



Einfluss thermischer Kälteerzeugung auf den Einsatz von KWK-Anlagen in Fernwärmenetzen

Stefan Naß

Wolfgang Lanser, Stefan Petersen, Felix Ziegler



Gliederung

- 1. Klimatisierung mit Fernwärme**
- 2. Modellparameter KWK-Anlagen**
- 3. Analyse der Kostensituation**
- 4. Fazit**

Klimatisierung mit Fernwärme

Modellierte Technik

- **Ziel: Energieeffiziente und wirtschaftliche Klimatisierung**
 - Vergleichende Analyse mit elektrischer Kühlung (KKA)
- **Absorptionskälteanlagen (AKA)**
 - Kleiner Leistungsbereich 10-320kW
 - Leistungszahl (COP) > 0,7
 - Niedrige Antriebstemperatur: 90°C, Auskühlung 20K
- **Fernwärmeversorgungssystem (Sommer)**
 - 1 GuD-Heizkraftwerk (HKW)
 - 3 kohlegefeuerte Entnahme-Kondensations-HKW
 - Konfiguration und Größe orientiert sich am FW-Netz der Hansestadt Hamburg (HH)

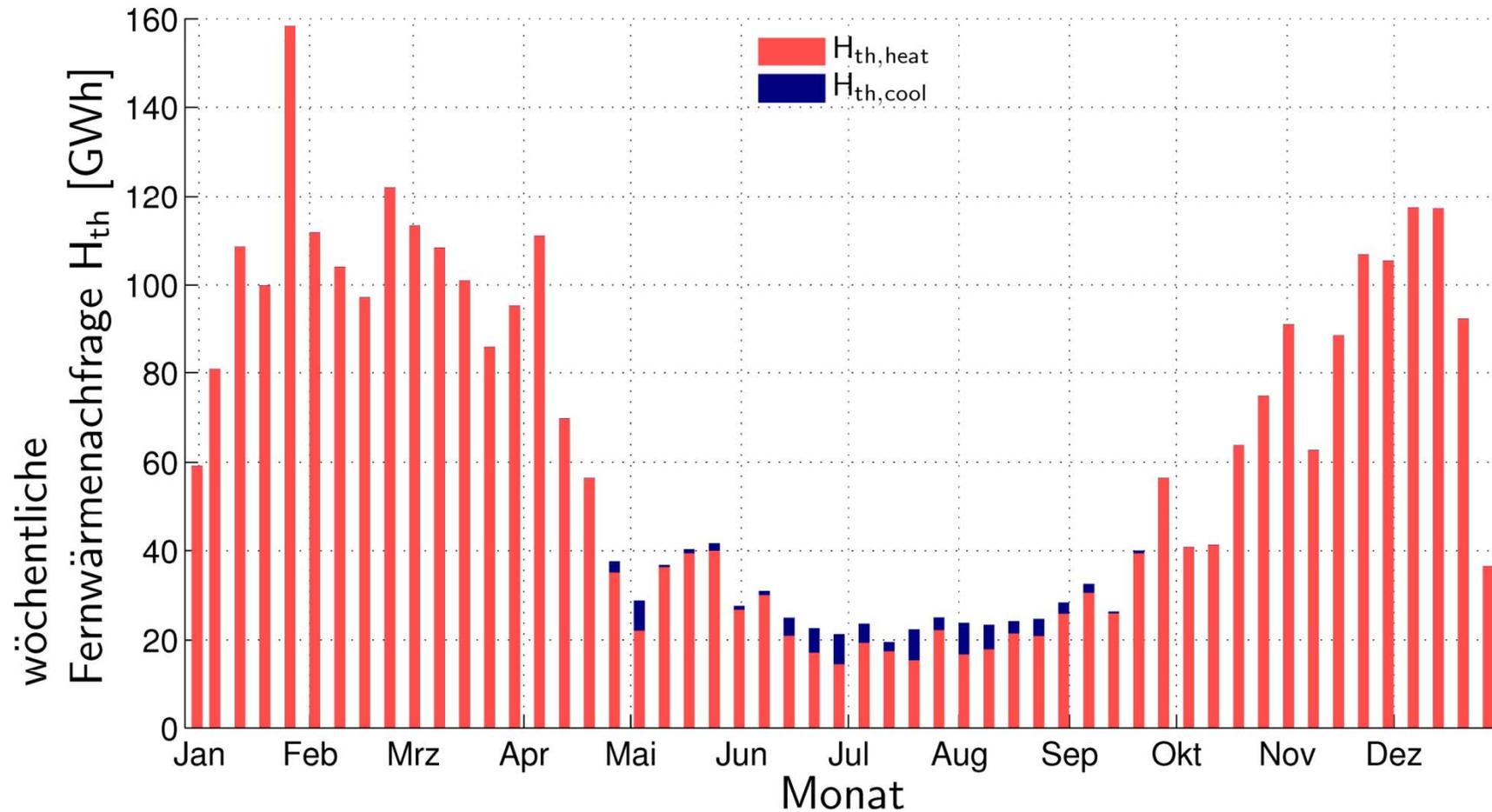
Nachfrage

- Wärmeabsatz Fernwärmenetz Hamburg: 3200 GWh/a
- Klimatisierungsbedarf für HH: 1000 GWh/a

- Lastgang außentemperaturabhängig (TRY geglättet)
- 15°C: Beginn Klimatisierung, ab 30°C 100% Last
 - ➔ Volllaststundenzahl Klimaanlage: 330 h/a
 - ➔ Betriebsstunden Klimaanlage: 2400 h/a

Szenario	Installierte AKA-Leistung [MW]	AKA-Kältearbeit [GWh]	AKA-Antriebswärme [GWh]
0%	0	0	0
5%	150	50	70
10%	300	100	140

Auslastungsverbesserung, 5%-Fall



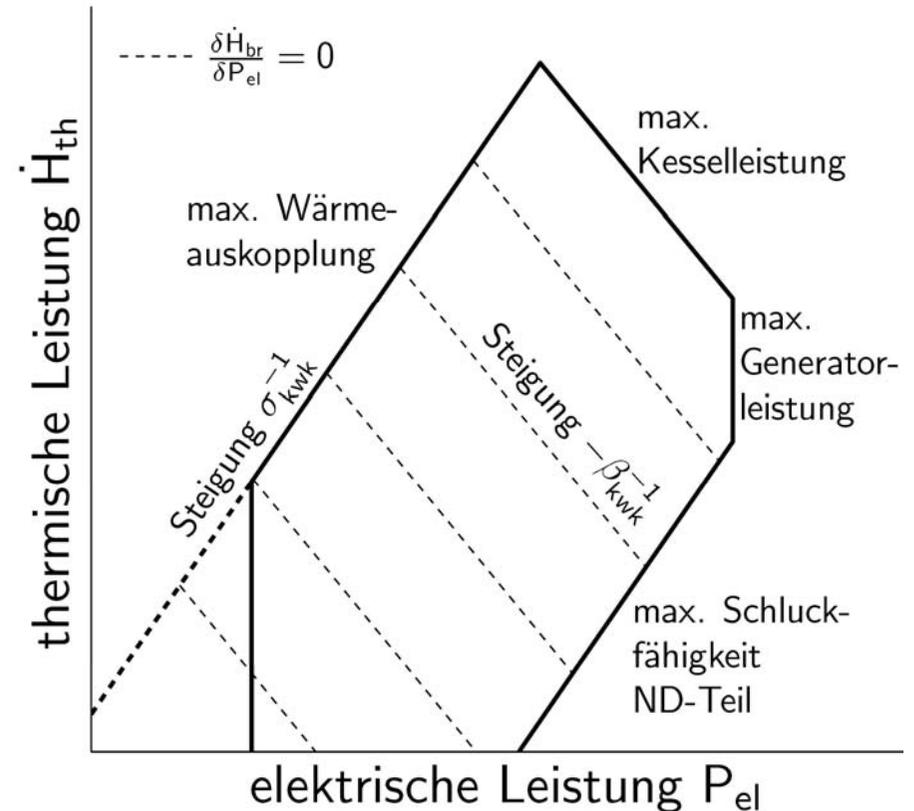
➔ Auslastungssteigerung des Gesamtsystems: 56 h/a (VLh)

Brennstoffverbrauch und Betriebsgrenzen

Brennstoffverbrauch ist linear abhängig von thermischer und elektrischer Leistung [BRU01]

$$\dot{H}_{br} = a \cdot P_{el} + b \cdot \dot{H}_{th} + L$$

- a differentieller Brennstoffeinsatz für Strom
- b differentieller Brennstoffeinsatz für Wärme
- L auslastungsunabhängiger Grundverbrauch



Stromverlust-Kennziffer $\beta = \frac{b}{a}$

Stromkennzahl $\sigma_{kwk} = \frac{P_{el,kwk}}{H_{th}}$

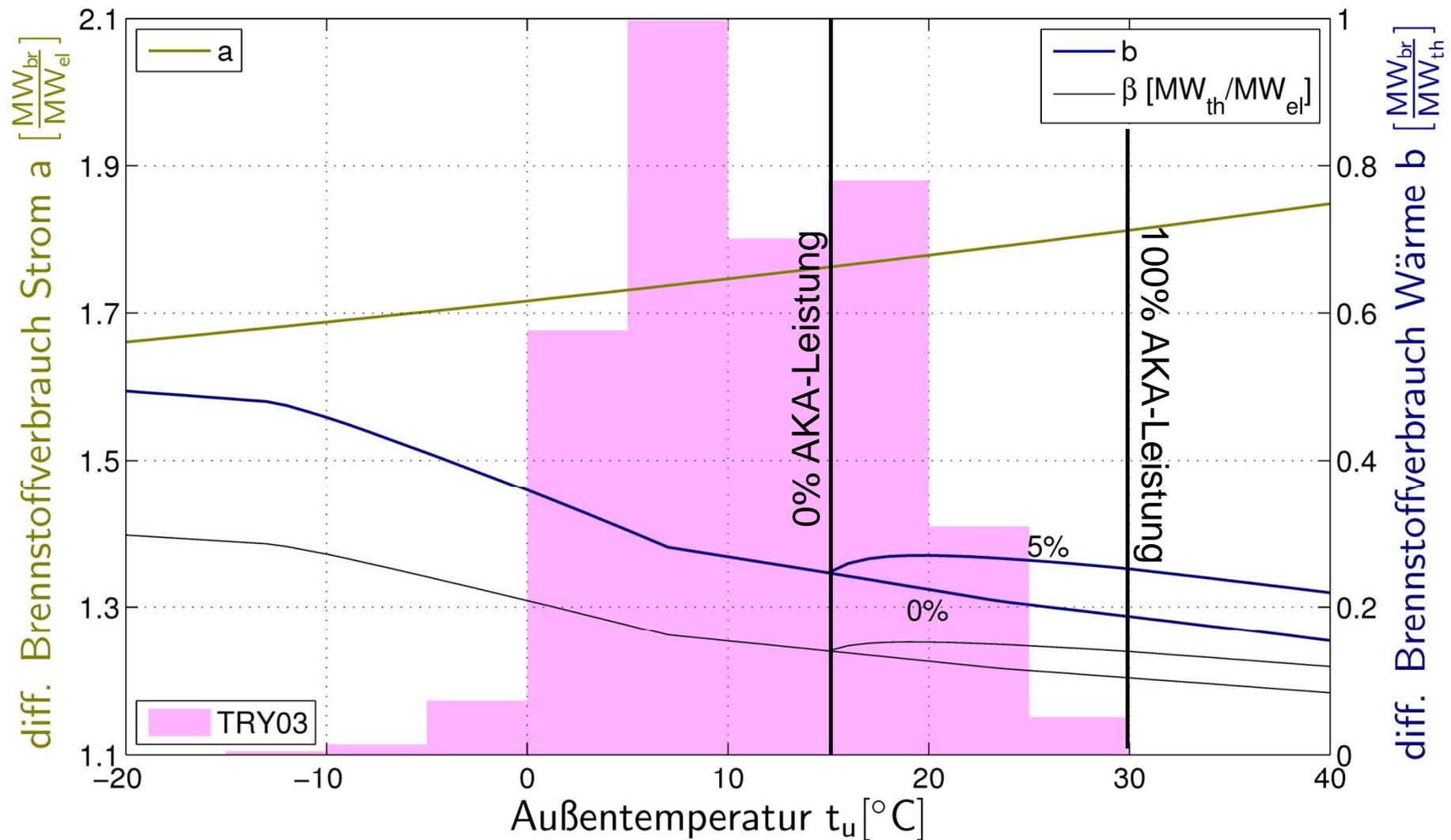
[BRU01] Bruckner, T.: Benutzerhandbuch deeco. Dynamische Energie-, Emissions- und Kostenoptimierung regionaler Energiesysteme, 2001

Modellparameter KWK-Anlagen

Parameter a , b für Brennstoffeinsatz der Wärme- und Stromgestehung beeinflusst durch

- Außentemperatur
- Fernwärmeverlauftemperatur
- Rücklauftemperatur
 - ➔ Rücklauftemperatur erhöht sich mit zunehmender AKA-Antriebswärmenachfrage, da die Rücklauftemperatur aus den AKA 70°C beträgt.

Temperaturabhängigkeit GuD-HKW



ANALYSE DER KOSTENSITUATION

Kostenrechnung: Variable Größen

- Gutschriftverfahren
- Deckungsbeitrag (DB)
 - nur variable Kosten/Erlöse,
 - keine Fixkosten,
 - **hier keine** Vergütung für Wärme.

$$DB = \text{Stromerlöse} - \text{Brennstoffkosten} - \text{sonst. Kosten}$$

- **Grenzdeckungsbeitrag (GDB)** \approx Veränderungsrate des DB
→ Betrag des Grenzpreises der AKA-Antriebswärme

$$GDB = \frac{\Delta \text{ Stromerlöse} - \Delta \text{ Brennstoffkosten} - \Delta \text{ sonst. Kosten}}{\Delta \text{ Wärmeabsatz}}$$

Bei einem positiven GDB steigt der DB mit zunehmender Wärmemenge

Kostenrechnung: Fixkosten

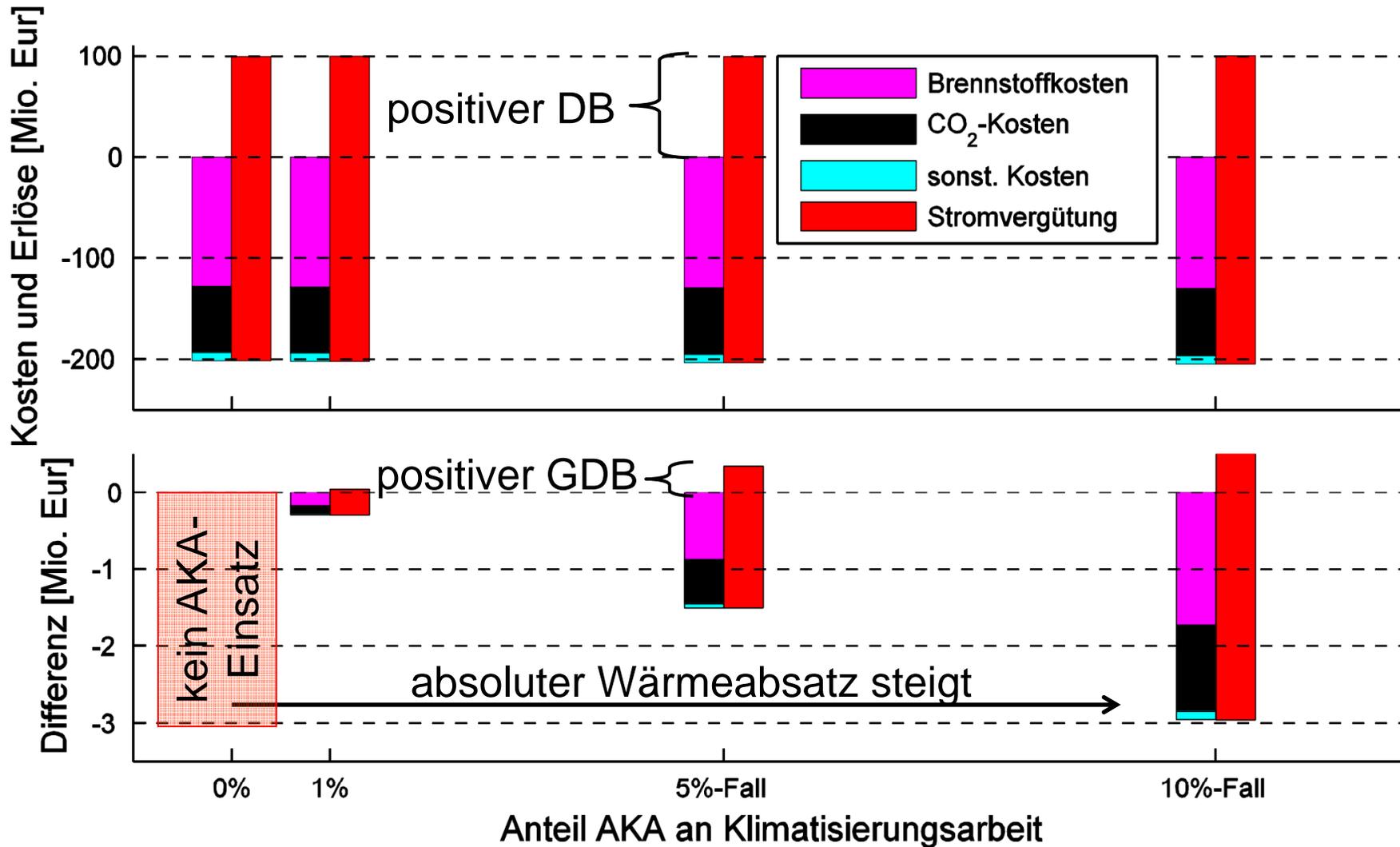
- Der DB wird herangezogen, um die Fixkosten des Fernwärmeversorgungssystems zu decken
- Definition fairer Fernwärmepreis: Preis für Wärme, mit dem der Versorger seine Fixkosten nach Abzug des Deckungsbeitrags genau decken kann und einen Gewinn von 0 € erzielt

$$\text{Fairer Fernwärmepreis} = \frac{\text{Fixkosten} - \text{Deckungsbeitrag}}{\text{Wärmeabsatz}}$$

Höherer DB, konstante Fixkosten → niedrigerer FW-Preis

*Fairer FW-Preis entspricht den spezifischen Vollkosten und ist **nicht** Grenzpreis für zusätzliche Wärme*

Simulationsergebnisse: Deckungsbeiträge



Simulationsergebnisse

- Der Deckungsbeitrag ist positiv (ca. 30 €/MWh_{th}).
- Der Grenzdeckungsbeitrag beträgt 5 €/MWh_{th}.
 - ➔ Wärmeversorger wirtschaftlich gleich gut gestellt, wenn Preis für die AKA-Antriebswärme -5 €/MWh_{th} beträgt (Vergütung an Abnehmer).
- DB, GDB direkt von Preis- und Vergütungssätzen abhängig
 - ➔ Grenzpreis ist für andere Preisszenarien auch positiv, aber betragsmäßig klein (um 0 €/MWh_{th})

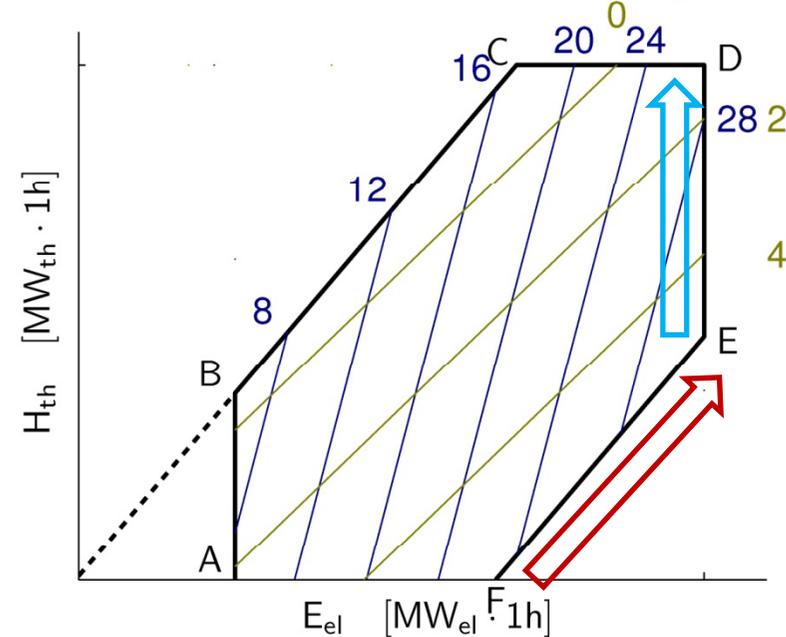
Wodurch wird Betrag und Vorzeichen des GDB bestimmt?

Deckungsbeitrag des HKW-Betrieb

- Optimierungskalkül: Maximaler DB
 - Stromvergütungen führen zu positiven DB
 - Maximaler DB bei gegebener Wärmenachfrage rechts
- ➔ *Betriebspunkt auf F-E-D*
- ➔ *Nur auf F-E und bei hoher Stromvergütung führt eine Steigerung von H_{th} zu steigendem DB ($GDB > 0$)*

Schematische Betrachtung über eine Betriebsstunde

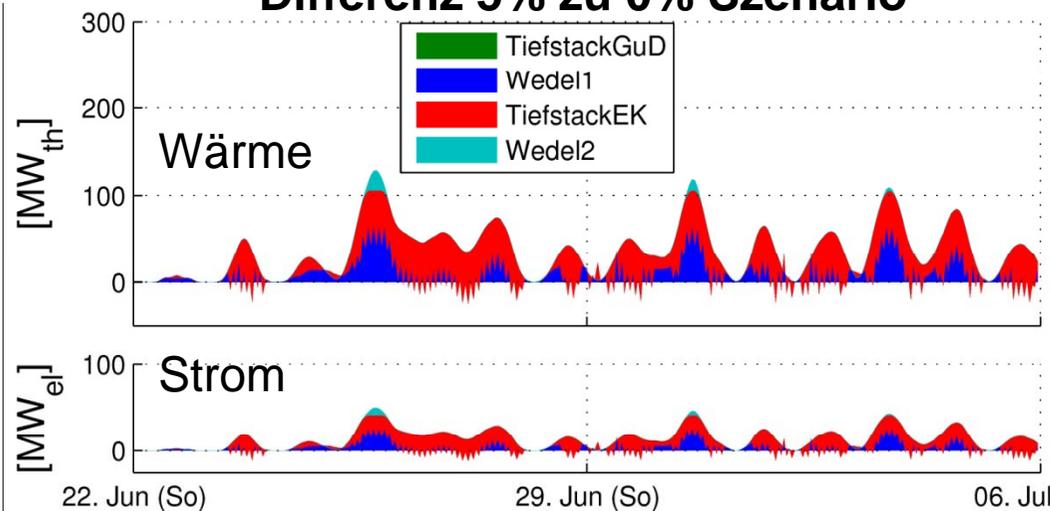
- Iso-Deckungsbeitrag mit $r_{el} = 77 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}_{el}}$ $\left[\frac{\text{Eur}}{\text{MWh}_{th}} \right]$
- Iso-Deckungsbeitrag mit $r_{el} = 51 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}_{el}}$ $\left[\frac{\text{Eur}}{\text{MWh}_{th}} \right]$



Steigung der Iso-Linien abhängig von Stromvergütung, Brennstoffpreis, sonst. Kosten, a , b , L , Temperaturen

Begrenzung elektrische Leistung

Differenz 5% zu 0% Szenario

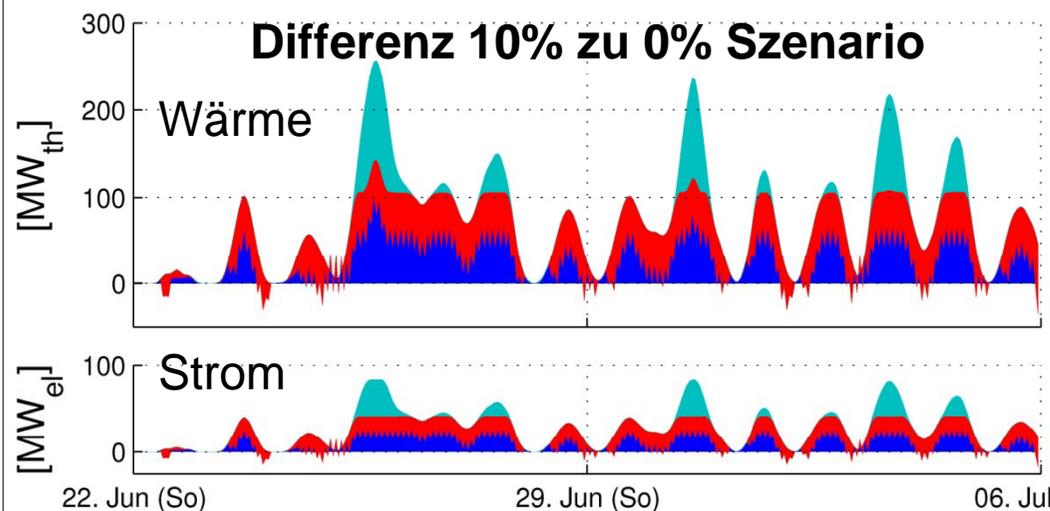


5%-Fall

Proportionaler Zusammenhang zwischen zusätzlichen Wärme- und Strommengen, GDB positiv

→ *Stromvergütungen überkompensieren zusätzliche Brennstoffkosten*

Differenz 10% zu 0% Szenario



10%-Fall

zusätzliche Strommengen begrenzt, Wärmemenge steigt überproportional

→ *GDB zwar positiv, aber im Vergleich zu 5%-Fall kleiner*

Fazit - allgemeine Ergebnisse

- Einflüsse von Temperaturen auf HKW sind zum Vorteil für die Wärmegegensehung im Sommer. Hohe Rücklauftemperaturen der AKA verringern diesen Vorteil wieder.
- Die Temperaturen haben keinen entscheidenden Einfluss auf die Wärmekosten für AKA-Antrieb. Ausschlaggebend sind die Erlöse durch zusätzliche Stromerzeugung.
- Implementierung tageszeitabhängiger Stromvergütungen sind zum Vorteil der Klimatisierung mit Absorptionskälte.

Fazit - Kosten für AKA-Antriebswärme

- Die zusätzliche Wärme ist günstiger, wenn mit ihr eine Steigerung der Strommenge bei ausreichender Vergütung erzielt wird.
- Mit höherer zusätzlicher Wärmenachfrage wird die elektrische Leistungsgrenze der HKW häufiger erreicht. Der Grenzpreis steigt.
- Der Grenzpreis wird entscheidend von Preis- und Vergütungssätzen beeinflusst.

Trotzdem: Grenzpreis für AKA-Antriebswärme: sehr niedrig bis negativ bei realistischem Einsatz

➔ **wirtschaftlicher Einsatz von AKA zur Klimatisierung möglich,**

z.B. [LAM08]

[LAM08] Lamers, P.; Thamling, N.: SUMMERHEAT Technology Report. Berliner Energieagentur GmbH, Juli 2008



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?