



Monitoring und Automatisierung im Gebäudebestand

Dr. Thomas Bernard

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und
Bildauswertung (Karlsruhe)

EnOB-Symposium 2014
Essen, 20.03.2014



Monitoring und Automatisierung im Gebäudebestand



e-MonAut



BOSCH
Technik fürs Leben

Bosch Thermotechnik



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

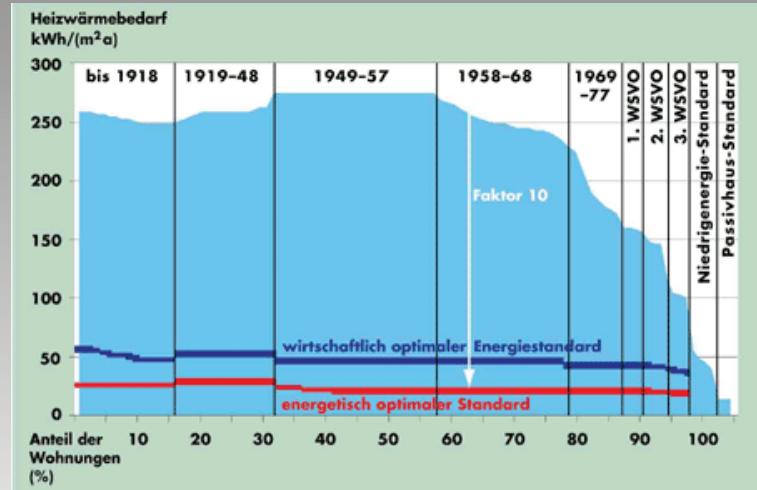
Fakultät Elektro- und
Informationstechnik



Institut für Werkstoffe im
Bauwesen

Motivation und Ziele

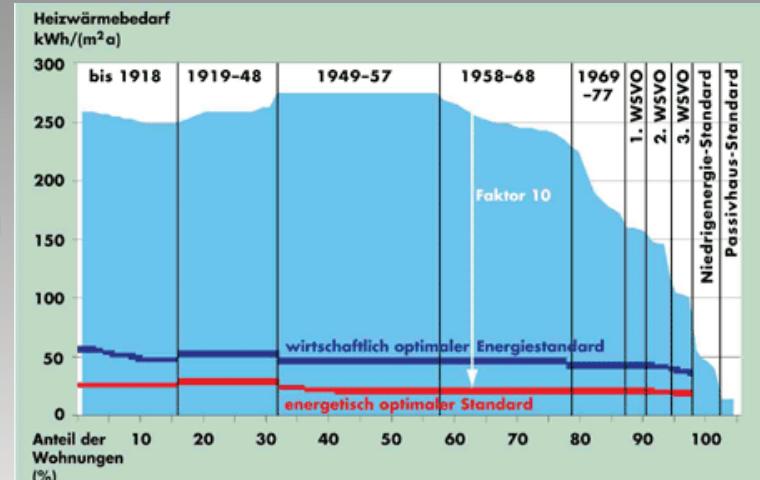
- 40 % des Endenergieverbrauchs für Konditionierung von Gebäuden
- Sanierungsrate nur etwa 1 %



Struktur des Gebäudebestands

Motivation und Ziele

- 40 % des Endenergieverbrauchs für Konditionierung von Gebäuden
- Sanierungsrate nur etwa 1 %



Struktur des Gebäudebestands

Zielstellungen:

- Senkung des Energieverbrauches durch geringinvestive Monitoring- und Automatisierungskonzepte
- Aktiver Schutz der Bausubstanz
- Berücksichtigung individueller Nutzerbedürfnisse

Ausgangslage

- Heizungsanlagen häufig nicht bedarfsgerecht eingestellt, da Nutzer mit optimaler Parametrierung überfordert sind
- Heizung und Lüftung oftmals unkoordiniert betrieben. Folgen: Bauwerksschäden, Schimmelbefall
- Wärmebereitstellung in Abhängigkeit der Außentemperatur entspricht nicht dem tatsächlichen Energiebedarf
- Nutzer erhalten zu spät Feedback über Heizosten



>>>>>>>>>> IHRE ABRECHNUNG <<<<<<<<<					
Aufteilung der Gesamtkosten von	Gesamtbetrag :	Gesamteinheiten =	Betrag/ Einheit	x Ihre Einheiten =	Ihre Kosten
8.698,98					
1. Heiz- und Warmwasserkosten					
Heizkosten	5.898,14				
davon					
30% Grundkosten Heizung	= 1.769,44	: 822,62 m ² Wohnfläche	2,150981 x 19,84 =		42,68
70% Verbrauchsk.Heizung	= 4.128,70	: 73.277,71 Kwh	0,056343 x 3.499,62 =		197,18
Heizkostenermittlung:					
Kosten Heizanlage	= 7.938,78	EUR			
- Warmwasser-Erwärmung	= 2.548,35	EUR			
+ Zusatzkosten Heizung	= 507,71	EUR			
= Heizkosten	= 5.898,14	EUR			
Warmwasserkosten	2.795,94				
davon					
30% Grundk. Warmwasser	= 836,78	: 822,62 m ² Wohnfläche = 1,019645 x 19,84 =	20,23		
70% Verbrauchsk.Warmw.	= 1.959,16	: 428,00 m ² Warmwasser = 4,572804 x 4,48 =	20,49		
Wärmwasserkostenermittlung: Erwärmung auf 80°C					
It. Formel § 9.2 Heizkostenverordnung					
2,5 x 428,00 m ² x (80C - 10) = 8350 lt.-D					

Ausgangslage

- Heizungsanlagen häufig nicht bedarfsgerecht eingestellt, da Nutzer mit optimaler Parametrierung überfordert sind
- Heizung und Lüftung oftmals unkoordiniert betrieben. Folgen: Bauwerksschäden, Energieverschwendungen
- Wärmebereitstellung in Abhängigkeit der Außentemperatur entspricht nicht dem tatsächlichen Energiebedarf
- Nutzer erhalten zu spät Feedback über Heizosten



>>>>>>>>>> IHRE ABRECHNUNG <<<<<<<<					
Aufteilung der Gesamtkosten von	Gesamtbetrag :	Gesamteinheiten =	Betrag/ Einheit	x Ihre Einheiten =	Ihre Kosten
8.698,98					
1. Heiz- und Warmwasserkosten					
Heizkosten	5.898,14				
davon					
30% Grundkosten Heizung	= 1.769,44	: 822,62 m ² Wohnfläche	= 2,150981 x 19,84 =		42,68
70% Verbrauchsk.Heizung	= 4.128,70	: 73.277,71 Kwh	= 0,056343 x 3.499,62 =		197,18
Heizkostenermittlung:					
Kosten Heizanlage	= 7.938,78	EUR			
- Warmwasser-Erwärmung	= 2.548,35	EUR			
+ Zusatzkosten Heizung	= 507,71	EUR			
= Heizkosten	= 5.898,14	EUR			
Warmwasserkosten	2.795,94				
davon					
30% Grundk. Warmwasser	= 836,78	: 822,62 m ² Wohnfläche = 1,019645 x 19,84 =		20,23	
70% Verbrauchsk.Warmw.	= 1.957,16	: 428,00 m ² Warmwasser = 4,572804 x 4,48 =		20,49	
Warmwasserkostenermittlung: Erwärmung auf 80°C					
It. Formel § 9.2 Heizkostenverordnung					
2,5 x 428,00 m ² x (80C-10) = 8.350 lt.-D					

Ausgangslage

- Heizungsanlagen häufig nicht bedarfsgerecht eingestellt, da Nutzer mit optimaler Parametrierung überfordert sind
- Heizung und Lüftung oftmals unkoordiniert betrieben. Folgen: Bauwerksschäden, Schimmelbefall
- Wärmebereitstellung in Abhängigkeit der Außentemperatur entspricht nicht dem tatsächlichen Energiebedarf
- Nutzer erhalten zu spät Feedback über Heizosten



>>>>>>>>>> IHRE ABRECHNUNG <<<<<<<<					
Aufteilung der Gesamtkosten von	Gesamtbetrag :	Gesamteinheiten =	Betrag/ Einheit	x Ihre Einheiten =	Ihre Kosten
8.698,98					
1. Heiz- und Warmwasserkosten					
Heizkosten	5.898,14				
davon					
30% Grundkosten Heizung	= 1.769,44	:	822,62 m ² Wohnfläche	= 2,150981 x 19,84 =	42,68
70% Verbrauchsk.Heizung	= 4.128,70	:	73.277,71 Kwh	= 0,056343 x 3.499,62 =	197,18
Heizkostenermittlung:					
Kosten Heizanlage	= 7.938,78	EUR			
- Warmwasser-Erwärmung	= 2.548,35	EUR			
+ Zusatzkosten Heizung	= 507,71	EUR			
= Heizkosten	= 5.898,14	EUR			
Warmwasserkosten	2.795,94				
davon					
30% Grundk. Warmwasser	= 836,78	:	822,62 m ² Wohnfläche = 1,019645 x 19,84 =	20,23	
70% Verbrauchsk.Warmw.	= 1.957,16	:	428,00 m ² Warmwasser = 4,572804 x 4,48 =	20,49	
It. Formel § 9.2 Heizkostenverordnung					
2,5 x 428,00 m ² x (60C-10)	= 0,350 ltr.-D				

Ausgangslage

- Heizungsanlagen häufig nicht bedarfsgerecht eingestellt, da Nutzer mit optimaler Parametrierung überfordert sind
- Heizung und Lüftung oftmals unkoordiniert betrieben. Folgen: Bauwerksschäden, Schimmelbefall
- Wärmebereitstellung in Abhängigkeit der Außentemperatur entspricht nicht dem tatsächlichen Energiebedarf
- Nutzer erhalten zu spät Feedback über Heizosten

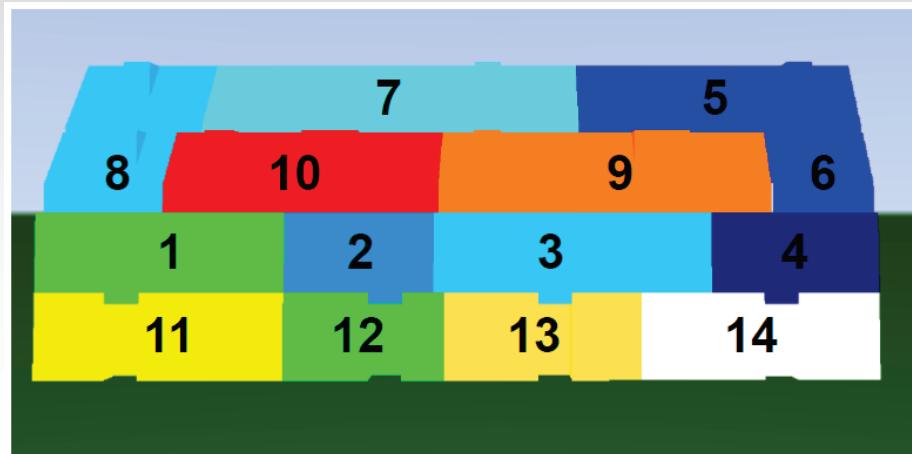


>>>>>>>>>> IHRE ABRECHNUNG <<<<<<<<<					
Aufteilung der Gesamtkosten von	Gesamtbetrag :	Gesamteinheiten =	Betrag/ Einheit	x Ihre Einheiten	= Ihre Kosten
8.698,98					
1. Heiz- und Warmwasserkosten					
Heizkosten	5.898,14				
davon					
30% Grundkosten Heizung	= 1.769,44	:	822,62 m ² Wohnfläche	: 2,150981 x 19,84 =	42,68
70% Verbrauchsk.Heizung	= 4.128,70	:	73.277,71 Kwh	: 0,056343 x 3.499,62 =	197,18
Heizkostenberechnung:					
Kosten Heizanlage	= 7.938,78	EUR			
- Warmwasser-Erwärmung	= 2.548,35	EUR			
+ Zusatzkosten Heizung	= 507,71	EUR			
= Heizkosten	= 5.898,14	EUR			
Warmwasserkosten	2.795,94				
davon					
30% Grundk. Warmwasser	= 836,78	:	822,62 m ² Wohnfläche	: 1,019645 x 19,84 =	20,23
70% Verbrauchsk.Warmw.	= 1.957,16	:	428,00 m ² Warmwasser	: 4,572804 x 4,48 =	20,49
It. Formel § 9.2 Heizkostenverordnung					
2,5 x 428,00 m ² x (60C-10)	= 350 ltr.-D				

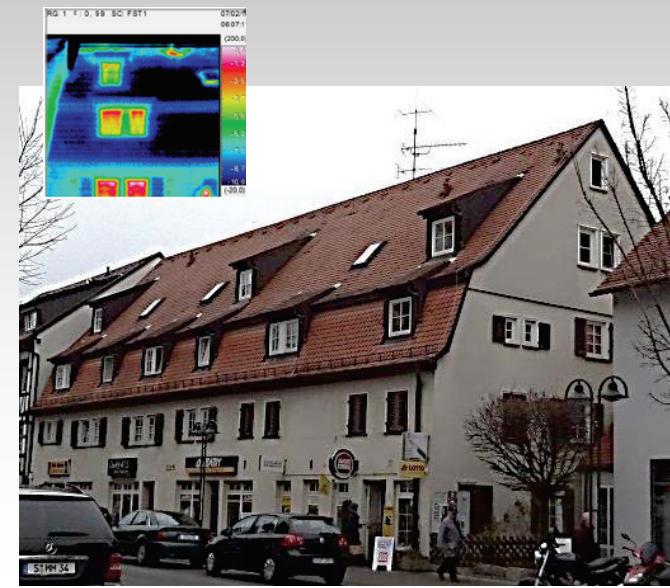
Demonstrator-Gebäude

- Denkmalgeschütztes Gebäude in Stuttgart-Wangen
- 14 Einheiten (gewerblich, privat, Hotel-Apartments)
- Bauphysikalische Untersuchungen zur Gebäudehülle, Modellierung und Simulation

Energieverbrauch der Wohneinheiten



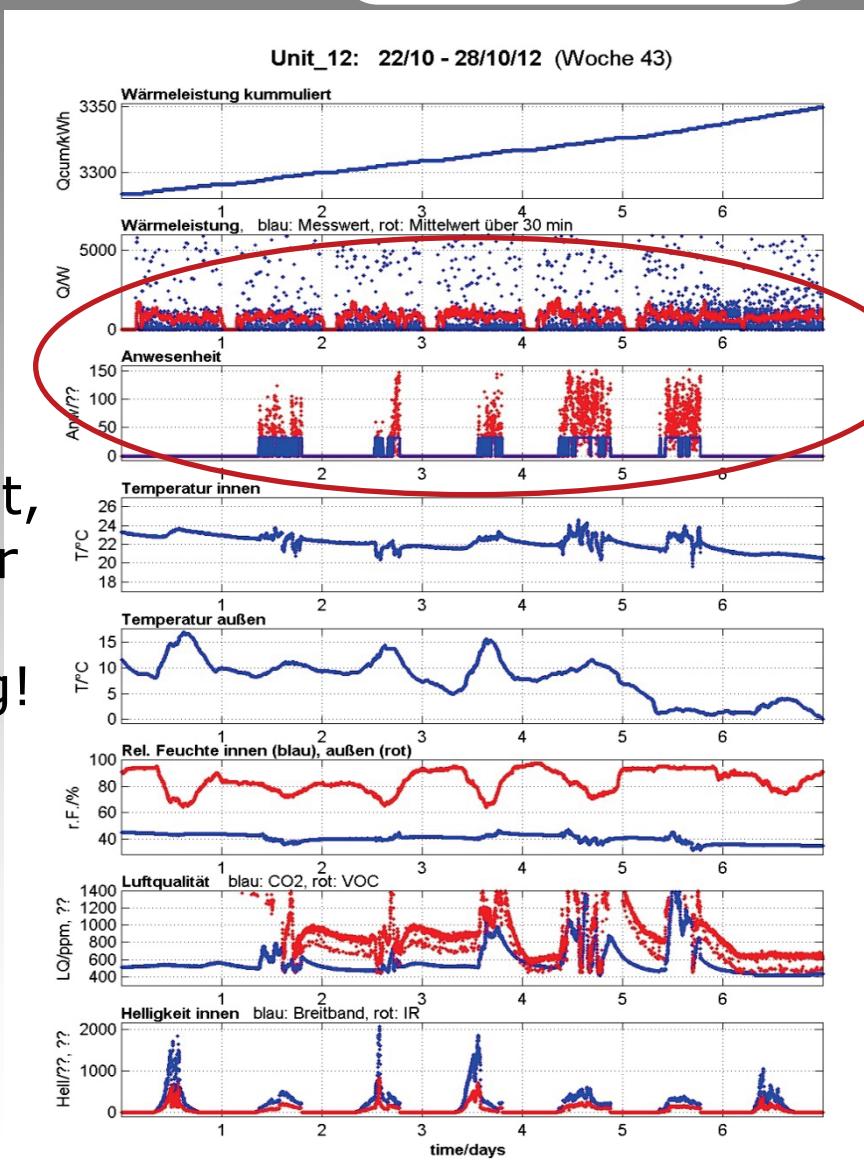
kWh/(m ² ·a)
0
8
20
23
29
31
38
44
65
66
78
111
128
166



Einfluss Nutzerverhalten

- Oft kontinuierlicher Betrieb der Heizung auch bei Abwesenheit, unabhängig von Außentemperatur
→ enorme Energieverschwendungen!

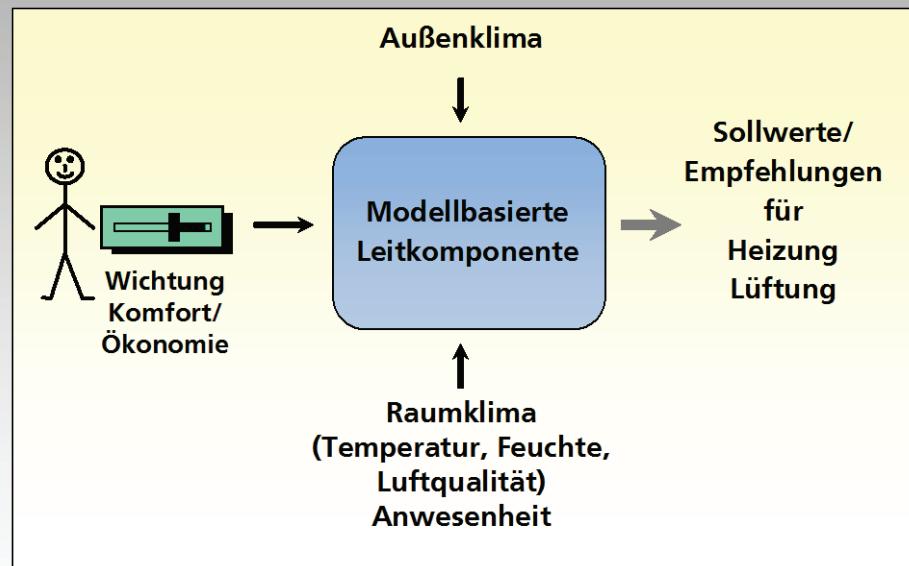
Messergebnis einer Wohneinheit
aus 2012, KW 43



Lösungskonzept

Ziel: Bedarfsgerechtes Heizen und Lüften

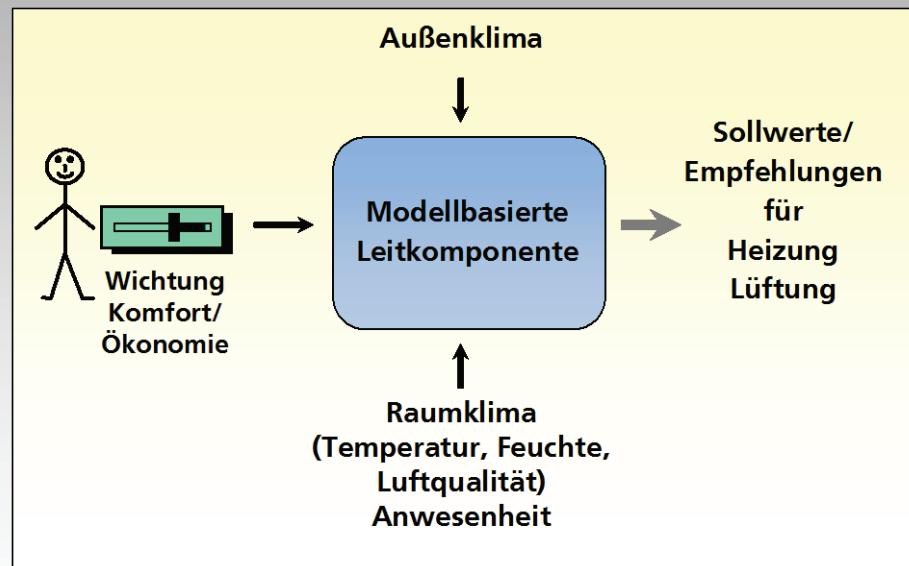
- Generierung von Sollwerten oder Empfehlungen für Heizung und Lüftung
- Funk-basiertes Sensor- und Aktornetzwerk
- Selbstlernende Komponenten, online mitlaufende Modelle
- Einfachste Bedienbarkeit (z.B. über Kosten-Komfort-Schieber, keine Programmierung!)



Lösungskonzept

Ziel: Bedarfsgerechtes Heizen und Lüften

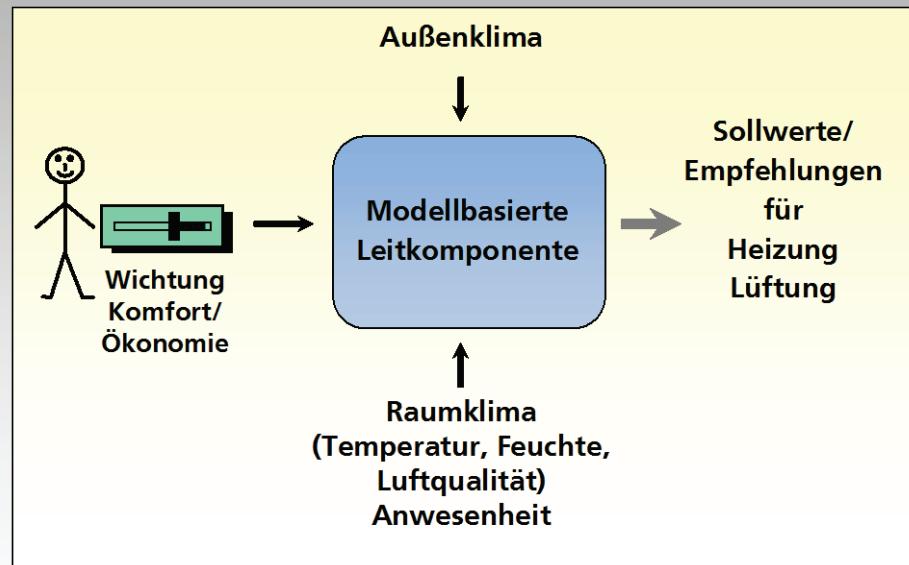
- Generierung von Sollwerten oder Empfehlungen für Heizung und Lüftung
- Funk-basiertes Sensor- und Aktornetzwerk
- Selbstlernende Komponenten, online mitlaufende Modelle
- Einfachste Bedienbarkeit (z.B. über Kosten-Komfort-Schieber, keine Programmierung!)



Lösungskonzept

Ziel: Bedarfsgerechtes Heizen und Lüften

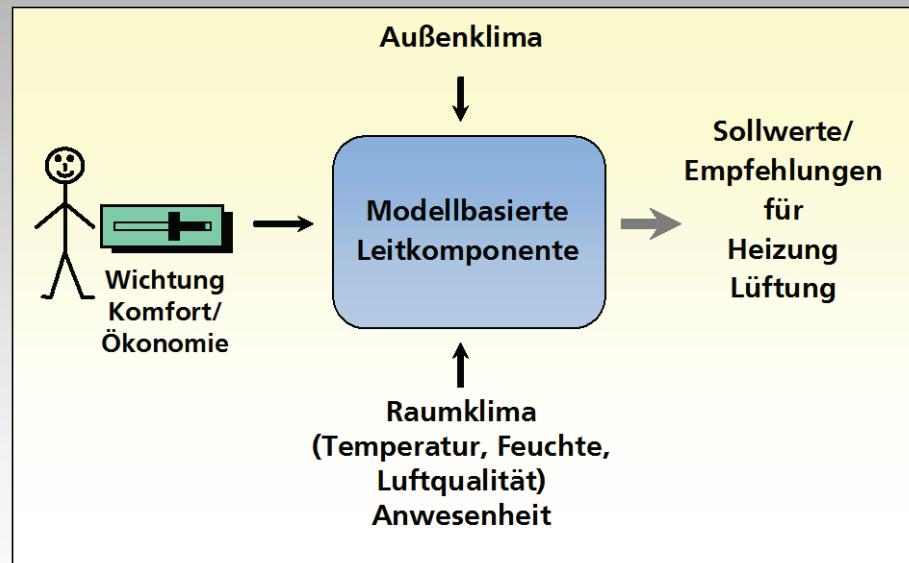
- Generierung von Sollwerten oder Empfehlungen für Heizung und Lüftung
- Funk-basiertes Sensor- und Aktornetzwerk
- Selbstlernende Komponenten, online mitlaufende Modelle
- Einfachste Bedienbarkeit (z.B. über Kosten-Komfort-Schieber, keine Programmierung!)



Lösungskonzept

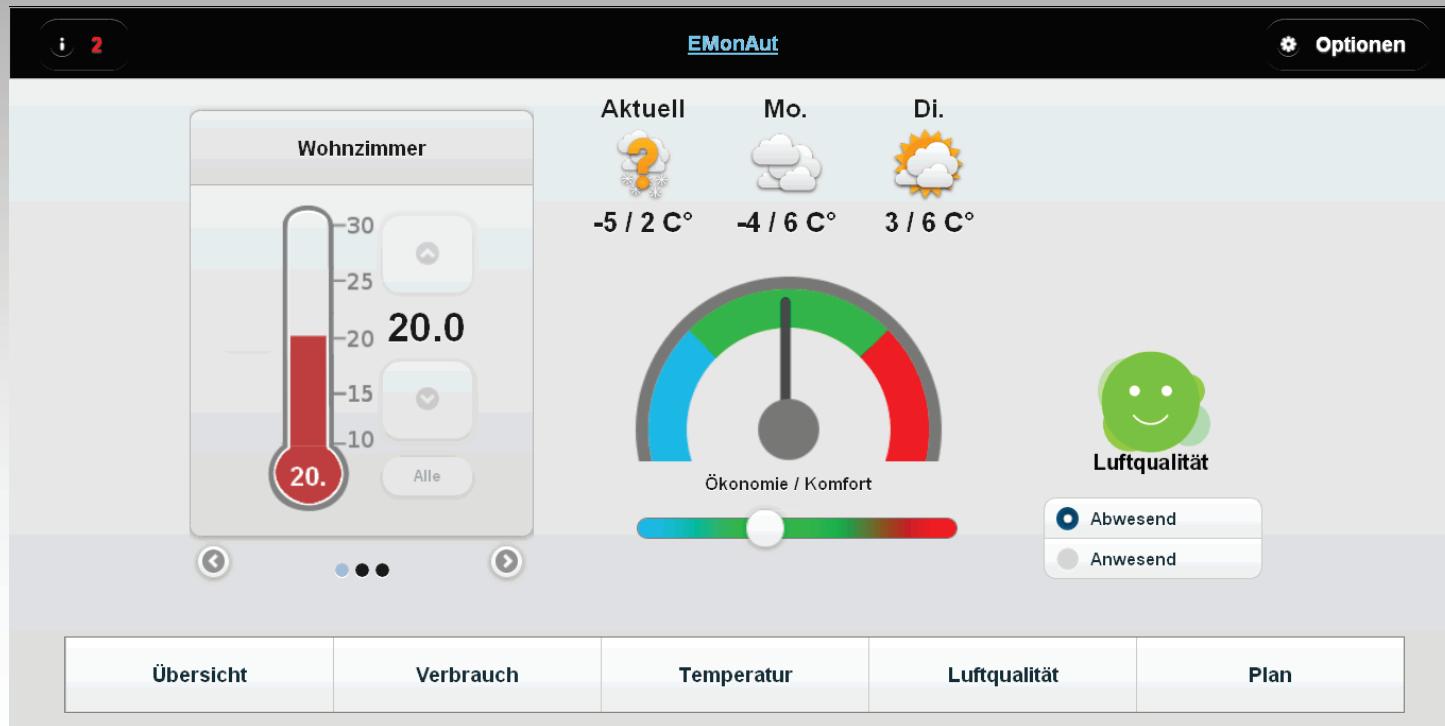
Ziel: Bedarfsgerechtes Heizen und Lüften

- Generierung von Sollwerten oder Empfehlungen für Heizung und Lüftung
- Funk-basiertes Sensor- und Aktornetzwerk
- Selbstlernende Komponenten, online mitlaufende Modelle
- Einfachste Bedienbarkeit (z.B. über Kosten-Komfort-Schieber, keine Programmierung!)



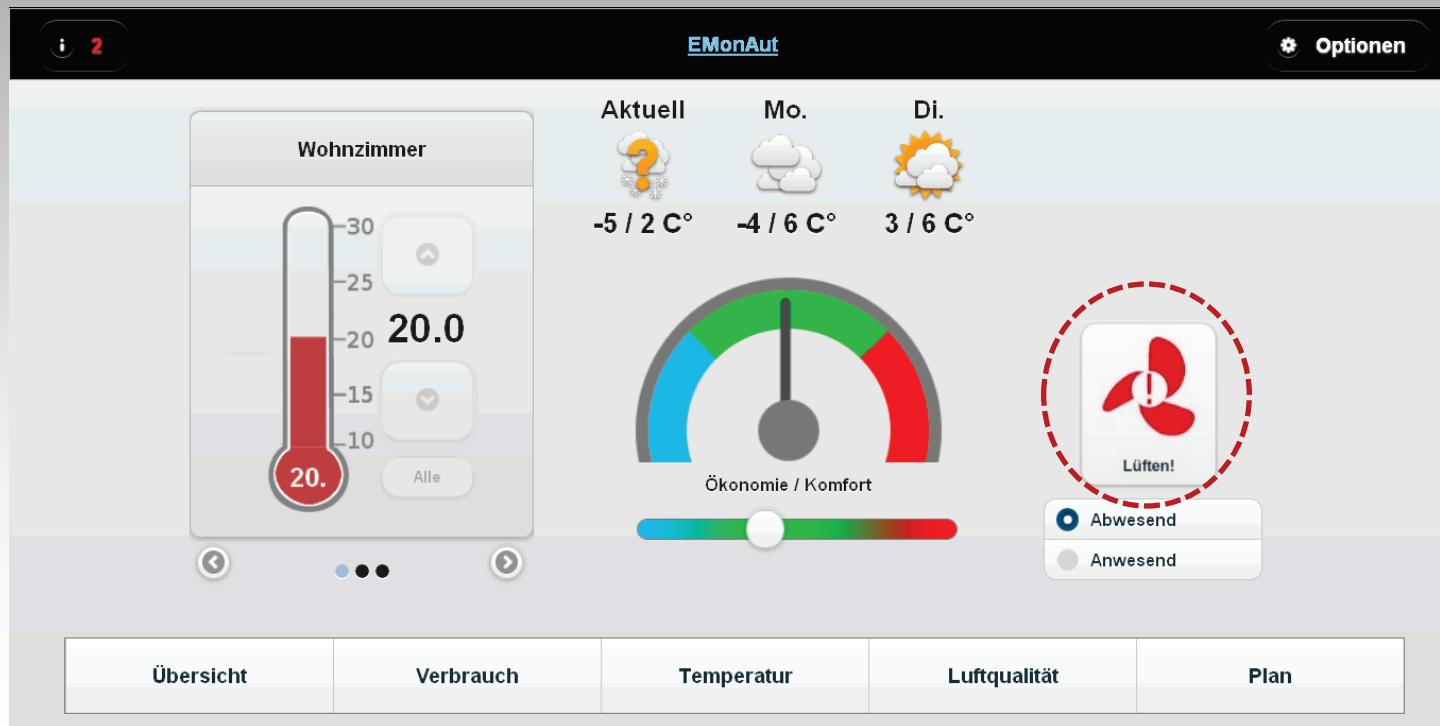
Bedienoberfläche

- Tablet-PC, mit Internet-Zugang



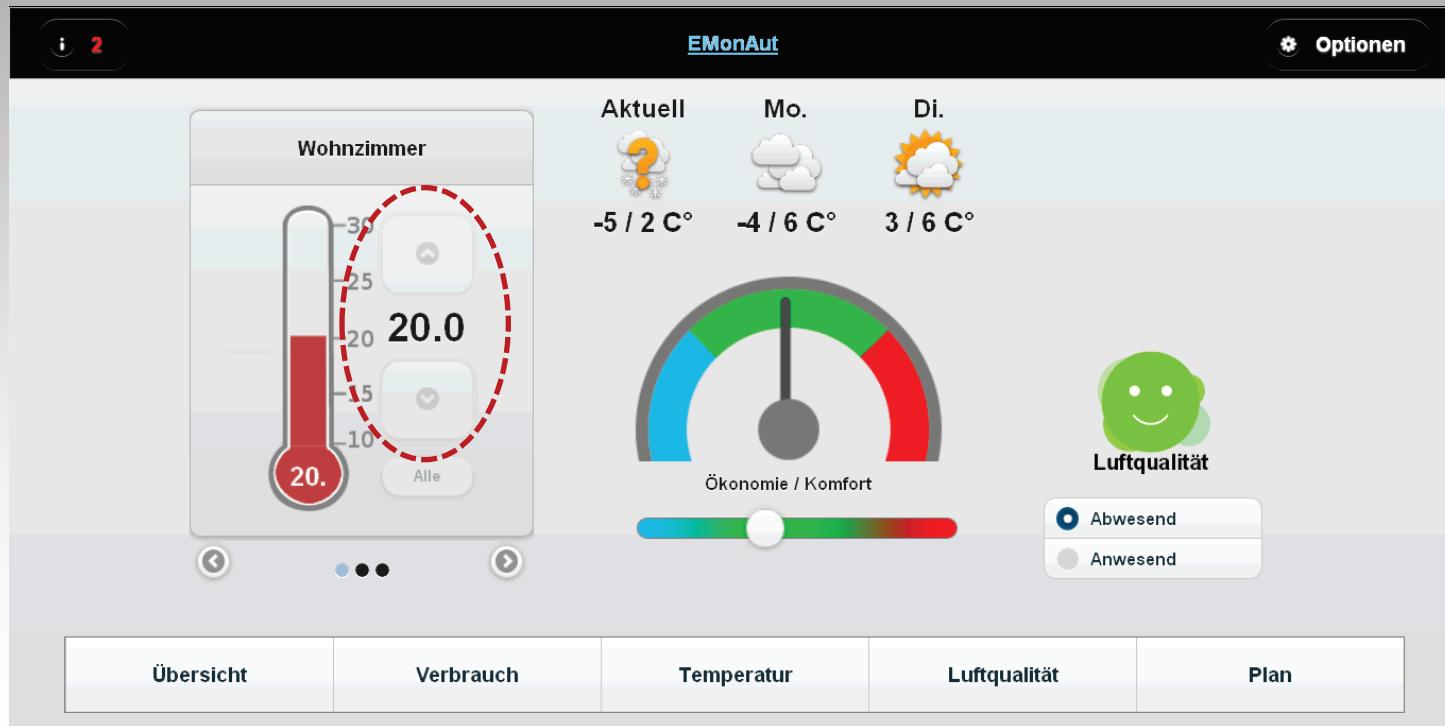
Bedienoberfläche

- System gibt Lüftungsempfehlung oder steuert Lüftung an



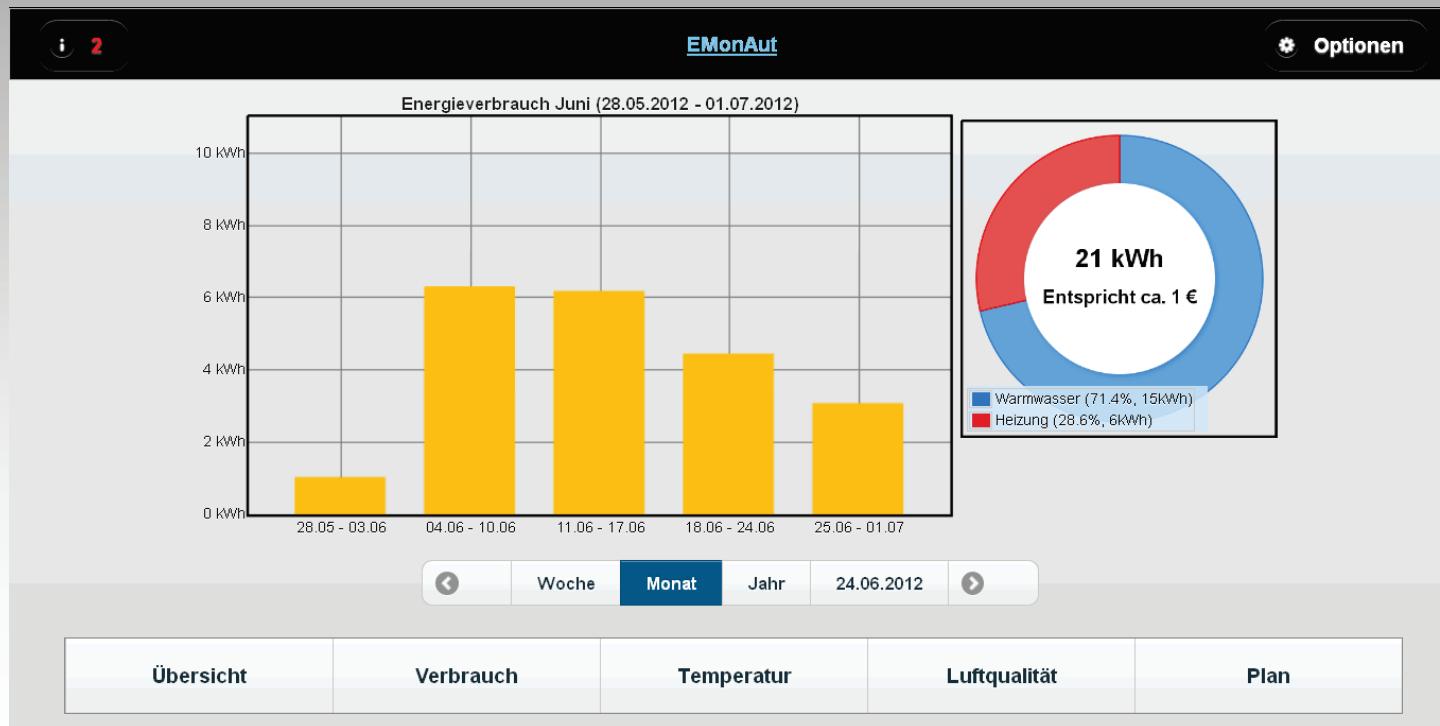
Bedienoberfläche

- Nutzer kann Automatik leicht überstimmen
- System lernt aus Nutzereingriffen



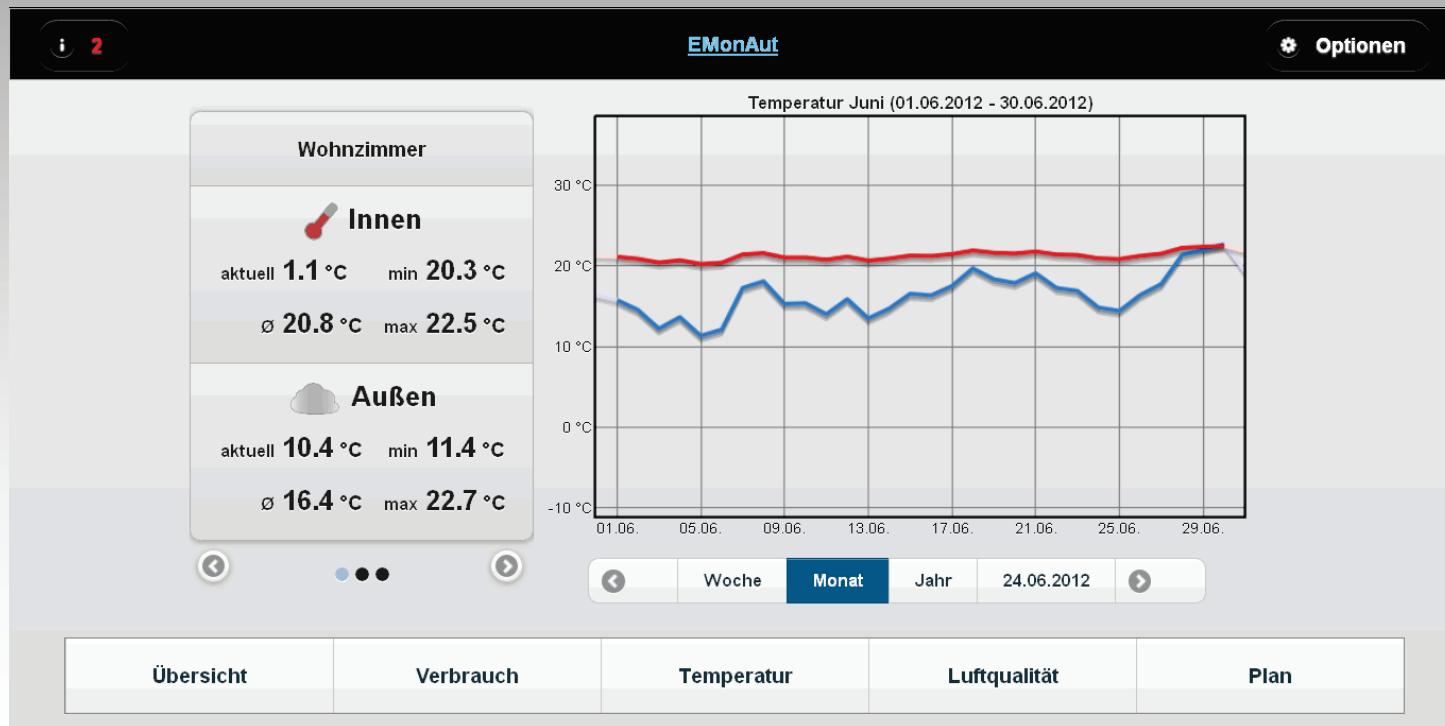
Bedienoberfläche

■ Anzeige Energieverbrauch



Bedienoberfläche

■ Anzeige Temperaturen



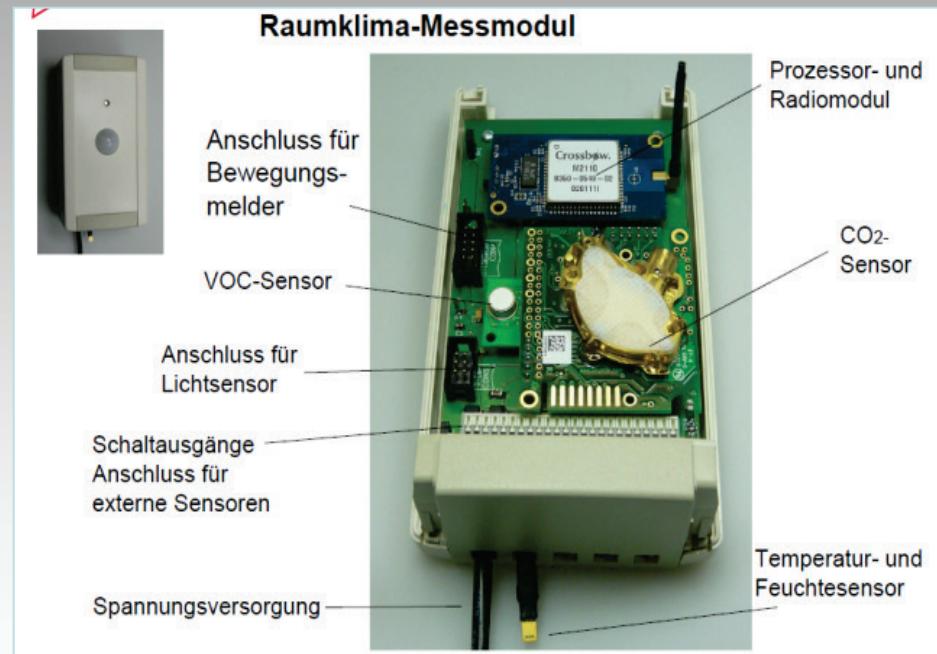
Sensorik

Funkbasiertes Raumklima-Sensormodul (Hochschule Karlsruhe)

- Temperatur
- rel. Feuchte
- Luftqualität (CO₂, VOC)
- Helligkeit
- Bewegungsmelder

Kommerzielle Sensoren:

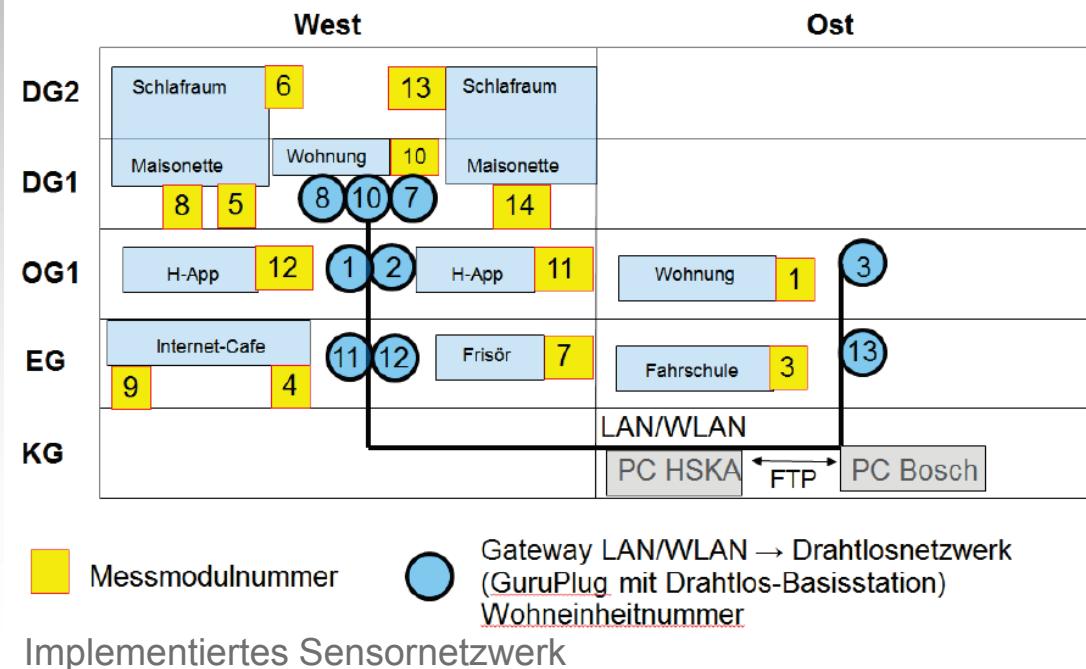
- Wärmemengenzähler
- Außenklima



Drahtlose Datenübertragung

- Internet-Protokoll für drahtlose Netzwerke
(6LoWPAN: IPv6 low power wireless personal area network)
- Protokoll-Stack TinyOS Blip (Berkely low power internet protocol)

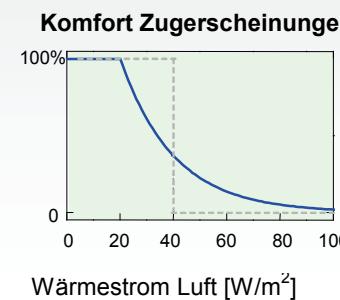
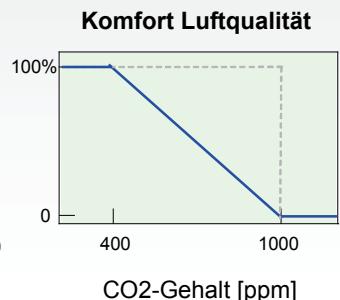
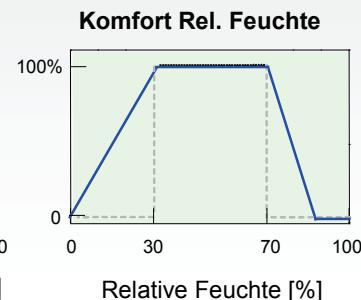
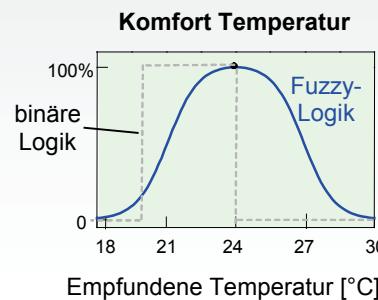
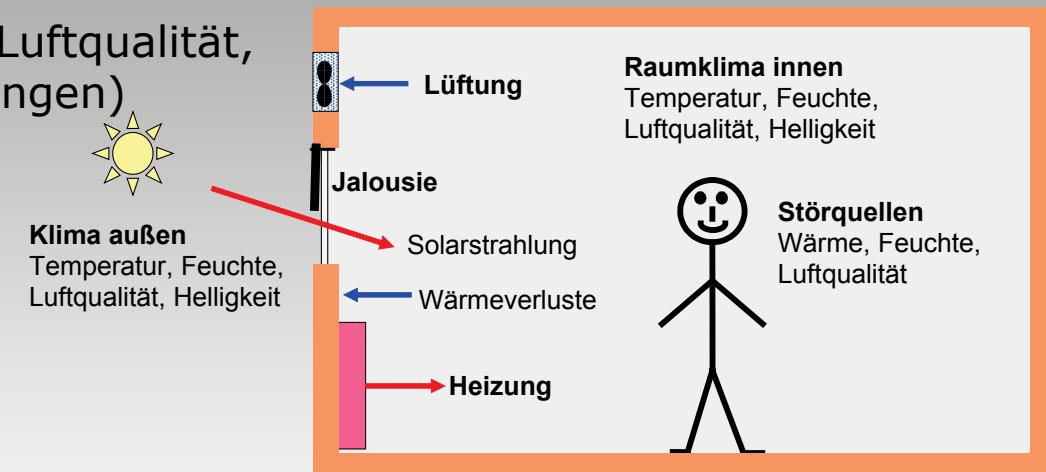
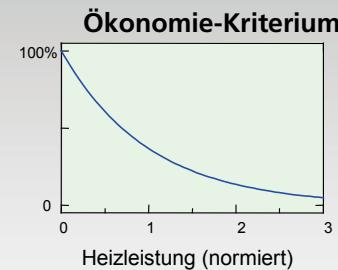
- Probleme mit
Protokoll-Stacks
→ robuster Betrieb
nur mit automatisiertem
Hardware-Reset möglich



Optimierung auf Raumebene

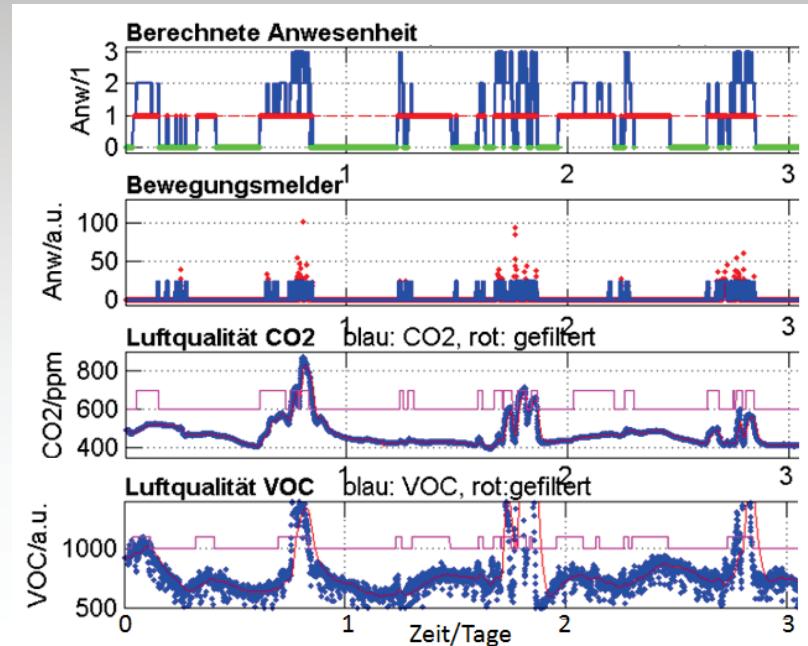
- Berücksichtigung von Ökonomiekriterium sowie Komfortkriterien mittels Fuzzy-Logik

(empfundene Temperatur, Luftqualität, rel. Feuchte, Zugescheinungen)



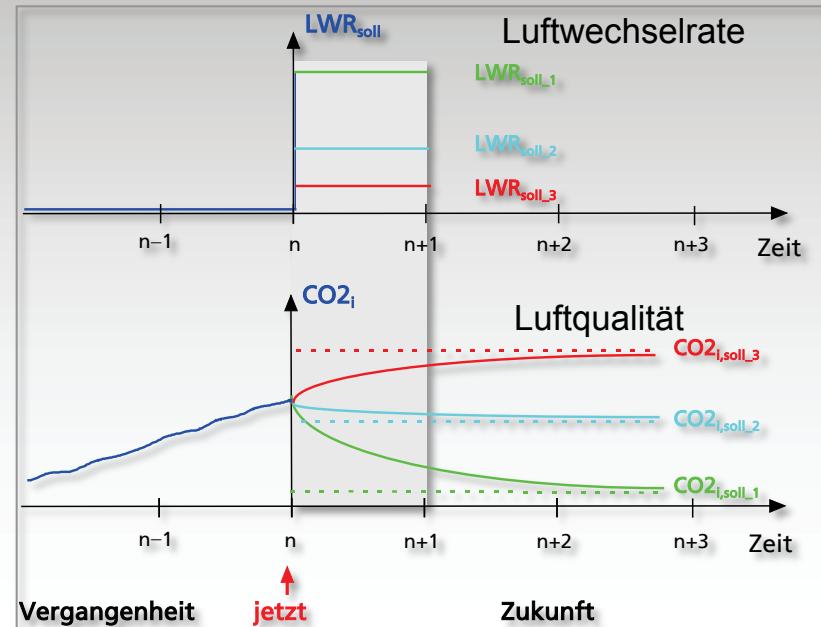
Echtzeitfähige Modelle

- Anwesenheitserkennung aus Bewegungsmelder und Luftqualität; Anlernen von Anwesenheitsprofilen
- Prädiktive Modellkomponenten berechnen Auswirkung von Heizen und Lüften hinsichtlich Ökonomie und Komfort
- Echtzeitfähiges Modell der Wand-Temperaturschichtung
→ Schutz der Bausubstanz



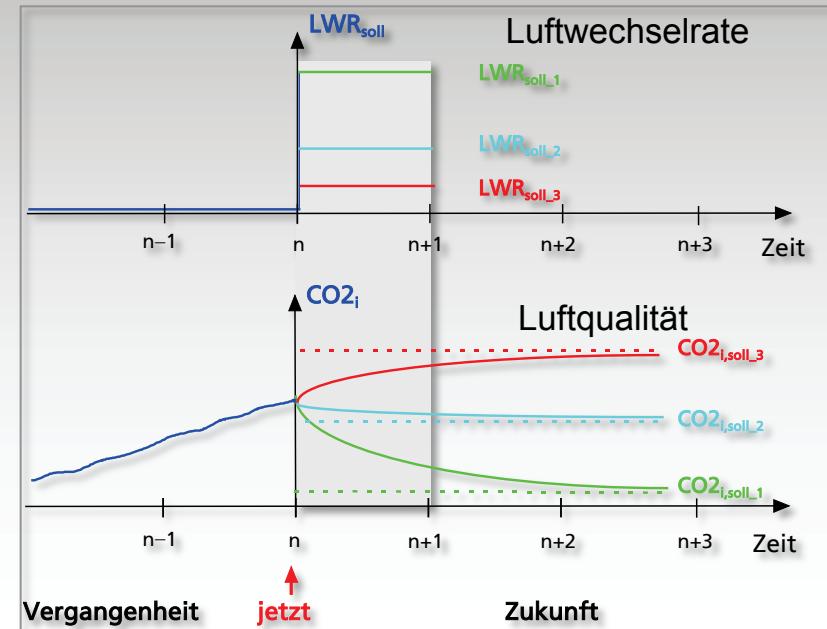
Echtzeitfähige Modelle

- Anwesenheitserkennung aus Bewegungsmelder und Luftqualität; Anlernen von Anwesenheitsprofilen
- Prädiktive Modellkomponenten berechnen Auswirkung von Heizen und Lüften hinsichtlich Ökonomie und Komfort
- Echtzeitfähiges Modell der Wand-Temperaturschichtung
→ Schutz der Bausubstanz



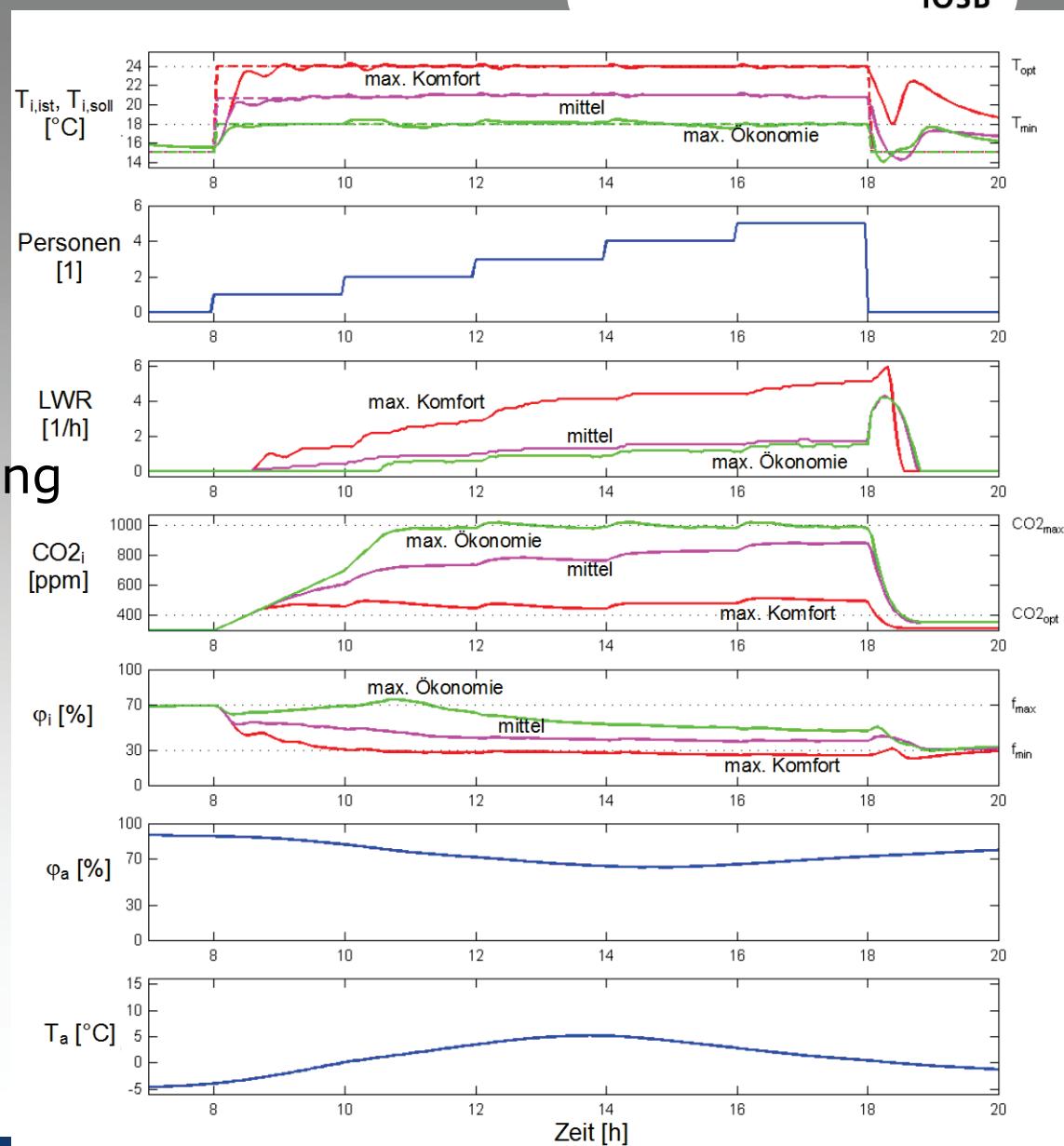
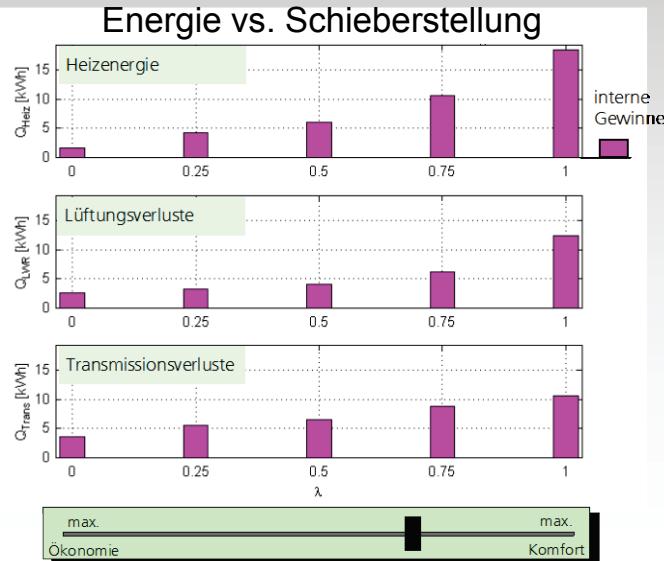
Echtzeitfähige Modelle

- Anwesenheitserkennung aus Bewegungsmelder und Luftqualität; Anlernen von Anwesenheitsprofilen
- Prädiktive Modellkomponenten berechnen Auswirkung von Heizen und Lüften hinsichtlich Ökonomie und Komfort
- Echtzeitfähiges Modell der Wand-Temperaturschichtung
→ Berechnung Taupunkt, Schutz der Bausubstanz



Simulation Wintertag

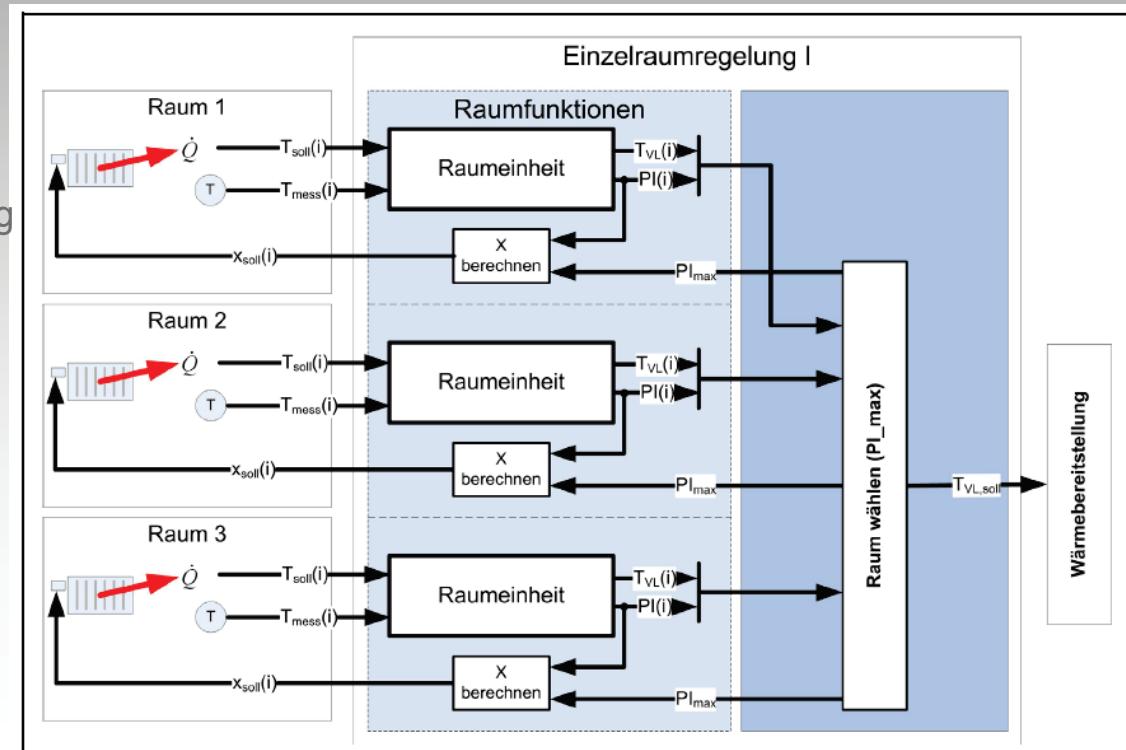
■ Analyse Einfluss Kosten-Komfort-Wichtung



Optimierung Wärmebereitstellung

- Wärmebedarf wird raumweise berechnet
(über Soll-/Istwert Temperatur, Ventilstellung)
und an Heizkessel übermittelt

Neues Ventil mit Erfassung der Ventilstellung
(Bosch Thermotechnik, Prototyp)

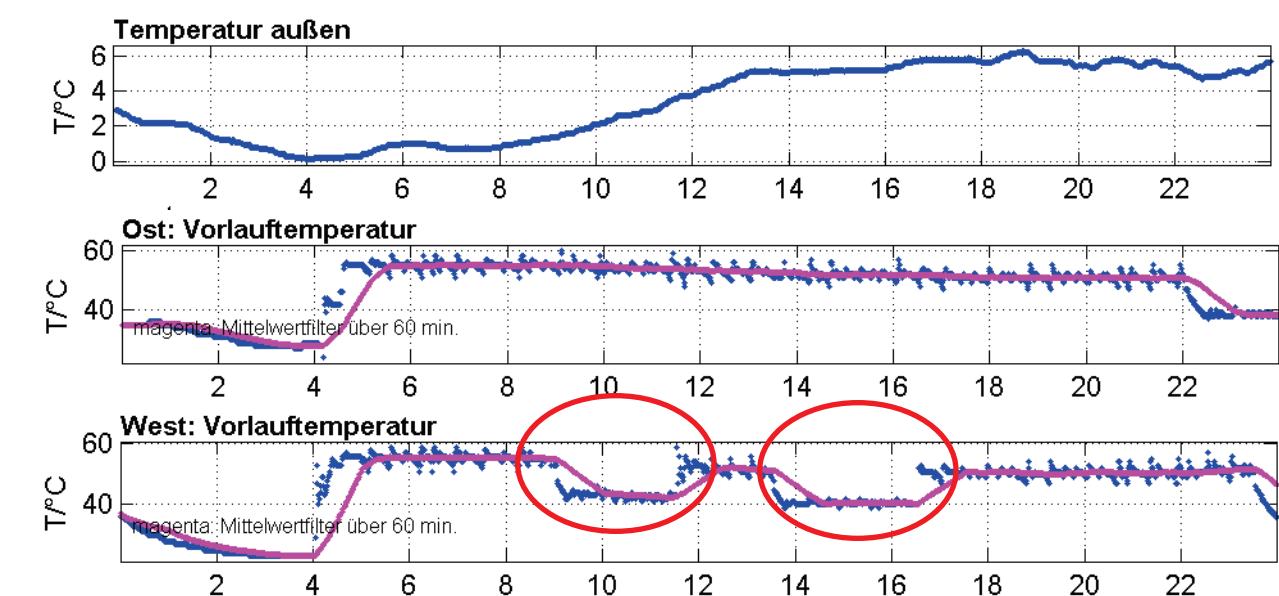


Adaption Vorlauftemperatur

- Exemplarischer Tagesverlauf (5.2.2014)

Ohne Adaption
(Heizstrang Ost)

Mit Adaption
(Heizstrang Ost)

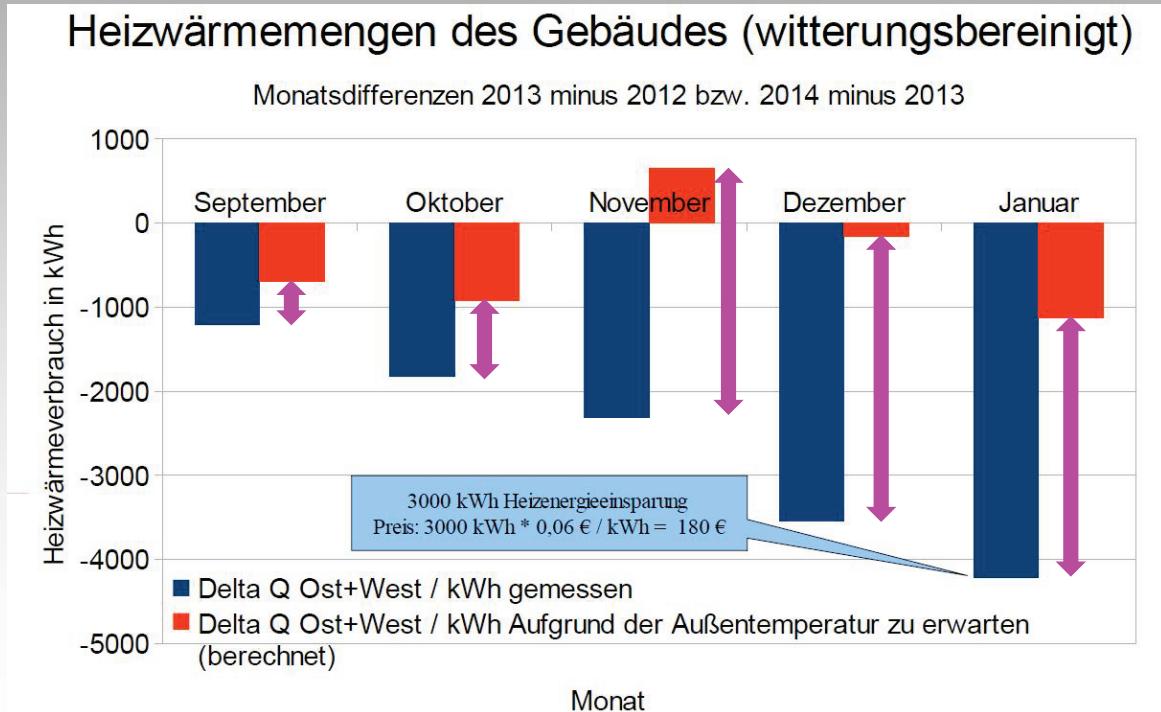


→ bedarfsgerechte Energiebereitstellung

Erzielte Energieeinsparung

- Vergleich 2012 (ohne Optimierung) mit 2013 (mit Optimierung)

- tatsächliche Differenz 2013 zu 2012
- zu erwartende Differenz 2013 zu 2012 ohne Optimierung
- witterungsbereinigte Energieeinsparung durch Optimierung



→ deutliche Energie-Einsparung (witterungsbereinigt ca. 20%)

Zusammenfassung und Ausblick

- Gewerkeübergreifende Monitoring- und Automatisierungskonzepte erfolgreich realisiert, in Simulationen und in Demonstratorobjekt untersucht
- Energie-Einsparung von ca. 20%

Herausforderungen und Chancen für breite Anwendung:

- Aufwand für Inbetriebnahme bisher noch hoch
- Einfacherer Zugang zu Schnittstellen (z.B. Kessel) notwendig
- Energieautarke Sensoren / Aktoren sind wichtig!
- Synergieeffekte durch Nutzung neuer funk-basierter Plattformen (z.B. Qivicon von Telekom)
- Anbindung an neue Produkte möglich (z.B. en:key, tado)



e-MonAut
www.emonaut.de

Zusammenfassung und Ausblick

- Gewerkeübergreifende Monitoring- und Automatisierungskonzepte erfolgreich realisiert, in Simulationen und in Demonstratorobjekt untersucht
- Energie-Einsparung von ca. 20%

Herausforderungen und Chancen für breite Anwendung:

- Aufwand für Inbetriebnahme bisher noch hoch
- Einfacherer Zugang zu Schnittstellen (z.B. Kessel) notwendig
- Energieautarke Sensoren / Aktoren sind wichtig!
- Synergieeffekte durch Nutzung neuer funk-basierter Plattformen (z.B. Qivicon von Telekom)
- Anbindung an neue Produkte möglich (z.B. en:key, tado)



e-MonAut
www.emonaut.de

Vielen Dank!

Thomas.Bernard@iosb.fraunhofer.de



e-MonAut

www.emonaut.de