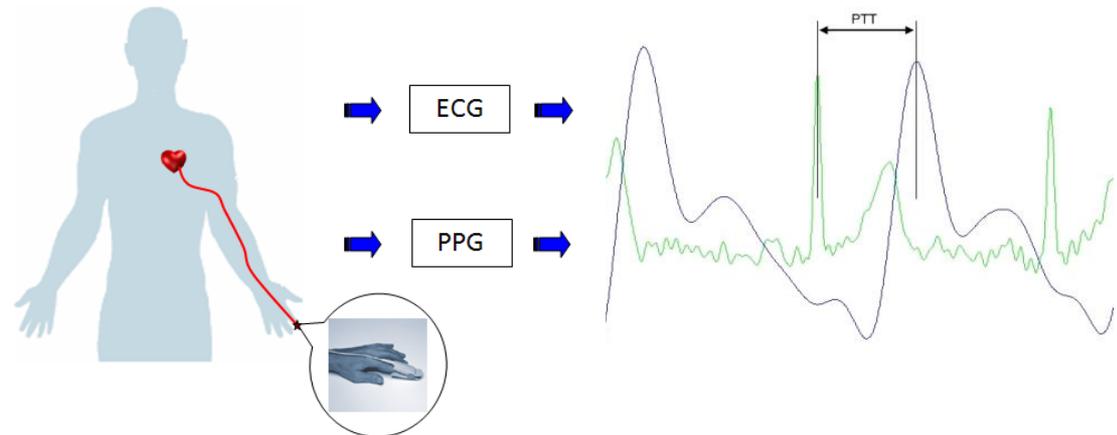


# Vorlesung Mikrosystemtechnik

## Teil 1: Einführung

Stefan Hey

Institut für Technik der Informationsverarbeitung



# Seminar: Sensorsysteme für Fitness- und Sportanwendungen

- Vorbesprechung: Dienstag 27.10. 11:30 im Seminarraum 3.39 ITIV, Geb. 30.10 3. OG
  
- Durchführung: Stefan Hey
- Ziel:
  - Selbständiges wissenschaftliches Arbeiten
  - Wissenschaftliche Ausarbeitung
  - Vortragsvorbereitung
  - Spezifische Fragestellungen des interdisziplinären Arbeitens:
    - Einarbeitung in fachfremde Anwendungsgebiete
    - Aufarbeitung von Ergebnissen für fachfremde Zielgruppen
    - Evtl. arbeiten in interdisziplinären Teams
- Aktuelle Themen aus den gemeinsamen Forschungsarbeiten mit dem Institut für Sport- und Sportwissenschaft des KIT

# Wer bin ich?

- Studium der Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe mit Schwerpunkt **Biomedizinische Technik**
- Arbeit als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Technik der Informationsverarbeitung (**ITIV**) an der Universität Karlsruhe bei Prof. K.-D. Müller-Glaser. Unter anderem Durchführung eines Projektes zur Entwicklung mobiler Sensoren für ein Personal Health Monitoring System (PHMon).
- Nach der Promotion Wechsel an das **FZI** Forschungszentrum Informatik als Abteilungsleiter des Bereichs Medizinische Informationstechnik und Sprecher des HealthCare Competence Centers.
- Seit 2007 Leiter der Forschungsgruppe hiper.campus am ITIV

individuelles Monitoring mit mobilen Vitalsensoren und durch Befragung



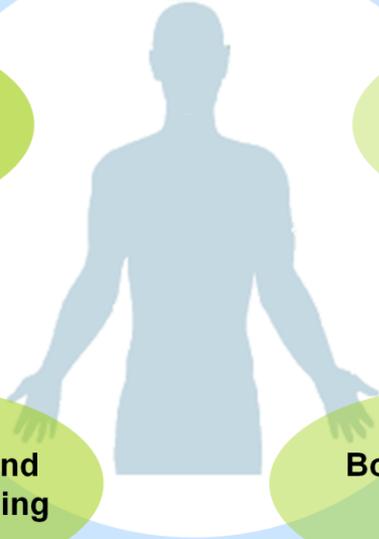
Steigerung der persönlichen Leistungsfähigkeit und Kompetenz

Technologische Plattform zur Integration der Daten und Realisierung von Community-Aspekten

**persönliche Leistungsfähigkeit und Kompetenz**

**Analyse und Feedback**

Multiparametrische Datenanalyse zur Bestimmung von Fitness und Stress



**Körperliches und mentales Training**

**Body and Mind Coaching**

Integratives Vermittlungs- und Trainingskonzept

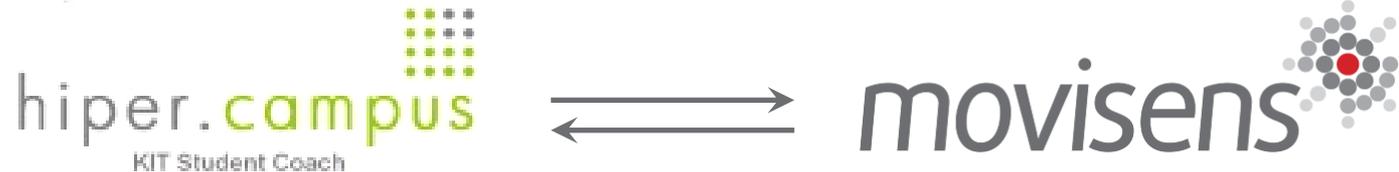
Entwicklung von Trainingsmodulen für körperliche und mentale Fitness

Untersuchung des Zusammenhangs zwischen körperlicher und mentaler Fitness und kognitiver Leistungsfähigkeit

Erlernen von Selbstcoaching-Fähigkeiten zur Kompetenzsteigerung, Unterstützung durch eCoach und virtuelle Gruppen



# Research Group und Start-Up



## ■ Research Group

- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen persönlicher Fitness und mentaler Leistungsfähigkeit

## ■ Interdisziplinäres Team

- Psychologen
- Sportwissenschaftler
- Ingenieure

## ■ Start-Up

- Forscher unterstützen
- Ambulantes Assessment
- Technisches Equipment
- Psycho-physiologische Sensoren

# Ambulantes Assessment und mobiles Monitoring

Produkte und Projekte

Oktober 2015



# Überblick

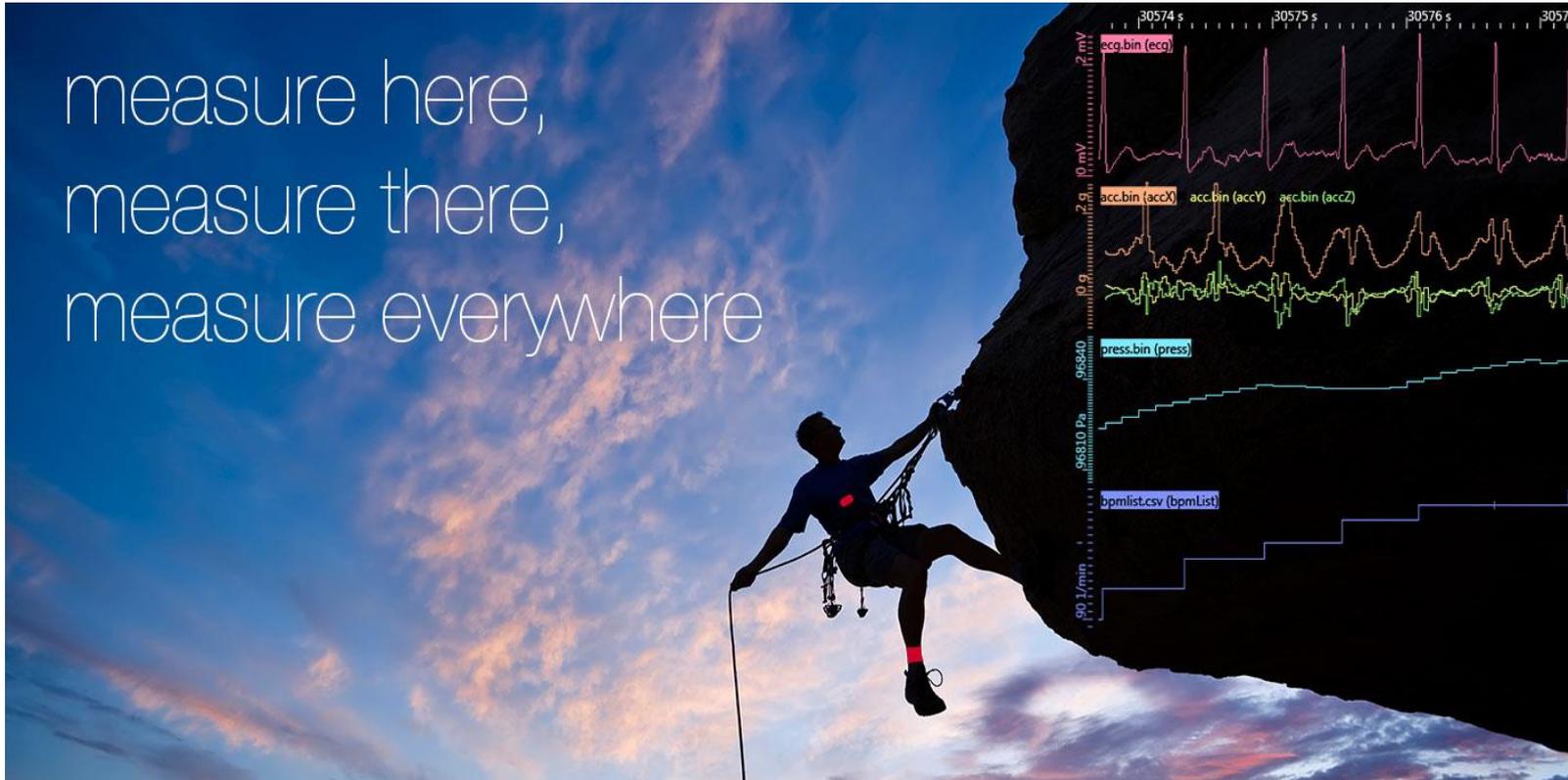


- Vorstellung movisens
- Ambulantes Assessment
  - Experience Sampling
  - Körperliche Aktivität
  - EKG / Herzratenvariabilität
  - Interaktives Ambulantes Assessment
- Beispiel-Projekte

- Ausgründung aus KIT / Universität Karlsruhe
  - Interdisziplinäre Forschungsgruppe  
„Zusammenhang zwischen Belastung und körperlicher und geistiger Leistungsfähigkeit“
- Förderung durch EXIST Forschungstransfer des BMWi
- Gründung 2009



measure here,  
measure there,  
measure everywhere



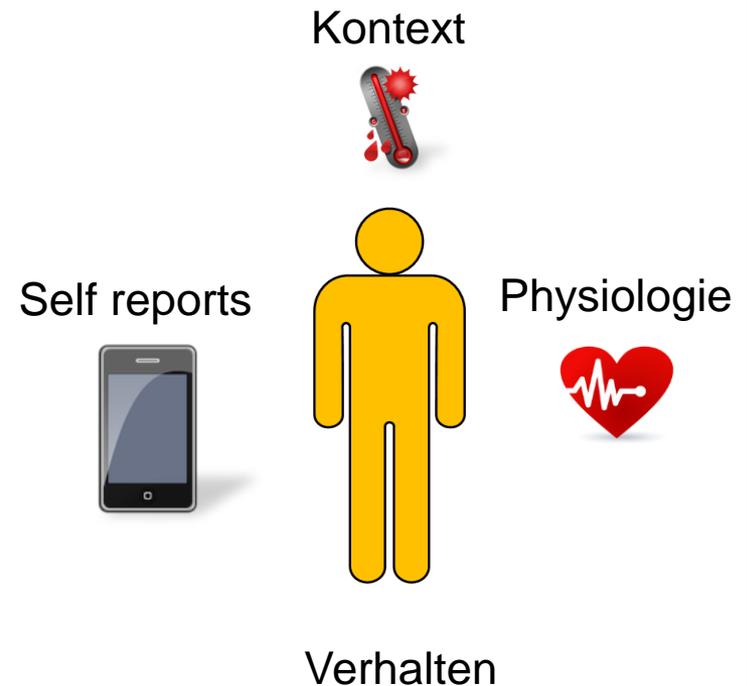
Lösungen und Dienstleistungen für ambulantes  
Assessment und mobiles Monitoring in der Forschung

# Ambulantes Assessment

# Ambulantes Assessment

- “The use of computer-assisted methodology to assess self-reports, behaviors and/or physiological processes, while the participant undergoes normal daily activities”
  - **im Alltag**, um die Generalisierbarkeit zu erhöhen
  - **in Echtzeit** zur Erhöhung der Reduktion der retrospektiven Verzerrung
  - **Multimodale/objektive** Erfassung von psychologischen, physiologischen und Verhaltens-Daten
  - Wiederholte Erfassung berücksichtigt **dynamische Prozesse**
  - Situations- oder kontextbezogene Abfragen

(Ebner-Priemer, Kubiak, 2010)



# Ambulantes Assessment

- Freiburger Monitoring System
  - Psion-Taschencomputer
  - EKG
  - Körperliche Aktivität/Lage
  - Gewicht > 1 kg
  - Dauer zum Anlegen des Systems: 1h
  - Laufzeit: >24h

(J. Fahrenberg, M. Myrtek, ab 1970, Forschungsgruppe  
Psychophysiologie am Psychologischen Institut, Uni Freiburg)



# Produktübersicht



**Move 3**  
**3D-Aktivitätssensor**

- 3D-Beschleunigung, Luftdruck, Temperatur
- Aktivitätserkennung
- Exakte Energieumsatzbestimmung
- **Bluetooth Low Energy Schnittstelle**
- **Online-Algorithmen**



**ecgMove 3**  
**EKG- und Aktivitätssensor**

- EKG, 3D-Beschleunigung, Luftdruck, Temperatur
- Brustgurt und Klebeelektroden
- **Bluetooth Low Energy Schnittstelle**
- **Online-Algorithmen**



**edaMove 3**  
**EDA und Aktivitätssensor**

- Elektrodermale Aktivität (EDA), 3D-Beschleunigung, Luftdruck, Temperatur
- Langzeitmessung
- USB- und Bluetooth-Schnittstelle
- **Bluetooth Low Energy Schnittstelle**
- **Online-Algorithmen**



**DataAnalyzer**  
**Software zur Auswertung  
von Sensordaten**

- Berechnung von Sekundärparametern
- Erzeugung von Berichten
- Datenexport
- Vollautomatische Studiauswertung



**movisens XS**  
**Elektronisches Tagebuch /  
Fragebogen**

- Plattform für Ambulantes Assessment
- Nachhaltige Technik auf Basis von Android
- Flexible Sampling-Strategien und große Auswahl an Item-Formaten
- Erfassung qualitativer und quantitativer Daten



**movisens Stress- und  
Lebensstil-Check**  
**Dienstleistung zur Be-  
urteilung der körperlichen  
und mentalen Belastung**

- Stress und Lebensstil-Analyse
- Coaching, Betriebliches Gesundheitsmanagement, Ergonomie
- Unterstützung bei der objektiven Beurteilung

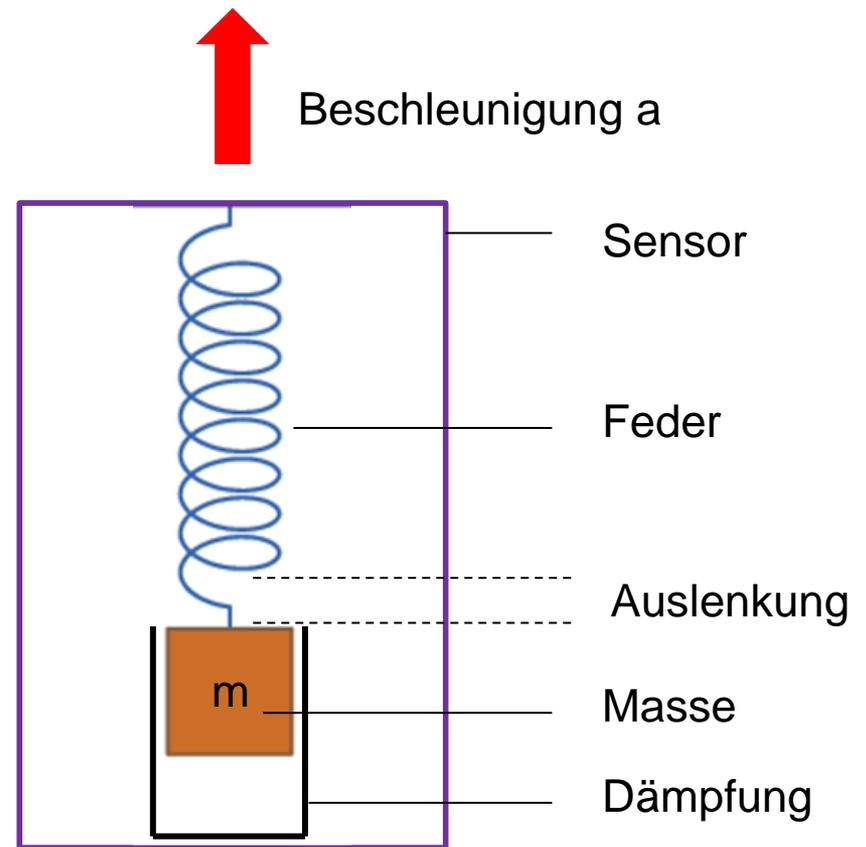
## **Erfassung körperlicher Aktivität**

- Validität subjektiver Selbstberichte bezüglich körperlicher Aktivität sehr gering: correlation of  $r=.41$
- Akzelerometer erlauben kontinuierliche, objektive Erfassung im Alltag
- Akzelerometer basieren auf der Messung Beschleunigung
- Algorithmen erlauben Berechnung von
  - Intensität / Energieumsatz
  - Aktivitätsklassen (sitzen, gehen, ...)
  - Körperposition (liegen, sitzen, stehen)

J. B. Bussmann, U. W. Ebner-Priemer, and J. Fahrenberg, 2009

# Messprinzip

- Trägheit  
(Beharrungsvermögen)  
ist das Bestreben von physikalischen Körpern, in ihrem Bewegungszustand zu verharren, solange keine auf sie einwirken
  
- Masse, Feder, Dämpfer



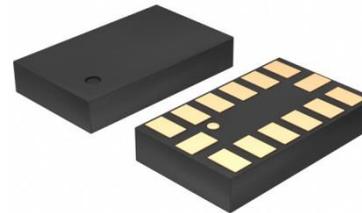
# Technische Umsetzung



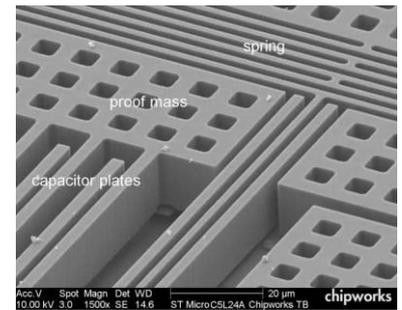
Sensorsystem



Platine



Bauteil



Chip / Silizium

# Move 3

## 3D-Aktivitätssensor BT-LE

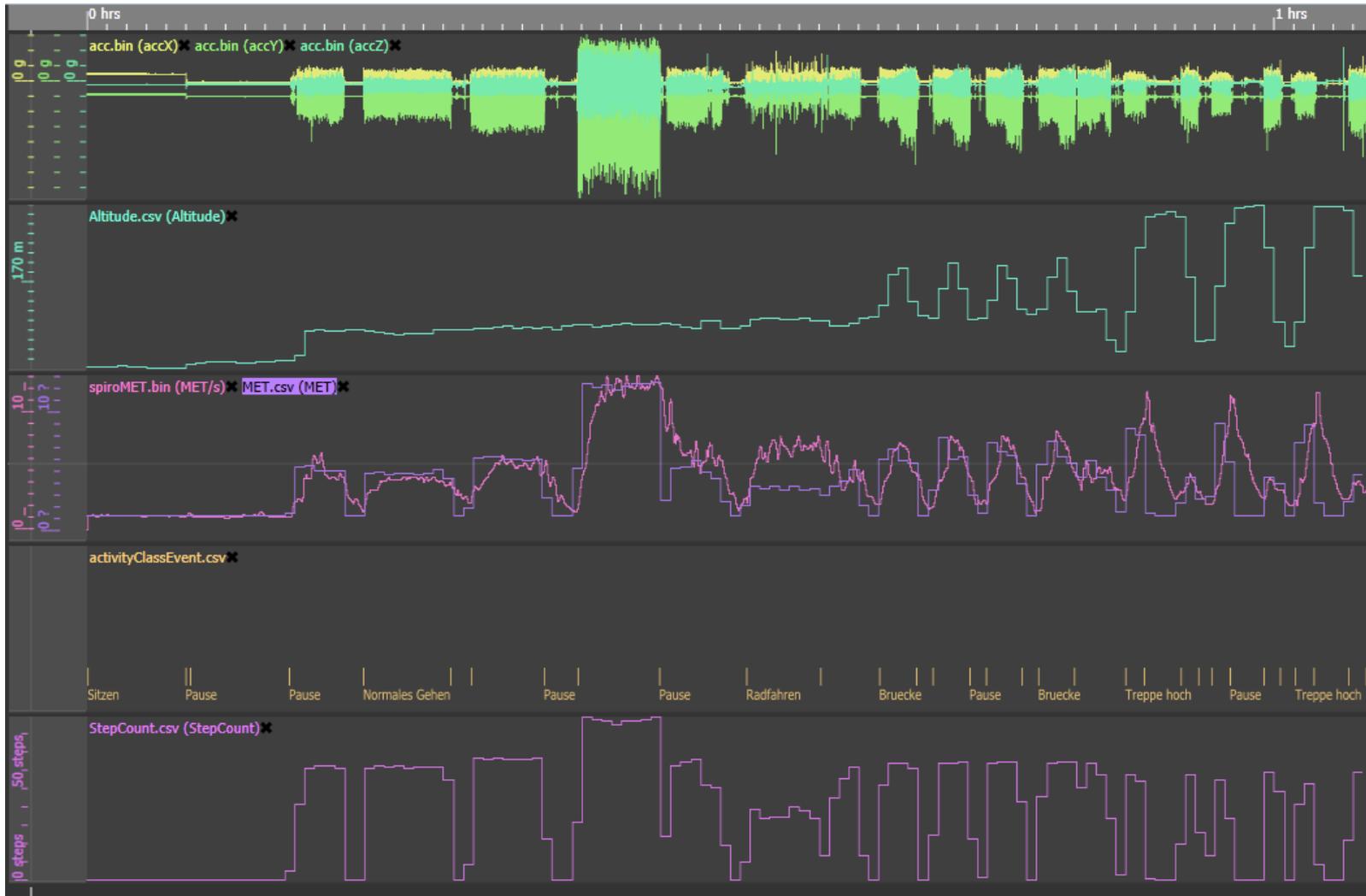


- Messparameter
  - 3D-Beschleunigung (64Hz)
    - Messbereich +/- 8g, Auflösung 4mg
  - Luftdruck / Höhe (1Hz)
    - Barometrische Höhenmessung, Auflösung ca. 15cm
- Aufzeichnungsdauer
  - Speicher: ca. 2 Monate bei Rohdatenaufzeichnung
  - Batterielaufzeit: ca. 7 Tage
- Features
  - Größerer Prozessor für online Algorithmen
  - Bluetooth Low Energy Schnittstelle
  - Kopplung an Experience Sampling Software movisens XS



# Move 3

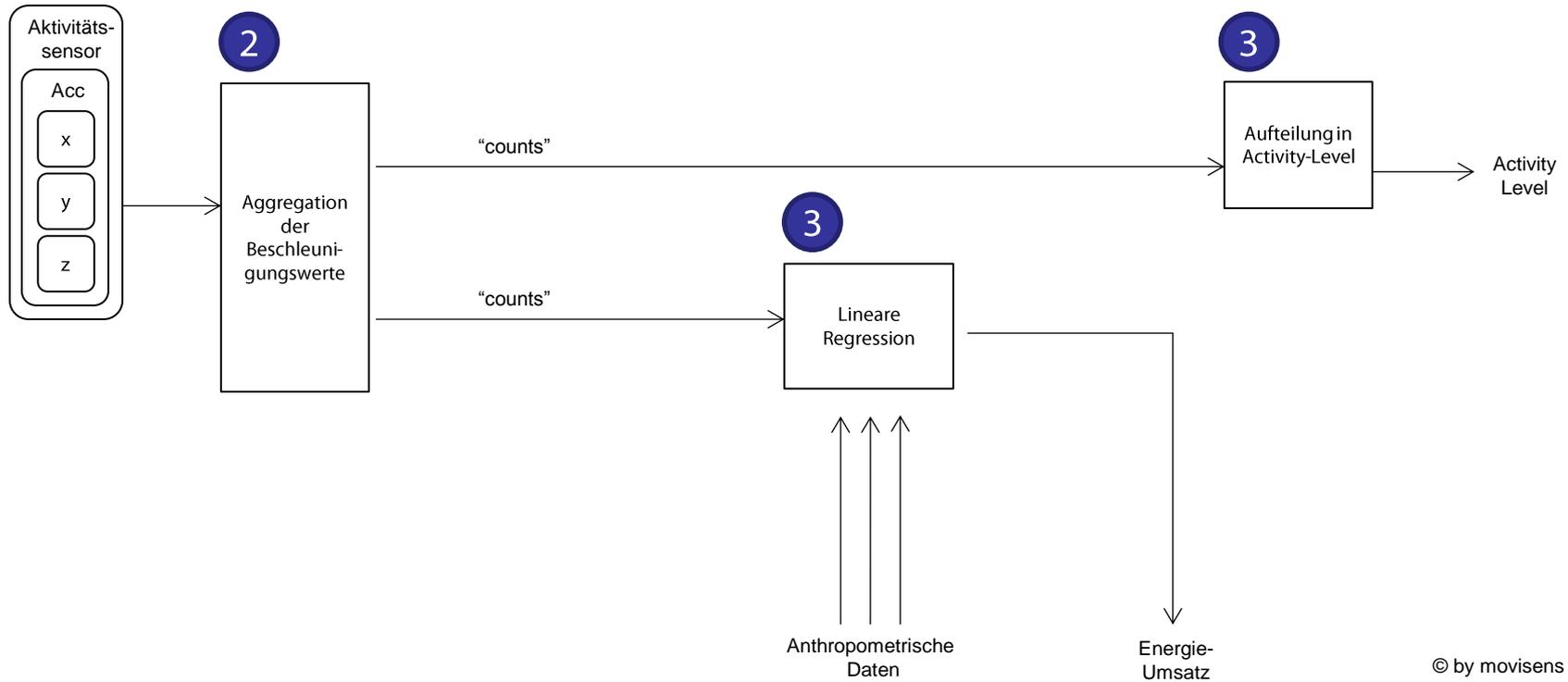
## Beispieldaten



Sensor-Rohdaten, Höhe, MET, Aktivitätsklassen, Schritte

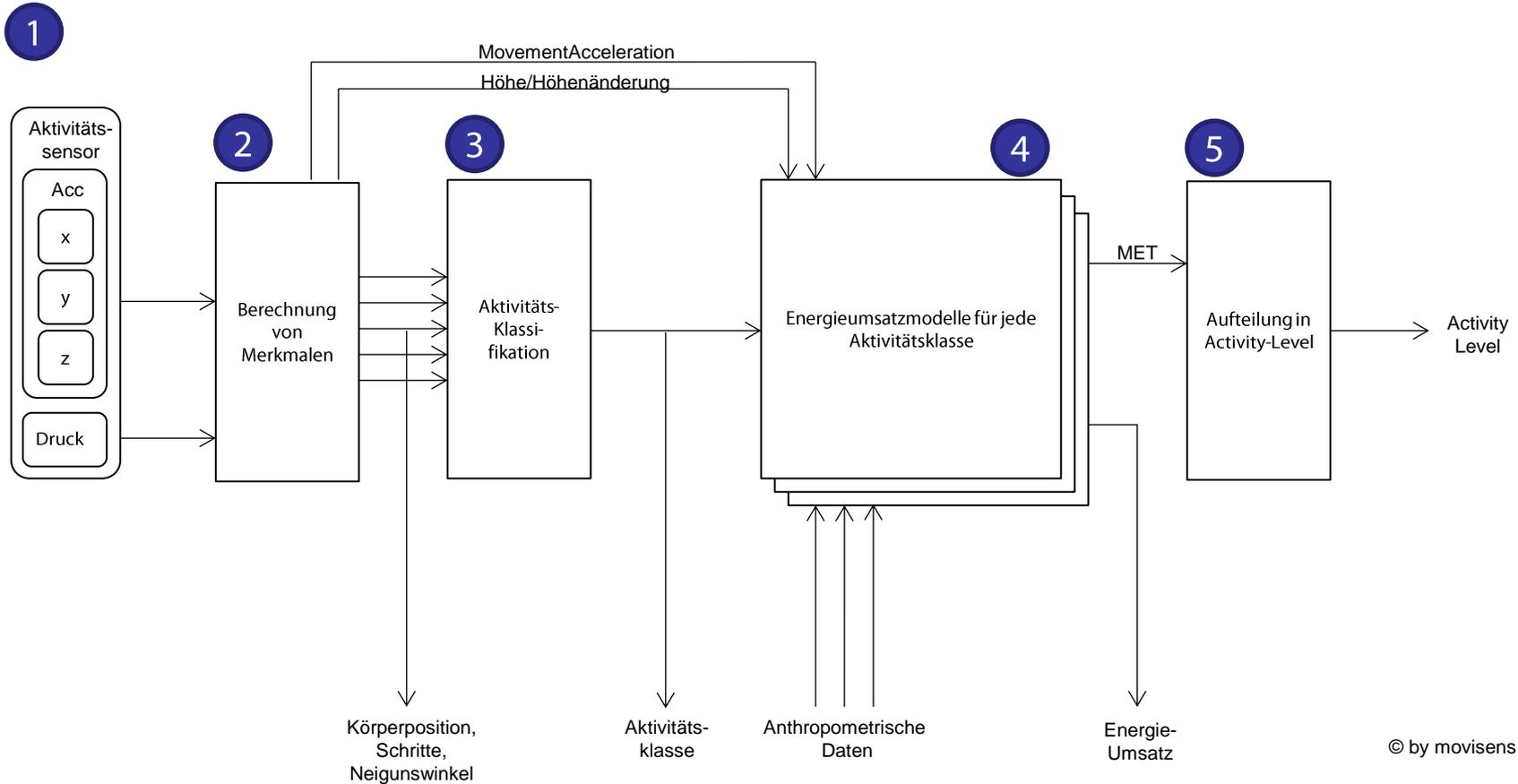
# Algorithmen für Aktivitätsmonitoring

1



© by movisens

# Algorithmen für Aktivitätsmonitoring

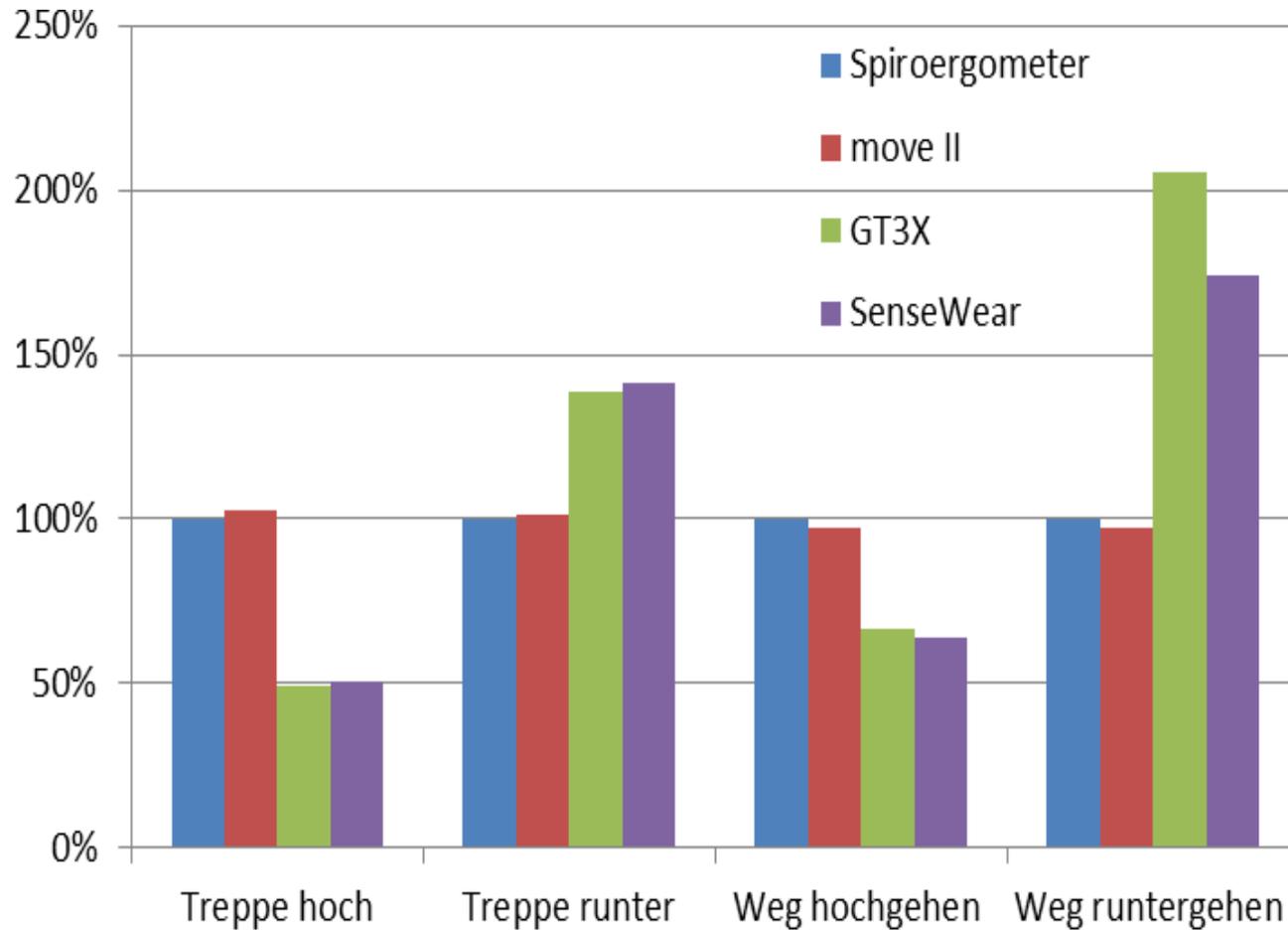


# Beispielstudie Validierung

- Referenz: Indirekte Kalorimetrie
- Sensoren: GT3X (ActiGraph Inc.), SenseWear (BodyMedia), movell (movisens GmbH)
- 36 Probanden (m=18, w=18;  $33,3 \pm 9,7$  Jahre)
- Aktivitäten
  - Treppen hochsteigen (528 Stufen)
  - Treppen runtersteigen (528 Stufen)
  - Weg hochgehen (0,75 Kilometer, ca. 14% Steigung)
  - Weg runtergehen (0,75 Kilometer, ca. 14% Steigung)
- Ziel: Verbesserung der Energieumsatzberechnung mit Barometer beim Bergauf-/abgehen



# Beispielstudie Validierung



# Beispielstudie Forschung

- Epidemiologische Studie Paracelsus 10.000
- Zusammenhang von körperlicher Aktivität und
  - Stoffwechsel
  - Herz-Kreislauf
  - Biomarker
- Querschnittstudie mit 10.000 Probanden
  - 8-Tage Messung mit Move II
  - Untersuchungen Herz-Kreislauf
  - Leistungstests (Spiro-Ausbelastung)
  - Fragebogen
- Läuft bis ~ 2017

# **Ambulante Erfassung von EKG, Herzrate und Herzratenvariabilität**

# Erfassung EKG, Herzrate und Herzratenvariabilität



- EKG
  - Herzrhythmusstörungen
  - Warnarrhythmien
  
- Herzrate
  - Trainingssteuerung
  - In Zusammenhang mit Aktivitätsmonitoring: Beurteilung der Leistungsfähigkeit / Fitness
  
- Herzratenvariabilität
  - Beanspruchung / Erholung
  - Überlastung
  - Status des vegetativen Nervensystems

# EcgMove 3

## EKG- und Aktivitätssensor BT-LE

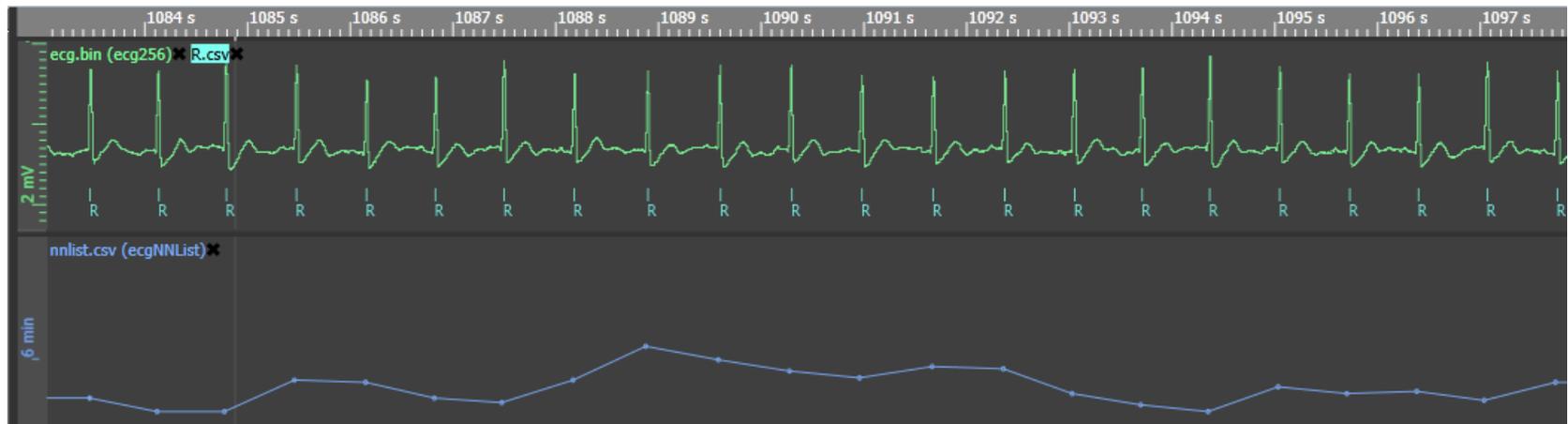


- Messparameter
  - EKG (1024Hz, 12 Bit)
    - 1 Kanal, Trockenelektroden
  - 3D-Beschleunigung (64Hz)
    - Messbereich +/- 8g, Auflösung 4mg
  - Luftdruck / Höhe (1Hz)
    - Barometrische Höhenmessung, Auflösung ca. 15cm
- Features
  - Größerer Prozessor für online Algorithmen
  - Bluetooth Low Energy Schnittstelle
  - Kopplung an Experience Sampling Software movisens XS
  - Verwendung mit Klebeelektroden



# EcgMove 3

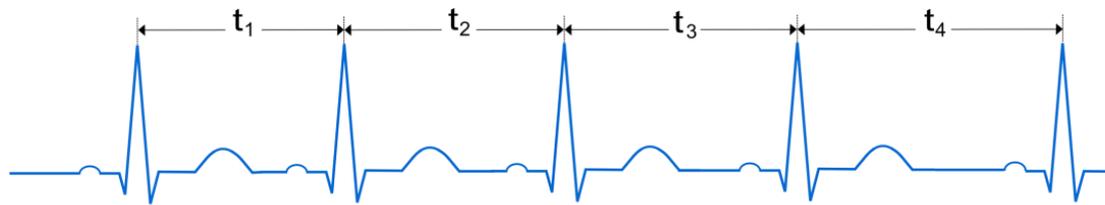
## Beispieldaten



EKG-Signal, erkannte R-Zacken, Tachogramm

# Herzratenvariabilität

- Variation der Herzfrequenz von Schlag zu Schlag
- Steuerung durch autonomes Nervensystem



Verringerte HRV	Normale/Erhöhte HRV
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erhöhtes Krankheitsrisiko</li> <li>▪ Anspannung</li> <li>▪ Depressivität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Körperliche Fitness</li> <li>▪ Entspannung</li> <li>▪ Abbau negativer Emotionen</li> </ul>

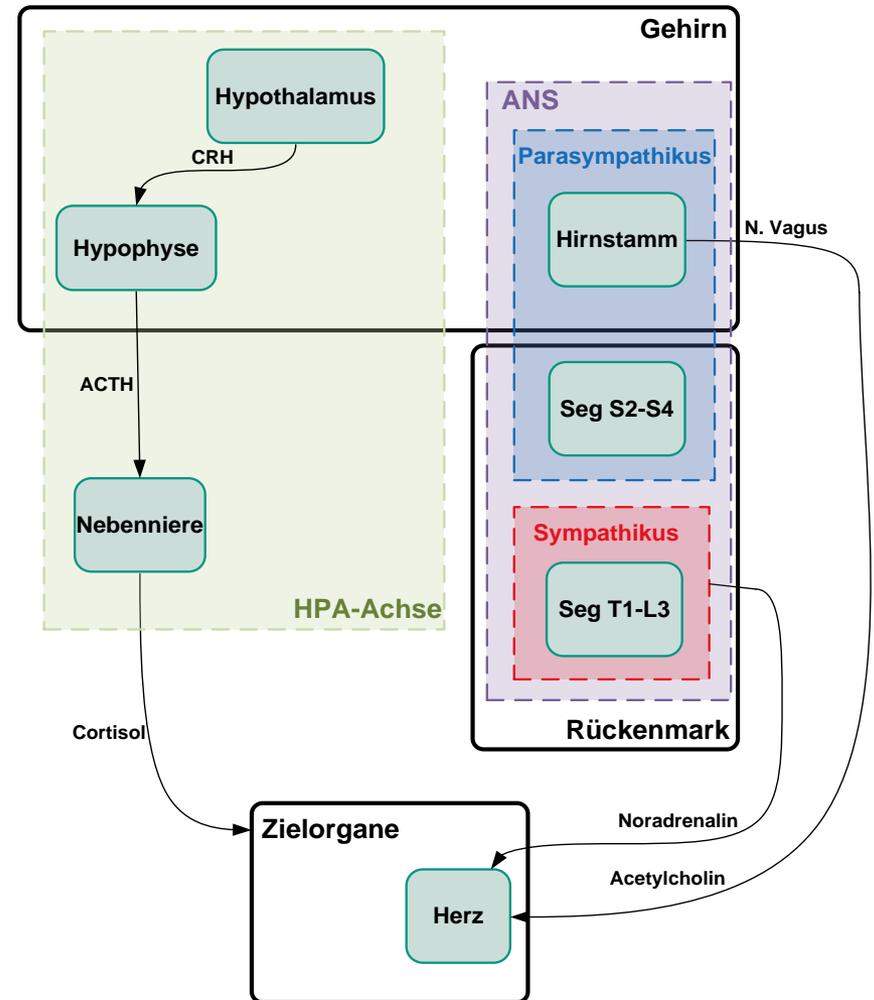
# Vegetatives Nervensystem und Stressreaktion

## 1. Aktivierung des ANS

- Sekundenschnell
- Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin (Sympathikus)
- **Sympathikus** → Stress-Aktivator
- **Nervus Vagus** → Stressbremsen

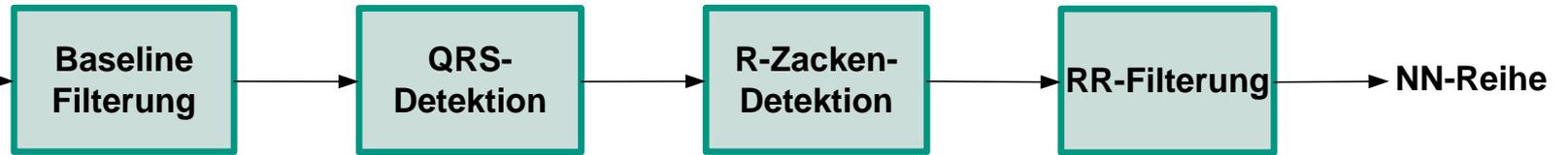
## 2. Aktivierung der HPA-Achse

- Längerer Weg wegen Transport über Blutkreislauf
- Stress-Hormone ACTH-Cortisol

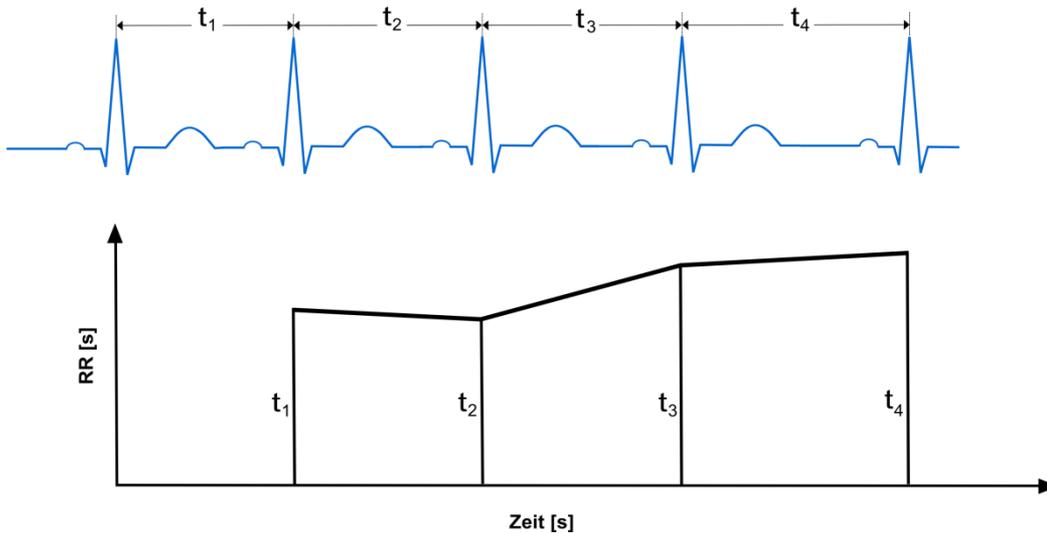


# Herzratenvariabilität

EKG Signal



Das Tachogramm



# Herzratenvariabilität

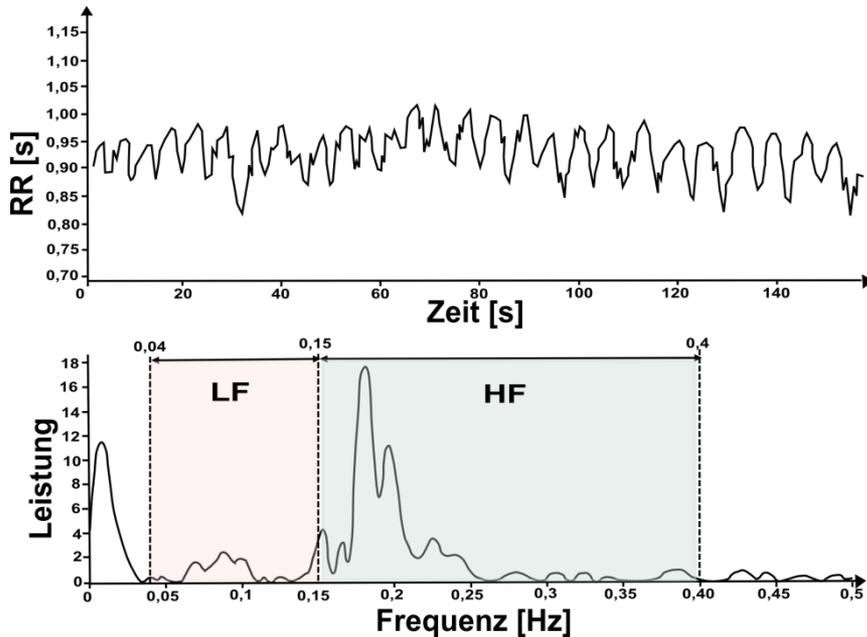
## Parameter



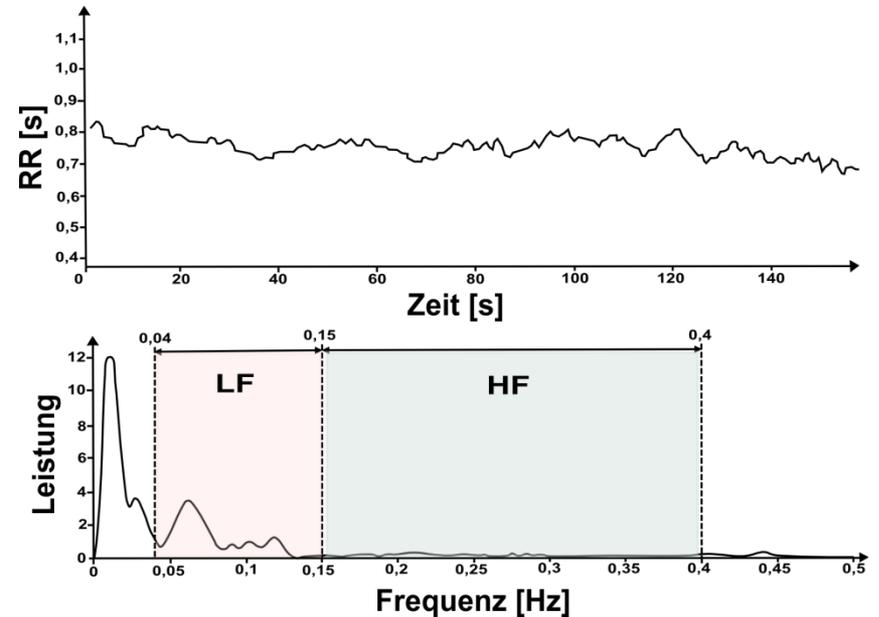
- Statistische Parameter (Zeitbereich)
  - Standardabweichung (SDNN)
  - Standardabweichung von sukzessiven Differenzen (SDSD)
- Spektrale Parameter (Frequenzbereich)
  - Leistung im High Frequency (HF) Bereich 0.15..0.4 Hz
  - Leistung im Low Frequency (LF) Bereich 0.04..0.15 Hz
  - Verhältnis LF/HF
- Geometrische bzw. nichtlineare Parameter
  - Parameter aus dem Poincaré Plot

# Herzratenvariabilität Spektrale Parameter

Parasympathikotonus

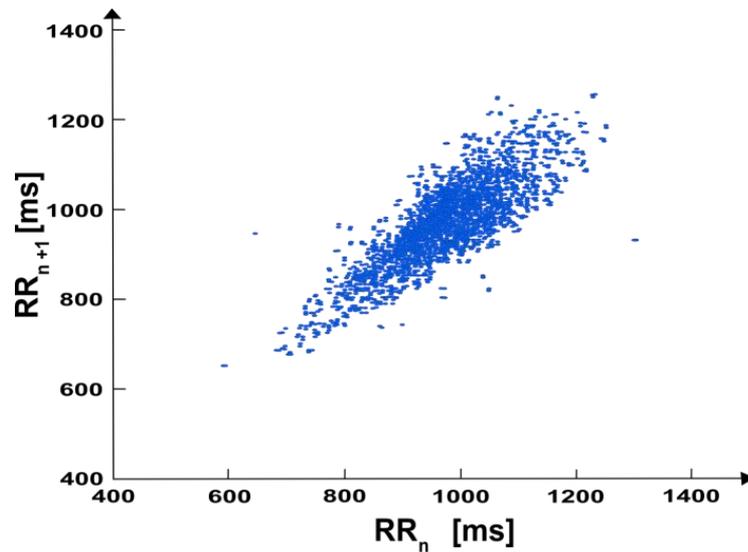


Sympathiakotonus

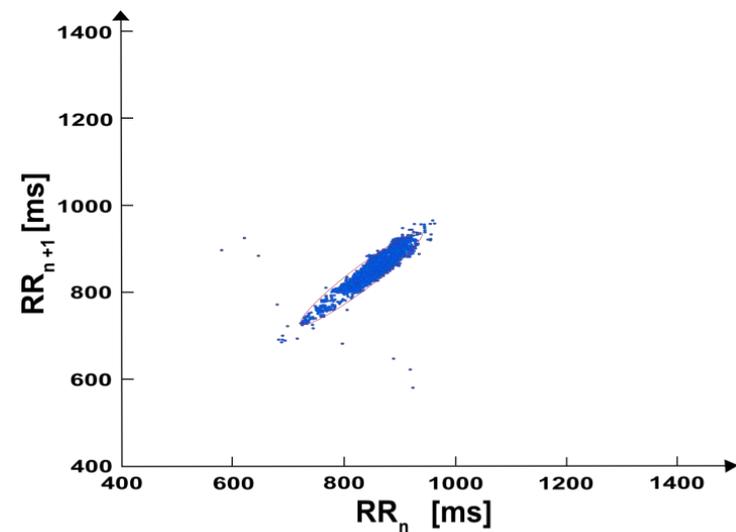


# Herzratenvariabilität Poincaré-Plot

Hohe HRV (Erholung)



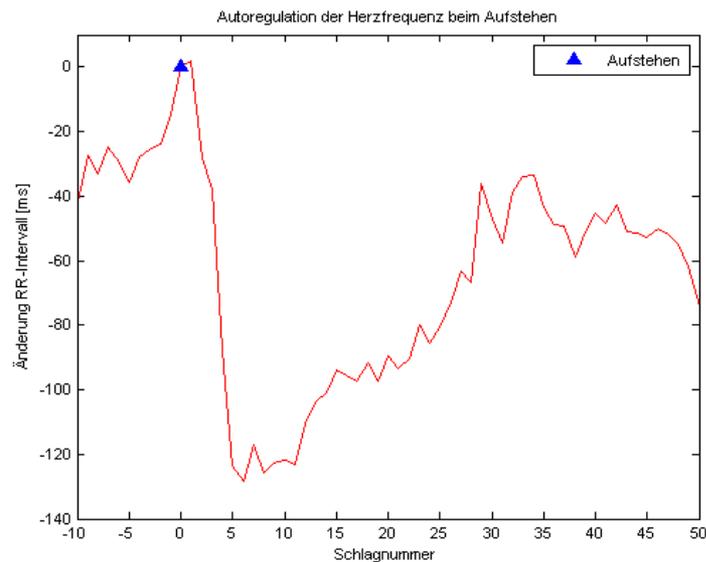
Verringerte HRV (Stressbelastung)



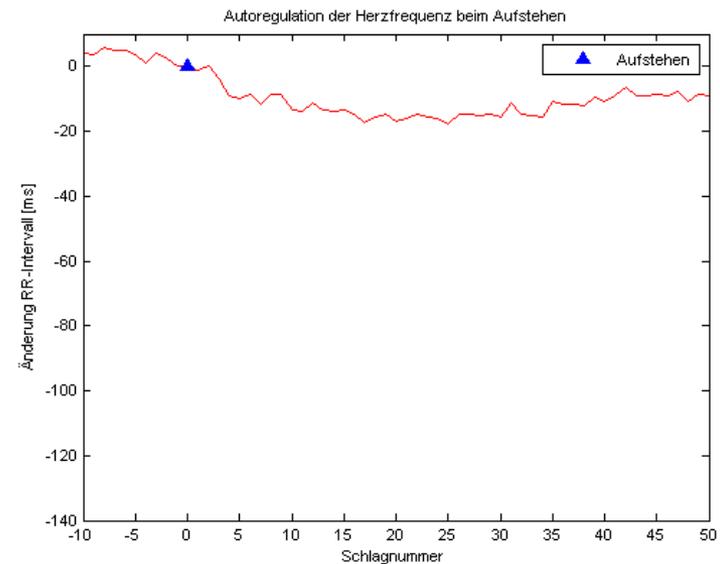
# Kombination Herzrate/Aktivitätsmonitoring

- Autoregulation beim Aufstehen

Gesunder Proband

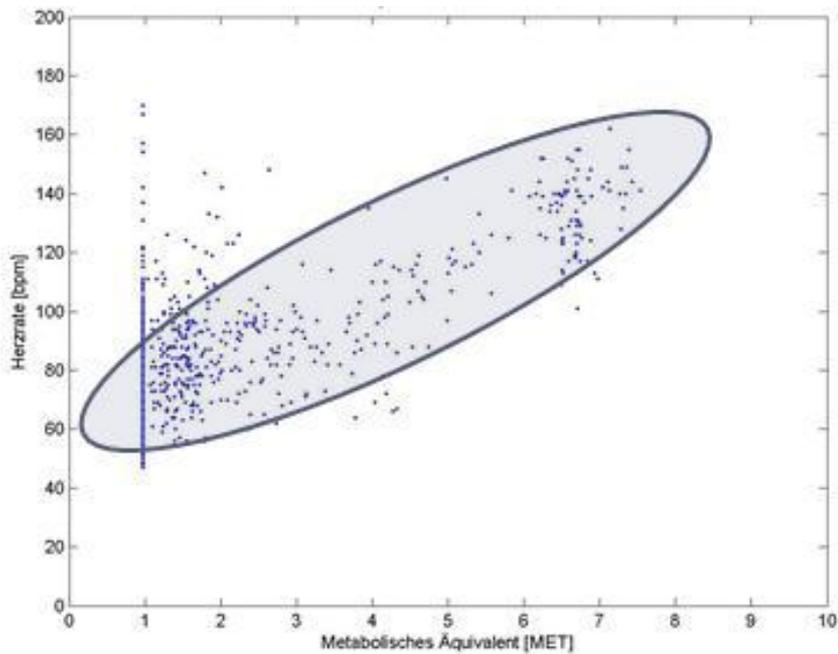


CHF-Patient

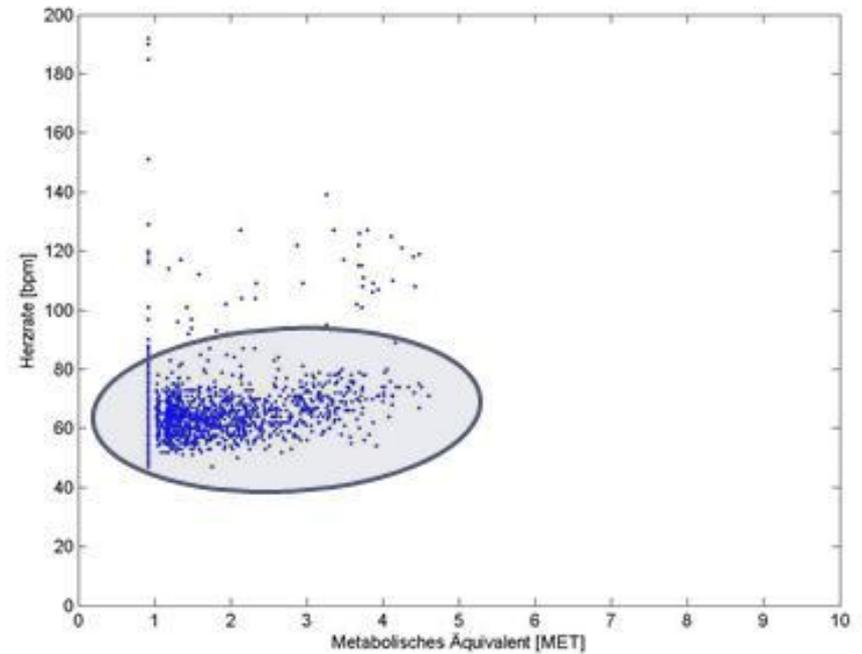


# Kombination Herzrate/Aktivitätsmonitoring

Gesunder Proband



Synkopen-Patient



## **Ambulante Erfassung der elektrodermalen Aktivität (EDA)**

# Erfassung der elektrodermalen Aktivität (EDA)



- Hautleitwert
  - Gemessen in  $\mu S$
  
- Sympathische Aktivierung

# edaMove

## EDA- und Aktivitätssensor



### ▪ Messparameter

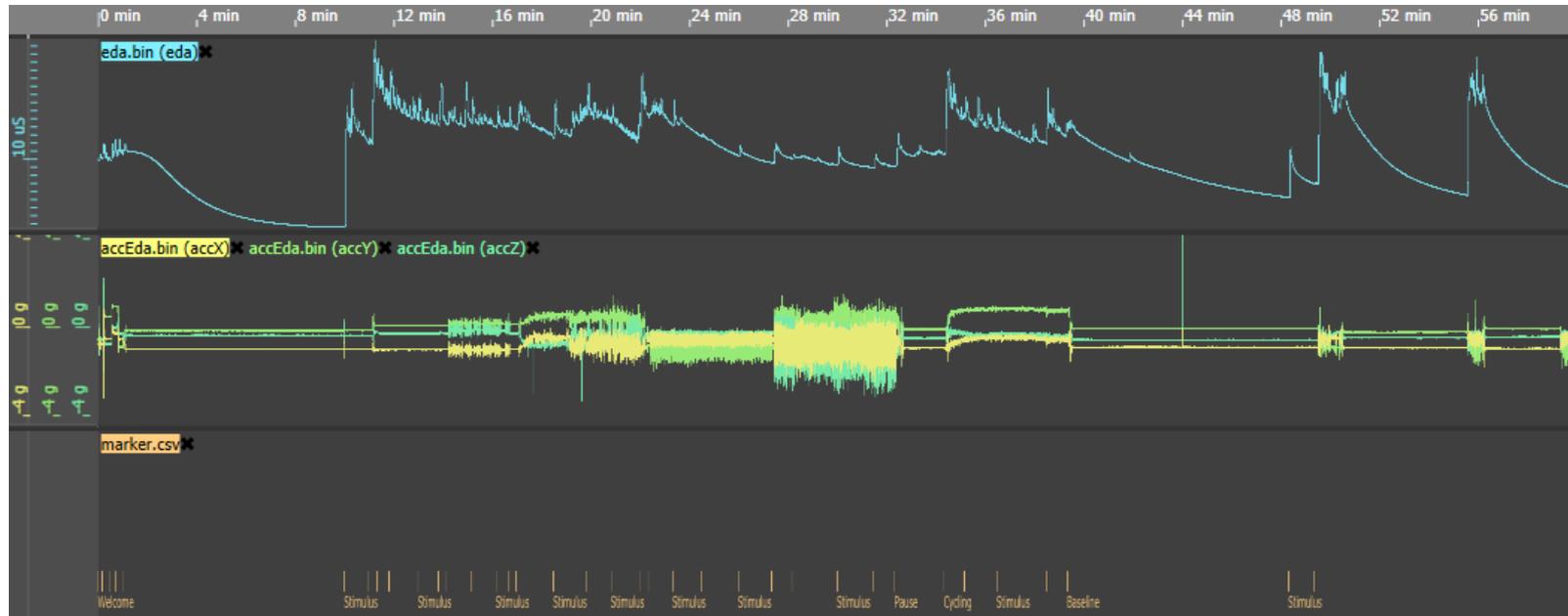
- Elektrodermale Aktivität (32Hz, 14 Bit)
  - Constant-Voltage-Messung mit 0,5V
  - Messbereich: 2 $\mu$ S bis 100 $\mu$ S
  - Auflösung: 14Bit
  - Ausgangsrate: 32Hz
- 3D-Beschleunigung (64Hz)
  - Messbereich +/- 8g, Auflösung 4mg
- Luftdruck / Höhe (1Hz)
  - Barometrische Höhenmessung, Auflösung ca. 15cm

### ▪ Features

- EDA-Latanzzeitmessung
- Verschiedene Elektrodentechnologien verfügbar
- Erfüllt alle Anforderungen aus der einschlägigen Literatur
- Rohdatenaufzeichnung, offenes Datenformat
- Bluetooth-Schnittstelle



# edaMove Beispieldaten



EDA-Signal während Parcours

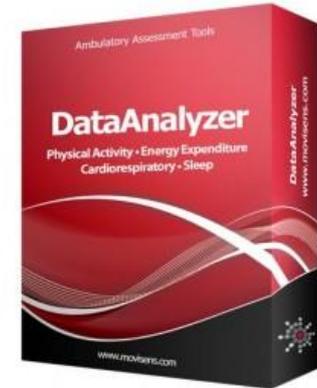
## **Software zur Analyse von Sensordaten**

# DataAnalyzer

## Auswertung von Sensordaten



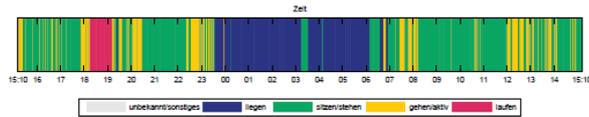
- Berechnung von Sekundärparametern
- Erzeugung von Berichten (PDF) und Tabellen (Excel)
- Kundenspezifische Anpassungen bzw. Erweiterungen



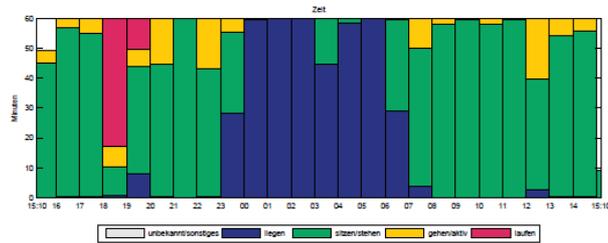
Basismodul	Energy Expenditure	Herzratenvariabilität	EDA	Schlaf
Aktivitätsklasse Körperposition Schritte Bewegungsintensität Neigung Herzrate, IBI	Energieumsatz MET	R-Zacken Herzrate HRV Atmung	SCL SCR Amplitude Count	In Vorbereitung

Donnerstag, 08.08.2013

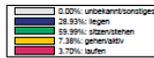
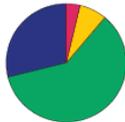
## Aktivitätsklassen, Verlauf



## Aktivitätsklassen pro Stunde

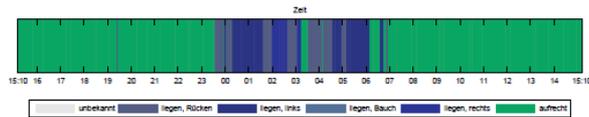


## Activity-Classes, Duration and Percentage



Aktivitätsklasse	Dauer	Prozent
unbekannt/sonstiges	0h0min	0.00
liegen	6h56min	28.93
sitzen/stehen	14h23min	59.99
gehen/aktiv	1h46min	7.38
laufen	0h53min	3.70

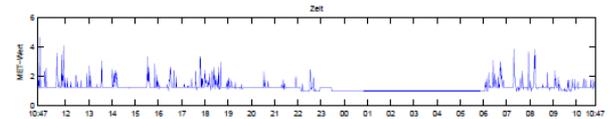
## Körperpositionen, Verlauf



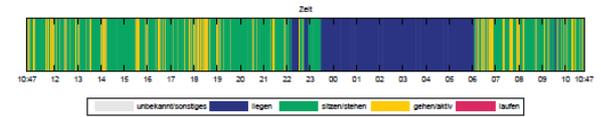
movisens GmbH · www.movisens.com

Mittwoch, 09.10.2013

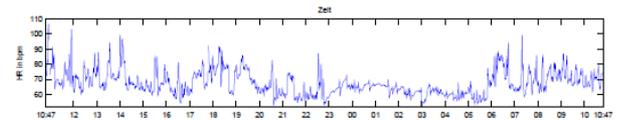
## MET Level



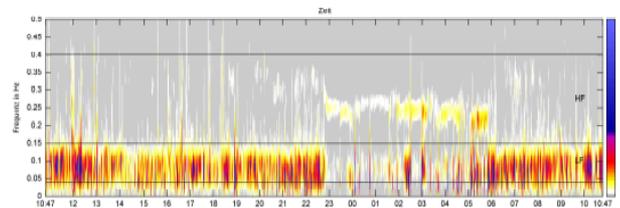
## Aktivitätsklassen, Verlauf



## Herzfrequenz



## HRV-Spektrogramm



movisens GmbH · www.movisens.com

# Experience Sampling

# Experience Sampling

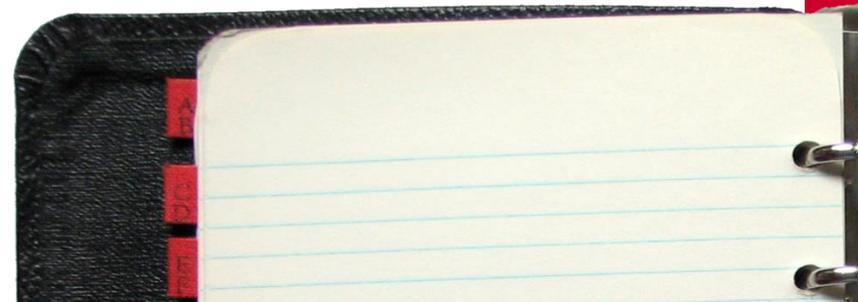
## Klassischer Fragebogen

- Proband schätzt die Erinnerungen mit mentaler „Daumenregel“
- Rückblickende Berichte sind verzerrt
- Bessere Erinnerungen an extreme Ereignisse

→ Zeitnahe Erfassung der Subjektiven Einschätzung

## Tagebücher mit Papier, Bleistift und Uhr

- Aber: Fast 90% der Tagebucheinträge werden später nachgetragen



# Experience Sampling

=> Objective compliance = 11%

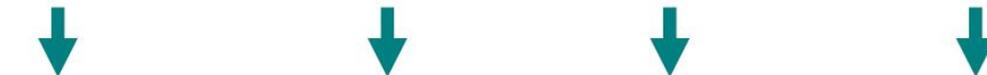


objective data



subjective reports

symptoms time of data entry 9.08	symptoms time of data entry 11.58	symptoms time of data entry 15.05	symptoms time of data entry 18.14
--	---	---	---



=> Reported compliance = 90%

(Patient non compliance with paper diaries, Stone et al. 2002)

➔ Elektronische Tagebücher

- Umfassende Lösung für Ambulantes Assessment
- Einfaches Erstellen von Studien ohne Programmierkenntnisse
- Nachhaltige technologische Plattform
- Einsetzbar auf modernen und günstigen Smartphones
- Drahtlose online Datensynchronisation
- Datensicherheit
  - Ausschließlich pseudonymisierte Daten
  - Sichere Datenübertragung und Hosting



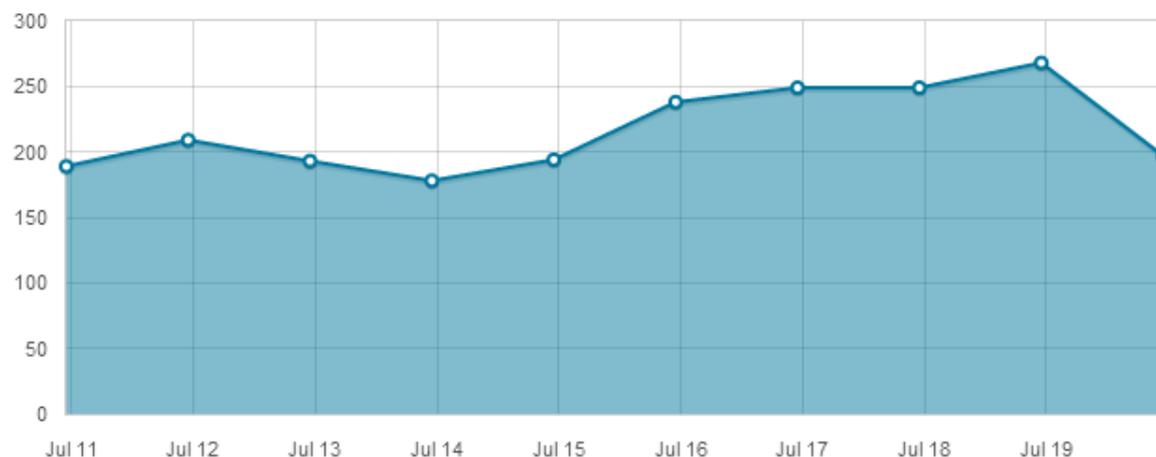
# Participants in this study

Refresh

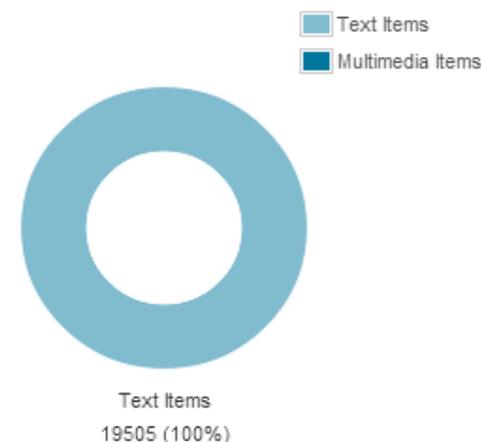
ID	Start Date	End Date	Device	Processed Arms	New Messages	Download Results	Delete
1	2014-07-20	2014-07-22	11		0		



## Completed Forms per Day



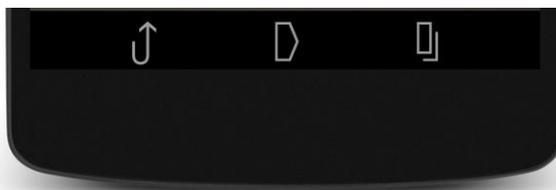
## Total Collected Items



## Download Results

Download Results (XLSX)

the participant code that appears when clicking on the  code icon in the table above. After coupling a screen with your study name and participant number should appear.



Smartphone and select *Configure Study*. Enter the pin code defined in the first block of [Sampling](#) (default "2486") to enter the control screen. Then select *Stop Study* and *load Results*. After Uploading you can [show](#) this page to see the number of results and missings of this participant.

# Anwender



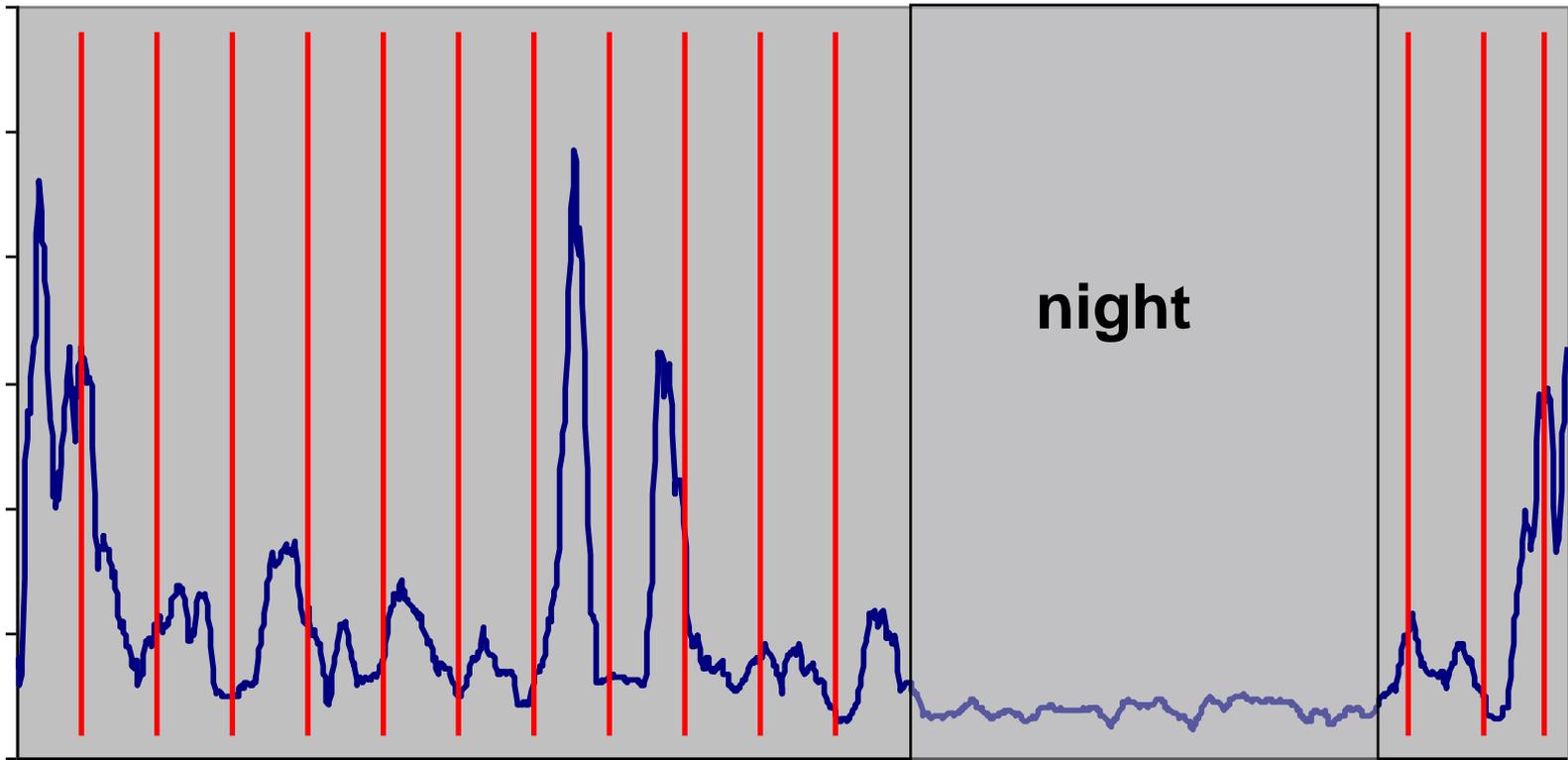
Über 500 Forscher aus 34 Ländern

Über 1.500 unterschiedliche Studiendesigns

Von über 7.000 Probanden mehr als 5 Millionen Fragen beantwortet

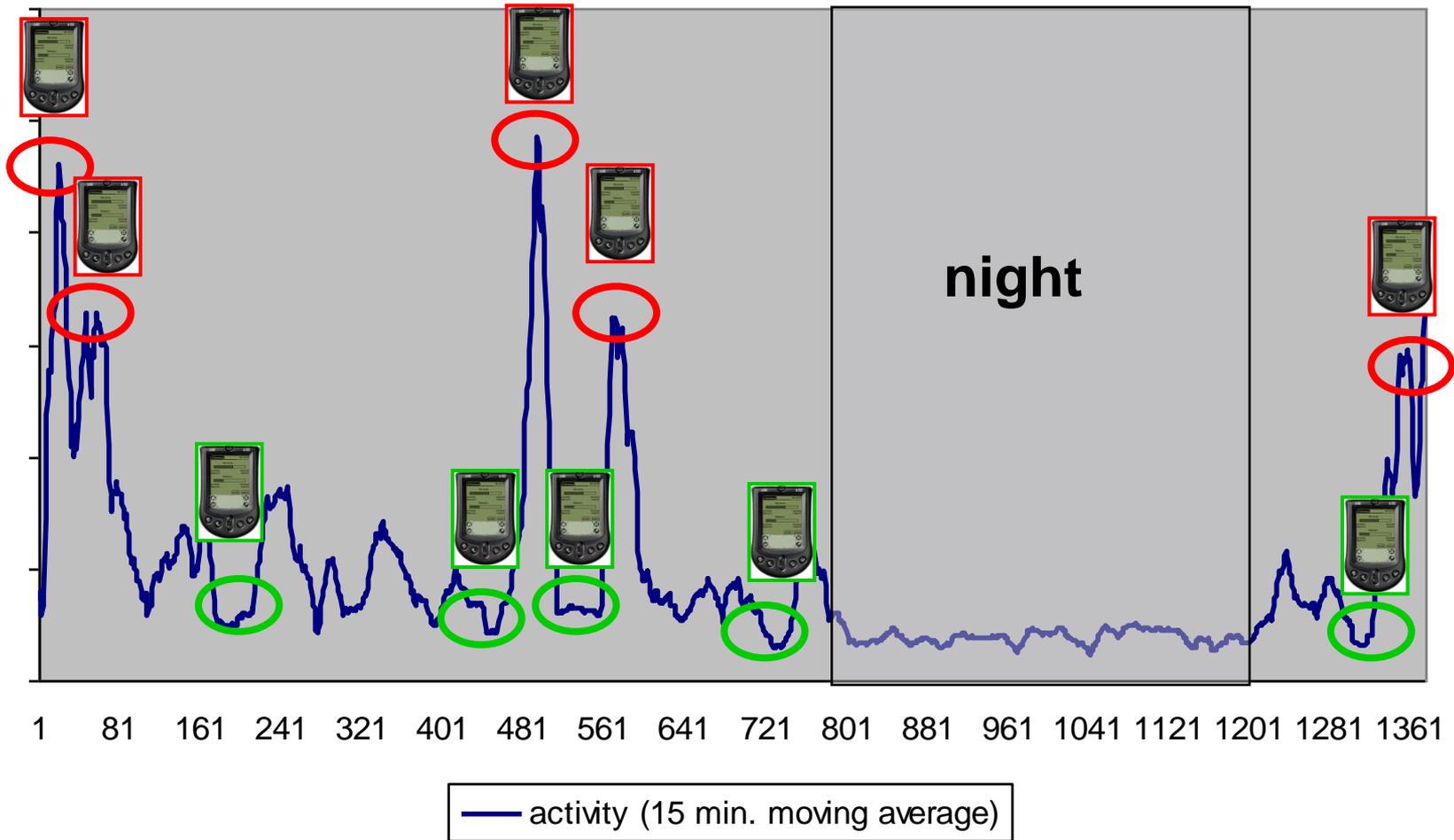
# Interaktives Ambulantes Assessment

# Interaktives Ambulantes Assessment



Ebner-Priemer et al., 2013, Frontiers in Psychology

# Interaktives Ambulantes Assessment



Ebner-Priemer et al., 2013, Frontiers in Psychology

# Interaktives Ambulantes Assessment

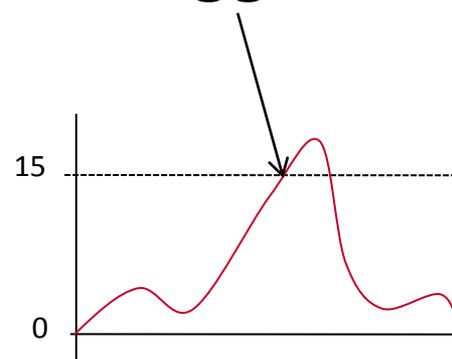
## Sensoren



- Physiologische Signale
- Zeit (z.B. täglich)
- Selbstbericht
- Kontext (z.B. Anruf)

+

## Trigger



- Herzrate > 150
- Uhrzeit = 14:30
- Antwort = Ja
- Anrufdauer > 5 min

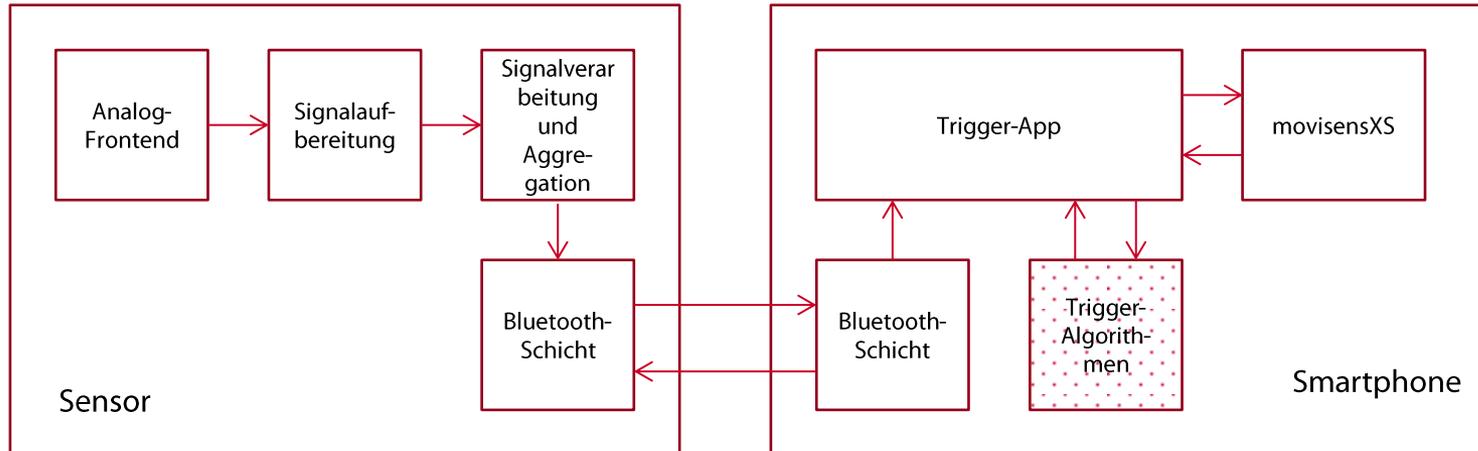


## Aktionen



- Selbstbericht
- Sound abspielen
- Sound aufnehmen
- Bild schießen
- E-Mail versenden

## ■ Systemüberblick



## Weitere Projekte

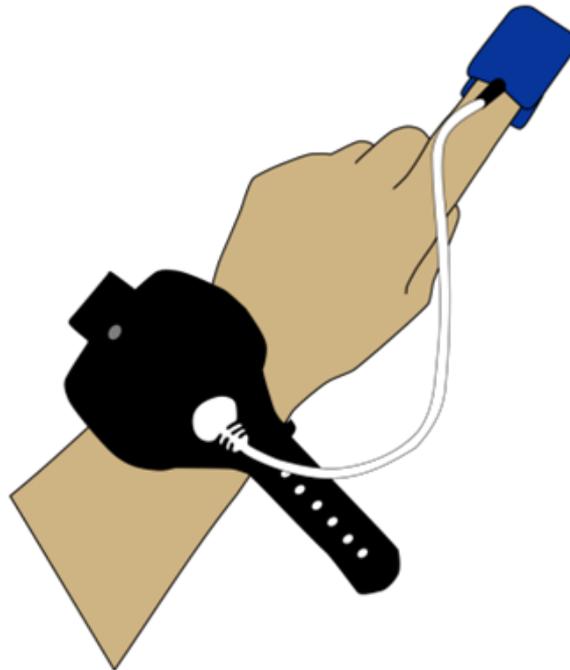
# Screening von Schlafapnoe mit einfacher Sensorik



- Ziel: Entwicklung eines einfachen Messsystems zum Schlafapnoescreening
  - Einfach, günstige Sensorik
  - Gute Praktikabilität zu Hause
  - Niedrige Nutzungsschwelle
- Projektpartner: Forschungszentrum
  - Forschungszentrum Informatik FZI
  - Uniklinik Freiburg
  - movisens
- Idee: Verwendung eines einfachen SPO2 Sensors

# Screening von Schlafapnoe mit einfacher Sensorik

- Messen
- Features extrahieren
- Support-Vector Maschine mit Trainingsdaten trainieren



# Screening von Schlafapnoe mit einfacher Sensorik

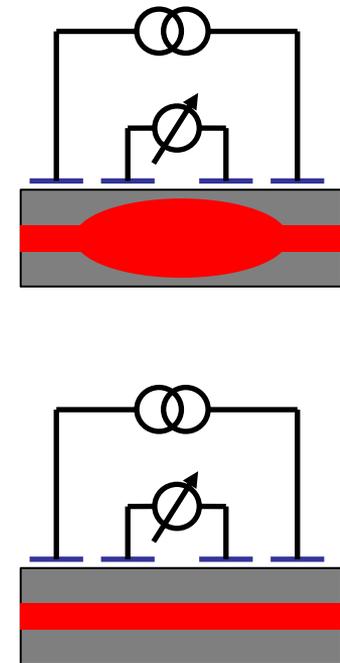
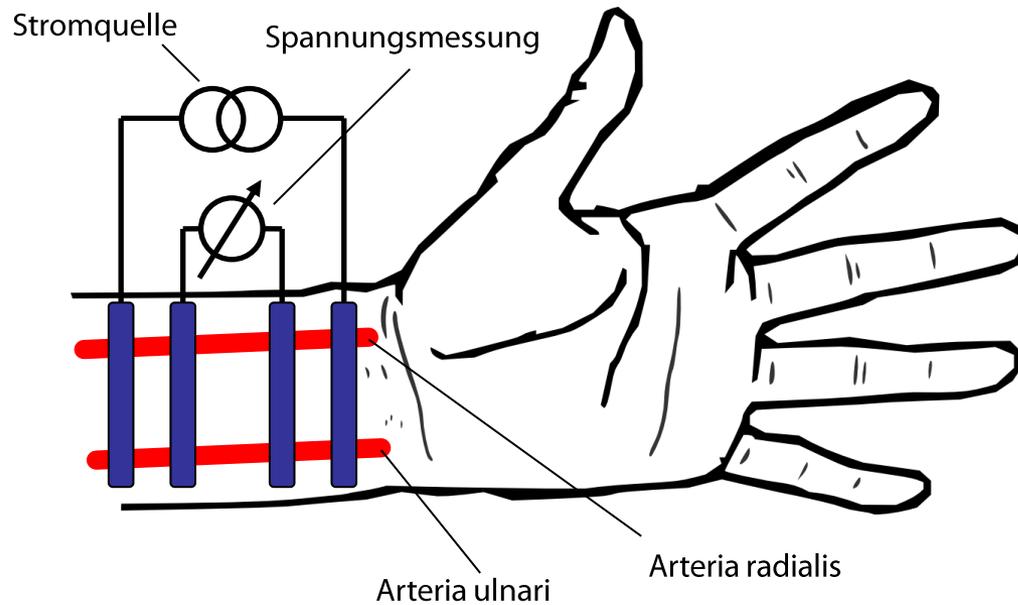


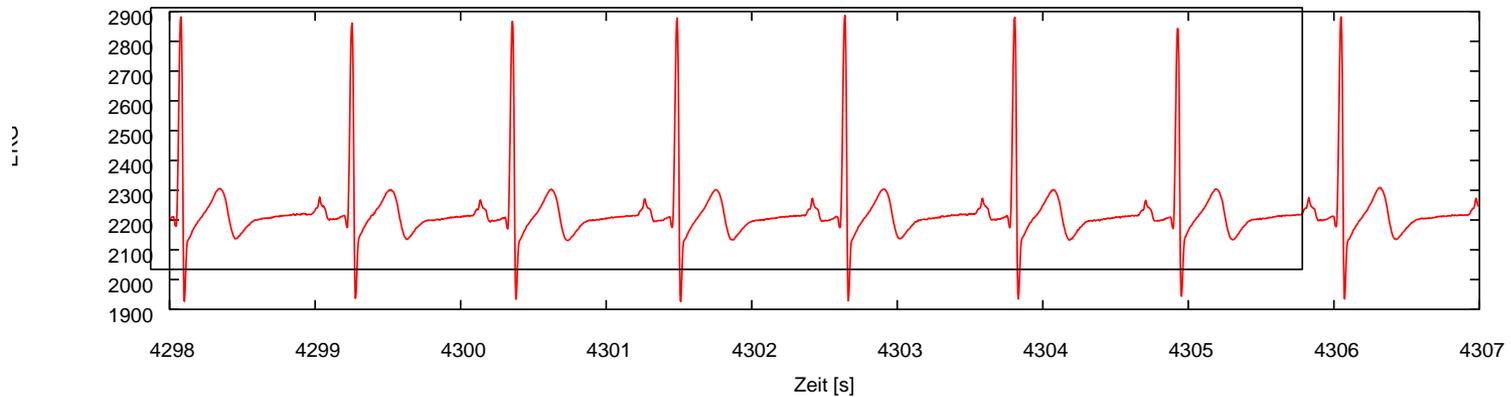
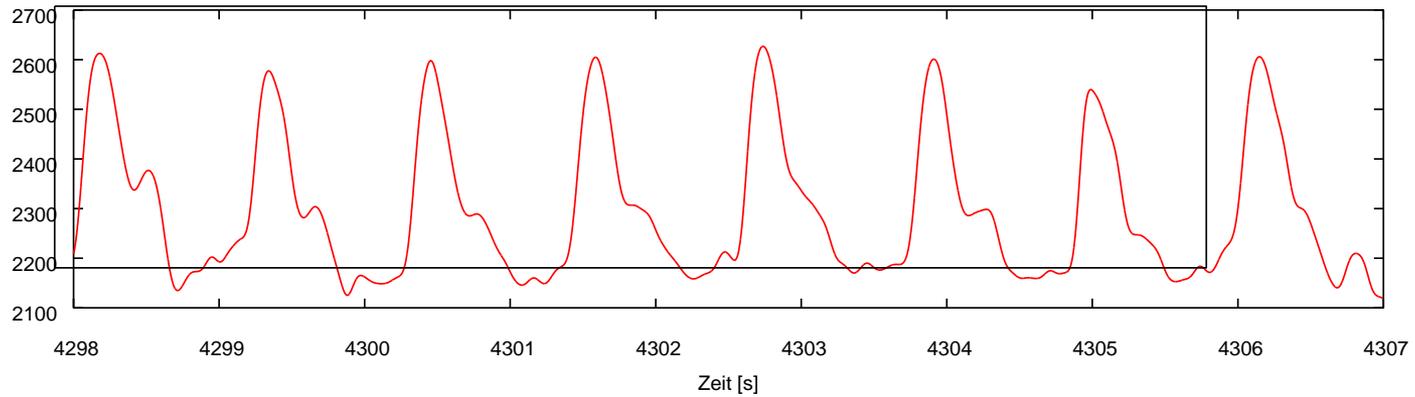
- Evaluation
  - Daten aus Schlaflabor
  - N=60, davon 20 gesund, 11 schwerer OSAS, 6 mittlere OSAS
- Ergebnisse
  - Sensitivität: 100%
  - Spezifität: 88%
  - Positive Prädiktivität: 64%
  - Alle gesunden Probanden → gesund
  - Alle mit schweren OSAS erkannt
  - Probleme bei mittelschweren

# Projekt Sleepcoach



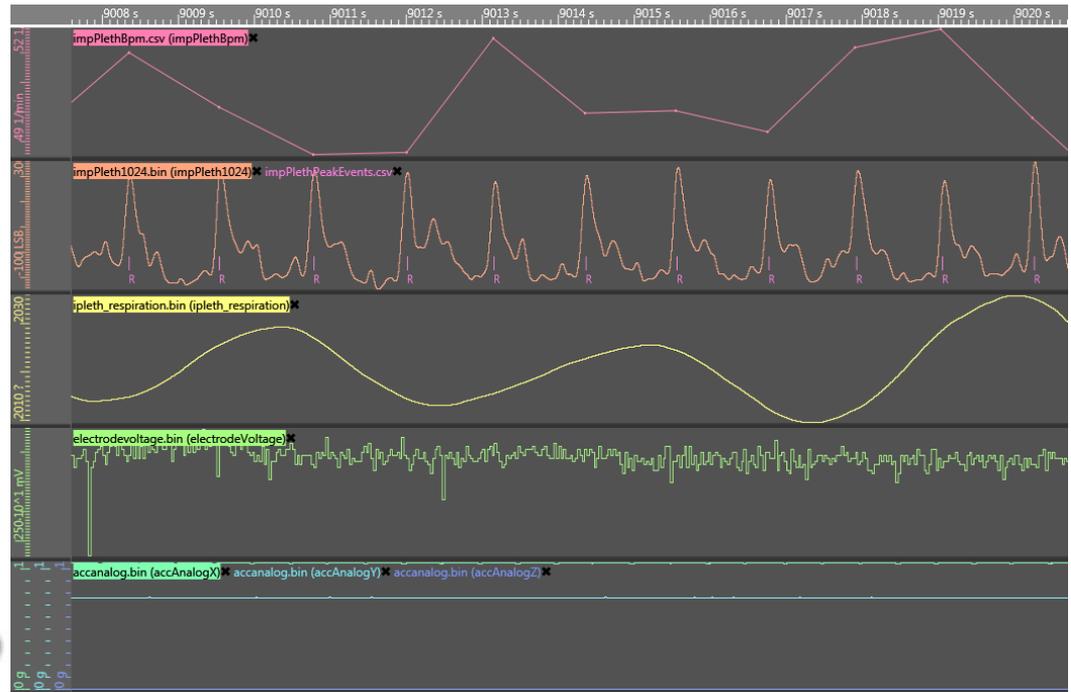
# Projekt Sleepcoach





## Vergleich: Impedanzplethysmogramm und EKG

# Projekt Sleepcoach

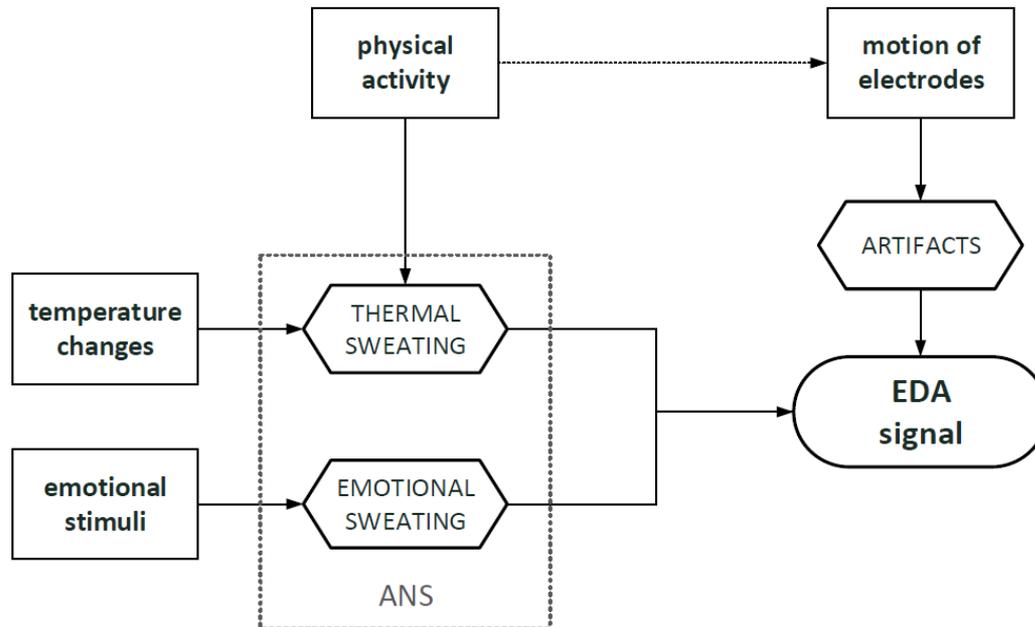


- Mobiles EDA-Monitoring für interaktive, emotionsbasierte Anwendungen



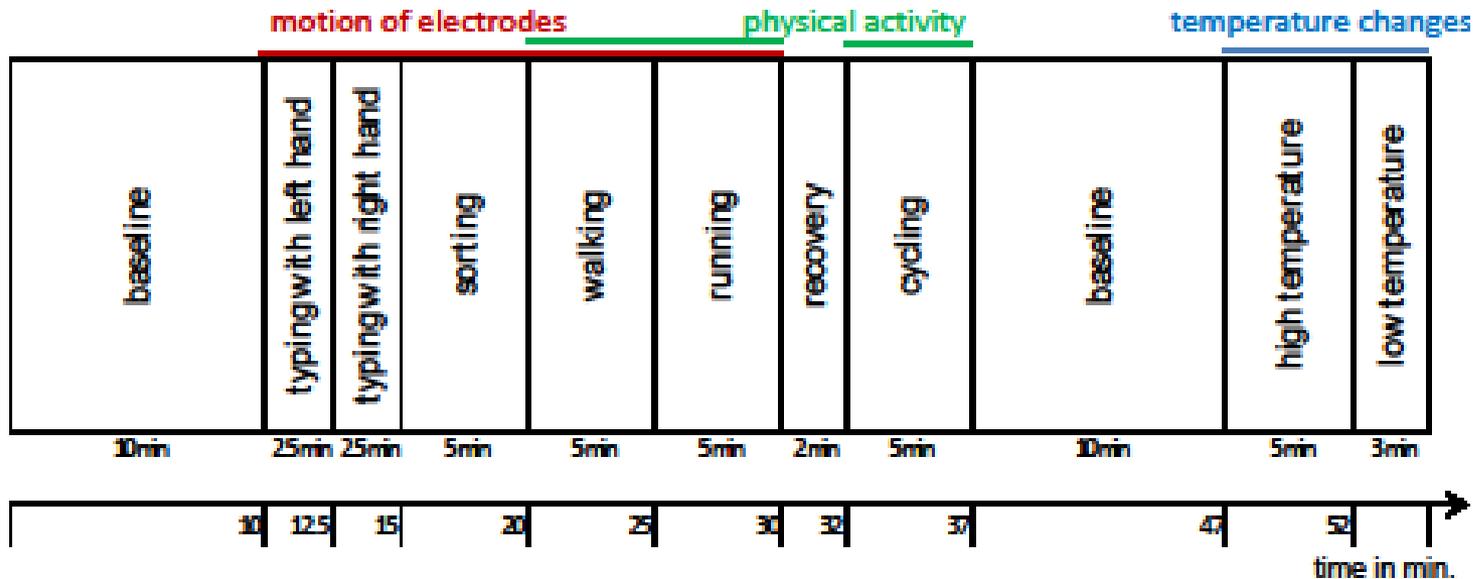
- Ziel: Entwicklung eines belastungsfreien, mobilen Monitoringsystems als Komplettlösung zur Erfassung des emotionalen Zustandes von Personen
- Mobiler Sensor zur Erfassung der elektrodermalen Aktivität mit
- komfortablen Elektroden für Langzeitanwendungen
- innovative Online-Algorithmen
- Schnittstelle zu einem Experience Sampling System
- getriggerte Abfragen und Feedback ermöglicht.

- Effekte externer Einflüsse auf die EDA-Messung



# MobEDA-Studie

- 29 Probanden
- EDA-Messung mit edaMove
- EKG-Messung mit ekgMove
- 7 Situationen+Baselines, audiovisuelle Stimuli
- Studiendauer: ca. 55min, Ablauf:



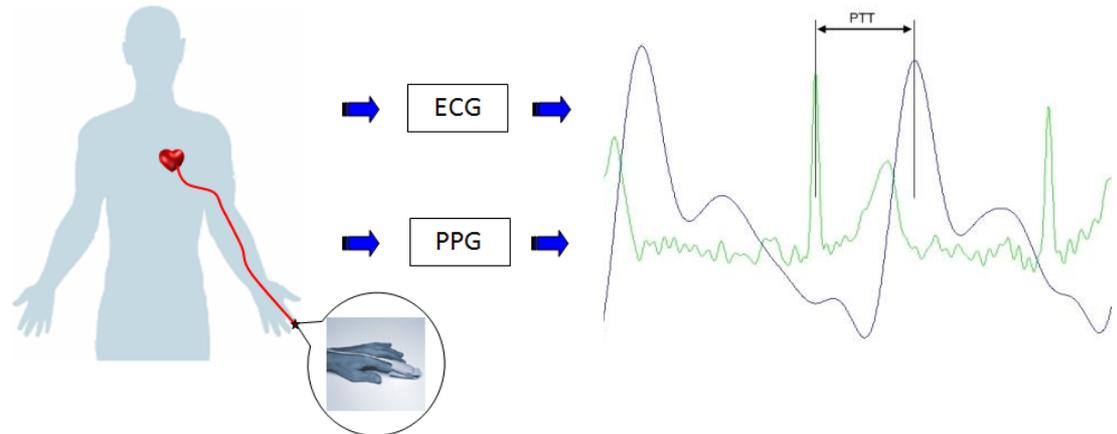
## ■ Ergebnisse



# Vorlesung Mikrosystemtechnik

Stefan Hey

Institut für Technik der Informationsverarbeitung



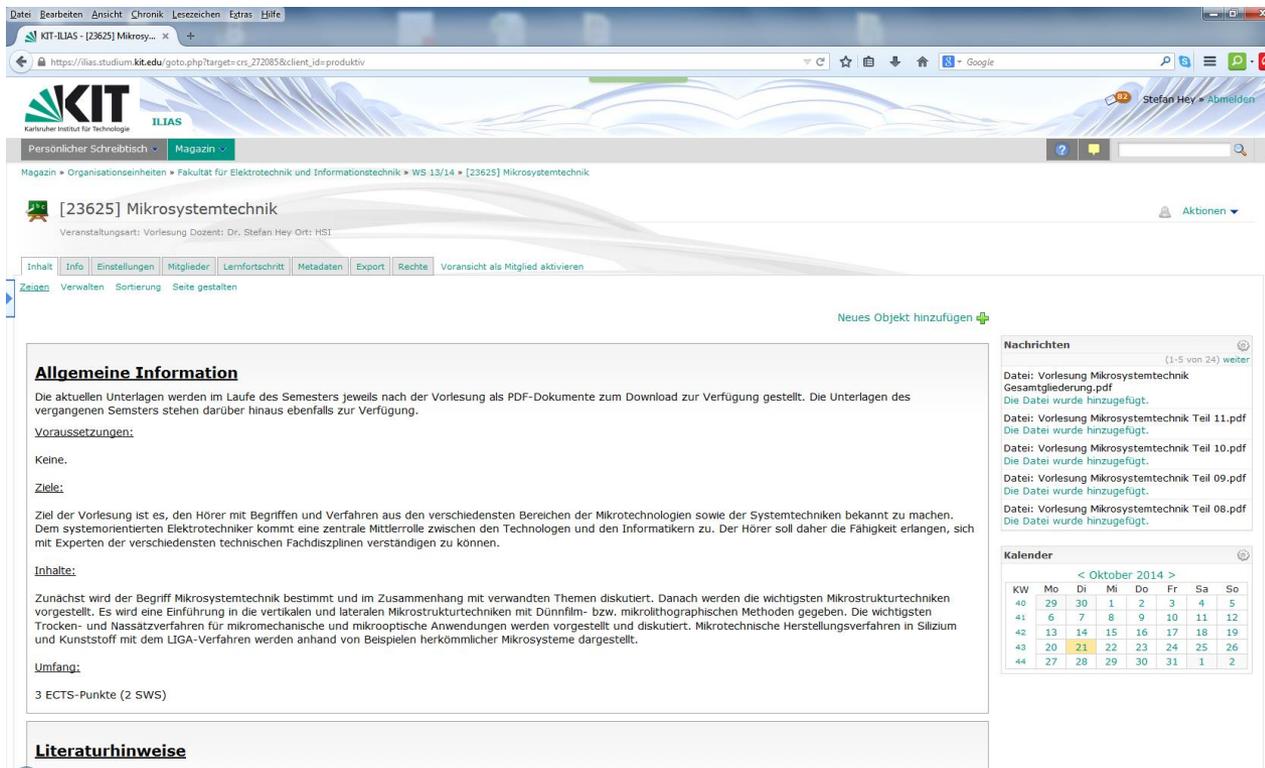
# Gliederung

- Organisatorisches zur Vorlesung
- Definition und Begriffsbestimmung
- Beispiele für Mikrosysteme
  - Allgemeine Beispiele
  - Mikrosysteme in der Ophthalmologie
    - Medizinische Anforderungen und Lösungen
  - Mikrosysteme im Health-Monitoring
    - Wirtschaftliche Herausforderungen im Gesundheitswesen
    - Potentiale und Visionen der Mikrosystemtechnik

# Organisation

## ■ Unterlagen zur Vorlesung

- finden Sie unter: <https://ilias.studium.kit.edu>
- Zugang mit Passwort: **MST201516WS**



The screenshot shows the Ilias interface for the course [23625] Mikrosystemtechnik. The main content area is titled "Allgemeine Information" and contains the following text:

**Allgemeine Information**

Die aktuellen Unterlagen werden im Laufe des Semesters jeweils nach der Vorlesung als PDF-Dokumente zum Download zur Verfügung gestellt. Die Unterlagen des vergangenen Semesters stehen darüber hinaus ebenfalls zur Verfügung.

Voraussetzungen:

Keine.

Ziele:

Ziel der Vorlesung ist es, den Hörer mit Begriffen und Verfahren aus den verschiedensten Bereichen der Mikrotechnologien sowie der Systemtechniken bekannt zu machen. Dem systemorientierten Elektrotechniker kommt eine zentrale Mittlerrolle zwischen den Technologien und den Informatikern zu. Der Hörer soll daher die Fähigkeit erlangen, sich mit Experten der verschiedensten technischen Fachdisziplinen verständigen zu können.

Inhalte:

Zunächst wird der Begriff Mikrosystemtechnik bestimmt und im Zusammenhang mit verwandten Themen diskutiert. Danach werden die wichtigsten Mikrostrukturtechniken vorgestellt. Es wird eine Einführung in die vertikalen und lateralen Mikrostrukturtechniken mit Dünnschicht- bzw. mikrolithographischen Methoden gegeben. Die wichtigsten Trocken- und Nassätzverfahren für mikromechanische und mikrooptische Anwendungen werden vorgestellt und diskutiert. Mikrotechnische Herstellungsverfahren in Silizium und Kunststoff mit dem LIGA-Verfahren werden anhand von Beispielen herkömmlicher Mikrosysteme dargestellt.

Umfang:

3 ECTS-Punkte (2 SWS)

**Literaturhinweise**

On the right side of the interface, there is a "Nachrichten" (Messages) section with 15 of 24 messages. The messages listed are:

- Datei: Vorlesung Mikrosystemtechnik Gesamtgliederung.pdf  
Die Datei wurde hinzugefügt.
- Datei: Vorlesung Mikrosystemtechnik Teil 11.pdf  
Die Datei wurde hinzugefügt.
- Datei: Vorlesung Mikrosystemtechnik Teil 10.pdf  
Die Datei wurde hinzugefügt.
- Datei: Vorlesung Mikrosystemtechnik Teil 09.pdf  
Die Datei wurde hinzugefügt.
- Datei: Vorlesung Mikrosystemtechnik Teil 08.pdf  
Die Datei wurde hinzugefügt.

Below the messages is a "Kalender" (Calendar) for October 2014. The calendar shows the following dates:

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
40	29	30	1	2	3	4	5
41	6	7	8	9	10	11	12
42	13	14	15	16	17	18	19
43	20	21	22	23	24	25	26
44	27	28	29	30	31	1	2

# Vorlesungsumdrucke + Literatur

- Umdrucke werden nach jeder Vorlesung auf ILIAS zur Verfügung gestellt.
- Literatur zur Vorlesung:
  - Globisch, S. et al.: **Lehrbuch Mikrotechnologie**. Fachbuchverlag Leipzig, München, 2012
  - Menz, W. und Mohr, J.: **Mikrosystemtechnik für Ingenieure**. Wiley-VCH, Weinheim, 2005
  - Gerlach, G. und Dötzel, W.: **Einführung in die Mikrosystemtechnik**. Hanser, München, 2006
  - Mescheder, U.: **Mikrosystemtechnik**. B.G. Teubner, Stuttgart, 2000
  - Gardner, J.W. und Varadan, V.K. and Osama O,A.: **Microsensors, MEMS, and Smart Devices**. Wiley-VCH, Weinheim, 2001
  - Fatikow, S. und Rembold, U.: **Microsystem Technology and Microrobotics**. Springer, Berlin, 1997
  - Sinzinger, S. und Jahns, J.: **Microoptics**. Wiley-VCH, Weinheim, 1999

# Kontakt

[stefan.hey@kit.edu](mailto:stefan.hey@kit.edu)

hiper.campus

Tel.: +49-721-608 4 5720

Fritz-Erler-Str. 1-3

1. OG. Raum 114



# GESAMTGLIEDERUNG

# Gesamtgliederung

- Definition und Begriffsbestimmung
  
- Beispiele für Mikrosysteme
  - Allgemeine Beispiele
  - Mikrosysteme in der Ophthalmologie
    - Medizinische Anforderungen und Lösungen
  - Mikrosysteme im Health-Monitoring
    - Wirtschaftliche Herausforderungen im Gesundheitswesen
    - Potentiale und Visionen der Mikrosystemtechnik
  - Mikrosysteme in der Automobiltechnik
  
- Materialien der Mikrosystemtechnik
  - Silizium
    - Herstellung
    - Eigenschaften
  - Reinraumtechnik

# Gesamtgliederung

- Mikrostrukturtechnik
  - Vertikalstrukturierung
    - Schichtumwandlung
    - Schichtabscheideverfahren
      - PVD Verfahren
        - Aufdampf
        - Sputtern
      - CVD Verfahren
        - Prinzip und Prozesse
        - Vor- und Nachteile
      - Epitaxie
      - Barrel Reaktoren
      - Gas Reaktoren
    - Spin-On-Verfahren

# Gesamtgliederung

- Mikrostrukturtechnik
  - Schichtstrukturierung (Ätzen)
    - Nassätzen
      - Tauchätzen
      - Sprühätzen
    - Trockenätzen
      - **BE: Barrel Etching** = Barrel- Ätzen
      - **PE: Plasma Etching** = Plasmaätzen
      - **RIE: Reaktive Ion Etching** = Reaktives Ionenätzen
      - **RIBE: Reaktive Ion Beam Etching** = Reaktives Ionenstrahlätzen
      - **IE: Ion Etching** = Sputterätzen
      - **IBE: Ion Beam Etching** = Ionenstrahlätzen

# Gesamtgliederung

- Ätzstoppverfahren
  - Anisotroper Ätzstopp
  - Ätzstopp nach Zeit
  - Selektiver Ätzstopp an Isolatorschicht
  - Selektiver Ätzstopp an hochdotierter  $p^{++}$  Schicht
  - Elektrochemischer Ätzstopp
- Lithographie
  - Grundprinzip
  - Ablauf
  - Resist-Technik
  - Optische Lithographie (Photolithographie)
  - Elektronen-, Ionenstrahlithographie
  - Röntgenlithographie

# Gesamtgliederung

- Mikromechanik
  - Definition
  - Methoden
    - Oberflächenmikromechanik
      - Prinzip
      - Prozessfolge
      - Herausforderungen in der OMM
    - Bulkmikromechanik
  - Beispiele für MST-Produkte
    - Beschleunigungssensor
    - Drehratensensor
    - Drucksensor
    - Digital Mirror Device

# Gesamtgliederung

- LIGA Verfahren
  - LIGA Technik
  - Prozessabfolge
    - Maskenherstellung
    - Röntgentiefenlithographie
    - Galvanische Abscheidung
    - Abformung
  - Anwendungsmöglichkeiten

# Gesamtgliederung

- Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT)
  - Einführung
  - Full-Wafer-Bonden
    - Silicon-Fusion-Bonden
    - Anodisches Bonden
  - Vereinzeln von Chips
  - Chip-Montagetechniken
    - Epoxy Die Bonding
    - Anisotropes Leitleben
  - Hybridintegration
  - Elektrisch Kontaktierung
    - Drahtbonden
    - Tape-Automated-Bonding
    - Flip-Chip-Bonden

# Gesamtgliederung

- Sensoren
  - Einführung
  - Wandlerprinzipien
- Aktoren

# DEFINITION UND BEGRIFFSBESTIMMUNG

# Mikrosystemtechnik

Was ist das?

Was meinen Sie?

# Definition der Mikrosystemtechnik

## Nach Wikipedia:

Die **Mikrosystemtechnik** (...) beschäftigt sich mit der Entwicklung und Herstellung von Mikrosystemen. Dabei werden beispielsweise mikromechanische oder mikrooptische Bauelemente mit mikroelektronischen Schaltungen in einem komplexen System kombiniert und integriert.

Meine Definition eines Mikrosystems: ( etwas allgemeiner )

Ein Mikrosystem ist ein System, zu dessen Herstellung wenigstens **zwei** verschiedene Mikrotechniken eingesetzt werden und das Funktionselemente mit Strukturgrößen im Mikrometerbereich besitzt.