

Langzeit-Bewegungsmonitoring von Personen mittels eines portablen Gerätes mit Bluetooth-Schnittstelle

W.-J. Fischer, A. Heinig, M. Steinert



**QUALITÄTS-
MANAGEMENT**

Wir sind zertifiziert
Regelmäßige freiwillige
Überwachung nach ISO 9001:2000

Gliederung

- Motivation
- Grundlagen
 - Aktivitätsmonitoring
 - Energieumsatz bei körperlicher Aktivität
- Konzeption
 - Systemstruktur
 - Analysator
 - Klassifikator
- Versuche
 - Probandenversuche
- Implementierung in einem portablen Gerät
- Zusammenfassung

Motivation

- „Regelmäßige Bewegung und körperliche Aktivität gehören zu den wichtigsten Einflussfaktoren der Lebensqualität und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Aufrechterhaltung von Gesundheit und Wohlbefinden“¹⁾
- Bewegung hält auch den Geist fit. Regelmäßige körperliche Bewegung senkt das Demenzrisiko deutlich ²⁾ und verbessert die kognitiven Fähigkeiten wieder ³⁾

aber

- Vermeidung einer Überschreitung der aus medizinischer Sicht körperlich sinnvollen Belastung

1) Robert Koch-Institut: Themenheft „Körperliche Aktivität“

2) R.D.Abbot et.al.: Walking and Dementia in Physically Capable Elderly Men. JAMA. 2004; 292(12),1447-1453

2) N.T.Lautenschlager et.al.: Effect of Physical Activity on Cognitive Function in Older Adults at Risk for Alzheimer Disease. JAMA. 2008; 300(9),1027-1037

Motivation

- Monitoring von Vitalparametern unter körperlicher Belastung

Krankenhaus / Arzt

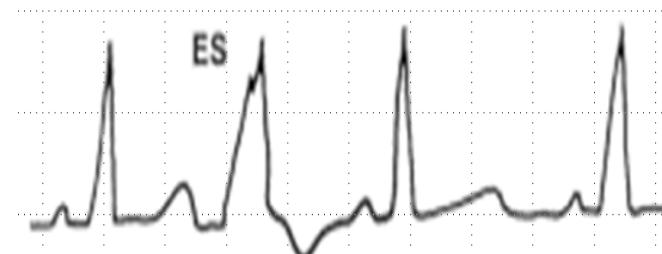
definierte
Belastung
(z.B. 300W)



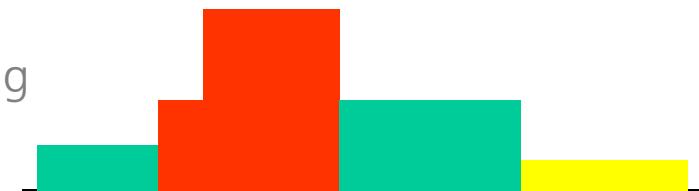
Fahrradergometer
Belastungs-EKG

Langzeitmonitoring

EKG



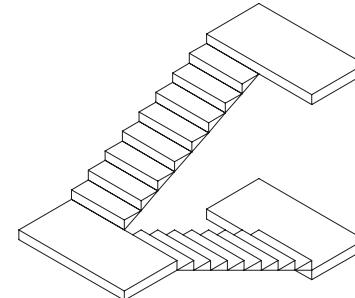
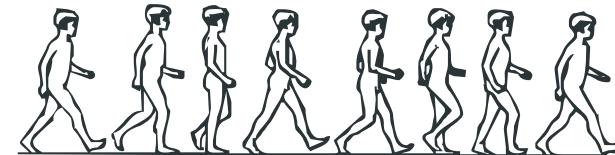
Belastung



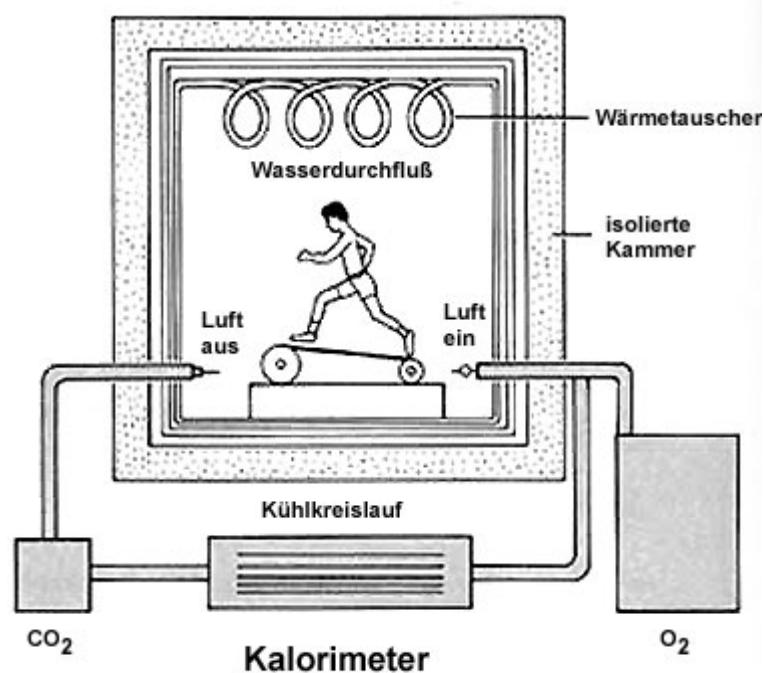
Beurteilung des EKGs unter
Berücksichtigung der Belastungs-
bedingungen

Zielstellung

- Quantitative Erfassung körperlicher Bewegung und Analyse der Bewegungsart
 - Gehen in der Ebene
 - Laufen in der Ebene
 - Treppensteigen
(treppauf und treppab)
- Schätzung des Energieumsatzes
- Messung und Auswertung der Herz-Kreislaufbelastung
 - Herzfrequenz
 - Herzrhythmusstörungen (Extrasystolen)



Messung des Energieumsatzes



Direkte Kalorimetrie

Energieumsatz wird über die Wärmeabgabe des Organismus bestimmt

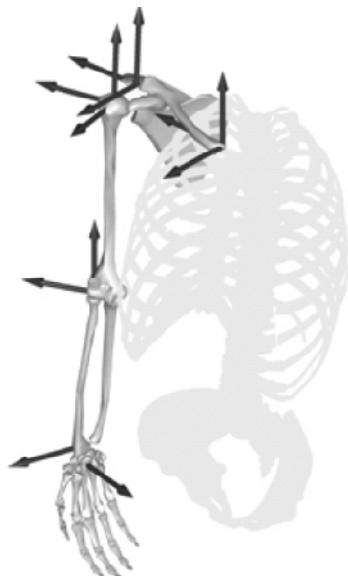


Indirekte Kalorimetrie

Über die Atemgase wird auf den Energieumsatz geschlossen.
Die eingearmte Menge O_2 ist proportional dem Energieumsatz.

Bestimmung des Energieumsatzes mittels MEMS-Sensoren

- Der Mensch verfügt auf der Ebene der kortikalen Neuronen, der Muskeln und der Gelenke über eine unvorstellbar große Anzahl an Bewegungsfreiheitsgraden (Turvey, 1990).



Messung der Beschleunigungswerte mittels vieler Sensoren.
Berechnung der kinetischen Energie
(unrealistisch !)



Bestimmung charakteristischer Bewegungsabläufe mittels weniger Sensoren (Mustererkennung).
Schätzung des Energieumsatzes über experimentell bestimmte Energieäquivalente

Art, Anzahl und Anbringungsorte der Sensoren am Körper

Randbedingungen

- keine Behinderung des Probanden durch die Messeinrichtung
- Hoher Tragekomfort, unkomplizierte Handhabung, wenige Anbringungs-orte
- Lange Laufzeit (Energieverbrauch)
- Robustheit gegenüber Artefakten
- Sichere und einfache Anbringung, Unempfindlichkeit gegenüber Platzierungsabweichungen

IPMS-Hardware MSENS

- 3-Achsen-Beschleunigungssensor
- 3-Achsen-Drehratensensor
- 3-Achsen-Magnetfeldsensor
- Luftdrucksensor
- Temperatursensor
- Bluetooth-Datenübertragung



Anbringung des Systems am Oberschenkel und im Lendenwirbelbereich

Position	Messgröße	Detektion Gehen/Laufen	Detektion Treppensteigen	Schätzung von Energieauf- wand / Geschwindigkeit
Lendenwirbel- bereich (Rumpf)	Beschleunigung	ja	nein	ja
	Drehrate	ja	nein	nein
	Luftdruck	nein	ja	nein
Oberschenkel	Beschleunigung	ja	nein	nein
	Drehrate	ja	ja	ja
	Luftdruck	nein	ja	nein

Ergebnisse: Anbringung am Oberschenkel

- ➔ Erhebliche Beeinträchtigung von Tragekomfort und Bewegungsfreiheit
- ➔ Anbringung im Lendenwirbelbereich
- ➔ 3-Achsen-Beschleunigungssensor + Luftdrucksensor

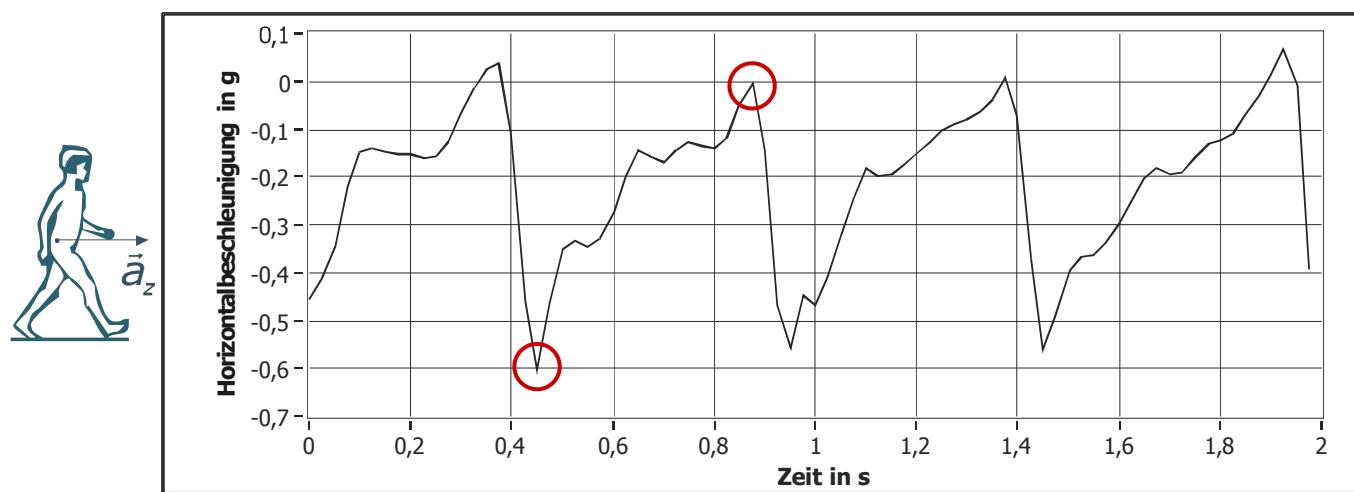
Aktivitätsmonitoring - Beschleunigungssensor

- Einsatz:

- Erkennen von Gehen, Laufen, (Treppensteigen)
- Schätzung der Ganggeschwindigkeit
- Schätzung des Energieumsatzes

- Anbringung:

- Brustkorb
- Lendenwirbelbereich (KSP)
- Ober-/Unterschenkel



→ Ganganalyse



Aktivitätsmonitoring - Luftdrucksensor

- Einsatz:
 - Erkennen von Treppensteigen
 - Schätzung der zurückgelegten vertikalen Distanz
- Physikalische Grundlage:
Barometrische Höhenformel

$$p(h) = p_0 \left(1 - \frac{\Delta h}{T_0} \right)^{\frac{g \cdot \Delta T}{R_S \cdot \Delta h}}$$

$\Delta T/\Delta h = -6,5 \text{ K/km}$ (bis 11 km Höhe)

$T_0 = 288,15 \text{ K}$ (15°C)

$p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ bei $h=0$ (Meeresspiegel)

$R_S = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$



Beispiel:

→ $p(20 \text{ cm}) - p_0 = 2,4 \text{ Pa}$

→ Vergleich: dt. Luftdruckrekorde:

$$\Delta p_{\max} = (105780 - 95540) \text{ Pa}$$

$$= 10240 \text{ Pa} \gg 2,4 \text{ Pa}$$

→ **hohe Auflösung erforderlich**

Energieumsatz bei körperlicher Aktivität

Berechnungsansatz:

- Angabe des Gesamtenergiebedarfes TEE (Activity induced energy expenditure) als Vielfaches des Grundumsatzes BMR (Basal metabolic rate)

$$\mathbf{TEE_{act} = PAR \cdot 1\,MET \cdot m \cdot t_{act}}$$

- Experimentelle Bestimmung der Durchschnittswerte des Energieaufwandes

Tätigkeitsbereich (major heading)	Unterkategorie (specific activity)	PAR
Inaktivität	Schlafen	0,9
Inaktivität	ruhig sitzen	1
Beruf	Tragen schwerer Lasten, z. B. Ziegelsteine	8
Beruf	Waldarbeiter, schnelles Schlagen mit Axt	17
Beruf	leichte Büroarbeit im Sitzen	1,5
Laufen	Laufen mit 5 mph ($8 \frac{km}{h}$)	8
Laufen	Laufen mit 10 mph ($16 \frac{km}{h}$)	16
Gehen	Gehen mit 2,5 mph ($4 \frac{km}{h}$), ebene Unterlage	3
Gehen	Gehen mit 3,5 mph ($5,6 \frac{km}{h}$), bergauf	6
Gehen	Treppensteigen (treppauf)	8

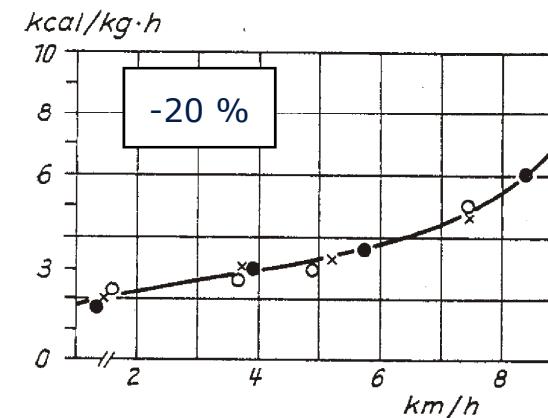
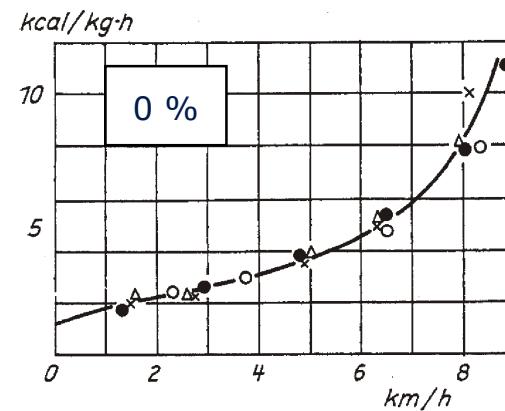
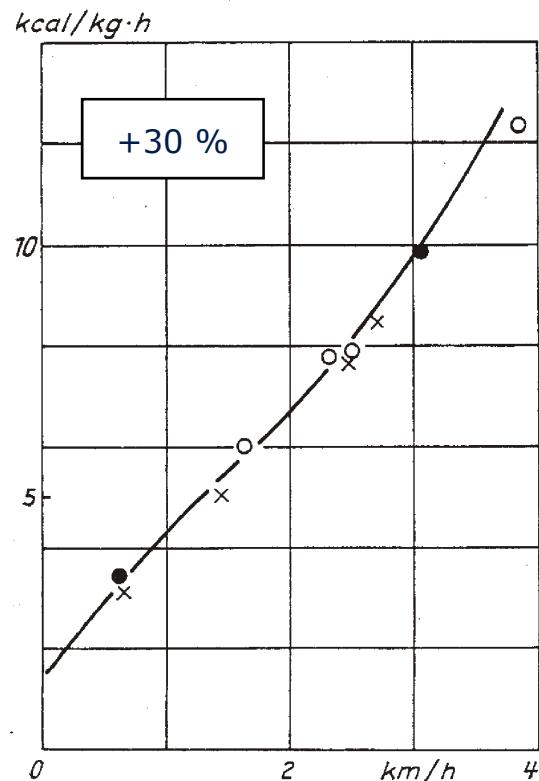
PAR – Physical Activity Ratio

1 MET- Durchschnittswert für den Grundumsatz

$$1\,MET = 3,5 \cdot \frac{\text{ml O}_2}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$

Energieumsatz bei körperlicher Aktivität

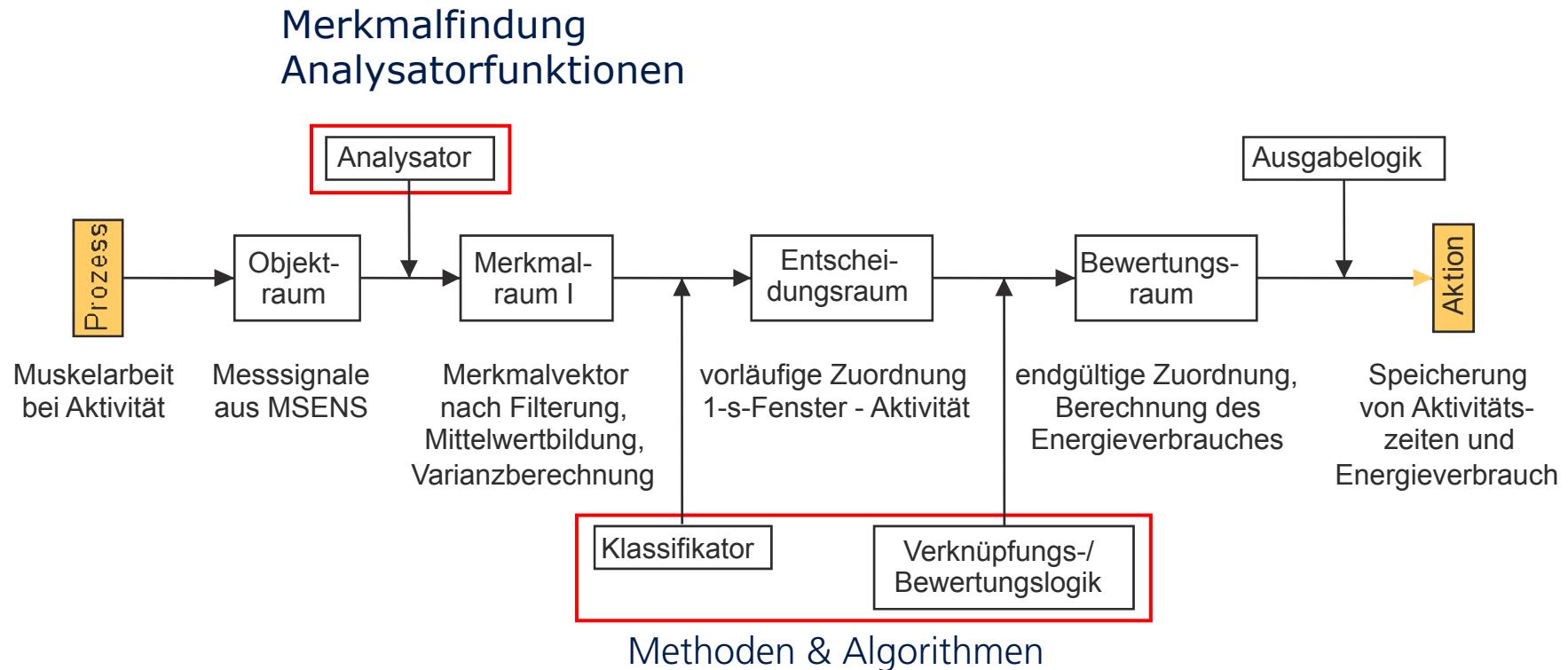
- Energieumsatz beim Gehen abhängig von:
 - Ganggeschwindigkeit
 - Neigung der Unterlage
 - Körpergewicht



Gehen in der Ebene (0%), bei um -20% abfallender Unterlage, bei um +30% ansteigender Unterlage

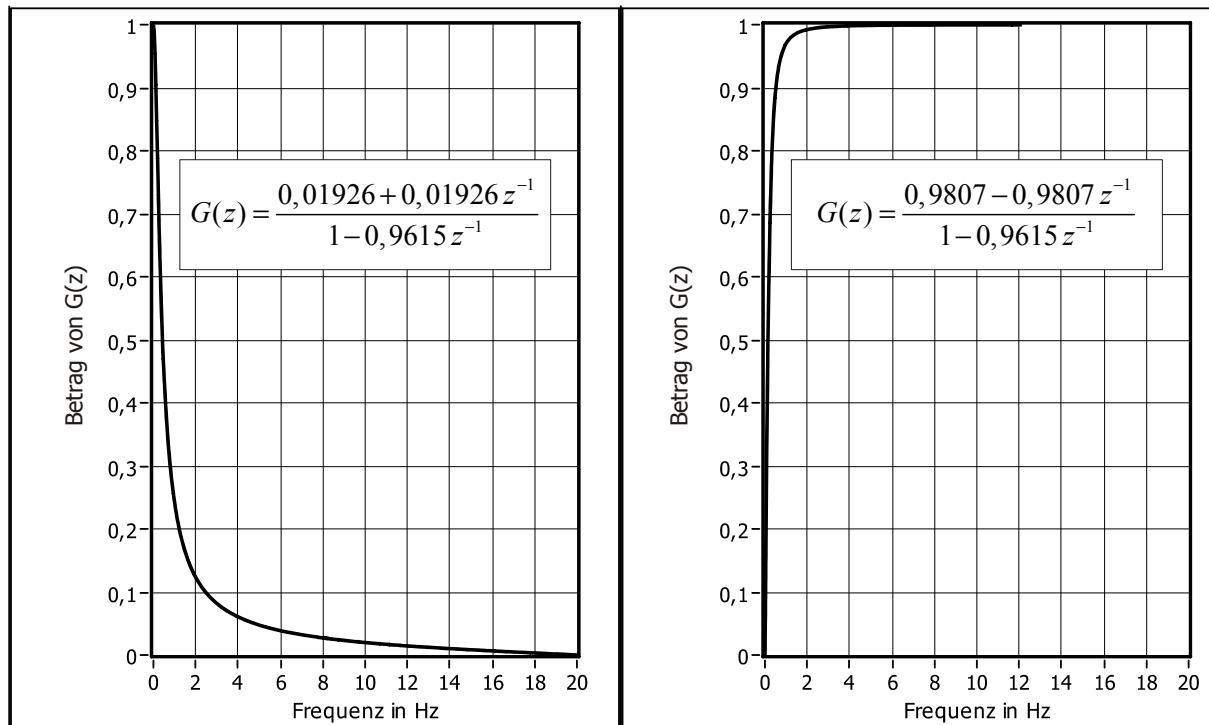
Signalverarbeitung

- Allgemeines Schema:



Analysator

- Beschleunigungssignal ($f_a = 40$ Hz):
→ Trennung von Trägheits- und Gravitationsanteil durch Hochpass-/Tiefpass-Paar ($f_g = 0,25$ Hz)



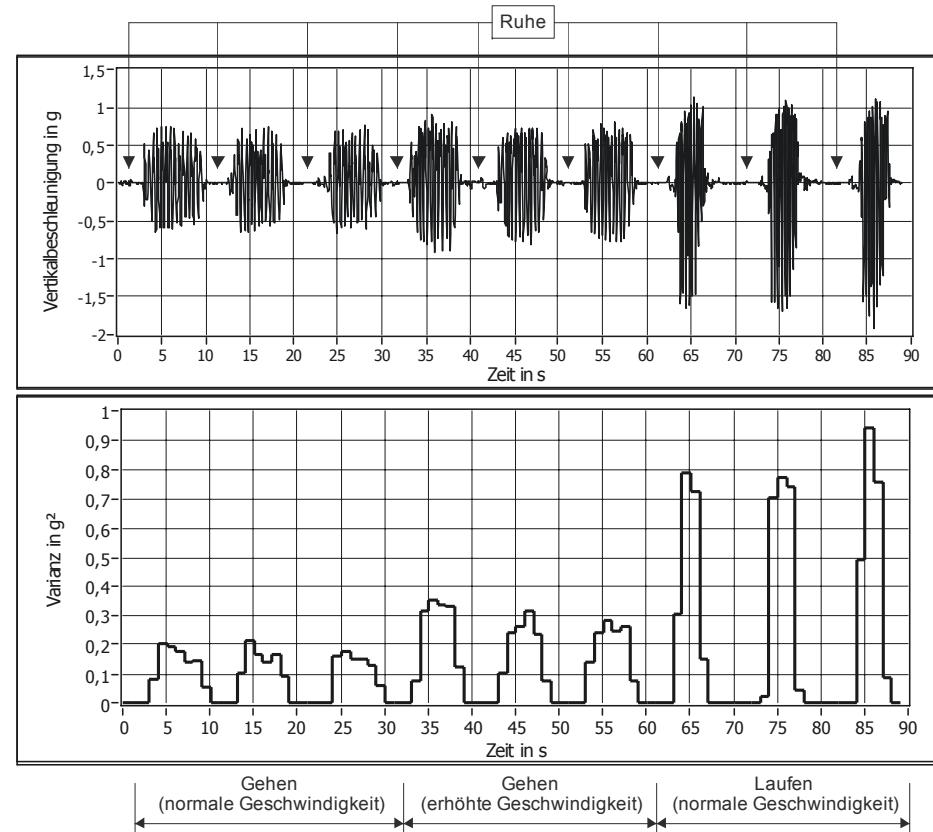
→ Separation von Bewegungs- und Lageinformation

Analysator – Merkmalsfindung

Unterscheidung Ruhe-Aktivität und Gehen-Laufen

→ 1-s-Varianz des Trägheitsanteiles in vertikaler Richtung

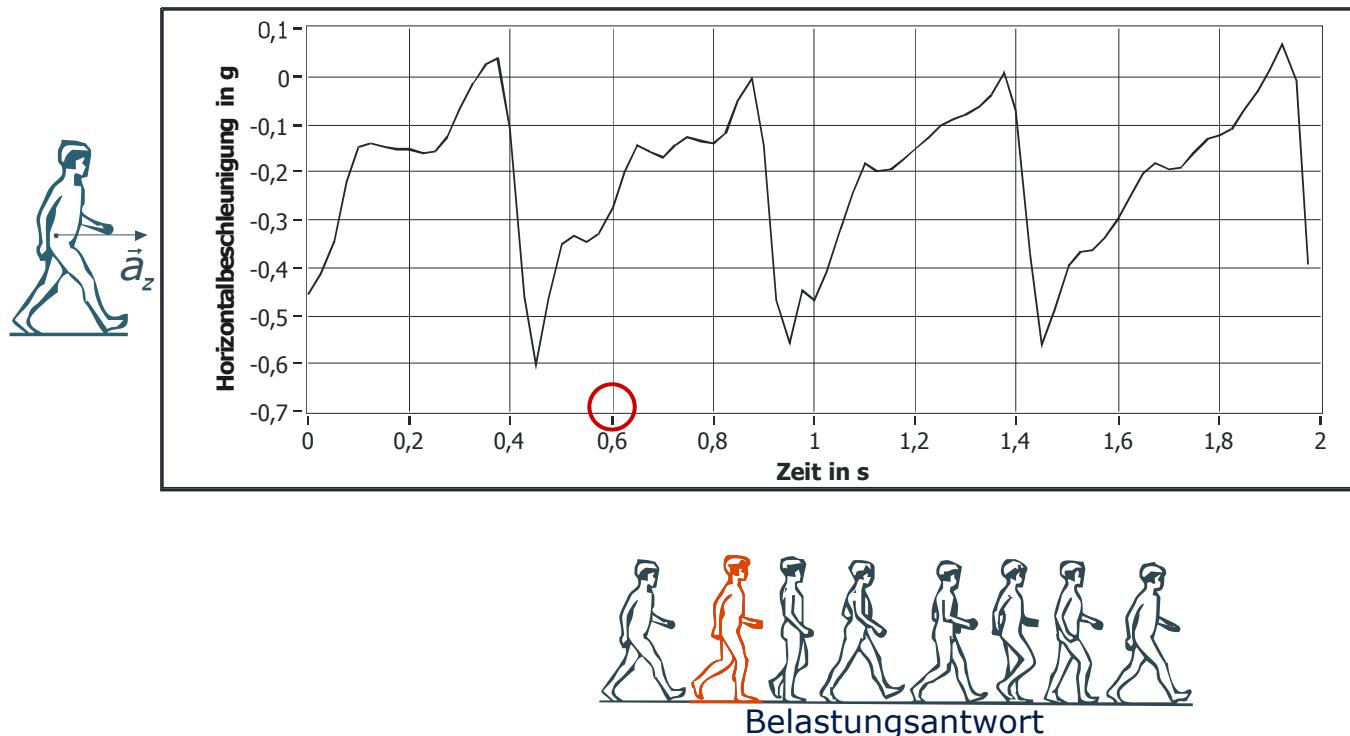
- Horizontale und vertikale Trägheitsbeschleunigungs-komponenten zeigen leicht detektierbare Peaks
- Identifikation einzelner Gangphasen ist möglich
- Varianz der Beschleunigungs-amplituden des Trägheits-anteils in vertikaler Richtung ermöglicht eine Trennung zwischen Laufen und Gehen



Vertikalbeschleunigung und zugehörige Varianz beim Gehen und Laufen mit verschiedenen Geschwindigkeiten

Analysator – Merkmalsfindung

- Erkennung einer Fortbewegung (Schritte)
→ Peaks im Trägheitsanteil in horizontaler Richtung

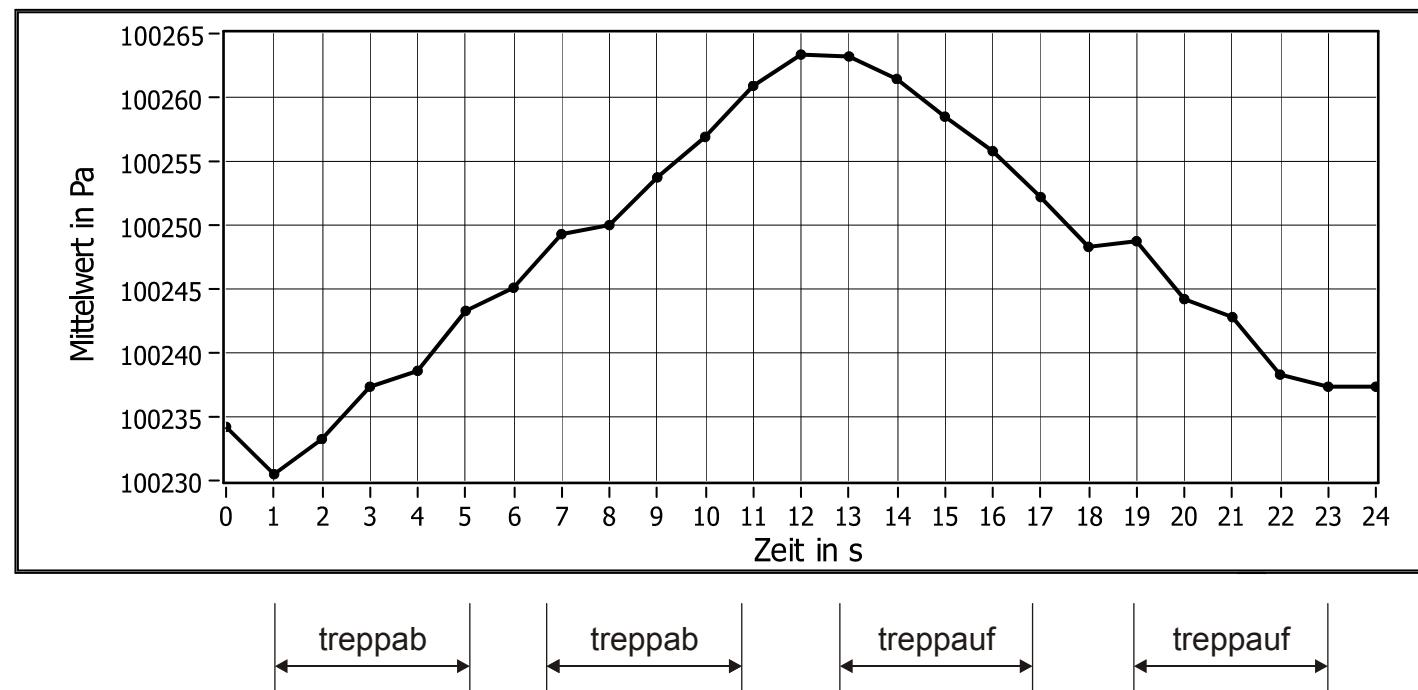


Analysator – Merkmalsfindung

- Erkennung des Treppensteigens

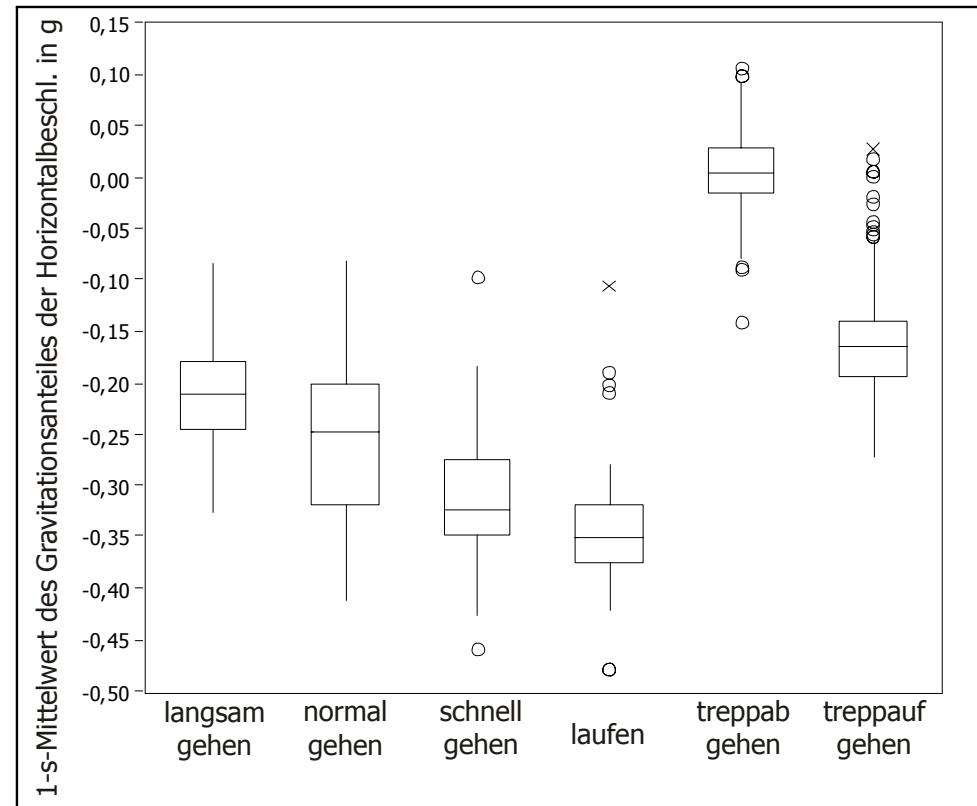
→ über vergangene 3 s
akkumulierte Luftdruckdifferenz
(1-s-Mittelwerte)

→ über gesamten Treppensteige-
vorgang akkumulierte
Luftdruckdifferenz (1-s-Mittelwerte)



Analysator – Merkmalsfindung

- Erkennung des Treppensteigens
 - zusätzliches Merkmal: 1-s-Mittelwert des Gravitationsanteiles in horizontaler Richtung
 - Rückschluss auf Rumpfneigung



Klassifikator

- manuell erstellte Entscheidungsregeln
 - Beispiel Schritterkennung:
 - Durchsuchen des aktuellen 1-s-Fensters auf negative Peaks unterhalb eines Schwellwertes
 - falls in 3 benachbarten Fenstern vorgegebene Anzahl Peaks erreicht
 - Fenster als „Fortschreitung markieren“, weitere Klassifikation einleiten
 - Fortbewegungssegment verlängern, falls in folgenden Fenstern Peaks detektiert
- Anlernen der Schwellwerte im Zuge von Versuchen

Probandenversuche

- Ziele:
 - Merkmalfindung
 - Festlegung der Schwellwerte
 - Erkennungsgüte
 - Regressionsberechnung zur Geschwindigkeitsschätzung
- vier Probanden (2 männlich, 2 weiblich, Alter 25...56 Jahre)
- Aktivitäten (jeweils mindestens 3-fache Wiederholung):
 - Gehen mit 3 unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Vorgabe der Schrittfrequenz)
 - Laufen mit normaler Geschwindigkeit (Joggen)
 - Treppensteigen (treppauf und treppab, 1 Stockwerk, 18 Stufen, gesamte Höhendifferenz 2,9 m)
- aufgenommene Signale (Anbringung im Lendenwirbelbereich):
 - Beschleunigung auf 3 Raumachsen
 - Luftdruck

Probandenversuche - Erkennungsgüte

- Erkennungsgüte ermittelt per Leave-One-Out-Kreuzvalidierung:
 - Schwellwerte mit Daten von drei Probanden trainiert
 - Sensitivität und Spezifität am verbliebenen Datensatz ermittelt
 - vierfache Wiederholung, Endergebnis: Mittelwerte aller Durchläufe

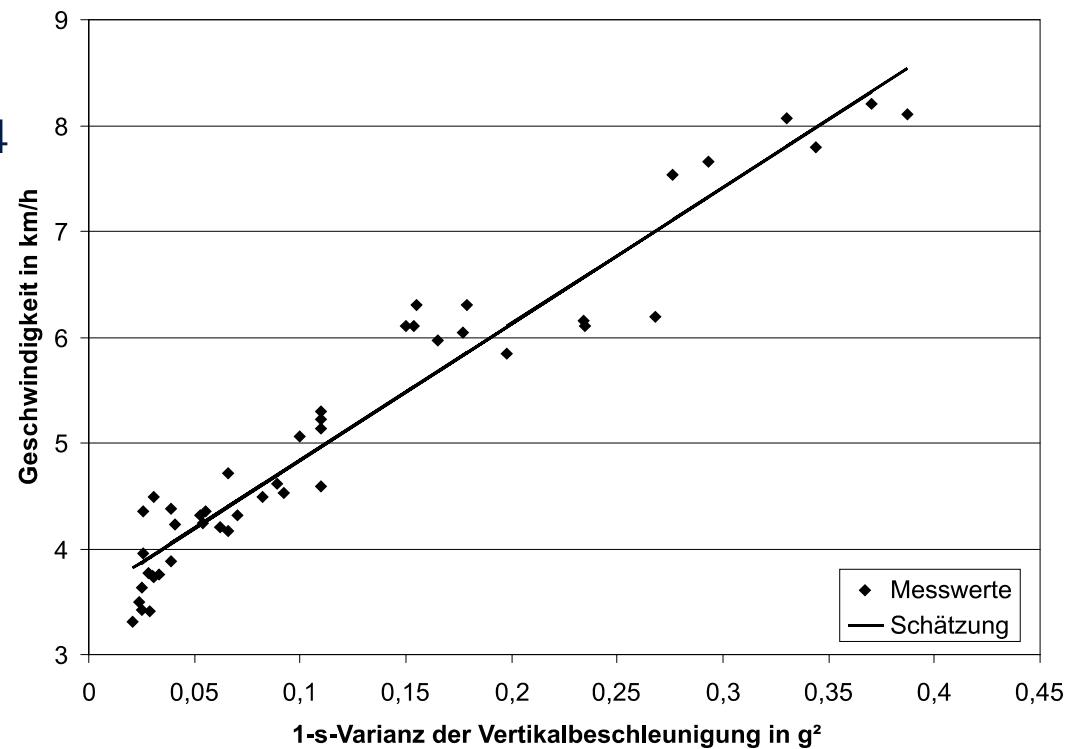
Aktivität	Sensitivität in %	Spezifität in %
Gehen	95	92,6
Laufen	92,1	98,8
treppauf	92,8	96,7
treppab	97,8	98,4
Mittelwert	94,4	96,6

- häufigste Fehlerursache:
 - endliche Fensterbreite

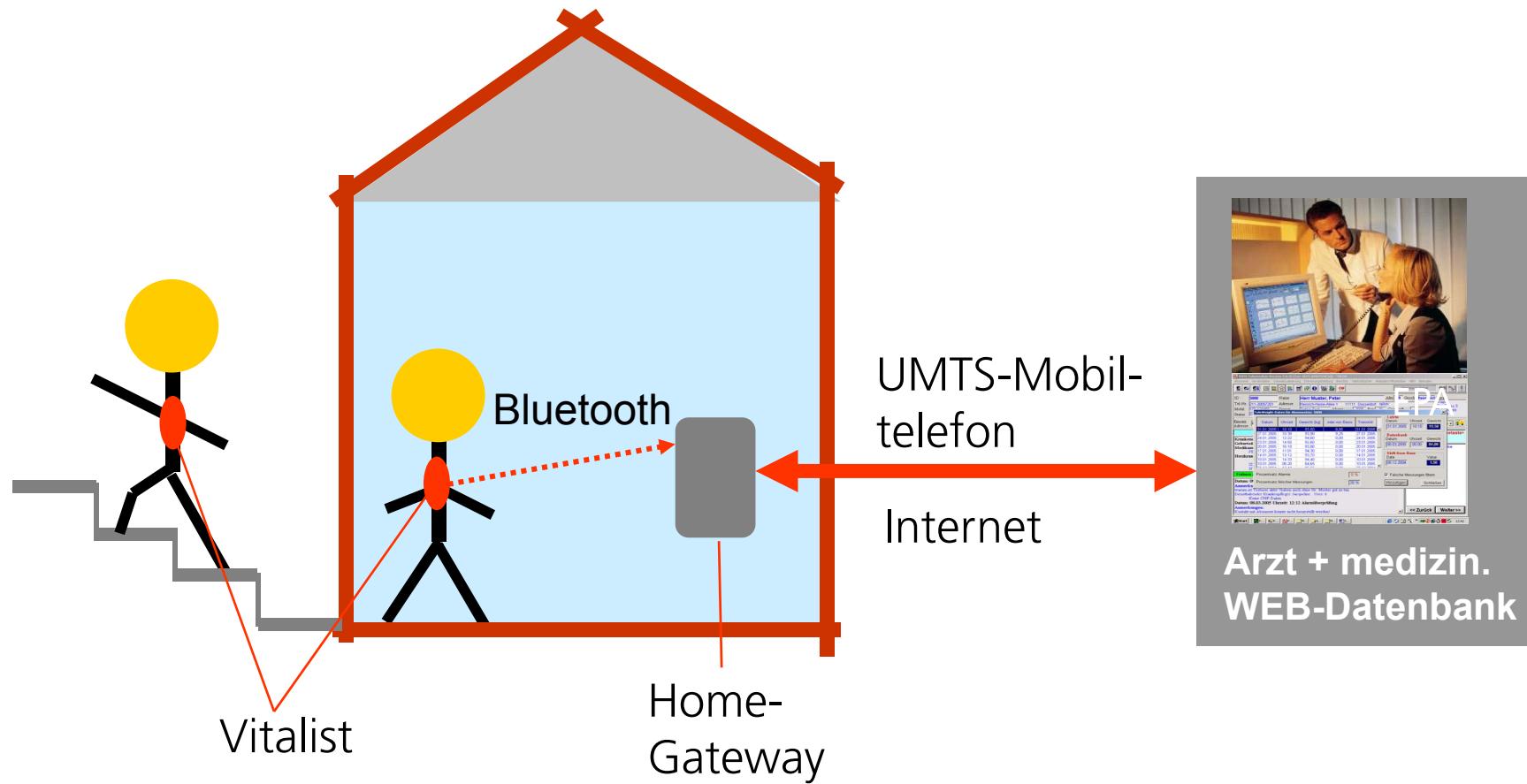
Probandenversuche – Geschwindigkeits-schätzung

- Schätzung der Geschwindigkeit beim Gehen per Regression mit 1-s-Varianz des Trägheitsanteiles in vertikaler Richtung

→ Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,94$
→ Standardfehler: 0,39 km/h
→ mittlerer quadratischer Fehler (Kreuzvalidierung): 0,4 km/h

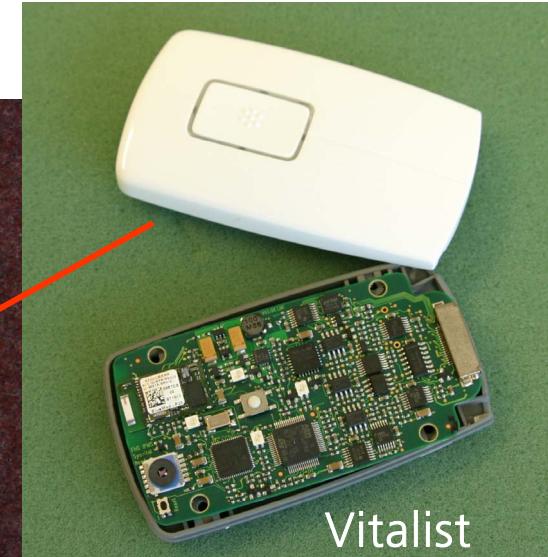
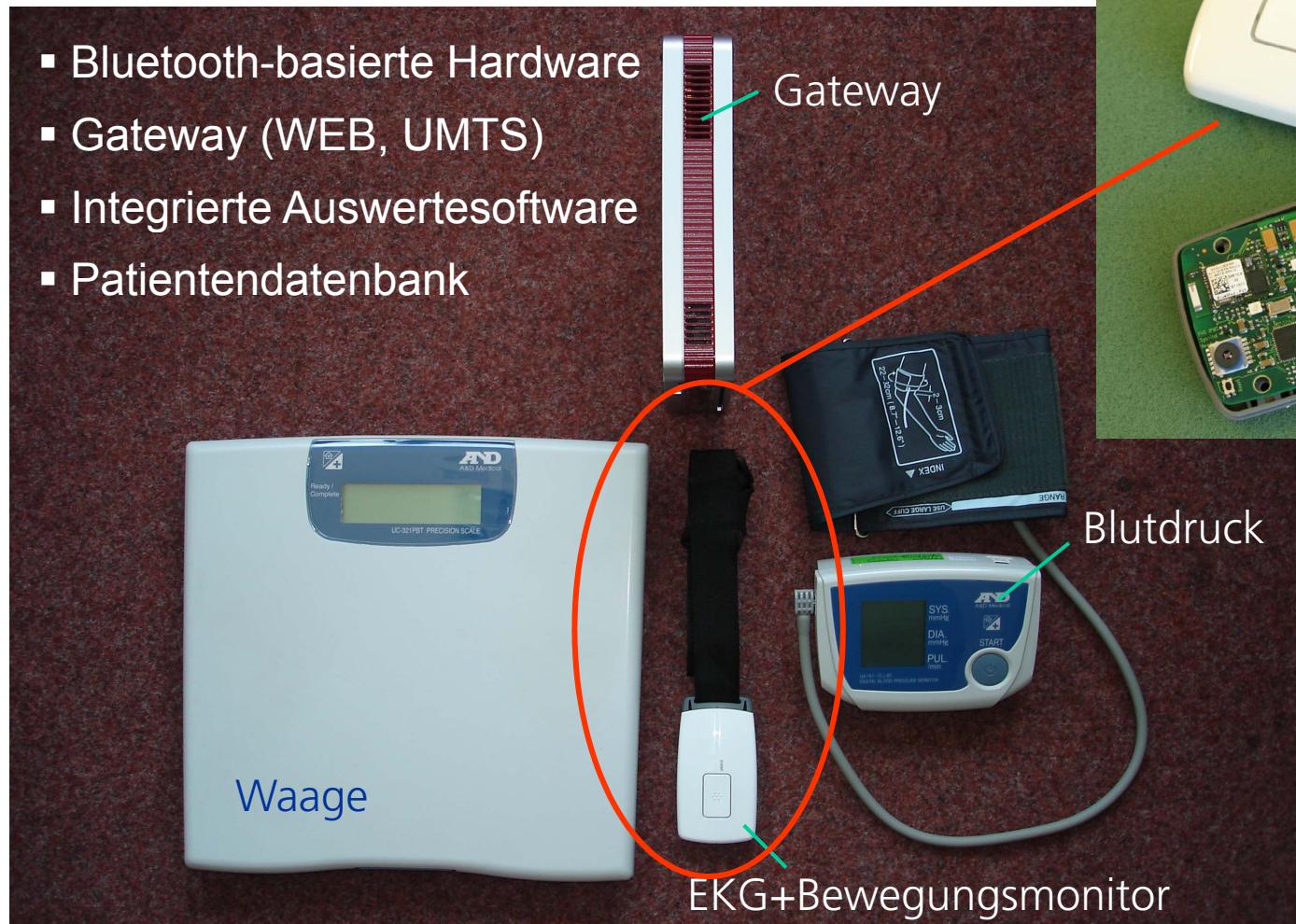


Televital: Monitoring von Vitalparametern im Heimbereich



Televital: Monitoring von Vitalparametern im Heimbereich

- Bluetooth-basierte Hardware
- Gateway (WEB, UMTS)
- Integrierte Auswertesoftware
- Patientendatenbank



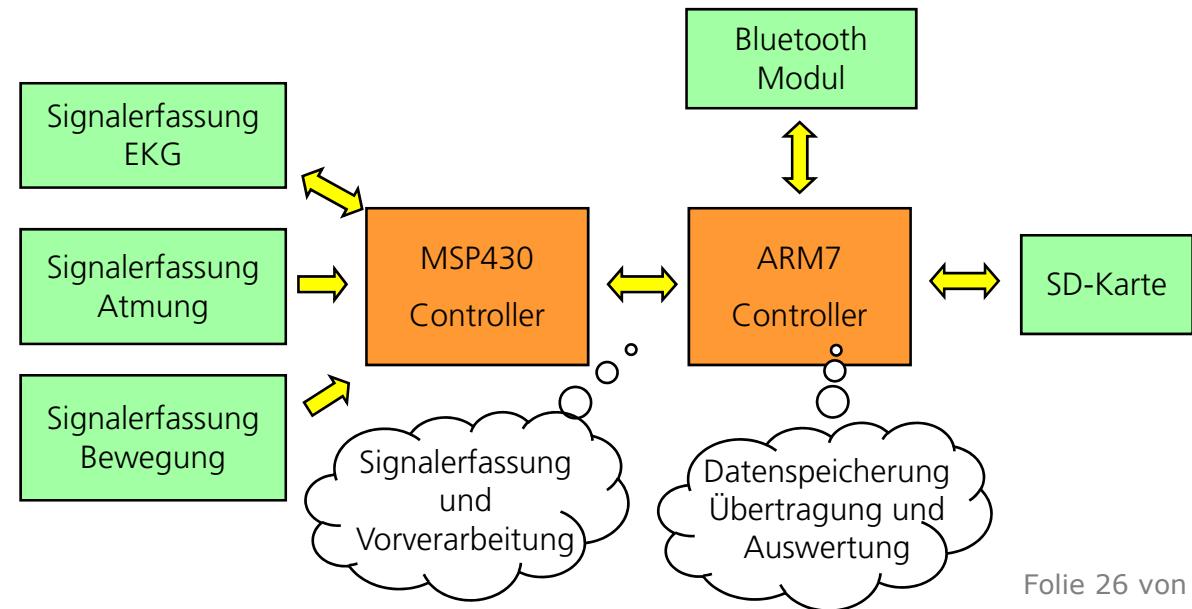
Systemrealisierung: ECG_Vital

Signalverarbeitung

- Bestimmung Herzrate
- Bestimmung ST-Strecken-Änderung
- P-Wellenbestimmung
- Bestimmung Herzratenvariabilität
- Bestimmung von Arhythmien (z.B Extrasystolen)
- Bestimmung Bewegungsaktivität / Energieumsatz



Hardwarekonzept:



Zusammenfassung

- Beschleunigungs- und Luftdrucksensor angebracht im Lendenwirbelbereich
 - einfache Handhabung, optimaler Tragekomfort
- Funktionsnachweis durch Probandenversuche
 - durchschnittliche Sensitivität 94,4 %, Spezifität 96,6 % bei der Erkennung von Gehen, Laufen, Treppensteigen
 - mittlerer quadratischer Fehler für die Vorhersage der Ganggeschwindigkeit 0,4 km/h
- Implementierung im ECG_Vital Gerät des IPMS
- Vorstellung des Gerätes auf der Medica 2008 im November

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit