# Ambient Intelligence

#10

Aktivitätserkennung im Smart Home

14.07.2014

Dr.-Ing. Christoph Stahl

Universität Bremen

# Inhalt

- Aktivitätserkennung und Planerkennung
- Ansätze zur Datenerfassung
  - Kamerabasiert
  - Sensoren am Körper
  - Sensoren in der Umgebung
- Methoden
  - Maschinelles Lernen
  - Explizite Modellierung von Wahrscheinlichkeiten
  - Modellierung durch Ontologien

# Aktivitätserkennung

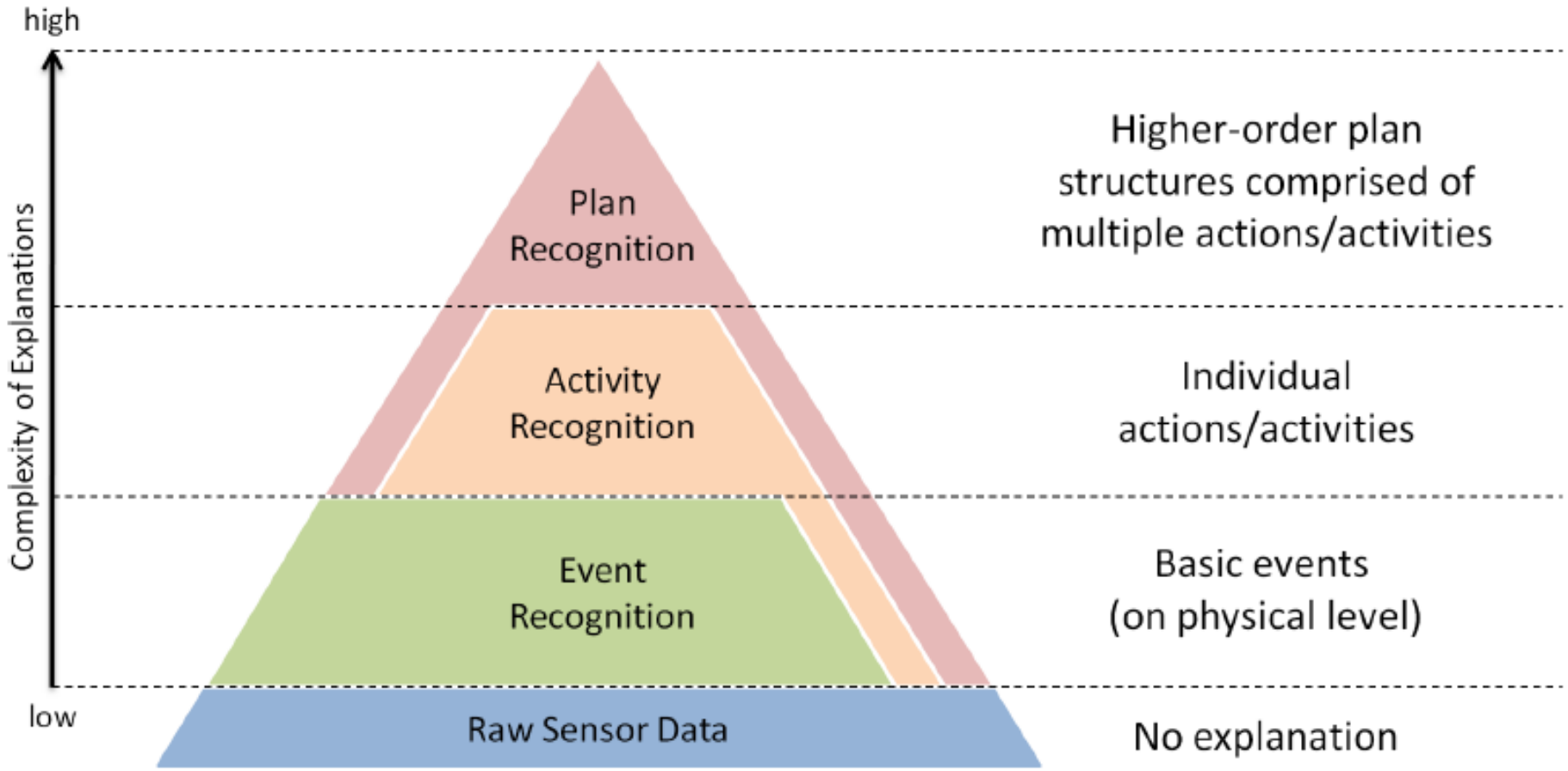
# Aktivitäts- und Planerkennung

- Definitionen
  - ***Activity recognition*** is the process whereby an actor‘s behavior and his/her situated environment are monitored and analysed to infer the undergoing activities.
    [Chen & Khalil]

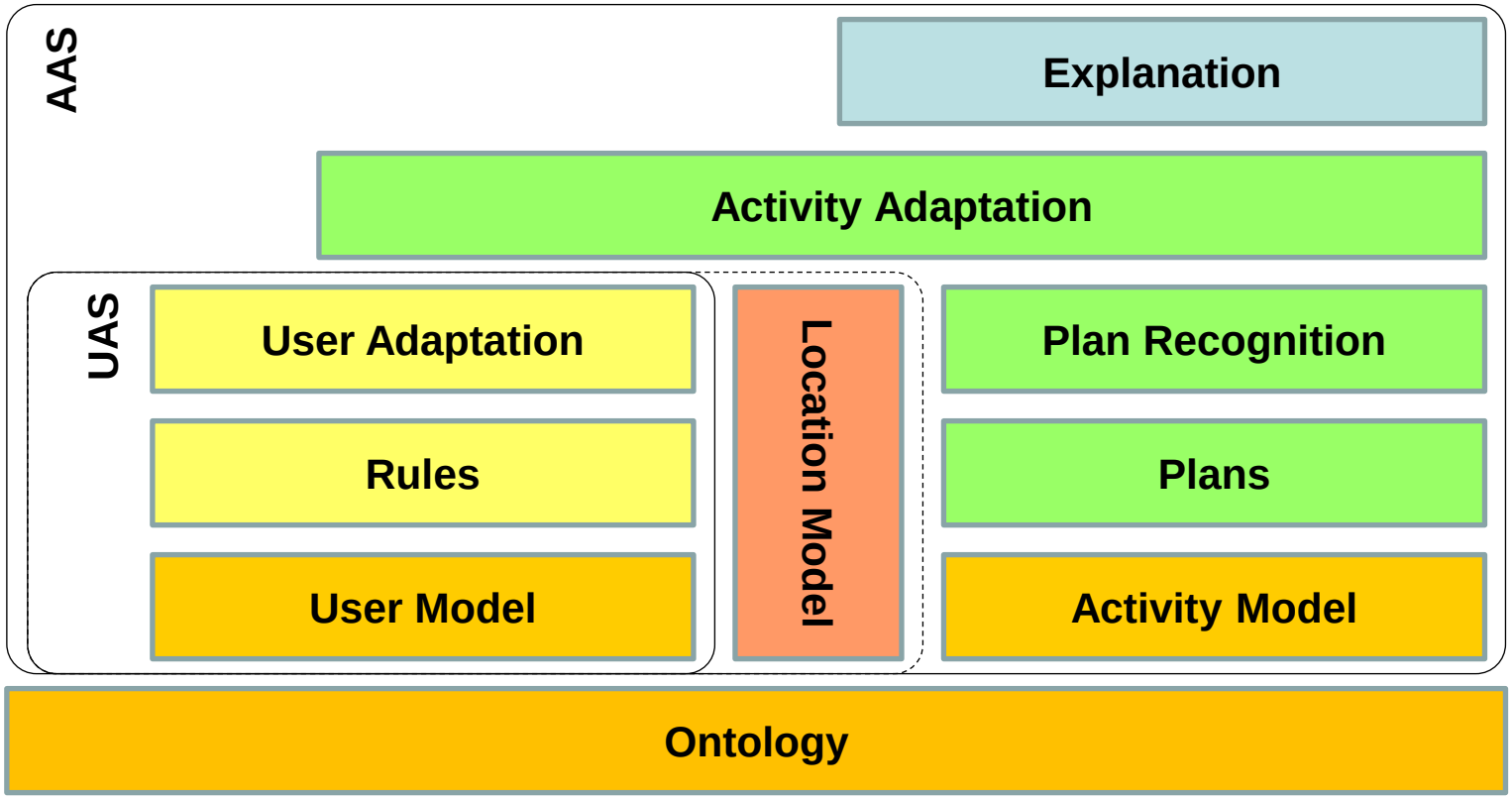
  - ***Plan recognition*** takes a sequence of observations as input and tries to explain these observations through a set of higher-order plans.
    - A **plan** is a *completely or partially ordered* list of **actions**, which - if executed - achieve a particular desired **goal**.

    [M. Schneider, 2010]

# Aktivitäts- und Planerkennung



# Activity-Adaptive Systeme



# Schema

- Folgende Schritte sind notwendig
  1. Aktivitätsmodelle bereit stellen
  2. Verhalten des Nutzers erfassen, bzw. aus Veränderungen in der Umgebung schließen
  3. Informationen zusammenführen und abstrahieren
  4. Algorithmen zur Aktivitätserkennung auswählen
  5. Aktivitätserkennung durchführen

# Ansätze zur Datenerfassung

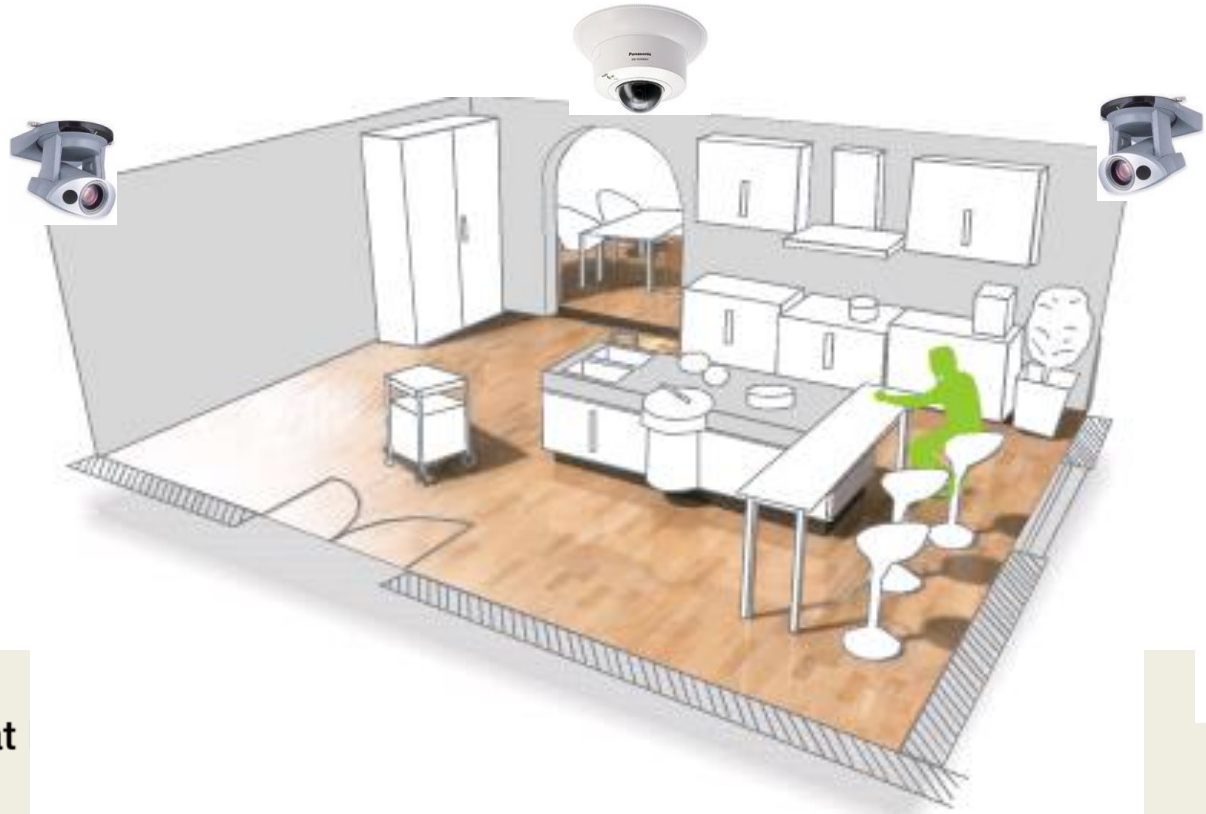
- Computer Vision
  - Kameras
    - IP, Infrarot, Stereo/Tiefenkamera (Kinect), ..
- Sensoren
  - Wearable / vom Nutzer am Körper getragen
    - IMU (Akzeleromenter, Gyrometer, Magnetometer)
    - Vitaldaten (Temperatur, Puls)
  - Instrumentierte Objekte
    - Internet of Things (IOT)
    - Sensornetze

## Aktivitätserkennung

# Computer Vision

# Kamerabasierte Aktivitätserkennung

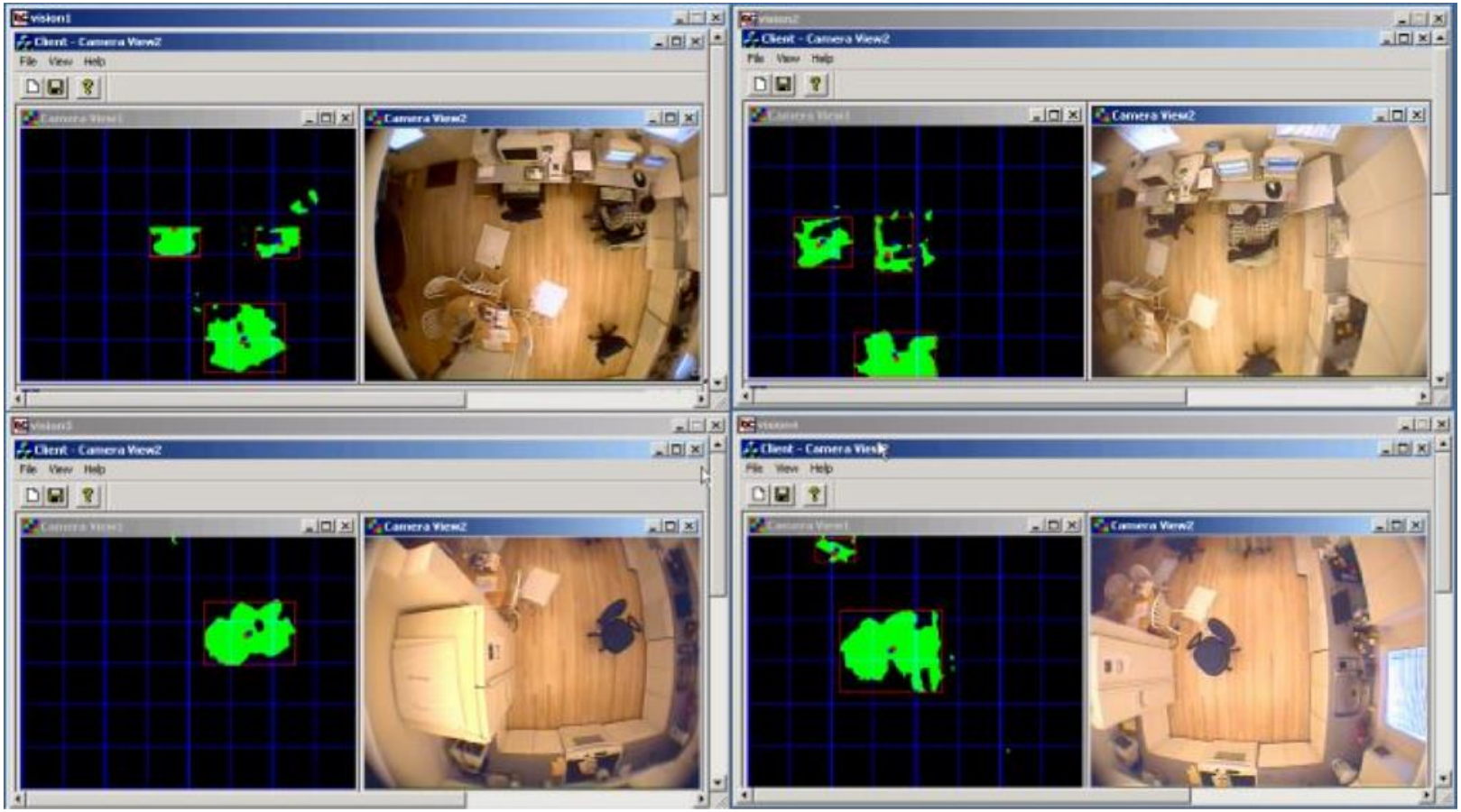
- Observation of human behavior at home
  - what a person is now doing is observed from the fact of how a person interacts the objects in a particular space.
  - Human behavior will be contextual information to understand utterances



Universität

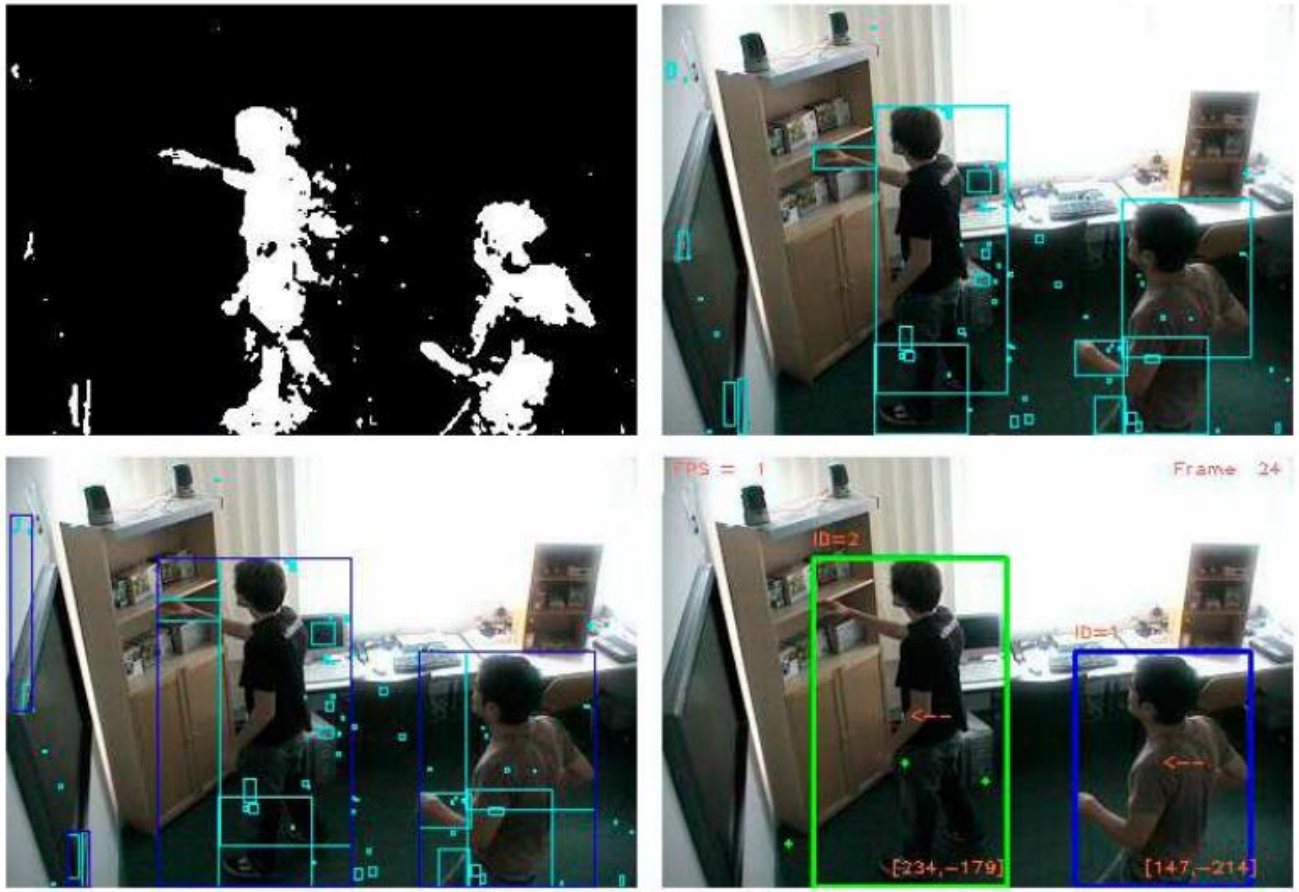
# Kamerabasierte Aktivitätserkennung

- Deckenkameras



# Kamerabasierte Aktivitätserkennung

- Bewegungserkennung, Blobs und Regionen bei der Makro-Verfolgung von MaMUT

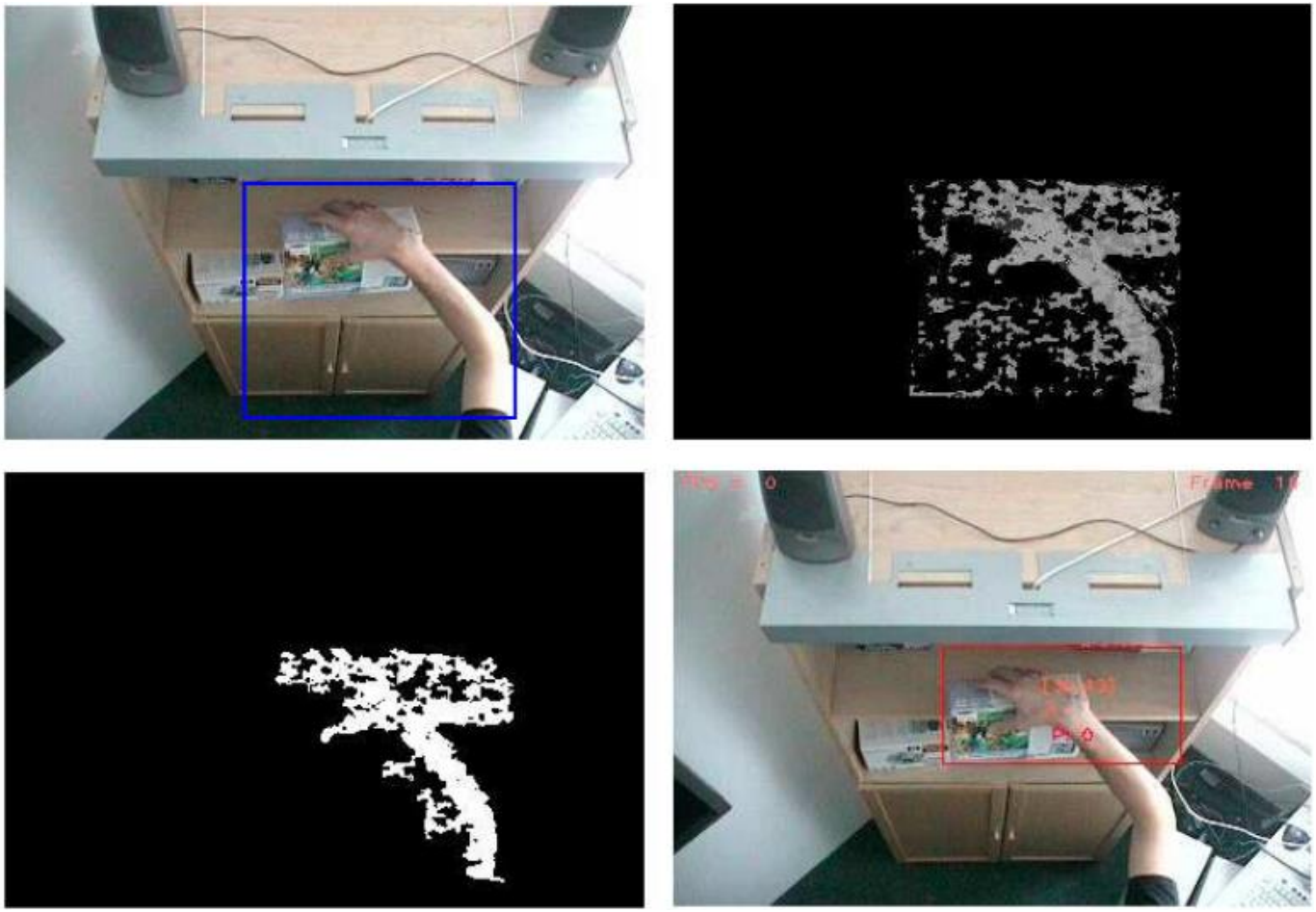





Schmitz, M. & Zimmer, H. (2007). Big MaMUT IS WATCHING YOU - INTERACTION-TRACKING FOR INSTRUMENTED ENVIRONMENTS. In Proceedings of the 3rd IET International Conference on Intelligent Environments (Bd. 3).

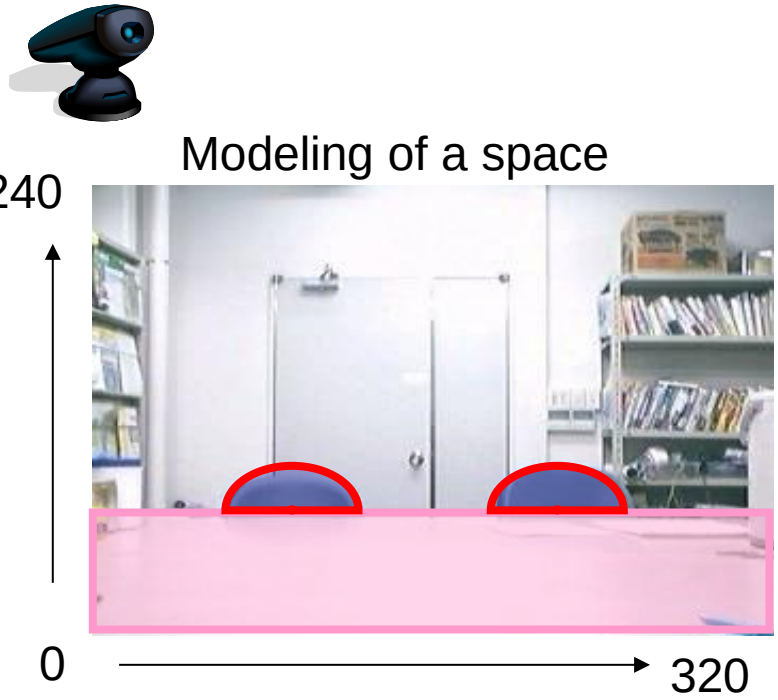
# Kamerabasierte Aktivitätserkennung

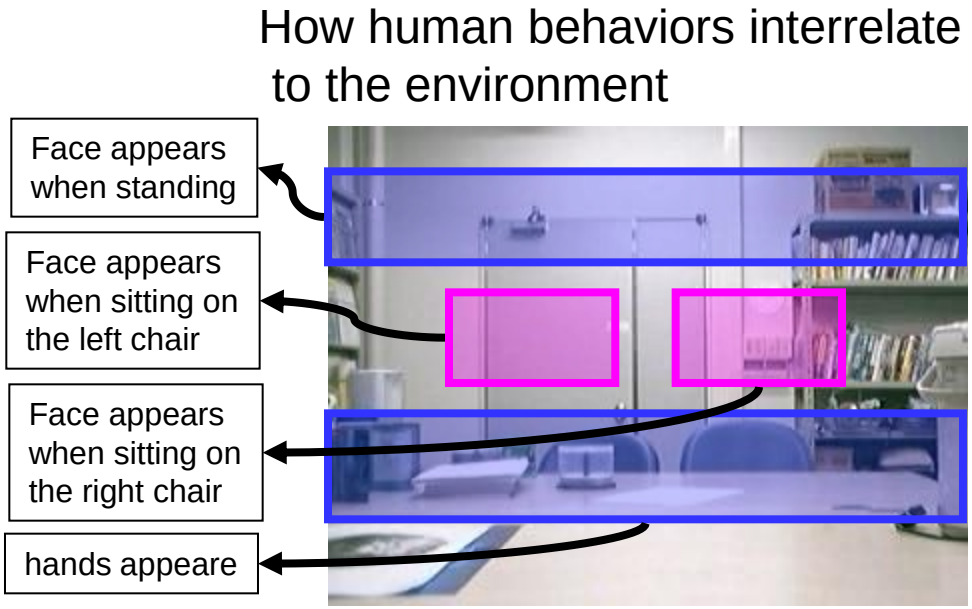
- Kombination aus Bewegung und Hauterkennung am Regal



# Kamerabasierte Aktivitätserkennung

- Modellierung von Regionen
- Assoziation von Aktivitäten



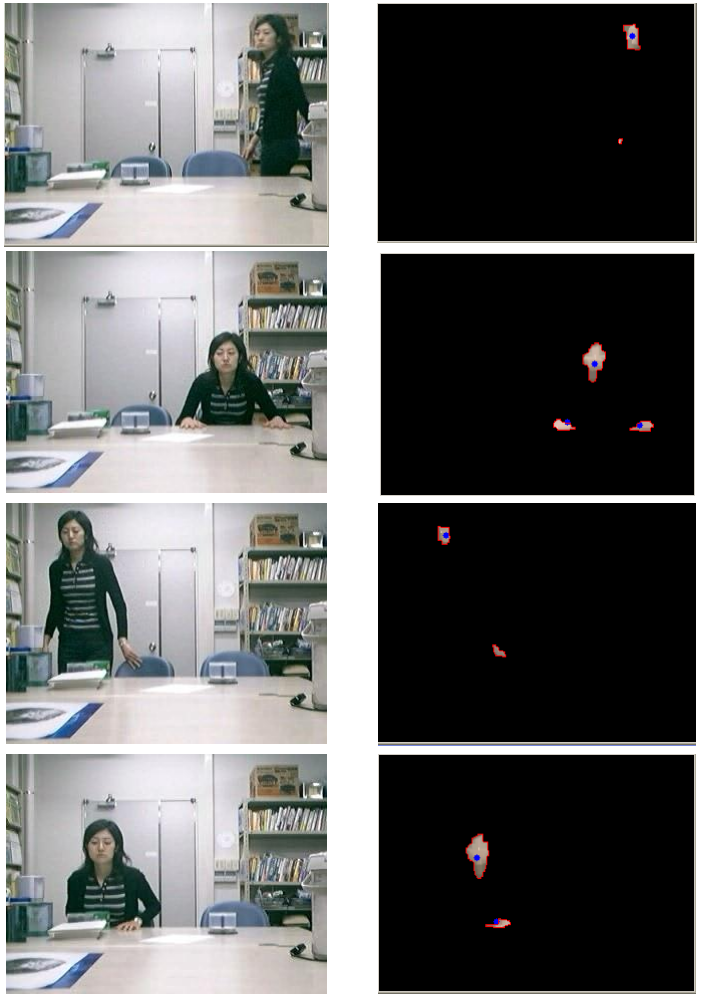




Slides: Prof. Ichiro Kobayashi, Smart Home Project at Ochanomizu University, Japan, 2007.

# Kamerabasierte Aktivitätserkennung

- Reporting human behavior in a room with natural language based on image understanding technology
  - OpenCV Tool: Erkennung von Hautfarbe im Bild
  - Erkannte Ereignisse werden als Text ausgegeben

*At time1*, a person walked in from the right side, and *at time 2* s/he sat on the right chair, ….

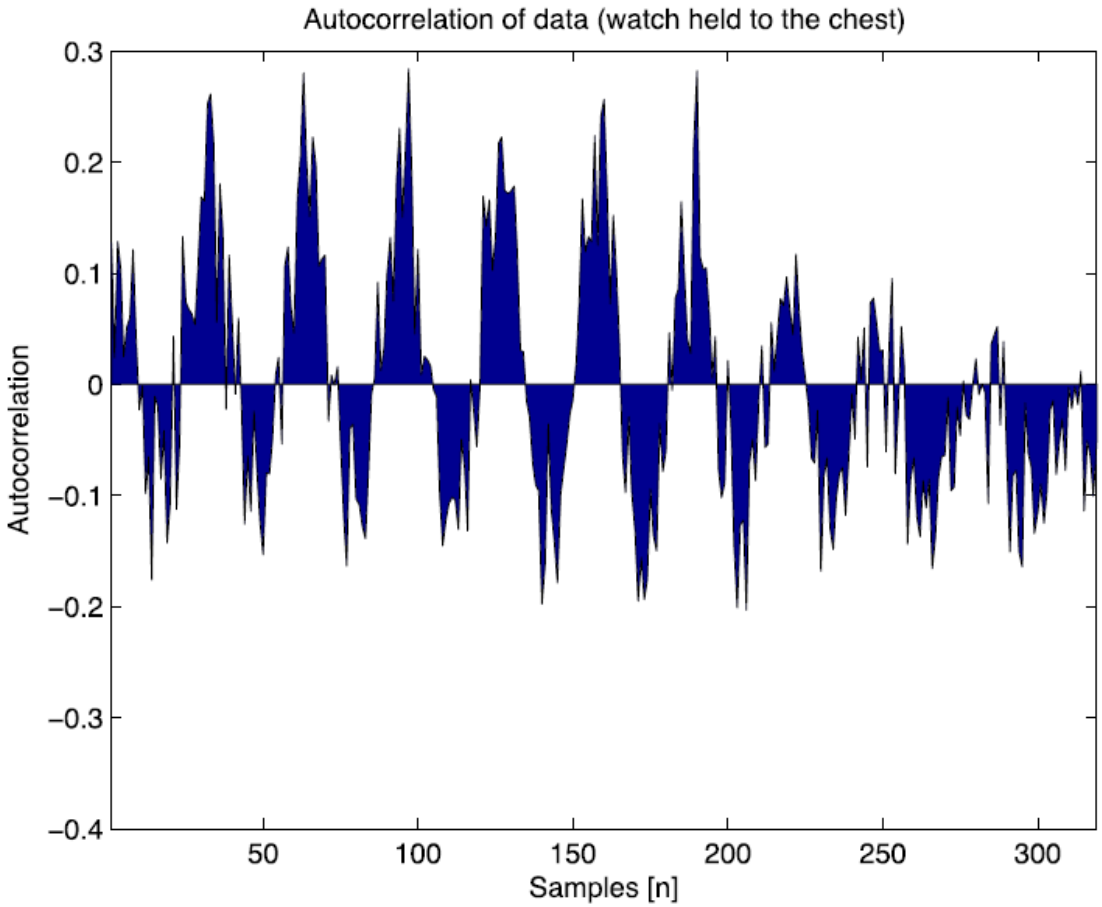


## Aktivitätserkennung

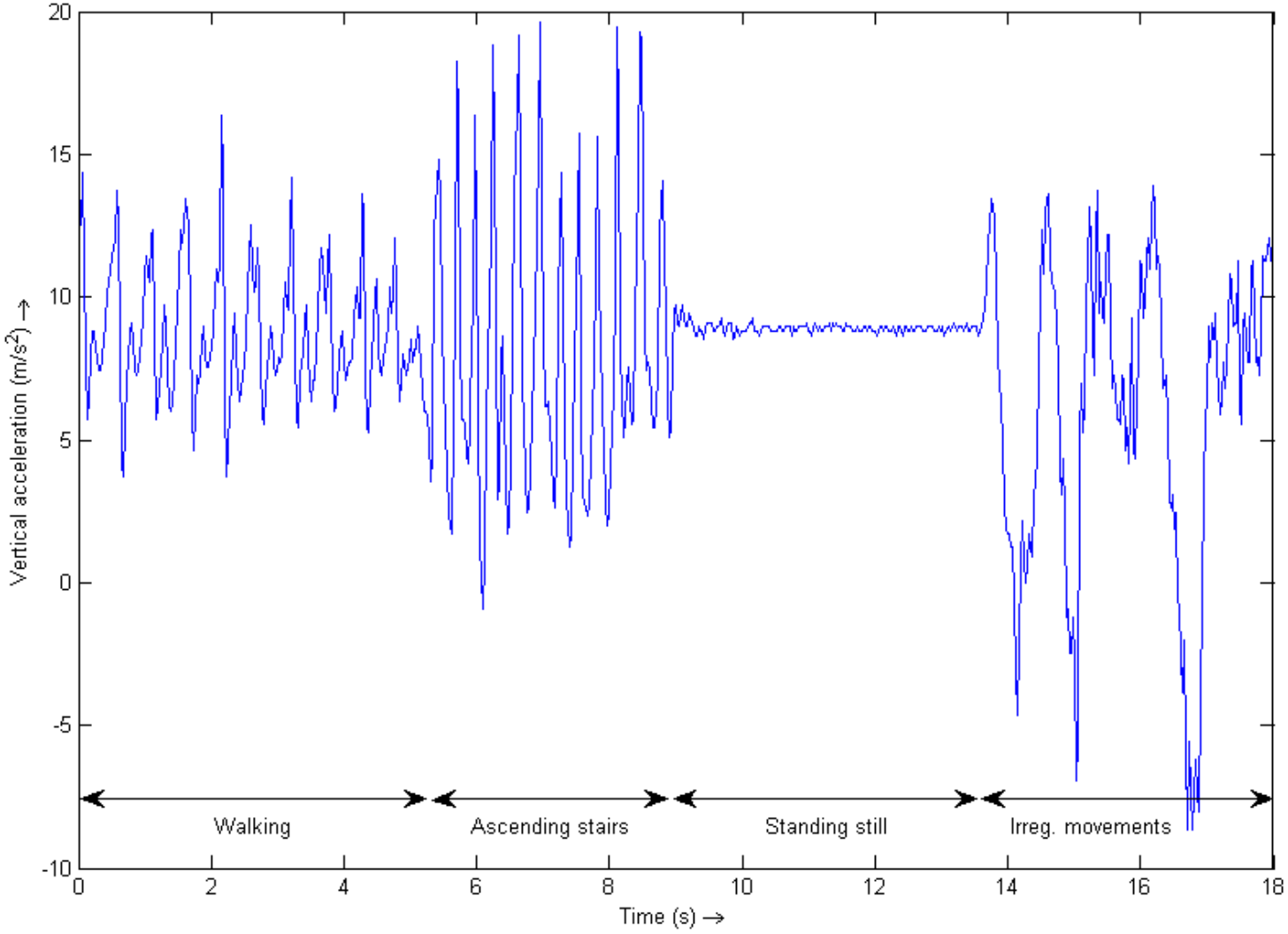
# Sensoren am Körper

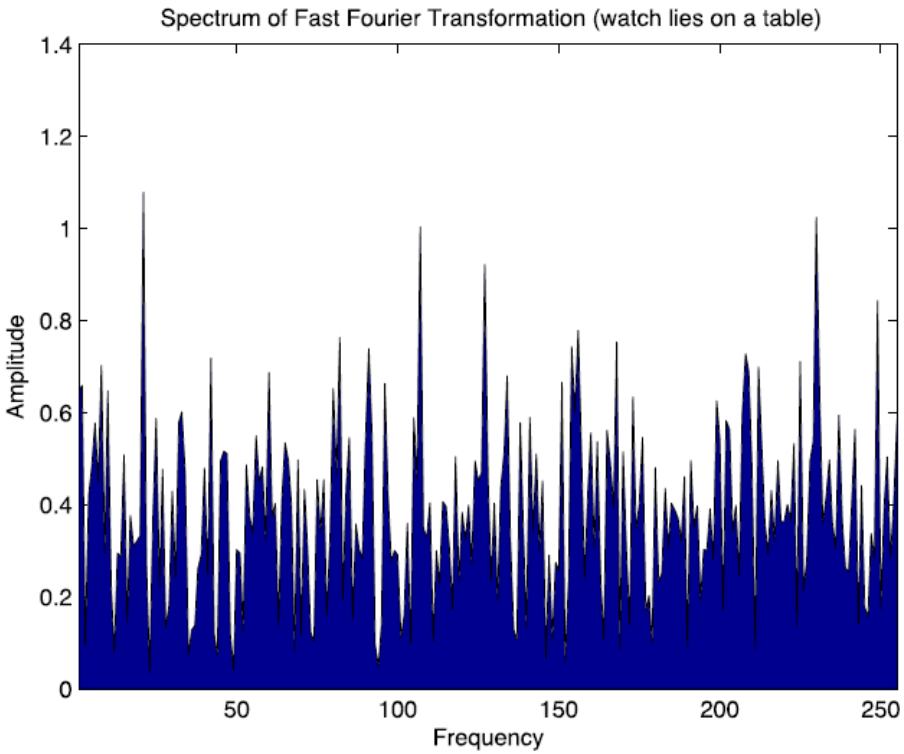
# Beispiel: Smart Watch

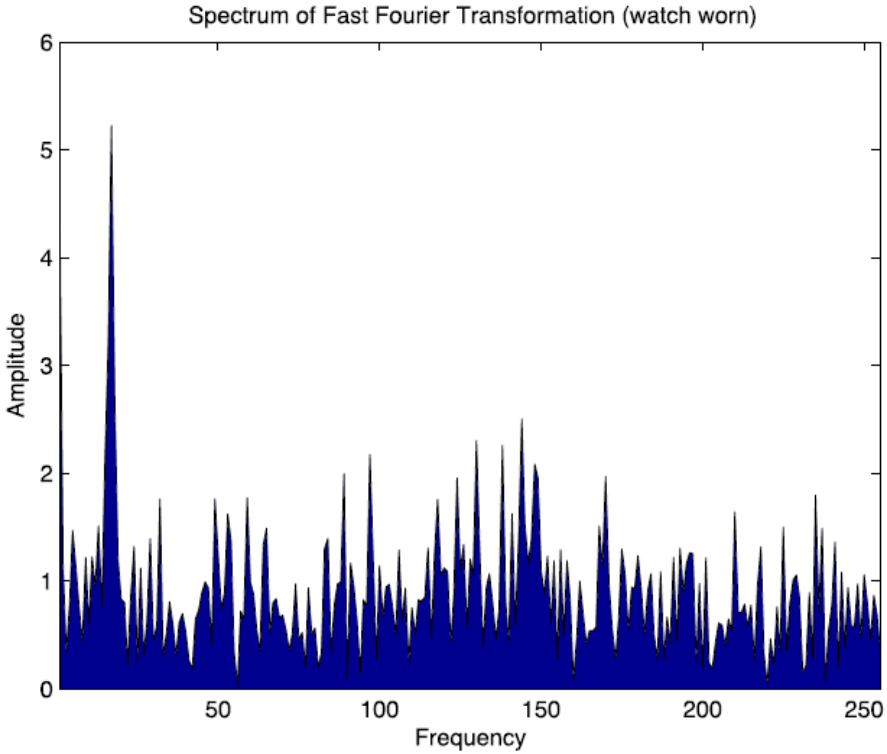
- Ermöglicht z.B. Messung der Herzfrequenz auf der Brust

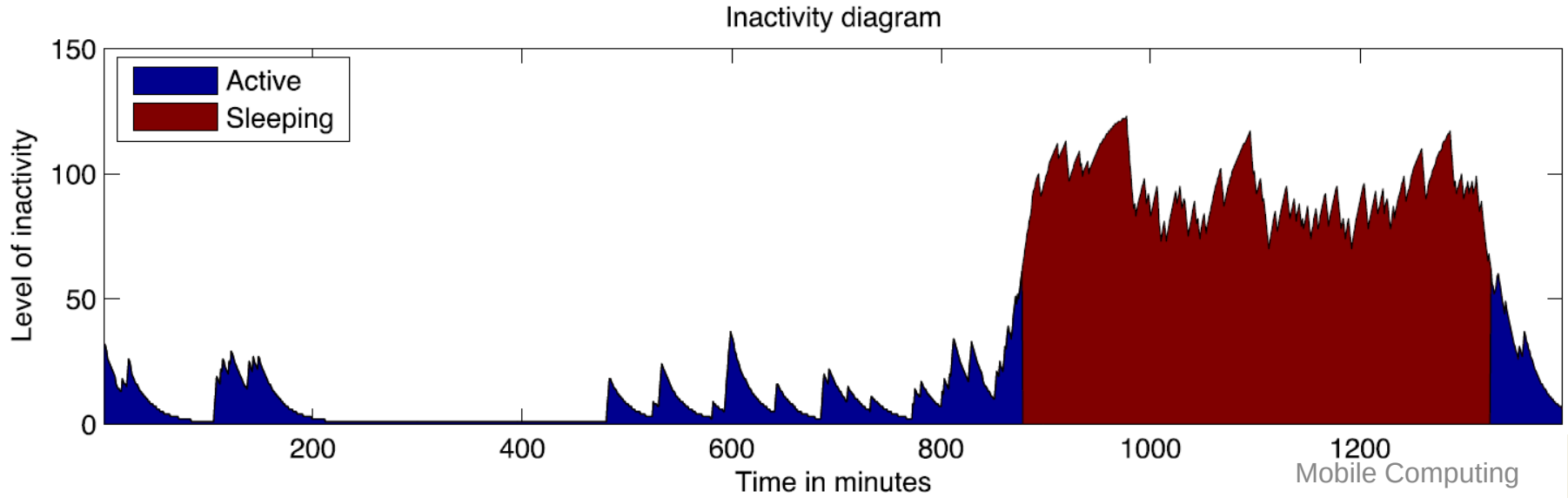


# Schrittmustererkennung

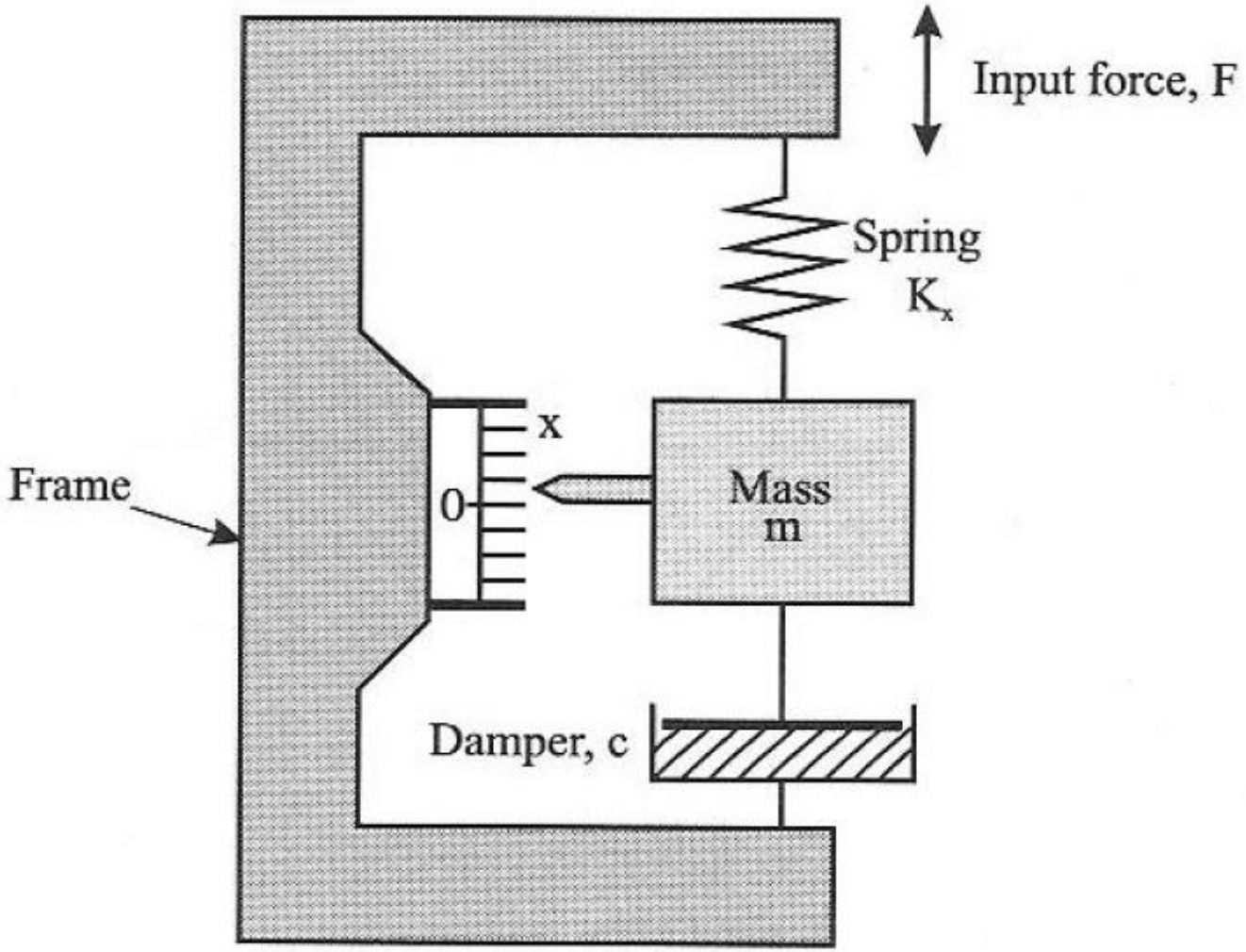



Spectrum of Fast Fourier Transformation (watch lies on a table)
Amplitude
Frequency
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
50
100
150
200
250


Spectrum of Fast Fourier Transformation (watch worn)
Amplitude
Frequency
0
1
2
3
4
5
6
50
100
150
200
250

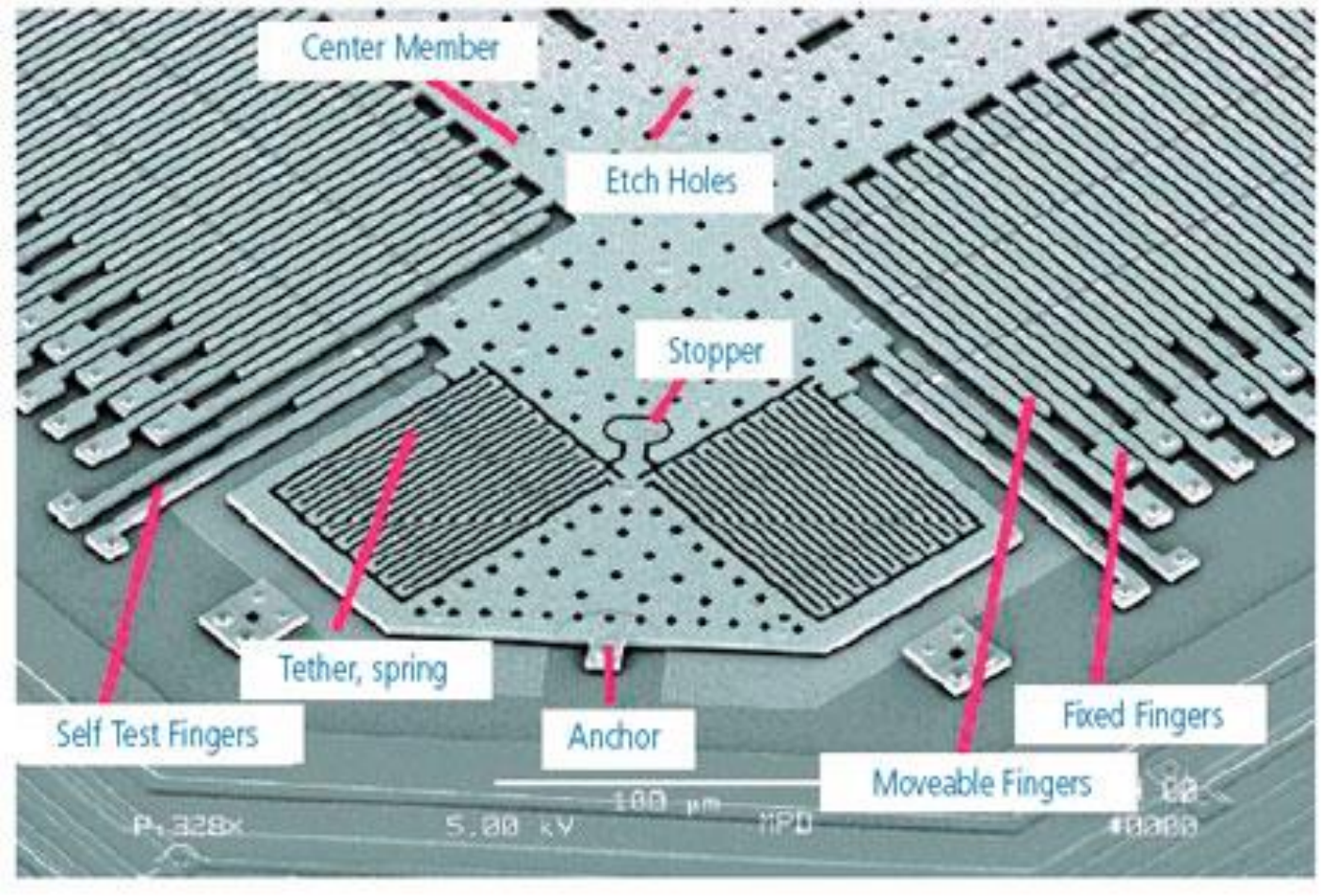

Inactivity diagram
Active
Sleeping
Level of inactivity
Time in minutes
0
50
100
150
200
400
600
800
1000
1200

# Prinzip eines Accelerometers



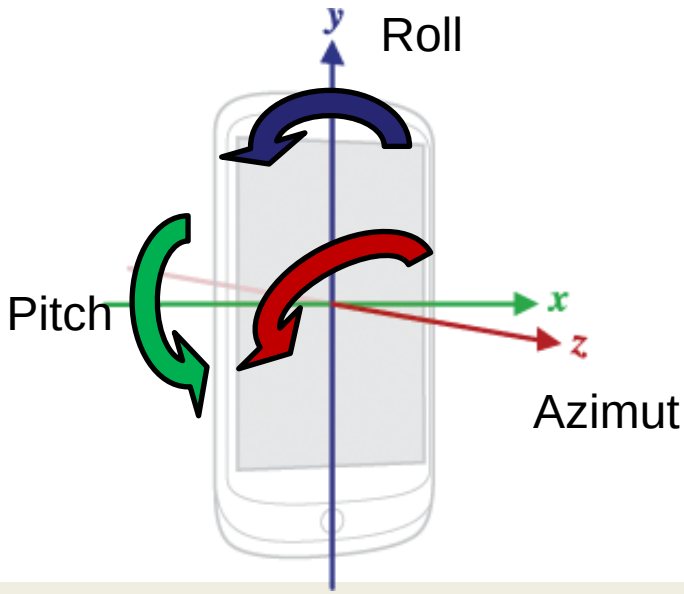
# MEMS

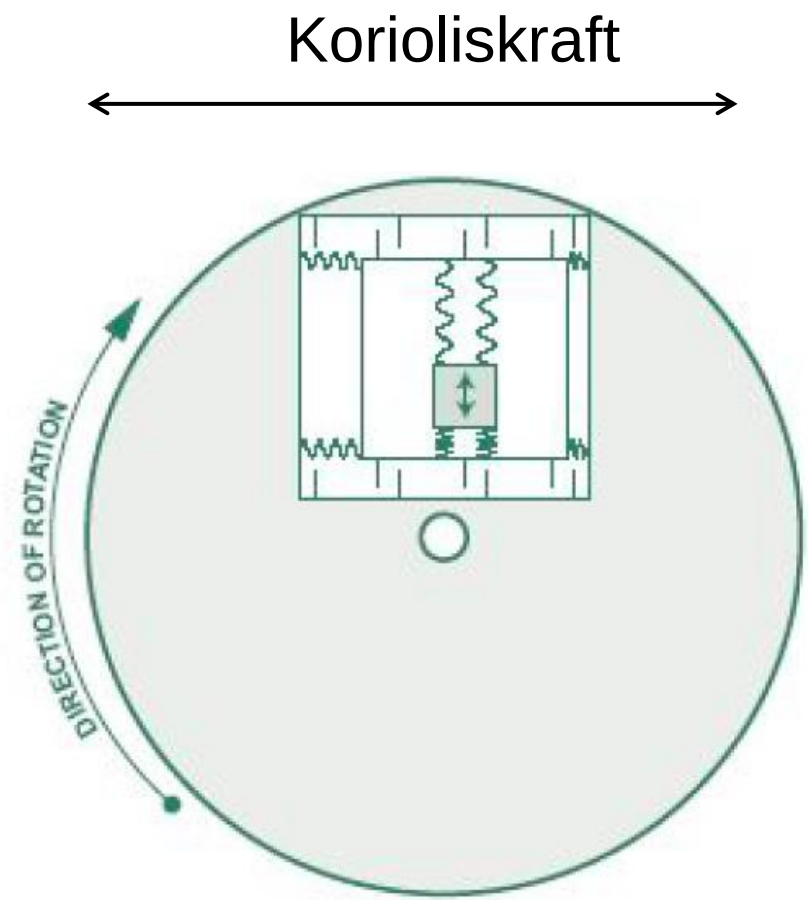
- Micro-Electro-Mechanical Systems Technology



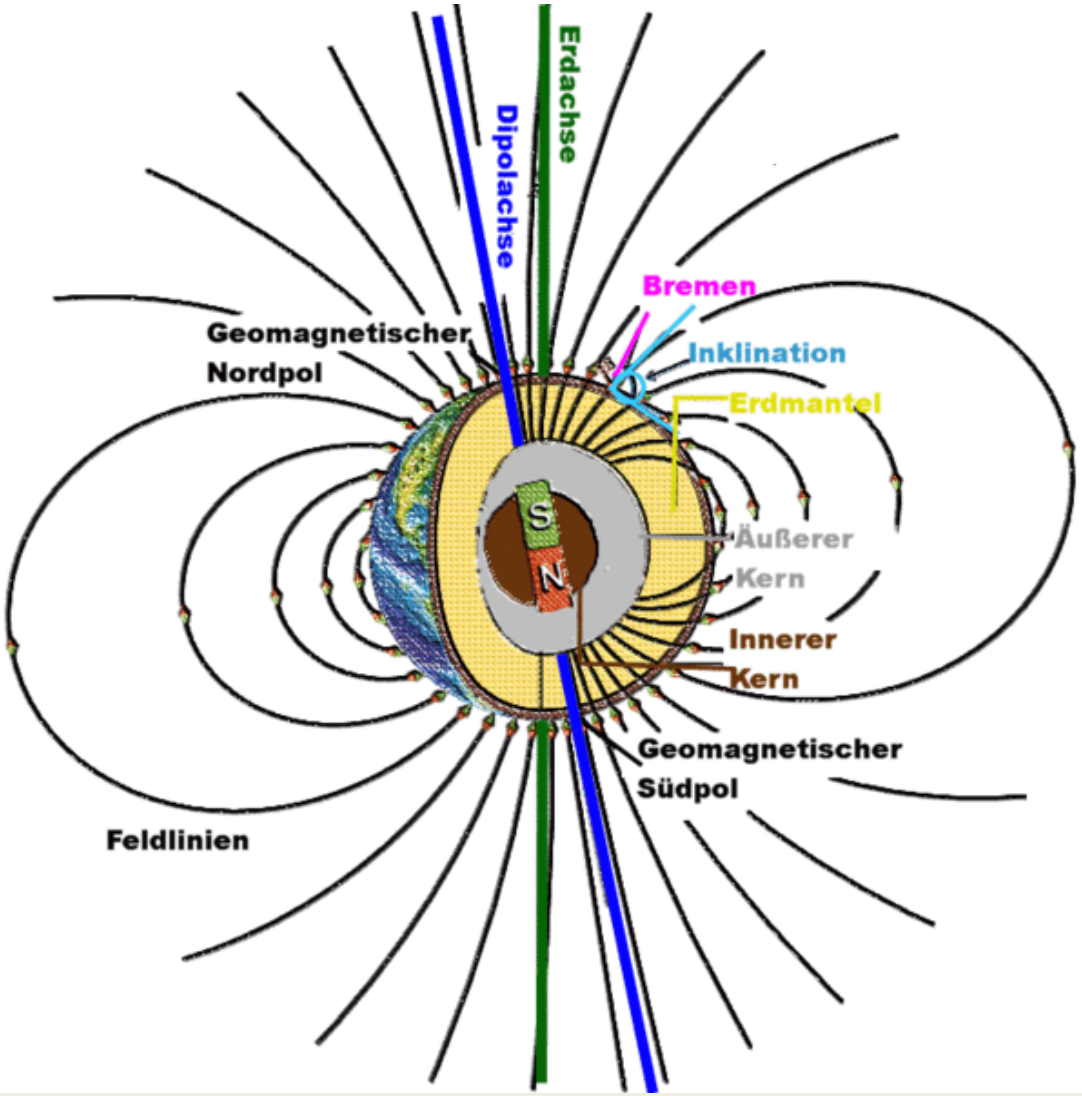
# Prinzip eines MEMS-Gyroskops

- Schwingende Masse
- Bei Rotation wirkt Korioliskraft auf die Masse
  - Orthogonal zur Schwingungsachse



# Magnetometer

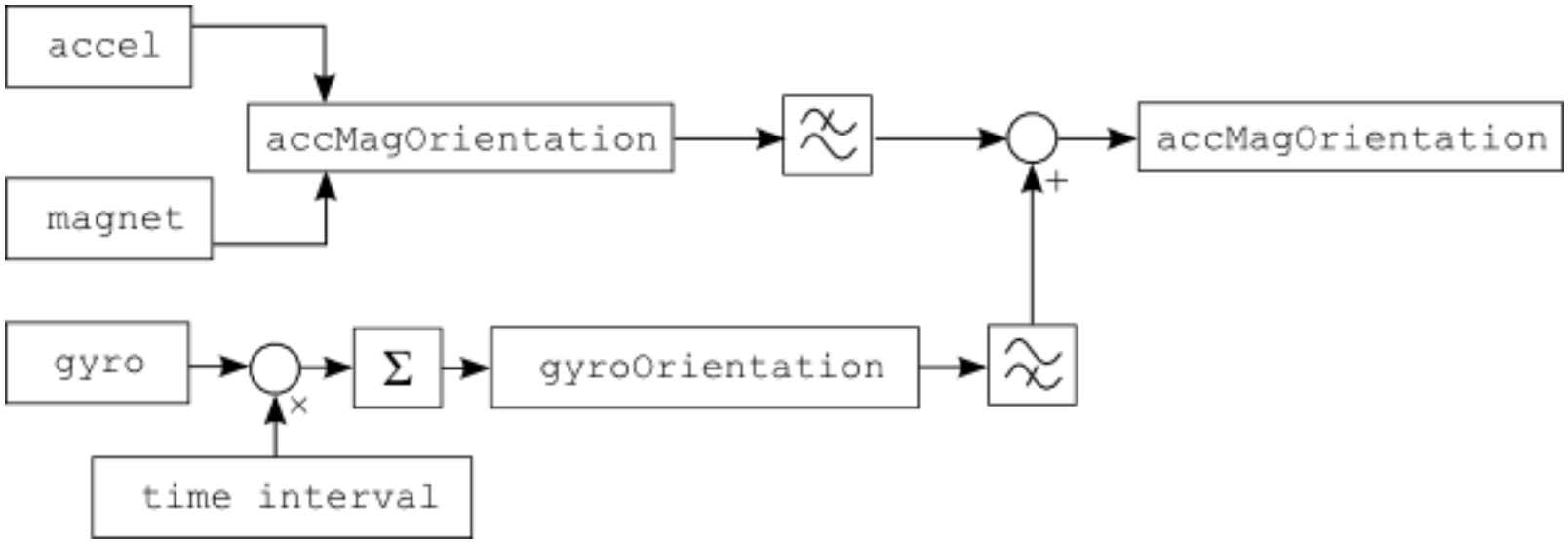


# Magnetometer

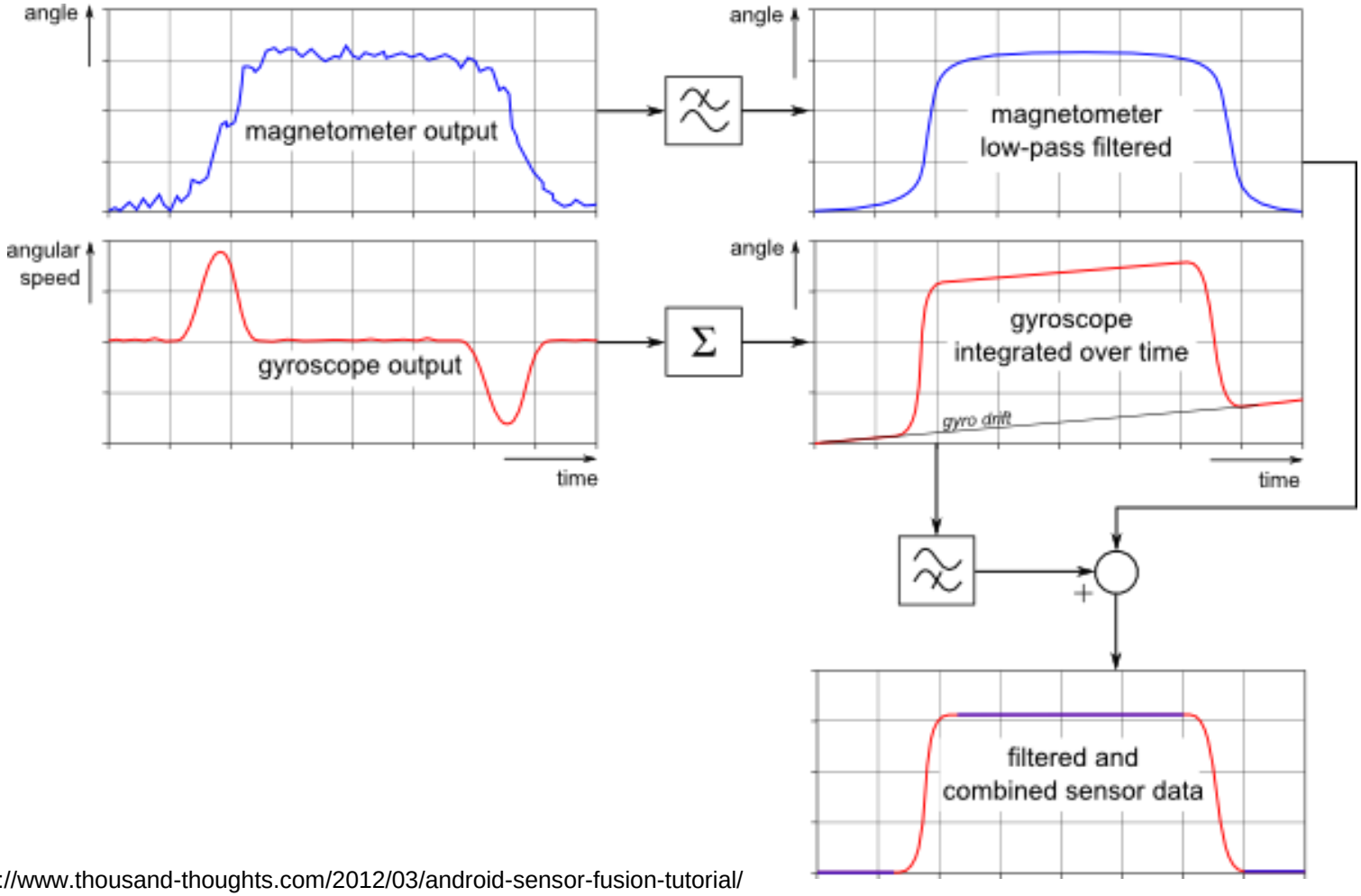
- Messung des Erdmagnetfeldes
  - Im Vergleich zur Gravitation extrem schwache Kraft
    - Inklination 60°, 30µT
    - Küchenmagnet 5mT
  - Häufig Störung durch elektromagnetische Felder
  - Magnetometer misst Feldstärke in drei Achsen
    - Für einen Kompass muss daraus Azimuth berechnet werden
  - Magnetischer Nordpol ist NICHT geographischer Nordpol
    - Bei Navigation Differenz berücksichtigen

# Sensorfusion mit Komplementärfilter

- Beste Lösung: Fusion von Akzelerometer, Gyroskop und Magnetometer
  - Tiefpassfilter für Akzelerometer und Magnetometer
  - Hochpassfilter für Gyroskop
  - Drift und Rauschen wird kompensiert



# Sensorfusion mit Komplementärfilter




Quelle: http://www.thousand-thoughts.com/2012/03/android-sensor-fusion-tutorial/

# Vitaldaten

- Shimmer wearable sensor module
  - Modulares System
  - 10 DoF Inertial Measurement Unit (IMU)
    - Accelerometer, Gyroscope, Magnetometer, Altimeter
  - ECG (Electrocardiogram) records the pathway of electrical impulses through the heart muscle
  - EMG (Electromyogram) measures and records the electrical activity associated with muscle contractions

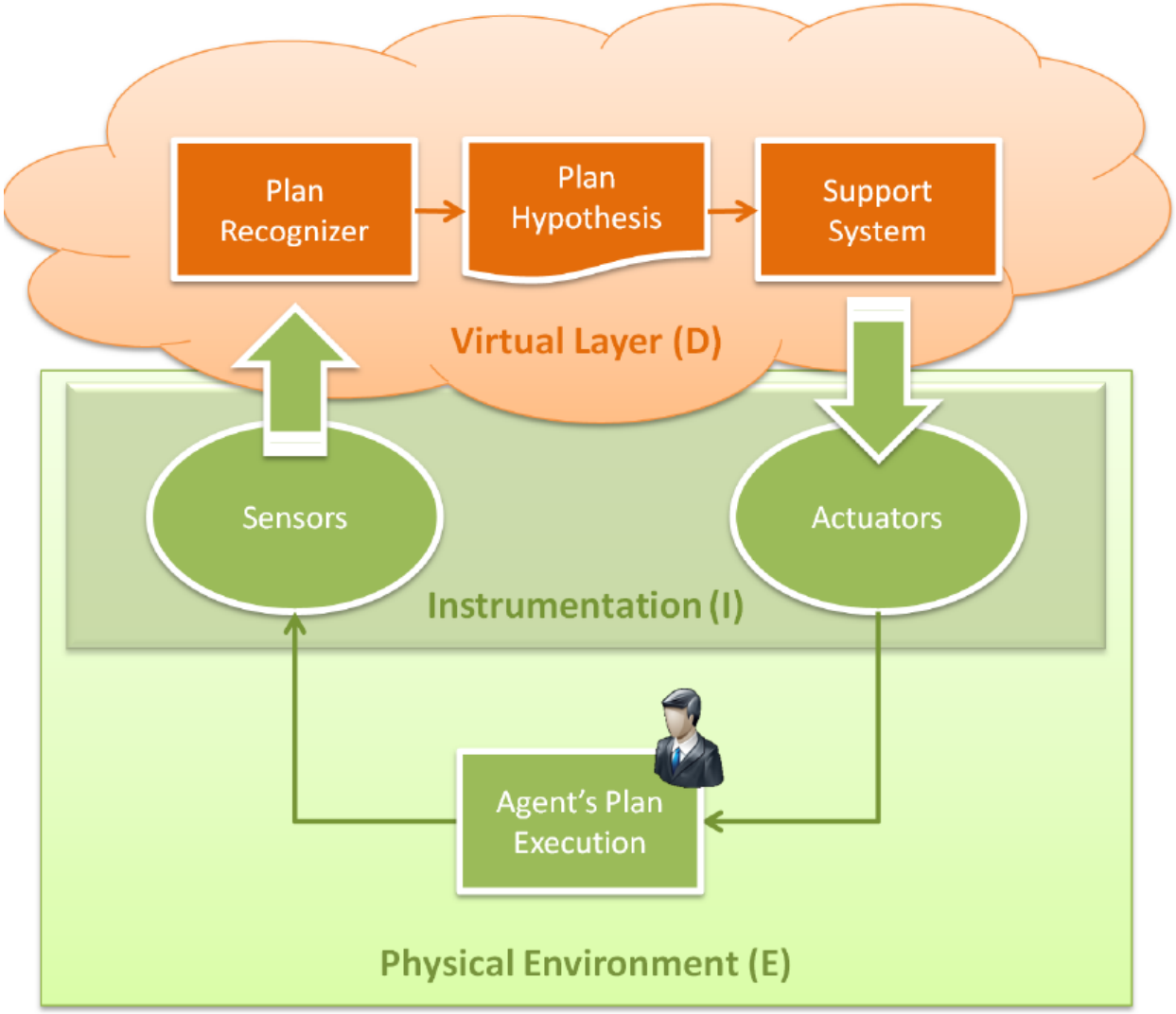
## Aktivitätserkennung

# Instrumentierte Objekte

# Instrumentierte Objekte

- Nachteile von Sensoren am Körper
  - Akzeptanz gering
  - Batterieverbrauch hoch, tägliches Laden erforderlich
  - Komplexere Bewegungsmuster nicht eindeutig identifizierbar
- Ergänzung durch Sensoren in Objekten sinnvoll
  - Internet of Things
    - z.B. Mediacup
  - Ad-hoc Sensornetze

# Instrumented Environment



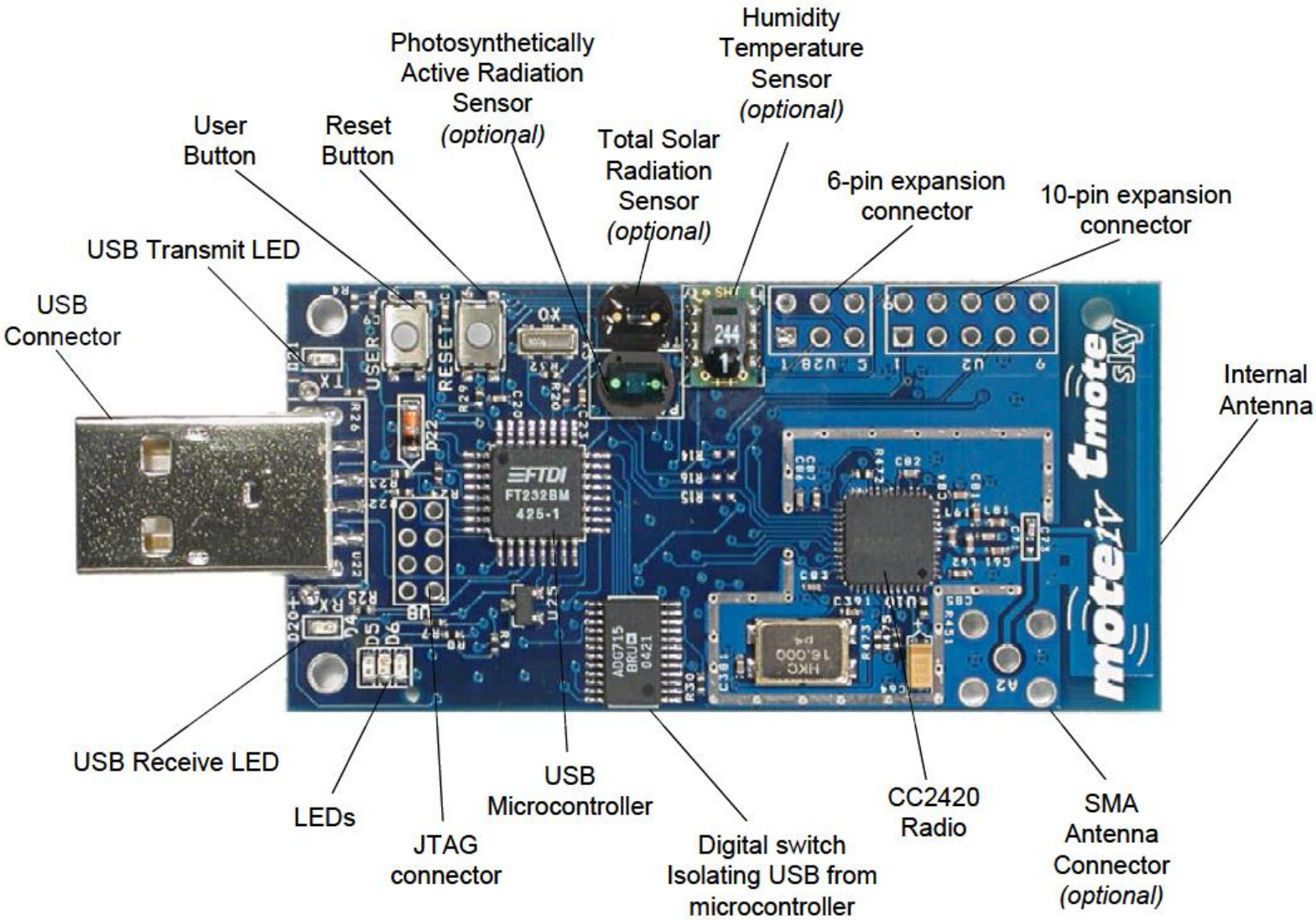

Quelle: M. Schneider

# Smart Metering

# Sensor Knoten

- Tmote Sky
  - wireless sensor module
  - 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Wireless Transceiver
  - Integrated onboard antenna with 50m range indoors / 125m range outdoors
  - Humidity, Light, and Temperature sensors with USB
  - 8MHz Texas Instruments MSP430 microcontroller (10k RAM, 48k Flash)
  - 16-pin expansion support

# Tmote mote iv



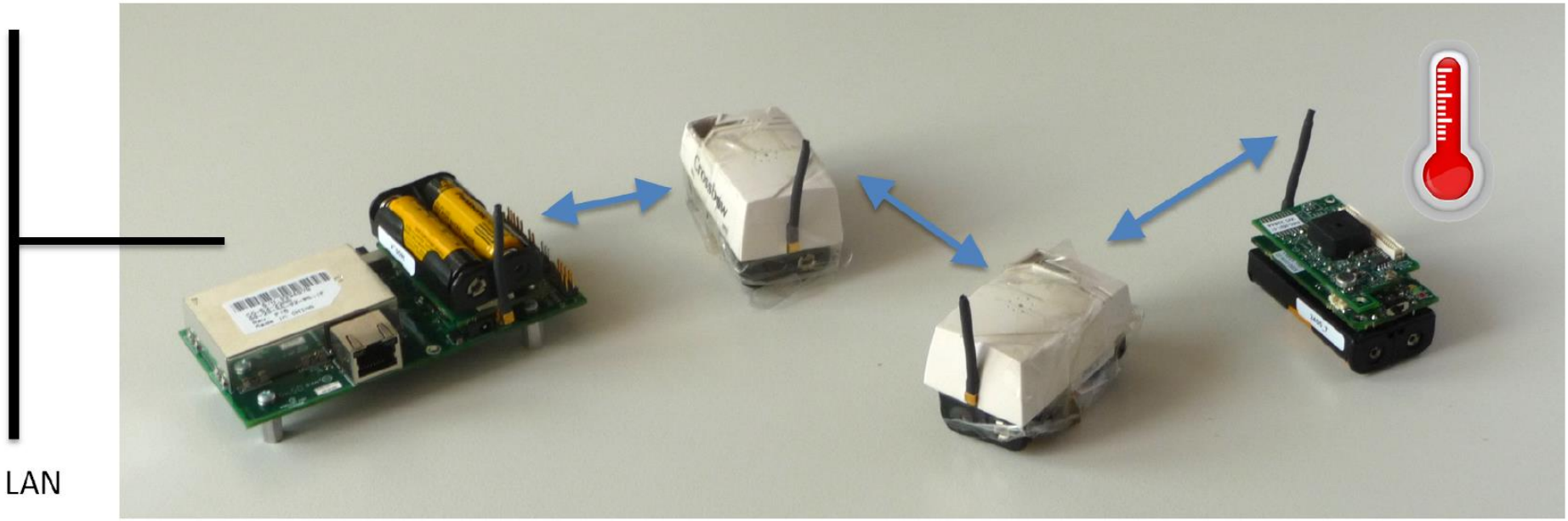
- Gumstix
  - OVERO AirStorm
  - ARM Cortex A8, 1Ghz
  - 512MB Ram
  - Bluetooth und WLAN
  - Camera connector
  - 58mm x 17mm

Ships with:
2 x u.fl antennas for Bluetooth and 802.11g
4 x retaining spacers

Power supply not included

# Sensor Netzwerke

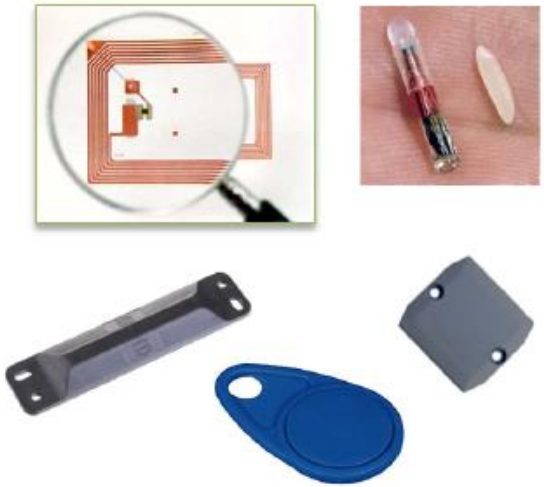
- Knoten verbinden sich ad-hoc zu einem Netzwerk
  - Multi-hop routing von Knoten zu Knoten (vom Temp. Sensor zum LAN Gateway)
  - Foto zeigt Crossbow's *MICAz*




Quelle: M. Schneider

# RFID

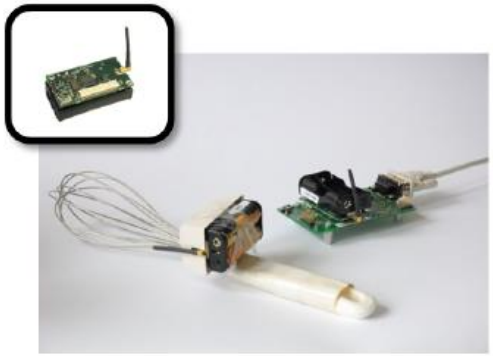
- Radio-Frequency Identification

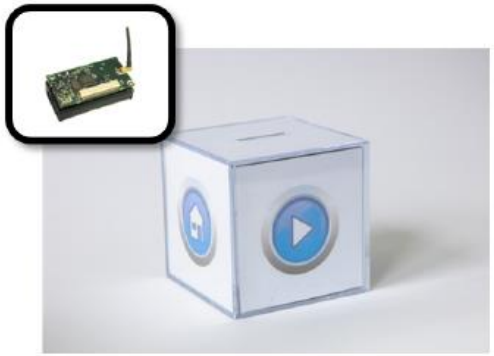


Transponder Antenna Reader

Quelle: M. Schneider

# Sensoren der Smart Kitchen





# Ressourcen Optimieren

- Probleme bei Sensorknoten und RFID Lesern
  - Konflikte beim Senden/Empfangen vieler Einheiten
  - Batterien halten nur begrenzt

- Lösungsansatz
  - Daten nur bei Bedarf (auf Anfrage) senden
  - Signalstärke dynamisch anpassen
  - Sensoren abschalten, wenn möglich
    - Akzelerometer benötigen z.B. ständig Strom für Messung
    - Standby-Modus so oft wie möglich nutzen

- Aber: Wann werden welche Sensoren benötigt?

## Aktivitätserkennung

# Methoden

# Methoden

- Maschinelles Lernen
  - Überwachtes Lernen
    1. Sensordaten beschaffen, manuell Aktivitäten annotieren
    2. Merkmale bestimmen
    3. Daten fusionieren, Rauschen filtern, Dimension von Vektoren reduzieren, Normalisieren
    4. Aufteilen der Daten in Trainingsdaten und Testdaten
    5. Trainieren des Algorithmus mit Trainingsdaten
    6. Evaluation mittels Testdaten
    7. Einsatz des Algorithmus zur Aktivitätserkennung
  - Ggf. Wiederholung von 4-7 mit verschiedener Partitionierung

# Methoden

- Bekannte Verfahren
  - **Hidden Markov Models** (HMM)
  - **Dynamische Bayes‘sche Netze**
  - Nearest Neighbour
  - Support Vector Machines (SVM)

- Nachteile
  - Große Datenmengen an Trainingsdaten benötigt
  - Abhängig von individuellen Situationen und Benutzern
    - Nicht ohne weiteres übertragbar

# Ambient Kitchen Projekt

- Instrumentierte Küchenwerkzeuge mit WLAN Akzelerometer (Wii Controller) im Griff

# Ambient Kitchen Projekt

- Datenanalyse
  - 40 Hz Sampling rate
  - 2 Sekunden Blöcke
    - *x*-, *y*-, *z*-, *pitch*- und *roll-acceleration*
    - *Mittelwert, Standard-Abweichung, Energie*
    - *Insgesamt Vektoren von 23 Features pro Block*
  - Experimente mit 20 Versuchspersonen (Sandwich zubereiten), annotiert von je drei Personen, liefern die Trainingsdaten für insgesamt 10 Aktivitäten
    - chopping, peeling, slicing, dicing, scraping, shaving, scooping, stirring, coring, and spreading
  - Klassifikation mittels überwachtem maschinellen Lernen
    - Gaussian Mixture Model (GMM)

- Confusion Matrix

| unknown | chopping | scraping | peeling | slicing | dicing | coring | spreading | stirring | scooping | shaving | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40672 | 1398 | 30 | 283 | 331 | 35 | 38 | 453 | 19 | 482 | 432 | unknown |
| 79 | 2327 | 1 | 1 | 263 | 85 | 1 | 34 | 0 | 5 | 29 | chopping |
| 57 | 4 | 71 | 4 | 3 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 23 | scraping |
| 43 | 2 | 0 | 474 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | peeling |
| 1 | 91 | 0 | 0 | 283 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 6 | slicing |
| 33 | 161 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | dicing |
| 4 | 30 | 2 | 1 | 41 | 0 | 100 | 19 | 19 | 10 | 0 | coring |
| 37 | 61 | 19 | 2 | 7 | 1 | 0 | 171 | 0 | 4 | 29 | spreading |
| 95 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 21 | 0 | 209 | 41 | 0 | stirring |
| 61 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 25 | 851 | 1 | scooping |
| 12 | 49 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 493 | shaving |

# Methoden

- Explizite Modellierung von Wahrscheinlichkeiten
  - Probabilistische Automaten

# Zustandsbasierte Planerkennung

- Aktionen können nicht immer direkt erkannt werden, daher Modellierung über Zustandswechsel der Umgebung

location(Flour, Cupboard)

"collect flour from cupboard"

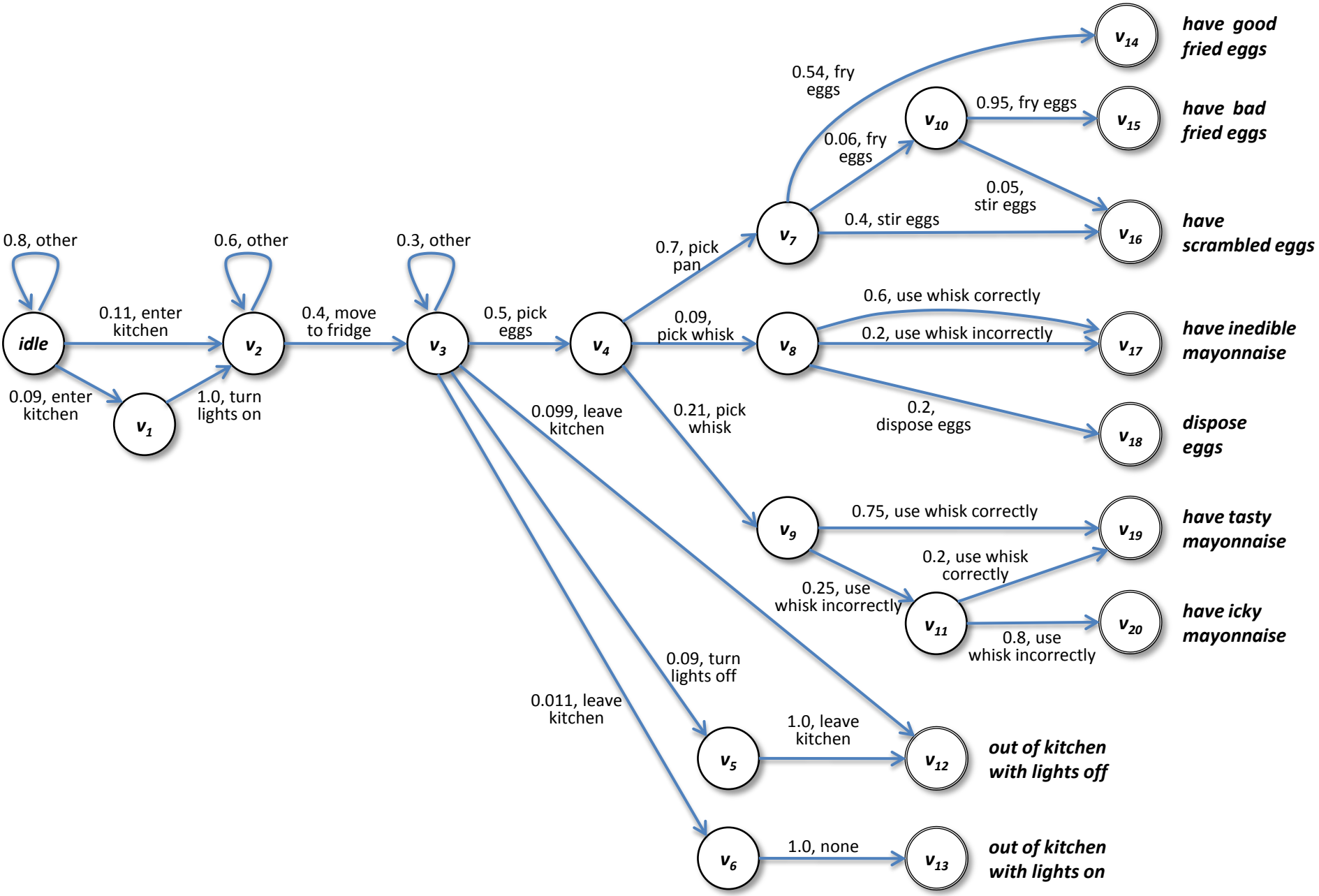
location(Flour, Countertop)

# Plan Bibliothek

**Definition 6.2.2.** A **plan library** is a tuple $(\mathcal{V}, \mathcal{G}, \mathcal{A}, s, t)$, where

- $\mathcal{V}$ is a finite set of plan execution states
- $idle \in \mathcal{V}$
- $\mathcal{G} \subseteq \mathcal{V} \setminus \{idle\}$ is the set of terminal states
- $\mathcal{A}$ is the agent's action repertoire
- $s : \mathcal{V} \setminus \mathcal{G} \times \mathcal{A} \mapsto [0, 1]$ is the action selection function, where $s(v, \alpha)$ returns the probability that the agent executes action $\alpha$ if the current state is $v$
- $\forall_{v \in \mathcal{V} \setminus \mathcal{G}} : \sum_{\alpha \in \mathcal{A}} s(v, \alpha) = 1$
- $t : \mathcal{V} \setminus \mathcal{G} \times \mathcal{A} \times \mathcal{V} \mapsto [0, 1]$ is the transition function, where $t(v, \alpha, v')$ returns the probability that an execution of agent action $\alpha$ in state $v$ results in a transition to state $v'$
- $(\mathcal{V}, \mathcal{G}, \mathcal{A}, t, v_0)$ is a probabilistic automaton with $v_0(idle) = 1$ and $v_0(v \neq idle) = 0$ otherwise

# Plan Bibliothek: Eier zubereiten



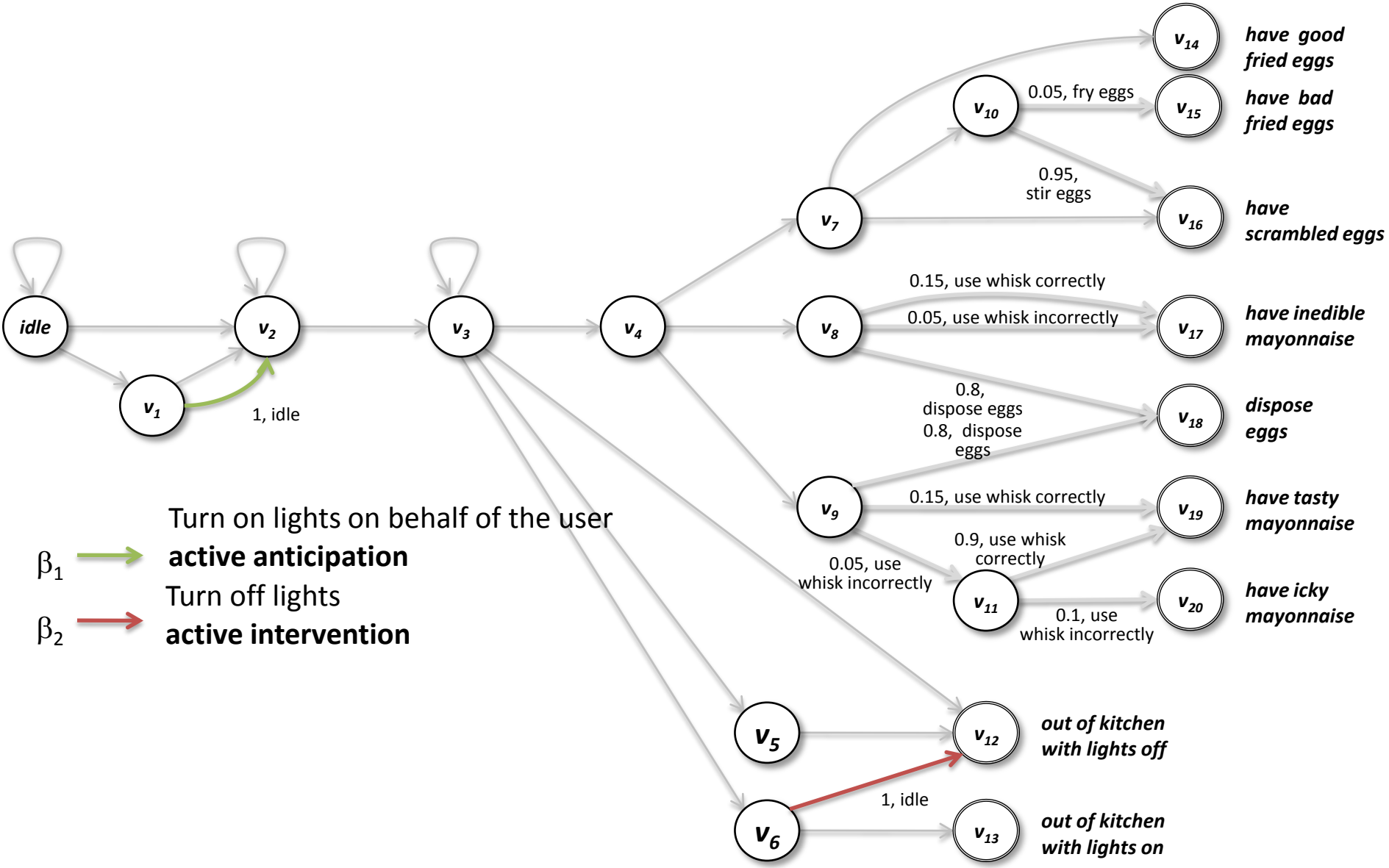
# Support Model

- **Active Anticipation**
  - actively influence the state of the environment or the behavior of the user in a way that anticipates the intended results of the agent's next action, e.g. through the execution of actions on behalf of the agent.
  - no change of plan
  - execution might be "cheaper" (takes less time, consumes less cognitive resources, costs less money, etc.) for the system then it would be for the agent.
  - might lead to undesirable results if executed in the wrong state.

# Support Model

- **Active Intervention**
  - Actions which actively influence the state of the environment to **prevent** the agent from following a costly plan or from reaching a dangerous state.
  - changes the current plan
  - prevents high cost or low reward
  - might lead to undesirable results if executed in the wrong state.

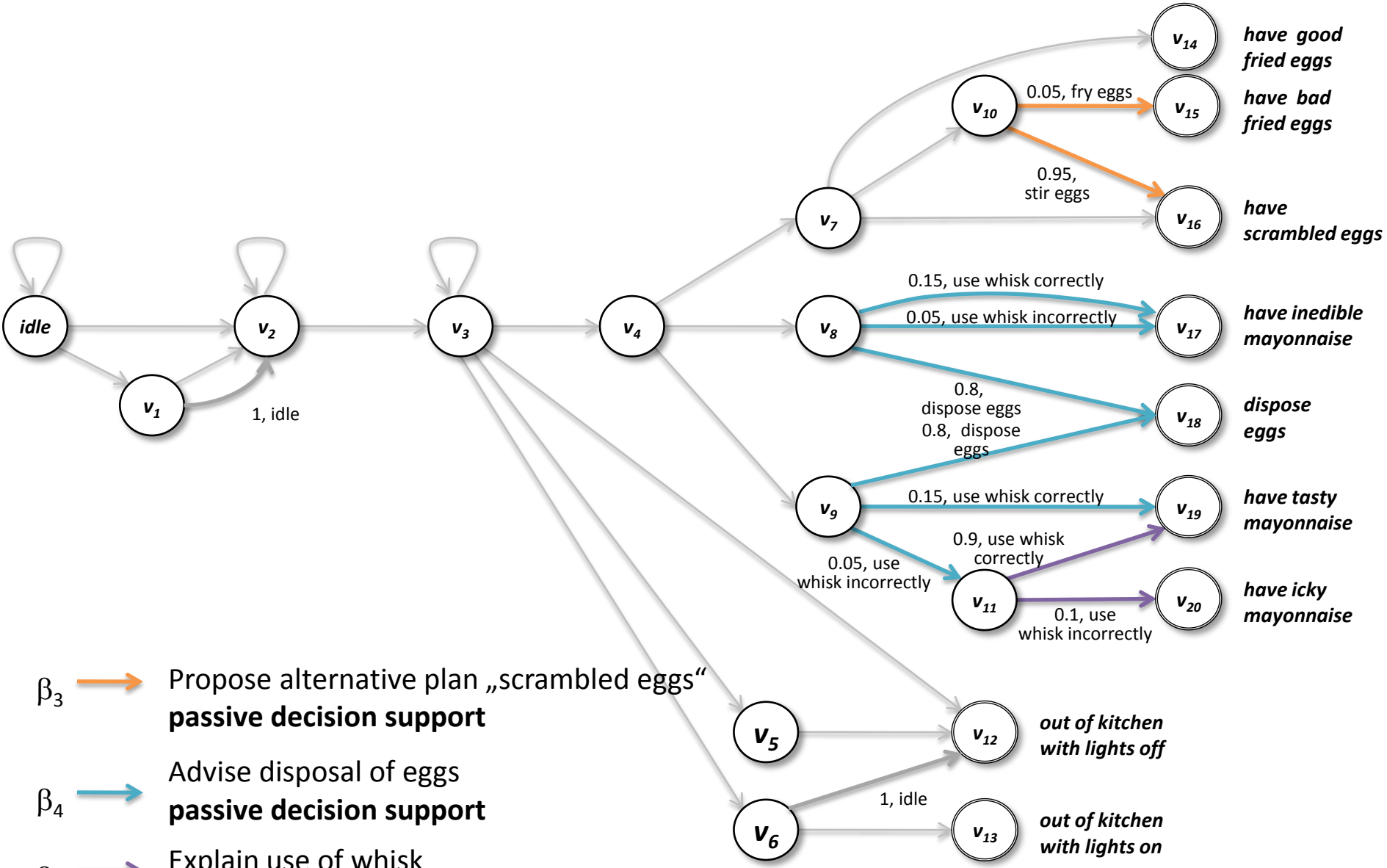
# Drei Arten von Assistenz



# Support Model

- **Passive Decision Support**
  - passively influence the agent's behavior through relevant information
  - allows the agent to act more efficiently
    - reminding the agent on upcoming actions
    - pointing out the expected outcomes of different alternatives
    - propose better/more efficient actions or plans.

# Drei Arten von Assistenz

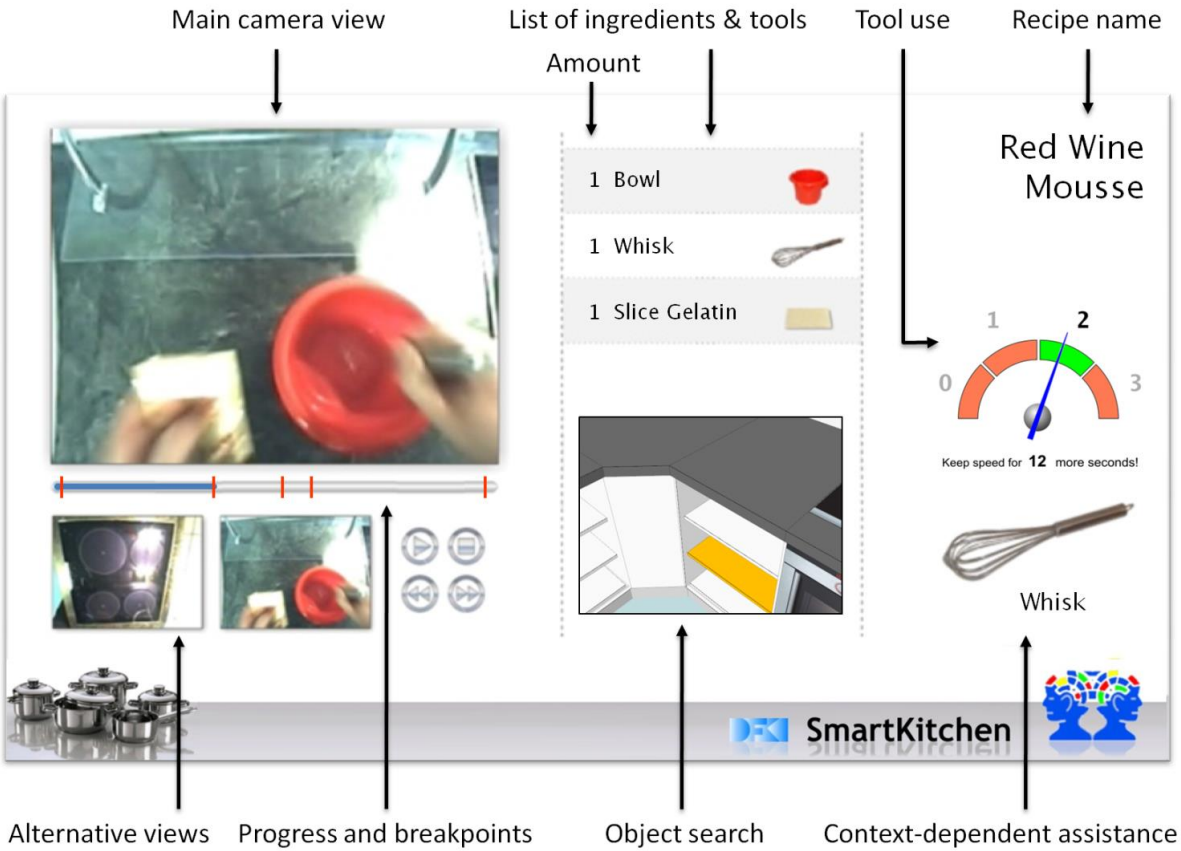



$\beta_3$ Propose alternative plan „scrambled eggs“
**passive decision support**

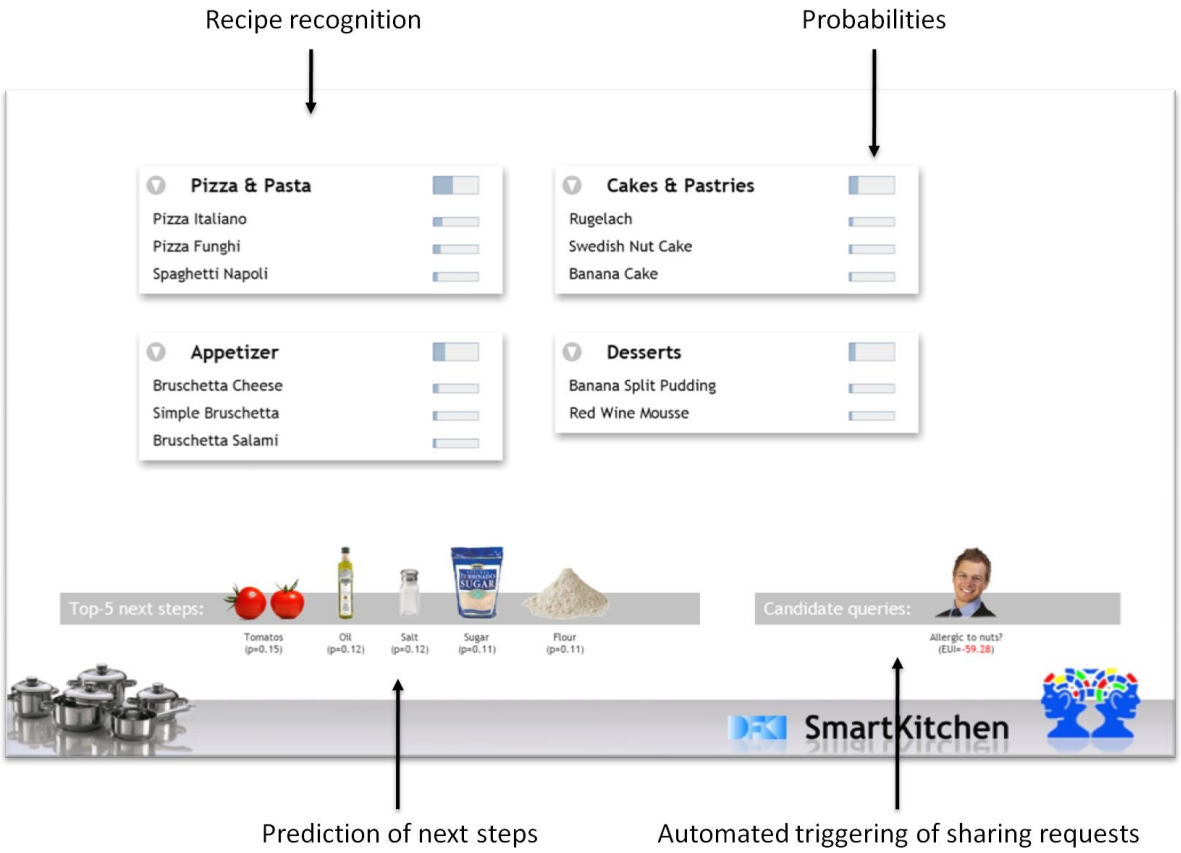
$\beta_4$ Advise disposal of eggs
**passive decision support**

$\beta_5$ Explain use of whisk
**passive decision support**

# Semantic Cookbook



# Rezepte Erkennen

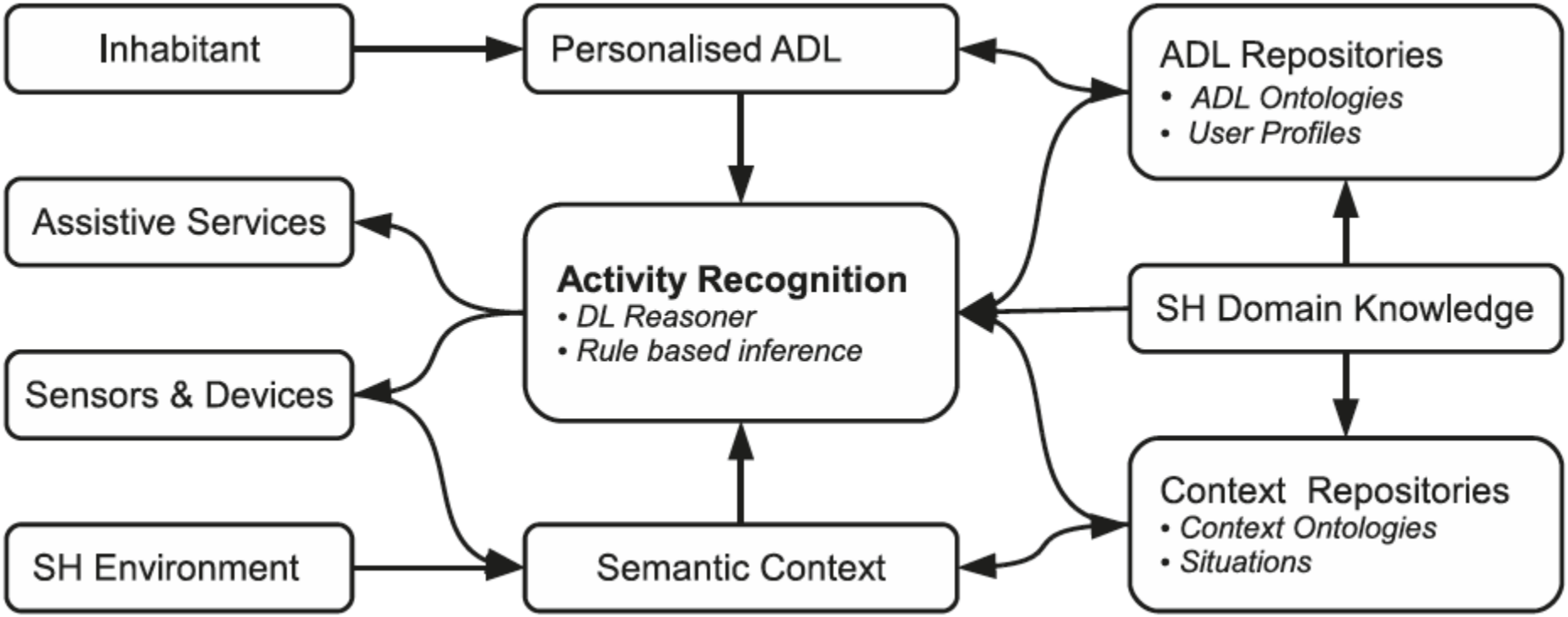


# Methoden

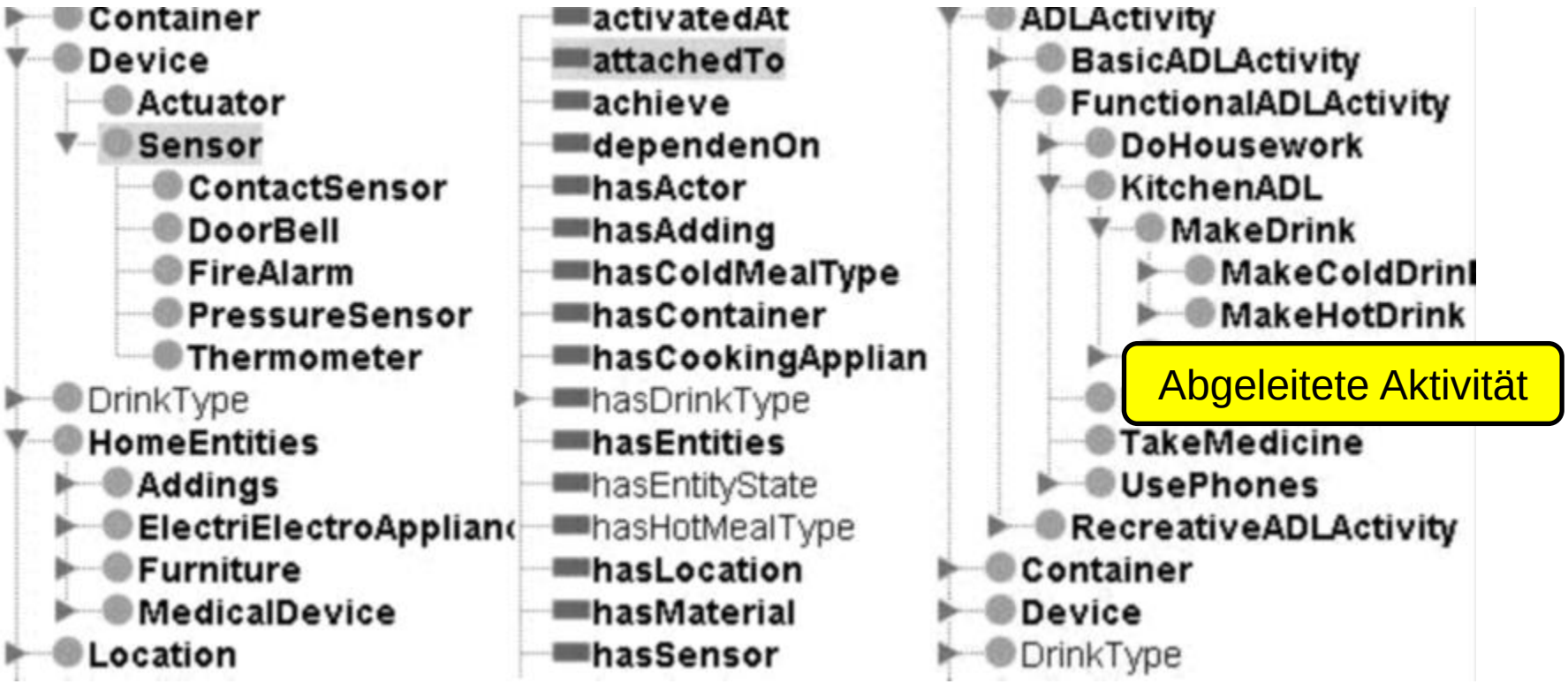
- Logikbasierte Verfahren
  1. Bibliothek von Aktivitätsmodellen mittels Logik erstellen, z.B. mit Description Logics (DL) oder Prädikatenlogik
  2. Aggregatation und Transformation von Sensordaten in Prädikate
  3. Reasoning (Deduktion, Subsumption)
- Nachteile
  - im Gegensatz zu statistischen Verfahren ist keine Unsicherheit (Messfehler, Erfolg von Aktionen, etc.) darstellbar
  - kein Lernen möglich

# Architektur

- Architektur nach [Chen & Khalil]



# Ontologie


Container
Device
Actuator
Sensor
ContactSensor
DoorBell
FireAlarm
PressureSensor
Thermometer
DrinkType
HomeEntities
Addings
ElectriElectroApplianc
Furniture
MedicalDevice
Location
activatedAt
attachedTo
achieve
dependenOn
hasActor
hasAdding
hasColdMealType
hasContainer
hasCookingApplian
hasDrinkType
hasEntities
hasEntityState
hasHotMealType
hasLocation
hasMaterial
hasSensor
ADLActivity
BasicADLActivity
FunctionalADLActivity
DoHousework
KitchenADL
MakeDrink
MakeColdDrinl
MakeHotDrink
TakeMedicine
UsePhones
RecreativeADLActivity
Container
Device
DrinkType
Abgeleitete Aktivität

# Reasoning mit FACT / Protege

Query:

Query (class expression)

hasLocation **some** Kitchen

Küchentür Sensor

Query results

Super classes (1)

ADLActivity

Sub classes (1)

KitchenADL

Instances (5)

UserA_Preferred_Water

UserA_Preferred_Chocolate

UserA_Preferred_Juice

UserA_Preferred_Tea

UserA_Preferred_Coffee

Query:

Query (class expression)

hasLocation **some** Kitchen **and**
hasContainer **some** Container **and**
hasAdding **some** Addings **and**
hasHotWater **some** HotWater

Container
Adding
HotWater

Super classes (1)

MakeDrink

Sub classes (1)

MakeHotDrink

Instances (3)

UserA_Preferred_Chocolate

UserA_Preferred_Tea

UserA_Preferred_Coffee

Query:

Query (class expression)

hasLocation **some** Kitchen **and**
hasContainer **some** Container **and**
hasAdding **some** Addings **and**
hasHotWater **some** HotWater **and**
hasHotDrinkType **some** Tea

Execute

Teebeutel

Query results

Super classes (1)

MakeHotDrink

Sub classes (1)

MakeTea

Instances (1)

UserA_Preferred_Tea

# Referenzen


- L. Chen and I. Khahil: Activity Recognition: Approaches, Practices and Trends. In: Chen & Khalil (Hrsg.) Activity Recognition in Pervasive Intelligent Environments. Springer, 2011.
  - http://link.springer.com/book/10.2991%2F978-94-91216-05-3
- Thomas Plötz, Paula Moynihan, Cuong Pham, and Patrick Olivier: Activity Recognition and Healthier Food Preparation. In: Chen & Khalil (Hrsg.) Activity Recognition in Pervasive Intelligent Environments. Springer, 2011.
- Michael Schneider: Resource-Aware Plan Recognition in Instrumented Environments. Dissertation, Universität des Saarlandes, 2010.
  - http://scidok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2010/2953/pdf/Dissertation_3367_Schn_Anto_2010.pdf