

# Was können moderne Absorptionskälteanlagen leisten?

In einem mehrjährigen, vom BMWi geförderten Feldtestprojekt „EnEff Wärme: Absorptionskälteanlagen für KWKK Systeme“ (FAKS) werden zwei neue Absorptionskälteanlagen an den Herausforderungen der Praxis gemessen. Um die Betriebsweise in Systemen mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) zu optimieren, wird eine modellbasierte Mehrgrößenregelung eingesetzt. Mit dieser kann beispielsweise eine technische, ökologische oder wirtschaftliche Verbesserung der Kältebereitstellung erreicht werden. Die gleichen Anlagen werden auch bereits in internationalen Projekten eingesetzt, beispielsweise zum solaren Kühlen in Jordanien. Interessierte Anwender und Planer können sich in den Demonstrationsvorhaben informieren. Die neuen Anlagen erweitern das Anwendungsfeld von Absorptionskälte sowohl im technischen als auch im ökologischen und wirtschaftlichen Bereich.



Jan Albers,  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter,  
TU Berlin, Institut  
für Energietechnik



Wolfgang Lanser,  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter,  
TU Berlin, Institut  
für Energietechnik



Christopher  
Paitazoglou,  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter,  
TU Berlin, Institut  
für Energietechnik



Stefan Petersen,  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter,  
TU Berlin, Institut  
für Energietechnik

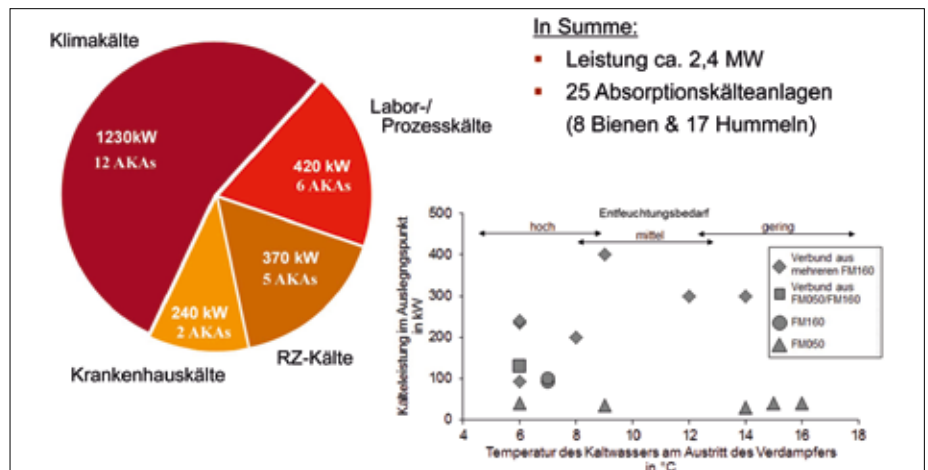


Abbildung 1: Übersicht zu Systemanwendungen und erforderlichen Kaltwassertemperaturen

Grafik: TU Berlin, Institut für Energietechnik



Abbildung 2: Installation mit drei Absorptionskälteanlagen vom Typ „Hummel“

Foto: T. Scherrer / Stadtwerke Karlsruhe



Hummel (160kW)	
<b>Typ</b>	Single Effekt LiBr-H <sub>2</sub> O
<b>Gewicht</b>	1750 kg (netto)
<b>L / h / b [m]</b>	1,95 / 2,12 / 1,12
<b>Module</b>	2 + 4 (<850 kg)
<b>Desorber</b>	
$t_{Di, \text{min/max}}$	$\Delta p (\dot{V}_{\text{Nom}})$
55 / 110 [°C]	0,1bar / (10m <sup>3</sup> /h)
<b>Verdampfer (Evaporator)</b>	
$t_{Ei, \text{min/max}}$ [°C]	$\Delta p (\dot{V}_{\text{Nom}})$
21 / 16 [°C]	0,25 bar / (28 m <sup>3</sup> /h)
<b>Absorber / Kondensator</b>	
$t_{Ai, \text{min/max}}$ [°C]	$\Delta p (\dot{V}_{\text{Nom}})$
15 / 45 [°C]	0,4 bar / (40 m <sup>3</sup> /h)



Abbildung 3: Kenndaten der Absorptionskälteanlage vom Typ „Hummel“

Grafik: TU Berlin, Institut für Energietechnik

Biene (50kW)	
<b>Typ</b>	Single Effekt LiBr-H <sub>2</sub> O
<b>Gewicht</b>	750 kg (netto)
<b>L / h / b [m]</b>	1,80 / 1,60 / 0,65
<b>Module</b>	1
<b>Desorber</b>	
$t_{Di, \text{min/max}}$	$\Delta p (\dot{V}_{\text{Nom}})$
55 / 110 [°C]	0,1bar / (3,2m <sup>3</sup> /h)
<b>Verdampfer (Evaporator)</b>	
$t_{Ei, \text{min/max}}$ [°C]	$\Delta p (\dot{V}_{\text{Nom}})$
21 / 16 [°C]	0,5 bar / (8,5 m <sup>3</sup> /h)
<b>Absorber / Kondensator</b>	
$t_{Ai, \text{min/max}}$ [°C]	$\Delta p (\dot{V}_{\text{Nom}})$
15 / 45 [°C]	0,7 bar / (14 m <sup>3</sup> /h)



Abbildung 4: Kenndaten der Absorptionskälteanlage vom Typ „Biene“

Grafik: TU Berlin, Institut für Energietechnik

### Das Projekt

Für den effizienten und wirtschaftlichen Einsatz von Absorptionskälteanlagen in gekoppelten Kraft-Wärme-Kälte-Systemen (KWKK-Systeme) sind neben der Deckung des Kältebedarfs weitere Kriterien von Bedeutung. Hierzu zählen neben den Betriebskosten vor allem auch die Heißwasserspreizung und die Rücklauftemperatur im Wärmenetz.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „EnEff Wärme: Absorptionskälteanlagen für Niedertemperaturantrieb - Grundlagen und Entwicklung von Absorptionskälteanlagen für die fernwärme- und solarbasierte Kälteversorgung“, Förderkennzeichen 0327460A+B, wurden von der TU Berlin in

Zusammenarbeit mit der Vattenfall Europe Wärme AG und dem Zentrum für angewandte Energieforschung Bayern (ZAE) zwei Absorptionskälteanlagen (AKA) mit Nennleistungen von 50 und 160 kW entwickelt.

FAKS ist ein Verbundprojekt von AGFW, BTGA, ILK, TU Dresden und der TU Berlin. Geleitet wird es von der TU Berlin. In dem Projekt werden die Anlagen in einem bundesweiten Feldtest eingesetzt. Neben der Demonstration der Anwendung mit ganz verschiedenen Nutzerprofilen (Klimaanwendungen, Prozess- und Gewerbeanwendung, Rechenzentren, Krankenhäuser) wird gezeigt, dass ein breites Temperaturband in der Kaltwasserversorgung zwischen 6 °C

und 16 °C mit einer guten Temperaturstabilität bzw. Regelgüte von ca. ±0,5 K bedient werden kann. Dafür ist eine Vielzahl von hydraulischen Verschaltungen umgesetzt worden – abhängig von den jeweiligen Zielstellungen der einzelnen Liegenschaften. Abbildung 1 gibt einen Überblick zu ausgewählten Systemparametern und in Abbildung 2 ist ein AKA-Verbund dargestellt, bestehend aus drei Anlagen vom Typ „Hummel“. Allen Projekten ist neben dem Ziel der Kälteversorgung, eine Beschränkung der Heißwasserrücklauftemperatur gemeinsam, die je nach Liegenschaft zwischen 55 °C und 72 °C beträgt. Sie ist mit unterschiedlicher Priorisierung gegenüber der Kältelastdeckung einzuhalten. Bei Fernwärmeanwendungen ist die maximale Rücklauftemperatur in der Regel auf unter 68 °C festgelegt, bei BHKW-Anwendungen auf 68 °C – 72 °C.

Die hydraulischen Verschaltungen einzelner Systeme werden in [1], [2] und [3] detaillierter beschrieben. Der Almanach erscheint ebenfalls erst zur ISH: Eine Broschüre mit der Übersicht zu allen Systemen kann bei der TU Berlin, beim BTGA oder der AGFW angefordert werden.

### Beschreibung der Absorptionskälteanlagen

Das Anlagenkonzept der neu entwickelten, einstufigen Absorptionskälteanlagen basiert auf einer klassischen, modularen Zweibehälterbauweise unter Verwendung des konventionellen Arbeitsstoffpaares Wasser/Lithiumbromid (H<sub>2</sub>O/LiBr). Für die kostengünstige Konstruktion der Anlagen wurde ein neues Wärmeübertragerdesign verwendet, das eine höhere Kompaktheit bei kostengünstiger Serienproduktion zulässt. Aufgrund der Kompaktheit und der modularen Bauweise sind die Absorptionskälteanlagen zugänglich und lassen sich auch im Bestand integrieren.

Die wesentlichen thermodynamischen Betriebseigenschaften der neuen Anlagen sind:

- hohe Spreizungen im Antrieb für Fernwärmeanwendung ( $\Delta t$  von 5 bis 40 K realisierbar),
- weiter Antriebstemperaturbereich am Anlageneintritt von 55 °C bis 110 °C,
- Kühlwassertemperaturen am Anlageneintritt von 15 °C bis 45 °C,
  - Einsatz von trockenen Rückkühlsystemen möglich,
  - Betrieb als Wärmepumpen für Heizsysteme bis 60 °C Heizungsvorlauftemperatur realisierbar,
- hohe Lastwechselgeschwindigkeit (von 25 % auf 100 % Leistung in weniger als zehn Minuten),



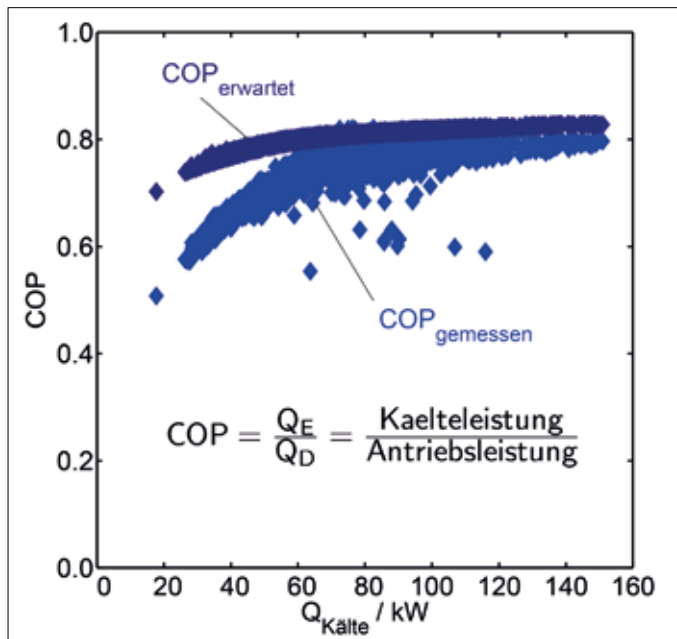


Abbildung 5:  
Gemessene thermische  
Effizienz einer Anlage  
(Typ „Hummel“)  
gegenüber angepassten  
Erwartungswerten einer  
Laboranlage ähnlich  
zum Typ „Hummel“  
Grafik: TU Berlin, Institut  
für Energietechnik

- e) Tolerierung weiter Volumenstrombereiche in Heiß- und Kühlwasserkreis, Betriebsbereitschaft ab fünf Prozent der nominalen Volumenströme,
- f) Volumenstrom des Kaltwassers ab 20 % des Nominalvolumenstroms zulässig,
- g) thermische Effizienz (COP) im Nominalpunkt ca. 0,8,
- h) direkte Anschlussfähigkeit für viele FW-Netzte (PN16),
- i) geringe Druckverluste der Wärmetauscher → geringe Nebenstromverbräuche realisierbar.

In Abbildung 3 und Abbildung 4 sind die Kenndaten zu den Anlagen vom Typ „Hummel“ und „Biene“ zusammengefasst.

Im Rahmen des Feldtests wurden die Erfahrungen und Anregungen der Planer und Installateure hinsichtlich der Handhabung und der Installationsfreundlichkeit der Anlagen kontinuierlich zur Verbesserung der Konstruktion umgesetzt. Die Anlagen sind als Kompakteinheit oder in modularer Bauweise ab Werk lieferbar, die Fußkonstruktion inklusive Nivellierelementen wurde verbessert, die hydraulischen Anschlüsse sind wahlweise in Losflansch oder Rohrgewinde

vorkonfektioniert. Die Anlagen verfügen über ein internes Vakuumsystem. Die gute thermische Effizienz der Laboranlagen aus dem Entwicklungsprozess konnte im Feldtest auch bei unterschiedlichsten Lastanforderungen und -wechseln nachgewiesen werden (siehe Abbildung 5). Weitere Details zur Anlagen-Performance sind den Publikationen [1], [2], [3], [4] zu entnehmen.

### Dynamisches Lastverhalten und Regelung

Zusammen mit den Absorptionskälteanlagen werden im Rahmen des Feldtests auch verschiedene Regelstrategien für den Betrieb im KWKK-System untersucht. Diese Regelstrategien basieren auf einer weiterentwickelten Methode charakteristischer Gleichungen, mit deren Hilfe das Teillast- und Regelungsverhalten von Absorptionskälteanlagen unter den aktuellen Betriebsbedingungen als lineare Funktion einer modifizierten charakteristischen Temperaturdifferenz  $\Delta\Delta t^*$  vorausberechnet werden kann. Diese modifizierte charakteristische Temperaturdifferenz  $\Delta\Delta t^*$  wird aus der Austrittstemperatur im Kaltwasser  $t_{Eo}$  sowie der Heiß- und Kühlwas-

sereintrittstemperatur  $t_{Di}$  und  $t_{Ai}$  gebildet. Dies gilt sowohl für konstante als auch für variable externe Volumenströme [5].

$$Q_E = K_{\ddagger} \cdot \Delta\Delta t^* \\ = K_{\ddagger} \cdot [t_{Di} \cdot (1 - K_1) - t_{Ai} \cdot (1 - K_2) + t_{Eo} \cdot (1 - K_3)]$$

Gleichung 1

Über die anlagenabhängigen Koeffizienten  $K_N$  in Gleichung 1 wird die Betriebscharakteristik der AKA beschrieben. Aus Gleichung 1 folgt, dass bei Vorgabe eines Kaltwassersollwertes  $t_{Eo} = t_{Eo, set}$  und einer daraus resultierenden geforderten Kälteleistung  $Q_E = Q_{E, set} = \dot{V}_E \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{Ei} - t_{Eo, set})$  beide Anforderungen – die zusammen als Lastfall ( $Q_{E, set}; t_{Eo, set}$ ) bezeichnet werden – durch verschiedene Kombinationen der Heiß- und Kühlwassertemperatur ( $t_{Di}, t_{Ai}$ ) erreicht werden können. Mit welcher konkreten Kombination aus Heiß- und Kühlwassereintrittstemperatur der Lastfall gedeckt wird, kann unter Berücksichtigung der Betriebsgrenzen der betrachteten Anlage erfolgen.

Durch den Lastfall ( $Q_{E, set}; t_{Eo, set}$ ) ist über Gleichung 1 auch der Wert für  $\Delta\Delta t^* = \Delta\Delta t^*_{set}$  definiert. Bei festgelegtem Kaltwassersollwert  $t_{Eo} = t_{Eo, set}$  ergibt sich aus dem Freiheitsgrad in der Festlegung einer der beiden Eintrittstemperaturen  $t_{Di}$  oder  $t_{Ai}$  zum Einstellen des erforderlichen Wertes für  $\Delta\Delta t^*_{set}$  die Möglichkeit, neben der Lastdeckung noch eine weitere regelungstechnische Zielstellung vorzugeben. Durch diese Zielstellung ist dann das notwendige Wertepaar ( $t_{Di}; t_{Ai}$ ) eindeutig festgelegt. In [5, 6] sind die zugehörigen Berechnungsgrundlagen detaillierter dargestellt.

Als dritte Zielstellung für die Regelung ist sowohl eine Maximierung der thermodynamischen Effizienz als auch eine Minimierung der Kältegestehungskosten denkbar (siehe [5]). Zur Sicherstellung einer möglichst langen Betriebszeit von KWKK-Anlagen ist jedoch das Einhalten einer bestimmten Heißwasseraustrittstemperatur  $t_{Do} = t_{Do, set}$  aus der AKA von entscheidender Bedeutung. Daraus resultieren folgende drei Zielstellungen für die Regelung der Absorptionskälteanlagen im Feldtest:

- 1) Bereitstellung der geforderten Kälteleistung  $Q_E = Q_{E, set}$   
→ technische Zielstellung/Funktionsfähigkeit
- 2) Einhaltung der Austrittstemperatur im Kaltwasser  $t_{Eo} = t_{Eo, set}$   
→ kälteverbrauchsseitige Zielstellung

Tabelle 1: Übersicht zur Priorisierung der Ziele für verschiedene Backup-Strategien

Backup-Strategie	1. Priorität	2. Priorität	3. Priorität
Wärmeerzeugerseitig	Heißwasseraustritt $t_{Do} = t_{Do, set}$	Kälteleistung $Q_E = Q_{E, set}$	Kaltwasseraustritt $t_{Eo} = t_{Eo, set}$
Kälteverbraucherseitig	Kälteleistung $Q_E = Q_{E, set}$	Kaltwasseraustritt $t_{Eo} = t_{Eo, set}$	Heißwasseraustritt $t_{Do} = t_{Do, set}$



- 3) Einhaltung der Austrittstemperatur im Heißwasser  $t_{Do} = t_{Do,set}$   
 → wärmeerzeugerseitige Zielstellung

Diese drei Zielstellungen lassen sich durch kontinuierliche Regelung der Heiß- und Kühlwassereintrittstemperatur jedoch nur dann gleichzeitig erreichen, wenn ausreichend hohe Antriebsleistungen – beispielsweise vom BHKW – und ausreichend niedrige Kühlwassertemperaturen zur Verfügung stehen. Letzteres ist jedoch bei trockener Rückkühlung, beispielsweise über einen Tischkühler, und hohen Außentemperaturen nicht immer möglich.

Für den Fall, dass eine der Versorgungstemperaturen nicht ausreichend ist, greifen im SPS-Programm so genannte Backup-Strategien (BuS). Mit diesen wird versucht, die Unterversorgung in einem Versorgungskreis dadurch auszugleichen, dass ein anderer Kreis höher beansprucht wird. Unterschieden wird dabei zwischen wärmeerzeugerseitigen und kälteverbraucherseitigen Backup-Strategien (siehe Tabelle 1).

Der wesentliche Unterschied in den Backup-Strategien liegt in der Priorisierung der Ziele, mit der festgelegt wird, welches der drei Ziele als letztes aufgegeben wird. Bei der kälteverbraucherseitigen BuS kommt es vorrangig darauf an, den Bedarf der Kälteverbraucher zufrieden zu stellen. Von geringerer Bedeutung (3. Priorität) ist hier die Einhaltung der Heißwasserrücklauftemperatur  $t_{Do,set}$ . Beispielsweise ist in Fernwärmenetzen ein kurzzeitiges Überschreiten des Sollwertes  $t_{Do,set}$  von geringerer Bedeutung als das Einhalten von  $t_{Eo,set}$ . Bei der erzeugerseitigen BuS ist es dagegen von oberster Priorität, dass  $t_{Do,set}$  eingehalten wird, um beispielsweise einen Not-Stopp der KWK-Anlage zu verhindern. Die dann fehlende Kälteleistung aus der AKA muss durch andere Erzeuger oder Speicher im KWKK-System bereitgestellt werden.

Aus den Kurvenverläufen in Abbildung 6 ist zum einen die Wirkungsweise dieser modellbasierten Mehrgrößenregelung und zum anderen das dynamische Lastverhalten der eingesetzten AKA erkennbar. Erläuterungen zu den verschiedenen Backup-Strategien sind u.a. den Publikationen [5] und [7] zu entnehmen.

Im dargestellten Zeitraum sind die Versorgungstemperaturen immer ausreichend – das heißt, es stehen ausreichend heißes Fernwärme- und ausreichend kaltes Kühlwasser zur Verfügung. Um kurz vor 16 Uhr erfolgt die Freigabe der betrachteten AKA. Aufgrund des gespeicherten Kältemittels aus einer vorhergehenden Betriebsphase

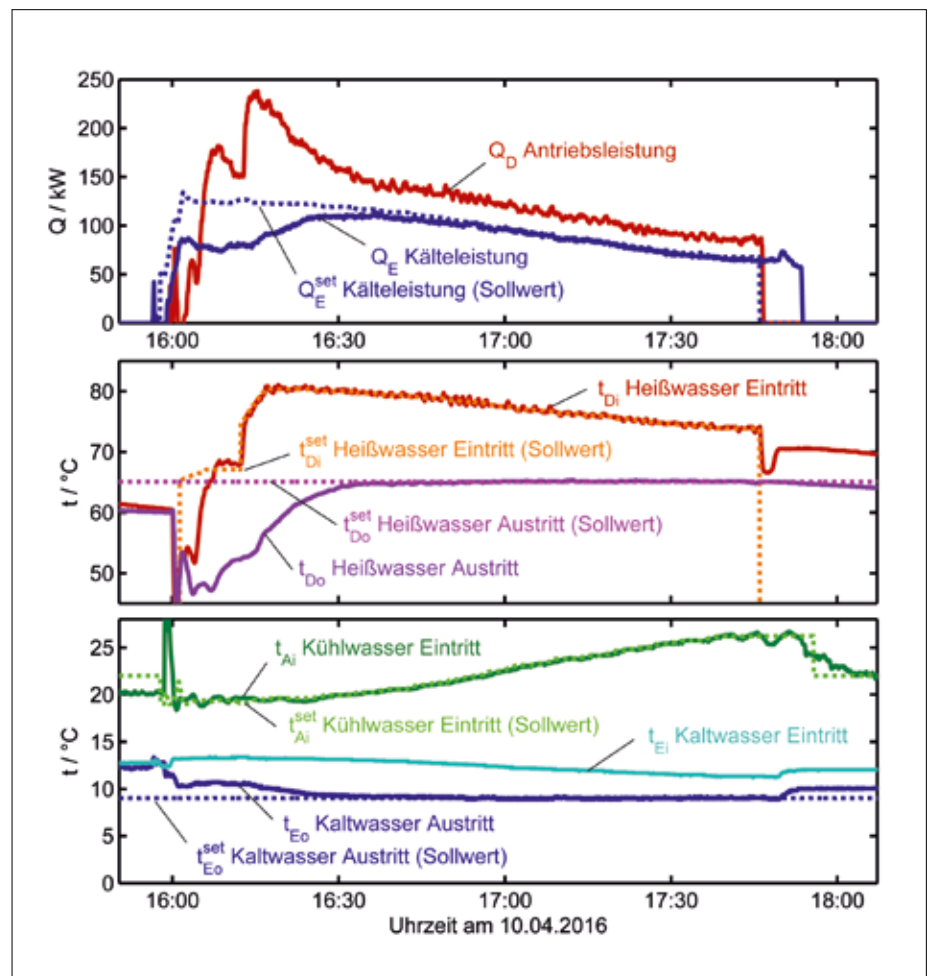


Abbildung 6: Dynamisches Lastverhalten einer Absorptionskälteanlage vom Typ „Hummel“ bei gleichzeitiger Regelung von Heiß- und Kühlwassertemperatur  
 Grafik: TU Berlin, Institut für Energietechnik

steht bereits wenige Minuten nach Betriebsbeginn eine nennenswerte Kälteleistung von über 80 kW zur Verfügung. Dennoch wird bis etwa 16.30 Uhr der Kaltwassersollwert nicht exakt eingehalten. Das resultiert aus der Betriebsphase bis etwa 16.15 Uhr, in der zum einen der Sollwert  $t_{Di,set}$  nicht sofort erreicht wird und dieser Sollwert zum anderen sehr vorsichtig eingestellt wird, um einen Überschwinger  $t_{Do} > t_{Do,set}$  zu vermeiden. Ab ca. 16.30 Uhr ist die Anfahrphase mit einer notwendig hohen Antriebsleistung zum Erhöhen der Lösungskonzentration abgeschlossen. Diese „thermische Investition“ kann beim Abfahren der Anlage ab ca. 17.50 Uhr durch Kälteerzeugung ohne Antriebswärme anteilig zurückgewonnen werden. Zwischen dem Ende der Anfahrphase bis zum Entzug der Freigabe werden alle drei Ziele erreicht. Das gelingt durch die gleichzeitige Regelung der Heiß- und Kühlwassereintrittstemperatur, in dem die Sollwerte  $t_{Di,set}$  und  $t_{Ai,set}$  kontinuierlich an die sich ändernden Lastbedingungen über die modellbasierte Regelung angepasst werden.

### Energieeffizienz

Für die energetische Bewertung der Kälteerzeugung werden in allen Feldtestsystemen nicht nur die installierten Absorptionskälteanlagen sondern auch deren Umfeld durch ein wissenschaftliches Monitoring begleitet, beispielsweise weitere Kälteerzeuger wie Kompressionskälteanlagen, Freikühler aber auch Wärmeerzeuger und BHKWs etc. Dazu wurden alle relevanten Komponenten mit Strom-, Wasser-, Gas-, und Wärmemengenzählern ausgerüstet. Seitens der TU Berlin wurden die Anlagenbauer, Planer und Feldtestpartner mit Einbauempfehlungen auf Basis von gültigen Vorschriften und Normen [8, 9, 10] hinsichtlich der hydraulischen Einbauposition von Durchflusssensoren und Temperaturfühlern unterstützt. Hierdurch konnte ein hohes Maß an wissenschaftlicher Nachvollziehbarkeit und Messgenauigkeit erreicht werden. Aktuell wird der Großteil der Energieströme in den Feldtestsystemen systematisch erfasst und hinsichtlich der Energieeffizienz bei der Kälteerzeugung aus-

gewertet. Darauf aufbauend werden Optimierungspotenziale aufgezeigt.

Für die Bewertung der Energie- bzw. Primärenergieeffizienz und für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen der Feldtestsysteme ist es erforderlich, Kennzahlen zu bilden. Die verwendeten Kennzahlen, die bereits in [11] kurz eingeführt worden sind, wurden in Anlehnung an bestehende Standards, Normen und Richtlinien erarbeitet (siehe z.B. DIN 18599, DIN 15316, FW311 (AGFW), VDI 3423).

Erste Ergebnisse zur Anlagen- und Systemeffizienz sind in [7, 12, 13] vorgestellt worden. Bei der elektrischen Effizienz konnten z.B. nach Abschluss der Probebetriebsphase Jahresmittelwerte zwischen 10 kWh<sub>Kälte</sub>/kWh<sub>el</sub> und 15 kWh<sub>Kälte</sub>/kWh<sub>el</sub> erreicht werden. Durch erste Optimierungsmaßnahmen im Anlagenbetrieb werden für das Betriebsjahr 2017 noch einmal höhere Werte erwartet. In einem speziellen Feldtestsystem, dessen AKA-Rückkühlung über eine Flusskühlung realisiert wurde, werden sogar Werte von bis zu 60 kWh<sub>Kälte</sub>/kWh<sub>el</sub> erreicht. Die Flusswasserkühlung stellt zwar eine Ausnahme dar, verdeutlicht aber die Abhängigkeit der Systemeffizienz insbesondere von der Art der Rückkühlung. Darüber hinaus wird die primärenergetische Effizienz der

Kälterzeugung neben der thermischen Effizienz der Kälteanlage auch stark von der primärenergetischen Bewertung der Antriebswärme beeinflusst. Erste Auswertungen zeigen, dass bei der thermischen Kälterzeugung Primärenergiefaktoren im Bereich von 1,5 kWh<sub>PE</sub>/kWh<sub>Kälte</sub> bis zu 0,2 kWh<sub>PE</sub>/kWh<sub>Kälte</sub> erreicht wurden. Im Winter stellt in der Regel die freie Kühlung die primärenergetisch günstigste Kälteproduktion dar.

Analysen zur Untersuchung von verschiedenen Effizienzparametern wurden in [14, 15] unternommen. Demzufolge ist die Primärenergieeffizienz von zentralen oder dezentralen KWKK-Systemen stark abhängig von verschiedenen Effizienzparametern, beispielsweise von der Leistungszahl der AKA ( $\epsilon_{AKA}$ ), der Leistungszahl der Referenzkälteanlage ( $\epsilon_{KKA}$ ), der Effizienz der eingesetzten Rückkühltechnologien ( $\epsilon_{RKW}$ ) und nicht zuletzt von der Wahl der gegebenenfalls zeitvariablen Primärenergiefaktoren für Strom ( $f_{el}$ ) und Wärme ( $f_{FW}$ ). In Abbildung 7 sind dazu exemplarisch die Einflüsse von drei Parametern auf die relative Änderung der PE-Einsparung eines KWKK-Systems gegenüber einem Vergleichssystem ohne KWKK dargestellt. Die Variationsgrenzen der Parameter (z.B.  $0 < f_{FW} < 0,5$ ) sind an den Enden jeder Kurve genannt. In der Abbil-

dung ist unter anderem zu erkennen, dass bei Erhöhung des PE-Faktors der Fernwärme  $f_{FW}$  (gegenüber dem Referenzwert von 0,16 kWh<sub>PE</sub>/kWh<sub>FW</sub>) bis zu einem Grenzwert  $f_{FW,g} = 0,22$  kWh<sub>PE</sub>/kWh<sub>FW</sub> ein KWKK-System noch primärenergiesparend gegenüber einem Vergleichssystem ohne KWKK aber mit effizienter Kompressionskälteanlage  $\epsilon_{KKA} = 5$  kWh<sub>Kälte</sub>/kWh<sub>el</sub> ist. Im Gegensatz dazu steigt die Primärenergieeinsparung steil an, wenn die mittlere Effizienz der Referenzkälteanlage kleiner als  $\epsilon_{KKA} = 5$  kWh<sub>Kälte</sub>/kWh<sub>el</sub> ist. Eine detailliertere Betrachtung ist den genannten Publikationen zu entnehmen. Es ist aber offensichtlich, dass nur mit einer ausreichend hohen elektrischen Effizienz des KWKK-Systems – beispielsweise durch effiziente Rückkühltechnologien mit  $\epsilon_{RKW} \gg \epsilon_{RKW,g} = 10$  kWh<sub>Abwärme</sub>/kWh<sub>el</sub> – eine hohe Primärenergieeinsparung erreicht werden kann.

### Zusammenfassung

In einem breit angelegten Feldtest wird die Praxistauglichkeit und Energieeffizienz von zwei Baugrößen einer neu entwickelten, modernen Absorptionskälteanlage in unterschiedlichen KWKK-Systemen erprobt. Die Anlagen vom Typ „Biene“ und „Hummel“ mit Nennkälteleistungen von 50 bzw. 160 kW eignen sich aufgrund ihrer kompakten und modularen Bauweise auch für das nachträgliche Einbringen in Bestandsgebäude. Sie können in der Regel direkt am Fernwärmenetz angeschlossen werden und liefern bereits bei niedrigen Antriebstemperaturen Kälte aus Abwärme von KWK-Anlagen.

Die betrachteten Absorptionskälteanlagen sind für eine hohe Bandbreite an Kühlwassertemperaturen konzipiert und erlauben den ganzjährigen Betrieb mit trockener Rückkühlung. Wasseraufbereitungsanlagen, Trinkwasserverbrauch und mikrobiologische Probleme können damit vermieden werden, sodass die Wirtschaftlichkeit von KWKK-Systemen verbessert wird. Hierzu trägt auch eine intelligente Regelung bei. Mit dieser kann nicht nur gewährleistet werden, dass der Kältebedarf gedeckt wird – auch eine maximal zulässige Rücklauf Temperatur im Heißwasser kann damit eingehalten werden. Dadurch können längere Betriebszeiten der KWK-Anlage realisiert bzw. vertraglich zugesicherte RL-Temperaturen im Fernwärmenetz sicher eingehalten werden. Durch die gleichzeitige Regelung der Heiß- und Kühlwassertemperatur im Zusammenspiel mit einer geschickten Wärmeüberträgeranordnung wird außerdem erreicht, dass moderne Absorptionskälteanlagen kaum noch als „träge“ zu bezeichnen sind.

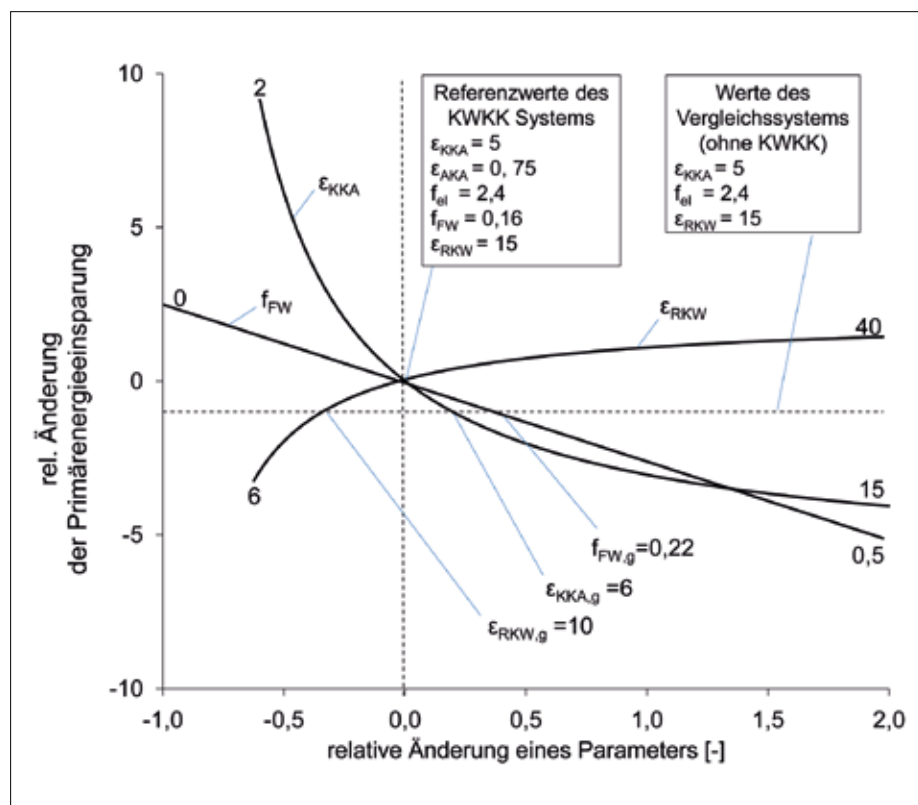


Abbildung 7: Einfluss ausgewählter Parameter auf die Primärenergieeinsparung

Grafik: TU Berlin, Institut für Energietechnik



In Bezug auf die Primärenergieeffizienz der AKA kommt einer guten Integration in das KWKK-System eine hohe Bedeutung zu. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Reduktion der Nebenstromverbräuche. Dies kann beispielsweise durch druckverlustarme Hydraulik und eine hohe thermische Effizienz der AKA gelingen. Dadurch bleibt die abzuführende Wärmemenge und somit der spezifische Elektroenergiebedarf im Rückkühlwerk auch in Teillast gering. Zusätzlich sollen zukünftig auch die Volumenströme im Kalt-, Kühl- und Heißwasser aktiv geregelt werden, um eine hohe Primärenergieeffizienz bei der thermischen Kälteerzeugung sicherzustellen. Moderne Absorptionskälteanlagen können damit einen häufig unterschätzten und signifikanten Beitrag zur Energiewende leisten. ◀

### Danksagung

Das Projekt wird vom BMWi aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen des EnEff: Wärme Programms unter der Forschungskennziffer 03ET1171A gefördert. Der Dank gilt auch den beteiligten Stadtwerken, dem Projektträger Jülich sowie den Verbundpartnern der TU Berlin, die dieses Projekt ermöglichen.



### Literatur

- [1] S. Petersen, A. Hansske, C. Hennrich, W. Hüls, W. Lanser, M. Mittermaier, F. Ziegler. Fernwärmebasierte Kälteversorgung. *KK, Die Kälte und Klimatechnik*, 6: 64-69, 2011.
- [2] S. Petersen, J. Albers, C. Hennrich, S. Hunt, W. Hüls, W. Lanser, M. Schröder. Absorptionskälteanlagen für die Gebäudekühlung mit Fernwärme. *EuroHeat&Power*, 42. Jg (5): 42-49, 2013.
- [3] S. Petersen, F. Ziegler, J. Albers, W. Lanser. EnEff Wärme: Absorptionskälte-technik für Niedertemperaturantrieb - Grundlagen und Entwicklung von Absorptionskältemaschinen für die fernwärme- und solarbasierte Kälteversorgung. Technical Report FKZ 0327460B, TU Berlin, Institut für Energietechnik, Sek. KT 2, Fachgebiet Maschinen u. Energieanlagentechnik, September 2013.
- [4] BINE Informationsdienst. Mit Wärme kühlen - Eine neue Generation kompakter Kältemaschinen kühlt und heizt mit Niedertemperaturwärme. BINE Projektinfo 07/2012, [www.bine.info](http://www.bine.info) > Publikationen > Projektinfos > 2012 > 07 > Mit Wärme kühlen.
- [5] J. Albers. Erweiterung einer Berechnungsmethode für die Regelung von Absorptionskälteanlagen. Dissertation an der TU Berlin, Fakultät III Prozesswissenschaften, Institut für Energietechnik, Bearbeitungsstand Dezember 2016.
- [6] J. Albers, S. Petersen, A. Hanßke, C. Hennrich, S. Hunt, W. Hüls, W. Lanser, C. Paitazoglou, M. Schröder, F. Ziegler. Untersuchung regelungstechnischer Zielstellungen für zwei baugleiche Absorptionskälteanlagen im Feldtest. In Tagungsband Deutsche Klima-Kälte-Tagung, Hannover, November 2013.
- [7] W. Lanser, J. Albers, W. Hüls, C. Paitazoglou, S. Hunt, S. Petersen. Systemintegration von Absorptionskälte: Erste Betriebserfahrungen aus einem Feldtest für KWKK-Systeme. Tagungsband Deutsche Klima-Kälte-Tagung, Dresden, November 2015.
- [8] DIN EN 1434-2. Wärmehähler - Teil 2: Anforderungen an die Konstruktion, 2007.
- [9] Technische Richtlinien: Messgeräte für thermische Energie, K8 Auswahl und Einbau von Temperaturfühlern für Messgeräte thermischer Energie (Wärme- und Kältezähler). Physikalisch Technische Bundesanstalt, 11 2012.
- [10] Technische Richtlinien: Messgeräte für thermische Energie, K9 Inbetriebnahme von Wärme- und Kältezählern. Physikalisch Technische Bundesanstalt, 11 2012.
- [11] C. Paitazogou, S. Petersen, M. Schröder, J. Albers. Betriebsauswertung von Absorptionskälteanlagen im kleinen Leistungsbereich - Konzepte von zwei Feldtestinstallationen. *Euro Heat & Power*, 11 (2016): 16-21.
- [12] C. Paitazogou, S. Petersen, M. Schröder, J. Albers. Betriebsauswertung von Absorptionskälteanlagen im kleinen Leistungsbereich - Energieeffizienz von KWKK-Systemen. *Euro Heat & Power*, 12 (2016), 20-25.
- [13] C. Hennrich, R. Graf, S. Petersen. Absorptionskälteanlagen am Fernwärmekälteanlagennetz - Betriebsergebnisse aus dem FAKS-Projekt. In Tagungsband Deutsche Klima-Kälte-Tagung, Kassel, November 2016.
- [14] C. Paitazoglou, F. Ziegler. Primärenergetische Systemanalyse - Teil 1: Systematik zur Beschreibung der Primärenergieeffizienzerhöhung. *BWK*, 2013 (6): 40-46.
- [15] Christopher Paitazoglou, Felix Ziegler. Primärenergetische Systemanalyse - Teil 2: Sensitivitätsanalyse und Anwendung. *BWK*, 2013 (7/8): 43-49.