



## Projekt SimKI-Mop

---

# Simulations-Tools und KI-Methoden zur Multi-Einspeiseroptimierung in Fernwärmenetzen

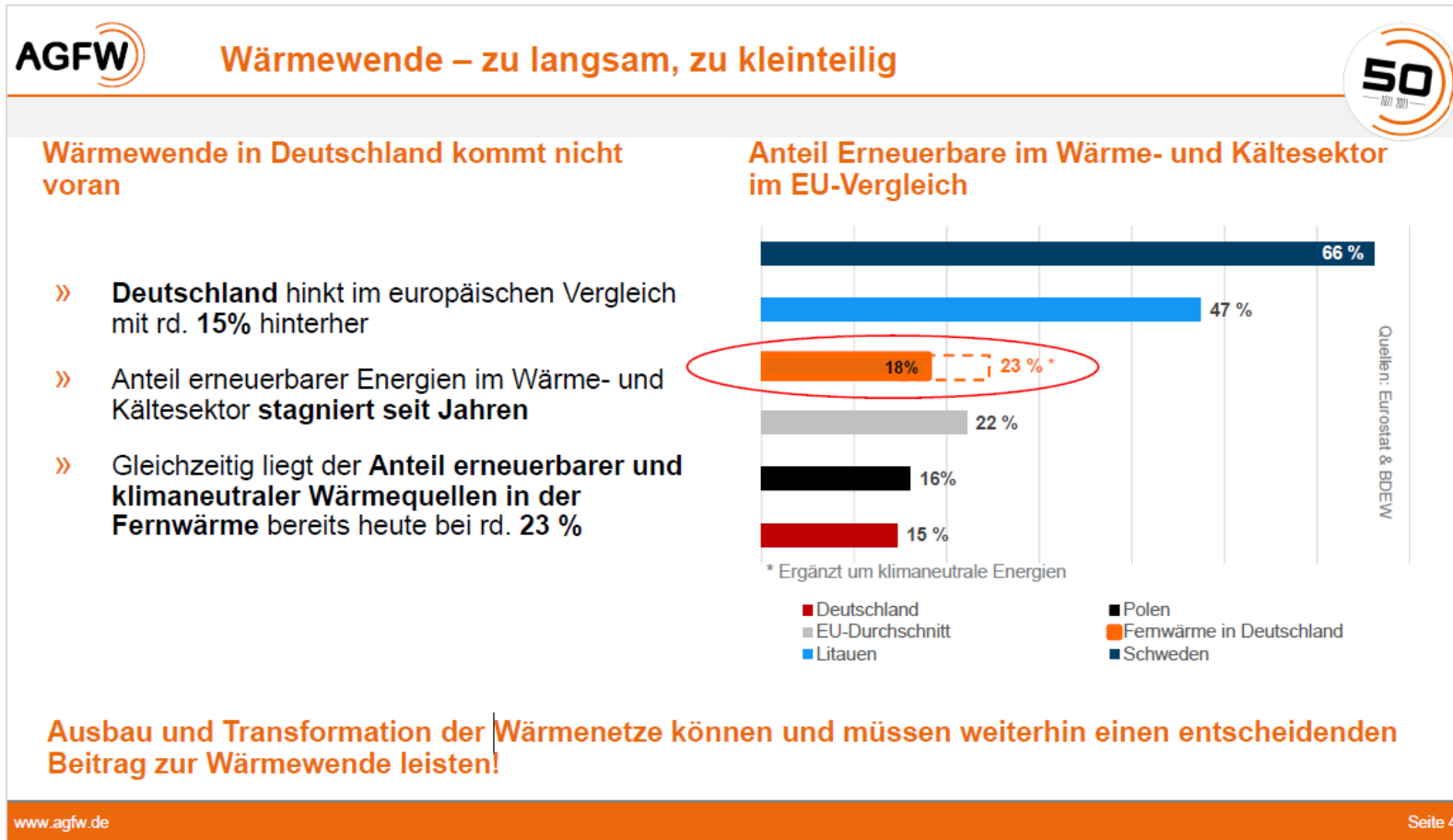
KickOff-Meeting am 29.6.2023 in Berlin

1. Motivation & Ziele des Projektes
2. Assoziierte Partner  
(Fernwärme-Netzbetreiber)
3. Arbeitspakete
4. ToDos & Termine

# 1. Motivation & Ziele des Projektes

# Motivation und Ausgangslage

Zur Perspektive der Fernwärme - Dr. Hansjörg Roll (AGFW-Präsident) beim Fernwärmekolloquium 2021



Fernwärmenetze müssen effizienter und mit mehr regenerativen Energiequellen betrieben werden

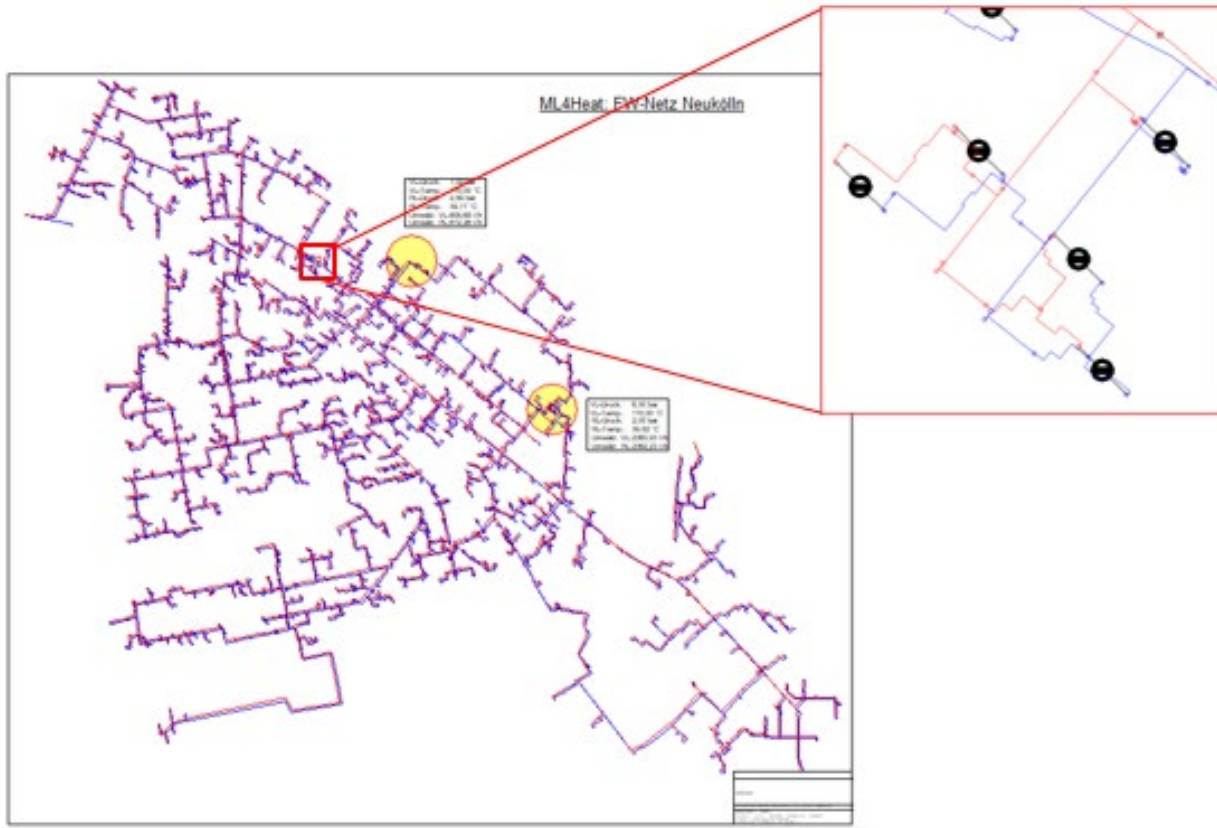
# Motivation und Ausgangslage

- Betriebssteuerung / Einsatzplanung von Fernwärme (FW)-Netzen erfolgt gegenwärtig überwiegend auf Grundlage von Erfahrungswerten und Routinen (z.B. einfache Kennlinien: Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur).
- Echtzeit-Daten (z.B. gemessene oder prognostizierte Verbrauchs- und Sensordaten aus dem Netz) werden bisher nur in sehr geringem Maße eingesetzt.  
  
→ **Bedarfsgerechter Betrieb der Kraftwerke aktuell noch nicht möglich!**  
**Es wird systematisch zu viel Wärme bereitgestellt - insbesondere Lastspitzen sind problematisch**
- Künftig werden zunehmend Sensor-/Betriebsdaten online verfügbar sein.
- Erste digitale Tools zur Analyse und Optimierung von FW-Netzen verfügbar, z.B. aus Projekt ML4Heat:
  - **Fernwärme-Übergabestationen:** Fehlererkennung, Regler-Optimierung
  - **Strang-Ebene**, z.B. Leckage-Erkennung, Wärmeverlust-Analyse
  - **Netz-Ebene**, z.B. Wärmebedarfsprognose, Schlechtpunkt-Analyse
- Für künftige Analyse- und Optimierungstools werden neben Sensor- und Betriebsdaten **leistungsfähige Simulationstools** benötigt

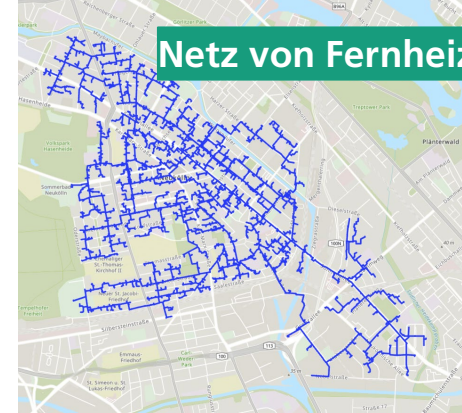
# Simulationstools

Thermo-hydraulische vs. datengetriebene Modelle

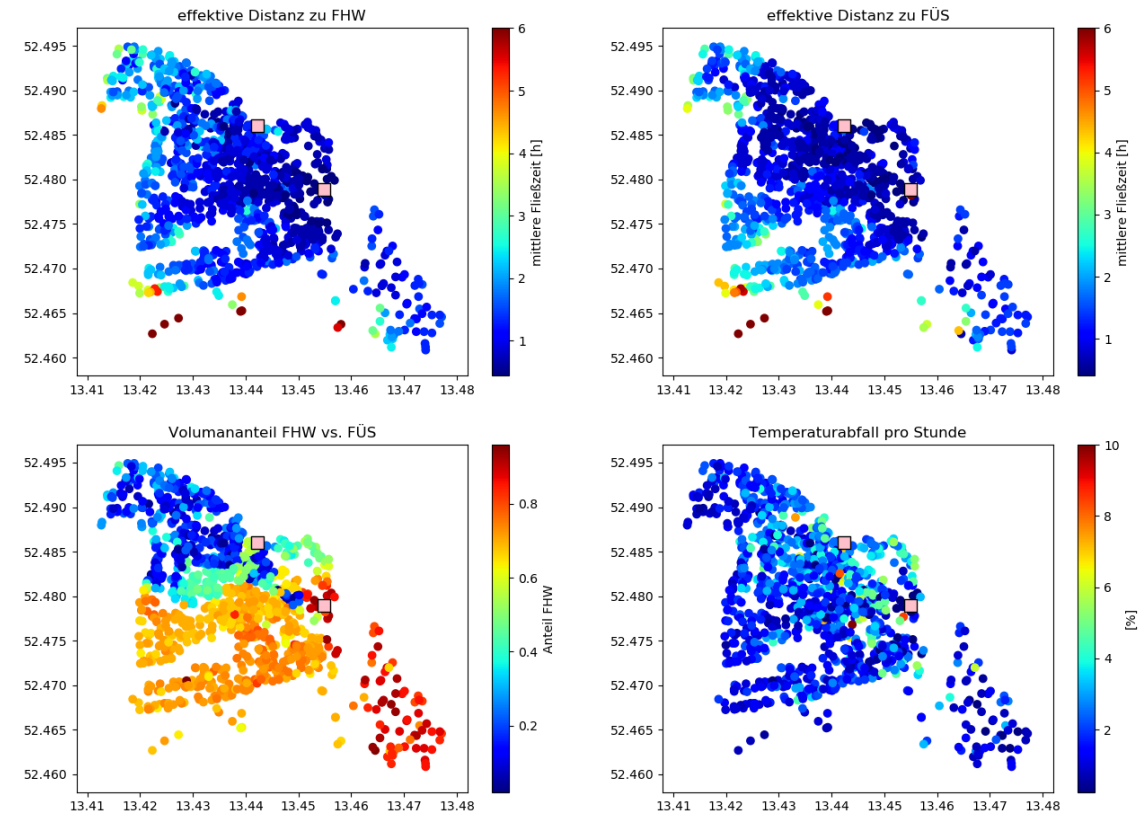
## Thermo-hydraulisches Modell von FHW



## Netz von Fernheizwerk Neukölln (FHW)



## Datengetriebenes Modell von FHW



# Simulationstools

## Thermo-hydraulische vs. datengetriebene Modelle

- **„klassische“ thermo-hydraulische Netz-Simulationsmodelle** (z.B. Plattform SIR 3S®):
  - + hydraulische und thermodynamisch realitätsgetreue Abbildung des Netzes
  - + strukturelle Netzänderungen können simuliert werden (z.B. Netz-Erweiterungen)
  - + neue Betriebsführungsstrategien (z.B. KI-basiert) können damit vorab getestet werden
  - + Liefert Trainingsdaten für datengetriebene Modelle (z.B. an Stellen im Netz, wo keine Sensoren installiert sind)
  - es werden sehr viele Modellparameter benötigt (z.B. Rohreigenschaften wie Rauigkeit, Wärmeübergangskoeffizient)
  - deutlich höhere Rechenzeit als datengetriebene Modelle
- **datengetriebene Modelle**
  - + keine Information über Topologie des Netzes oder Rohreigenschaften benötigt („Black Box Modelle“)
  - + Rechenzeit ist deutlich kleiner als bei hydraulischen Modellen (ca. Faktor 100 – 1000 für große Netze), daher sehr gut für Echtzeit-Optimierung geeignet
  - Es werden sehr viele Messdaten benötigt
  - strukturelle Netzänderungen können NICHT simuliert werden
  - Betriebszustände, welche nicht in den Trainingsdaten enthalten waren, können i.d.R. NICHT simuliert werden

### → Beide Modell-Klassen haben spezifische Vor- und Nachteile

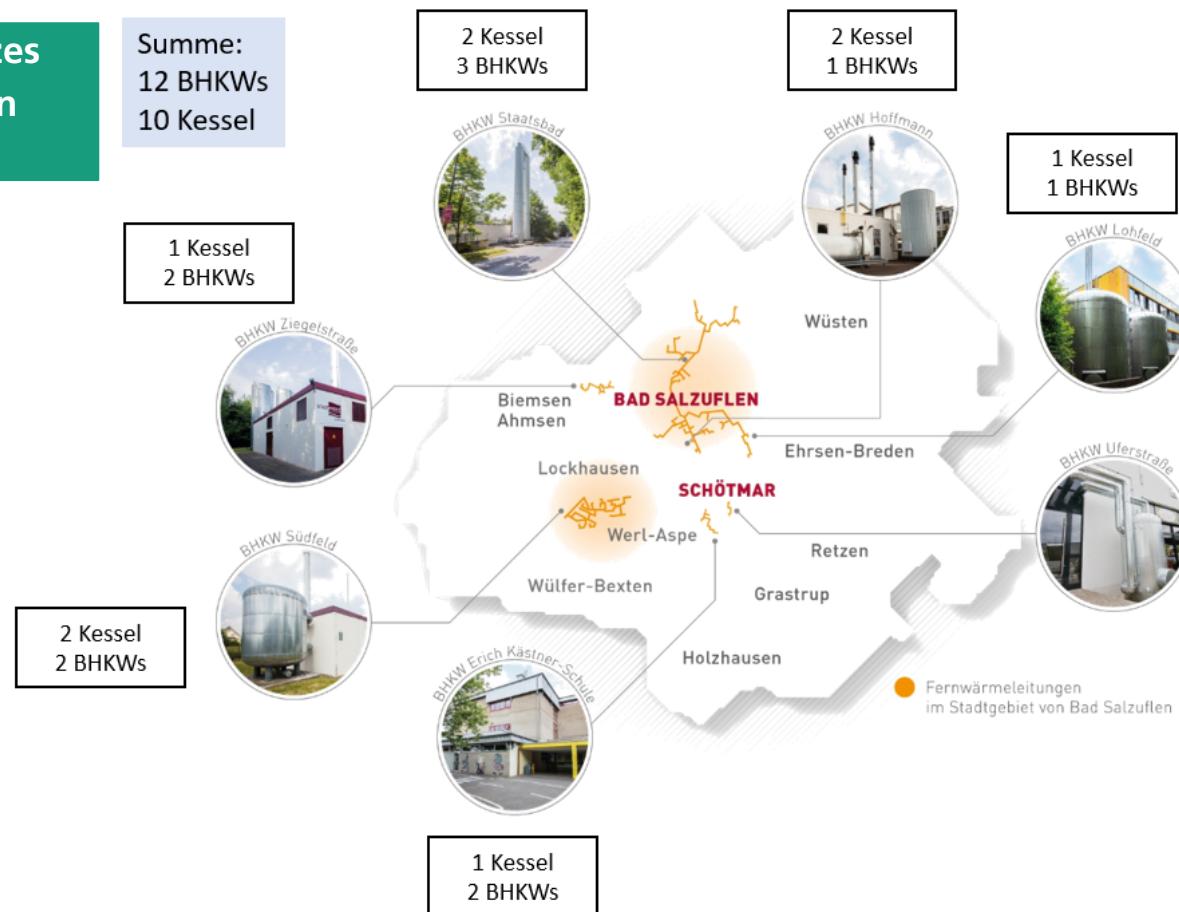
- **Ziele: (1) Komplementäre Nutzung beider Modelle, (2) effizientere Generierung und Pflege von beiden Modellen**

# Zunehmende Dezentralisierung der Netze

- **Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung** → kleinere, dezentral verteilte Kraftwerke und Einspeiser ersetzen große Kraftwerke
- Verfügbarkeit und Gestehungskosten dieser dezentralen Einspeiser wird künftig stärker variieren

## Struktur des FW-Netzes und der Einspeiser in Bad Salzufflen

Summe:  
12 BHKWs  
10 Kessel



Einsatz-Optimierung der dezentralen Einspeiser (mit Lastprognose, dynamischen Kosten, Netz-Modell)



# Zielstellungen des Projektes

Übergeordnete Ziele: (1) mehr regenerative Energien, (2) Transparenter und effizienter Betrieb

## Teilziele:

### 1. Systematik zum effizienten Aufsetzen und Pflegen von datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen

optimale Nutzung beider Modellklassen; Generierung synthetischer Messdaten; Methodik zum Aufsetzen datengetriebener Modelle auch für komplexere Topologien und bei „Datenarmut“; Beschleunigung hydraulischer Modelle

### 2. Methoden und Tools zur Auswahl und Platzierung von neuen Sensoren

Kriterien: (1) individuelle, lokale Eigenschaften wie die Gesamtabnahmeleistung eines Verbrauchers, (2) netzübergreifende Bedeutung eines Verbrauchers untersucht, wie z.B. die topologische Lage im Verteilungssystem

### 3. Untersuchung möglicher Optimierungspotentiale im Fernwärmenetzbetrieb

Zunächst Systemgrenzen der Fernwärmesysteme quantifizieren (hydraulische Rahmenbedingungen, Erzeugerkapazitäten, einzuhaltende Auslegungstemperaturen für bestimmte Verbraucher).

Damit: Optimalen Kompromiss zwischen Einspeiser-Vorlauftemperatur und Volumenstrom

### 4. Methoden / Tools zur dynamischen Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken und dynamischen Gestehungskosten

Abschätzung des Einflusses von unterschiedlichen Einspeisern mittels Szenarienrechnungen; Untersuchung von Ansätzen zur dynamischen Einsatzoptimierung

## 2. Assoziierte Partner (Fernwärme-Netzbetreiber)

# Assoziierte Partner

## Eckdaten zu den Fernwärmenetzen



Daten zu Netz+Einspeiser	FHW Neukölln	Hall	Bad Salzuflen
<b>Trassenlänge</b>	120 km	48 km	20 km
<b>Hausstationen</b>	1448	800	400
<b>vernetzte Hausstationen</b>	1448 (100%)	280 (35%)	6 große Verbraucher
<b>Jahres-Energieverbrauch</b>	<b>465 GWh</b>	<b>130 GWh</b>	<b>61 GWh</b>
<b>Einspeiser</b>	<b>Summe: 200 MW</b>	<b>Summe: 58 MW</b>	<b>Summe 33 MW</b>
	- Kraftwerk (5 Kessel) - Übergabestation Vattenfall - 5 BHKWs	- Biomasseheizkraftwerk - 4 Wärmepumpen - Power to Heat Anlage - Industrielle Abwärme	12 BHKWs 10 Kessel
<b>Hydraulisches Netzmodell</b>	existiert in SIR3S (gut gepflegt)	existiert in SIR3S (gut gepflegt)	existiert in STANET (muss nach SIR3S importiert werden)
<b>Besonderheiten</b>	- großer Wärmespeicher - Messdaten von fast allen Liegenschaften verfügbar	Massiver Netzausbau um + 50 km (+45 MW) + 45 MW	Es gibt 14 sehr große Verbraucher mit Abnahme von 1 ... 6 MW
<b>Zu untersuchende Fragestellungen</b>	1. Erhöhung Netztransparenz 2. Multi-Einspeiser-Optimierung	1. Erhöhung Netztransparenz 2. Optimierung Lastmanagement - Erzeugerfahrweise (Gundlast/Spitzenlast/...) - Absenkung Rückspeisetemperatur	1. Erhöhung Netztransparenz 2. Multi-Einspeiser-Optimierung

# 3. Arbeitspakete

# Arbeitspakete und Zeitplan

Zeitplan SimKI-Mop					Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3				Jahr 4			
AP	Name	IOSB	KT	⌘	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1	Modellierung von Fernwärmenetzen mit datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen	X	x	x	█				█											
2	Methoden und Tools zur Auswahl und Platzierung von neuen Sensoren	x	x	x	█		█		█		█									
3	Untersuchung von Optimierungspotentialen im Fernwärmenetzbetrieb	X	x	x	█		█		█		█									
4	Methoden und Tools zur dynamischen Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken und dynamischen Gestehungskosten	x	X	x					█				█							
5	Evaluierung der Methoden anhand von Use Cases und realen Netzen	x	x	X					█				█							
6	Koordination, Öffentlichkeitsarbeit, Verbreitung der Ergebnisse	X	x	x	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Meilensteine: MS 1 ◆

MS 2 ◆

MS 1: Tasks 1.1, 1.2, 2.1, 3.1 abgeschlossen

MS 2: AP 1+2, Tasks 3.1-3.3, 4.1, 5.1 abgeschlossen

# Arbeitspaket AP 1

## Modellierung von Fernwärmenetzen mit datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen

### Ziele:

1. Methoden und Vorgehensweisen hinsichtlich der Generierung von datengetriebenen Modellen von Fernwärmenetzen
2. Beschleunigung der Berechnung von thermo-hydraulischen Modellen
3. Nutzung von thermo-hydraulische Modellen, um datengetriebene Modelle zu verbessern (Generierung künstliche Messdaten)
4. Untersuchung Potentiale, Grenzen, Synergieeffekte von datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen

### Ergebnis/Nutzen:

Die neuartigen hybriden Simulationsmodelle sind die Basis für die weiteren Arbeitspakete:

- Sensorplatzierung (AP 2)
- Betriebsoptimierung der FW-Netze (AP 3)
- Multi-Einspeiseroptimierung (AP 4)

# Arbeitspaket AP 1

## Modellierung von Fernwärmenetzen mit datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen

### Unter-Arbeitspakete:

1.1	Zusammentragen und Verarbeitung der vorhandenen Daten und Informationen von Einspeisern, Netz, Abnehmern, Betriebsführung der 3 assoziierten Partner
1.2	Untersuchung möglichst generischer Methoden zur Entwicklung datengetriebener Modelle bei verschiedenen Netztopologien, Einspeiser-Konstellationen und verfügbaren Datensätzen.
1.3	Entwicklung und Implementierung von Verfahren zur beschleunigten thermo-hydraulischen Berechnung zum Training der KI-Modelle und für den Echtzeitbetrieb
1.4	Methoden und Tools, um datengetriebene Modelle mit Daten aus Szenarienrechnungen von thermo-hydraulischen Modellen zu trainieren
1.5	Untersuchung von Potentialen, Grenzen und möglichen Synergieeffekten beider Methoden im Hinblick auf Analyse und Echtzeitoptimierung von Fernwärmesystemen
1.6	Spezifikation und Implementierung von Schnittstellen, um Modelle (datengetrieben und thermo-hydraulisch) für den Echtzeitbetrieb verfügbar zu machen

# Arbeitspaket AP 2

## Methoden und Tools zur Auswahl und Platzierung von neuen Sensoren

---

### Ziel:

1. Entwicklung von Methoden und Software-Tools zur Auswahl und Platzierung von neuen Sensoren in Fernwärmenetzen
  - Gütekriterien und Randbedingungen werden erarbeitet
  - Unter Verwendung eines thermo-hydraulischen Modells werden Methoden und Algorithmen zur Platzierung von Sensoren bei Hausstationen sowie im Netz erarbeitet und anhand der Modelle und Netze der assoziierten Netzbetreiber evaluiert

### Ergebnis/Nutzen:

- Die Installation neuer Sensoren ist teuer - daher sind die Betreiber daran interessiert, die Anzahl zu minimieren und die Sensoren an den bestmöglichen Stellen im Netz einzubauen.



# Arbeitspaket AP 2

## Methoden und Tools zur Auswahl und Platzierung von neuen Sensoren

### Unter-Arbeitspakete:

2.1	Erarbeitung von Gütekriterien für die Sensorauswahl und Sensorplatzierung; Klassifizierung/Charakterisierung von Netzen hinsichtlich der spezifizierten Kriterien
2.2	Methoden und Algorithmen zur Platzierung von Sensoren bei Hausstationen sowie im Netz (z.B. Priorisierung nach Gesamtabnahmeleistung der Verbraucher; topologische Lage im Netz; topologische Clusterung)
2.3	Evaluierung der Methoden zur Sensorauswahl und -platzierung anhand von Simulationsstudien bei mindestens zwei assoziierten Partnern

# Arbeitspaket AP 3

Untersuchung von Optimierungspotentialen im Fernwärmenetzbetrieb basierend auf datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen

## Ziel:

1. Untersuchung der Ist-Fahrweise der 3 assoziierten Partner
2. Bestandsaufnahme, Charakterisierung und Szenarien-Definition für unterschiedliche Einspeiser
3. Systematische Quantifizierung der relevanten Systemgrenzen der Erzeuger und des Netzes
4. Basierend auf diesen Vorarbeiten werden Algorithmen und Software-Tools zur Berechnung einer optimalen Einspeisestrategie für Vorlauftemperatur und Volumenstrom entwickelt

## Ergebnis/Nutzen:

Es liegen Software-Tools vor, mit denen Vorlauftemperatur und Volumenstrom von Einspeiserndynamisch optimiert werden kann, so dass der Primärenergieeinsatz minimiert wird.

# Arbeitspaket AP 3

Untersuchung von Optimierungspotentialen im Fernwärmenetzbetrieb basierend auf datengetriebenen und thermo-hydraulischen Simulationsmodellen

## Unter-Arbeitspakete:

3.1	Analyse der Ist-Fahrweise bei den 3 assoziierten Partnern; Herausarbeiten von Gemeinsamkeiten/Unterschieden
3.2	Bestandsaufnahme und Szenarien-Definition für Einspeiser: Charakterisierung von unterschiedlichen Einspeisern; Analyse von aktuellen und zu erwartenden Konfigurationen von Einspeisern
3.3	Quantifizierung von Systemgrenzen im Hinblick auf Erzeugerkapazitäten, Netzhydraulik und Auslegungstemperaturen der Verbraucheranlagen als Randbedingungen für die Einspeiseoptimierung
3.4	Erarbeiten einer optimalen Einspeisestrategie für Vorlauftemperatur und Volumenstrom (zunächst an Minimal-Modell, danach mindestens bei einem der assoziierten Partner)

# Arbeitspaket AP 4

## Methoden und Tools zur dynamischen Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken und dynamischen Gesteuerungskosten

### Ziele:

1. Entwicklung von Methoden und Tools zur dynamischen Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken und Einspeisern
2. Aufbauend auf den Ergebnissen aus AP 3 werden die Gütekriterien und Randbedingungen für die Einsatz-Optimierung der unterschiedlichen Einspeiser definiert
3. Entwicklung von Methoden, Algorithmen und Software-Tools für die Einsatz-Optimierung der Einspeiser.
4. Untersuchung der Tools anhand der Daten und Einspeiser von mindestens 2 der 3 assoziierten Partner in realitätsnahen Simulationsszenarien

### Ergebnis/Nutzen:

Eine optimierte Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken wird prototypisch erprobt.

# Arbeitspaket AP 4

Methoden und Tools zur dynamischen Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken und dynamischen Gesteherungskosten

## Unter-Arbeitspakete:

4.1	Definition Gütekriterien und Randbedingungen für Einspeiseoptimierung (aufbauend auf AP 3). Ziel: Komplexität des Optimierungsproblems möglichst gering halten, aber dabei möglichst große CO2-Emissionsreduktion erzielen
4.2	Entwicklung von Methoden und Algorithmen für die Einspeiseoptimierung. Ziel: möglichst anwendungsnah (Teil-)Optimierung durchführen, z.B. mit modellprädiktivem Regler und heuristischen Einsatzregeln
4.3	Untersuchung der entwickelten Methodik und Algorithmen in realitätsnahen Simulationsszenarien (anhand der Daten und Einspeiser von mindestens 2 der 3 assoziierten Partner)

# Arbeitspaket AP 5

## Evaluierung der Methoden anhand von Use Cases und realen Netzen

---

### Ziele:

1. Evaluierung der in AP 1 - AP 4 entwickelten Methoden, Algorithmen und Software-Tools anhand von Use Cases der 3 assoziierten Netzbetreiber
2. Spezifizierung der Use Cases bei den assoziierten Partnern
3. Anhand von Simulationsuntersuchungen erfolgt eine Potentialanalyse und Aufwandsabschätzung für die Praktische Realisierung
4. Geeignete Use Cases werden bei den 3 Netzbetreibern im praktischen Betrieb realisiert und evaluiert

### Ergebnis/Nutzen:

Es liegt eine Potentialanalyse und Aufwandsabschätzung für die Praktische Realisierung vor. Entwicklung von Methoden und Tools zur dynamischen Einsatzplanung bei dezentralen Kraftwerken und Einspeisern.

# Arbeitspaket AP 5

## Evaluierung der Methoden anhand von Use Cases und realen Netzen

### Unter-Arbeitspakete:

5.1	Spezifikation von Use Cases bei den assoziierten Partnern
5.2	Erste Bewertung von Simulationsergebnissen, Aufwandsabschätzung und Potentialanalyse für die praktische Realisierung
5.3	Praktische Realisierung der in AP 5.1 spezifizierten Use Cases, Umsetzung von vorausschauender Einsatzplanung in Echtzeitbetrieb (Assistenz-System mit begleitendem Monitoring bei mindestens einem assoziierten Partner)
5.4	Evaluierung der Use Cases, Untersuchung der Anwendbarkeit in operativem Betrieb

# Arbeitspaket AP 6

## Koordination, Öffentlichkeitsarbeit, Verbreitung der Ergebnisse

### Ziele:

1. Projekt-Koordination, Öffentlichkeitsarbeit, Veröffentlichungen/Präsentationen bei relevanten Konferenzen und Journalen
2. Aufbau und Pflege einer Projekt-Webseite
3. Informationsaustausch mit relevanten FuE-Projekten (inbesondere Themenverbund „FW-Netzo Optimierung“)
4. Evaluierung der in AP 1 - AP 4 entwickelten Methoden, Algorithmen und Software-Tools anhand von Use Cases der 3 assoziierten Netzbetreiber

6.1	Projekt-Koordination
6.2	Öffentlichkeitsarbeit, Veröffentlichungen, Projekt-Webseite
6.3	Informationsaustausch mit relevanten FuE-Projekten



# Arbeitspaket AP 6

## Thematischer Verbund „FW-Netzoptimierung“

---

### Thematischer Verbund der folgenden Projekte:

1. **SAM-FW:** top-down Ansatz, Blickwinkel: Asset Management (Lead: AGFW, FKZ 020E-100582609)
2. **SimKI-Mop:** bottom-up Ansatz, Blickwinkel: Einsatzplanung; (Lead: FhG-IOSB, FKZ: 020E-100582783)
3. **En-eff\_Netzregelung:** bottom-up Ansatz, Blickwinkel: automatische Regelungskonzepte; (Lead: IAT Universität Bremen, FKZ 020E-100581462)

### Vernetzung der Projekte untereinander

- Jährlich 1-tägige Präsenz-Workshops der 3 Konsortien
- Vernetzung auf Mitarbeiter-Ebene: Mitarbeiter, die an ähnlichen Fragestellungen arbeiten bzw. ähnliche Software-Module entwickeln oder nutzen, sollen sich eng austauschen und Synergien bilden.
- Abstimmung hinsichtlich gemeinsamer Publikationen: Es wird angestrebt, mindestens eine gemeinsame Publikation zum übergeordneten Thema „FW-Netzoptimierung“ zu veröffentlichen

# Arbeitspaket AP 6

## Thematischer Verbund „FW-Netzoptimierung“ – Workshops mit potentiellen Nutzern

---

### 3 Workshops mit externen Partnern:

- **Ziel:** Bedarf von potenziellen Nutzern bzw. Verwertern der Projektergebnisse frühzeitig aufgreifen
- Die Workshops werden unter **Federführung des AGFW** organisiert (möglichst im Rahmen eines bereits etablierten Formats integriert, z.B. sw.aktiv, AGFW Projektkreis).
- **Workshop 1** soll ca. 6-8 Monate nach Start des letzten Projektes stattfinden (**Q1/2024**)  
→ Ziele der Projekte im Detail vorstellen; mit externen Teilnehmern diskutieren, ob Anforderungen aus der Praxis hinreichend abgedeckt sind. Die Ergebnisse sollen im weiteren Verlauf der Projekte bestmöglich berücksichtigt werden.
- **Workshop 2** soll ca. 1 Jahr vor Projektende stattfinden. Wesentliche Projektergebnisse sollen zu diesem Zeitpunkt bereits vorliegen.
- **Workshop 3** soll kurz vor Projektende stattfinden. Die Orte von Workshop 2 und 3 sollen relativ weit auseinander liegen, da die Teilnehmer erfahrungsgemäß eher regionale Akteure sind. Somit sollen mit Workshop 2 und 3 insgesamt ein möglichst großer Teilnehmerkreis angesprochen werden.