

Regionales Virtuelle Kraftwerke – Chancen für den Transfer der Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert

TU Dresden / TU Berlin

Ausgangssituation

Nationale, europäische & internationale Energiepolitik

- Tendenziell steigende Energiepreise bzw. Wandel in den Versorgungsstrukturen zwingen zur Energieeinsparung
- Integriertes Energie – und Klimaprogramm (IEKP)
 1. Bis 2020 Verdoppelung der Energieproduktivität (zu 1990)
 2. Bis 2020 Ausbau der ern. Energien (Strom von 25% - 30%)
 3. Erhöhung der ern. Energien am Wärmemarkt auf 14%
 4. Bis 2030 Verringerung der CO₂-Emissionen um 65% (zu 1990)

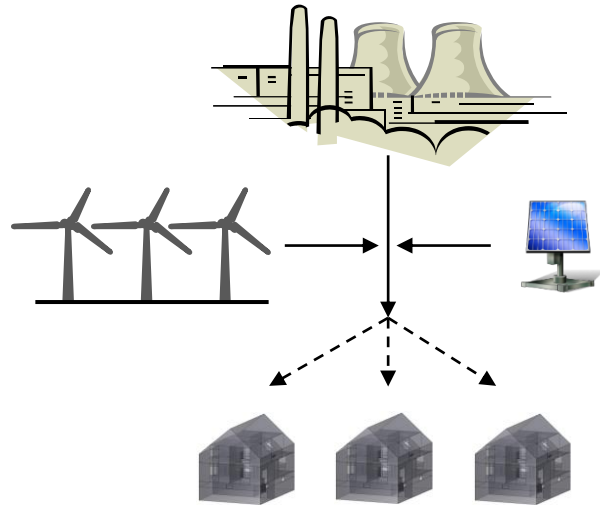


Signifikante Auswirkung auf die Energieversorgung



Transformationsprozess in der Energietechnik

zentrales Energiesystem

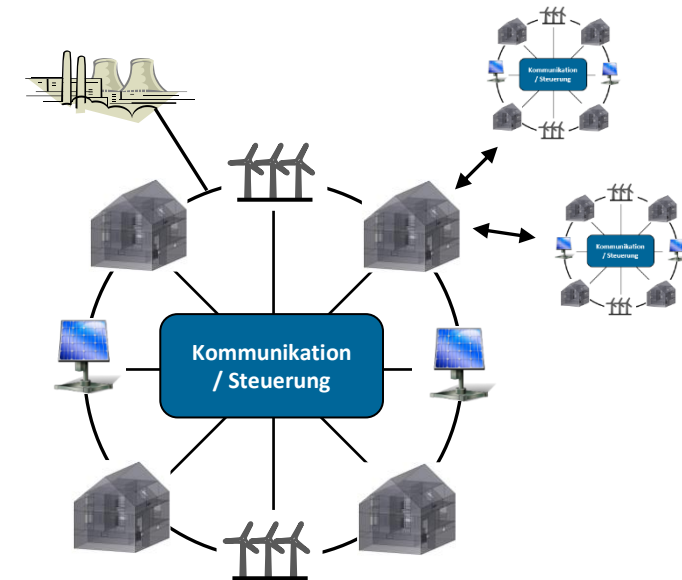


- zentrales, klar strukturiertes Energiesystem
- geringe Sektorkopplung (Strom / Wärme / Gas)
- geprägt durch Großkraftwerke

Energiewende

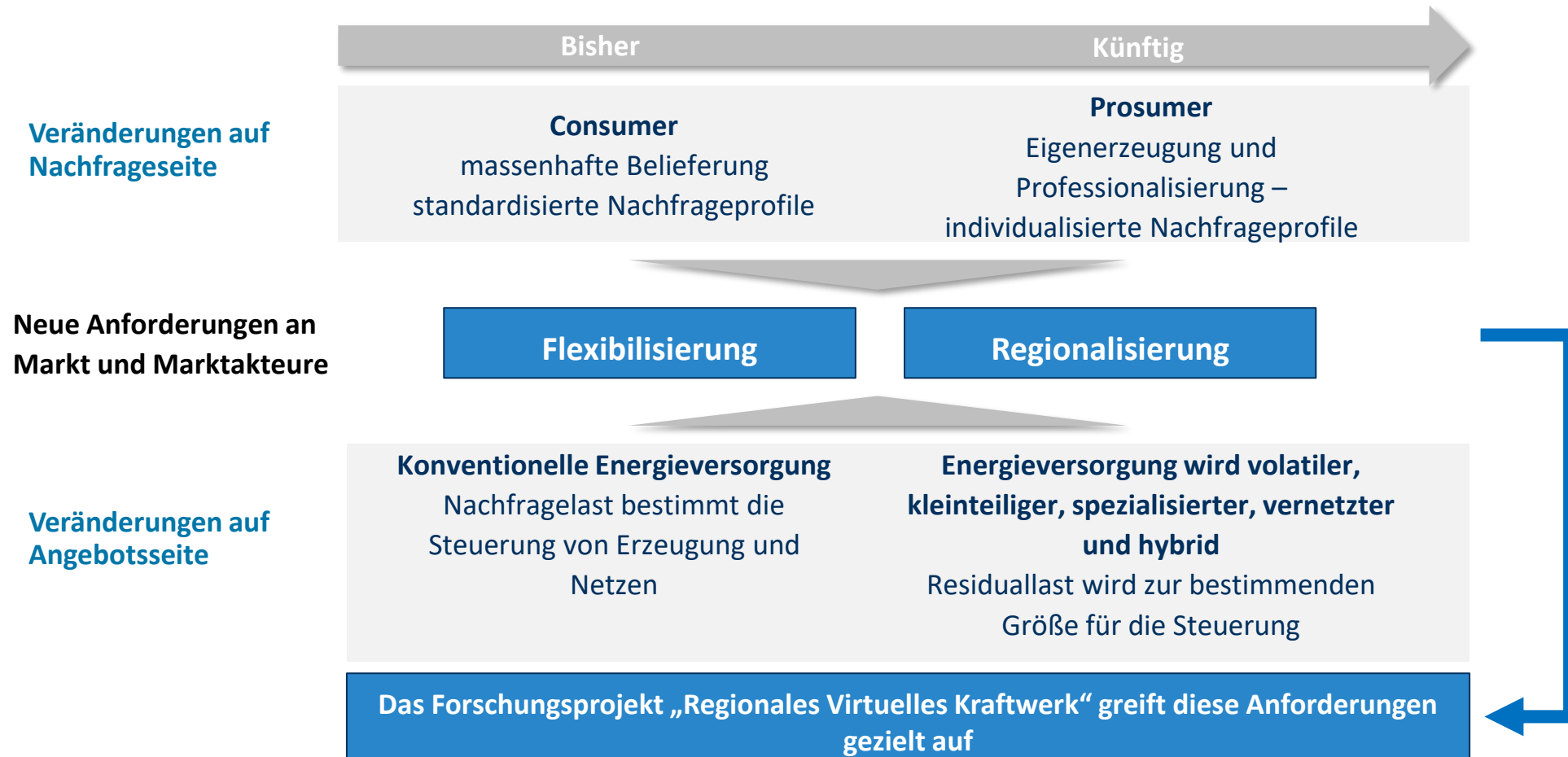


dezentrales Energiesystem



- dezentrales Energiesystem
- Sektorkopplung (Strom / Wärme / Gas)
- kleine Anlagen werden in die regionalen Märkte integriert und müssen flexibel sein

Transformationsprozess in der Energietechnik



Aufbau des Regionalen Virtuellen Kraftwerks

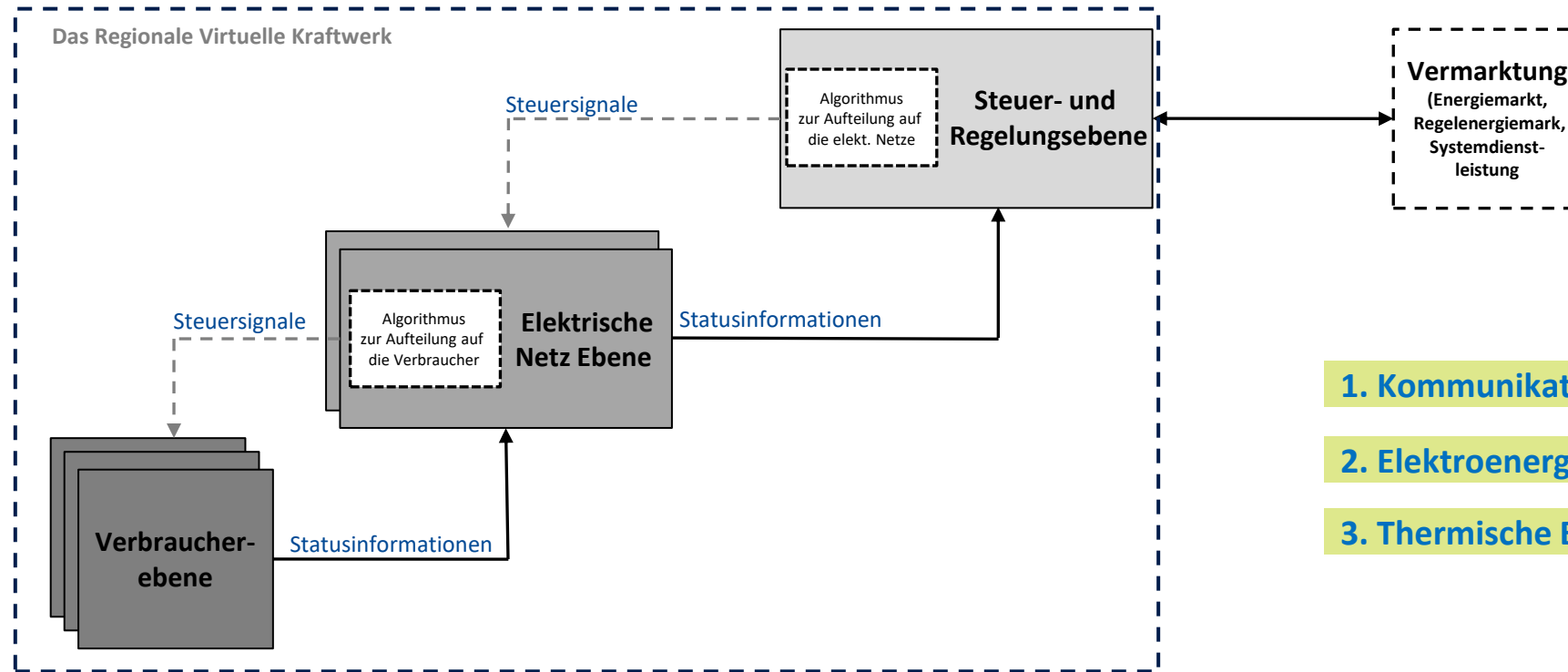
- Region Oldenburg
- Liegenschaften bestehend aus Ein- und Zweifamilienhäusern / Kleingewerbe



17 Feldteststandorte
(regionaler Cluster aus 15 x KWK und 2 x Brennstoffzellen)
Zusammenfassung der Standorte im „virtuellen Ortsnetz“

Aufbau des Regionalen Virtuellen Kraftwerks

- hierarchischer Aufbau
- Gliederung in 3 Ebenen



Struktur des Regionalen Virtuellen Kraftwerks (Ebenen-Modell)

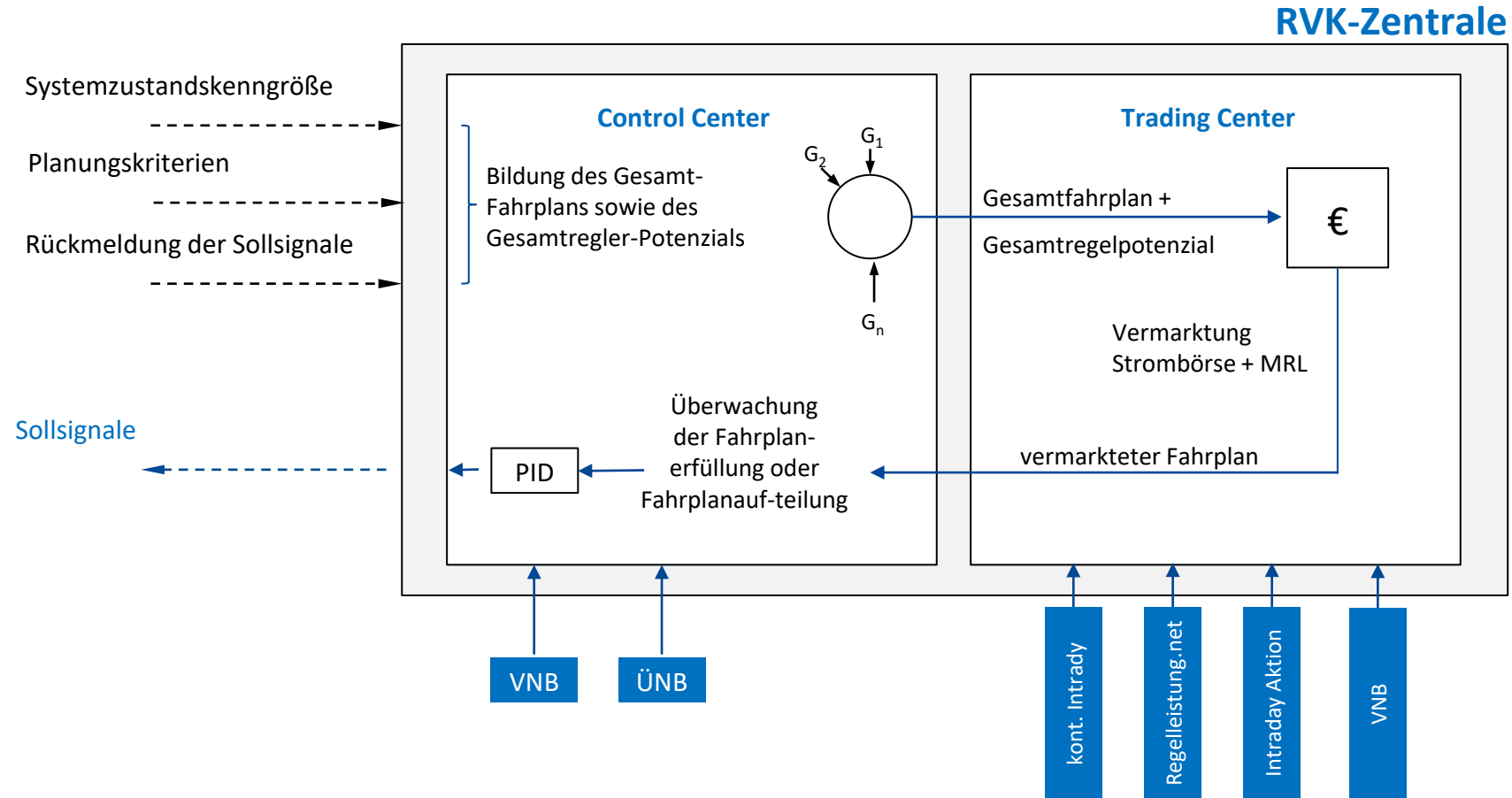
1. Kommunikationstechnik

2. Elektroenergietechnik

3. Thermische Energietechnik

Aufbau des Regionalen Virtuellen Kraftwerks

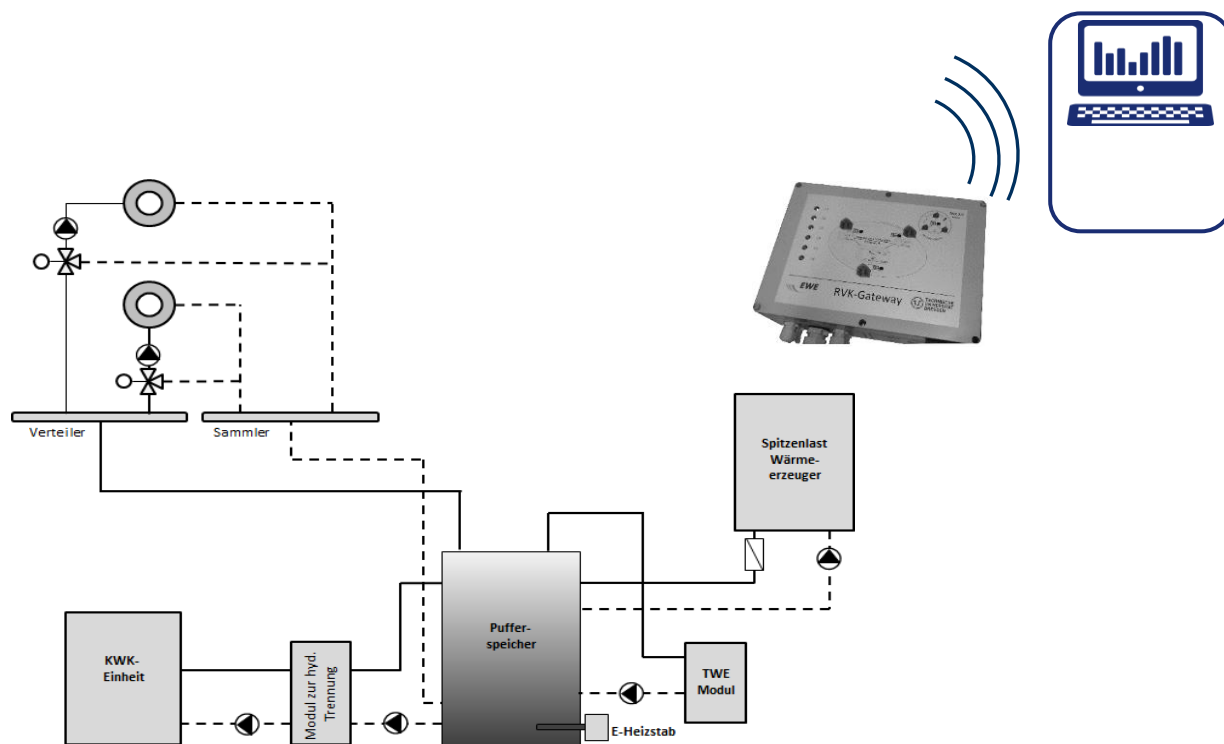
- Aufbau der RVK Zentrale



Zentrale des regionalen Virtuellen Kraftwerks mit Anbindung an das Control- und Trading Center

Aufbau des Regionalen Virtuellen Kraftwerks

- lokale Systemarchitektur



Einheitliche lokale Installation des Versorgungssystems
(KWK Einheit / Speicher / Elektroheizstab / Gateway / Therme)



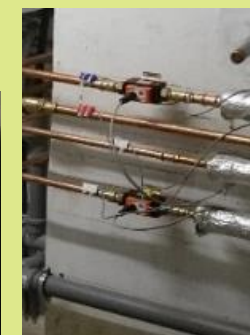
KWK-Anlage



Speicher mit Heizstab



RVK-Gateway



Volumenstromsensoren

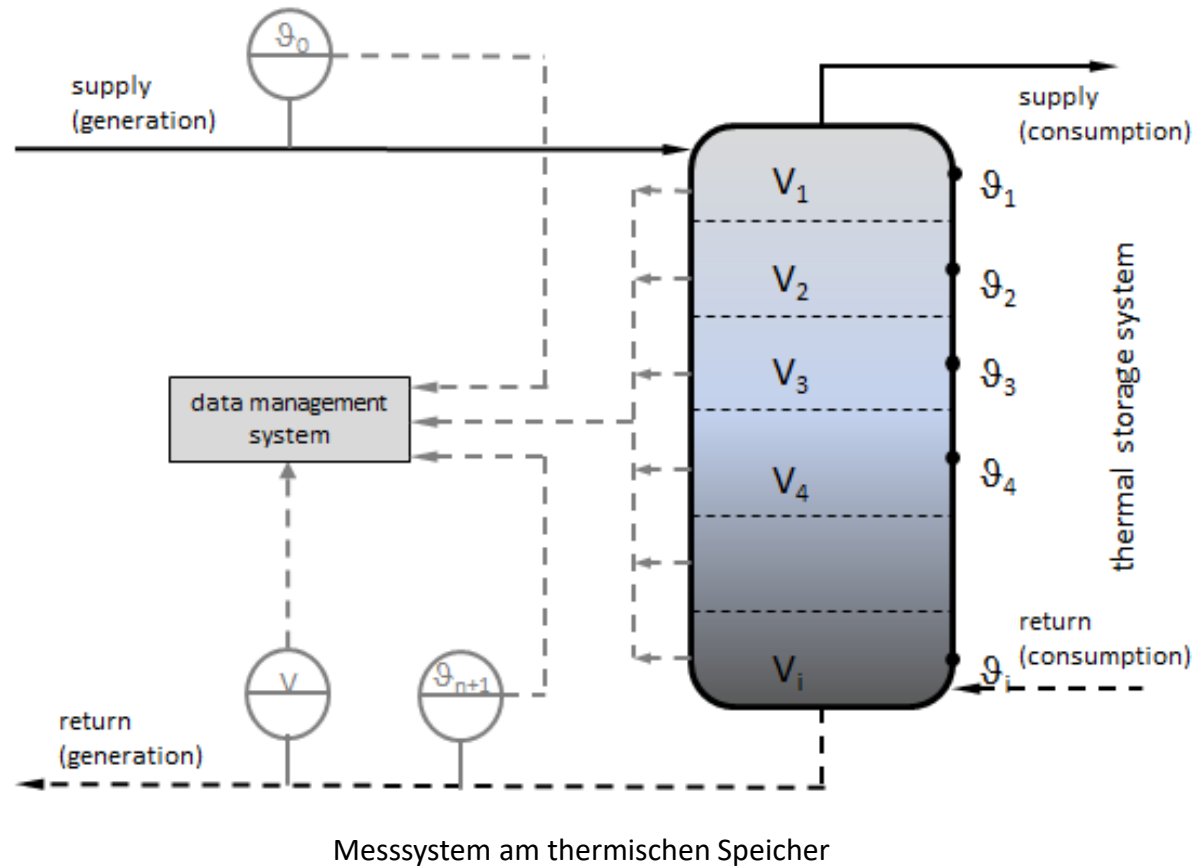


Gasbrennwerttherme

Komponenten – lokale Installation

Aufbau des Regionalen Virtuellen Kraftwerks

- lokale Systemarchitektur



- Ermittlung aller Temperaturen und Masseströme
- Berechnung der relevanten energetischen Kenngrößen
- Berechnung des zu erwartenden thermischen Verbrauchs sowie der elektrischen Leistung (Zeitauflösung)
- Bestimmung des Energievektors
- Informationsvernetzung zum zentralen Backend

Aufbau des Regionalen Virtuellen Kraftwerks

- Prognosefunktionen

Analyse verschiedener Prognoseverfahren

- Standardlastprofile
- Trendverfahren



**Thermischer
Bedarf**



**Elektrische
Leistung**

Trendverfahren

Verlauf des Bedarfs basiert auf vergangenen Realwerten --- Trend wird fortgesetzt

- gleitender Mittelwert
- Mittelwert eines festliegenden rückwärtigen Intervalls
- kleinstes Fehlerquadrat

$$Q_{d+1} = m \cdot \mathcal{G}_{a,d+1} + t$$

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (\mathcal{G}_{a,i} - \bar{\mathcal{G}}_a) \cdot (Q_i - \bar{Q})}{\sum_{i=1}^n (\mathcal{G}_{a,i} - \bar{\mathcal{G}}_a)^2}$$

$$t = \bar{Q} + m \cdot \bar{\mathcal{G}}_a$$



**Prognose der Wetterdaten über
„OpenWeatherMap“**

Datenmanagement - RVK-Gateway

Anforderungen an das Gateway

1. Schnittstellen

z.B. Analog-In/Out, One-Wire-Bus, M-Bus, Digital-In/Out, ModBus TCP ...

2. Monitoring und Steuerung

interner Web-Server (live Anzeige / historische Daten / Funktionalitäten zur Wartung und zum Pooling (Konfiguration, Parametrierung, Fernwartung, Inbetriebnahme)

3. Kommunikation

Aufbau einer Kommunikationsverbindung zu den übergelagerten Ebenen per Fernwirkprotokoll IEC-60870-5-104 und TCP-IP (verschlüsselt mit SSL/TLS)

4. Datenaggregation

Prognose und Fahrplanerstellung thermisch/ elektrisch, Planungskriterien

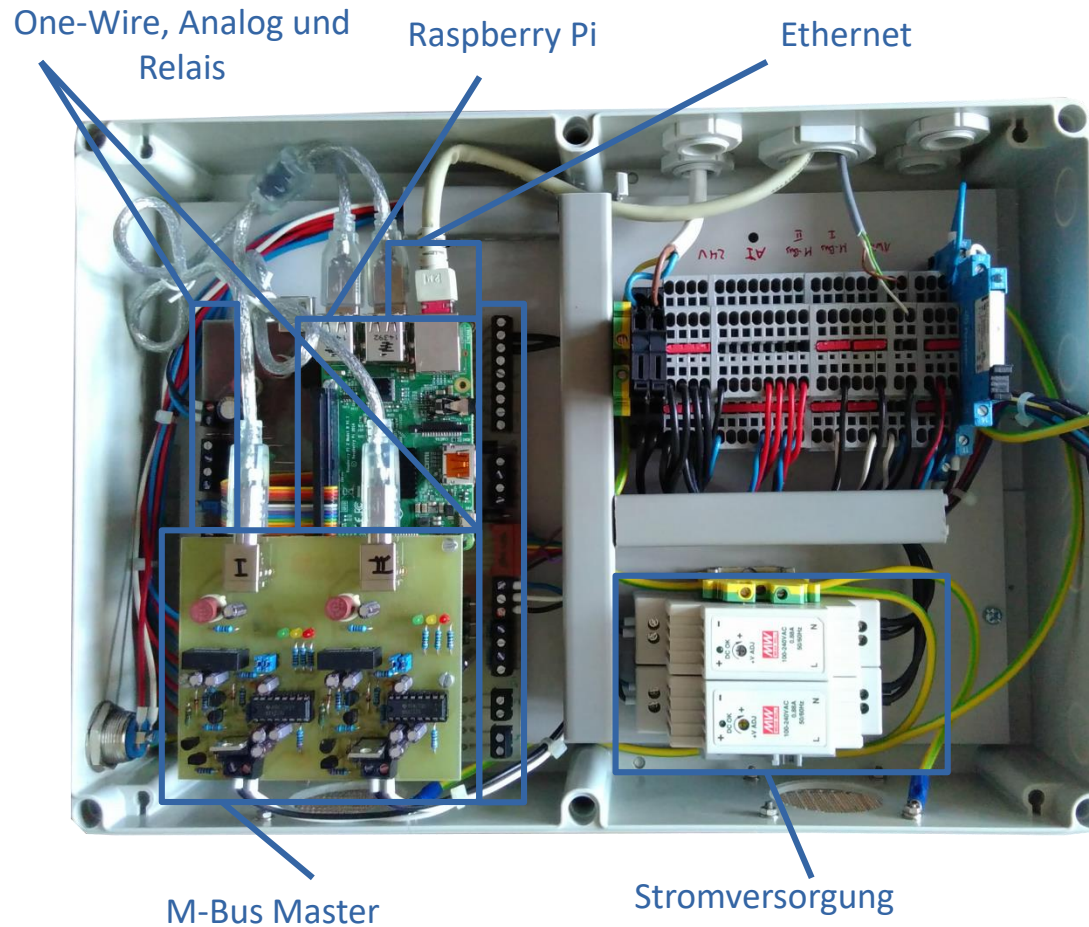
Prototyp



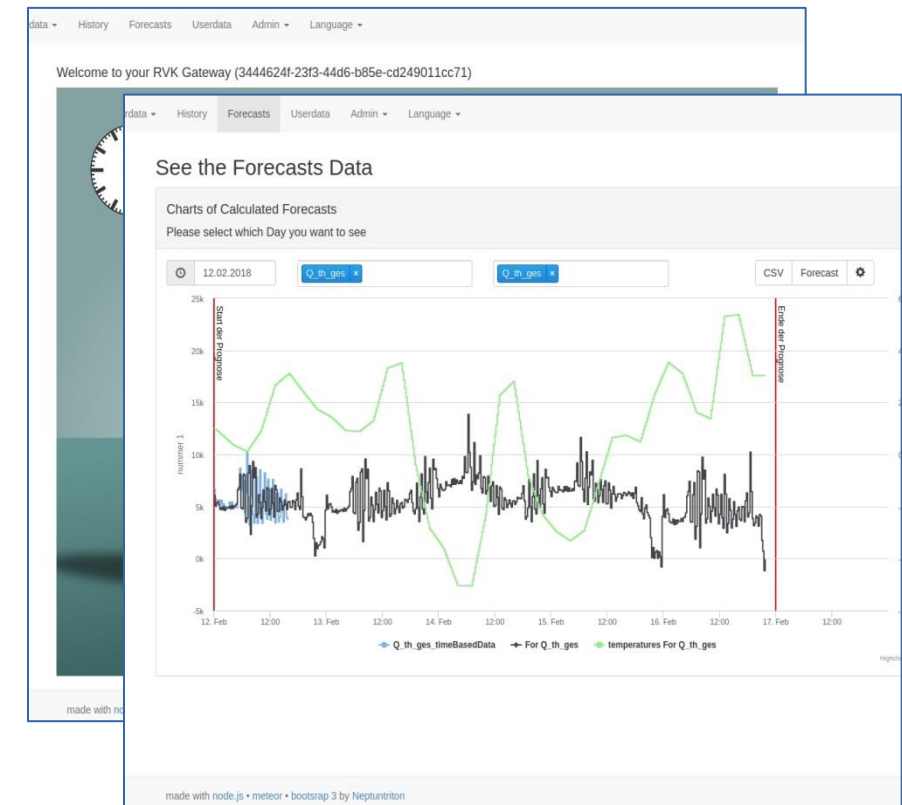
Ansicht – RVK -Gateway

Datenmanagement - RVK-Gateway

Hardware

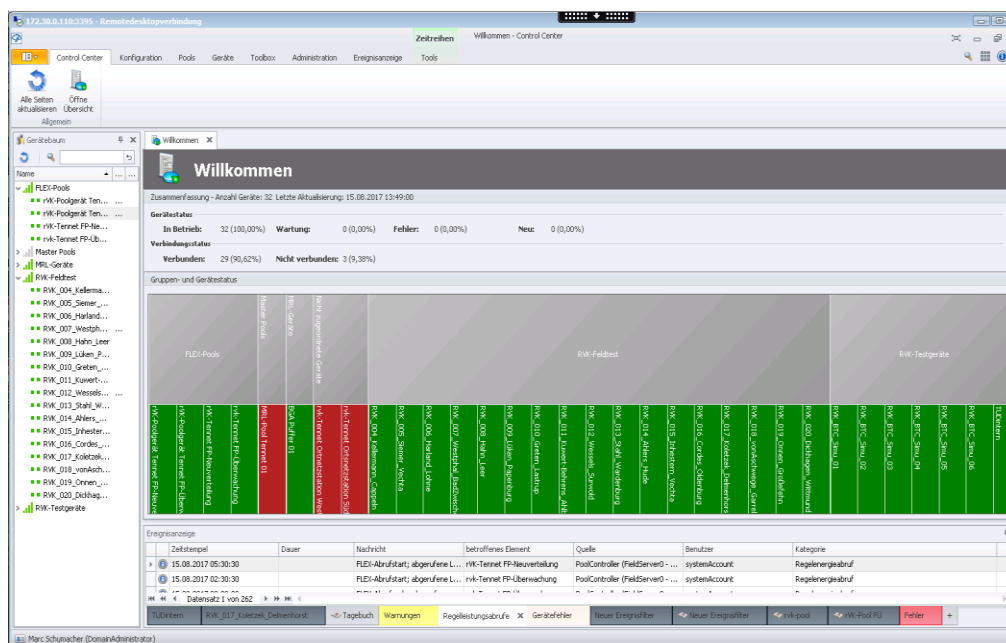


Software



Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Anbindung von Mikro-KWK Anlagen
- Steuerung / Regelung von Mikro-KWK Anlagen nach neuen Logiken
- Berücksichtigung von Geoinformationen über den Standort der Erzeugungsanlagen



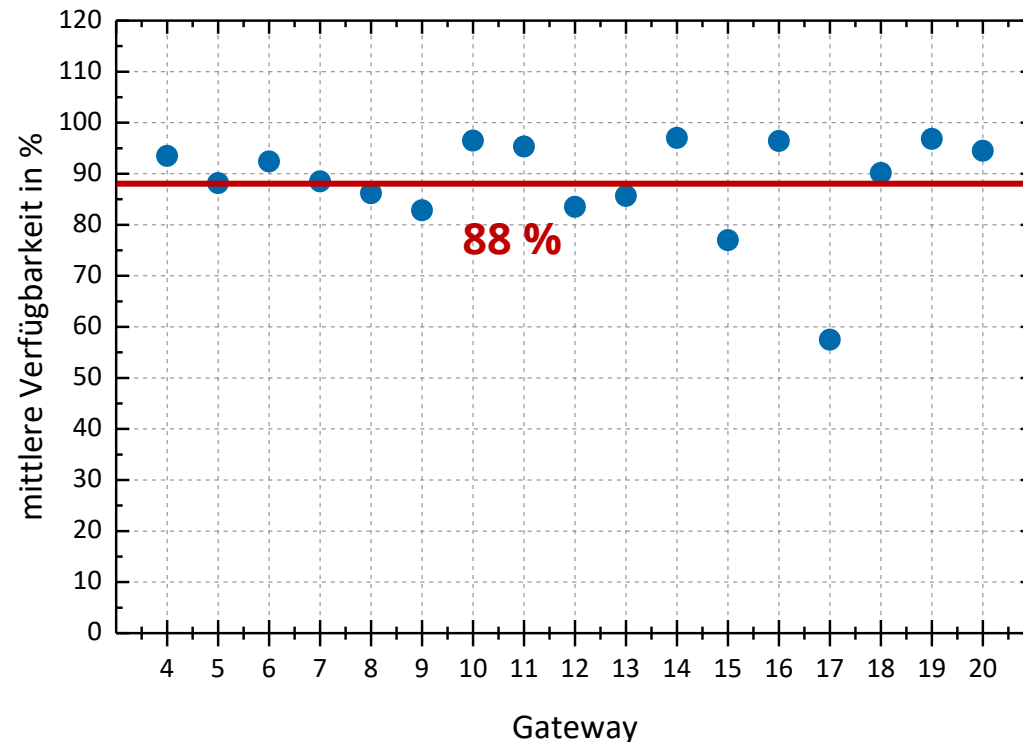
Neue Oberfläche des zentralen Steuerungssystems



Pooling von „Kleinanlagen“ nach Geoinformationen

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Datenverfügbarkeit / Datensicherheit



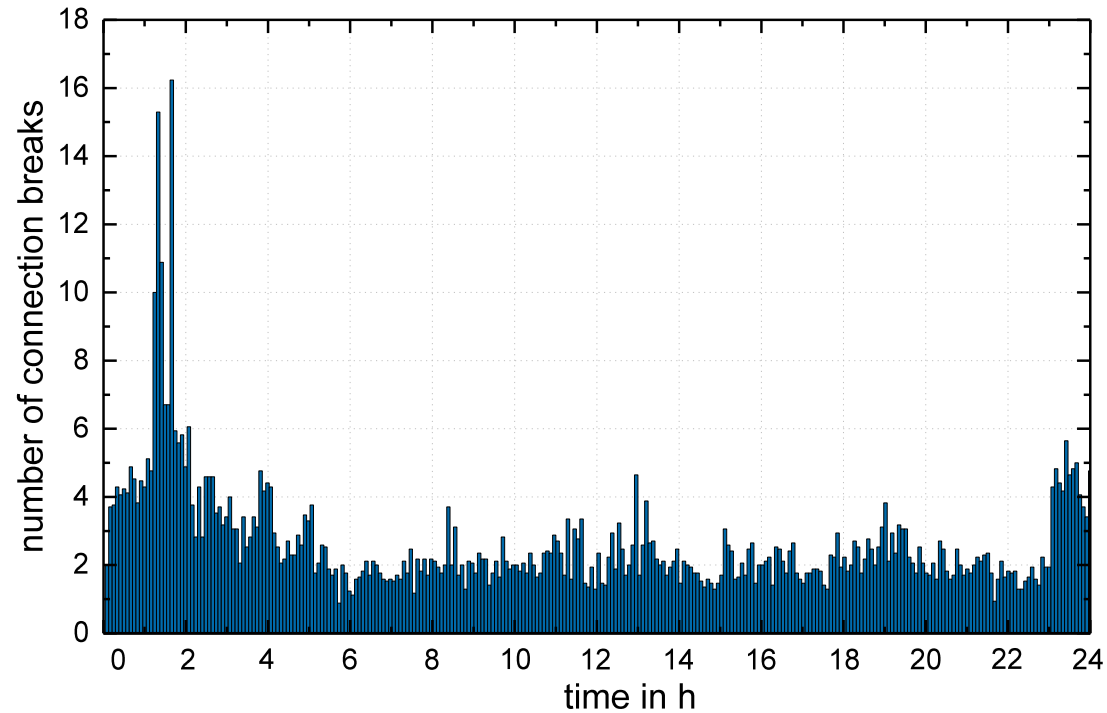
Mittlere Verfügbarkeit (kommunikationstechnische Erreichbarkeit) der installierten Gateways in der Heizperiode 2016 / 2017



1. Die KWK-Anlagen wurden über den Internet-Router der Kunden angebunden
2. Im aktiven RVK-Betrieb lag die mittlere Verfügbarkeit des Pools bei **88 %**
3. Die Verfügbarkeit der einzelnen Anlagen lag zwischen **58 – 98 %**
4. Wesentliche Gründe für Verbindungsabbrüche sind:
 - Kommunikationsabbrüche
 - Sensorausfälle
 - Interne Abschaltung der Anlagen

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Datenverfügbarkeit / Datensicherheit



durchschnittliche Anzahl der Verbindungsunterbrechungen nach Zeit
sortiert - täglich

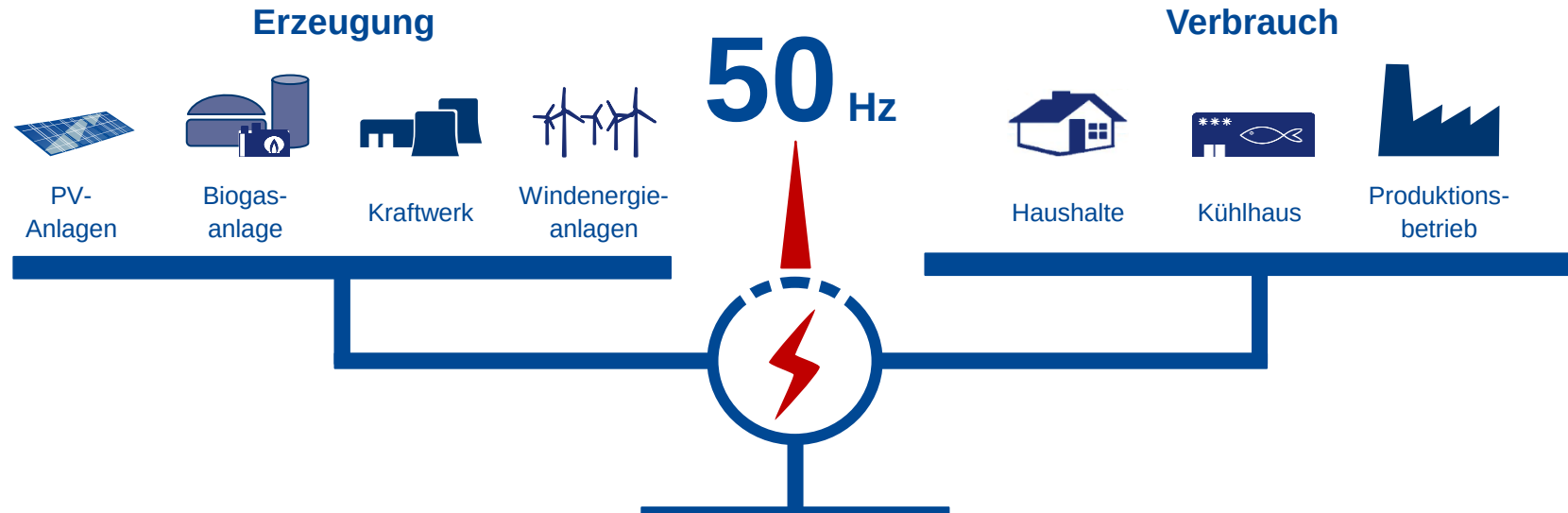


Zeit	Kommunikations- unterbrechungen in %
$\tau \leq 15 \text{ s}$	26,2
$15 \text{ s} < \tau \leq 30 \text{ s}$	6,6
$30 \text{ s} < \tau \leq 1 \text{ min}$	9,6
$1 \text{ min} < \tau \leq 2 \text{ min}$	42,7
$2 \text{ min} < \tau \leq 5 \text{ min}$	7,2
$5 \text{ min} < \tau \leq 30 \text{ min}$	4,3
$30 \text{ min} < \tau \leq 2 \text{ h}$	2,1
$2 \text{ h} < \tau \leq 24 \text{ h}$	1,0
$\tau > 24 \text{ h}$	0,2

Kommunikationsfehler geteilt durch die Zeit

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

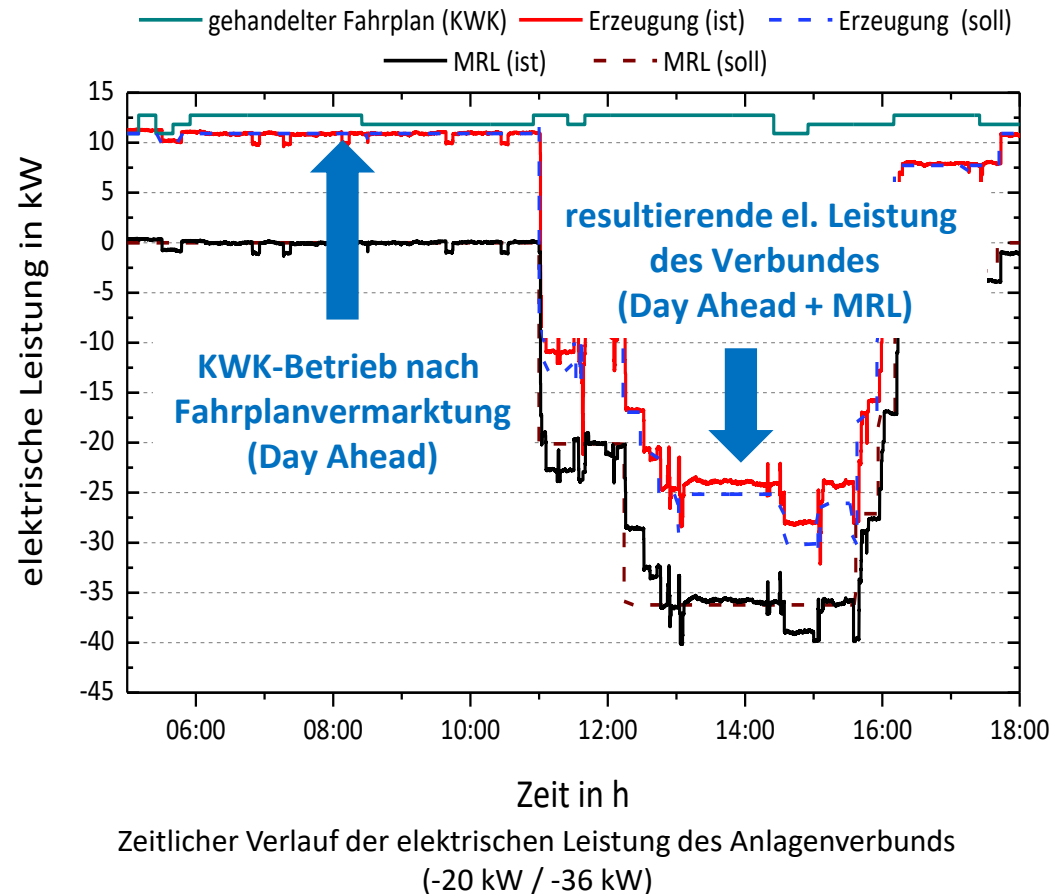
- Regelleistungsabruf mit Kleinen Einheiten



- Unterschiedliche regelungstechnische Möglichkeiten (Primärregelung / Sekundärregelung / Tertiärregelung = Minutenregelleistung (MRL))
- MRL Abruf: nach 5 Minuten aktiviert ; nach 15 Minuten volle Leistung
- MRL Abruf: positiv und negativ möglich

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- zweistufiger MRL Abruf ist möglich (Limitierung: Größe des Pufferspeichers)



1. RVK System ermöglicht zuverlässig die Fahrplanvermarktung am **Day Ahead Markt**
2. Zusätzliche Erlöse können durch **Lastabwurf** generiert werden (MRL – Minutenreserve oder auch Teriärregelung genannt)
3. System ist **bidirektional** betreibbar

Sektorkopplung ist aktiv möglich / RVK-System kann eine Stabilisierung vom Niederspannungsnetz aus realisieren

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Auswirkung unterschiedlicher Betriebsweisen auf die Anlageneffizienz

wärmegeführter Betrieb

(Fahrweise ohne Bezug zum elektrischen Bedarf)

stromoptimierter Betrieb

(Fahrweise gegen den elektrischen Bedarf)

RVK Betrieb

(lokaler Wärmebedarf ist eine Nebenbedingung / Fahrweise orientiert sich an Vorgaben des elektrischen Netzes)

Anlagen	Symbol	wärmegeführter Betrieb	stromoptimierter Betrieb	RVK Betrieb
KWK	$\beta_{\text{KWK,el,i}}$	23,0 %	22,6 %	22,3 %
	$\beta_{\text{KWK,ges,i}}$	79,0 %	74,9 %	74,3 %
Therme	$\beta_{\text{Th,i}}$	77,7 %	76,2 %	74,5 %
System (lokales RVK System)	$\beta_{\text{Sys,ges,i}}$	73,3 %	69,0 %	63,0 %

Einfluss der Fahrweise auf die Effizienz der einzelnen RVK – Komponenten (lokale Betrachtung)

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- jahreszeitliche Abhängigkeit der Anlageneffizienzwerte

Zeitraum	Symbol	Wärmegeführter Betrieb	Stromoptimierter Betrieb	RVK Betrieb
Winter ($3,4^{\circ} \text{ C} \leq \vartheta_a \leq 7,8^{\circ} \text{ C}$)	$\beta_{\text{Sys,ges,i}}$	82,4 %	81,2 %	77,9 %
Übergang / Sommer ($15,3^{\circ} \text{ C} \leq \vartheta_a \leq 17,6^{\circ} \text{ C}$)	$\beta_{\text{Sys,ges,i}}$	63,5 %	59,3 %	48,2 %
gemittelt	$\beta_{\text{Sys,ges,i}}$	73,3 %	69,0 %	63,0 %

Einfluss der Fahrweise auf die Effizienz der einzelnen RVK – Komponenten (jahreszeitliche Betrachtung)

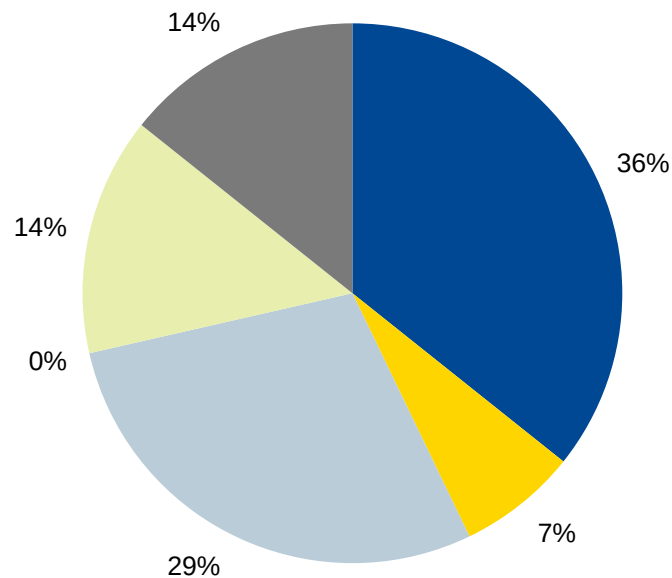


stärkere Einkopplung von PV-Anlagen im Sommer führt zur Steigerung des Systemnutzungsgrades

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Nutzerbefragung

Wie häufig wird die Anlage Ihrer Wahrnehmung nach gesteuert?



■ Mehrmals am Tag ■ Einmal am Tag
■ Mehrmals pro Woche ■ Einmal pro Woche
■ Mehrmals im Monat ■ Einmal im Monat

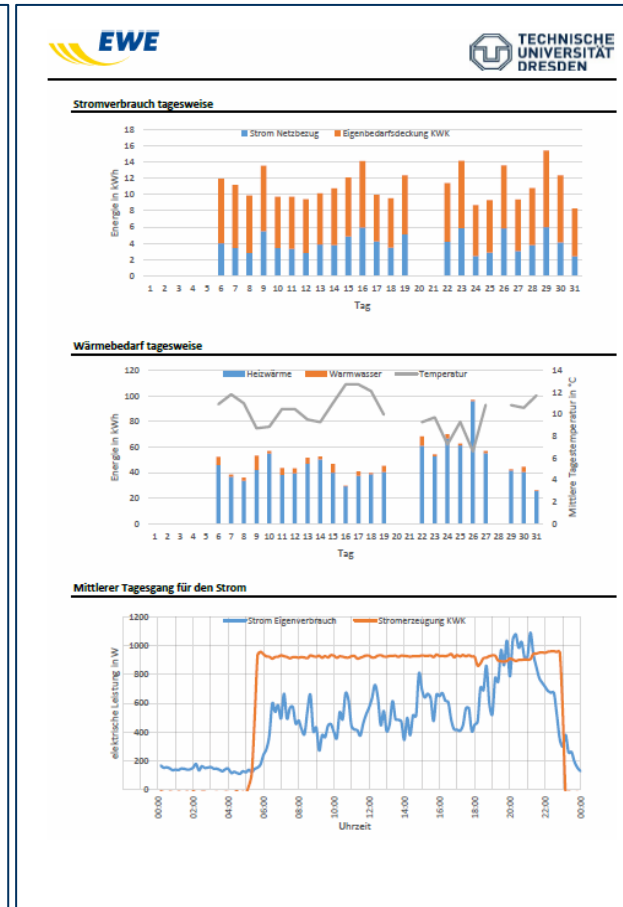
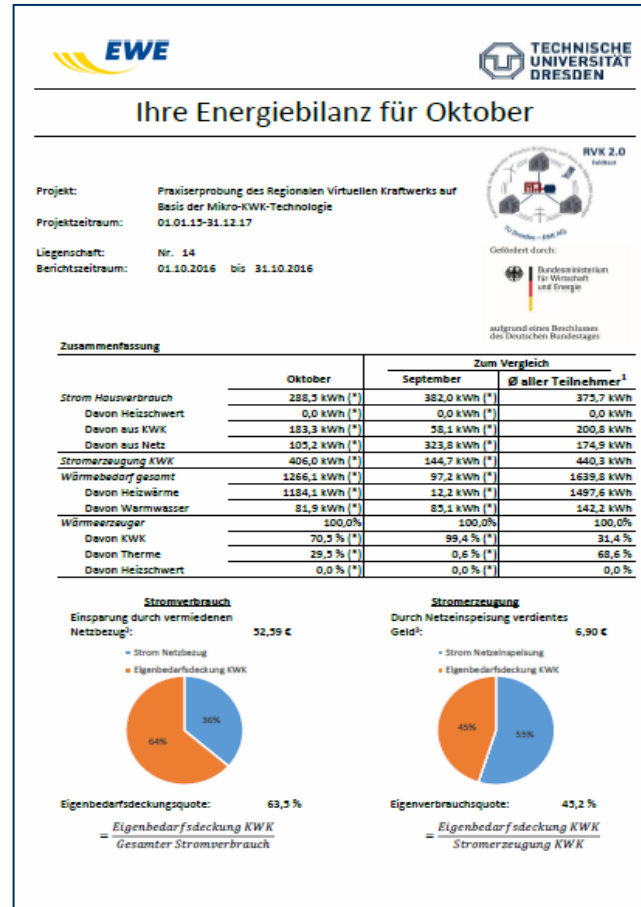
- Die Feldtestteilnehmer schätzen die Häufigkeit der externen Steuerungsvorgänge ihrer Anlage sehr unterschiedlich ein
- **79%** der Befragten **empfinden die Geräuschemission bei Steuerung der Anlagen als unproblematisch bzw. kaum wahrnehmbar.**
- **93%** der Feldtestteilnehmer geben an, durch die Steuerung der Anlage in ihrem **Nutzungsverhalten nicht beeinflusst** zu werden.
- Ein Tester gibt explizit an, elektrische Geräte insbesondere dann zu nutzen, wenn die KWK-Anlage angesteuert wird und Strom erzeugt



**Überwiegend positive Erfahrung mit dem RVK-System
(keine Vorurteile)**

Ergebnisse zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Mehrwert für den Nutzer



1. automatische Energieberichte

2. Betriebsüberwachung der Anlagen

3. automatische Fehlererkennung
(Verkürzung von Wartungszeiten)

Monatliche Energieberichte an die RVK-Teilnehmer

Fazit zum Regionalen Virtuellen Kraftwerk

- Optimierung der Kundenheizsysteme bei gleichzeitiger Erfüllung von Energiewendeanforderungen (Minderung des Elektroenergiebezuges)
- Standardisierte Anbindung von Kleinanlagen über das energiewirtschaftliche 104'er Protokoll
- Regionale Poolbildung
- RVK- Systeme in der Praxis realisiert und getestet
- Neuentwicklungen bei
 - IK Technologie (RVK- Gateway)
 - thermische / elektrische Prognose der Liegenschaft auf Basis eines Trendverfahrens



Regionale Flexibilität durch Kopplung von Elektrizität-/ Gas- / Wärme- und Kommunikationssystemen



Einführung von preisgünstiger Kommunikationstechnik (Resilienz / Latenz)
National 5G Energy Hub - N5GEH

