre alt sein und sollten nach eigenen Angaben gesund sein (Erfassung erfolgte über den „Allgemeinen Gesundheitsfragebogen“). Ausschlusskriterien waren bekannte Herz/Kreislaufprobleme bzw. Rhythmusstörungen, Diabetes und die Einnahme von Medikationen, welche die Herzrate beeinflussen (Blutdrucksenker, insbesondere Betablocker, sowie Schilddrüsenhormone). Personen mit schwerwiegenden psychiatrischen Problemen und bekannte Allergie gegen Elektrodenkleber wurden ebenfalls nicht in die Studie aufgenommen. Jede TeilnehmerIn hatte die Möglichkeit jederzeit aus der Studie, ohne Angabe von Gründen, auszusteigen. Als weiteres Abbruchkriterium galt mangelnde Compliance.

## 2.8. Versuchsablauf und Randomisierung

Die ProbandInnen werden vorwiegend über Mundpropaganda und Aushänge rekrutiert. Die Ausschlusskriterien wurden vorab telefonisch bzw. persönlich abgefragt, wenn kein Ausschlussgrund vorlag wird ein Messtermin vereinbart. Die ProbandInnen füllten einen Fragebogen zu ihrem allgemeinen Gesundheitsstatus bzw. bekannten Erkrankungen aus. Dieser wurde vom Versuchsleiter auf Ausschlusskriterien geprüft, der Einschluss auf dem Versuchsleiterprotokoll vermerkt und mit der Messung begonnen. Die Versuchspersonen durchliefen die Testung zweimal, sowohl im Test- als auch im Kontrollraum. Testtermine wurden für eine bestimmte Anzahl von Versuchspersonen (typisch acht) an einem Tag nach Maßgabe ihrer verfügbaren Zeit vereinbart. Die Testungen wurden abwechselnd in jedem Raum durchgeführt, da die Versuche aus Effizienzgründen überlappend durchgeführt worden sind. Mit welchem Raum an einem bestimmten Tag begonnen worden ist, wurde randomisiert, und dem messdurchführenden Versuchsleiter gewöhnlich am Wochenbeginn, jedenfalls nach Terminvereinbarung mit den Versuchspersonen, zugänglich gemacht.

## 2.9. Verblindung

Die einzelnen Betonelemente der Versuchsräume wurden beim Guss durch unterschiedliche Markierungen (je ein oder zwei Vertiefungen) gekennzeichnet, aber nur an Seiten, die beim späteren Zusammenbau an benachbarte Elemente stießen und daher am fertigen Versuchsraum nicht zu sehen war. Der Guss selbst wurde von Mitarbeitern des Auftraggebers überwacht, der Transport und Aufbau der Elemente zu den fertigen Räumen personell getrennt und von der beauftragten Baufirma vorgenommen. Die zur Dekodierung nötigen Informationen (Zugehörigkeit der Markierungen zu Betonart bzw. Standort des Raumes nach Markierungen) wurde in getrennten Erklärungen notariell versiegelt (7. August 2013). Von der Identität bzw. Zuordnung der Versuchsräume hatte bis zum Ende der Versuche niemand, sowie bis zum Ende der Berechnungen und Auswertungen die auswertenden Mitarbeiter der Human Research Instituts keine Kenntnis.

Die Unversehrtheit der Erklärungen sowie der Inhalt wurden notariell am 19.12.2013 bestätigt.

## 2.10. Ethische Rahmenbedingungen - Anzuwendende Bestimmungen

Bei dieser Studie an gesunden Personen handelte es sich nicht um klinische, medizinische Forschung, ein Ethikvotum war daher gesetzlich nicht vorgeschrieben. Der Kantonalen Ethik-Kommission Zürich wurde das Studienprotokoll auf freiwilliger Basis vorgelegt und eine Unbedenklichkeitserklärung eingeholt (vom 31.07.2013, KEK-StV-Nr.: 29/13). Die Studie wurde nach den Richtlinien der „good clinical practice“ (ICH-GCP E6) und der Deklaration von Helsinki (Seoul, 2008), durchgeführt, von den Versuchspersonen nach Aufklärung eine schriftliches Einverständnis eingeholt.

Es erfolgte neben der Finanzierung durch *Fintan Fünf* keine weitere Unterstützung durch Dritte. Es bestehen keine bekannten Interessenskonflikte von Seiten der durchführenden MitarbeiterInnen der HUMAN RESEARCH GmbH.

## 2.11. Messgrößen, Fragestellungen und Hypothesen

Da es sich bei diesem Projekt um eine erste wissenschaftliche Humanstudie mit psychometrischen und HRV-Messungen handelte, konnten keine spezifischen Hypothesen vor Studienbeginn aufgestellt werden. Als physiologische Messgrößen [abhängige Variablen (AV)] wurden definiert, die mittlere Herzrate (HR), die Vagusaktivität (Respiratorische Sinusarrhythmie, RSA), Bandleistungen aus der Spektralanalyse der HRV: HF, LF, LF/HF, VLF und die Atemfrequenz. Weitere psychometrische Zielgrößen, waren das Befinden, die subjektive Beanspruchung, die Konzentrationsleistung und die Raumwahrnehmung bzw. Beurteilung.

Somit wurden abhängigen Variablen (AV) auf mehreren (Mess-)Ebenen, potentielle Auswirkungen der Raum- (Beton-) Zusammensetzung auf physiologischer und psychologischer Ebene erfasst.

Die zentrale <u>Fragestellung</u> lautete demnach:

Gibt es unterschiedliche Wirkungen der beiden Versuchsräume (mit und ohne Pneumatit®) auf den menschlichen Organismus?

Allgemeine Hypothese:

Es zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsräumen in den untersuchten AV:

1. … in der kardial, vegetativen Aktivierung (HRV)
2. … im Befinden (MDBF, KAB, KSS)
3. … in der Daueraufmerksamkeitsleistung (Vigil)
4. … in der Raumwahrnehmung bzw.-bewertung (SD)

Dabei wird davon ausgegangen, dass eine potentielle (Raum-)Wirkung bzw. ein Unterschied zwischen den beiden Räumen v.a. im späteren Messverlauf – nach längerer Expositionszeit – zu beobachten sein wird. Das bedeutet, dass insbesondere die Wechselwirkung (Raum x Messverlauf) für die statistische Bewertung von potentiell unterschiedlichen Raumwirkungen im Mittelpunkt der Analysen steht.

Im Studienprotokoll wurden folgende primäre Zielparameter definiert:

- Während der Ruhephasen: HR, LF/HF und VLF
- Aktivitätsphasen: HR, RSA (bzw. gleichwertig HF)
- Befinden lt. Kurzfragebogen

Als Sekundäre Zielparameter wurden geplant:

- Raumqualitäten
- übrige HRV-Parameter (interpretativ)

Eine unterschiedliche Leistung im Daueraufmerksamkeitstest wurde nicht angenommen, wird jedoch explorativ ausgewertet.

## 2.12. Statistische Methoden

Für die Abschätzung der zu erwartenden Power des gewählten Studiendesigns müssen gewisse Annahmen über die Streuung der primären Zielgrößen, die zu erwartende Änderung (gewünschte Effektstärke; hier ein „mittlerer Effekt“: d~0.5), die Messzuverlässigkeit der Messgröße (Reliabilität) und den Messfehler getroffen werden. In der Fachliteratur wird z.B. bei zwei Messzeitpunkten 21 Paare von UntersuchungsteilnehmerInnen bei einer Retestreliabilität von .60 vorgeschlagen[1]. Bei den vom HRI bisher durchgeführten HRV-Messungen wurde eine Retestreliabilität von .60 bis .80 beobachtet. Mit diesen angestellten Vorüberlegungen zur Stichprobenabschätzung zeigte sich damit, dass bei dem gewähltem Versuchsdesign und einer Stichprobe von ca. 50 StudienteilnehmerInnen eine ausreichende statistische „Power“ (β=0.80) für mittlere Effektstärken zu erwarten ist.

Das Skalenniveau der verwendeten Messgrößen entspricht großteils metrischer Qualität, bei den standardisierten Fragebögen handelt es sich um äquidistante Ratingskalen. Die physiologischen Messwerte, wie Herzrate und Herzratenvariabilität sind ebenfalls zumindest intervallskaliert. Das statistische Signifikanzniveau wurde konventionell mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (p; Alphafehler) von 5% festgelegt, wobei immer zweiseitig getestet wurde.

[1] … *bei einem „kleinen“ Effekt bzw. Unterschied bräuchte man n=125 (bei r=0.6) bzw. n=63 bei r=0.8;*

Es erfolgte keine Alpha-Adjustierung für mehrfache Testungen. Es kamen hauptsächlich parametrische Analyseverfahren zum Einsatz. Die Berechnung der HRV-Kennwerte erfolgte mittels des Programmpaketes MATLAB® (vgl. Abschnitt 2.4.3)(vgl. Task Force of the ESC and NASPE, 1996).. Artefakt behaftete Bereiche wurden in den entsprechenden Analysen nicht eingeschlossen. Fehlende Items oder fehlende relevante Messabschnitte wurden nicht ersetzt (Per-Protokoll-Analyse).

Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programmpaket SPSS, wobei Allgemeine Lineare Modelle (ALM) für Messwiederholungen [(M)ANOVA] bzw. abhängige t-Tests zur Anwendung kamen.

# 3. Beschreibung des ausgewerteten Datensatzes

## 3.1. Versuchspersonen

Die Versuchspersonen waren großteils MitarbeiterInnen der Kooperative Fintan in Rheinau und wurden per Mundpropaganda und Email-Aussendung rekrutiert.

| | Anzahl | Alter in Jahren | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Geschlecht | n | Minimum | Maximum | Mittelwert | SD |
| männlich | 29 | 18 | 54 | 38,3 | 11,7 |
| weiblich | 24 | 24 | 54 | 40,2 | 11,2 |

*Abbildung 8: Alter und Geschlecht der Versuchspersonen in der Analysestichprobe.*

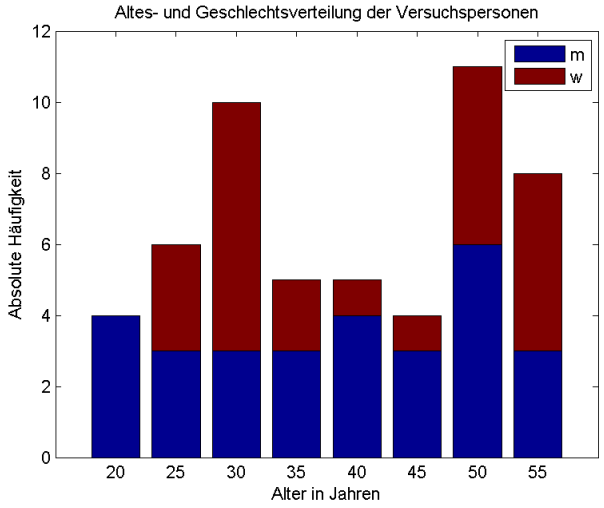



*Abbildung 9: Altersverteilung der Versuchspersonen. Jede Klasse umfasst das angegebene Alter +/- 2 Jahre.*

## 3.2. Datensets für die Auswertung

Insgesamt wurden von 54 Versuchsdurchgänge (je 2 Messungen) durchgeführt, wobei von einer Versuchsperson (P17) auf Grund einer Protokollverletzung die Messung unter neuer Nummer wiederholt wurde, sodass dass maximale Versuchspersonenset n=53 umfasst. Je Messebene bzw. AV ergibt sich auf Grund ungültiger oder fehlender Daten eine leicht differenzierende Stichprobengröße:

So sind insgesamt von 105 Messungen HRV-Daten vorhanden (P13 – HRV-Daten des Raumes „Unten“ verlorengegangen), wobei für die HRV-Analyse 47 Personen mit vollständigen und validen Datensätzen in der statistischen Betrachtung berücksichtigt werden konnten[1]. Fehlende Werte (missing values) entstanden hier in erster Linie durch momentane Artefakte (z.B. schlechte Elektrodenhaftung, besonders bei Bewegung) sowie durch Extrasystolen.

Bei den psychometrischen Größen konnten bei der Vigilanz 53 VP ausgewertet werden, bei der Schläfrigkeit (KSS) 50 VP, beim Befinden 51 VP, bei der subjektiven Beanspruchung (KAB) 51 VP und bei der Raumwahrnehmung (SD) 50 VP (1. Abfrage: „Ersteindruck“) bzw. 52 VP (2. Abfrage).

[1] *Fehlende HRV-Analysebereich waren bei P08 (Ruhe1.2), P31 (Vigil 6.2, Ruhe 2.2), P34 (Ruhe2.1 und 2.2), P35 (Adaptation.2) und P50 (Adaptation.1) zu verzeichnen.*

## 3.3. Unvorhergesehene Ereignisse

Zwei Versuchspersonen wurden zwischen erstem und zweitem Messtermin leicht krank (Infekt bzw. Erkältung), die Untersuchung wurde dann einen bzw. drei Tage später nachgeholt. Zwei weitere Versuchspersonen waren zum vorgesehenen ersten Termin verhindert. In diesen Fällen wurde der zweite Versuch wie vorgesehen durchgeführt, und der erste am darauffolgenden Tag nachgeholt. Bei diesen beiden Versuchspersonen hat sich also die Reihenfolge der Räume gegenüber der geplanten Reihenfolge umgekehrt. Ein Messabbruch einer laufenden Messung kam nicht vor.

# 4. Ergebnisse

## 4.1. Allgemeine Hinweise

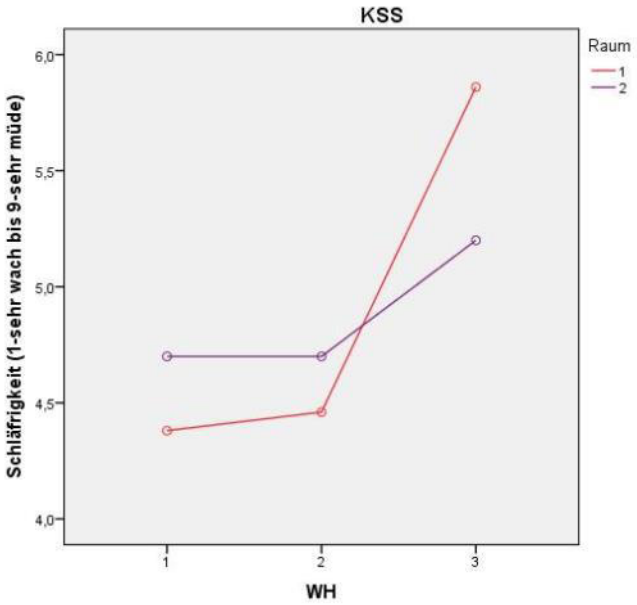
Die im Ergebnisteil vorgestellten statistischen Signifikanzwerte (p) haben überwiegend deskriptiven Charakter. Ein bedeutsamer (überzufälliger) Unterschied besteht, wenn in der statistischen Analyse ein Unterschied in einem primären Zielparameter mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5% erreicht wird. Dies gilt vollumfänglich, wenn ein Konstrukt des Mehrebenenansatzes durch eine Dimension erfasst werden kann, oder bei mehreren Dimensionen (Messparameter) ein multivariater Test möglich ist. Entsprechend Abschnitt 2.12 fand keine Alpha-Adjustierung statt, sodass bei Mehrfachtestungen, bei denen ein multivariater Test nicht sinnvoll ist, eine Bewertung in der Diskussion vorgenommen werden soll.

## 4.2. Studienergebnisse – Psychometrische Methoden

Da die Raumcodierung bei der statistischen Auswertung noch verblindet war sind die beiden Versuchsräume (Unabhängige Variable, UV) in den Abbildungen zum Teil noch mit den Nummern „1“ für Raum „unten“ (Beton ohne Pneumatit®) bzw. „2“ für Raum „oben“ (Beton mit Pneumatit®-Zusatz) codiert.

### *4.2.1. KSS: Schläfrigkeit*

In Abbildung 10 werden die Ergebnisse der subjektiven Schläfrigkeit im Messverlauf (WH) vorgestellt, welche am Ende der Vorruhephase im neutralen Raum, am Ende der „Ruhe 1“ bzw. am Ende der „Ruhe 2“ erhoben wurde. Die Ausgangswerte während der Adaptation unterscheiden sich nicht signifikant (p=.397, r=61), wobei die Schläfrigkeit wie erwartet allgemein im Messablauf zunimmt (p=.000***). Gegen Ende der Versuchsdurchführung zeigt die subjektive Schläfrigkeit im Raum „unten“ einen merklich stärkeren Anstieg, als im Raum mit Pneumatit®-Zusatz [Wechselwirkung (WW): p=.000***].



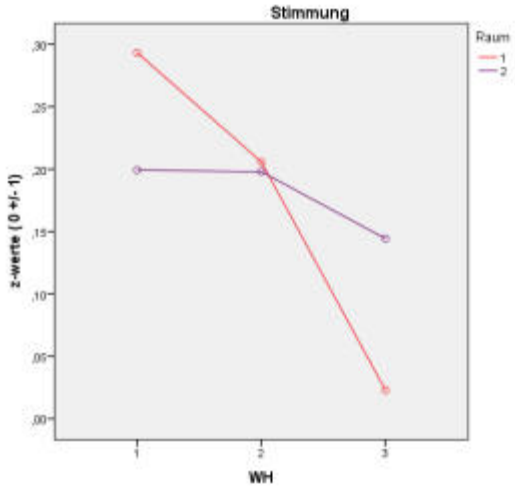

| *ALM für Messwiederholungen (N=50)* | | | |
|---|---|---|---|
| | **F** | **p** | **Eta²** |
| **Raum** | 0,031 | 0,860 | 0,001 |
| **WH** | 22,820 | **0,000*** ** | 0,318 |
| **Raum x WH** | 5,301 | **0,007** ** | 0,098 |

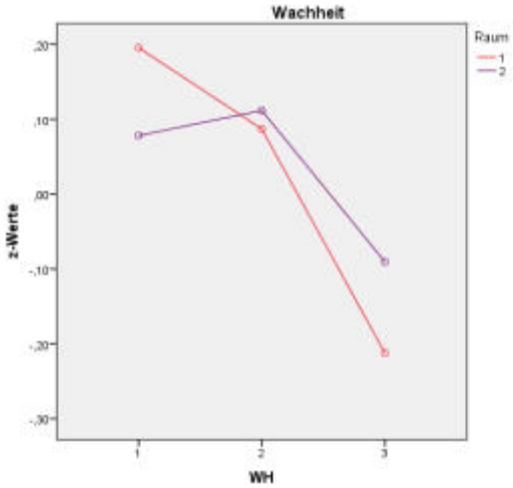
*Abbildung 10: Schläfrigkeit (KSS) im Versuchsablauf (n=50).*

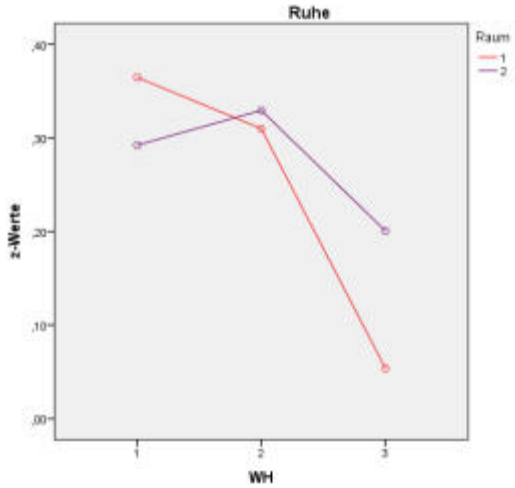
*Kodierung Messwiederholung (WH):*
*1 = Ende Adaptation,*
*2 = Ende Ruhe 1,*
*3 = Ruhe 2;*
*(höhere Werte = höhere Schläfrigkeit);*

### *4.2.2. MDBF: Momentanbefinden*

In Abbildung 11 kann man erkennen, dass sich die Befindlichkeit in beiden Räumen im Messverlauf deutlich verschlechtert (p=.000***). In der Dimension „Stimmung“ kann die gute Stimmung jedoch im Raum mit Pneumatit®-Zusatz („2“) hochsignifikant besser aufrecht erhalten werden (WW: p=.005**). In dieser Befindensdimension bestanden signifikante Unterschiede in den Ausgangswerten (AGW; p=.032*, r=.59): Die Versuchspersonen waren vor der Messdurchführung im Raum „unten“ merklich besser gestimmt, danach jedoch schlechter. Die weiteren Befindensdimensionen „Wachheit“ und „Ruhe“ zeigten tendenzielle deutlichere Befindensverschlechterungen im Raum ohne Pneumatit®-Zusatz („1“) gegen Ende des Versuchs (WW: p<.10). Hier wurden keine signifikanten Unterschiede in den Ausgangswerten festgestellt (p>.14; r>.50).




| *ALM für Messwiederholungen (N=51)* | | | |
|---|---|---|---|
| **multivariat** | **F** | **p** | **Eta²** |
| **Raum** | 0,357 | 0,784 | 0,022 |
| **WH** | 8,379 | **0,000*** ** | 0,203 |
| **Raum x WH** | 1,928 | 0,078(*) | 0,055 |

| **univariat (WW)** | **Stimmung** | **Wachheit** | **Ruhe** |
|---|---|---|---|
| **F** | 5,626 | 2,840 | 2,738 |
| **p** | **0,005**** | **0,063(*)** | **0,070(*)** |
| **Eta²** | 0,101 | 0,054 | 0,052 |

*Abbildung 11: Befinden (MDBF) im Versuchsablauf.*

*(n=51), Kodierung der Messwiederholung (WH):*
*1 = Ende Adaptation; 2 = Ende Ruhe 1; 3 = Ruhe 2*
*höhere Werte = bessere Stimmung / wacher / ruhiger*

### *4.2.3. Aktuelle subjektive Beanspruchung (KAB)*

Die subjektiv erlebte Beanspruchung unmittelbar nach dem Daueraufmerksamkeitstest (Vigil) zeigte keine Raumunterschiede (n=51, p=.391, $Eta^2$=.015), d.h. die VPN beschrieben sich in beiden Räumen gleichermaßen beansprucht [Mittelwert(MW)$_{unten}$=3.24 +/- 0.93 vs. MW$_{oben}$=3.12 +/- 0.89].

### *4.2.4. Daueraufmerksamkeit (Vigil)*

In der ca. halbstündigen Daueraufmerksamkeitsleistung konnte in beiden Räumen eine erwartete Abnahme der richtigen Reaktionen (p=.000***) bzw. Zunahme der Auslassungen (p=.000***) beobachtet werden (multivariater Haupteffekt$_{Abschnitte}$ p=.000***). Unterschiedliche Leistungen bzw. Leistungsverläufe der VPN in den beiden Versuchsräumen wurden jedoch nicht festgestellt (vgl. Abb. 12; MANOVA: F=1.44, p=.234, $Eta^2$=.105; WW: Abschnitte x Raum: p=.472), d.h. es gab generell keine signifikanten Unterschiede in Konzentrationsleistungsparametern zwischen den Räumen (p>.17)[1].

**Deskriptive Statistiken - Vigil**

| | MW | SD |
|---|---|---|
| SUMR.1: Anzahl Richtige | 23,92 | 6,27 |
| SUMR.2: Anzahl Richtige | 24,23 | 5,81 |
| MWR.1: Mittelwert Richtige | 2,99 | ,78 |
| MWR.2: Mittelwert Richtige | 3,03 | ,73 |
| MWF.1: Mittelwert Falsche | ,95 | 1,83 |
| MWF.2: Mittelwert Falsche | ,90 | 1,73 |
| MWA.1: Mittelwert Ausgelassene | 1,01 | ,78 |
| MWA.2: Mittelwert Ausgelassene | ,97 | ,73 |
| MWRT.1: Mittelwert der Reaktionszeit Richtige (sec.) | ,75 | ,18 |
| MWRT.2: Mittelwert der Reaktionszeit Richtige (sec.) | ,78 | ,21 |

*Abbildung 12: Daueraufmerksamkeit (VIGIL) und Versuchsraum (n=53).*
*Suffix nach dem Kürzel: .1 = Raum „Unten“ ohne Pneumatit®, 2 = Raum „Oben“ mit Pneumatit®*

[1] *Retest-Reliabilität der Leistungskennwerte im Vigil: – z.B. SUMR: r=.66, MWR: r=.66, MWF: r=.86 und MWRT: r=.79;*

### *4.2.5. Raumwahrnehmung: Semantisches Differential (SD)*

Zur Erfassung der Raumwahrnehmung bzw. subjektiven Raumwirkung wurde eine Reihe von 18 Eigenschaftspaaren wie "kalt - warm", "anregend - ermüdend" zu Beginn der Ruhe 1 bzw. am Ende der Ruhe 2 in beiden Versuchsräumen vorgegeben.

Bei multivariater Betrachtung (n=50) zeigt sich, dass der Zeitpunkt der Vorgabe (Ersteindruck vs. Eindruck nach längerem Raumaufenthalt) eine signifikante Rolle spielt (p=.014*), nicht jedoch der Raum selbst (multivariater Haupteffekt$_{Raum}$ p=.242; WW: Raum x WH: p=.528). Bei univariater Betrachtung auf Einzelitem-Ebene zeigen sich Raumunterschiede bei folgenden Eigenschaftspaaren:

- SD4 - p=.018*; stark (0) – schwach (6): $MW_{unten}$=2.02 +/- 1.33 vs. $MW_{oben}$=2.38 +/- 1.22
- SD5 - p=.060(*); großzügig (0) – sparsam (6): $MW_{unten}$=3.84 +/- 1.38 vs. $MW_{oben}$=3.37 +/- 1.63
- SD8 - p=.015*; zurückhaltend (0) – offen (6): $MW_{unten}$=2.49 +/- 1.41 vs. $MW_{oben}$=3.19 +/- 1.51

Somit wird der Raum „oben“ mit Pneumatit®-Zusatz als „offener“, „schwächer“ und tendenziell „großzügiger“ beschrieben als der Raum „unten“ ohne Pneumatit®-Zusatz. Die Werte bzw. das Profil über alle Eigenschaftspaare im Semantischen Differential wird in Abbildung 13 getrennt für die beiden Messzeitpunkte innerhalb eines Versuchsdurchlaufs vorgestellt.

Eine Wechselwirkung wurde bei SD10 p=0,014*; triebhaft (1) – gehemmt (5); festgestellt, der Raum „oben“ wurde am Beginn „triebhafter“, am Ende „gehemmter“ als der Raum „unten“ beschrieben.

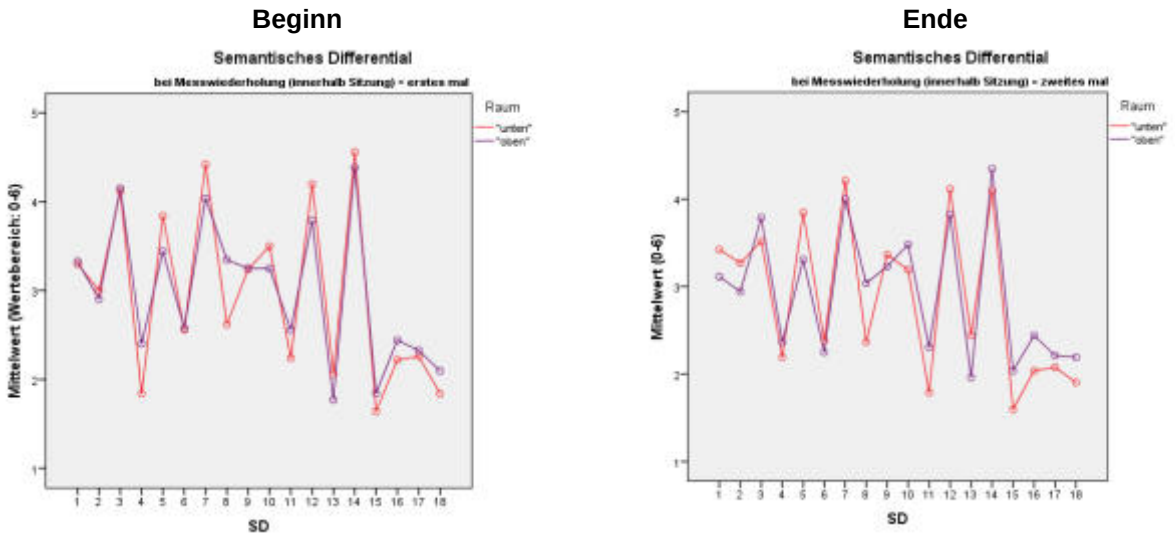



*Abbildung 13: Raumwahrnehmung (SD) und Versuchsraum (Versuchsbeginn: n=50, Ende: n=52).*

*x-Achse: SD - 1 weich-hart, 2 heiter-traurig, 3 verschwommen-klar, 4 stark-schwach, 5 großzügig-sparsam, 6 passiv-aktiv, 7 verspielt-ernst, 8 zurückhaltend-offen, 9 hilfsbereit-egoistisch, 10 triebhaft-gehemmt, 11 kühl-gefühlvoll, 12 redselig-verschwiegen, 13 friedlich-aggressiv, 14 zerfahren-geordnet, 15 nüchtern-verträumt, 16 streng-nachgiebig, 17 zurückgezogen-gesellig, 18 robust-zart;*

## 4.3. Ergebnisse – HRV

### *4.3.1. Statistische Kennwerte- Signifikanzprüfung*

**ALM: Tests d. Innersubjekteffekte (N=47)**

| | | Absolutwerte | | | Differenzwerte | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **HRV-Kennwert** | **Zeitbereich** | **F** | **p** | **Eta²** | **F** | **p** | **Eta²** |
| **ATMF** | Phase | 3,684 | 0,014 | 0,074 | 1,526 | 0,223 | 0,032 |
| | Raum | 1,027 | 0,316 | 0,022 | 0,124 | 0,727 | 0,003 |
| | WW | 2,558 | 0,058 | 0,053 | 4,030 | **0,021** | 0,081 |
| **HR** | Phase | 33,732 | 0,000 | 0,423 | 54,378 | 0,000 | 0,542 |
| | Raum | 1,934 | 0,171 | 0,040 | 2,160 | 0,148 | 0,045 |
| | WW | 1,631 | 0,185 | 0,034 | 1,372 | 0,259 | 0,029 |
| **lnHFhf** | Phase | 3,174 | 0,026 | 0,065 | 5,819 | 0,004 | 0,112 |
| | Raum | 0,647 | 0,425 | 0,014 | 0,849 | 0,362 | 0,018 |
| | WW | 3,181 | **0,025** | 0,065 | 4,385 | **0,015** | 0,087 |
| **lnHFrr** | Phase | 18,594 | 0,000 | 0,288 | 31,482 | 0,000 | 0,406 |
| | Raum | 3,887 | 0,055 | 0,078 | 1,156 | 0,288 | 0,025 |
| | WW | 1,041 | 0,377 | 0,022 | 0,970 | 0,383 | 0,021 |
| **lnLFrr** | Phase | 24,795 | 0,000 | 0,350 | 21,582 | 0,000 | 0,319 |
| | Raum | 0,747 | 0,392 | 0,016 | 0,553 | 0,461 | 0,012 |
| | WW | 0,406 | 0,749 | 0,009 | 0,353 | 0,704 | 0,008 |
| **VQrr** | Phase | 15,214 | 0,000 | 0,249 | 8,532 | 0,000 | 0,156 |
| | Raum | 2,301 | 0,136 | 0,048 | 2,560 | 0,116 | 0,053 |
| | WW | 1,190 | 0,316 | 0,025 | 0,537 | 0,586 | 0,012 |
| **lnTOTrr** | Phase | 50,981 | 0,000 | 0,526 | 51,454 | 0,000 | 0,528 |
| | Raum | 0,883 | 0,352 | 0,019 | 1,361 | 0,249 | 0,029 |
| | WW | 1,006 | 0,392 | 0,021 | 0,865 | 0,424 | 0,018 |
| **lnVLFrr** | Phase | 57,373 | 0,000 | 0,555 | 52,689 | 0,000 | 0,534 |
| | Raum | 0,026 | 0,873 | 0,001 | 1,297 | 0,261 | 0,027 |
| | WW | 1,289 | 0,281 | 0,027 | 1,286 | 0,281 | 0,027 |
| **logRSAhf** | Phase | 4,141 | 0,008 | 0,083 | 7,133 | 0,001 | 0,134 |
| | Raum | 7,715 | **0,008** | 0,144 | 0,761 | 0,388 | 0,016 |
| | WW | 2,390 | 0,071 | 0,049 | 3,329 | **0,040** | 0,067 |
| **logRSArr** | Phase | 14,378 | 0,000 | 0,238 | 23,187 | 0,000 | 0,335 |
| | Raum | 8,004 | **0,007** | 0,148 | 0,707 | 0,405 | 0,015 |
| | WW | 0,723 | 0,540 | 0,015 | 0,733 | 0,483 | 0,016 |
| **SD1** | Phase | 16,836 | 0,000 | 0,268 | 23,164 | 0,000 | 0,335 |
| | Raum | 3,536 | 0,066 | 0,071 | 3,055 | 0,087 | 0,062 |
| | WW | 1,123 | 0,342 | 0,024 | 0,122 | 0,885 | 0,003 |
| **SD2** | Phase | 46,238 | 0,000 | 0,501 | 42,264 | 0,000 | 0,479 |
| | Raum | 1,892 | 0,176 | 0,040 | 2,362 | 0,131 | 0,049 |
| | WW | 1,226 | 0,303 | 0,026 | 0,762 | 0,469 | 0,016 |
| **SDNN** | Phase | 46,425 | 0,000 | 0,502 | 44,096 | 0,000 | 0,489 |
| | Raum | 1,395 | 0,244 | 0,029 | 3,100 | 0,085 | 0,063 |
| | WW | 2,015 | 0,115 | 0,042 | 1,551 | 0,218 | 0,033 |
| **QPArsa** | Phase | 2,880 | 0,038 | 0,059 | 4,299 | 0,016 | 0,085 |
| | Raum | 1,807 | 0,185 | 0,038 | 0,085 | 0,772 | 0,002 |
| | WW | 1,979 | 0,120 | 0,041 | 2,826 | 0,064 | 0,058 |
| **pp8** | Phase | 2,502 | 0,062 | 0,052 | 2,646 | 0,076 | 0,054 |
| | Raum | 0,102 | 0,751 | 0,002 | 0,297 | 0,588 | 0,006 |
| | WW | 0,899 | 0,443 | 0,019 | 1,158 | 0,319 | 0,025 |
| **r.valid** | Phase | 0,646 | 0,587 | 0,013 | 1,045 | 0,356 | 0,020 |
| | Raum | 0,083 | 0,774 | 0,002 | 1,001 | 0,322 | 0,019 |
| | WW | 1,009 | 0,390 | 0,019 | 1,097 | 0,338 | 0,021 |

WW: Wechselwirkung - Phase x Raum

Absolutwerte: Phase: 4 Stufen: Adaptation, Ruhe1, Vigil, Ruhe 2

Differenzwerte: Phase: 3 Stufen: Differenz zu neutralem Raum bzw. Adaptation (Diff. = Phase - Adap.).

Fettdruck **p<0.05**, graue Hinterlegung 0.05<=p<0.1

*Abbildung 14: Statistische Ergebnisse zu HRV-Kennwerten.*

### *4.3.2. Abbildungen: HRV-Kennwerte*

Allgemein zeigen sich die HRV-Kennwerte sehr sensitiv auf den Versuchsablauf, d.h. sie ändern sich auf typische Weise im Messverlauf bzw. die VPN reagieren physiologisch auf die an sie gestellten Versuchsanforderungen.

Grundsätzlich sind Differenzwerte zur Adaptationsphase (Vorruhe – „neutraler“ Raum) zu bevorzugen, da dadurch ein Teil der Varianz, von dem angenommen wird, dass er normale tagesabhängige Unterschiede (Tagesverfassung) widerspiegelt, nicht in die Berechnung eingeht. Voraussetzung ist jedoch, dass diese Tagesschwankungen nicht systematisch sind, also nicht bezüglich des Raumes unterschiedlich. Daher werden im Folgenden sowohl die Grafiken der Differenzwerte (rechte Spalte, Adaptationsphase immer null) als auch der Absolutwerte (linke Spalte) dargestellt, um die Ausgangswerte in der Adaptationsphase beurteilen zu können. Ein t-Test dieser Ausgangswerte ist dem Anhang (Tabelle 1) zu entnehmen.

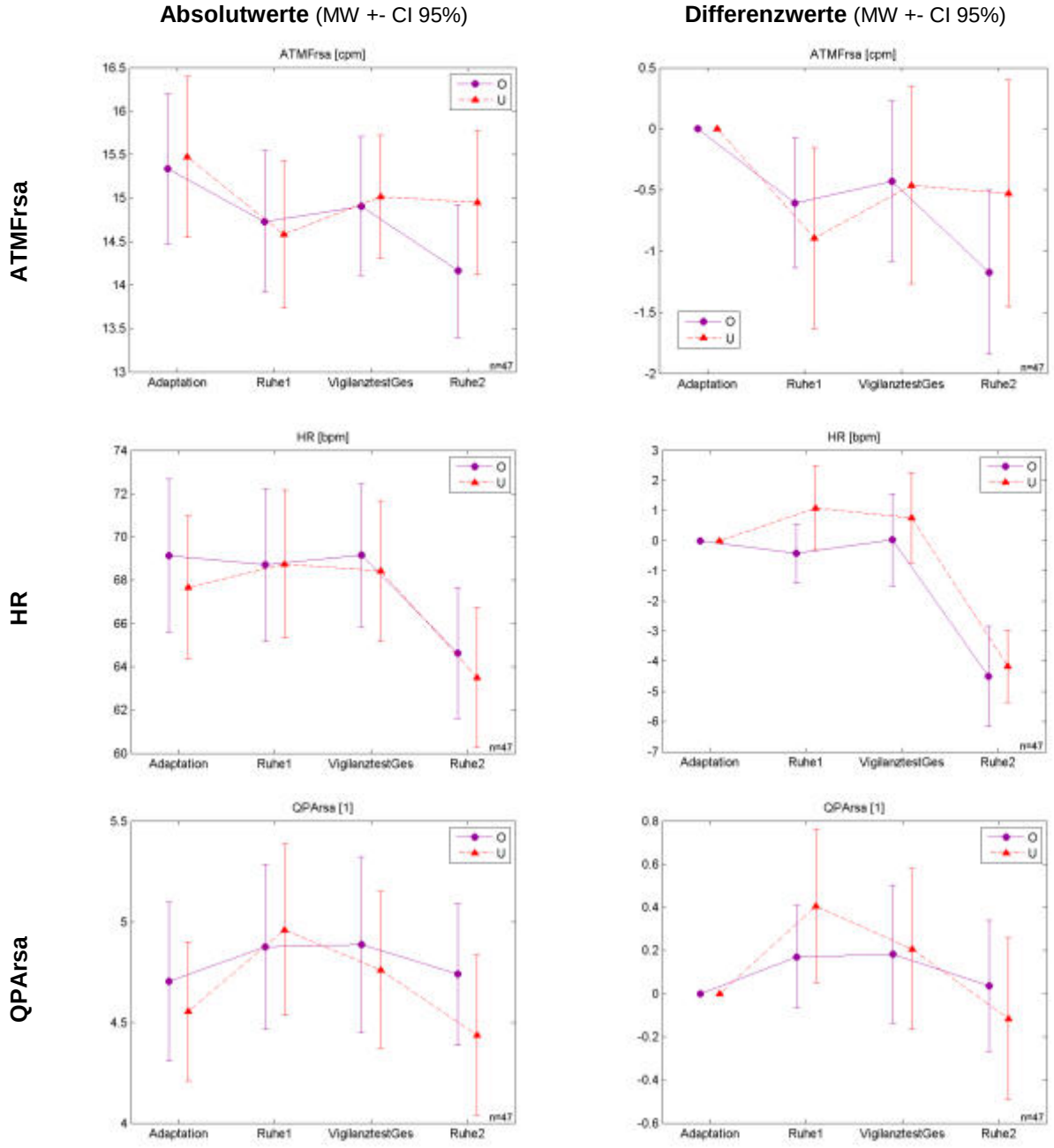



*Abbildung 15: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 1.*

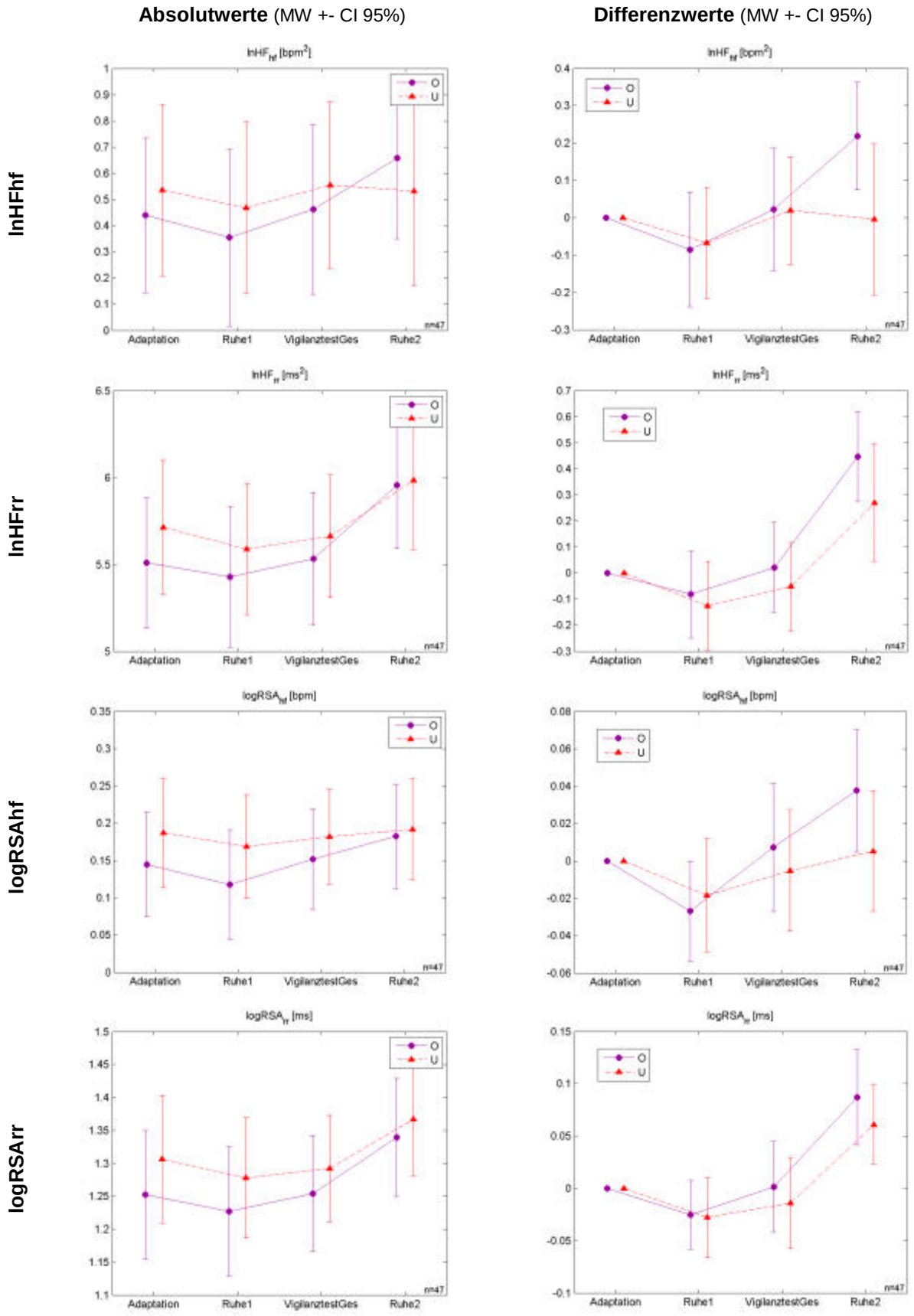



*Abbildung 16: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 2.*

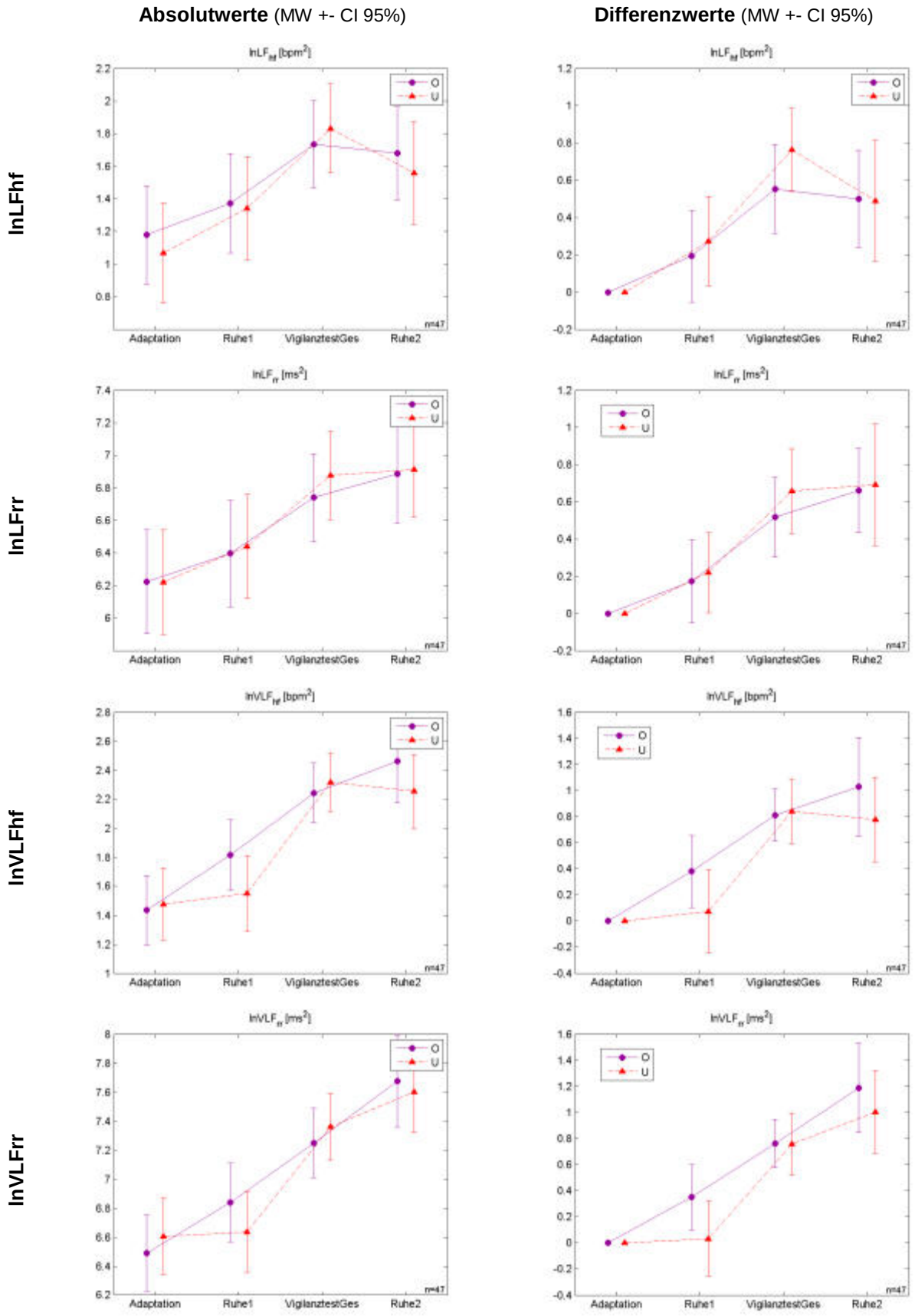



*Abbildung 17: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 3.*

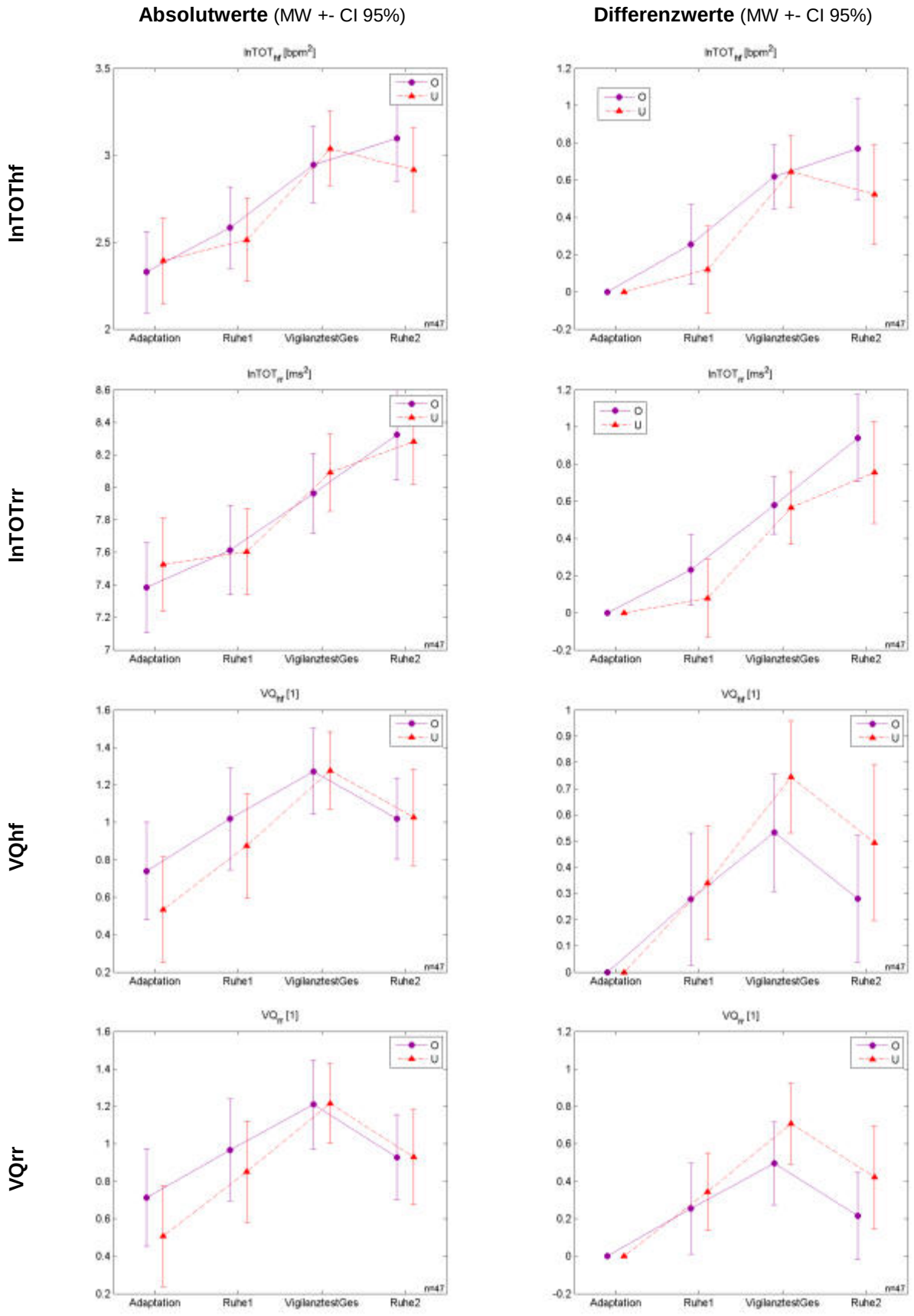



*Abbildung 18: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 4.*

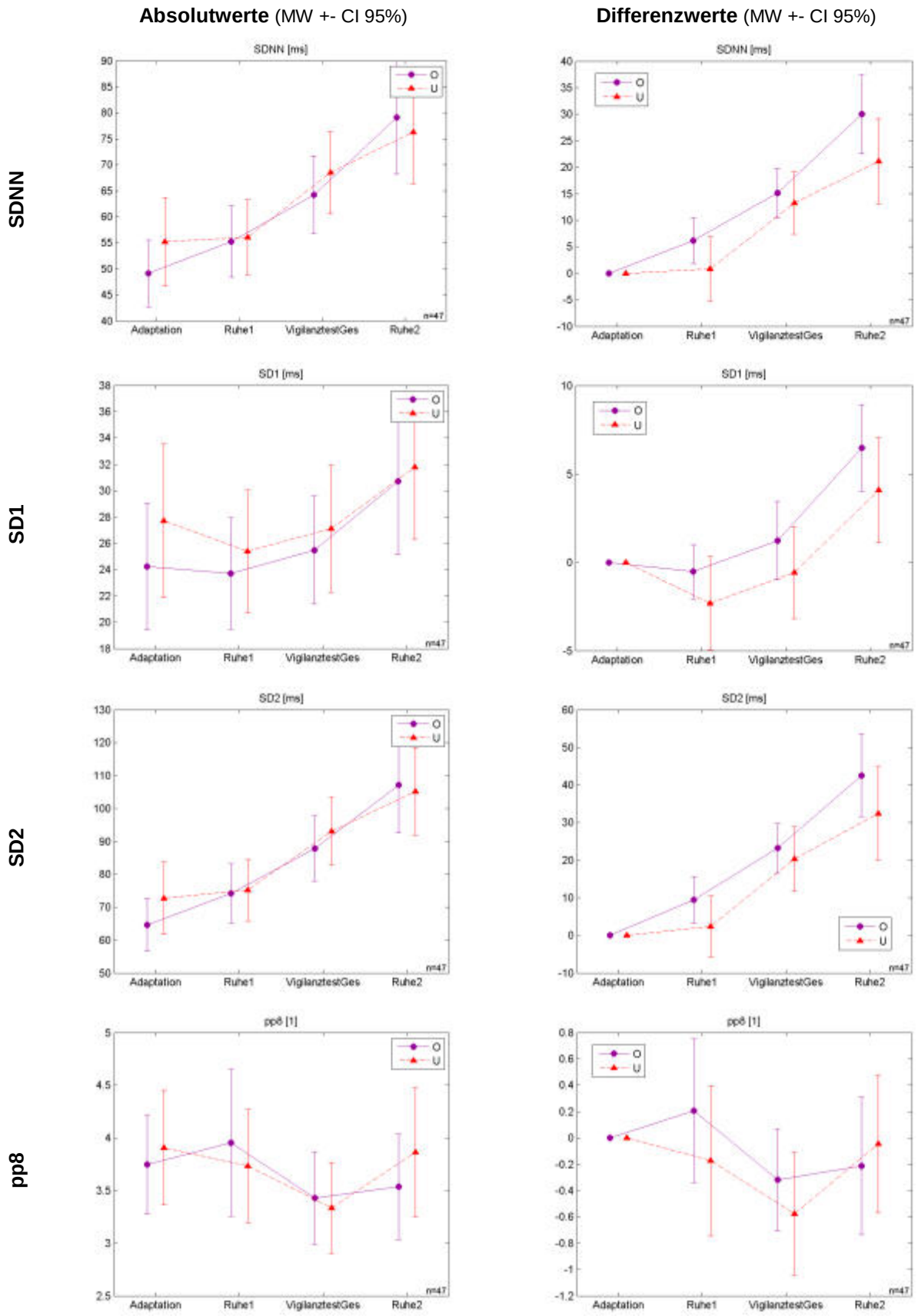



*Abbildung 19: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 5.*

Allgemein zeigen sich die HRV-Kennwerte sehr sensitiv auf den Versuchsablauf, d.h. sie ändern sich auf typische Weise im Messverlauf bzw. die Versuchspersonen reagieren physiologisch auf die an sie gestellten Versuchsanforderungen. Der für beide Gruppen gemeisame Verlauf, anhand der Zeilen „Phase“ in Abbildung 14, zeigt eine gleichbleibende Herzrate HR in den ersten drei Versuchsphasen und eine Abnahme in Ruhe 2. Die Gesamtvariabilität (lnTOT, SDNN, SD2) nimmt über den Versuchsablauf nahezu stetig zu. Vagale Kennwerte (lnHF, logRSA, SD1) bleiben zuerst gleich oder nehmen leicht ab, um in Ruhe 2 zuzunehmen. Leistungorientierte Kennwerte (lnLF, lnVLF) zeigen die größte Zunahme zwischen Ruhe 1 und Vigilanzphase. Der vegetative Quotient (VQ) hat einen Anstieg mit Maximum in der Vigilianzphase, um in Ruhe 2 wieder abzufallen.

Wie in Abbildung 14 bis Abbildung 19 dargestellt, zeigen sich Unterschiede bzw. Wechselwirkungen zwischen den beiden Versuchsräumen in einigen Parametern der kardial-vegetativen Aktivierung (HRV), wobei v.a. atmungsbezogene, vagale HRV-Kennwerte davon betroffen sind: Die berechnete Atemfrequenz (ATMFrsa) nimmt gegen Ende des Versuchs im Raum mit Pneumatit®-Zusatz etwas stärker ab, die vagalen Kennwerte lnHFhf und logRSA nehmen in „Ruhe 2“, signifikant stärker zunehmen, SD1 zeigt einen tendenziellen Raumunterschied. Dabei nähern sich die logRSA-Werte und SD1 sowie die lnHFrr von größeren Unterschieden zwischen den Räumen am Beginn einander an, während die lnHRhf in Ruhe 2 wieder auseinanderstrebt.

Sympathikotone HRV-Kennwerte (lnLF, lnVLF, SD2) und die vegetative Balance (VQrr) zeigen hingegen keine überzufälligen Raumeffekte bzw. Raum x Zeit Interaktionen.

# 5. Diskussion

*Gibt es unterschiedliche Wirkungen der beiden Versuchsräume (mit und ohne Pneumatit®) auf den menschlichen Organismus?*

Zur Beantwortung dieser zentralen Fragestellung wurden unterschiedliche Messgrößen auf mehreren (Mess-)Ebenen erhoben, um potentielle Auswirkungen der Räume, die sich lediglich in der Betonzusammensetzung unterschieden, auf physiologischer und psychologischer Ebene zu erfassen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass eine potentielle (Raum-)Wirkung bzw. ein Unterschied zwischen den beiden Räumen vor allem im späteren Messverlauf – nach längerer Expositionszeit – zu beobachten sein würde.

## 5.1. Studiendesign

Das überkreuzte Design und die wechselnde Zuteilung der ersten Messung zu den Versuchsräumen hatten den Sinn, potentielle Reihenfolgeeffekte der Versuchsabfolge, beispielsweise Gewöhnungseffekte oder Witterungseinflüsse, auf die erhaltenen Ergebnisse auszuschließen. Eine explorative Betrachtung der Versuchsreihenfolge (siehe Anhang, Abschnitt 7.2, Tabelle 2) und der Temperatur- und Feuchtebalancierung (Anhang, Abschnitt 7.3) zeigen, dass diese Annahme zutrifft.

Nicht explizit erfasste/kontrollierte individuelle Begebenheiten bei der Testdurchführung an einem Messtag, bzw. deren Beeinflussung auf die Studienergebnisse könnten gegebenenfalls als unsystematischer Effekte in den Ergebnissen wirksam werden, sollten jedoch aufgrund der Stichprobengröße für die erhaltenen Ergebnisse keine nennenswerte Rolle spielen.

## 5.2. Psychometrische Maße

Im subjektiven Befinden und in der Schläfrigkeit zeigen sich Vorteile des Versuchsraumes mit Pneumatit®-Zusatz, welche sich gegen Ende des Versuchsablaufs, in der letzten Ruhephase nach dem Konzentrationsleistungstest, beobachten lassen.

Die **Schläfrigkeit** (KSS) wurde dreimal im Versuchsablauf erhoben: Am Ende der Adaptationsphase und am Ende beider Ruhephasen. In der Adaptationsphase sollte sich kein Unterschied finden. Über den Versuchsverlauf ist mit einer zunehmenden Schläfrigkeit zu rechnen, daher wurde ein signifikanter Zeitverlauf erwartet (WH) und die Wechselwirkung (Raum x WH) getestet: Die Schläfrigkeit war am Ende der Ruhephase 1 noch unverändert, nahm aber bis zum Ende des Versuchsablaufs in beiden Räumen zu. Die Zunahme der Schläfrigkeit war im Normalbeton-Raum deutlich und hochsignifikant (p=.007**) größer als im Pneumatit-Raum, d.h. es gelang den Versuchspersonen im Pneumatit-Raum besser, ihren Grad an Wachheit aufrechtzuerhalten.

Die **Befindlichkeit** (MDBF) wurde ebenso dreimal im Versuchsverlauf erhoben. Der MDBF kann in drei Subskalen (Stimmung, Wachheit und Ruhe) aufgeteilt werden. Die Überlegungen zum Zeitverlauf (WH) und der unterschiedlichen Entwicklung des Zeitverlaufs (Raum x WH) gelten in analoger Weise. In der multivariaten Betrachtung (d.h. die Subskalen werden in einem gemeinsamen Modell geprüft) ist die Wechselwirkung tendenziell signifikant [p=.078(*)]. Wird die Wechselwirkung in einem univariaten Modell

(jede Subskala getrennt) geprüft, zeigt sich, dass die Veränderung in der Dimension Stimmung hochsignifikant ist (p=.005**), in den beiden anderen Subskalen eine Tendenz zeigt. Alle Subskalen zeigen dabei einen ähnlichen Verlauf: Im Pneumatit-Raum bleibt das Befinden von Adaptationsphase zu Ruhephase 1 gleich und nimmt zum Versuchsende hin leicht ab, im Normalbeton-Raum nimmt es bereits in Ruhephase 1 leicht ab (ist dann auf nahezu identem Niveau wie im Pneumatit-Raum) und nimmt zum Versuchsende hin stark ab. Aufgrund der Aufmerksamkeitsbelastung wurde eher eine Verschlechterung des Befindens erwartet. Die Stimmung kann im Raum Pneumatit-Raum weitgehend aufrecht erhalten werden, während sie im Normalbeton-Raum abnimmt, tendenziell gilt dies auch für Wachheit und Ruhe.

In der subjektiven **Raumwahrnehmung** bzw. -wirkung wird der Raum mit Pneumatit®-Zusatz als „offener", „schwächer" und tendenziell „großzügiger" wahrgenommen als der Vergleichsraum ohne Zusatzstoffe, der „geschlossener", „stärker", und tendenziell „sparsamer" beschrieben.

Leistungsbezogene Kennwerte der **Daueraufmerksamkeit** und die subjektive **Beanspruchung** zeigen hingegen keine unterschiedlichen Raumwirkungen im gewählten Versuchssetting.

## 5.3. Physiologische Maße: HRV-Kennwerte

Allgemein zeigte sich die kardial-vegetativen Regulation (HRV-Kennwerte) sehr sensitiv auf den Versuchsablauf, d.h. sie ändert sich auf typische Weise im Messverlauf, die Versuchspersonen reagieren physiologisch auf die an sie gestellten Versuchsanforderungen.

Effekte zwischen den beiden Versuchsräumen zeigen sich hier bei atmungsbezogenen, vagalen HRV-Kennwerten. Die berechnete Atemfrequenz (ATMFrsa) nimmt gegen Ende des Versuchs im Raum mit Pneumatit®-Zusatz etwas stärker ab (p=.021*), wohingegen vagale Kennwerte, wie die lnHFhf, und logRSAhf, insbesondere in „Ruhe 2", signifikant stärker zunehmen (p<.05*). Dies lässt auf eine größere vegetative Entspannung schließen, welche durch eine veränderte Atemmodulation (langsameres Ein-, Ausatmen) zu Stande gekommen sein könnte.

Sympathikotone HRV-Kennwerte und die vegetative Balance (VQrr) zeigen hingegen keine überzufälligen Raumeffekte bzw. Raum x Zeit Interaktionen (p>.10).

## 5.4. Einschränkungen der Ergebnisse

In den vagalen Kennwerte ist allerdings der Rückschluss auf eine Raumwirkung durch den Verlauf des Parameter logRSA - die Varianten logRSArr und logRSAhf grundsätzlich, mit etwas anderen p-Werten, gleich – nicht eindeutig gegeben. Es ist ein Unterschied der Ausgangswerte vorhanden, der sich im Verlauf der Messabfolge verringert. Ein derartiger Verlauf muss nicht mit einer Wirkung der Versuchsbedingungen zusammenhängen, sondern kann sich auch als Normalisierungs- bzw. Homogenisierungsphänomen der (zufällig) unterschiedlichen Ausgangswerte einstellen (vgl. „regression to the mean"). Dieser Verlauf ist in den Varianten logRSArr und logRSAhf synchron. Ein idealtypischer Verlauf der HRV-Kennwerte, der eindeutig auf eine spezifische Raumwirkung schließen ließe, hätte in der Adaptationsphase gleiche Ausgangswerte, danach würde sich der Verlauf zwischen den beiden Räumen auftrennen. Je nach Zeitdauer könnte dies sofort (also bereits in Ruhe1) oder erst später (während des Vigilanztests oder in Ruhe 2) geschehen, ebenso belastungsabhängig variieren (z.B. nur während der Vigilanzphase auftreten). Ein solcher Verlauf kann z.B. bei der Atemfrequenz (ATMF) beobachtet werden.

Weiters wäre erwartet worden, dass die statistischen Aussagen (p-Werte) in den berechneten HRV-Kennwerten aus der Herzfrequenz (lnHFhf) zu jenen aus den gebräuchlicheren RR-Intervallen (lnHFrr) ähnlich sind.Die lnHFhf steigt nach erst parallelem Verlauf in Ruhe 2 nur im Pneumatit-Raum, jedoch die lnHFrr in beiden Räumen – ein Unterschied, der zwar mathematisch, nicht aber physiologisch erklärbar ist. Die wissenschaftliche Diskussion um die Unterschiede ist im Laufe der Jahre mit theoretischen, nicht aber ausreichenden Anwendungsargumenten, etwas im Sande verlaufen (vgl. (Berntson, et al., 1995)).

In der Interpretation der p-Werte als Irrtumswahrscheinlichkeiten bei der Ablehnung eines Nicht-Unterschieds sind allgemein folgende Punkte zu beachten:

1. Bei mehrfacher Testung muss das Signifikanzniveau korrigiert werden, da die Global-Wahrscheinlichkeit, dass ein Parameter zufällig einen kleinen p-Wert liefert, mit der Anzahl der Tests stark steigt.
2. Die einzelnen Parameter (AV) sind nicht unabhängig, sondern untereinander stark korreliert. Eine Bonferroni- oder Bonferroni-Holm-Korrektur wäre zu konservativ.

Die Abschätzung des tatsächlichen Gesamteffektes muss daher das Ausmaß der Einzeltestergebnisse gemeinsam mit dem logischen Zusammenhang der Parameter betrachten. Damit können die vorgestellten Ergebnisse, u.a. auch auf Grund des teilexplorativen Charakters dieser Studie, nicht einfach verallgemeinert werden, solange diese nicht an einer weiteren Stichprobe repliziert bzw. validiert worden sind.

Die Power der Studie, also die Wahrscheinlichkeit überzufällige Effekte auch dingfest machen zu können, kann jedoch als ausreichend gut angenommen werden (vgl. Pkt. 2.12). Potentielle Reihenfolgeeffekte der Versuchsabfolge, klimatische Witterungseinflüsse oder Auswirkungen individueller Begebenheiten vor/bei der Testdurchführung auf die erhaltenen Ergebnisse scheinen auf Grund der Stichprobengröße bzw. des angewendeten Randomisierungsprozederes unwahrscheinlich.

## 5.5. Schlussfolgerung

Die psychometrischen Ergebnisse zu Schläfrigkeit und Befinden favorisieren die Versuchsbedingung „Oben“, also den Versuchsraum mit Pneumatit®-Zusatz.

Einzelne Ergebnisse zur kardial-vegetativen Regulation deuten in die gleiche Richtung, nämlich auf ein größeres vegetatives Entspannungspotential gegen Ende der Expositionszeit (in der Ruhephase nach monotoner Aufmerksamkeitsleistung) im Versuchsraum mit Pneumatit®-Zusatz, jedoch gibt es Unsicherheiten aufgrund von Ausgangswertunterschieden und uneinheitlichen Resultaten in HRV-Parametern mit gleichartiger physiologischer Interpretation.

Teilergebnisse, die umgekehrt auf eine günstigere Wirkung des Normalbetonraumes hinweisen würden, kamen in der Studie nicht vor.

Auf Grund des gewählten Mehrebenansatzes kann davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Wirkungen der beiden Versuchsräume auf den menschlichen Organismus beobachtet werden konnten. Weiterführende Studien bzw. eine Replikation der beobachteten Effekte erscheinen jedoch notwendig, um kausale Wirkungen auf die Herzratenvariabilität oder allgemein gültige Aussagen zu Auswirkungen von Beton mit Pneumatit®-Zusatz für andere Personengruppen bzw. Rahmenbedingungen (Settings) zu validieren.

# 6. Zusammenfassung

Ziel dieser prospektiven randomisierten doppelblinden Cross-Over-Studie war eine wissenschaftliche Evaluation potentieller Unterschiede von Räumen mit Normalbeton gegenüber mit Pneumatit® versetztem Beton in der Wirkung auf den Menschen.

Pneumatit® besteht aus einer Reihe natürlicher organischer, mineralischer und metallischer Substanzen, die in einem vielstufigen zweitägigen Prozess verarbeitet werden. Das Zwischenprodukt wird auf $10^{-5}$ potenziert. Rezepturgemäss wurden in den einen Proberaum 125 ml Pneumatit® pro $m^3$ Frischbeton eingebracht.

53 gesunde Personen im Alter zwischen 18 und 54 Jahren (39 +/- 11 Jahre) wurden auf kardial vegetativer und psychologischer Ebene in einem Ruhe-Beanspruchungs-Setting untersucht.

Im subjektiven Befinden und in der Schläfrigkeit zeigten sich Vorteile des Versuchsraumes mit Pneumatit®-Zusatz, welche sich gegen Ende des Versuchsablaufs beobachten ließen. Aufgrund der Testbelastung stieg generell die Schläfrigkeit und das Befinden verschlechterte sich, doch gelang es den Versuchspersonen im Pneumatit®-Raum besser, Schläfrigkeit hintanzuhalten und eine gute Stimmung aufrechtzuerhalten. Dabei wurde der Raum mit Pneumatit®-Zusatz „schwächer“, offener“ und tendenziell „großzügiger“ wahrgenommen als der Vergleichsraum ohne Zusatzstoffe.

Leistungsbezogene Kennwerte und subjektive Beanspruchung zeigten keine unterschiedlichen Raumwirkungen im gewählten Versuchssetting.

Die Ergebnisse zur kardial-vegetativen Regulation (Herzratenvariabilitäts-Kennwerte) zeigten mögliche Vorteile des Versuchsraums mit Pneumatit®-Zusatz im Sinne eines größeren vegetativen Entspannungspotentials in der Ruhephase nach monotoner Aufmerksamkeitsleistung, jedoch sind die Ergebnisse nicht durchwegs einheitlich und aufgrund unerwarteter Ausgangswertunterschiede nicht völlig eindeutig interpretierbar. Teilergebnisse, die umgekehrt auf eine günstigere Wirkung des Normalbetonraumes hinweisen würden, kamen in der Studie nicht vor.

Auf Grund des gewählten Mehrebenenansatzes kann davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Wirkungen der beiden Versuchsräume auf den menschlichen Organismus beobachtet wurden. Eine Replikation der beobachteten Effekte ist notwendig, um Wirkungen auf die Herzratenvariabilität zu sichern bzw. allgemein gültige Aussagen zu Auswirkungen von Beton mit Pneumatit®-Zusatz treffen zu können.

# 7. Anhang

## 7.1. HRV Ausgangswert- und Post-hoc-Analyse

Zur Analyse der Ausgangswerte (Spalten Adaptation und Ruhe1) sowie zur Post-hoc-Analyse von Unterschieden zu bestimmten Zeitpunkten (Spalten Vigil Ges und Ruhe2) wurden gepaarte t-Tests angewandt.

**Test O gegen U**

| | **Adaptation** | | | | **Ruhe1** | | | | **Vigil Ges** | | | | **Ruhe2** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parameter | mean(diff) | sd(diff) | p | n | mean(diff) | sd(diff) | p | n | mean(diff) | sd(diff) | p | n | mean(diff) | sd(diff) | p | n |
| HR | -1,108 | 5,607 | 0,169 | 50 | -0,0602 | 5,111 | 0,933 | 51 | -0,409 | 5,012 | 0,559 | 52 | -1,033 | 5,141 | 0,162 | 50 |
| RR | 9,61 | 79,79 | 0,399 | 50 | -2,813 | 66,13 | 0,763 | 51 | 2,3 | 64,86 | 0,799 | 52 | 16,97 | 75,22 | 0,117 | 50 |
| logRSAhf *) | 0,04157 | 0,1131 | **0,012** | 50 | 0,05287 | 0,1179 | **0,002** | 51 | 0,03119 | 0,09122 | **0,017** | 52 | 0,01152 | 0,1012 | 0,425 | 50 |
| logRSArr | 0,04839 | 0,1441 | **0,022** | 50 | 0,05259 | 0,1408 | **0,010** | 51 | 0,035 | 0,1224 | **0,044** | 52 | 0,0272 | 0,1265 | 0,135 | 50 |
| SDNN | 5,344 | 18,17 | **0,043** | 50 | 1,596 | 15,76 | 0,473 | 51 | 4,072 | 14,32 | **0,045** | 52 | -2,465 | 30,3 | 0,568 | 50 |
| ATMFrsa | 0,131 | 1,464 | 0,530 | 50 | -0,1572 | 2,647 | 0,673 | 51 | 0,08335 | 1,507 | 0,692 | 52 | 0,7813 | 2,323 | **0,021** | 50 |
| QPArsa | -0,1208 | 0,5773 | 0,145 | 50 | 0,08905 | 1,223 | 0,605 | 51 | -0,08603 | 0,7677 | 0,423 | 52 | -0,2946 | 0,9053 | **0,026** | 50 |
| lnVLFhf | 0,05611 | 0,9504 | 0,678 | 50 | -0,2144 | 1,018 | 0,139 | 51 | 0,09336 | 0,4388 | 0,131 | 52 | -0,183 | 1,315 | 0,330 | 50 |
| lnLFhf | -0,08523 | 0,6401 | 0,351 | 50 | 0,006558 | 0,7863 | 0,953 | 51 | 0,1198 | 0,3457 | **0,016** | 52 | -0,1443 | 0,9141 | 0,270 | 50 |
| lnHFhf *) | 0,0995 | 0,5496 | 0,207 | 50 | 0,1256 | 0,6141 | 0,150 | 51 | 0,09022 | 0,363 | 0,079 | 52 | -0,1198 | 0,6078 | 0,170 | 50 |
| lnTOThf | 0,07447 | 0,6632 | 0,431 | 50 | -0,03767 | 0,7248 | 0,712 | 51 | 0,11 | 0,3496 | **0,028** | 52 | -0,1616 | 0,9309 | 0,226 | 50 |
| VQhf | -0,1847 | 0,6739 | 0,058 | 50 | -0,119 | 0,776 | 0,279 | 51 | 0,02962 | 0,3607 | 0,556 | 52 | -0,02447 | 0,7858 | 0,827 | 50 |
| lnVLFrr | 0,09703 | 0,9379 | 0,468 | 50 | -0,1642 | 0,996 | 0,245 | 51 | 0,1116 | 0,4741 | 0,096 | 52 | -0,06182 | 1,261 | 0,730 | 50 |
| lnLFrr | -0,008014 | 0,6693 | 0,933 | 50 | 0,0711 | 0,7046 | 0,475 | 51 | 0,1423 | 0,4092 | **0,015** | 52 | 0,004196 | 0,8992 | 0,974 | 50 |
| lnHFrr | 0,1693 | 0,6513 | 0,072 | 50 | 0,1634 | 0,6356 | 0,072 | 51 | 0,1146 | 0,4862 | 0,095 | 52 | 0,02103 | 0,7423 | 0,842 | 50 |
| lnTOTrr | 0,1243 | 0,6615 | 0,190 | 50 | 0,01348 | 0,6735 | 0,887 | 51 | 0,1302 | 0,4113 | **0,027** | 52 | -0,03276 | 0,91 | 0,800 | 50 |
| VQrr | -0,1773 | 0,7185 | 0,087 | 50 | -0,09226 | 0,7243 | 0,367 | 51 | 0,02779 | 0,3633 | 0,584 | 52 | -0,01683 | 0,7294 | 0,871 | 50 |
| SD1 | 2,998 | 11,23 | 0,065 | 50 | 2,044 | 6,779 | **0,036** | 51 | 1,339 | 8,532 | 0,263 | 52 | 0,7398 | 11,63 | 0,655 | 50 |
| SD2 | 7,139 | 25 | **0,049** | 50 | 1,974 | 22,6 | 0,536 | 51 | 5,097 | 18 | **0,046** | 52 | -1,535 | 42,79 | 0,801 | 50 |
| pp8 | 0,1753 | 1,961 | 0,530 | 50 | -0,02175 | 2,436 | 0,949 | 51 | -0,07243 | 1,028 | 0,613 | 52 | 0,4206 | 1,819 | 0,108 | 50 |

| Legende | | |
|---|---|---|
| | | signifikante Wechselwirkung der Differenzwerte zur Adaptation im ALM (s.o.) |
| | | signifikante Raum- oder Wechselwirkung der Absolutwerte im ALM (s.o.) *) bei logRSAhf und lnHFhf beides |
| | mean(diff) | Mittelwert von Wert(U) – Wert(O) |
| | sd(diff) | Standardabweichung von Wert(U) – Wert(O) |
| | | paarweiser Fallausschluss, daher n größer als im ALM mit listenweisem Ausschluss(n=47) |

*Tabelle 1: Exploratorische Ausgangswert- und post hoc-Analyse der HRV-Kennwerte*

## 7.2. Exploratorische Analyse der Versuchsreihenfolge – 1. vs. 2. Messung

**Test M1 gegen M2**

| | **Adaptation** | | | | **Ruhe1** | | | | **VigilanztestGes** | | | | **Ruhe2** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parameter | mean(diff) | sd(diff) | p | n | mean(diff) | sd(diff) | p | n | mean(diff) | sd(diff) | p | n | mean(diff) | sd(diff) | p | n |
| HR | 1,206 | 5,586 | 0,133 | 50 | 0,3479 | 5,1 | 0,628 | 51 | 1,954 | 4,626 | **0,004** | 52 | 0,382 | 5,232 | 0,608 | 50 |
| RR | -15,48 | 78,85 | 0,171 | 50 | -0,4616 | 66,19 | 0,961 | 51 | -25,68 | 59,49 | **0,003** | 52 | -4,303 | 77,03 | 0,695 | 50 |
| logRSAhf | 0,000659 | 0,1206 | 0,969 | 50 | 0,009185 | 0,1291 | 0,614 | 51 | -0,006766 | 0,09626 | 0,615 | 52 | -0,02333 | 0,09913 | 0,103 | 50 |
| logRSArr | -0,01438 | 0,1515 | 0,505 | 50 | 0,004419 | 0,1505 | 0,835 | 51 | -0,0306 | 0,1236 | 0,080 | 52 | -0,02592 | 0,1267 | 0,154 | 50 |
| SDNN | -1,265 | 18,91 | 0,638 | 50 | 3,603 | 15,42 | 0,102 | 51 | -3,502 | 14,47 | 0,087 | 52 | -7,747 | 29,37 | 0,068 | 50 |
| ATMFrsa | 0,575 | 1,35 | **0,004** | 50 | 0,1656 | 2,647 | 0,657 | 51 | 0,3546 | 1,467 | 0,087 | 52 | 0,4191 | 2,416 | 0,226 | 50 |
| QPArsa | -0,0726 | 0,5854 | 0,385 | 50 | -0,05048 | 1,225 | 0,770 | 51 | 0,01458 | 0,7724 | 0,892 | 52 | -0,1224 | 0,9449 | 0,364 | 50 |
| lnVLFhf | 0,06762 | 0,9496 | 0,617 | 50 | 0,2478 | 1,01 | 0,086 | 51 | 0,05109 | 0,4458 | 0,412 | 52 | -0,2023 | 1,312 | 0,281 | 50 |
| lnLFhf | 0,0528 | 0,6436 | 0,565 | 50 | 0,05039 | 0,7847 | 0,649 | 51 | 0,001201 | 0,3663 | 0,981 | 52 | -0,2517 | 0,89 | 0,051 | 50 |
| lnHFhf | -0,04195 | 0,5571 | 0,597 | 50 | -0,03665 | 0,626 | 0,678 | 51 | -0,04368 | 0,3716 | 0,401 | 52 | -0,1686 | 0,5958 | 0,051 | 50 |
| lnTOThf | -0,01316 | 0,6674 | 0,890 | 50 | 0,1298 | 0,7138 | 0,200 | 51 | -0,004038 | 0,3668 | 0,937 | 52 | -0,1742 | 0,9286 | 0,191 | 50 |
| VQhf | 0,09474 | 0,6927 | 0,338 | 50 | 0,08704 | 0,7803 | 0,430 | 51 | 0,04488 | 0,3591 | 0,372 | 52 | -0,08309 | 0,7817 | 0,456 | 50 |
| lnVLFrr | 0,008732 | 0,943 | 0,948 | 50 | 0,2065 | 0,9879 | 0,142 | 51 | -0,04909 | 0,4848 | 0,469 | 52 | -0,1901 | 1,247 | 0,286 | 50 |
| lnLFrr | -0,03147 | 0,6686 | 0,741 | 50 | 0,01419 | 0,7081 | 0,887 | 51 | -0,09668 | 0,4226 | 0,105 | 52 | -0,2721 | 0,8562 | **0,029** | 50 |
| lnHFrr | -0,08321 | 0,6681 | 0,383 | 50 | -0,04917 | 0,6548 | 0,594 | 51 | -0,1258 | 0,4833 | 0,066 | 52 | -0,1632 | 0,7241 | 0,118 | 50 |
| lnTOTrr | -0,06841 | 0,6697 | 0,474 | 50 | 0,09724 | 0,6664 | 0,302 | 51 | -0,1004 | 0,4197 | 0,091 | 52 | -0,1753 | 0,8933 | 0,172 | 50 |
| VQrr | 0,05175 | 0,7387 | 0,623 | 50 | 0,06336 | 0,7274 | 0,537 | 51 | 0,02919 | 0,3632 | 0,565 | 52 | -0,1089 | 0,7213 | 0,291 | 50 |
| Valid | -0,01827 | 0,2295 | 0,568 | 52 | 0,01923 | 0,1387 | 0,322 | 52 | -0,01699 | 0,1145 | 0,290 | 52 | -0,01923 | 0,2149 | 0,522 | 52 |
| SD1 | -2,151 | 11,43 | 0,190 | 50 | -0,2318 | 7,083 | 0,816 | 51 | -2,36 | 8,303 | **0,046** | 52 | -3,68 | 11,05 | **0,023** | 50 |
| SD2 | -1,178 | 25,99 | 0,750 | 50 | 4,846 | 22,15 | 0,125 | 51 | -4,044 | 18,27 | 0,117 | 52 | -8,888 | 41,87 | 0,140 | 50 |
| rValid | -0,02176 | 0,1396 | 0,266 | 52 | 0,00119 | 0,01069 | 0,426 | 52 | -0,005065 | 0,04757 | 0,446 | 52 | 0,0002925 | 0,02068 | 0,919 | 52 |
| pp8 | 0,08924 | 1,966 | 0,750 | 50 | 0,4083 | 2,401 | 0,230 | 51 | -0,086 | 1,026 | 0,548 | 52 | 0,157 | 1,861 | 0,554 | 50 |

| Legende | | |
|---|---|---|
| | mean(diff) | Mittelwert von Wert(erste Messung) – Wert(zweite Messung) |
| | sd(diff) | Standardabweichung von Wert(erste Messung) – Wert(zweite Messung) |
| | paarweiser Fallausschluss, daher n größer als im ALM mit listenweisem Ausschluss(n=47) | |

*Tabelle 2: Exploratorische Analyse der Versuchsreihenfolge der HRV-Kennwerte*

## 7.3. Wetterdaten

### *7.3.1. Platzierung*

- Je zwei iButtons DS1923 (Temperatur- und Feuchtelogger) waren in jedem Messraum positioniert.
- Die iButtons waren ca. in Augenhöhe (stehender Personen) innen im Raum in die Wand gesteckt, und zwar an der Nordostecke, über Eck je 1 Button
- Direkte Besonnung sollte aufgrund der Platzierung nicht vorgekommen sein.

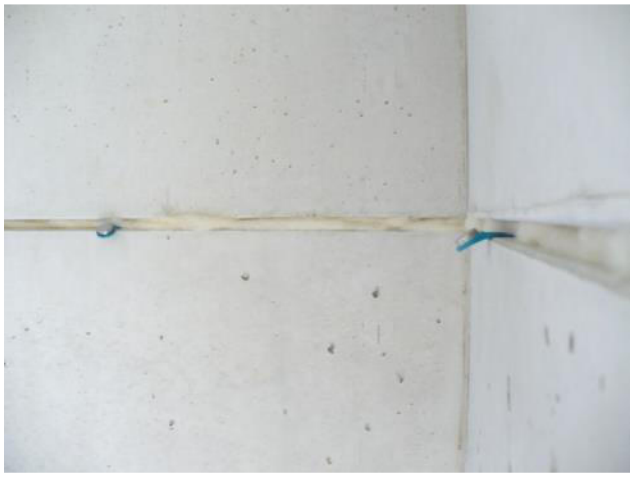


*Abbildung 20: Platzierung der Temperatur- und Feuchte-Sensoren in einem Wandspalt ca. in Augenhöhe*

### *7.3.2. Rohdaten*

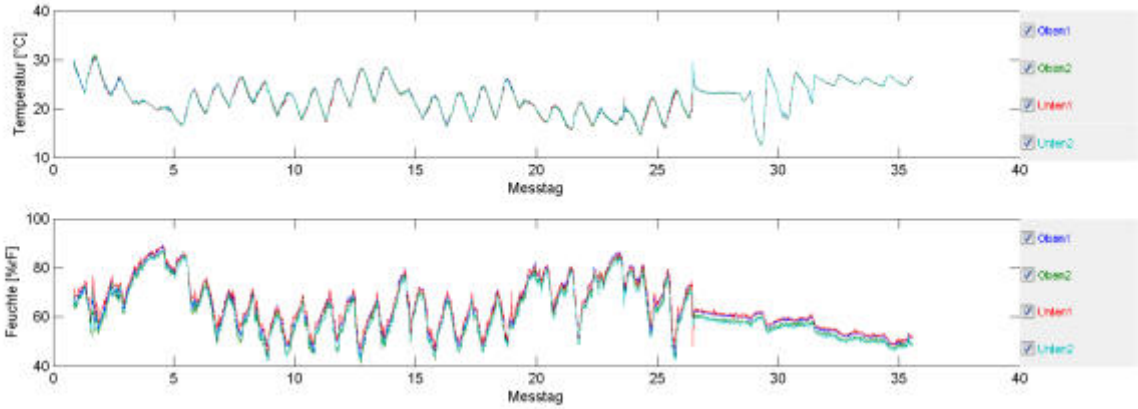


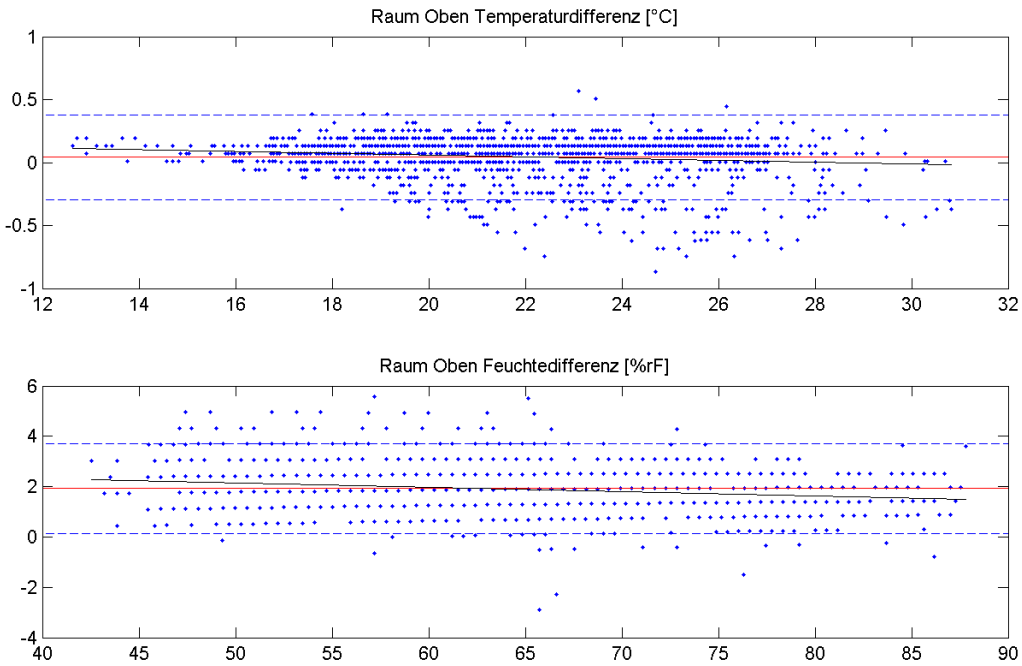

*Abbildung 21: Temperaturverlauf (oben) und Feuchteverlauf (unten) in den Versuchsräumen.*

Abbildung 21 zeigt Temperatur- und Feuchteverlauf in den Versuchsräumen vom 5.8. bis 9.9.2013. Aufgenommen wurde je 1 Wert alle 30 Minuten. Visuelle Ausreißer (glitches) sind am 28.8. zu sehen (Tag 23, 14:53 bzw. 14:57) in Temperatur Unten1 und Unten2, Feuchte Unten2, und am 31.8. (Tag26) Temperatur Unten2 und Feuchte Unten1. Der 31.8. war der Tag der Abnahme. Am 26.8. könnte das durch kurzzeitiges In-die-Hand-Nehmen passiert sein, kurzzeitige Besonnung ist unwahrscheinlich, weil der Effekt an benachbarten Tagen nicht auftritt. Abgesehen von dieser Singularität verlaufen die Messwerte aller vier Messgeräte parallel. Die größten Abweichungen kommen während steiler Anstiege bzw.

Abfälle zustande (hier machen sich auch zeitliche Abweichungen bemerkbar). Die Startzeiten der Geräte waren 20:21:01, 20:22:01, 20:23:01 und 20:27:01, somit beträgt die Abweichung der Messzeiten max. 6 Minuten.

### *7.3.3. Konsistenz der Datenlogger – Bland-Altman-Plots*

Die beiden Datenlogger erwiesen sich paarweise nach Raum (sowie auch alle 4 untereinander, Abb. nicht gezeigt), innerhalb der vom Hersteller definierten Genauigkeit von 0.5 °C bzw. 5 % r.F. als hinreichend konsistent. Im Bland-Altman-Plot dient zum Vergleich zweier Messungen derselben Größe, es wird die Differenz über dem Mittelwert jedes Wertepaars aufgetragen.




**Temperatur:**

mean difference = 0.042627 [0.0344029 ; 0.0508512] CI 95%

limits of agreement (CI 95%) = -0.292919 ; 0.378173

Linear regression:

r = -0.13 ; p = 0.000

d = -0.00715712 * av + 0.20121

**Feuchte:**

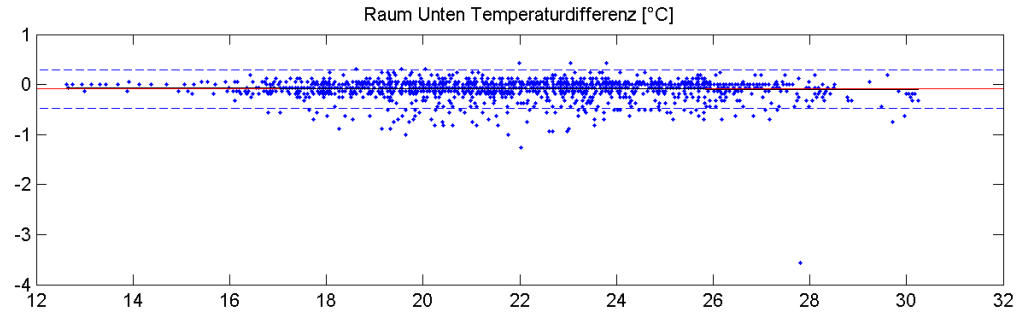
mean difference = 1.93353 [1.88974 ; 1.97732] CI 95%

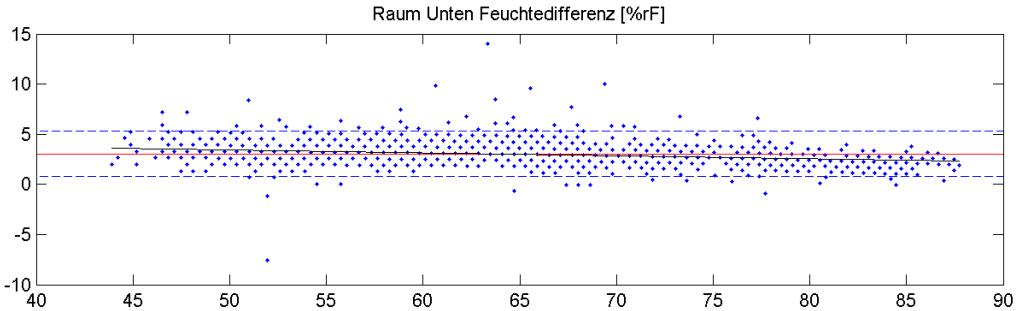
limits of agreement (CI 95%) = 0.147037 ; 3.72003

Linear regression:

r = -0.19 ; p = 0.000

d = -0.0171589 * av + 3.01137




**Temperatur:**

mean difference = -0.0906655 [-0.100235 ; -0.0810962] CI 95%

limits of agreement (CI 95%) = -0.481095 ; 0.299764

Linear regression:

r = -0.03 ; p = 0.271

d = -0.00170394 * av + -0.0528475

**Feuchte:**

mean difference = 3.04481 [2.99012 ; 3.0995] CI 95%

limits of agreement (CI 95%) = 0.81334 ; 5.27628

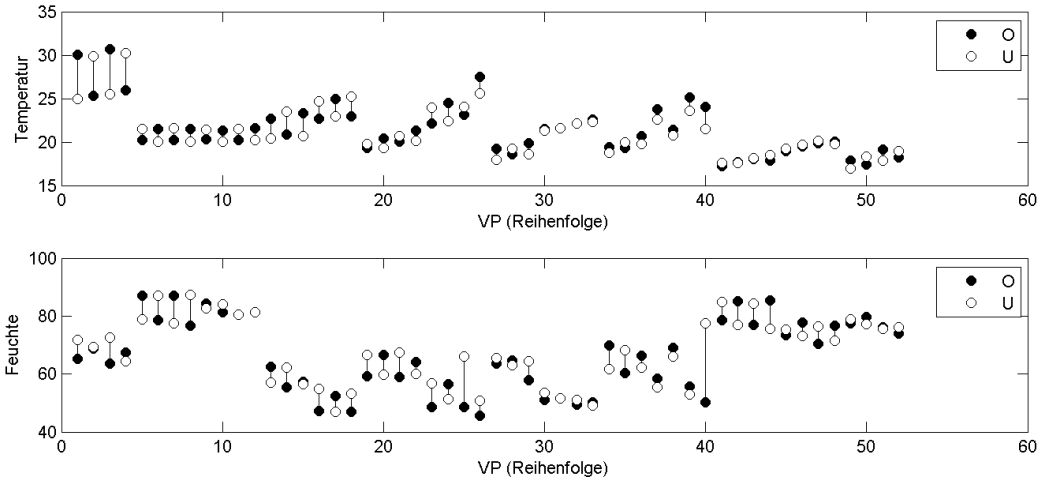
Linear regression:

r = -0.25 ; p = 0.000

d = -0.0281994 * av + 4.82307

### *7.3.4. Konstanz der Messbedingungen*

Das Protokoll, die Messungen an aufeinanderfolgenden Tagen und zur gleichen Uhrzeit durchzuführen, hatte für die einzelnen Versuchspersonen weitgehend idente Bedingungen in beiden Räumen zur Folge. Die maximalen Temperaturdifferenzen waren zwischen dem noch sehr heißen allerersten und dem zweiten Messtag zu verzeichnen. Alle Unterschiede sind aufgrund des Protokolls gut balanciert zwischen den beiden Räumen.




| | Temperatur [°C] | | | Feuchte [% rF] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Oben | Unten | Differenz | Oben | Unten | Differenz |
| n | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 |
| fehlende Werte | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| min | 17.25 | 16.92 | -5.22 | 45.65 | 46.99 | -9.98 |
| max | 30.71 | 30.25 | 4.58 | 87.00 | 87.34 | 27.21 |
| mean | 21.46 | 21.21 | -0.24 | 66.20 | 67.60 | 1.40 |
| std | 2.96 | 2.84 | 1.83 | 12.39 | 11.42 | 7.04 |
| sem | 0.41 | 0.39 | 0.25 | 1.72 | 1.58 | 0.98 |
| median | 21.09 | 20.56 | -0.16 | 65.84 | 67.02 | 0.24 |
| median absolute deviation | 1.70 | 1.61 | 1.09 | 10.88 | 10.20 | 5.50 |

## 7.4. Farbcodierte Übersichtsdarstellung der HRV-Parameter

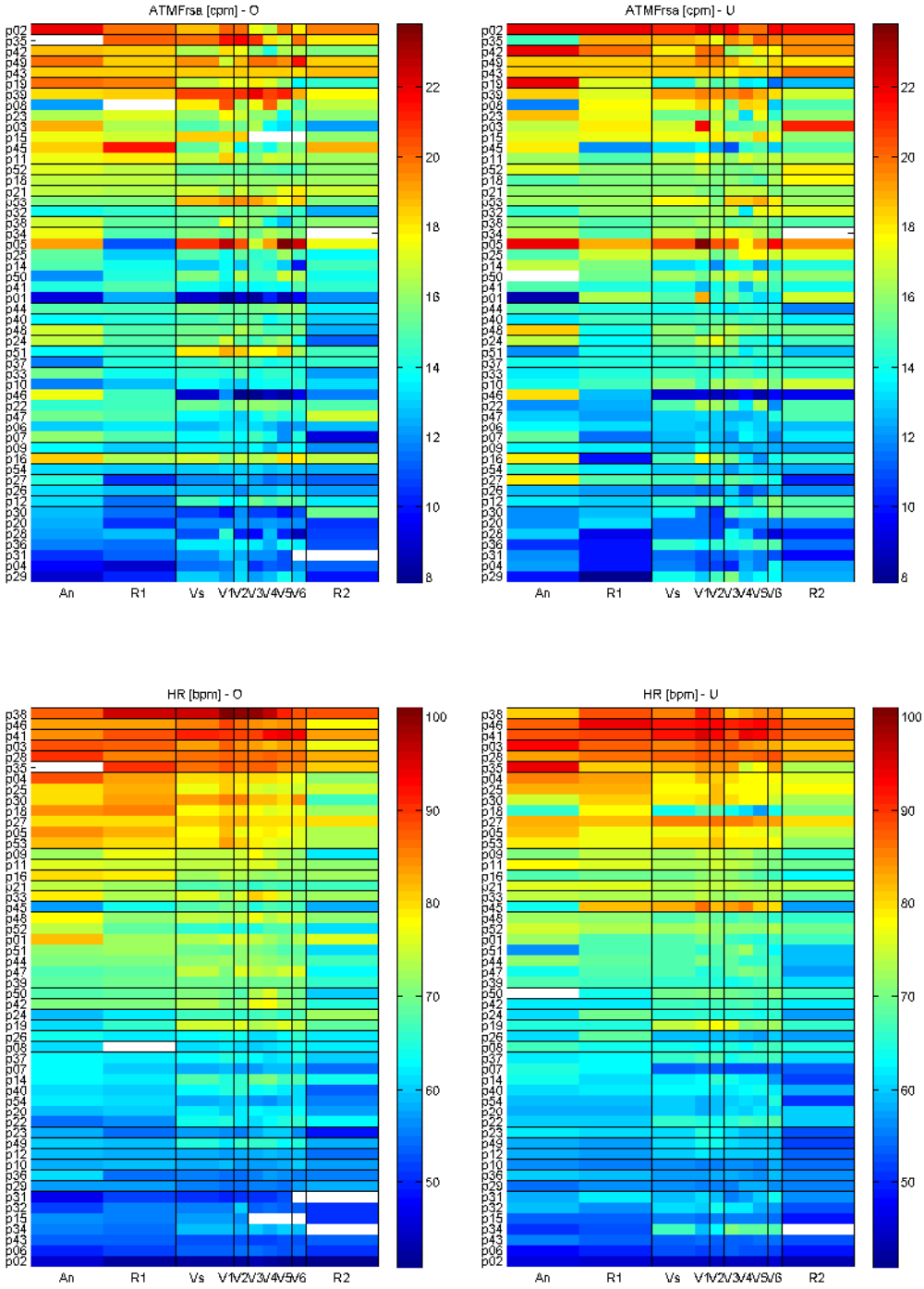
Die Darstellung dient der Beurteilung der Konsistenz und Konstanz der Parameter, und erlaubt z.T. eine visuelle Abschätzung von Verteilungsverschiebungen anhand der Häufigkeit von Farbfeldern. Die Sortierung der y-Achse erfolgte anhand des Mittelwerts der beiden Werte für Ruhe1 beider Versuchsbedingungen (absteigend).

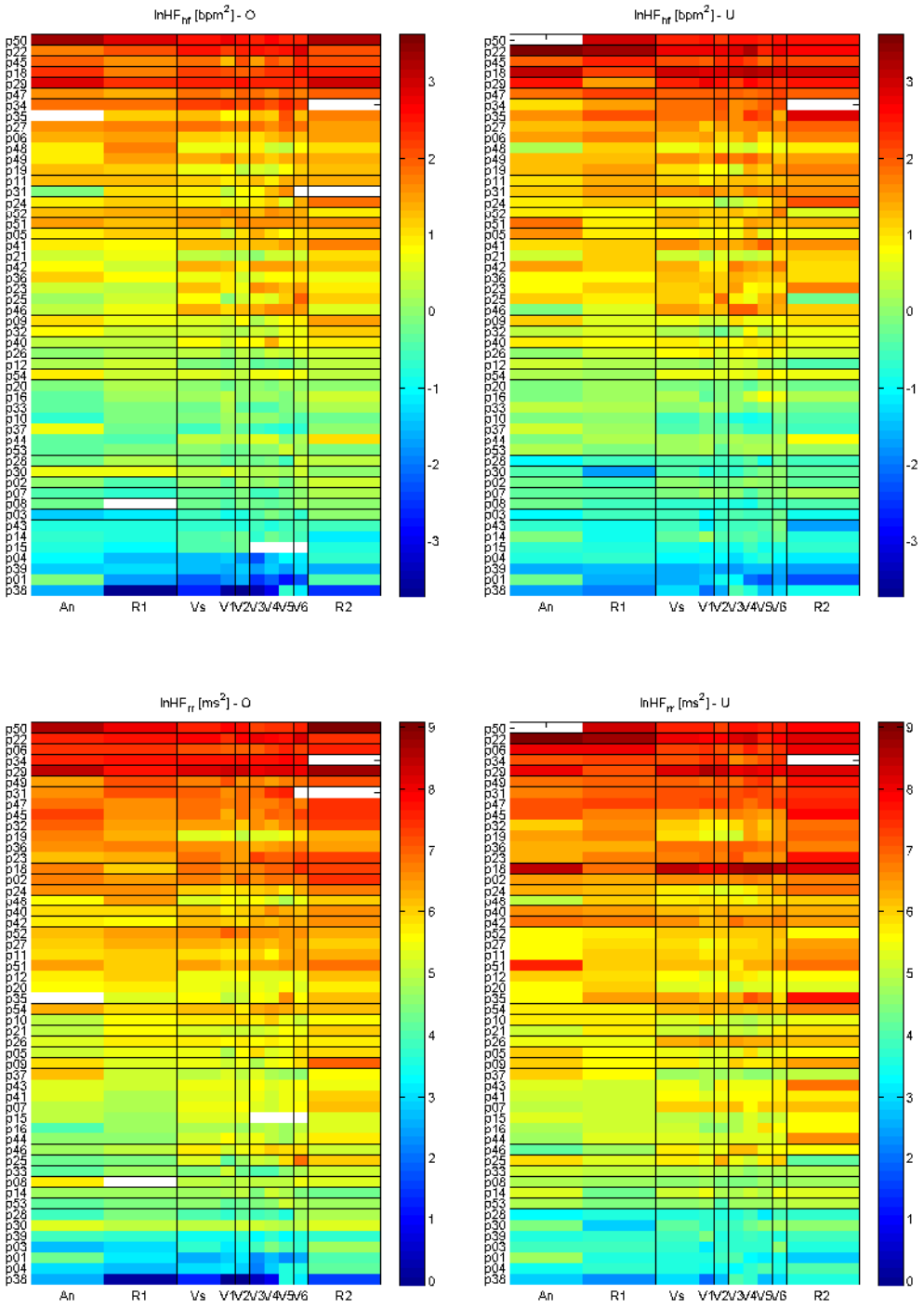
An ..... Adaptationsphase

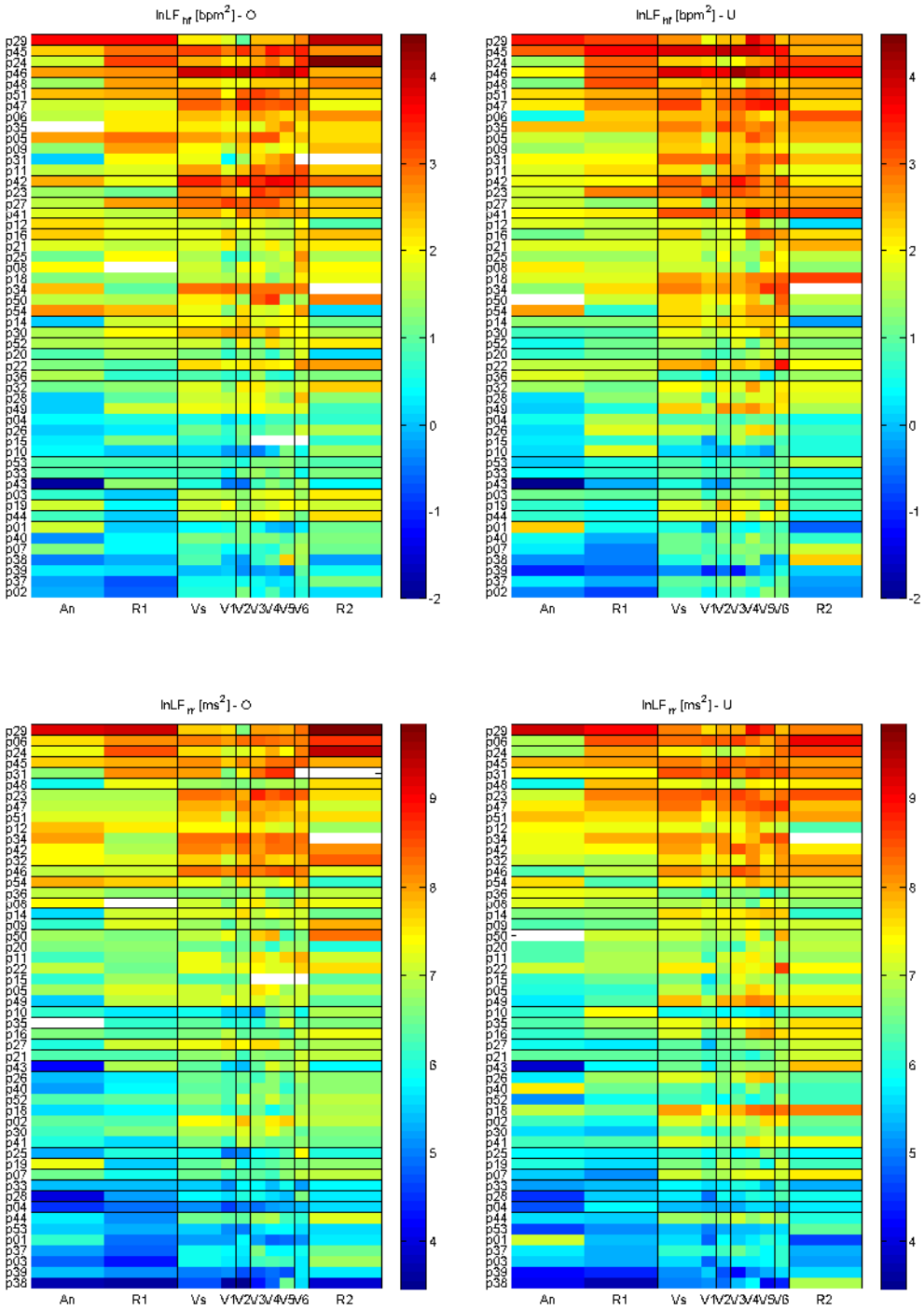
R1, R2..... Erste und zweite Ruhephase im Versuchsraum

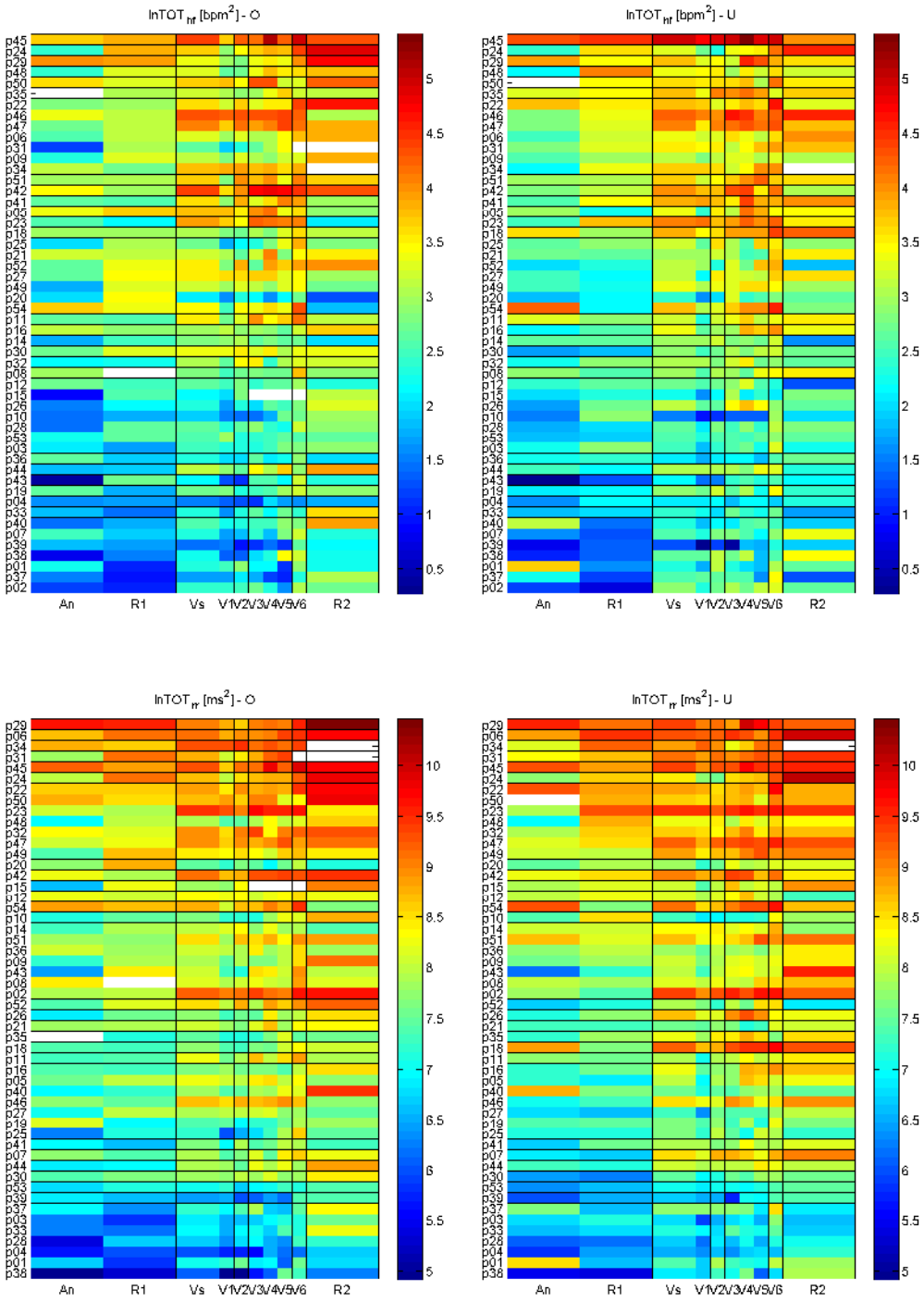
V1 – V6 ..... Je 5-Minuten-Abschnitte der Vigilanztestphase

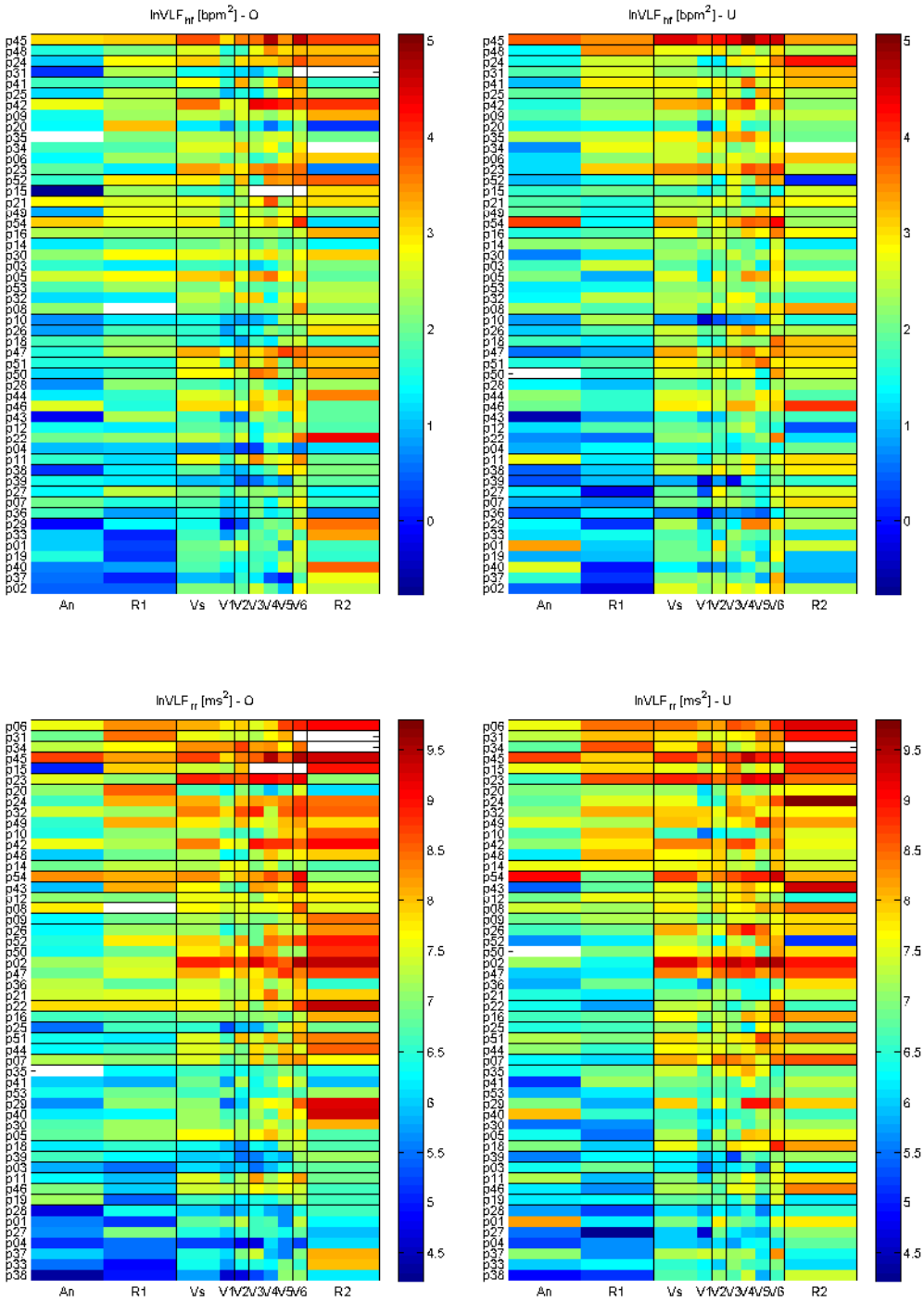
Vs..... gesamte Vigilanztestphase, ergibt sich als Mittelwert von V1-V6

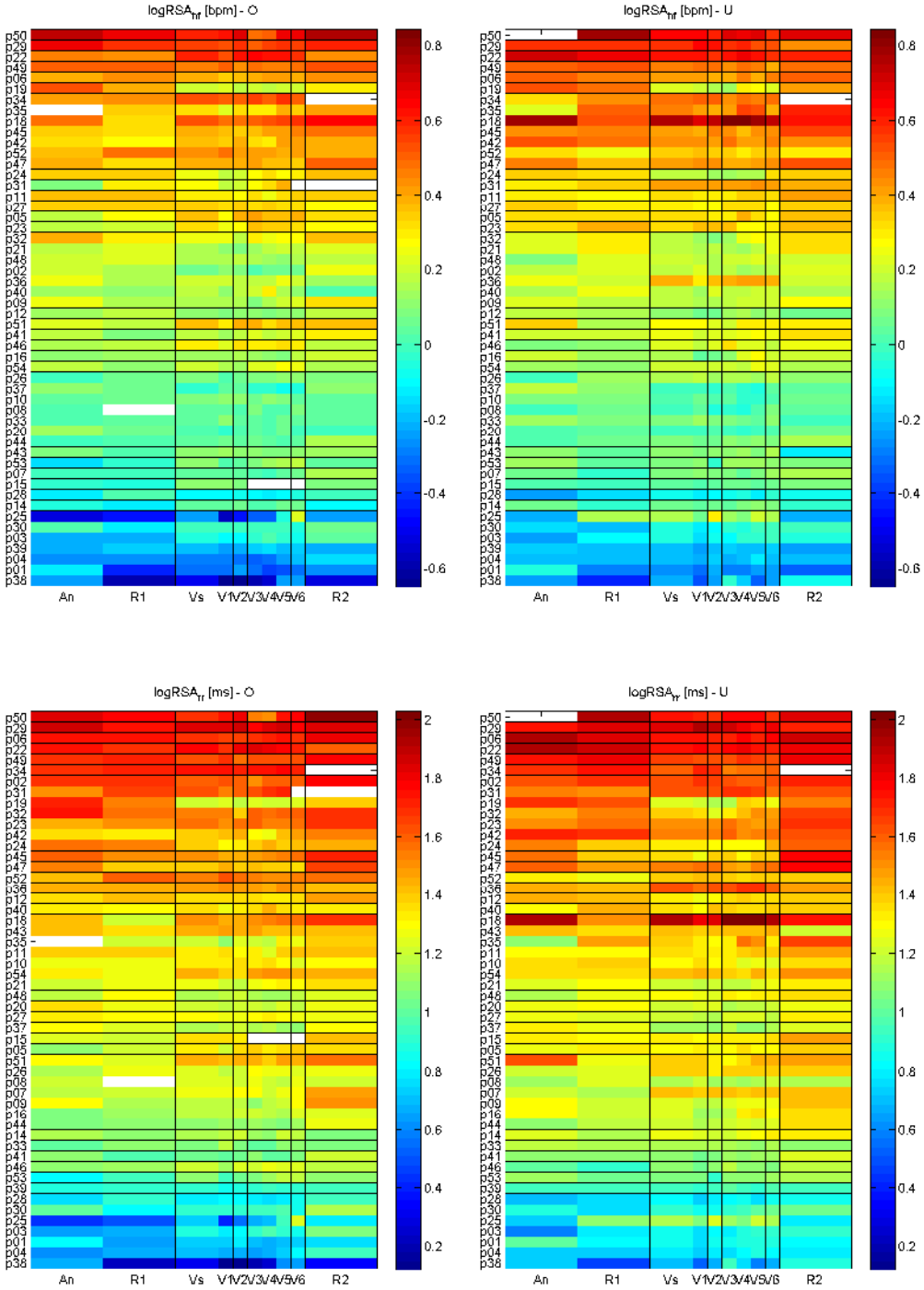


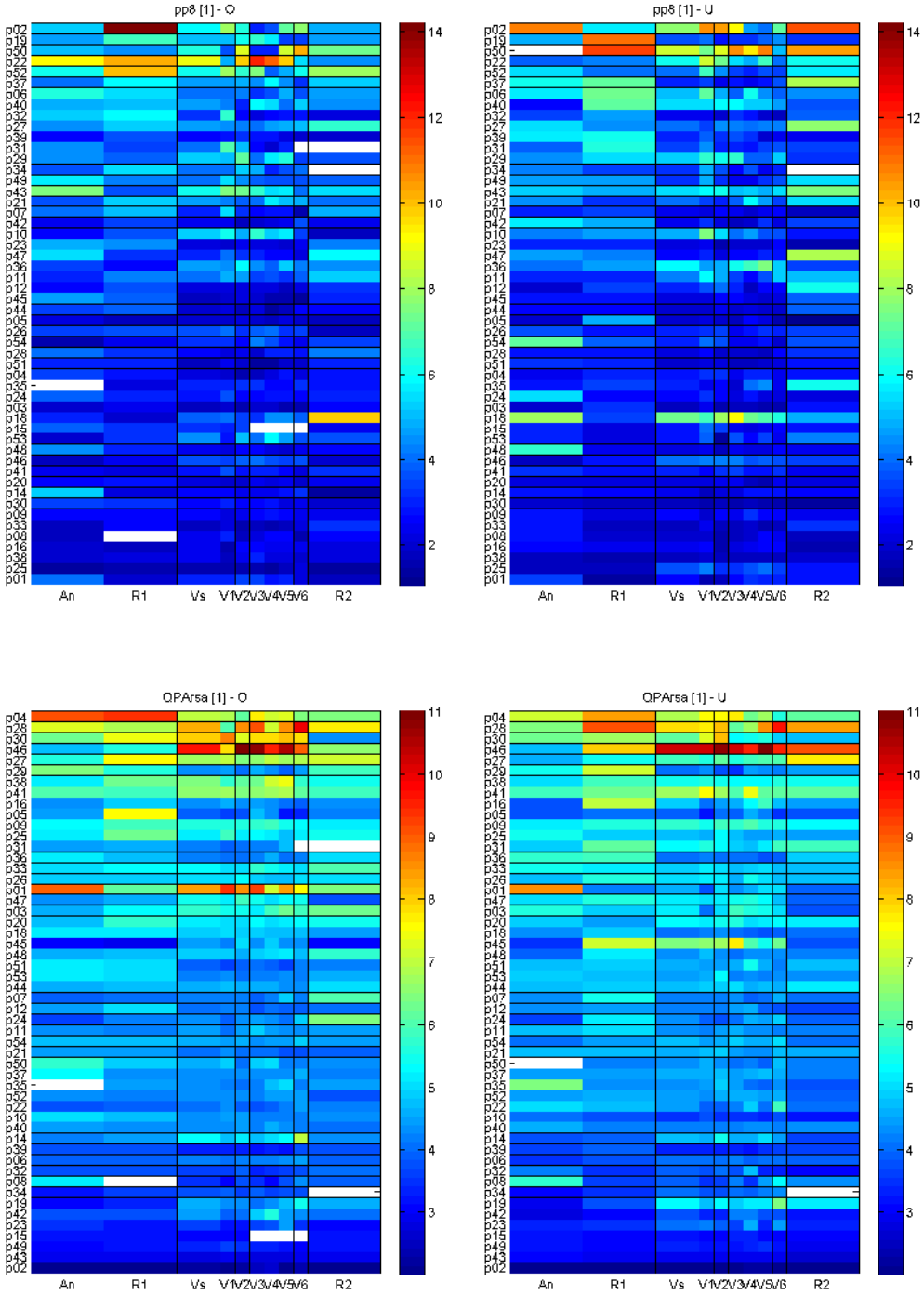

lnHF$_{hf}$ [bpm$^2$] - O
lnHF$_{hf}$ [bpm$^2$] - U
lnHF$_{rr}$ [ms$^2$] - O
lnHF$_{rr}$ [ms$^2$] - U
An
R1
Vs
V1
V2
V3
V4
V5
V6
R2

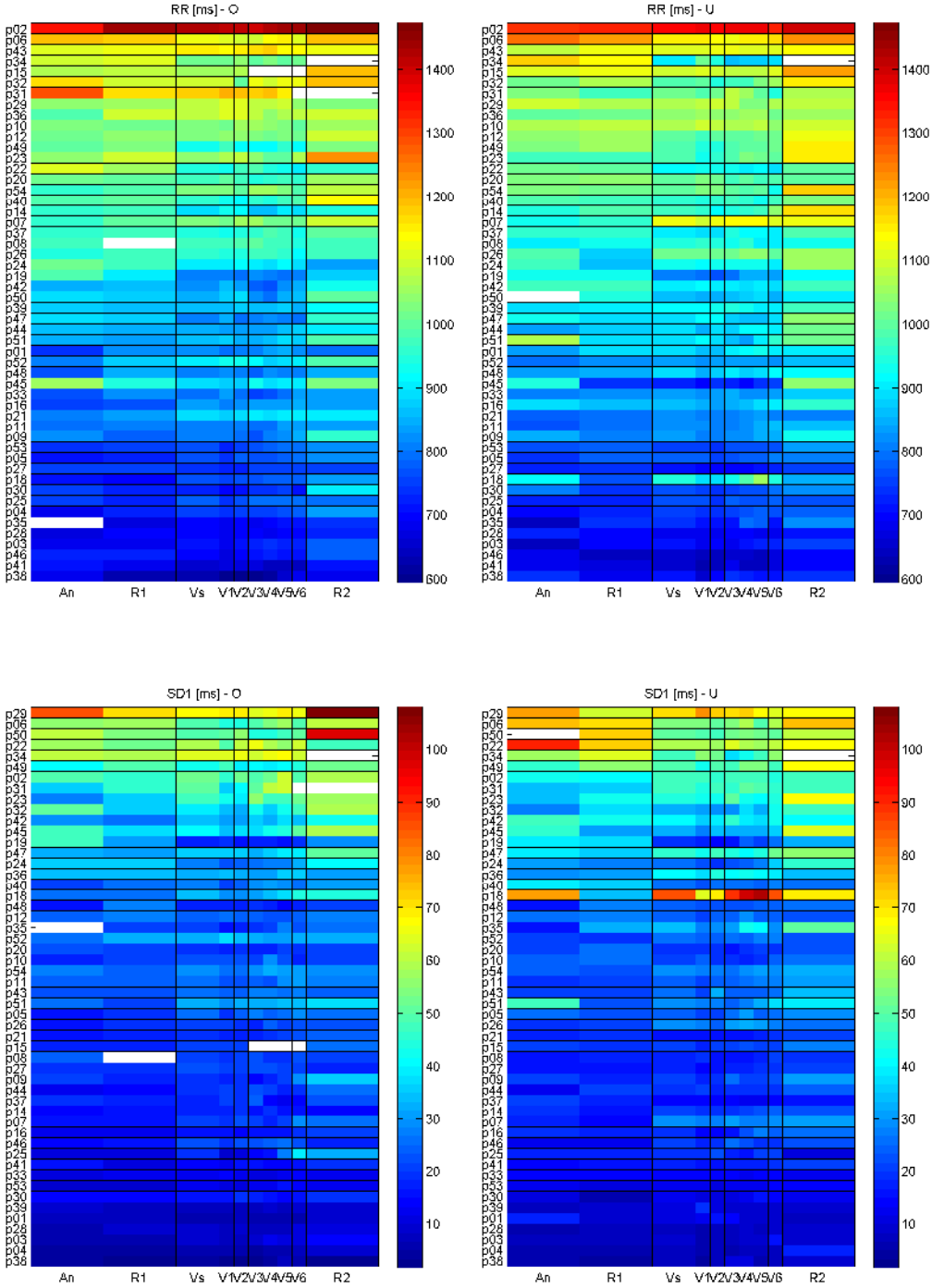

lnLF hf [bpm2] - O
lnLF hf [bpm2] - U
lnLF hf [ms2] - O
lnLF hf [ms2] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2

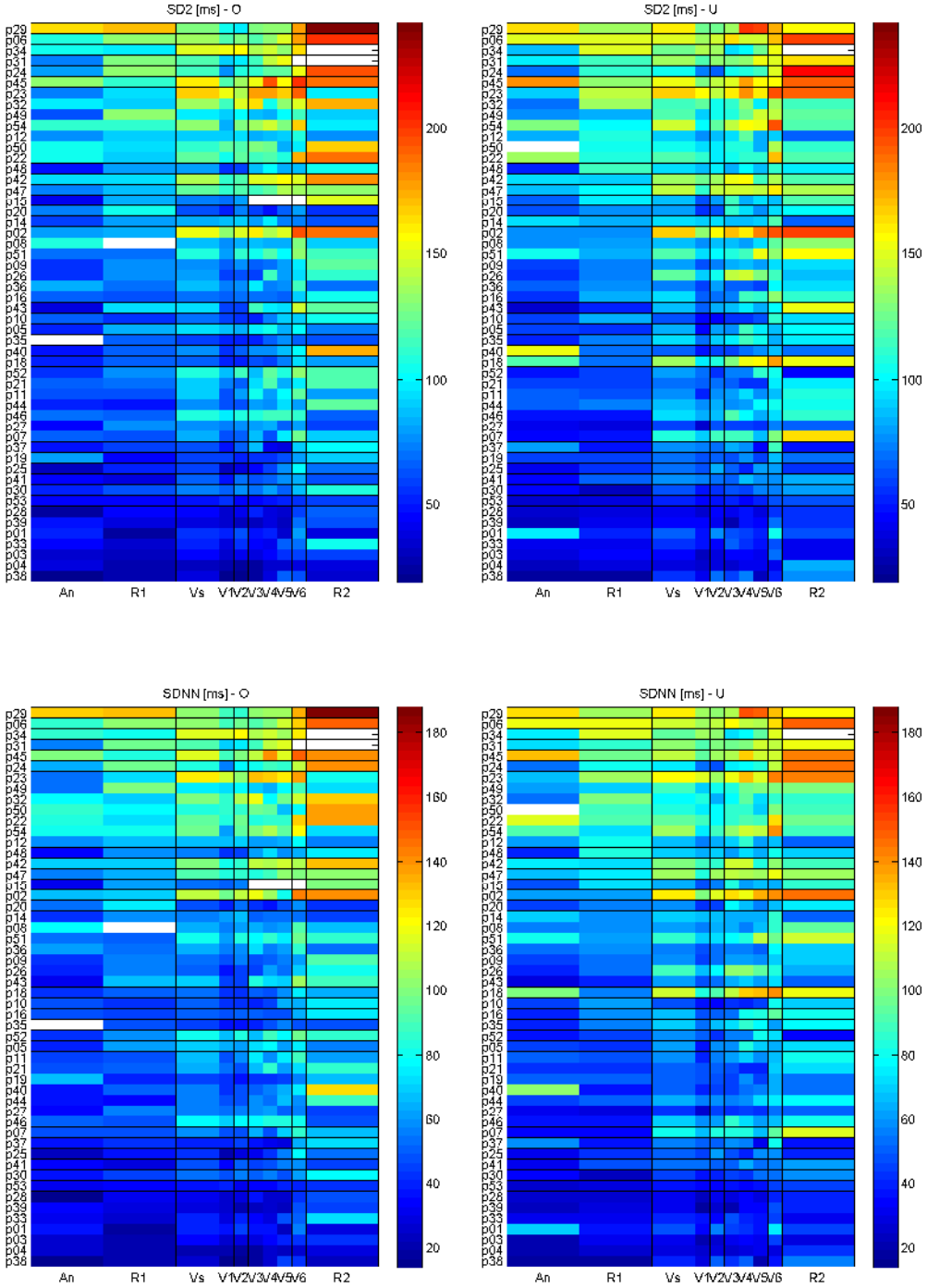

lnTOT hf [bpm2] - O
lnTOT hf [bpm2] - U
lnTOT rr [ms2] - O
lnTOT rr [ms2] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2

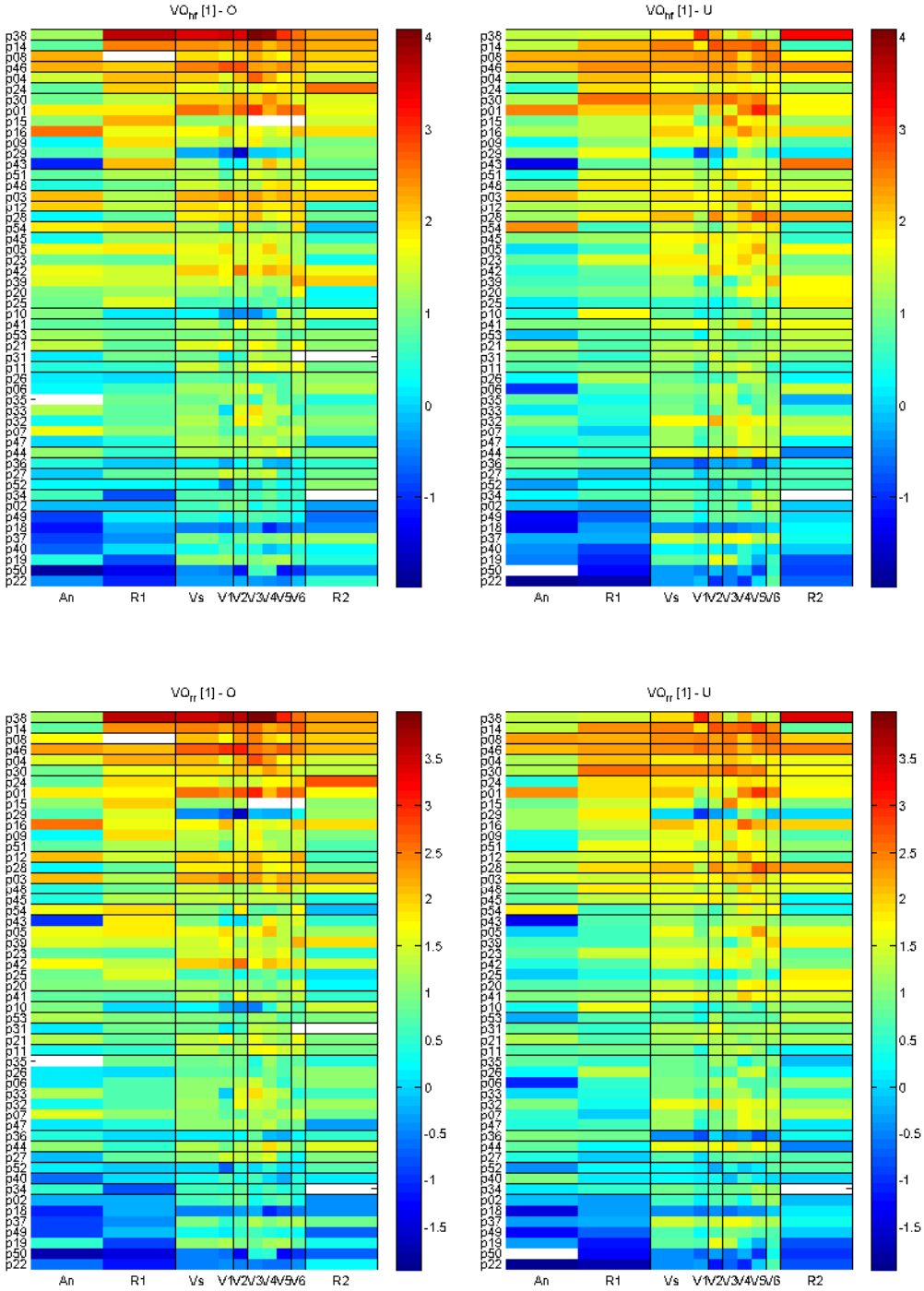

lnVLF hf [bpm2] - O
lnVLF hf [bpm2] - U
lnVLF rr [ms2] - O
lnVLF rr [ms2] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2


logRSA$_{hf}$ [bpm] - O
logRSA$_{hf}$ [bpm] - U
logRSA$_{tr}$ [ms] - O
logRSA$_{tr}$ [ms] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2


pp8 [1] - O
pp8 [1] - U
QPArsa [1] - O
QPArsa [1] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2

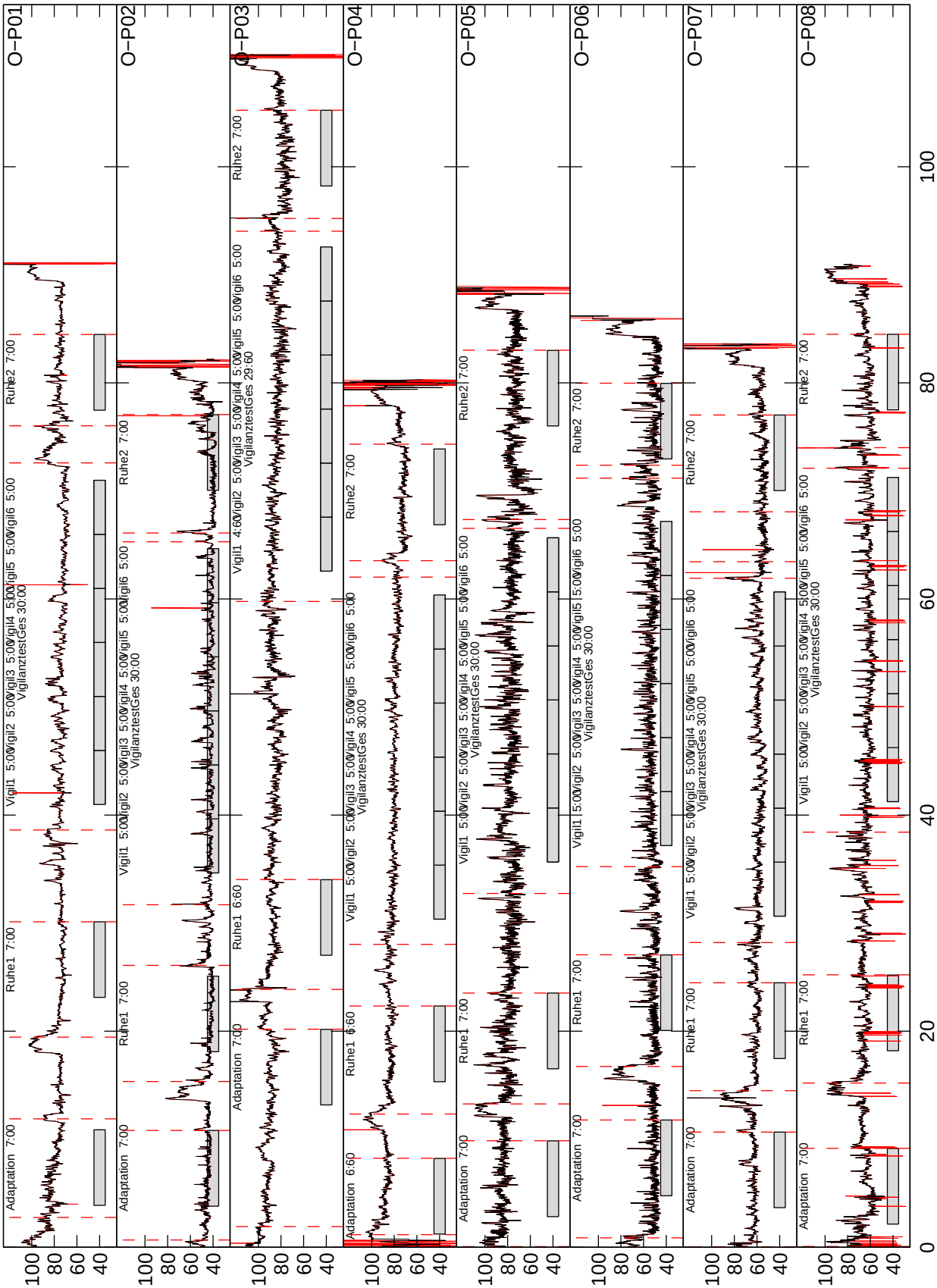

RR [ms] - O
RR [ms] - U
SD1 [ms] - O
SD1 [ms] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2

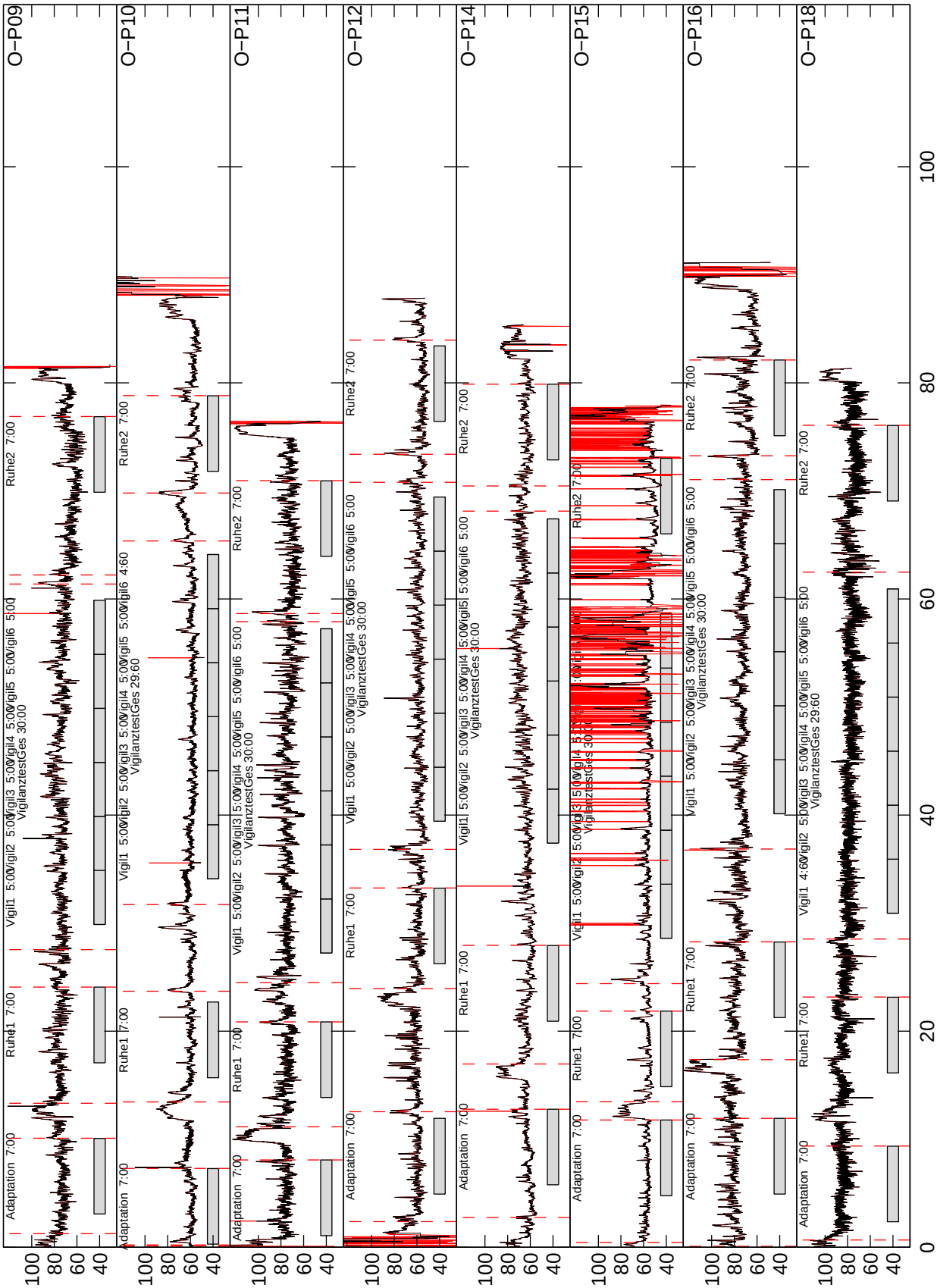

SD2 [ms] - O
SD2 [ms] - U
SDNN [ms] - O
SDNN [ms] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2

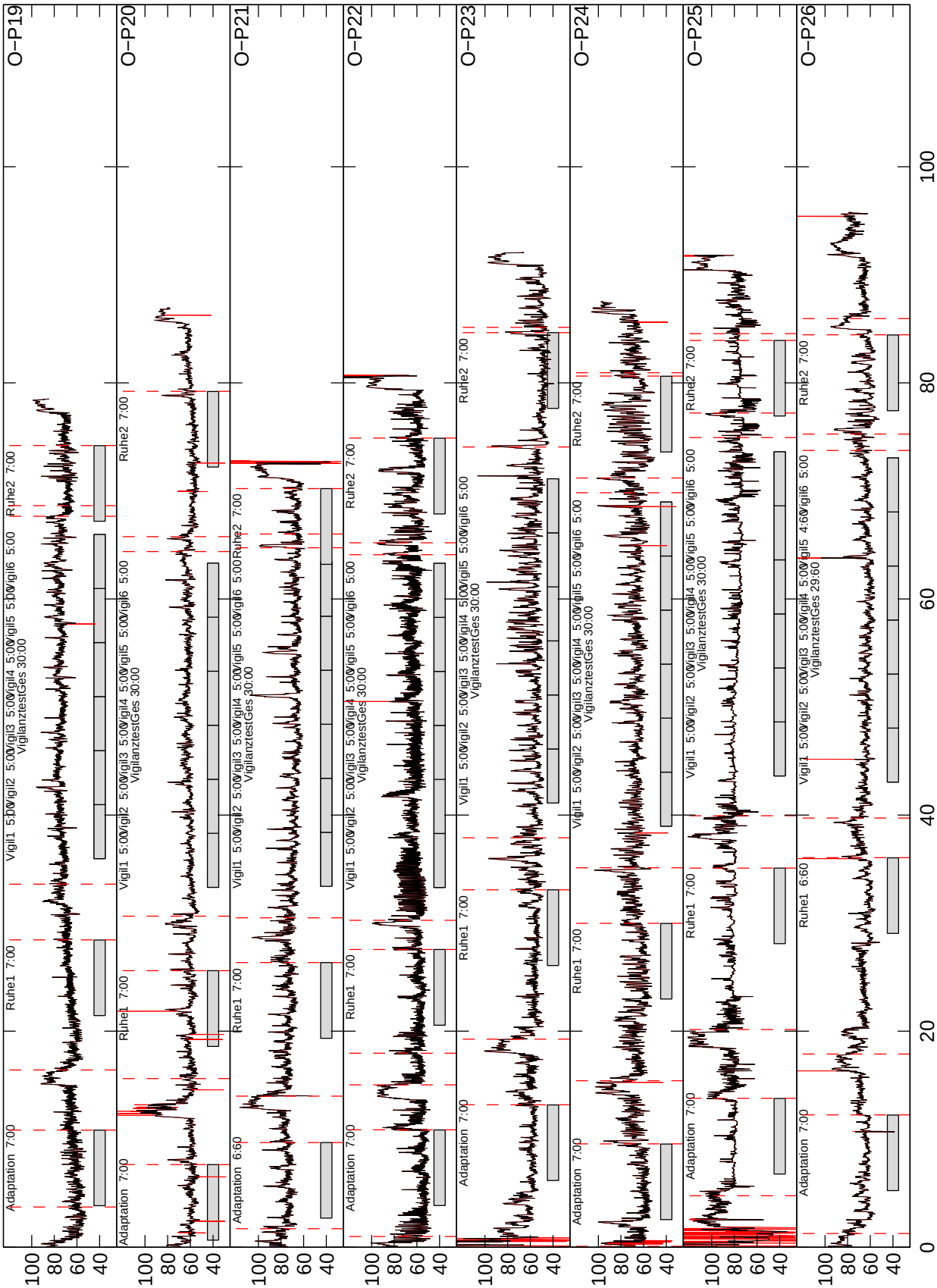

VO_hf [1] - O
VO_hf [1] - U
VO_rr [1] - O
VO_rr [1] - U
An
R1
Vs
V1V2V3/4V5/6
R2

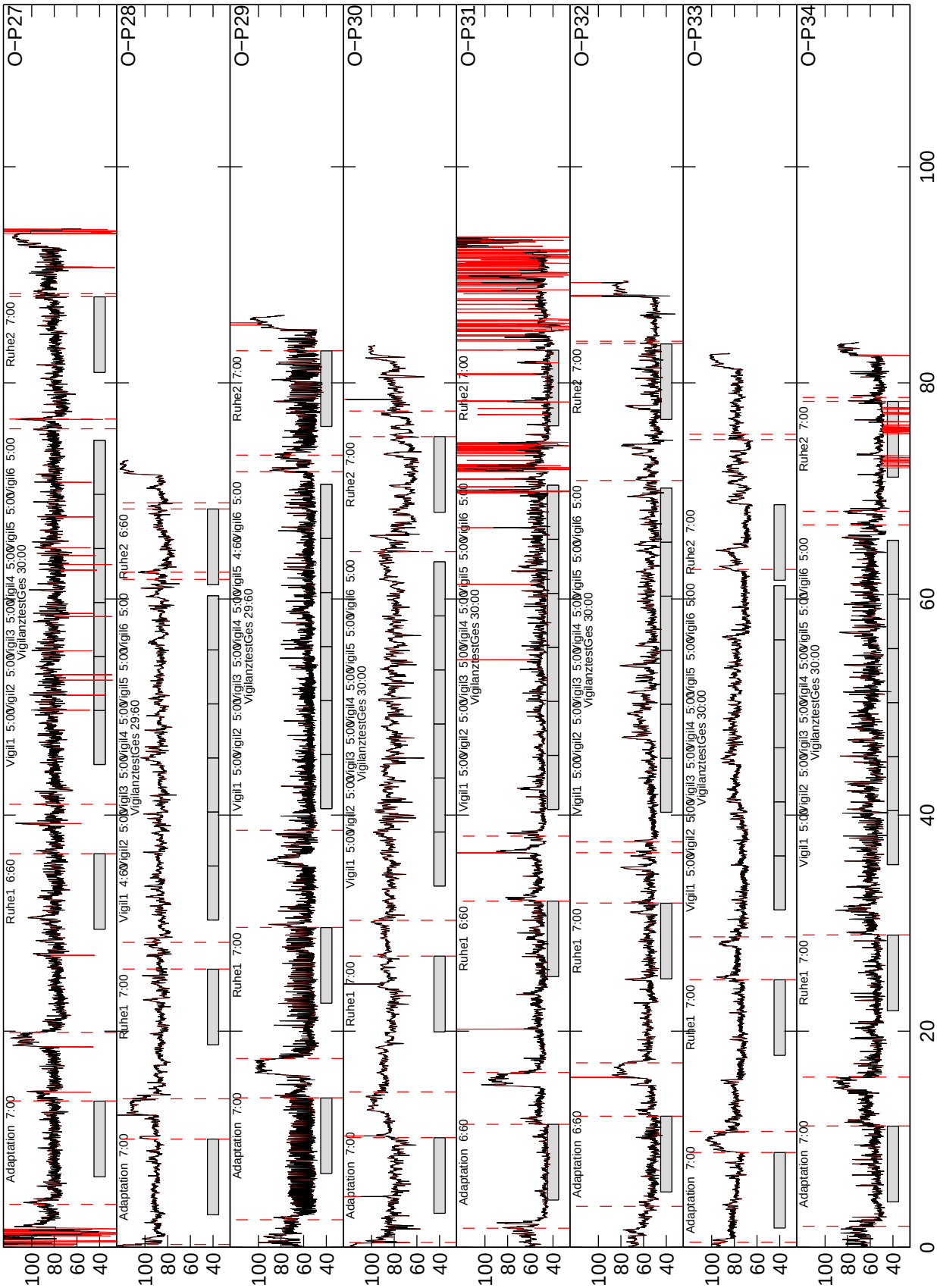
## 7.5. Originaldatenkurven der Herzrate

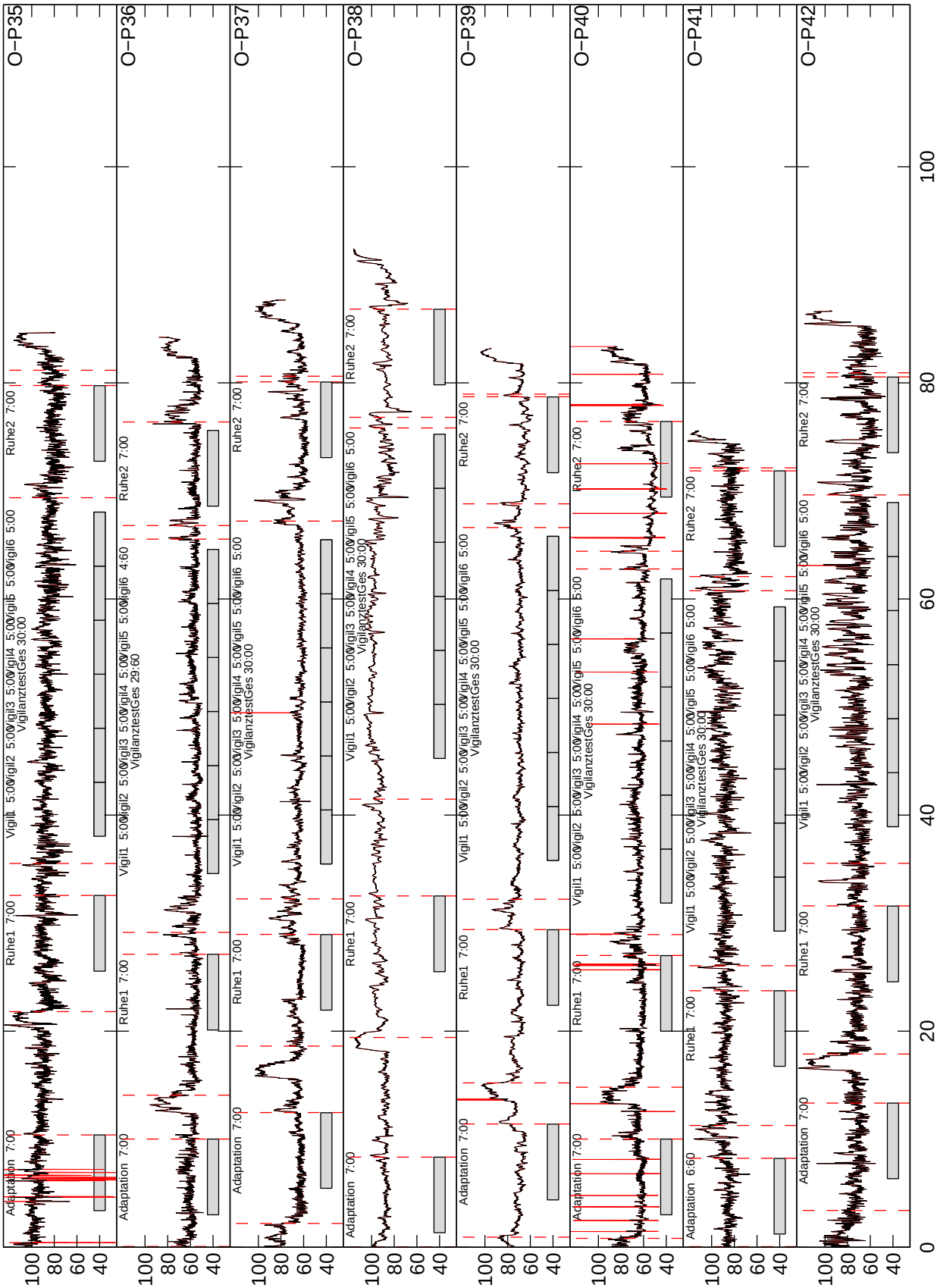
Die folgenden Grafiken zeigen je die Momentanherzrate in Schlägen pro Minute über den ganzen Versuchsablauf. Rote Kurventeile sind im Zuge der Ausreißerbeseitigung als fehlerhaft markiert, die schwarze Kurve wurde für die Auswertung herangezogen. Die Messphasen, über die Herzratenvariabilitätsparameter berechnet wurden, sind als graue Balken eingezeichnet. Die strichlierten senkrechten roten Linien zeigen die Tastendrucke am Aufzeichnungsgerät, die zur Kontrolle der Messphasen gesetzt wurden.

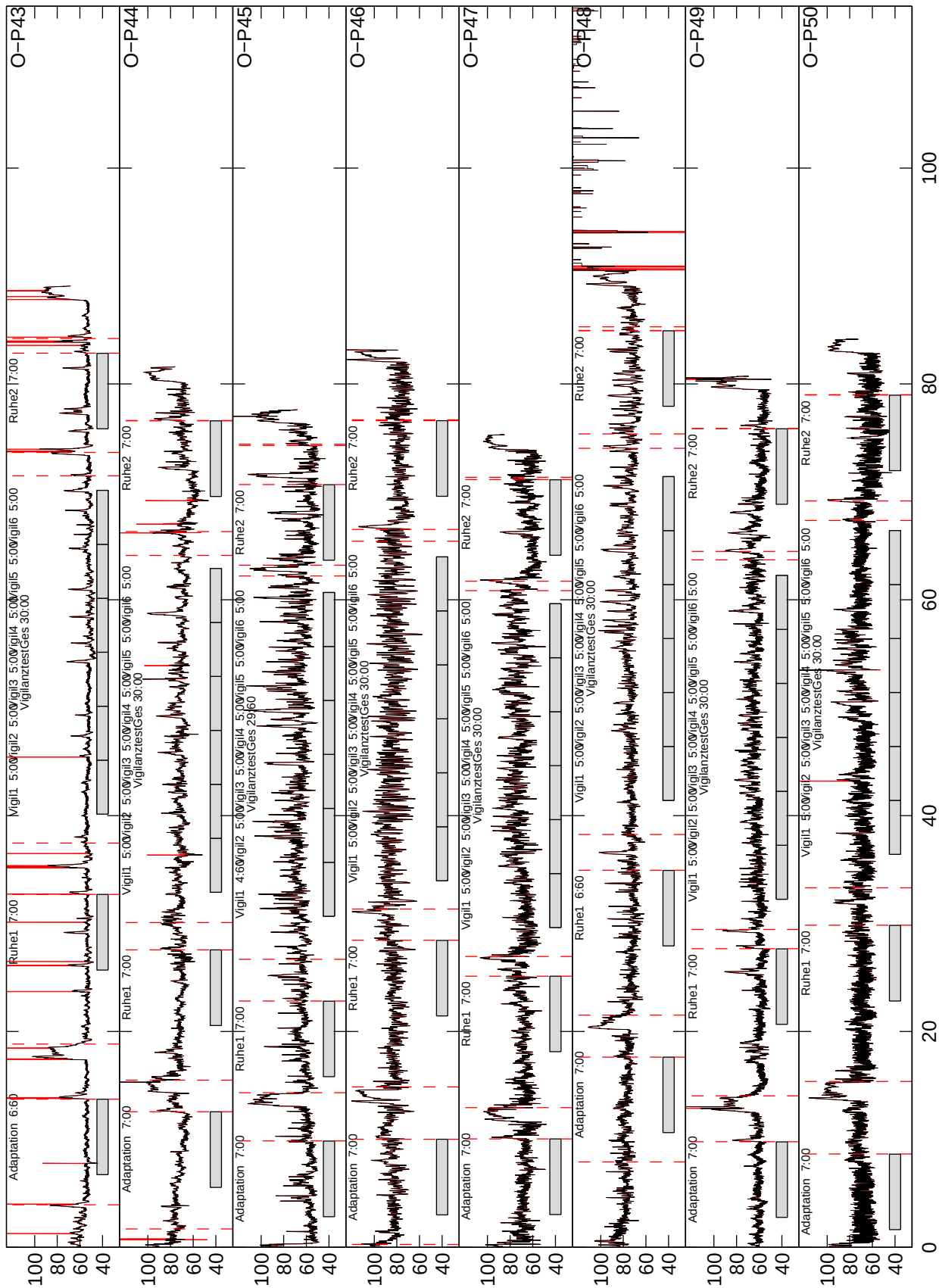

O–P01
O–P02
O–P03
O–P04
O–P05
O–P06
O–P07
O–P08
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 6:60
Ruhe1 6:60
Vigil1 4:60
VigilanztestGes 29:60
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

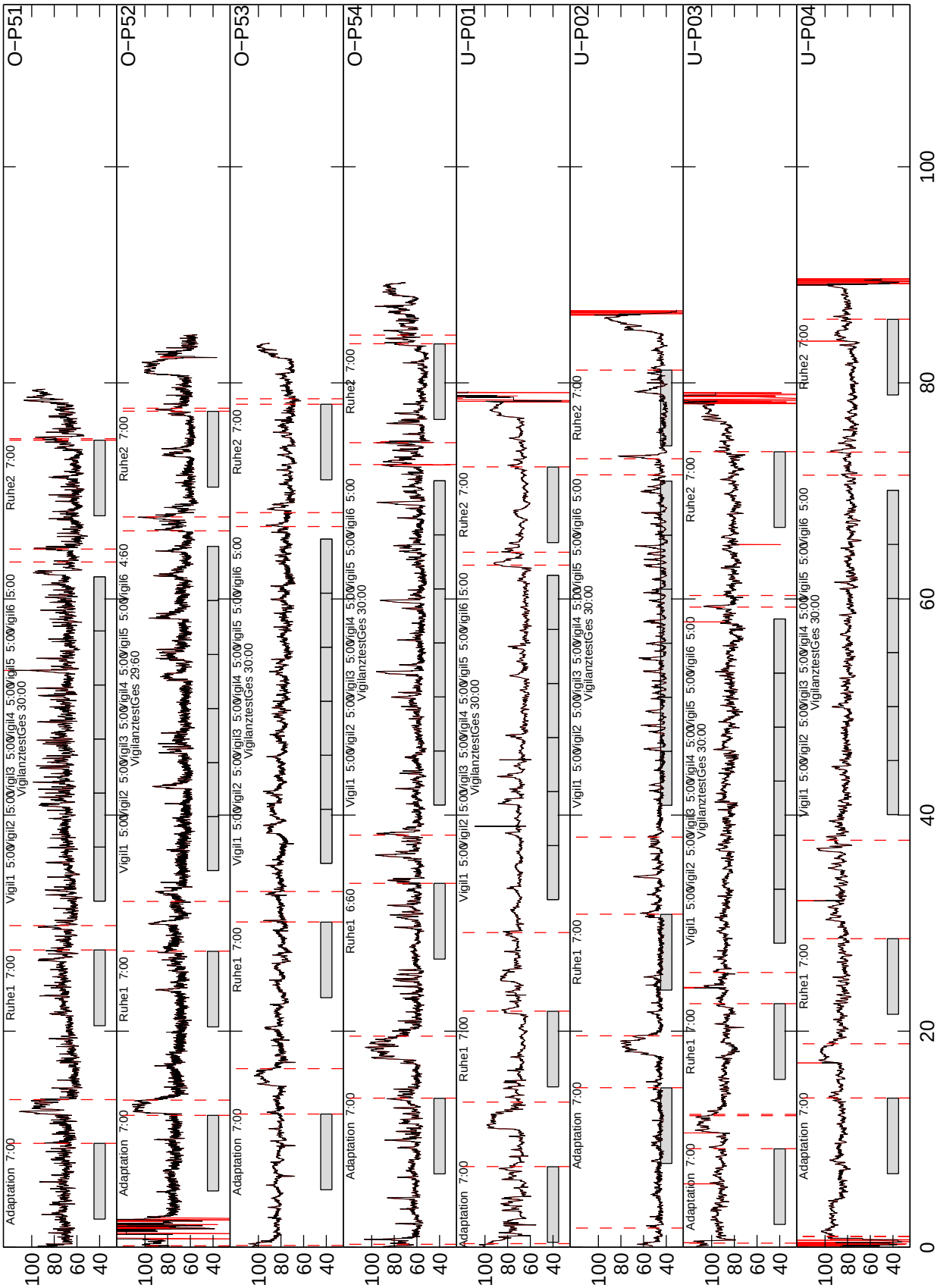

O–P09
O–P10
O–P11
O–P12
O–P14
O–P15
O–P16
O–P18
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
VigilanztestGes 29:60
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

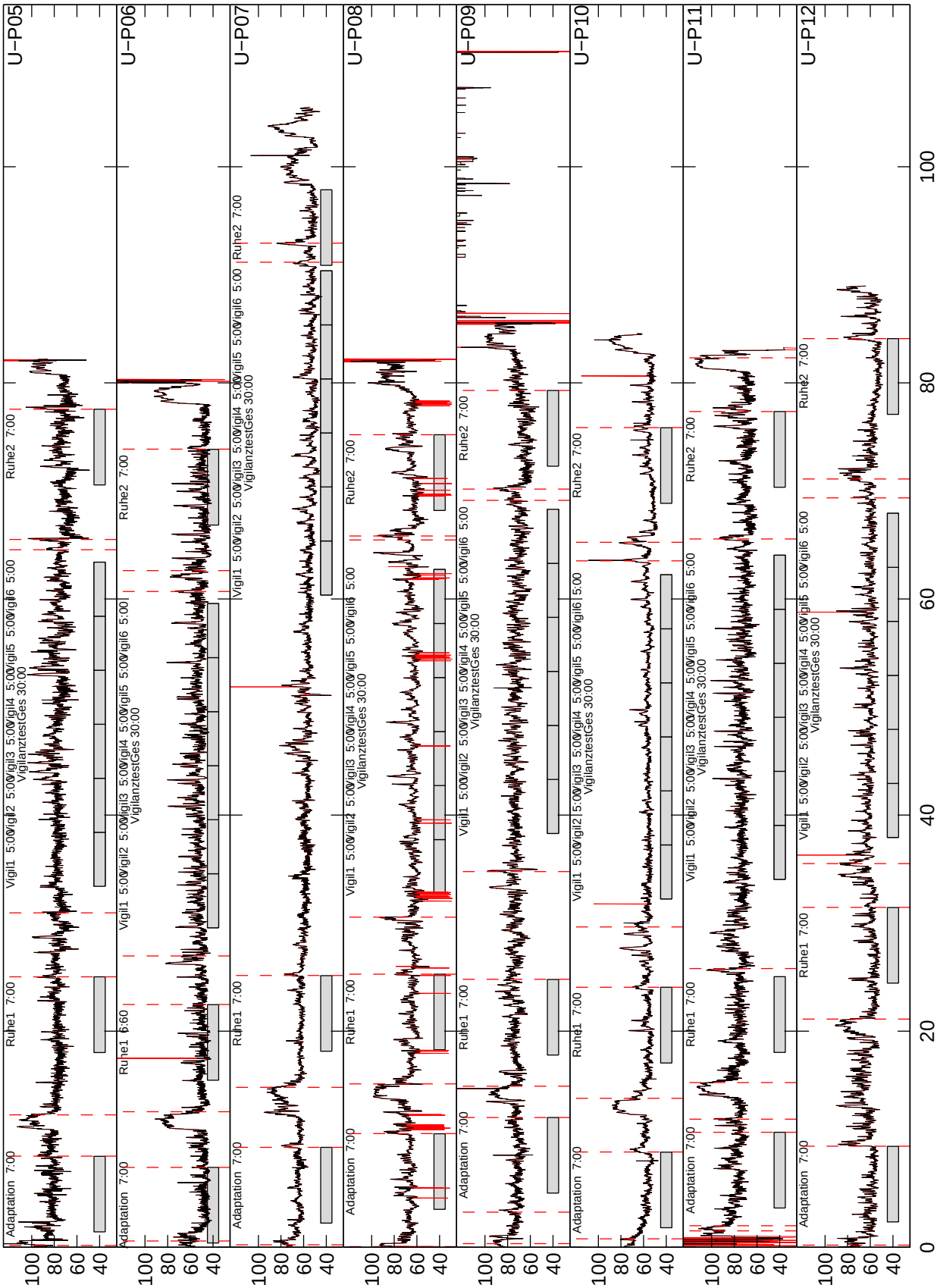

O–P19
O–P20
O–P21
O–P22
O–P23
O–P24
O–P25
O–P26
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 6:60
Ruhe1 6:60
Vigil5 4:60
VigilanztestGes 29:60
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

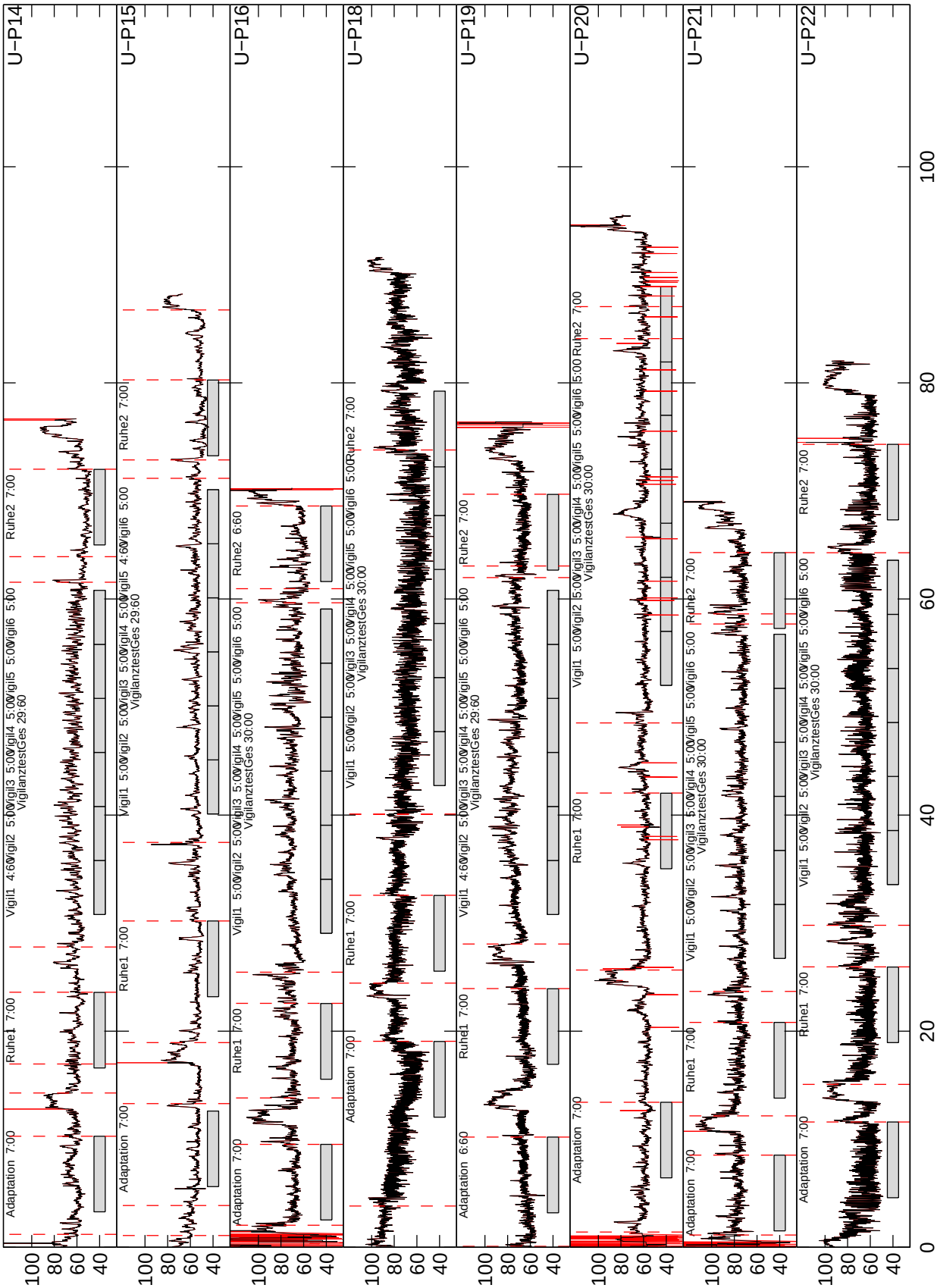

O–P27
O–P28
O–P29
O–P30
O–P31
O–P32
O–P33
O–P34
Adaptation 7:00
Ruhe1 6:60
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 4:60
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 29:60
Ruhe2 6:60
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 4:60
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 29:60
Ruhe2 7:00
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 6:60
Ruhe1 6:60
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 6:60
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

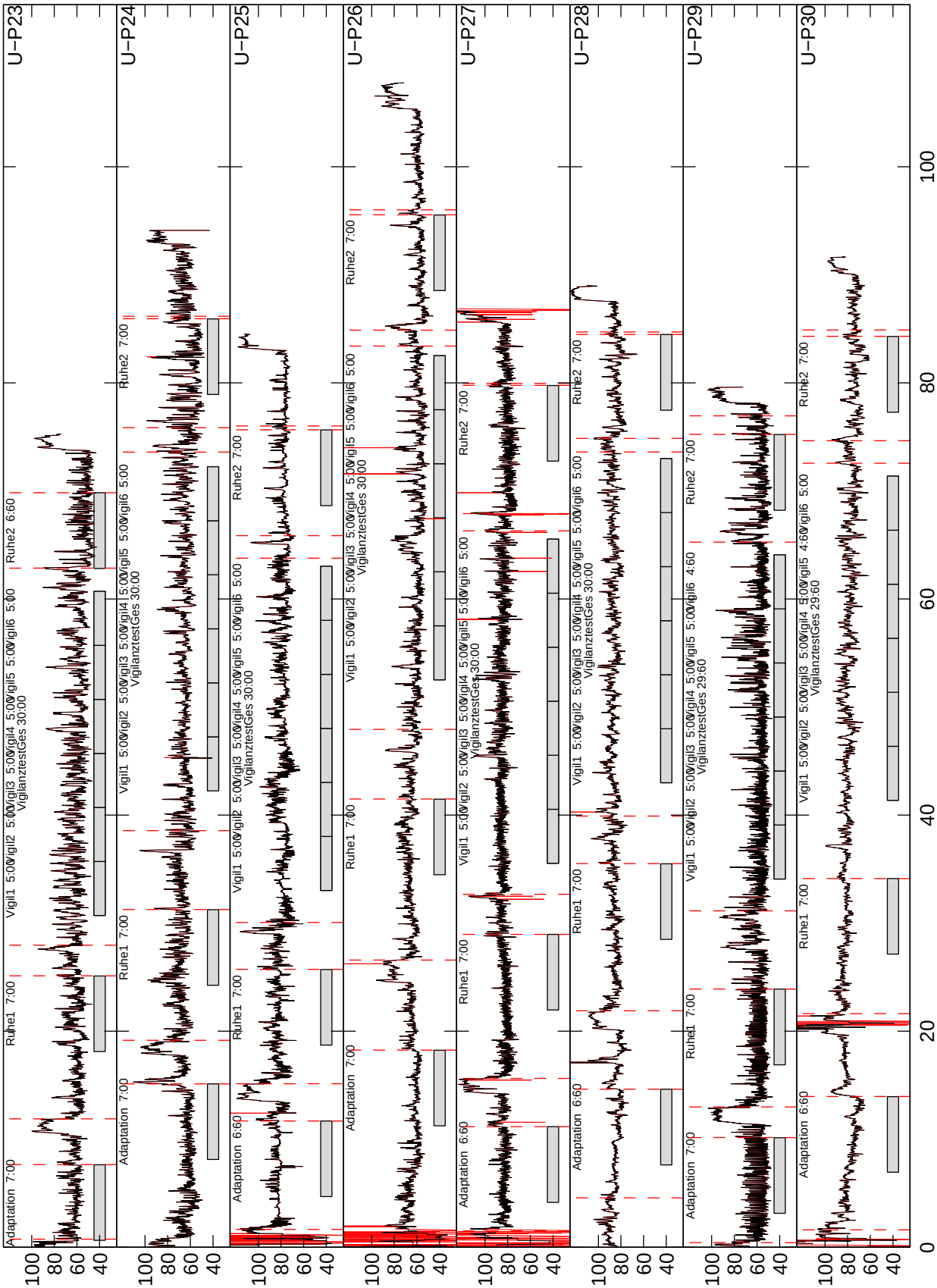

O–P35
O–P36
O–P37
O–P38
O–P39
O–P40
O–P41
O–P42
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

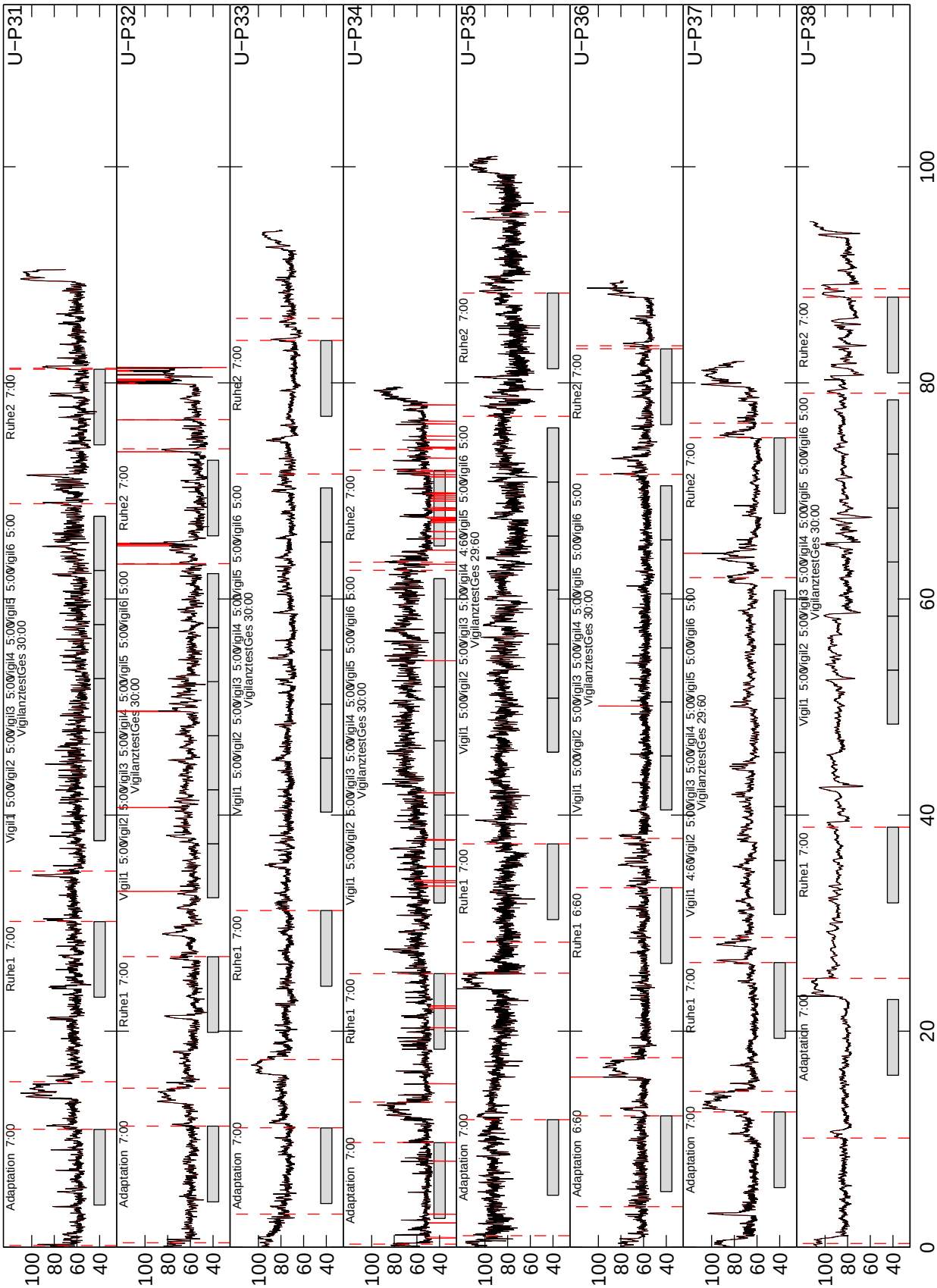

O–P43
O–P44
O–P45
O–P46
O–P47
O–P48
O–P49
O–P50
Adaptation 6:60
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

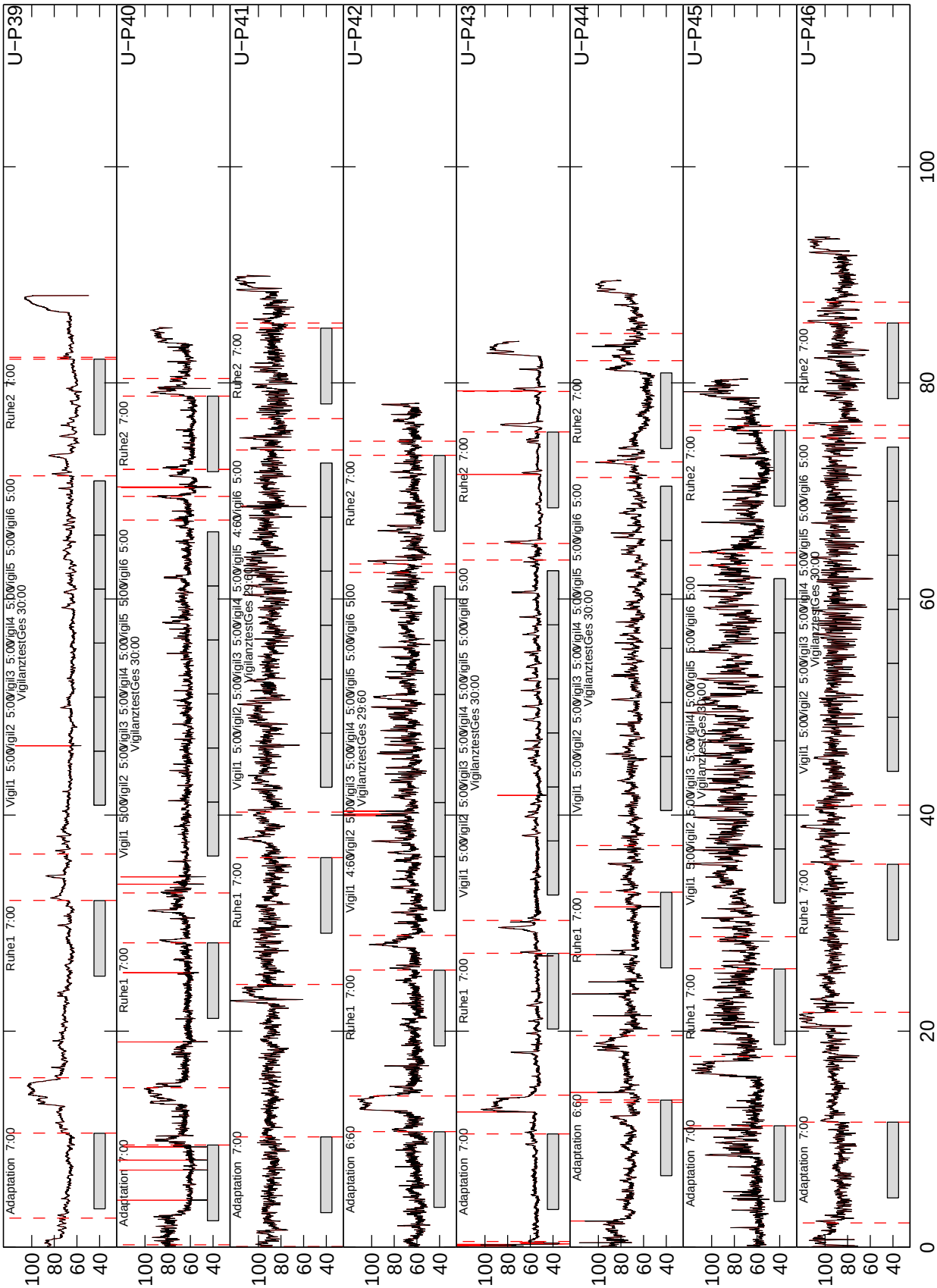

O–P51
O–P52
O–P53
O–P54
U–P01
U–P02
U–P03
U–P04
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

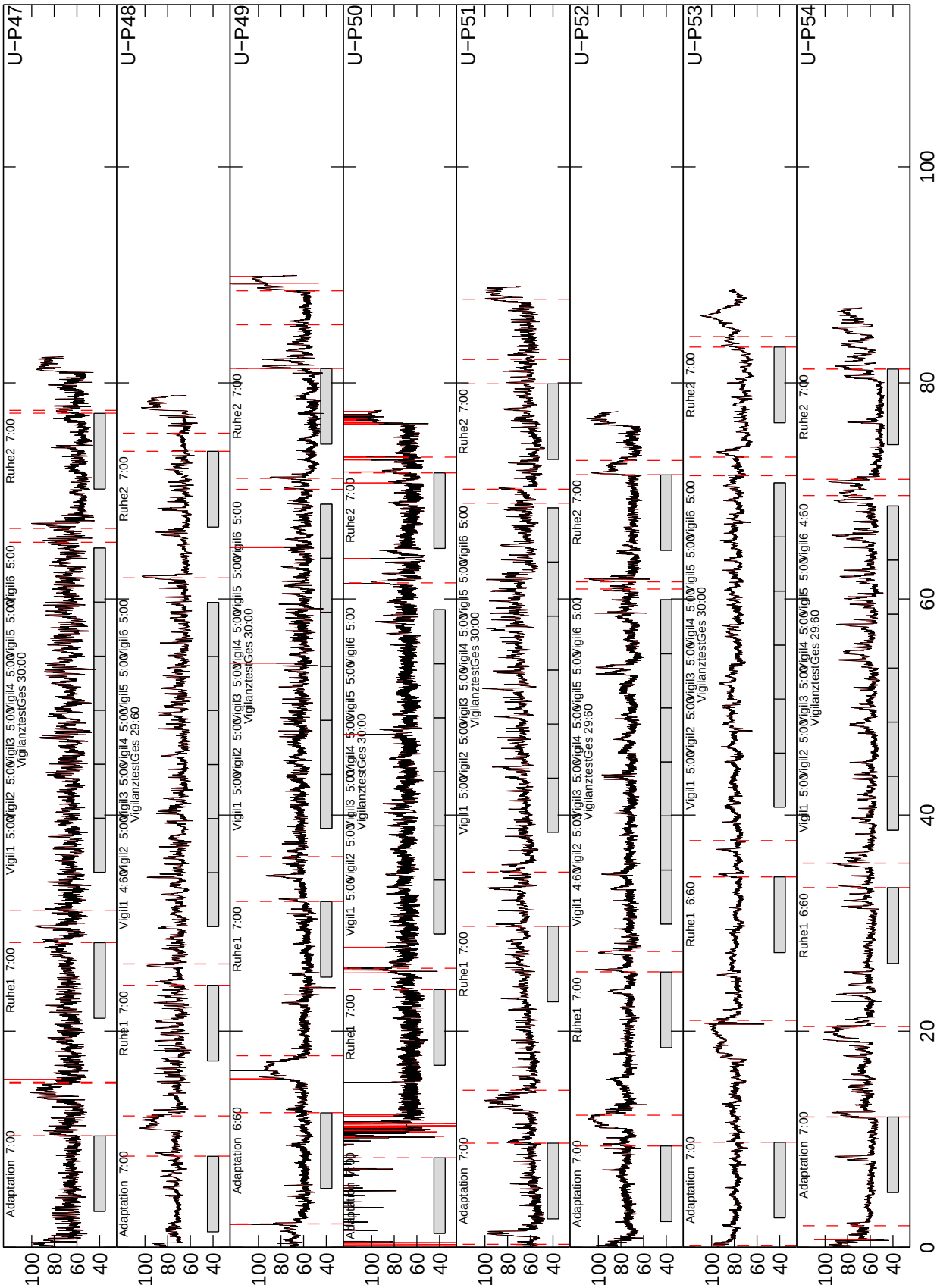

U-P05
U-P06
U-P07
U-P08
U-P09
U-P10
U-P11
U-P12
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Ruhe1 6:60
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
0
20
40
60
80
100


U-P14
U-P15
U-P16
U-P18
U-P19
U-P20
U-P21
U-P22
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 4:60
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 29:60
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 6:60
100
80
60
40
0
20


U-P23
U-P24
U-P25
U-P26
U-P27
U-P28
U-P29
U-P30
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 6:60
Adaptation 6:60
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100


U-P31
U-P32
U-P33
U-P34
U-P35
U-P36
U-P37
U-P38
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100


U-P39
U-P40
U-P41
U-P42
U-P43
U-P44
U-P45
U-P46
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
Ruhe2 7:00
VigilanztestGes 30:00
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100


U-P47
U-P48
U-P49
U-P50
U-P51
U-P52
U-P53
U-P54
Adaptation 7:00
Ruhe1 7:00
Vigil1 5:00
Vigil2 5:00
Vigil3 5:00
Vigil4 5:00
Vigil5 5:00
Vigil6 5:00
VigilanztestGes 30:00
Ruhe2 7:00
Adaptation 6:60
Vigil1 4:60
VigilanztestGes 29:60
Ruhe1 6:60
Vigil6 4:60
100
80
60
40
0
20
40
60
80
100

## 7.6. Allgemeine Information zum Human Research Institut

Das Human Research Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung ist eine Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft und stellt Werkzeuge und Techniken für Gesundheitsbewertung und -förderung in Studien, Alltag und Klinik zur Verfügung. Das Unternehmen ging aus dem bisherigen Institut für Nichtinvasive Diagnostik der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH hervor. Die Arbeitsgruppe der Human Research GmbH kann – ausgehend von ihren Anfängen in der Weltraummedizin im Rahmen der österreichisch-russischen Weltraummission AustroMir im Jahre 1989 – eine erfolgreiche Entwicklungsgeschichte aufweisen. Durch die Entwicklung innovativer nichtinvasiver Messmethoden inklusive entsprechender Sensorik sowie durch zahlreiche öffentlichkeitswirksame Projekte ist es gelungen, sich sowohl in der wissenschaftlichen Community als auch in der betrieblichen Praxis als Forschungspartner zu etablieren. Schwerpunkt des Leistungsangebots ist die Durchführung von wissenschaftlichen Projekten und Studien. Dazu zählen insbesondere Wirkstudien sowie die Evaluation und Entwicklung von Gesundheitsprogrammen. Das Unternehmen verfolgt die Vision „Gesundheit sichtbar zu machen“ und zeichnet sich durch eine besondere Methodenkompetenz aus, um gesundheitliche Wirkungen unterschiedlichster Einflussfaktoren (z.B. Produkte, Umgebungen, etc.) auf Organismen zu messen. Hauptwerkzeug ist die Messung der Herzfrequenzvariabilität.

## 7.7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grobschema des Versuchsablaufes. ....6
Abbildung 2: Detailliertes Schema des Versuchsablaufes. ....6
Abbildung 3: Wiese mit Versuchsräumen. ....7
Abbildung 4: Innenansicht der Versuchsräume. ....8
Abbildung 5: Beispiel eines Einzelverlaufs der Momentanherzrate im Versuchsablauf. ....9
Abbildung 6: Abkürzungsverzeichnis der HRV-Kennwerte. ....10
Abbildung 7: Messgerät zu HRV-Messung: ChronoCord – hochauflösender EKG-Rekorder. ....11
Abbildung 8: Alter und Geschlecht der Versuchspersonen in der Analysestichprobe. ....16
Abbildung 9: Altersverteilung der Versuchspersonen. Jede Klasse umfasst das angegebene Alter +/- 2 Jahre. ....16
Abbildung 10: Schläfrigkeit (KSS) im Versuchsablauf (n=50). ....18
Abbildung 11: Befinden (MDBF) im Versuchsablauf. ....19
Abbildung 12: Daueraufmerksamkeit (VIGIL) und Versuchsraum (n=53). ....20
Abbildung 13: Raumwahrnehmung (SD) und Versuchsraum (Versuchsbeginn: n=50, Ende: n=52). ....21
Abbildung 14: Statistische Ergebnisse zu HRV-Kennwerten. ....22
Abbildung 15: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 1. ....23
Abbildung 16: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 2. ....24
Abbildung 17: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 3. ....25
Abbildung 18: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 4. ....26
Abbildung 19: HRV-Kennwerte im Versuchsablauf – Teil 5. ....27
Abbildung 20: Platzierung der Temperatur- und Feuchte-Sensoren in einem Wandspalt ca. in Augenhöhe ....35
Abbildung 21: Temperaturverlauf (oben) und Feuchteverlauf (unten) in den Versuchsräumen. ....35

## 7.8. Literatur

Berger, R.D., *et al.* (1986) An Efficient Algorithm for Spectral Analysis of Heart Rate Variability, *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, **33**, 900-904.

Berntson, G.G., Cacioppo, J.T. and Quigley, K.S. (1995) The metrics of cardiac chronotropism: Biometric perspectives, *Psychophysiology*, **32**, 162-171.

Bettermann, H., *et al.* (1999) Musical rhythms in heart period dynamics - A cross-cultural and interdisciplinary approach to cardiac rhythms, *Am. J. Physiol.*, **277**, H1762-H1770.

Bettermann, H., *et al.* (1996) Die Bestimmung der Atemfrequenz aus der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA), *Biomed. Tech.*, **41**, 319-323.

Huikuri, H.V., *et al.* (1996) Abnormalities in beat-to-beat dynamics of heart rate before the spontaneous onset of life-threatening ventricular tachyarrhythmias in patients with prior myocardial infarction, *Circulation*, **93**, 1836-1844.

Moser, M., *et al.* (1998) Increased heart rate in depressed subjects in spite of unchanged autonomic balance?, *Journal of Affective Disorders*, **48**, 115-124.

Moser, M., *et al.* (1994) Heart Rate Variability as a Prognostic Tool in Cardiology, *Circulation*, **90**, 1078-1082.

Task Force of the ESC and NASPE (1996) Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology), *Eur. Heart J.*, **17**, 354-381.