

Prädiktive Gebäudeautomation und Einbindung von Wetterprognosen

Forum Energie Zürich, Fachgruppe Betriebsoptimierung
19.9.2018

Dr. Conrad Gähler
Siemens Schweiz AG
Building Technologies Division
Control Products & Systems
conrad.gaehler@siemens.com

Inhalt

- Einführung Prädiktive (= vorausschauende) Regelung
- Prädiktive Heizungsregelung in Desigo
 - Anwendung und Ziele
 - Funktion konventionelle und prädiktive Heizungsregelung
 - Simulationsvergleich konventionelle und prädiktive Heizungsregelung
 - Nutzen
- Einbindung von Wetterprognosen in Desigo
- Forschungsprojekte: Seestadt Aspern
- Fragen und Diskussion

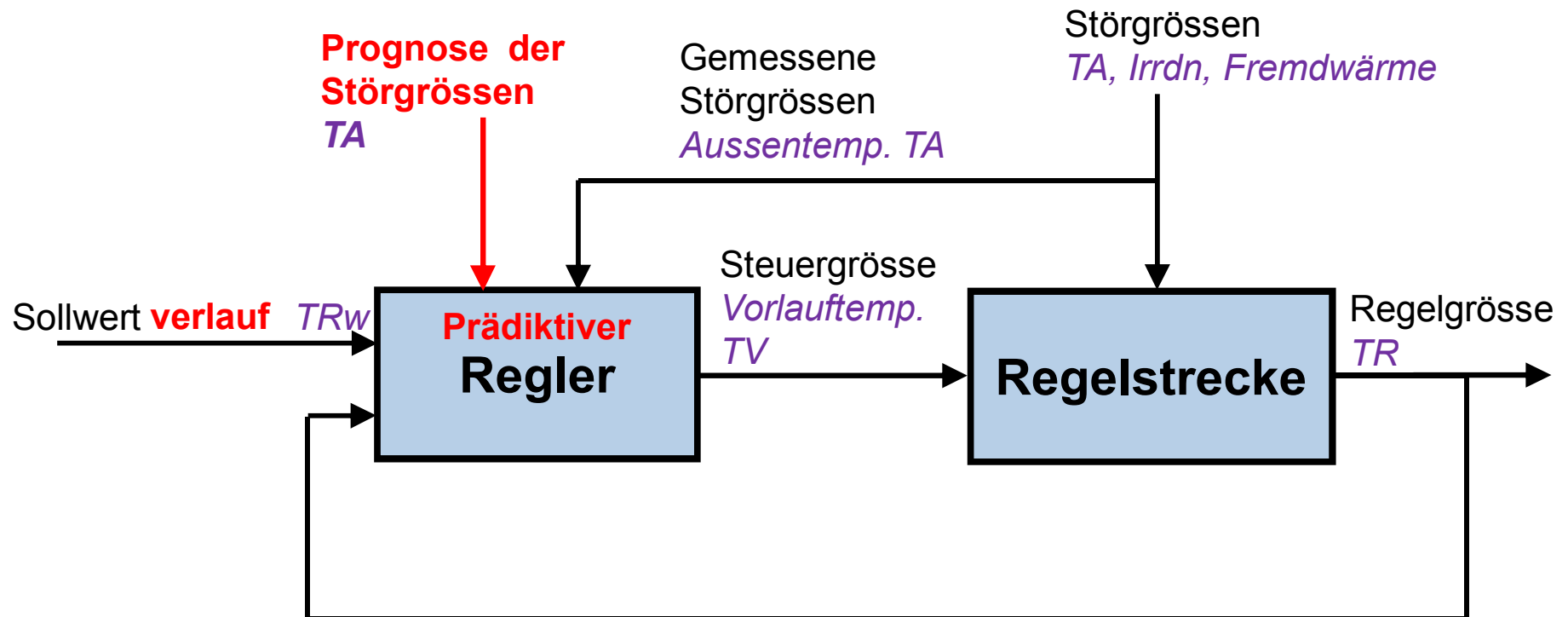
Prädiktive Regelung: Einführung



Allgemeine Regelung und **prädiktive** Regelung

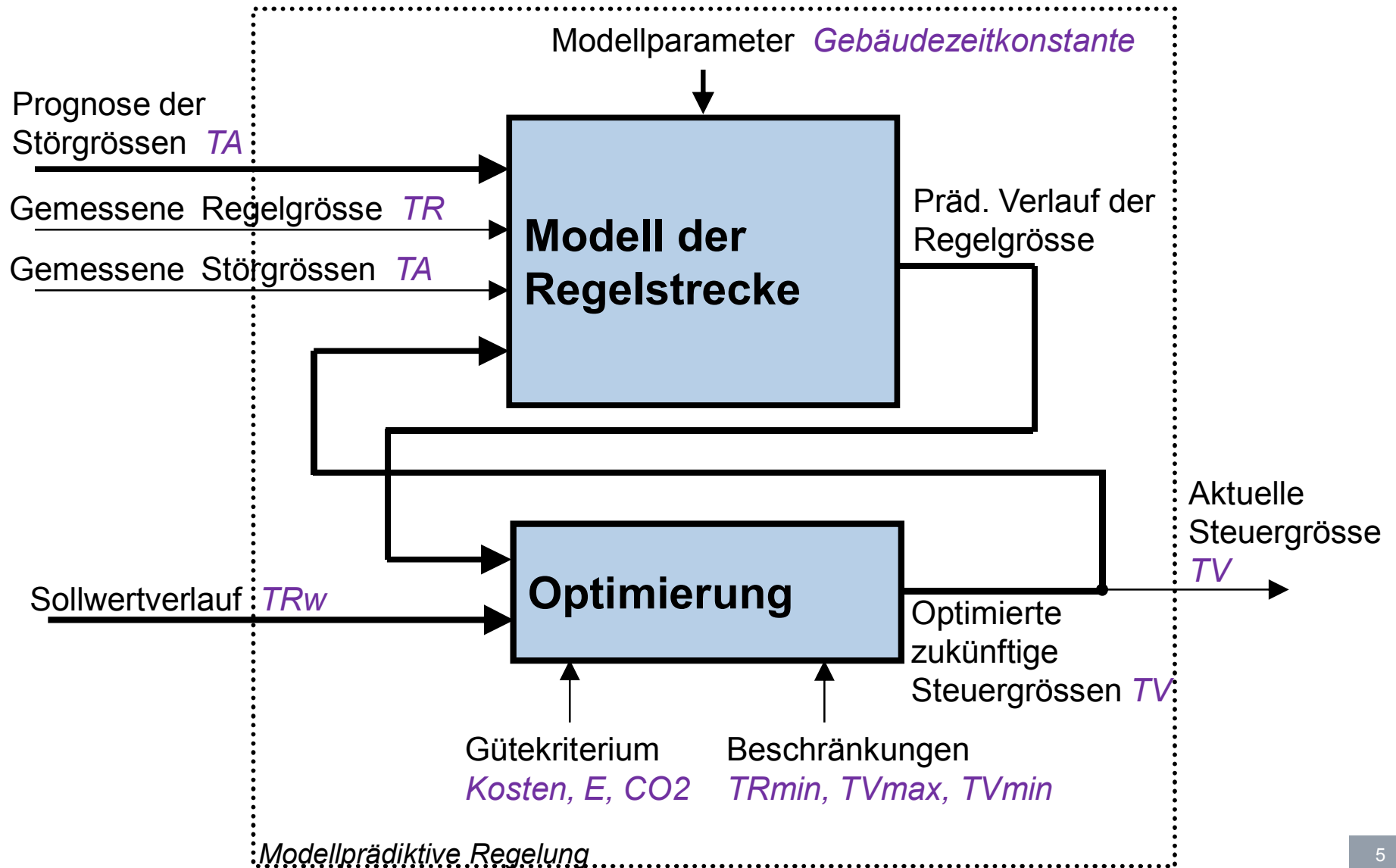
Konzept (1) allgemein, *Beispiel Regelung TR*

TR = Raumtemperatur
Irrdn = Irradiation



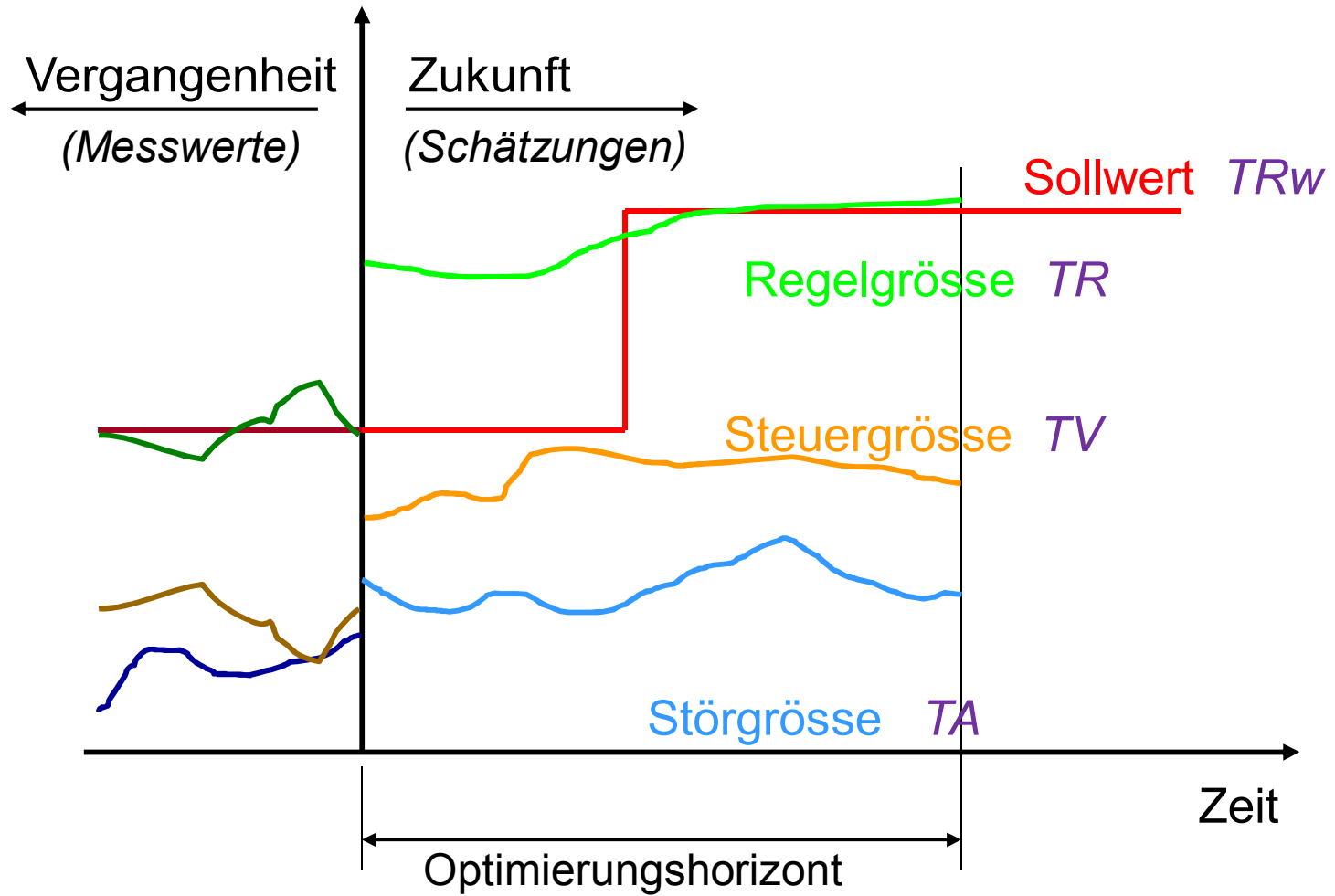
Modellprädiktive Regelung

Konzept (2), *Beispiel Regelung TR*



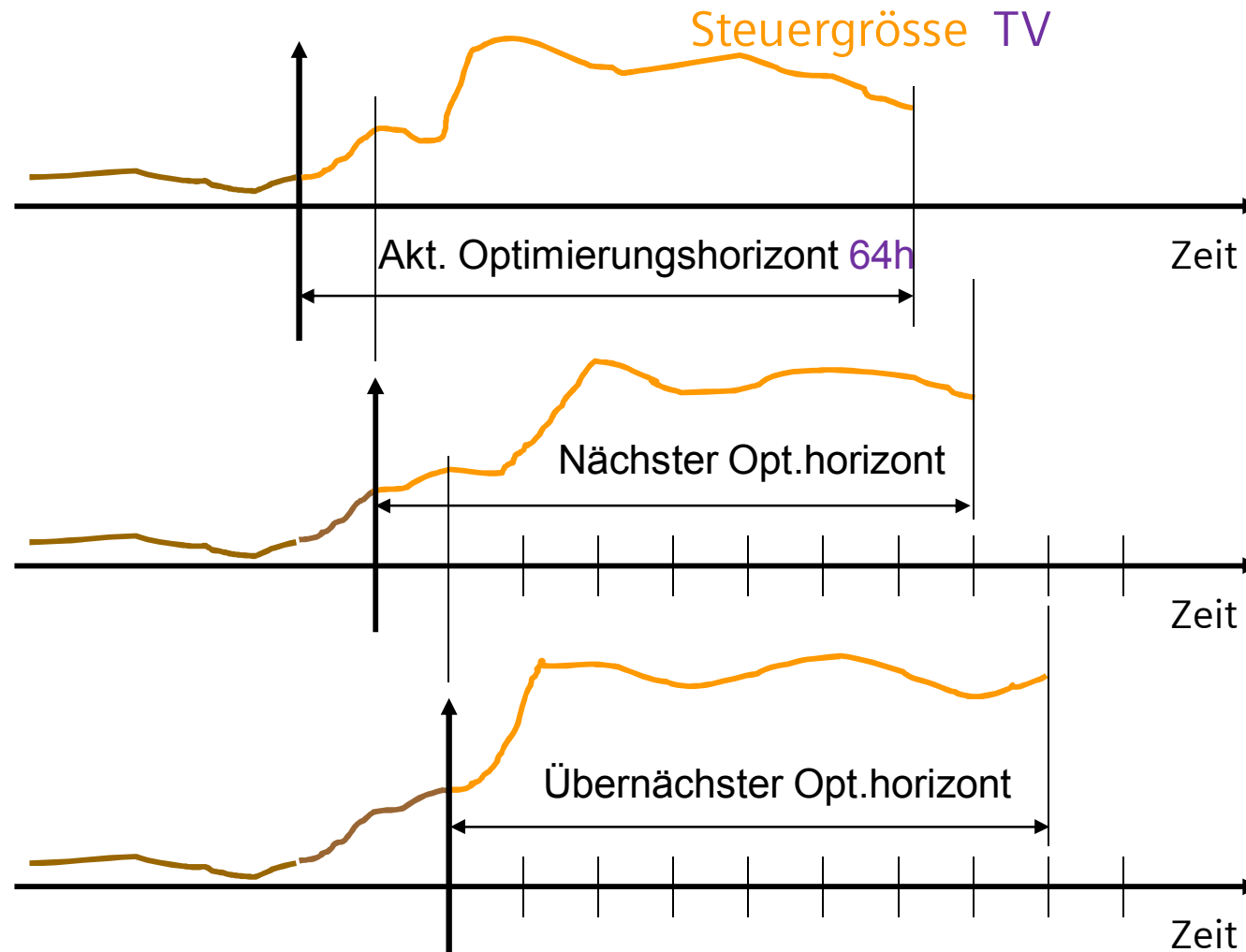
Modellprädiktive Regelung

Konzept (3): Zeitverläufe



Modellprädiktive Regelung

Konzept (4): Receding Horizon



Lineare Programmierung zur Lösung
des Optimierungsproblems

x

(Im Wesentlichen) Vorlauftemperaturen für diskrete
Zeitpunkte im aktuellen Optimierungshorizont

minimiere $q(x) = f^T x$
 $x \in \mathbb{R}^n$

(i) $A_1 x \leq b_1$

(ii) $A_2 x = b_2$

(iii) $x \geq 0$

Kostenfunktion $q(x)$: Das, was der Optimizer minimiert

- z.B. monetäre Kosten (CHF) oder Integral über Vorlauftemperatur

Ungleichungen (i)

- Beschränkungen der Raumtemperatur gegen unten: $TR \geq SpTR$: „Hard constraint“

- Beschränkungen Vorlauftemperatur gegen oben: $TFI \leq SpTFIMax + (TR - SpTRnom)$

Gleichungen (ii)

- Modellbeschreibung; kann allenfalls in (i) integriert werden

Ungleichungen (iii)

- Beschränkung Vorlauftemperatur gegen unten: $SpTFI \geq TR$

DESIGO – Applikationen
Prädiktiver und selbstadaptierender Heizungsregler

SIEMENS

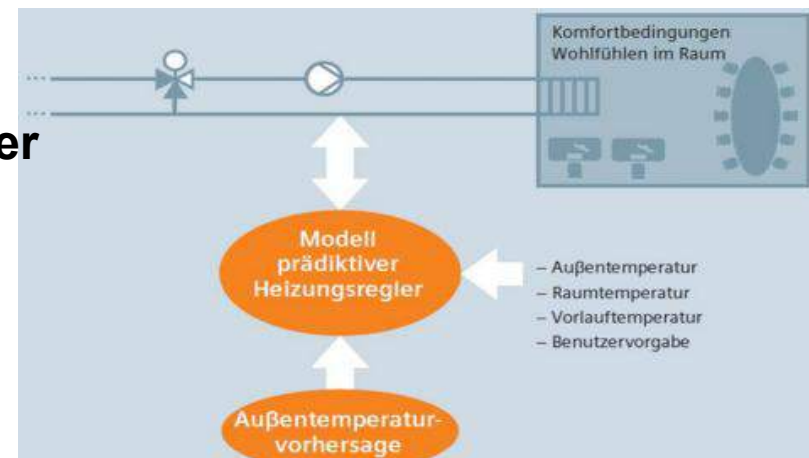


DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

Was ein prädiktiver Heizungsregler?

Mit der Applikation prädiktiver Heizungsregler (*prädiktiv = vorausschauend*) lässt sich eine Heizgruppe mit Mischkreisregelung, Pumpe und stetigem Ventil steuern und regeln. Dies erreicht der Regler, indem mittels eines Gebäudemodells und einer Vorhersage der Außentemperatur ein optimaler Vorlauftemperatursollwert berechnet wird. Optional adaptiert der Regler das Gebäudemodell anhand der Messdaten selbständig an das Gebäude (*adaptieren = anpassen*). Der auf einem Gebäudemodell basierende, prädiktive und adaptive Heizungsregler **vereint die folgenden Elemente:**

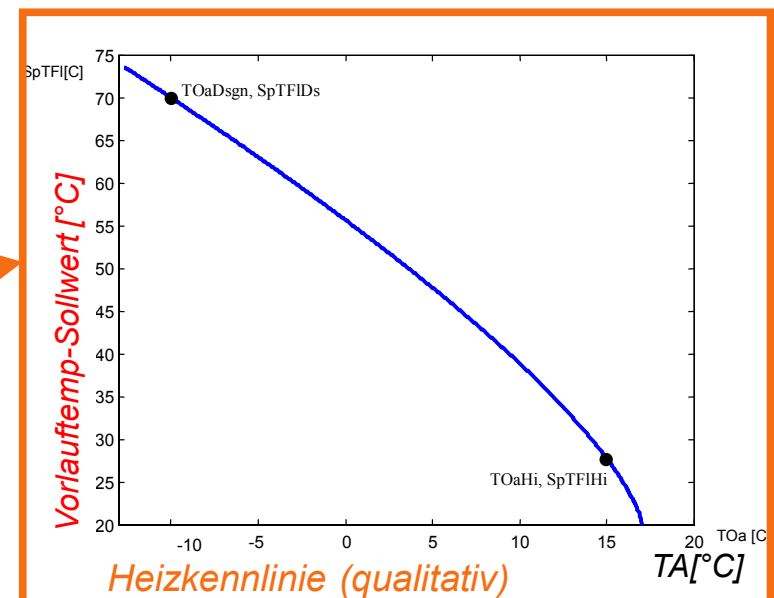
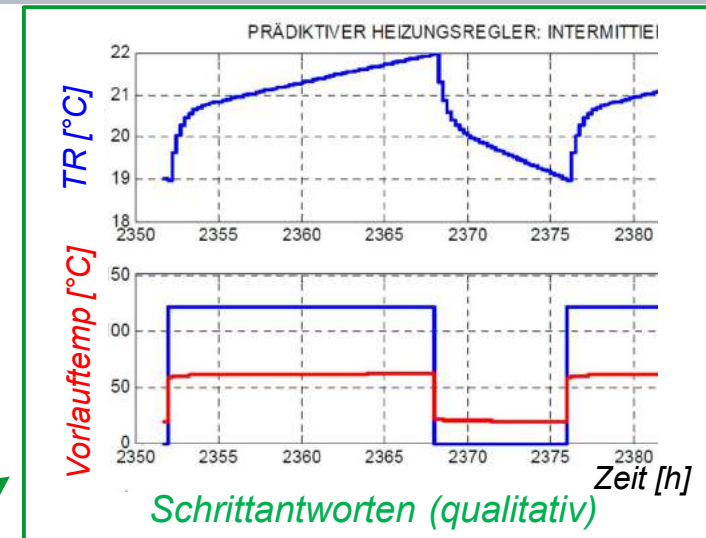
- **Außentemperaturvorhersage**
- **Adaption der Heizkurve**
- **Adaption der Gebäudemodellparameter**
- **Modellbasierte Optimierung von Energieverbrauch und Komfort**
- **Schnellaufheizung und Ausschaltoptimierung**
- **Erteilung der Heizfreigabe**



DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

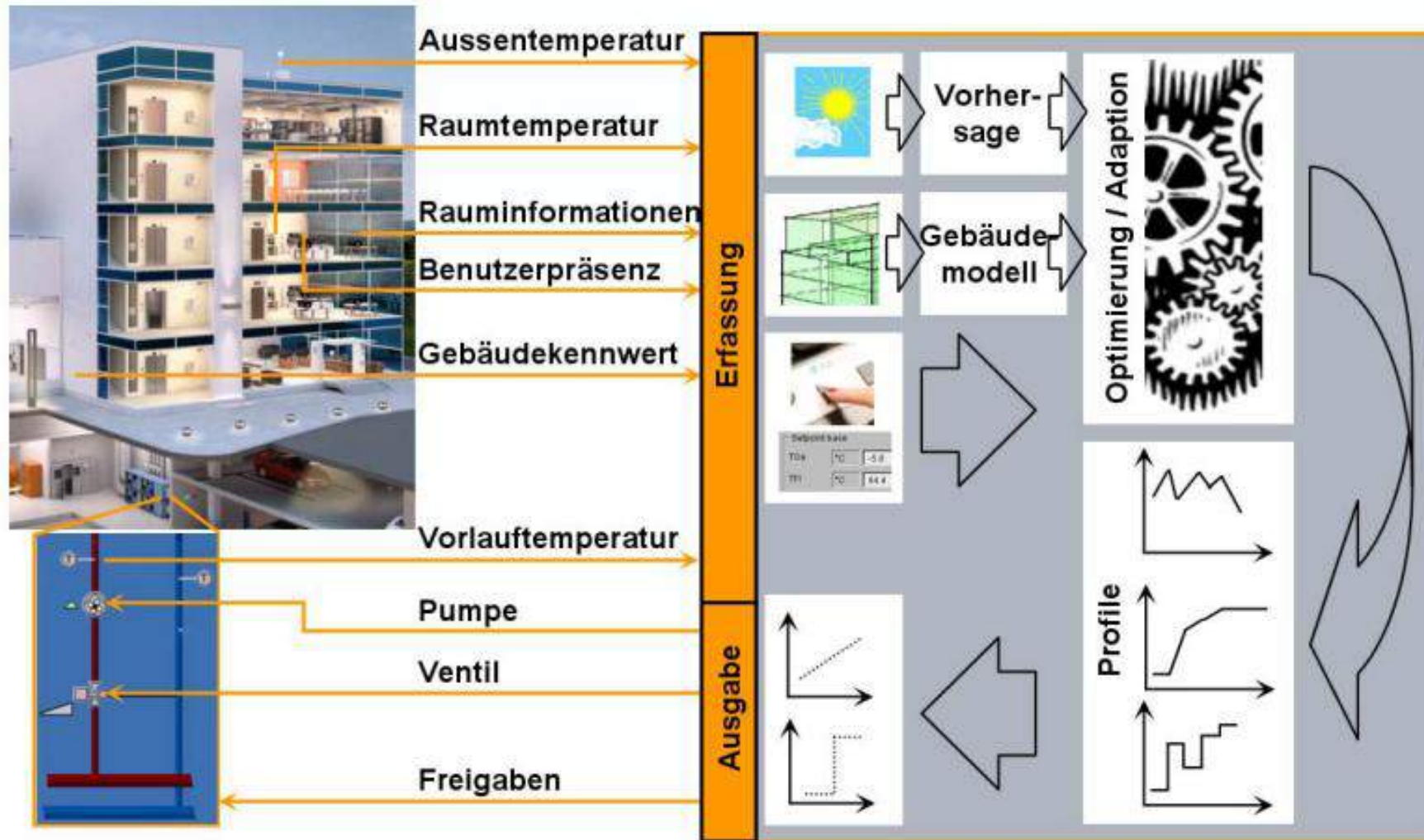
Begriffe

- **Prädiktiv**
 - Vorausberechnung des künftigen **Raumtemperatursollwertprofiles** aus den Raumanforderungen (Zeitschaltprogramm, Präsenz im Raum, Fensterkontakt, manueller Eingriff)
 - **Aussentemperaturprognose**
 - Entweder als Persistenzprognose aus Wetterverlauf der letzten 24 Stunden
 - Oder aus Meteo-Prognose
- **Modellbasiert**
 - **Gebäudemodell** ist Basis der Optimierung. Es wird ein **lineares Differenzialgleichungssystem 2. Ordnung** verwendet.
Parameter: *Raumzeitkonstante* t_{Room} , *Gebäudeauskühlzeitkonstante* t_{Bldg}
- **Adaptiv**
 - Ständige **Adaption Heizkennlinie** und **Gebäudemodellparameter**



DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

Vereinfachte Darstellung der Wirkungsweise



DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

Erfassung der Anforderungen des Referenzraumes

Die **Anforderungen des Raumes** und seiner Nutzung werden durch folgende Elemente berücksichtigt:

- Zeitschaltprogramm
- Raumtemperatur
- Benutzervorgabe Raumtemperaturkorrektur (optional)
- Präsenzmelder (optional)
- Fensterkontakt (optional)
- Handschalter Raumbetriebsart (optional)
- Manuelle Raumbetriebsart (optional)
- Raumtemperatursollwerte Heizen (für die unterstützten Raumbetriebsarten)
- Außentemperatur

Der **Referenzraum** ist derjenige Raum, in dem die Raumtemperatur gemessen wird, die vom prädiktiven Heizungsregler verwendet wird. Der Referenzraum ist ohne Thermostatventile oder sonstige Raumtemperaturregelgeräte und –funktionen auszurüsten.

DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

Ausgabe eines Optimierungsergebnisses

- **Optimierungshorizont:** 64 Stunden
→ deckt auch ein Wochenende ab.
- **Receding horizon:**
 - Vom optimierten **Vorlaufemperaturprofil** wird das erste Element verwendet als aktueller Vorlauftemperatursollwert.
 - Die Optimierung wird alle 15 Min wiederholt.
- **Sperrung Heizbetrieb** falls tolerierbar:
Die prädiktive Heizungsregelung berechnet die zu erwartenden Komfortabweichungen bei ausgeschalteter Heizung.
Falls tolerierbar → Heizbetrieb wird gesperrt.

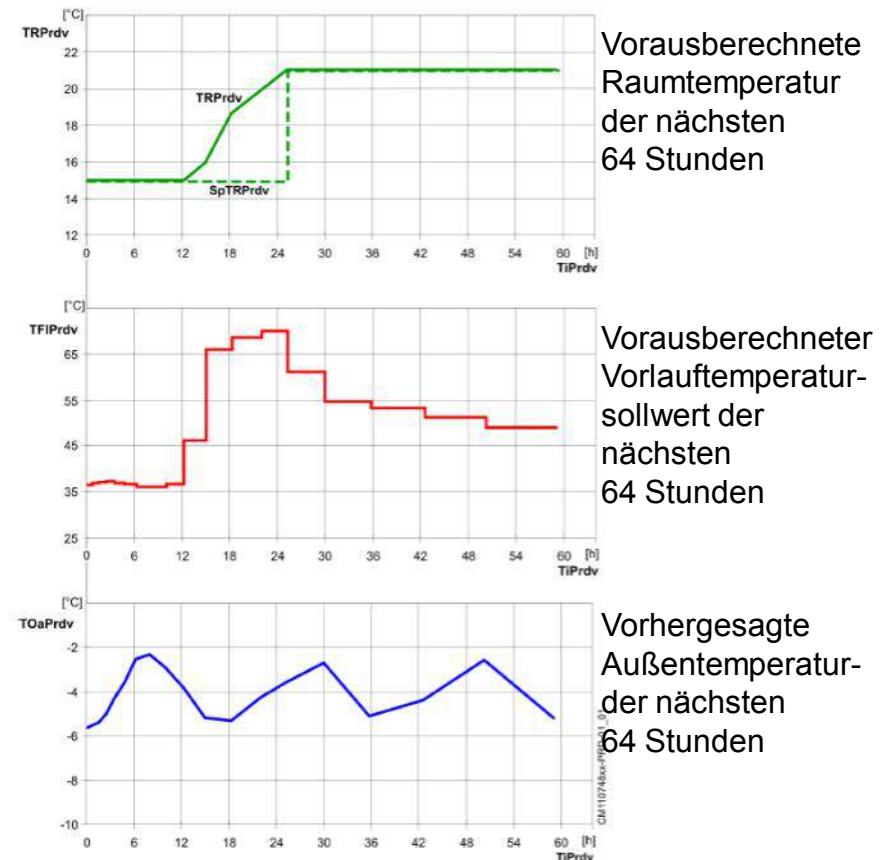


Abbildung 4-2: Beispiel

SpTRPrdv	Prädiktiver Raumtemperatursollwert	TOaPrdv	Prädiktive Aussentemperatur
TFIPrdv	Prädiktiver Vorlauftemperatursollwert	TRPrdv	Prädiktive Raumtemperatur
TiPrdv	Prädiktive Zeitpunkte		

DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

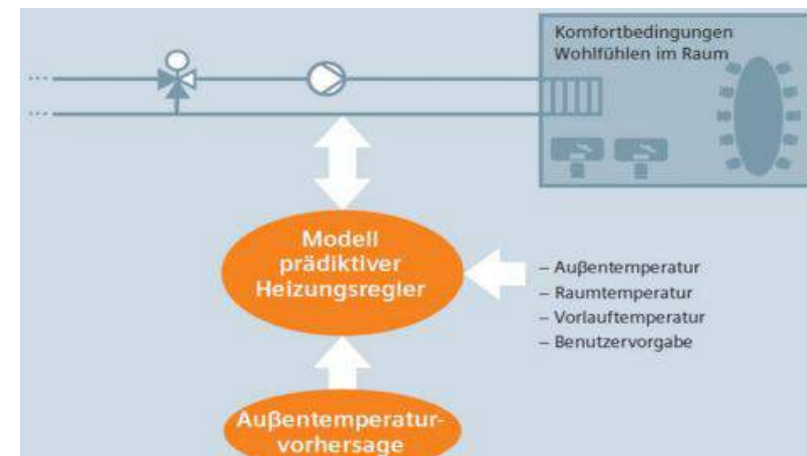
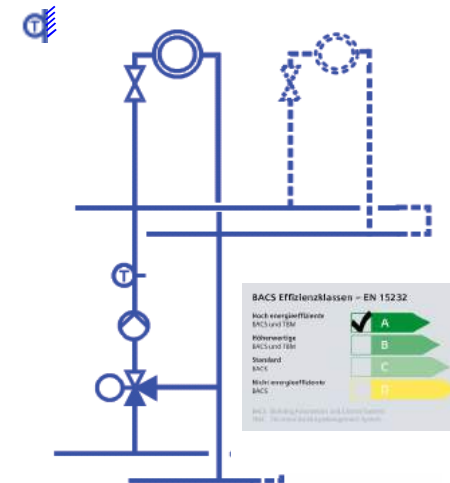
Vorteile des prädiktiven Heizungsreglers

- **Optimales Einschalten** reduziert die Pumpenlaufzeit in der Aufheizphase
- **Frühzeitiges Abschalten** der Anlage ohne Beeinträchtigung des Komforts
- Weniger Geräusche
- Eine erfolgreiche **Adaption des Gebäudemodells** steigert den Komfort und **reduziert Inbetriebnahme- und Unterhaltskosten**
- **Gutes Führungsverhalten** bei knapp dimensionierter Heizleistung
- Verbesserter Übergang zwischen Schnellaufheizung und Komfortbetrieb
- Optimierung des Vorlauftemperatursollwerts **für minimalen Energieverbrauch**
- Modular aufgebaute **Standard-Bibliotheksapplikation** inklusive **Grafiken** für die Anlagenbedienung mit **DESIGO INSIGHT**
- Raumtemperatur-**Sollwert-Korrektur** für zusätzlichen Komfort
- Wärmebedarfsmeldung für die **Wärmeverteilung**
- Die Funktion prädiktive Regelung kann auch "nur" als adaptive Heizkennlinie eingesetzt werden.

DESIGO – prädiktiver Heizungsregler

Kundennutzen des prädiktiven Heizungsreglers

- **Kostenreduktion** dank Energieeinsparung
- **Senkung der elektrischen Pumpenenergie** dank der Umwälzpumpensteuerung
- **Weniger Wärmeverluste** des Rohrnetzes mittels der innovativen Anlagensteuerung
- **Leicht verständliches Regelkonzept** für reduzierte Engineeringkosten
- **Umfangreiche Funktionalität** mit wenigen Einstellungen für reduzierte Inbetriebnahmekosten
- **Übertrifft die EN 15232** in der höchsten Energieklasse und steigert den Wert der Anlage bei einem eventuellen Verkauf des Gebäudes



Prädiktive Heizungsregelung

Simulationsvergleich konventionelle und prädiktive Regelung I

Simuliertes Gebäude

- Wärmedämmung: Schweizer Durchschnitt, U-Wert Gebäudehülle 1.5 W/(m²K)
- Fensteranteil 20 %
- Standort: Zürich (SMA), Messdaten des Jahres 2007
- Wärmegewinne: niedrig (0 bis 30 W/m², Spitzenwert bei starkem Solareintrag), Büronutzung (Grossraumbüro nach SIA 2024)
- Komfortanforderungen: Raumtemperatursollwert: Comfort = 21°C, Economy = 15°C
Raumbetriebsart Comfort Montag bis Freitag von 8 bis 19 Uhr, sonst Economy

Regelstrategien

Prädiktive Heizungsregelung

- Exakte Simulation der Funktion des prädiktiven Heizungsreglers aus Desigo V4
- Die Raumtemperaturmessung wird verwendet, die Raumtemperaturmessung erfolgt ideal
- Der Regler ist initial **gut eingestellt** und verbessert durch die Verwendung der Adaptionfunktion im Simulationsverlauf die Regelgüte zusätzlich.

Konventionelle Heizungsregelung 1

- Simulation der Funktion der konventionellen Heizungsregelung mit den Elementen Heizgrenzenschalter (FB HRA), Heizkurve (FB HCRV) und Optimum Start-Stopp Funktion (FB OSSC). Die Elemente entsprechen exakt denjenigen aus Desigo V4. Die Raumtemperaturmessung wird für die Optimum Start-Stopp Funktion verwendet, die Raumtemperaturmessung erfolgt ideal. Die Funktionen OSSC und HRA (Heizgrenze für Comfort: 16.5°C) sind **gut eingestellt**, die Adaption der Funktion OSSC ist ausgeschaltet.
- Die Funktion HCRV ist auch gut eingestellt, die Heizkurve muss wegen der Absenkungen bzw. dem Reduziertbetrieb in der Nacht angehoben werden, um den sonst ungenügenden Komfort (vor allem am Morgen) zu vermindern.

Konventionelle Heizungsregelung 2

- Wie *Konventionelle Heizungsregelung 1*, aber
Statt der Optimum Start-Stopp Funktion wird der Beginn der Raumbetriebsart Comfort vorverschoben (Montag: 2 Uhr statt 8 Uhr, Dienstag bis Freitag: 6 Uhr statt 8 Uhr).

Prädiktive Heizungsregelung Simulationsvergleich konventionelle und prädiktive Regelung II

	Prädiktive Heizungsregelung (HGrp20)	Konventionelle Heizungsregelung 1 mit Abschaltbetrieb in der Nacht (HGrp15)	Konventionelle Heizungsregelung 1 mit Reduziertbetrieb in der Nacht	Konventionelle Heizungsregelung 2 mit Abschaltbetrieb in der Nacht (HGrp15)	Konventionelle Heizungsregelung 2 mit Reduziertbetrieb in der Nacht
Heizenergieverbrauch: Nutzenergie in [kWh/m ²]	151	156 (+3 %)	174 (+13 %)	144 (-4 %)	174 (+13 %)
Pumpenlaufzeit Zonenpumpe in [h] pro Jahr (8760 h)	3081	2895 (-6 %)	6145 (+99 %)	3077 (-0.1 %)	6237 (+102 %)
Komfort: Unterschreitung Raumtemperatur- sollwert in [Kh]	310	644 (+108 %)	304 (-2 %)	2331 (+652 %)	427 (+38 %)

→ Für das simulierte Beispiel bei gut eingestellten Regelungen sind min. 10 % Energieeinsparungen durch die prädiktive Heizungsregelung zu erwarten (bei vergleichbarem Komfort)

Für welche Anwendungen ist der prädiktive Heizungsregler besonders geeignet?

Nutzung

- ✓ Grosser Nutzen: Gebäude, in denen ausgeprägte Absenkphasen möglich sind (z.B. Bürogebäude → Absenkung in den Weihnachtsferien bis z.B. 12° oder tiefer realisierbar ohne Komfortprobleme bei Arbeitsbeginn nach Neujahr)
- Geringerer Nutzen: Gebäude ohne Absenkungsphasen, z.B. Spitäler

GA-Systeme

- ✓ In Kombination mit Raumregelsystemen (Volumenstromregelung, TRA = Total Room Automation): Raumregelsystem muss mit prädiktiver Regelung verknüpft werden, muss z.B. “wissen” wenn der prädiktive Regler eine Schnellaufheizung durchführen will
- ✓ In Kombination mit Thermostatventilen

Heizungssysteme

- ✓ Radiatoren
Die meisten realisierten Gebäude haben Radiatorheizungen
- ✓ Luftheizung
auch z.B. für Fabrikhallen

Anwendung mit und ohne Raumfühler

Mit Raumfühler

- Der Raumfühler muss in einem Referenzraum ohne Thermostatventile und ohne Raumregelung sein
- Absenkung bis Raumfühler auf Eco-Raumsollwert abgesunken ist
- Der Heizbetrieb kann am Ende der Komfort-Phase vorzeitig beendet werden
- Raumfühler ist Voraussetzung für die Adaption des Gebäudemodells

Ohne Raumfühler

- Absenken nach Gebäudemodell
- Adaption des Gebäudemodells ist nicht möglich

Prädiktive Heizungsregelung Desigo Implementation (CFC-Interface)

Firmware-Funktion

PRDVHCTL

Desigo V4.0 (2009):

Erste Version, nur mit intern generierter Persistenzprognose

Desigo V5.0:

Erweiterung externe Aussentemperaturvorhersage

24 Stundenwerte für TA (Strahlung ist nicht integriert)

Desigo V6.0 (2016):

Erweiterung Lernen Raummodell in langen Absenckphasen
(Weihnachtsferien)

Desigo V6.1 (Ende 2017):

Aktuelle Version

Prädiktive Heizung			
PRDVHCTL		OB1	
PrdvHctl	23/1		
Ja	EnFnct	PrOpMod	Aus
Pre-Comfort	OpModR	SpIFl	20.0
Ja	EnNxOpM	SpTR	19.0
Schutzbetrieb	NxOpModR	TREst	20.0
16#FFFFFF	TnxOpMod	EnHDstr	Nein
Aus	OpSta	AdaSta	Nein
Ja	TRSen	OptSta	Berechn.ok
20.0	IR	TiNxOpt	00:13:43
Nein	ErTR	SpIFLdsO	60.0
20.0	TFI	SpIFLHiO	30.0
Nein	ErTFI	TcnBldgO	0000050:00:00
20.0	TOa	TcnRoomO	00:15:00
Nein	ErTOa	DTRCoefO	5.0
Nein	EnExtTOa	TiPrdv	
20.0	ExtIOa0	TFIPd	
20.0	ExtIOa1	IOaPd	
20.0	ExtIOa2	TRPrdv	
20.0	ExtIOa3	SpTRPd	
20.0	ExtIOa4		
20.0	ExtIOa5		
20.0	ExtIOa6		
20.0	ExtIOa7		
20.0	ExtIOa8		
20.0	ExtIOa9		
20.0	ExtIOa10		
20.0	ExtIOa11		
20.0	ExtIOa24		
21.0	SpHCmf		
19.0	SpHPcf		
15.0	SpHEco		
12.0	SpHPrt		
95.0	SpIFlMax		
0000001:00:00	TiStpMax		
-11.0	IOaDsgn		
60.0	SpIFLds		
15.0	IOaHi		
30.0	SpIFLHi		
1.3	ExpRad		
0000050:00:00	TcnBldg		
00:15:00	TcnRoom		
5.0	DTRCoef		
50.0	WndProp		
Ja	EnAda		
Ja	TkvAda		
Nein	ResetAda		
0000000:00:00	STiAda		
0.0	SEstPar		
0.0	SEstMat		

Links

Prädiktiver Heizungsregler:

http://www.siemens.ch/bt/SSP_Handbuch_2017/00_ext_online_Kataschure_GESAMT_de/index.html#/644/

Siemens GA-Lösungen:

<https://w1.siemens.ch/buildingtechnologies/ch/de/Seiten/home.aspx>

<https://w1.siemens.ch/buildingtechnologies/ch/de/gebaeudeautomation-hlk/Seiten/gebaeudeautomation.aspx>

Siemens Produkte:

<https://www.siemens.com/global/de/home/produkte/gebaeude/hlk.html>

Thermal Load Condition

Example for benefit of interconnecting different trades

Another example for the use of weather forecasts

Possible states of “Thermal Load Condition”

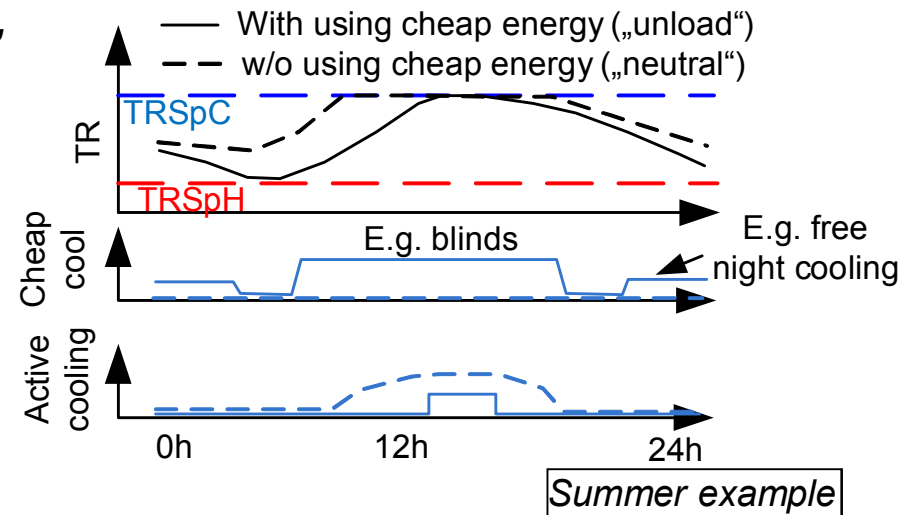
- Load: Additional heat helps the building stay within TR tolerance band
- Unload: Rejecting heat helps the building stay within TR tolerance band
- Neutral

Usage

- Goal: (Predictive) use of cheap (or free) heating and cooling energy
- Effect on night cooling, blinds, TABS, air conditioning (extract air heat recovery and air recirculation fraction)
- e.g.: Unload → close blinds at daytime & open at nighttime in unoccupied phase; activate night cooling; reduce fresh air portion in supply air as far as acceptable if $TO > TR$; ...

Determination

- Based on TO, TR, last heating / cooling actions, **weather prediction** (various combinations according to usage)



DESIGO
Wettervorhersage-Lösung

SIEMENS




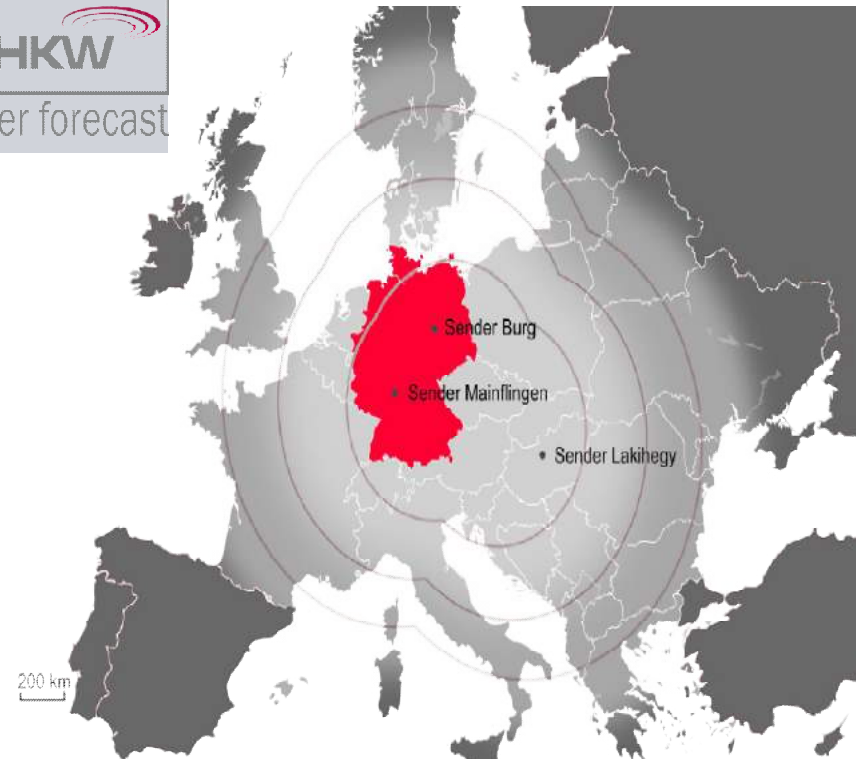
Konzept Technik

Langwellensender DCF 49



Stundengenaue Wettervorhersage vom Wetterdienst

- Ortsauswahl über Städteliste (ca. 1100 Stk. DE, AT, CH, HU, NL)
- Temperaturwerte stundengenau für 4 Tage im Voraus
- Vorhersage von (Auswahl)
 - Tagestemperatur min / max
 - Sonnenscheindauer
 - Signifikantes Wetter
 - Windstärke und Windrichtung
 - Niederschlagsmenge
- + Wetterwarnungen 

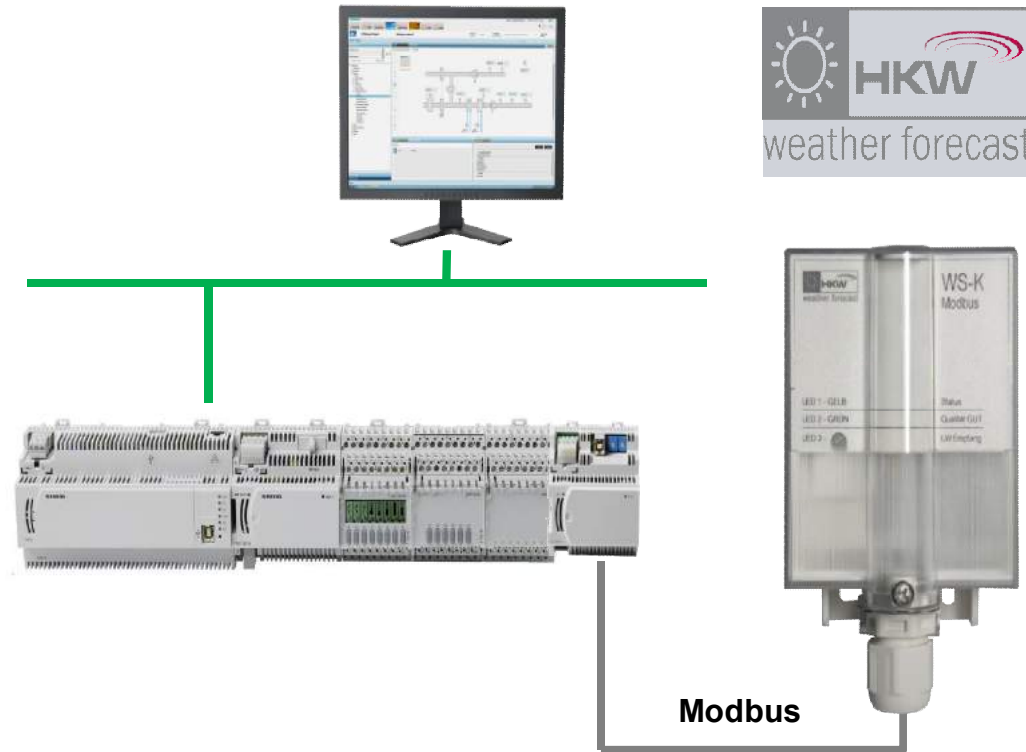


Konzept Aufbau

Einmaliger Kaufpreis - Keine laufenden Kosten!

HKW Wetterprognose-Station Kompakt

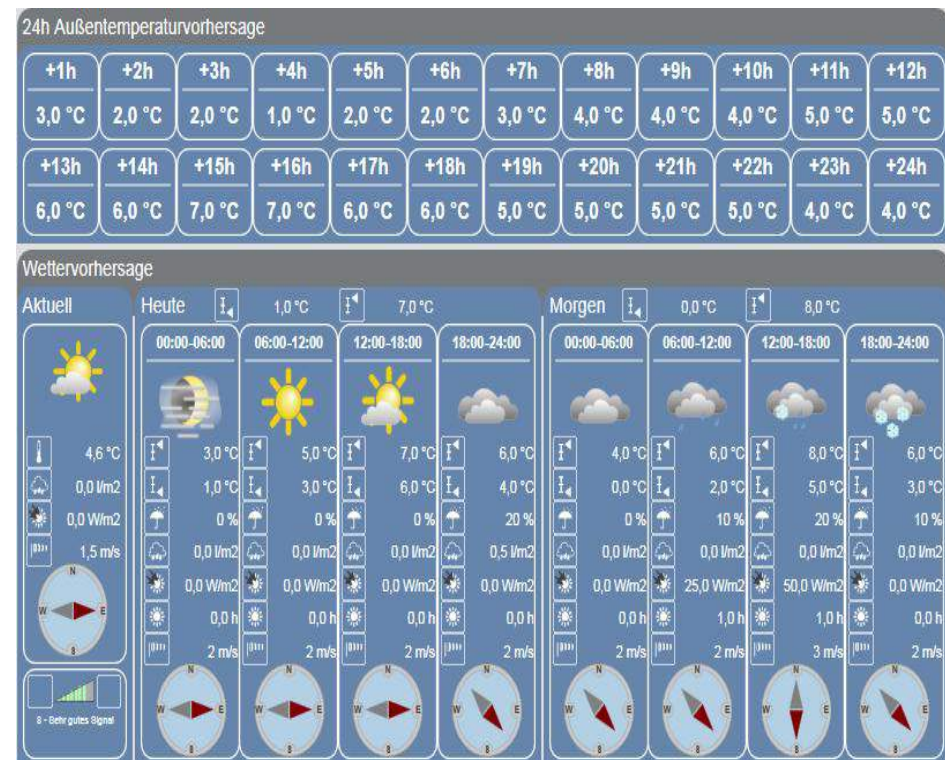
- Modbus Schnittstelle zum Desigo System
- Integration über TXI-Open
- Vorgefertigte Compounds zur Einbindung verfügbar
- Vollständige Abbildung der Wetterdaten in der Leitstation Desigo CC
- Wetterwarnungen als Alarmpunkt konfigurierbar
- Integrierter Temperaturfühler (Ersatz für bestehenden AT Fühler)



Konzept Visualisierung in Desigo CC

Die übermittelten Wetterdaten können vollständig in der Desigo CC dargestellt werden

- Die Grafikbibliothek beinhaltet drei unterschiedliche Varianten zur Darstellung
 - Aktuelles Wetter als Symbol
 - Wettervorhersage kompakt
 - Vollständige Darstellung aller gelieferten Werte
- Alarmrouting von Wetterwarnungen



Vorgefertigte Lösungs-Compounds

Weather Forecast: WFcS10.

- Signalqualität mit Voralarm und Alarm
- Außentemperaturfühler und Stadt/Regionalvorwahl
- Vorhersage für Sonnenschein
- Vorhersage für Regen
- Vorhersage für Wind
- Vorhersage für signifikantes Wetter
- Vorhersage der Außentemperatur für 24h, Stundengenau „ab jetzt“, inklusive Min und Max
- Alarmfähige Wetterwarnungen (Sturm, Eis, Hitze, etc.)



Heizgruppe: HGrp20W für prädiktive Heizungsregelung und für TABS

- Identischen Aufbau zu Compound HGrp20
- Erweiterung der HGrp20 um einen Schnittstellen-Compound zu WFcS10
- Komplette Verschaltung der Daten auf den prädiktiven Heizungsregler (sofern benötigt).
- Anzeige der nächsten VL-Sollwerte, ermittelt durch den prädiktiv-Algorithmus

Forschungsprojekte Seestadt Aspern

SIEMENS



© schreinerkastler.at | wien 3420

Aspern Smart City Research (ASCR)

Joint venture partners

Wien Energie GmbH

- The largest energy service company of Austria
- Supply of 2 million people with electricity, gas, district heating and telecom services

Wiener Netze GmbH

- The largest distribution network operator in Austria for electricity, gas and district heating

Project duration: 5 years



Siemens AG Österreich, in collaboration with Headquarters (CT & EM)

- Unique Know-how and access to international expertise in the areas of energy (production distribution, storage management), building technologies (energy efficiency, management systems, security), mobility, project management, IT & Consulting

Wien 3420 Aspern Development AG

- Owner of extensive properties and project development in the Seestadt Aspern;
- Local marketing and branding
- Infrastructural development

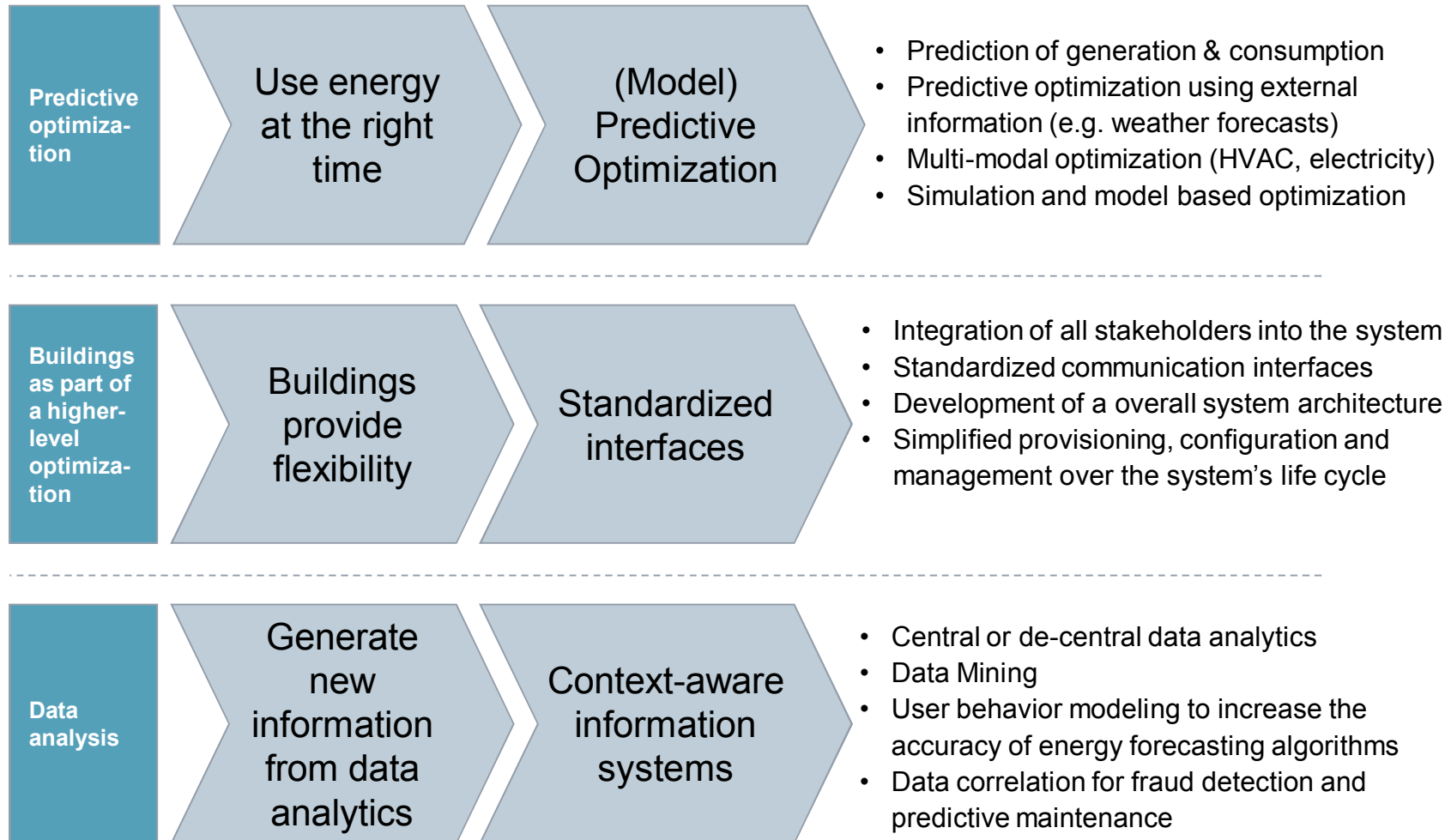
Business Agency Wien

- Developing the business position of Vienna
- First point of contact for national and international companies

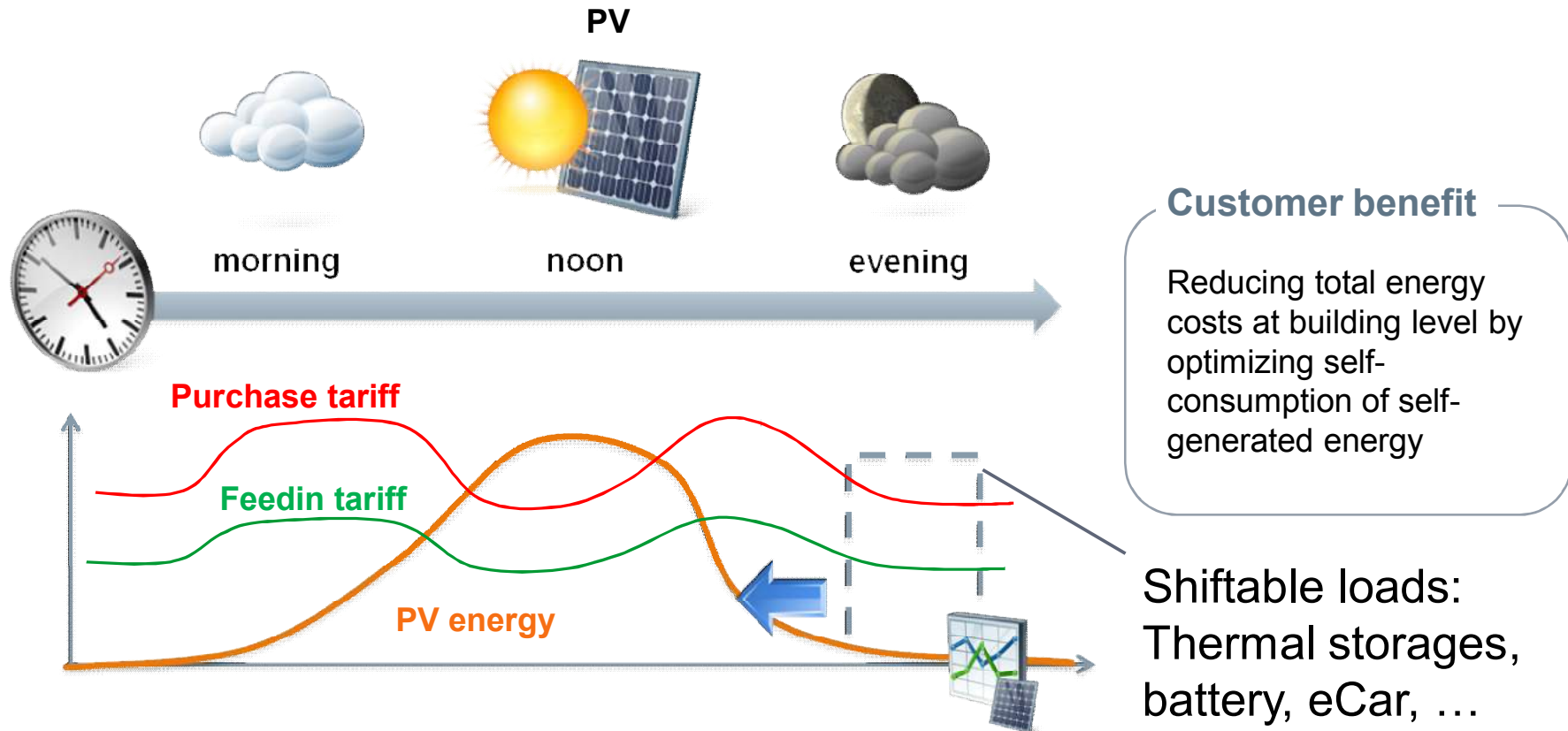
Research topic „Smart Building“

Challenges

Technology & Innovation



Self-consumption optimization conceived as cost optimization



Innovation

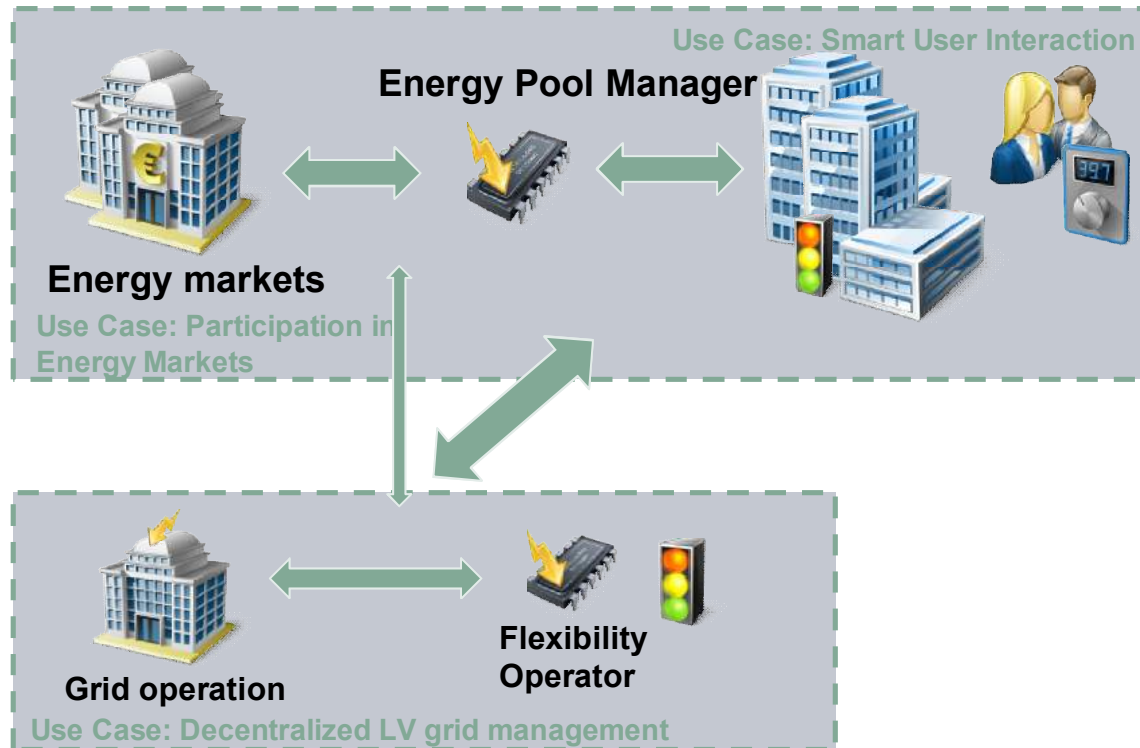
- Integration of own generation and “hourly” varying tariffs
- Forecasting of energy generation and consumption at building level
- Predictive optimization of self-consumption using energy storage models

Benefits: Cost reduction for end-users, Demand Side Management / Load balancing on grid level

Benefits

- ***Prosumers*** can benefit from time-varying tariffs
by scheduling variable loads and storages appropriately
(in particular: heat pumps, thermals storages, batteries)
- ***Electricity providers*** and ***grid operators*** can influence the load/production
profiles of such prosumers
by offering tariffs that reflect the needs of the overall electricity system
 - Such that cost-optimal operation of a prosumer's plant just leads to an
operation mode that is optimal for the overall grid

Active Grid Management Flexibility Operator



Thesis

- Energy consumption and flexibility trading becomes more and more synchronized with energy price changes
- Grid peak loads increase
- Flexibility can be used to reduce peak loads and therefore reduce grid refurbishment costs
- A flexibility management to coordinate grid, market and customer requirements is needed

Data provisioning & and grid monitoring
→ Grid operation

Big Data & Business Analytics
→ Back office grid optimization

Active grid management
→ Distributed intelligent devices