

# Gebäudesteuerung – Motor oder Bremse der Wärmewende?

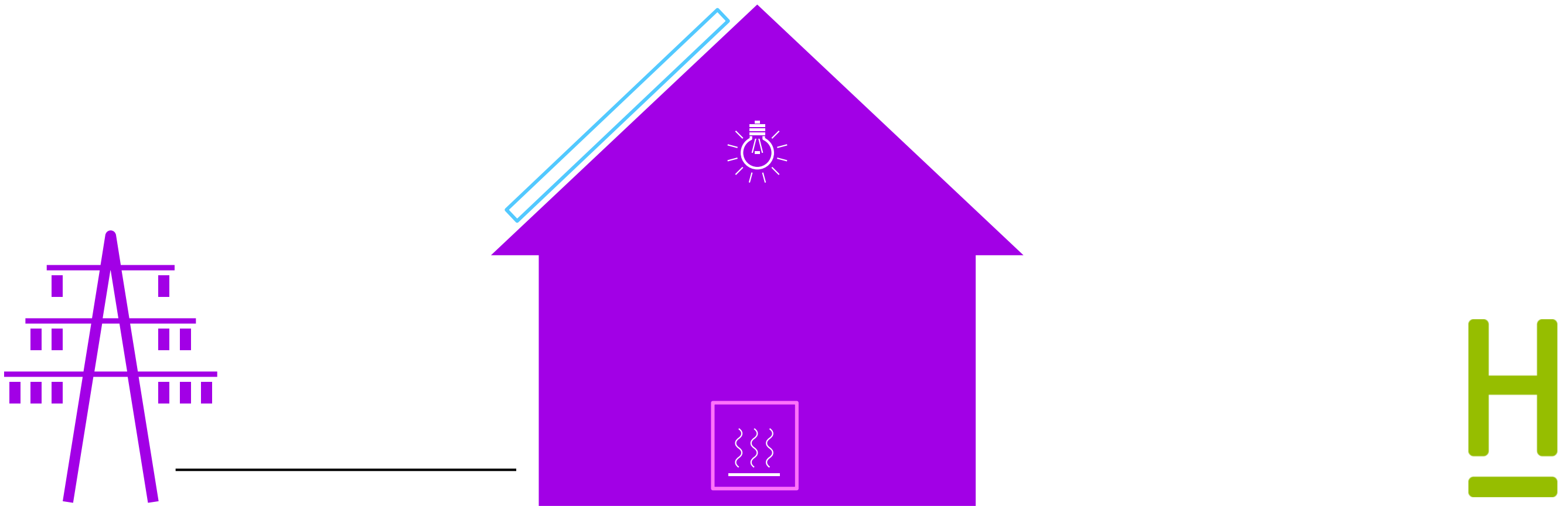
## **EEBF - Prädiktive Echtzeitbetriebsführung in Wohngebäuden**

Algorithmen zur autonomen Entscheidungsfindung für das Energiemanagement und praktische Erfahrungen bei der Umsetzung in einem Bestands-MFH



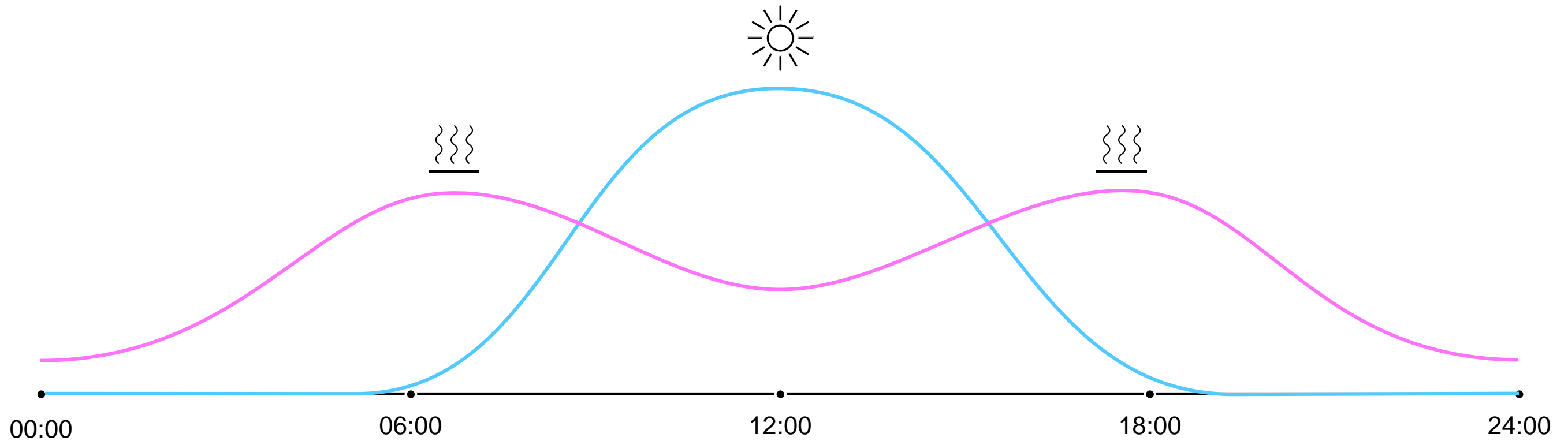
# Beispiel eines typischen Gebäudes

- Strom
- Wärme



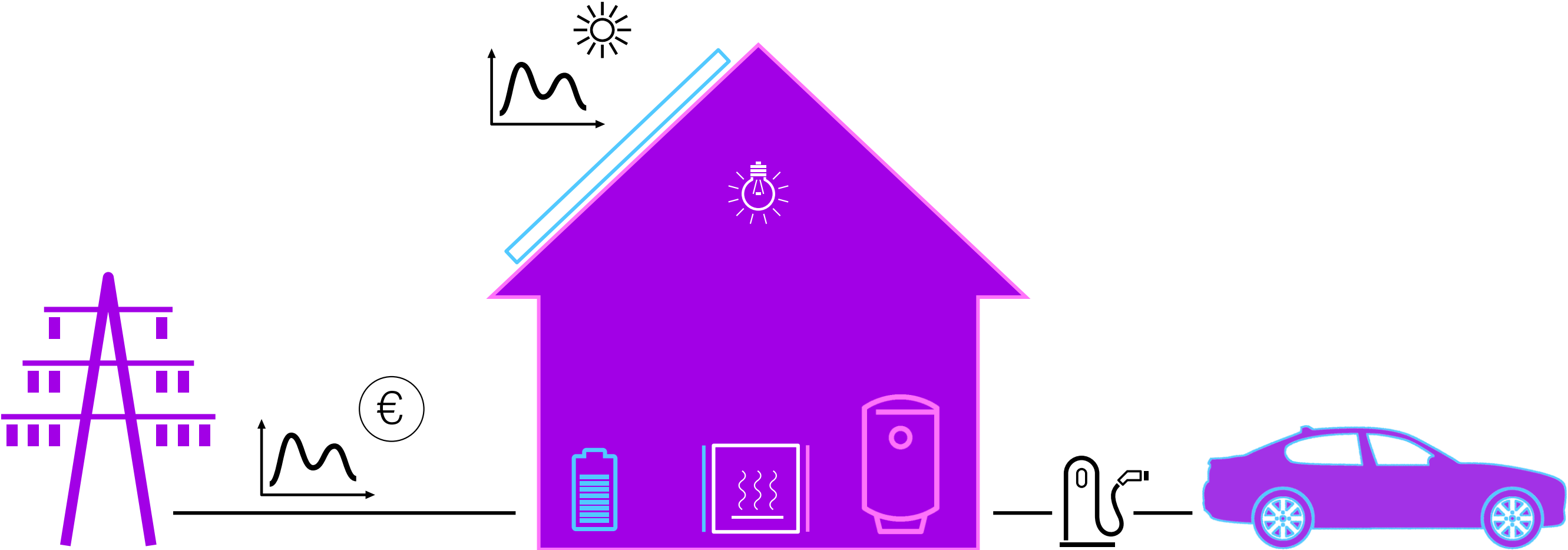
# Wir brauchen Speicher!

Strom  
Wärme



# Steigende Komplexität

- Strom
- Wärme

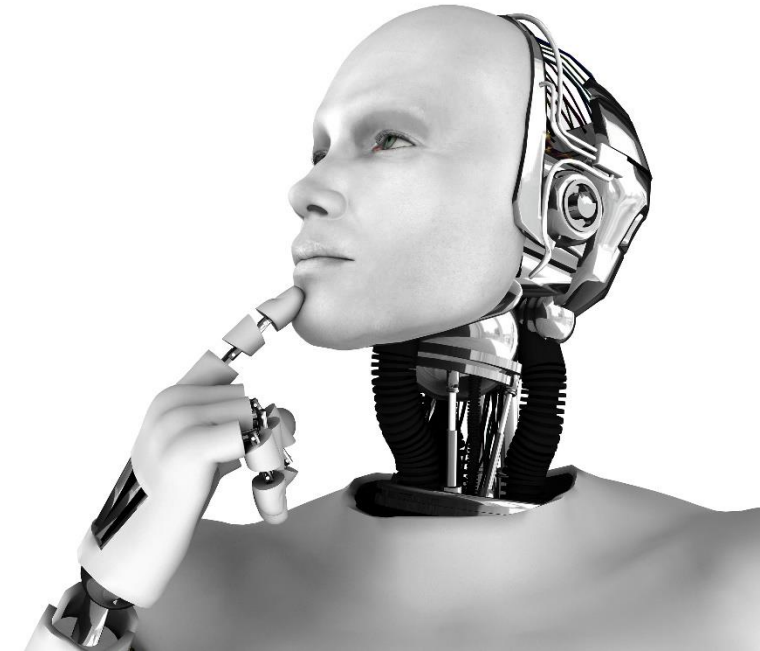


# Nutzer\*in vs. Technologie?



## Ich möchte ...

- ... ein komfortables Raumklima.
- ... mich nicht damit beschäftigen.
- ... wenig Kosten haben.



## Ich muss ...

- ... Komplexität beherrschen.
- ... vorrausschauend planen.
- ... optimalen Betrieb gewährleisten.

# Die Lösung: Autonome Entscheidungsfindung

Starke Komplexitätssteigerung in der Gebäudeenergieversorgung

- Vielfältige Gebäudetechnik(-kombinationen)
- Dezentralisierung und Flexibilisierung der Energiemärkte
- Zielkonflikt höchste Energieeffizienz vs. Wohnkomfort

- ➔ **Überforderung auf allen Seiten (Nutzer, Installateure, konventionelle Steuerungskonzepte)**
- ➔ **Selbsteinstellende Intelligenz für die autonome Entscheidungsfindung erforderlich**
- ➔ **EEBF führt innovative Echtzeitoptimierungsmethoden zur Anwendungsreife**



Quelle: <http://www.sueddeutsche.de>



# Grundidee der Echtzeitbetriebsführung

optimale Steuerung / NMPC

Online-Optimierung unter Berücksichtigung von ...

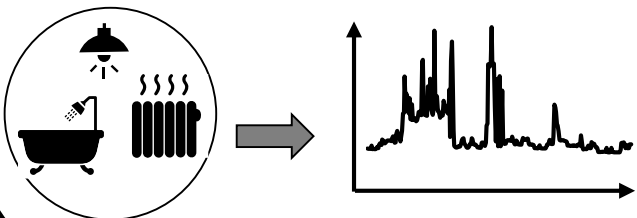
- Primärenergieverbrauch
- Energiekosten und/oder
- CO2-Emissionen

Nichtlineares Modell mit Schaltcharakteristik  
(Energieerzeugung und Speicherverhalten)



$$\dot{x}_E(t) = f(x_E(t), u_E(t), v_E(t))$$

Energiebedarfsprognose aus historischen Verbrauchsdaten, Wetterdaten mit modernen Methoden des maschinellen Lernens



Grenzwerte für zulässige Systemtemperaturen und Betriebsbereiche der Systemkomponenten inkl. Berücksichtigung von Mindestbetriebszeiten

Optimale Steuerung

Last-prognose

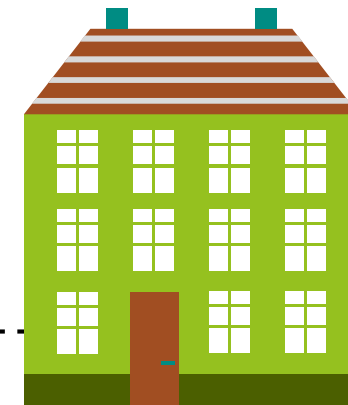
Kosten-funktion

System-modell

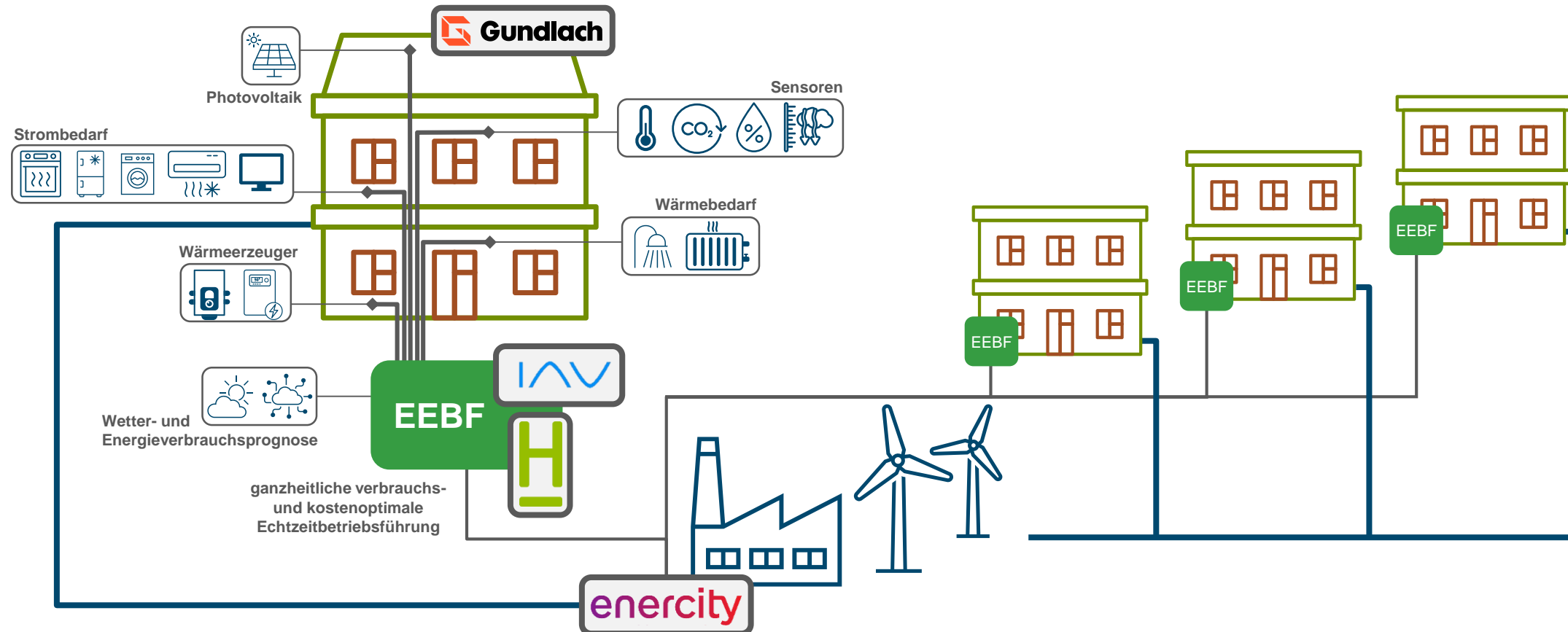
Beschränk-ungen

Optimierung

NMPC



# EEBF – Projektkonsortium



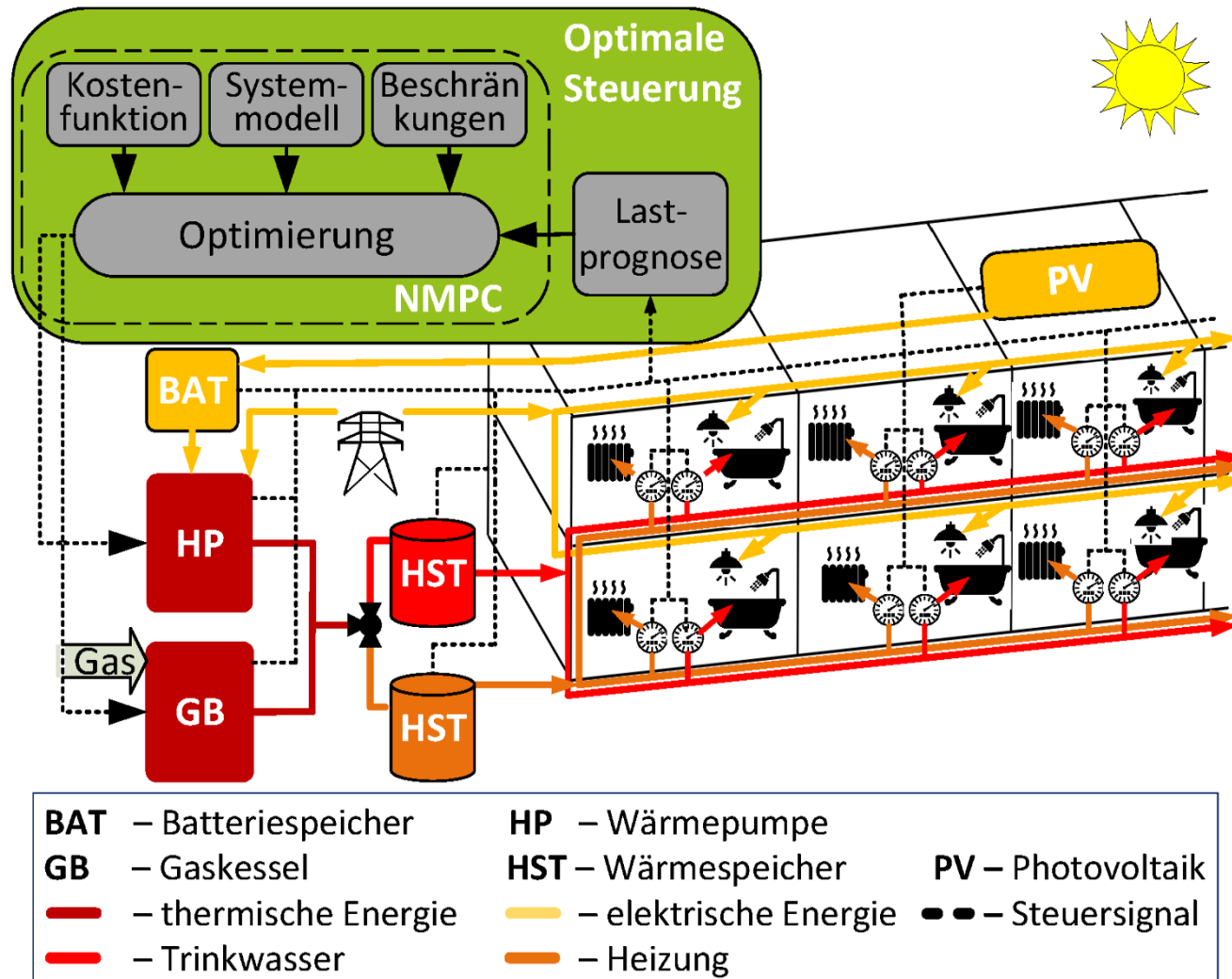
Das Projektkonsortium bildet alle erforderlichen Kompetenzen von der **Energieversorgung** (enercity), über die **Gebäudeseite** (Gundlach), der **Steuerungsalgorithmen** (Hochschule Hannover) bis hin zur **Integration in ein reales Gebäude** (IAV) ab!





# NMPC-Implementierung im Demonstratorgebäude

## Problemformulierung



## Energiemanagementsystem mit

### Zustandsgrößen:

- Temperaturen der Pufferspeicherfächer (1,2,3)
- Ladezustand des Batteriespeichers

### Eingangsgrößen:

- Diskrete Zustände (0/1) der Erzeuger (Wärmepumpe, Kessel)
- Kontinuierliche Eingangsleistung der Erzeuger
- Elektrischer Strom aus dem Speicher

### Kostenfunktion:

- Stromeinkaufspreis
- Einkaufspreis für Gas
- Zusätzliche Terme zur Erhöhung der Stabilität des Controllers

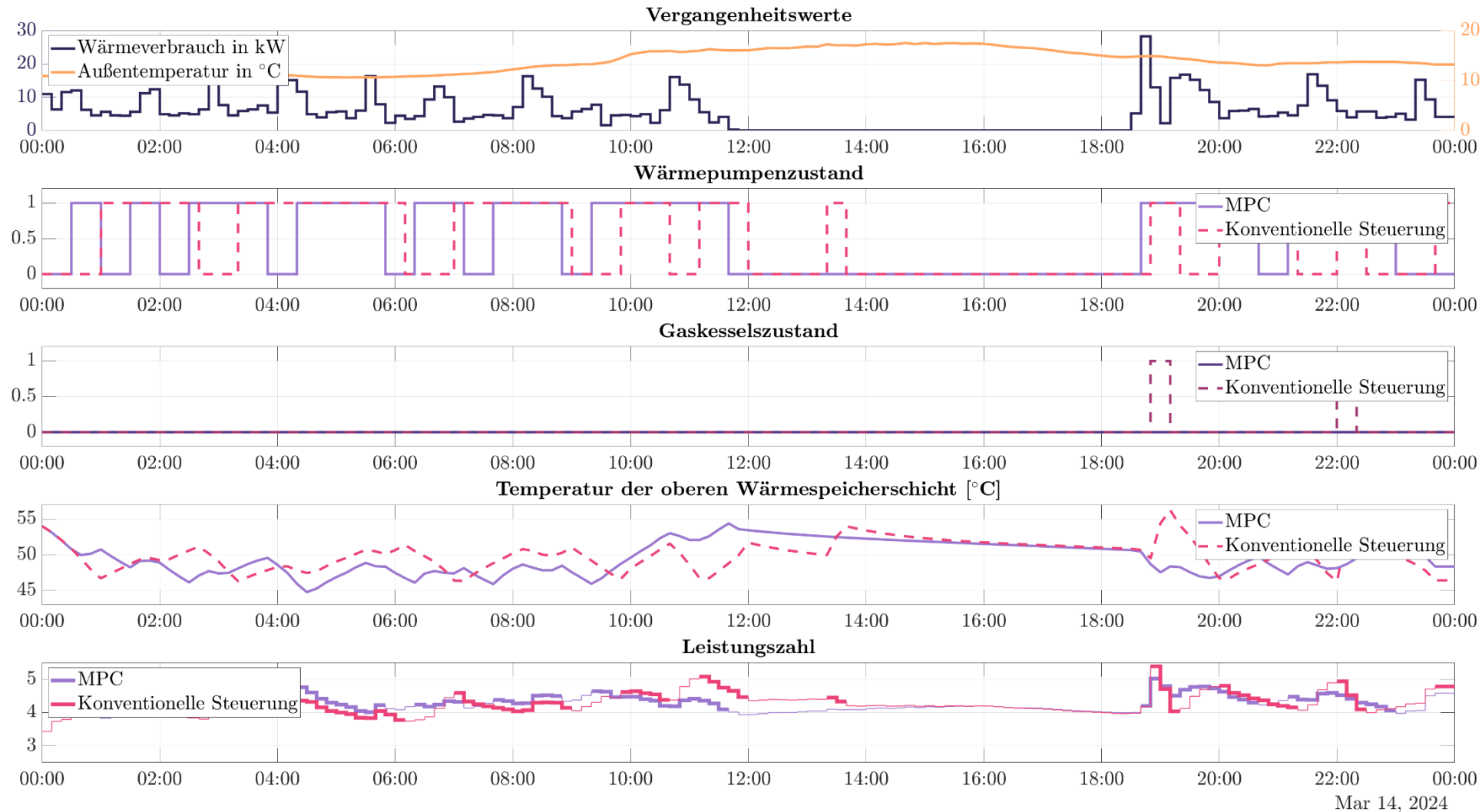
### Systembeschränkungen:

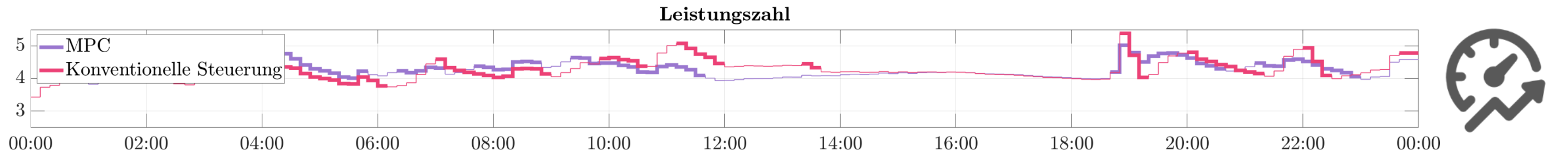
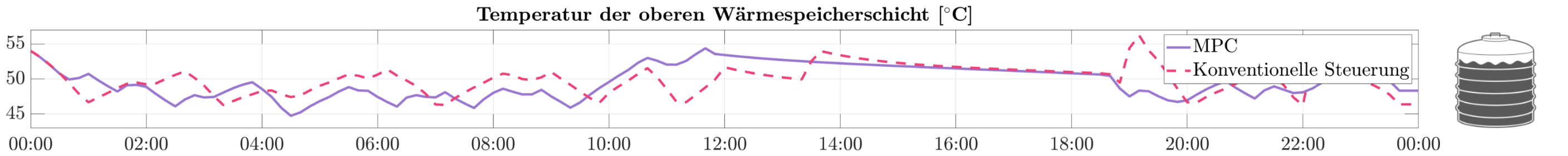
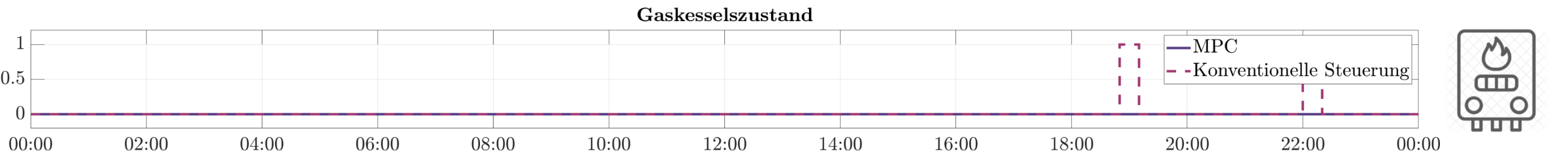
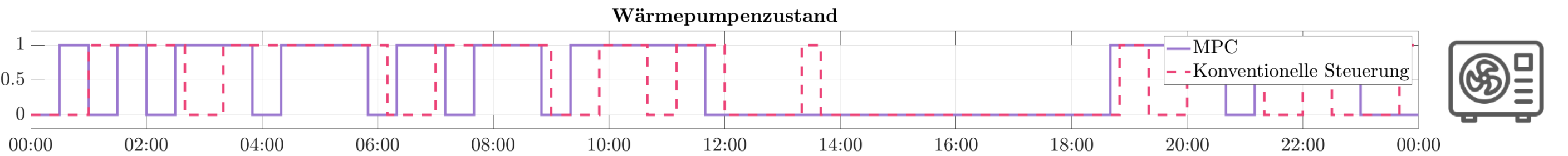
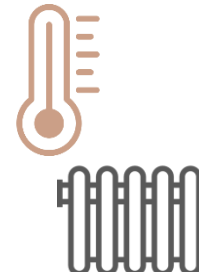
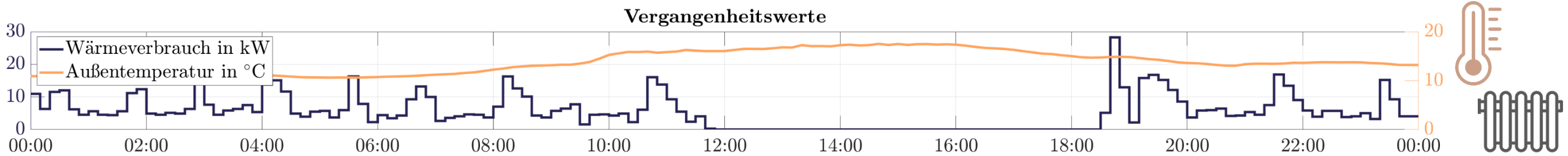
- Speichertemperaturen
- Mindestleistung der Erzeuger
- Maximale Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur der Wärmepumpe
- Zusätzliche Einschränkungen für die Stabilisierung des Controllers

# NMPC-Implementierung

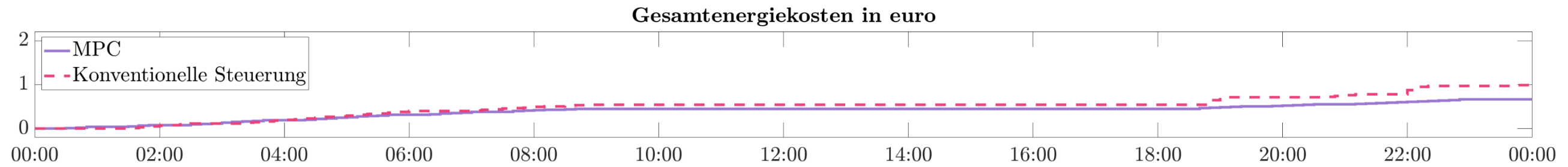
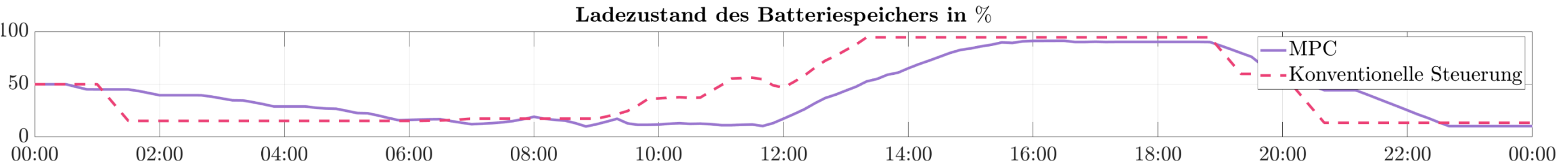
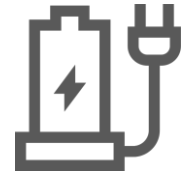
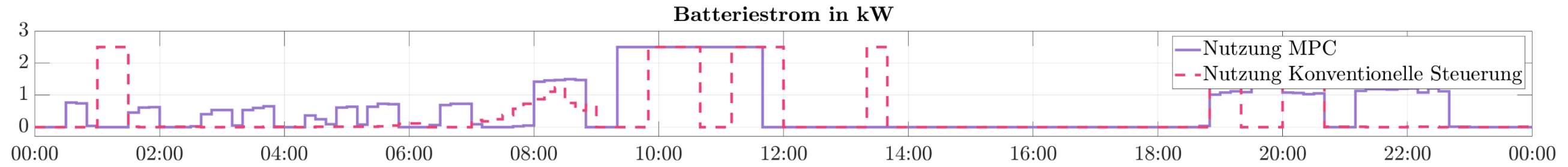
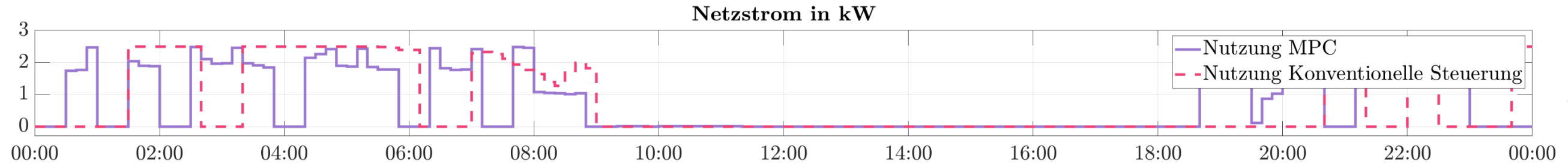
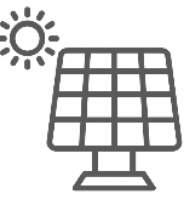
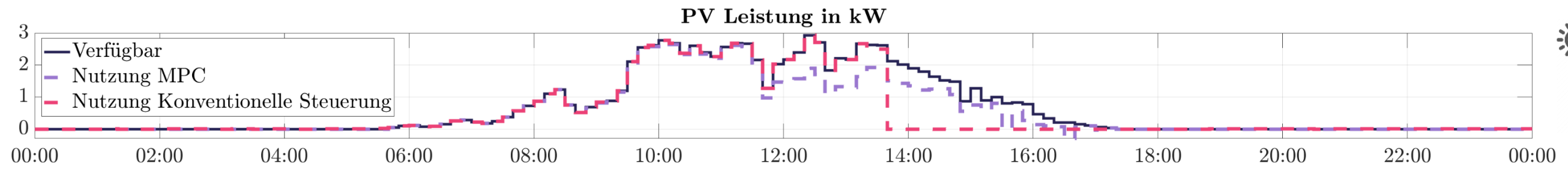
## Simulative Ergebnisse für das Demonstratorgebäude

### Optimierte konventionelle Steuerung





Mar 14, 2024



Mar 14, 2024

# Resultate

hohes Kosteneinsparungspotenzial

	KS(Anleitung)*	KS*	MPC*
Gesamtgaskosten	1560,46	309,04	0,00
Gesamtstromkosten	130,55	714,93	668,98
Gesamenergiekosten	1721,01	1023,96	668,98
Relative Kosten	114,3%	100%	65,3%

\*KS\*(Anleitung) – Konventionelle Steuerungsstrategie gemäß Funktionsbeschreibung des Herstellers

\*KS – Konventionelle Kontrollstrategie, aktualisiert wegen der Systemkenntnis

\*MPC – modellprädiktive Regelung, optimierungsbasierte Strategie, durchgeführt mit moderner Software für optimale Steuerung (acados)

⇒ **34,7% potenzielle Energiekosteneinsparungen**



# Resultate

Langlauf (01.02.24 – 30.04.24, 89 Tage) – 1000 Liter Wärmespeicher

	KS(Anleitung)	KS	MPC	MPC mit Vorhersage
Gesamtgaskosten	172.681,37	62.745,64	5.671,79	13.703,14
Gesamtstromkosten	42.167,61	99.367,78	112.301,59	105.993,99
Gesamenergiekosten	214.848,97	162.113,42	117.973,38	119.697,13
Relative Kosten	132,5%	100%	72,8%	73,8%

\*KS\*(Anleitung) – Konventionelle Steuerungsstrategie gemäß Funktionsbeschreibung des Herstellers

\*KS – Konventionelle Kontrollstrategie, aktualisiert wegen der Systemkenntnis

\*MPC – modellprädiktive Regelung, optimierungsbasierte Strategie, durchgeführt mit moderner Software für optimale Steuerung (acados)

\*MPC mit Vorhersage - modellprädiktive Regelung, Vorhersagedaten für den Wärmeverbrauch verwendet werden

⇒ **27,2% potenzielle Energiekosteneinsparungen**



# Herausforderungen & Lessons Learned der praktischen Umsetzung

- Installation von zusätzlicher Messtechnik
- Mitwirkung Mieter
- Verfügbarkeit von Handwerkern



**Intensive Zusammenarbeit mit der Gebäudeverwaltung**



- Individuelles Setup von Energieversorgungssystemen



**Automatische Werkzeugkette für die Erstellung von industriellem Steuerungscode und die automatisierte Modelladaption**



- Gesamtkomplexität der Systeme
  - Vorhandene Infrastrukturen beschränken das Optimierungspotential
  - Fehlendes Knowhow bei Installateuren & Planern
  - Optimierungspotentiale bleiben ungenutzt
- Betriebs- und Planungsregularien beschränken Optimierungspotentiale



**Anpassung von Regularien und Infrastrukturen erforderlich**

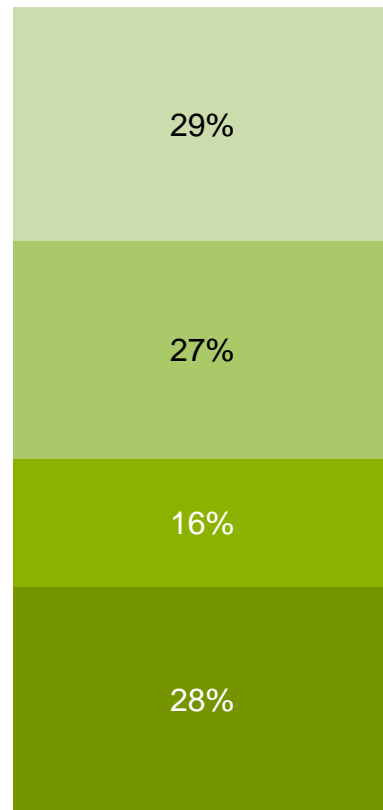


**Die Gebäudesteuerung kann zum zentralen Motor der Wärmewende werden!**

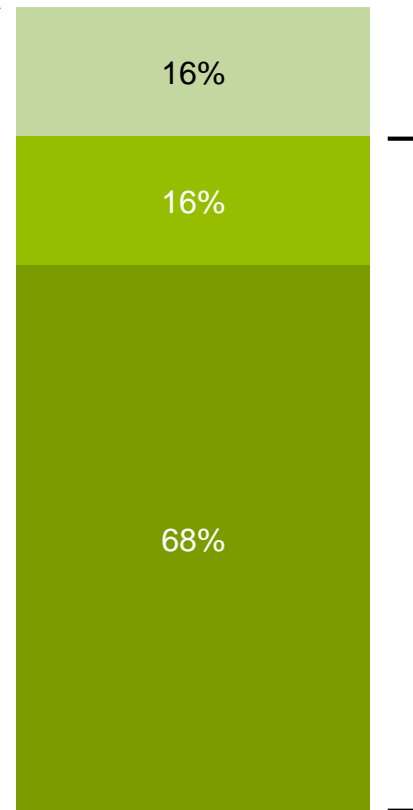


# Wieviel hilft uns das?

Primärenergie Deutschland



Anteil in Gebäuden



Möglicher Impact

× 20% ≈

10.000 

■ Haushalte ■ Gewerbe ■ Verkehr ■ Industrie

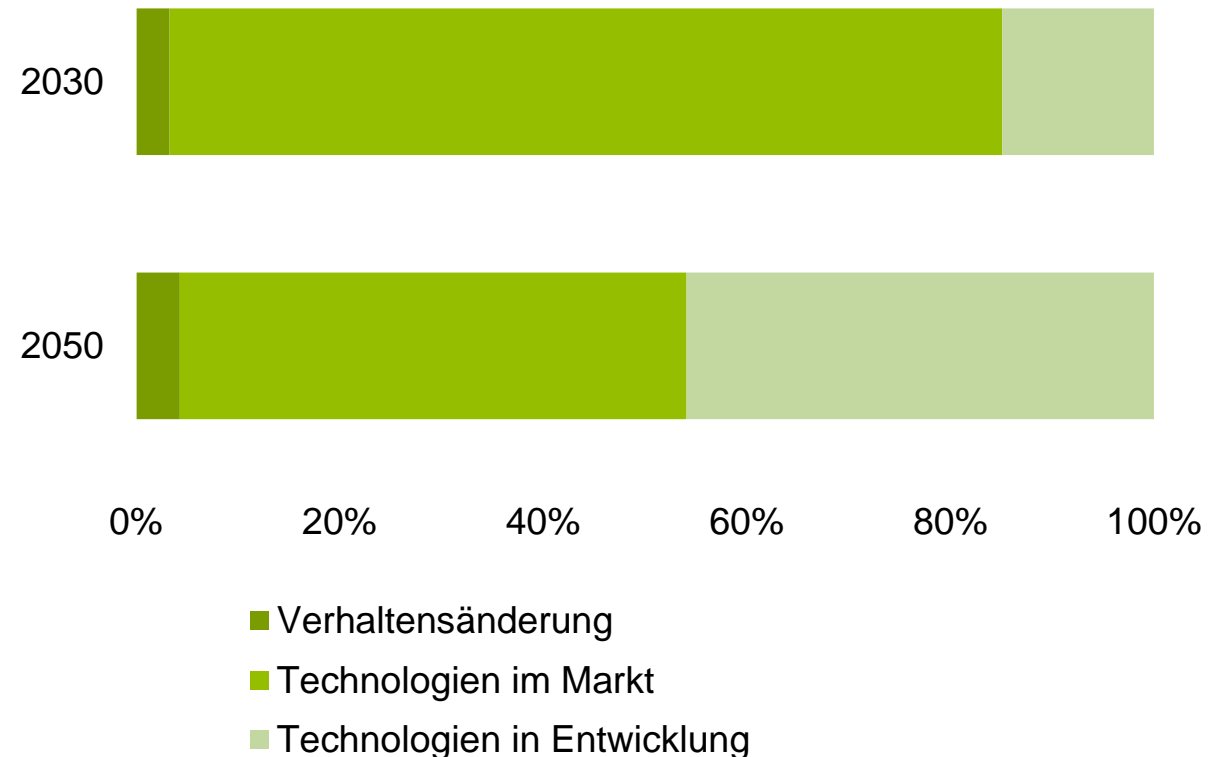
■ Raumwärme ■ Warmwasser ■ Sonstiges

**Die Gebäudesteuerung wird zum zentralen Motor der Wärmewende werden!**



# Generelle Potentiale der Digitalisierung

## CO<sub>2</sub> - Einsparungen nach „Net zero pathway“



Quelle: International Energy Agency (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris

## Beschränkungen

- Ausbaugeschwindigkeit
- Regulatorik & Sicherheitsfokus
- Datenverfügbarkeit & -nutzbarkeit

## Potentiale autonomer Entscheidungen

- Skalierbar, breit anwendbar
- Beherrschung von Komplexität
- Hohe Nutzungsgrade bestehender Infrastruktur

