

# „Prozess einer agilen Produktentwicklung – Geschäftsmodellerweiterung der Wärmespeicher- Steuerung mit Implementierung einer künstlichen Intelligenz“

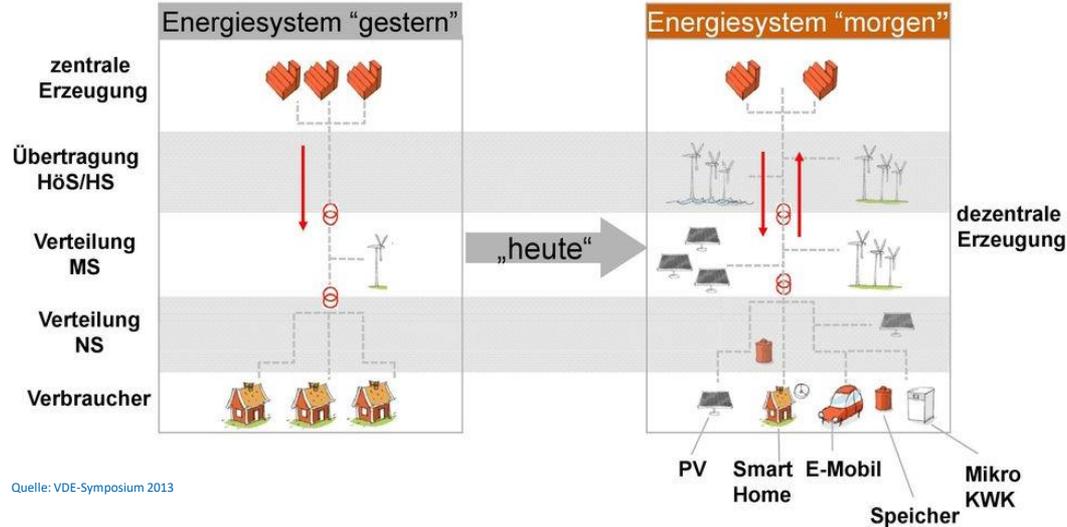




# Übersicht

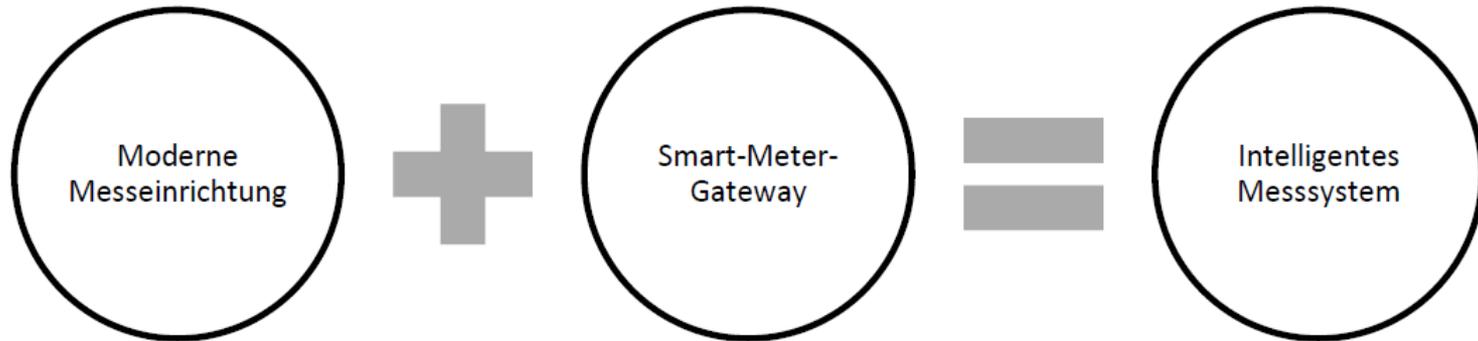
1. Transformationsprozess der Energiewirtschaft
2. Gesetzlicher Rahmen des § 14a EnWG
3. Kreation der Wärmespeicher-Steuerung
4. Steuerung mittels künstlicher Intelligenz
5. Resümee des Feldtests
6. Fazit

# Herausforderung an die Energiewirtschaft



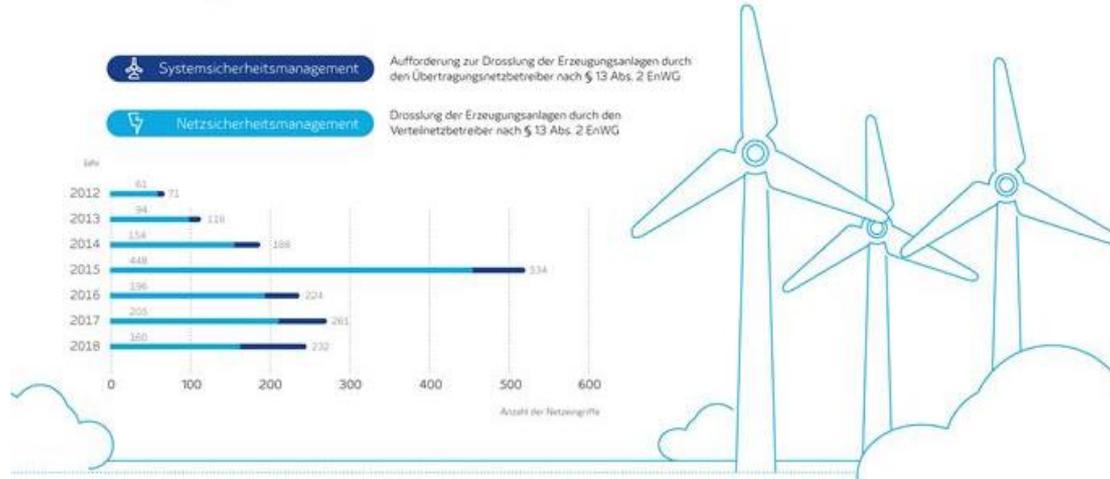
→ Dezentral verteilte Einspeiser in allen Netz- und Spannungsebenen

# Smart Meter Rollout



Eine Moderne Messeinrichtung ohne ein Smart-Meter-Gateway besitzt keinen weiteren Kundennutzen.

## Anzahl der Netzeingriffe zur Erhaltung der Netzstabilität steigt

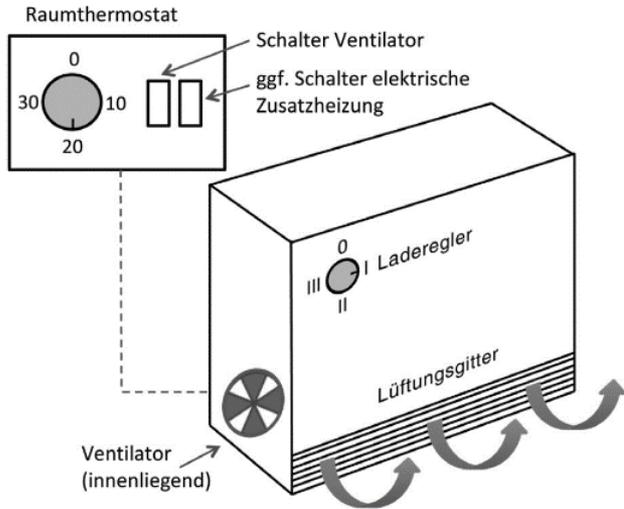


Auf Grundlage dieser Maßnahmen werden Stromerzeugungsanlagen vom Netz abgekoppelt und es entsteht ein wirtschaftlicher Schaden, da den Produzenten trotzdem eine finanzielle Vergütung zusteht.

### **Durch die Novellierung des § 14a EnWG werden aus den unterbrechbaren Verbrauchern steuerbare Verbraucher**

- Schaffung eines einheitlichen Rahmenwerks für die Energiewirtschaft zur Generierung einer Nachfrage an Flexibilitätsprodukten
- Im Mittelpunkt stehen u.a. Nachtspeicherheizungen
- Für flexible Verbraucher der Anreiz von reduzierten Netzentgelten
- Der Nachweis der Erbringung von netzdienlichen Betrieben wird perspektivisch über ein intelligentes Messsystem bereitgestellt

# Funktionsweise einer Nachtspeicherheizung



Quelle: Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz (2017), S.1

Moderne Optionen können die Heizung und die Heizungsteuerung nicht verarbeiten.

→ Die Energiewende geht dadurch an den Wärmespeicherkunden vorbei

# Moderne Technologien bilden die Komponenten



Heizungssteuergerät



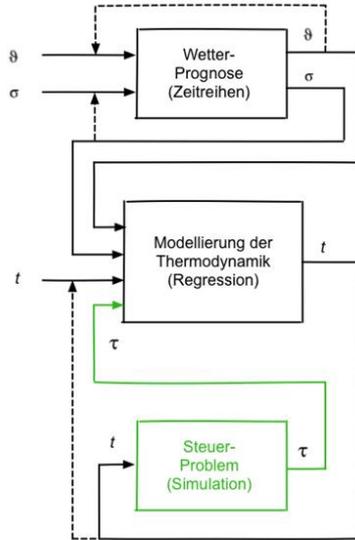
Energiemanagement



Messsystem



# Gesamtmodellierung der künstlichen Intelligenz



## Modellierung über drei Teile:

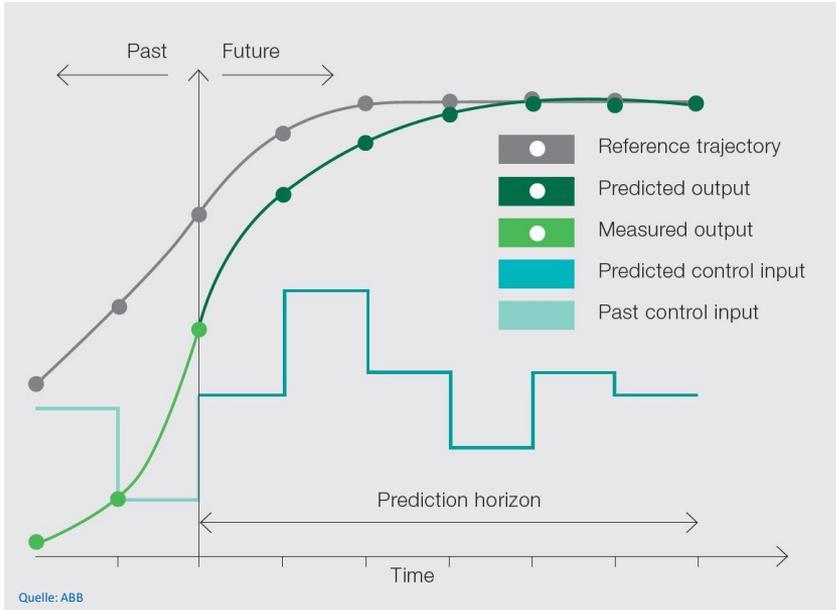
- Zeitreihenprognose für Wetter
- Regression für Thermodynamik mit der Zielgröße Innentemperatur
- RL-Simulation für Steuerung

## RL-Optimierungsproblem zur Minimierung des Reward $R$

$$\min_{\tau_1, \dots, \tau_n} R(\tau_1, \dots, \tau_n), R(\tau_1, \dots, \tau_n) = \underbrace{\sum_{i=1}^N (T_i - T_s)^2}_{\text{Komfort}} + \lambda \underbrace{\sum_{i=1}^N \tau_i}_{\text{Energieverbrauch}}$$

- Gewichtung zwischen Komfort und Energiebedarf erfolgt über den Regularisierungsparameter  $\lambda$
- In diesem speziellen Fall ist die Belohnung in Wirklichkeit eine Bestrafung, da die zusätzliche Aufnahme von Strom als negativ angesehen wird
- Steuerung erfolgt über den Ladegrad

# Model predictive control (MPC)

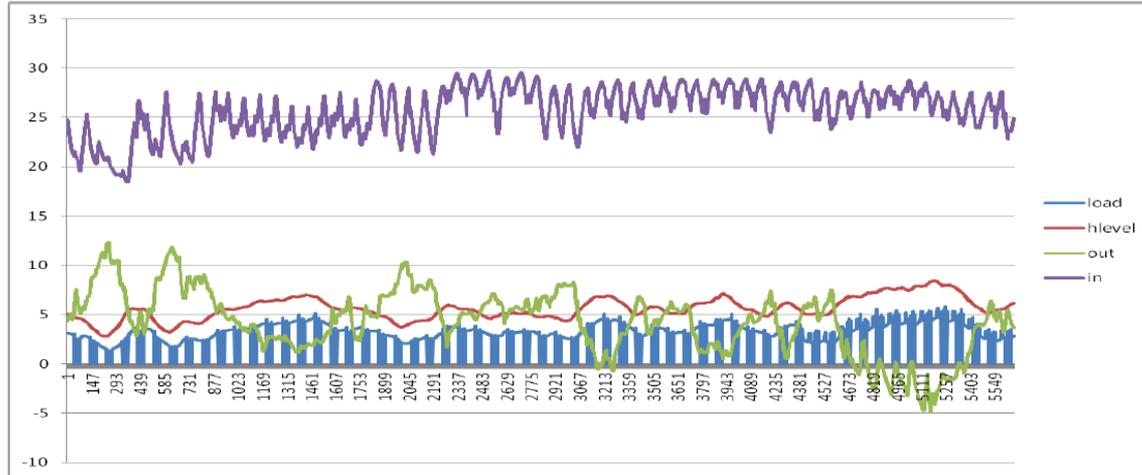


**Model Predictive Control (MPC)** ist eine moderne Methode zur prädiktiven Regelung von komplexen, i. d. R. multi-variablen Prozessen.

## Auswahl geeigneter Testobjekte

- „Testobjekt1“: Vollständiger Datensatz von Dezember 2018 bis Mai 2019 für 12 Räume mit Fußbodenheizung
- „Testobjekt2“: Ausrüstung mit einer Elektrospeicherheizung mit Daten von April bis Mai 2019

# Verlauf der grundlegenden Werte von Testobjekt 1



## Vorverarbeitung:

- Umrechnung auf konstante Zeitschritte (15 min)
- Mapping auf KI-Datenmodell

## Bewertung der Qualität des Prognosemodells

	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	...	24 h
Baseline	0,18	0,56	1,02	1,51	2,03	2,60		1,07
KI	0,14	0,40	0,71	1,03	1,37	1,71		1,52
KI/BL %	77%	72%	69%	68%	67%	66%		142%

Werte < 100% : „Gutes Modell“  
 Werte < 50% : „Sehr gutes Modell“

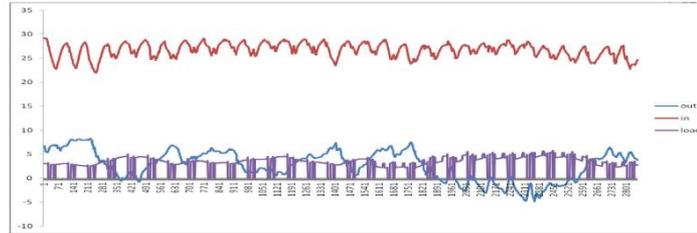
### Methodik des Regressionsmodells

- Nutzen der Machine Learning Methode „Support Vector Machine“
- Prognose der Thermodynamik auf Trainingsmenge
- Bewertung der Qualität der Prognose auf Testmenge

# Simulation der Energieeinsparung im Bad der „Testobjekt1“ Fokus Energieeinsparung

### Bisher

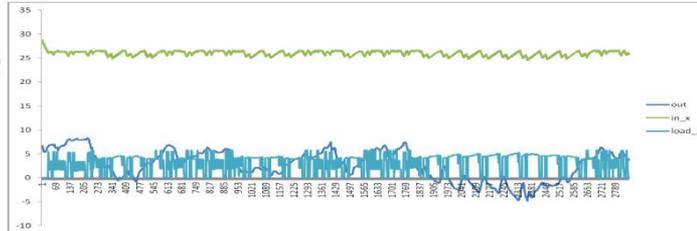
- Reward: 3,5 ( $\lambda=0,5$ )
- Mittlere Temperatur: 26,6 °C
- Standardabweichung: 188
- Mittlerer Ladegrad: 2,88



### Optimiert $\lambda=0,5$

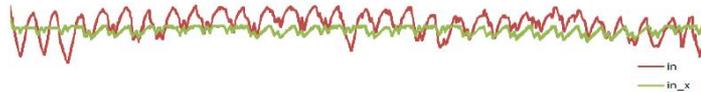
(d.h. Fokus Energieeinsparung)

- Reward: 2,0 (Ziel 1,5 x besser erreicht)
- Mittlere Temperatur: 25,6 °C
- Standardabweichung: 86
- Mittlerer Ladegrad: 1,40



### Vergleich

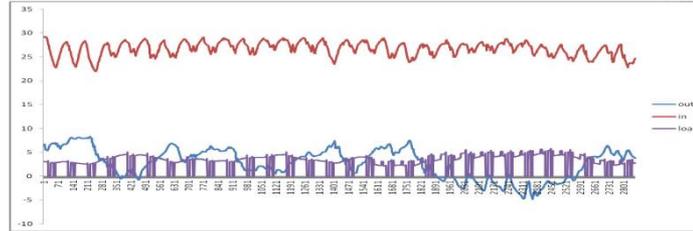
- Energieeinsparung: 51%
- Innentemperatur: 54% stabiler



# Simulation der Energieeinsparung im Bad der „ Testobjekt1“ Fokus Komfort

### Bisher

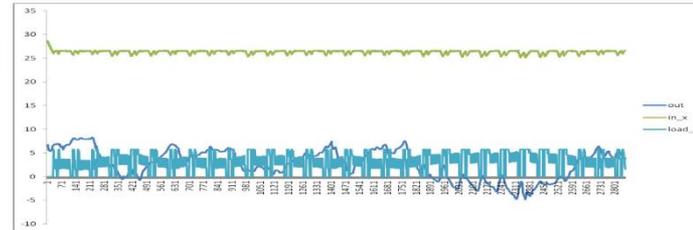
- Reward: 2,1 ( $\lambda=0,05$ )
- Mittlere Temperatur: 26,6 °C
- Standardabweichung: 188
- Mittlerer Ladegrad: 2,88



### Optimiert $\lambda=0,05$

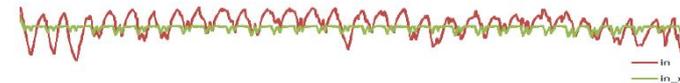
(d.h. Fokus Komfort)

- Reward: 0,65 (Ziel 3 x besser erreicht)
- Mittlere Temperatur: 26 °C
- Standardabweichung: 82
- Mittlerer Ladegrad: 2,12



### Vergleich

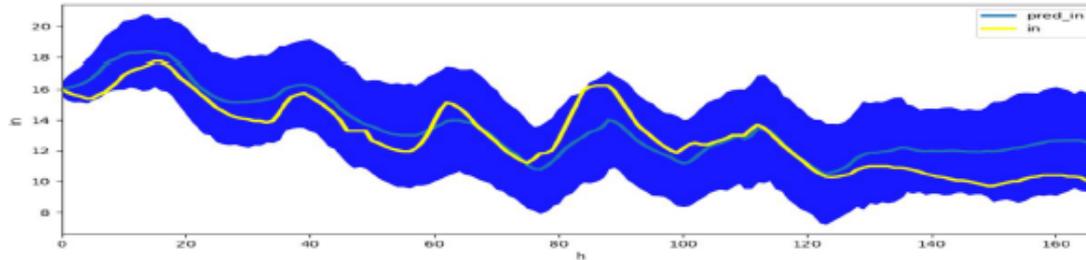
- Energieeinsparung: 26%
- Innentemperatur: 56% stabiler



# Modellierung der Thermodynamik in der „Testobjekt2“

	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	...	24 h
Innen	14%	19%	21%	22%	21%	21%		48%

Werte < 100% : „Gutes Modell“  
 Werte < 50% : „Sehr gutes Modell“

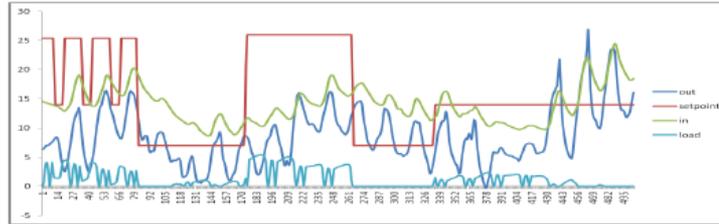


**Baseline wird deutlich geschlagen, sogar robuste Langzeitprognose!**

# Simulation der Energieeinsparung in der „Testobjekt2“

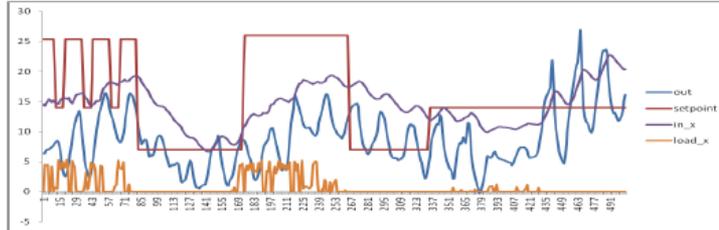
## Bisher

- Reward: 58
- Mittlere Temperatur: 15,1 °C
- Abweichung Soll (RMSE): 6,94
- Mittlerer Ladegrad: 1,28



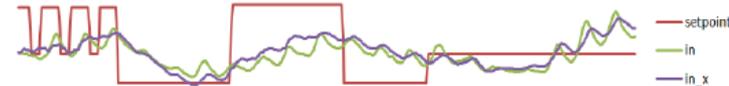
## Optimiert

- Reward: 54
- Mittlere Temperatur: 14,5 °C
- Abweichung Soll (RMSE): 6,92
- Mittlerer Ladegrad: 0,76



## Vergleich

- **Energieeinsparung: 41%**
- Innentemperatur: vergleichbar



# Weitere Ausbaustufen der Steuerung von Wärmeanlagen

## Komfortschaffung für Speicherkunden

- Individuellen Wunschtemperatur pro Raum
- App für Steuerung der Heizung
- App für Einstellung von Plänen für Wunschtemperatur

## Technische Möglichkeit zur Steuerung der Heizungen

- EnergieManagement
- Heizungssteuerung
- Individuelle Kundeneingabe

## Schaffung der Infrastruktur (im Netz und in der Politik)

## Netzorientiertes Steuern der Wärmeanlage

- Ladeprozesse angepasst an Netzzustand
- Zusammenarbeit mit Netzflex

## Marktorientiertes Steuern der Wärmeanlage

- Einspeisen nach aktuellen Marktpreisen
- Einspeisen bei Überfluss EE z.B. Windrädern



## Bildquellen

ABB: <https://new.abb.com/control-systems/features/model-predictive-control-mpc>

Microgrid: Microgrid Advanced Control Methods and Renewable Energy System Integration 2017, Pages 43-62

MITNETZ STROM 2019: <https://www.mitnetz-strom.de/unternehmen/blog/blog/2019/05/05/netzsicherheitsmanagement---was-ist-das-eigentlich>

Scrum Academy: <https://www.scrum-academy.de/product-owner/wissen/das-mvp-im-scrum/>

VDE-Symposium 2013 Entwicklung der Energieversorgung in Thüringen gestern, heute, morgen <Bild Höchstspannungsnetz Deutschland von BDEW> Auswirkungen der Energiewende auf den weiteren Ausbau des Thüringer Flächenverteilnetzes David Wartschinski TEN Thüringer Energienetze GmbH, Erfurt

Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz (2017). Nachtspeicheröfen: Tipps zur Bedienung, Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V., Seppel-Glückert-Passage 10, 55116 Mainz.

# Vielen Dank

Für weitere Fragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung

## Andreas Hutterer

[andreas-klaus.hutterer@student.tu-freiberg.de](mailto:andreas-klaus.hutterer@student.tu-freiberg.de)

TU BERGAKADEMIE FREIBERG

Akademiestraße 6

09599 Freiberg

