ENERGIEWENDEBAUEN
Wissenschaftliche Begleitforschung

Schriftenreihe

PROJEKTLEITERTREFFEN

Kälte und Kühlung - aktive und passive Konzepte

Dokumentation des 5. Projektleitertreffens

Kälte und Kühlung - aktive und passive Konzepte

Detmold, 27. - 28. November 2018

Programm

Dienstag, 27. November 2018

Ab 12:00 Uhr	*Ankunft und Mittagsimbiss*
13:00 Uhr	Begrüßung durch die Wissenschaftliche Begleitforschung (Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller)
13:30 Uhr	Praxisbericht I _ Sanierung Berufskolleg Detmold zur Plusenergie-Schule Prof. Dr.-Ing. Susanne Schwickert | Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Institut für Energieforschung Oliver Glahn, M.-Eng. | Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Institut für Energieforschung
14:00 Uhr	Praxisbericht II _ Sanierung des Schul- und Sportzentrums Lohr am Main zur Plus-Energie-Schule mit Schwimmbad und 3-fach Sporthalle mit adaptiver Steuerungstechnik, Speicher- und Energiemanagement Dipl.-Ing. (FH) Werner Haase | Haase & Bey Architekten PartG mbB Dipl.-Ing. Jens Kaiser | TU Dresden, Institut für Energietechnik
14:30 Uhr	*Kaffeepause*
15:00 Uhr	Übergang zu den Workshops in das Felix-Fechenbach-Berufskolleg
15:15 Uhr	Workshop-Phase I (5 Arbeitsgruppen)
Ab 17:15 Uhr	Führungen durch das Berufskolleg
Ab 19:30 Uhr	*Gemeinsames Abendessen im Strates Brauhaus*

Mittwoch, 28. November 2018

09:00 Uhr	Praxisbericht III _ FlexControl – Netzdienliche Betriebsführungsstrategien für eine Energieeffiziente Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden im GHD-Sektor Dr.-Ing. Peter Engelmann | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
09:30 Uhr	Praxisbericht IV _ EnOB: KUEHA - Erprobung und Demonstration einer neuartigen Systemlösung zur sommerlichen Raumkühlung unter besonderer Berücksichtigung von Energieeffizienz und Praxistauglichkeit Dipl.-Ing. Markus Arendt | TU Dresden, Institut für Energietechnik
10:00 Uhr	*Kaffeepause*
10:30 Uhr	Workshop-Phase II (5 Arbeitsgruppen)
12:30 Uhr	Gemeinsames Resümee & Verabschiedung durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Im Anschluss	*Mittagsimbiss (Ende der Veranstaltung)*

Aktuelle Auswertungen ENERGIEWENDEBAUEN

Vortragender: Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, RWTH Aachen

Zusammenfassung

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Dirk Müller

E-Mail:
dmueller@eonerc.rwth-aachen.de

Tel.:
+49 241 80 49760

In Deutschland entfallen ca. 35 % des jährlichen Endenergieverbrauchs auf den Betrieb von Gebäuden. Damit nimmt der Gebäudesektor eine Schlüsselposition für die Erreichung der Klimaschutzziele ein. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und steigender Komfortansprüche, rückt die Kühlung von Nicht-Wohngebäuden immer stärker in den Fokus. Innovative aktive sowie passive Konzepte zur Kältebereitstellung und Kühlung von Gebäuden bieten ein hohes Energieeinsparpotential.
Zur Unterstützung der Vernetzung aller vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekte im Forschungsbereich Energie in Gebäuden und Quartieren, arbeitet die wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN als interdisziplinär aufgestelltes Forschungsteam. Der Konsortialleiter der wissenschaftlichen Begleitforschung Dirk Müller stellt zu Beginn des PL-Treffens deren Aufgabenbereiche vor. Diese gliedern sich in folgende übergeordnete Bereiche:

1. Forschungsfragestellungen und strukturiertes Berichtswesen:
   Hier werden Konzepte für ein strukturiertes Berichtswesen erarbeitet, wobei der in regelmäßigen Abständen versendete Fragebogen eine zentrale Rolle einnimmt. Insgesamt ermöglicht dieses Arbeitspaket die Identifikation und Formulierung zentraler Forschungsfragestellungen. Ergänzend werden u. a. Technikscoutings und projektübergreifende Auswertungen durchgeführt.
2. Wissenschaftliche Querschnittsforschung und Trendanalysen:
   Zielgruppenorientierte Querauswertungen, Tiefenbohrungen und Trendanalysen geben in diesem Bereich eine breite Übersicht über die Forschungslandschaft ENERGIEWENDEBAUEN.
3. Datenbank, wissenschaftliche Beratung und Leitfäden:
   Die digitale Projektlandkarte EWB ist das zentrale Element der Wissenschaftlichen Begleitforschung und Teil dieses Arbeitspakets. Im Bereich Monitoring werden regelmäßige Foren zum Austausch mit Zuwendungsempfängern durchgeführt und zu dem eine zentrale Datenbank für die aufgezeichneten Daten der Monitoringprojekte entwickelt. Hierdurch wird die Wiederverwendbarkeit dieser Daten erhöht.
4. Wissenschaftliche Veranstaltungen und Kommunikation:
   Die Wissenschaftliche Begleitforschung ist für die Durchführung verschiedene Veranstaltungsformate verantwortlich. Projektleitertreffen dienen dem regelmäßigen Austausch mit Projektnehmern der Forschungslandschaft. Ein alle zwei Jahre stattfindender Kongress dient zusätzlich der Kommunikation mit externen Teilnehmern. Kleinere Veranstaltungsformate sind der jährlich stattfindende Think Tank und Expertenworkshop, in welchen der Wissensaustausch zu spezifischen Themen- und Fragestellungen gefördert wird. Ergänzend werden entwickelte Forschungsfragestellungen und Trendanalysen mit dem Bundesministerium für Energie und Wirtschaft (BMWi) sowie mit dem Projektträger Jülich (PtJ) diskutiert. In der Pro-

jektlandkarte sowie in Themenheften werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse aufbereitet und somit der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Ergänzend wird die Digitale Projektlandkarte (dL) detailliert vorgestellt. In dieser sind alle Projekte des Forschungsbereichs ENERGIEWENDEBAUEN dargestellt. Die darin enthaltenen Informationen zu den einzelnen Projekten werden aus zwei unterschiedlichen Quellen gespeist. Basisdaten wie die Laufzeiten, Titel und Kurzbeschreibungen der Projekte werden automatisiert aus EnArgus, dem zentralen Informationssystem der Energieforschungsförderung, eingebunden. Ergänzende Informationen wie Quartiers- und Gebäudedaten (z. B. energetische Kennwerte), Details zu Technologieentwicklungen oder verwendeten Software-Werkzeuge werden von den Zuwendungsempfängern über den regelmäßig versendeten Fragebogen der Begleitforschung bereitgestellt. Die dL bietet die Möglichkeit unterschiedliche Filter anzuwenden und somit die angezeigten Projekte entsprechend zu clustern. Forschungswillige und Interessierte haben hierdurch bspw. die Möglichkeit zukünftige Projektpartner oder Forschungsfragestellungen zu recherchieren. Durch die vorgesehenen Auswertungs- und Vergleichsmöglichkeiten können Forschungsthemen im Detail angesehen oder statistische Auswertungen über die gesamte Forschungslandschaft erstellt werden.

Im Weiteren gibt Prof. Müller einen Einblick in die im Fragebogen (Basis zweite Fragebogenrunde) erhobenen Daten und deren Auswertungsmöglichkeiten. Abbildung 1 zeigt, welchen Förderinitiativen die jeweiligen Projekte zuzuordnen sind. Darüber hinaus wird angegeben, ob es ein Vorgängerprojekt im direkten Zusammenhang mit der jeweiligen jetzigen Förderung gibt. Es zeigt sich, dass von den Projekten, die den Fragebogen beantwortet haben, 27 % ein Anschlussprojekt bearbeiten und respektive 73 % ohne Vorgänger-Projekt neu gestartet sind.

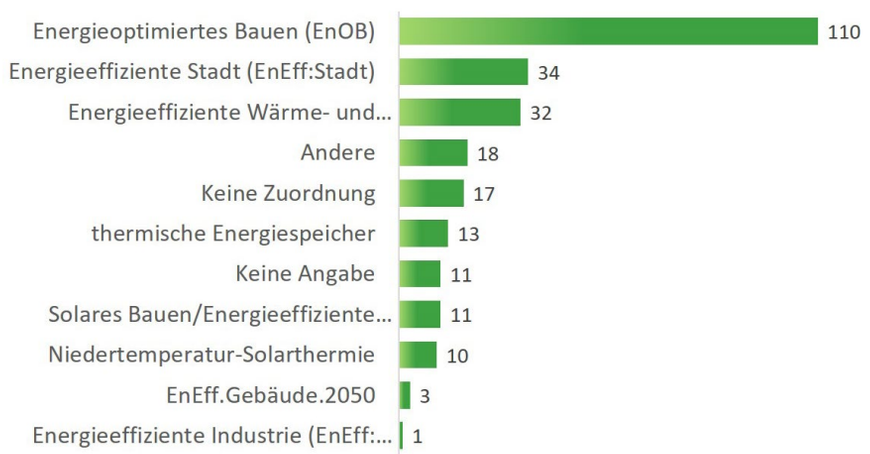


Abbildung 1: Zuordnung der Projekte zu den Förderinitiativen (Einfachauswahl, Anzahl Antworten: 260)

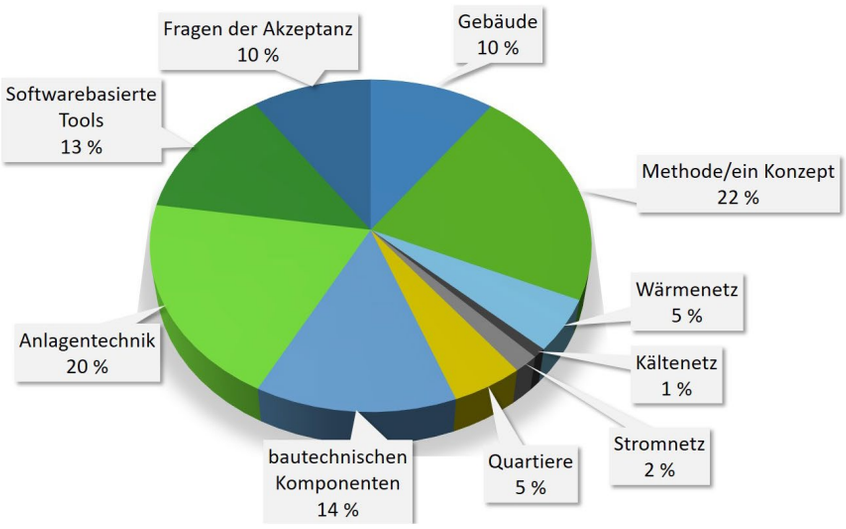


Abbildung 2: Einteilung der Projekte nach Kategorie (Mehrfachauswahl)

Ergänzend werden die Projekte verschiedenen Kategorien zugeordnet (Abbildung 2). Die Projekte können durch die Projektleiter in zehn verschiedene Projektkategorien eingeordnet werden. Hierbei ist eine Mehrfachauswahl möglich. Entsprechend der gewählten Projektkategorien wird der Fragenbogen für das jeweilige Forschungsprojekt zusammengestellt. Über die dargestellte Aufteilung der Projekte hinaus kann zusammenfassend ermittelt werden, welche Projektkategorien innerhalb der einzelnen Förderinitiativen behandelt werden (Abbildung 3). Hierbei zeigt sich, dass in den unterschiedlichen Förderinitiativen grundsätzlich verschiedene Projektschwerpunkte untersucht werden.

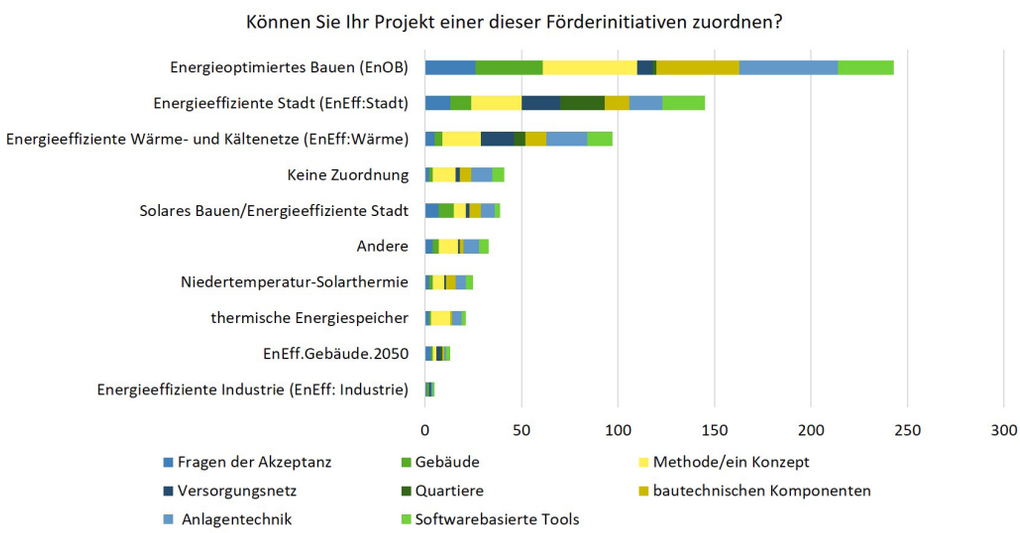


Abbildung 3: Verteilung der Projektkategorien auf die einzelnen Förderinitiativen (Zusammengesetzt)

Im Verlauf des Vortrags geht Prof. Müller auf die ersten, aus der Auswertung verschiedener Verbundprojekte gewonnenen Erkenntnisse zum Thema Sektorenkopplung ein. Hierzu stellt er zunächst die verschiedenen Definitionen des Begriffes, unter anderem seitens der BMWi vor. Im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN wird „Sektorenkopplung“ wie folgt zusammenfassend beschrieben:
Unter dem Begriff der Sektorenkopplung wird die Verknüpfung der Bereiche Strom, Wärme, Gas, Verkehr und Industrie verstanden. Dabei umfasst die Sektorenkopplung sowohl die energetische, als auch eine strukturelle Kopplung des Energiesystems.
Die energetische Kopplung der Sektoren bezeichnet das Wandeln bzw. Überführen einer Energieform (z. B. Strom) in eine andere Energieform (z. B. Wärme) bzw. Energieträger (z. B. synthetisches Erdgas), während die strukturelle Sektorenkopplung die technische Kopplung der verschiedenen Infrastrukturen zum Transport und Verteilung der unterschiedlichen Energieformen bzw. Energieträger beinhaltet.
Der Einsatz von Technologien zur Sektorenkopplung ermöglicht die Flexibilisierung des Energiesystems sowie die Nutzung von sektorenübergreifenden (bzw. energieform- und energieträgerübergreifenden) Synergieeffekten zwischen der erneuerbaren Energieerzeugung und dem Energieverbrauch. Damit dient die Sektorenkopplung der Erhöhung der Integrationsfähigkeit der fluktuierenden Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen und verfolgt die Zielstellung der sektorenübergreifenden Substitution fossiler Energieträger zur Minimierung energiebedingter CO_2-Emissionen bzw. zur Dekarbonisierung des Energiesystems.
Im Rahmen der Tiefenbohrung „Sektorenkopplung“ wurden insgesamt 39 Projekte zu diesem Themenbereich weitergehend untersucht. Hierbei wurden sich folgende thematische Schwerpunkte der Forschungsprojekte identifiziert:

- Speicher
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Tools

Zur nachhaltigen und effizienten Verknüpfung verschiedener Energiesektoren müssen Technologien eingesetzt werden, die eine Kopplung der unterschiedlichen Sektoren ermöglichen. Derzeit besteht jedoch noch eine Vielzahl an Hemmnissen, die dem Einsatz dieser Technologien entgegenstehen. Die wesentlichen Hemmnisse sind u. a.:

- Unterschiedliche Bepreisung von Energieträgern
- Nachteile für dezentrale Energiespeicher
- Mangelnde Verbreitung neuartiger, innovativer Technologien zur Sektorenkopplung
- Regulatorische Rahmenbedingungen
- Forschungsbedarf u. a. im Bereich Vehicle-To-Grid (z. B. Batterieforschung und Standardisierung)

Im Rahmen des 5. Projektleitertreffens ENERGIEWENDEBAUEN in Detmold sollen diese und weitere Aspekte im Rahmen der Workshops mit den teilnehmenden Projektleiterinnen und Projektleitern vertiefend diskutiert werden.

Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller (Konsortialleitung der Wissenschaftlichen Begleitforschung)

Außenansicht der Hochschule Ostwestfalen-Lippe

Innnenhof des sanierten Berufskollegs in Detmold

Impressionen aus dem Plenum während der vorgetragenen Praxisberichte

Praxisbericht I **Sanierung Berufskolleg Detmold zur Plusenergie-Schule**

Vortragende/ Resümee: Prof. Dr.-Ing. Susanne Schwickert und Oliver Glahn, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Institut für Energieforschung

Zusammenfassung

Der Campus des Detmolder Berufskollegs setzt sich zusammen aus vier Schulgebäuden und zwei Turnhallen. Die Sanierung umfasste hierbei drei miteinander verbundene Riegelgebäude inklusive einer Turnhalle, die als Verbindungsbauwerk dient. Die Gebäude sind zwischen 1954 und 1962 abschnittweise errichtet worden und sollten zu einer primärenergetischen Plusenergieschule saniert werden.
Das Gesamtkonzept stammte vom Architekturbüro papeodersemke, das jede Leistungsphase des Projektes betreute und zugleich die Entwicklung und Planung konstruktiver Bauteile unter Berücksichtigung ökologischer Folgewirkungen auf Basis einer Ökobilanz durchführte.
Besondere Planungsschwerpunkte bildeten hierbei der Erhalt bestehender Konstruktionen sowie der Einsatz von ressourcenschonenden Materialien, sodass die Sanierung im Wesentlichen aus folgenden Leistungen bestand:

- Austausch Fenster (U_w= 0,73 W/(m²K))
- Montage vorgefertigter Wandelemente aus Holz und Zellulosedämmung (U= 0,10 W/(m²K))
- Zellulosedämmung oberster Geschossdecken bzw. Dachflächen genutzter Dachräume (U = 0,1 W/(m²K))
- Dämmung und Abdichtung erdberührender Außenwände (U = 0,09 bis 0,15 W/(m²K))
- CO_2-gesteuerte maschinelle Lüftung (20 m³/hPers.; WRG Jahresmittel gemessen: ca. 73 %)
- Außenliegender Sonnenschutz
- Dachintegrierte Photovoltaikmodule (360 kW_{peak} bzw. ca. 267 MWh/a)

Das Monitoring verfolgt das Ziel, die Potentiale von Low-Tech-Maßnahmen in Schulgebäudekonzepten zu analysieren. Es wird untersucht, welche Systeme in Schulen zur Gewährleistung der Behaglichkeitsanforderungen notwendig sind und wie diese durch alternative, ressourcenschonende und wirtschaftliche Low-Tech-Maßnahmen kompensiert werden können. Der Fokus liegt in der Identifikation von Potentialen und Grenzen passiver Maßnahmen in Schulgebäuden. Hierzu sind in den zwei ausgewählten Monitoring-Klassenräumen über 200 Datenpunkte zur Erfassung der thermischen Zustände, der Luftqualität und des Nutzerverhaltens installiert. Neben der Betriebs- und Raumklimaoptimierung umfasst das Monitoring auch die Erstellung eines nachhaltigen Betriebskonzeptes und die Untersuchung des Geschwindigkeitsfeldes der installierten Deckenventilatoren.
Wie das Monitoring belegt, wird das Ziel der primärenergetischen Plus-Energieschule

Prof. Dr.-Ing.
Susanne Schwickert

E-Mail:
susanne.schwickert@hs-owl.de

Tel.: +49 5231 769-6182

Oliver Glahn, M.Eng.

E-Mail:
oliver.glahn@hs-owl.de

Tel.: +49 5231 769-6451

inklusive Nutzerstrom seit der Fertigstellung im Jahr 2016 erfüllt. Die Bilanzierung zeigt hierbei, dass im Vergleich zum Bestandsgebäude der standort- und klimabereinigte Endenergieverbrauch für Wärme um ca. 65 % (gegenüber den Jahren 2012/2013) reduziert werden konnte. Die Betriebsoptimierung durch das Monitoring (Laufzeitanpassung der Heizung, Korrektur hydraulischer Abgleich) konnte hierbei 20 % der thermischen Energie in den Klassenzimmern im Vergleich zum ersten Betriebsjahr reduzieren. Trotz der weitestgehend zurückgebauten und erneuerten Trinkwarmwasserverteilung umfasst die Trinkwarmwassererwärmung ca. 24 % des thermischen Energieverbrauches. Diese sind vorrangig auf die Systemverluste (Leitungs- und Speicherverlusten) zurückzuführen, die ca. 93 % des thermischen Energieverbrauches für Trinkwarmwasser ausmachen.

Als passive Kühlkomponente sind in den zwei Monitoring-Klassenräumen Deckenventilatoren installiert, die bezüglich des Nutzerverhaltens analysiert werden. Auf Basis von CFD-Simulationen sowie temporären Messungen wird zudem die Geschwindigkeitsverteilung im Raum untersucht.

Die Auswertung der Sommer 2016 und Sommer 2018 zeigen, dass die Ventilator-Nutzung mit dem Anstieg der Innenraumtemperatur korreliert, hierbei allerdings stark zwischen den Klassen schwanken kann, wie im Sommer 2016 festzustellen war. Im Sommer 2016 fand im Raum C15 bei Innenraumtemperaturen > 26 °C eine Ventilator-Aktivität von 95 % der Zeit statt. Im Nebenraum (C16) war dies nur zu 40 % der Nutzungszeit der Fall. Im Sommer 2018 war der Unterschied im Nutzerverhalten geringer zwischen den zwei Klassenzimmern (81 % im Raum C15 und 66 % im Raum C16). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich Detmold in der Sommerklimaregion A befindet und in den betrachteten Klassenräumen während der Sommerperiode (Mai bis Oktober) nur wenige Zeitschritte mit Raumtemperaturen > 26 °C identifiziert wurden (1 % bzw. 10 % im Raum C15 im Sommer 2018).

Unter Betrachtung des Stromverbrauches der Deckenventilatoren (0,38 KWh/(m²a) für Sommer 2016) und der potentiellen Korrektur der Komforttemperatur gemäß derzeitiger Normungen (DIN EN 16798, DIN EN 15251, DIN EN ISO 7730), erweist sich die Anwendung von Deckenventilatoren unter den gegeben klimatischen Begebenheiten als eine effiziente Maßnahme der passiven Kühlung.

Im Zuge des noch bis November 2019 laufenden Monitoring-Projektes werden diesbezüglich noch weitere Analysen zur Geschwindigkeitsverteilung durchgeführt, um kritische Planungsrandbedingungen formulieren zu können.

Frau Prof. Dr.-Ing. Susanne Schwickert bei der Präsentation des ersten Praxisberichts

Praxisbericht II **Sanierung des Schul- und Sportzentrums Lohr am Main zur Plus-Energie-Schule mit Schwimmbad und 3-fach Sporthalle mit adaptiver Steuerungstechnik, Speicher- und Energiemanagement**

Vortragender/ Resümee Dipl.-Ing. (FH) Werner Haase, Haase & Bey Architekten PartG mbB
Dipl.-Ing. Jens Kaiser, TU Dresden, Institut für Energietechnik

Das Schul- und Sportzentrum Lohr wurde 1978 in überwiegend Betonbauweise errichtet und bezogen. Es umfasst ein Gymnasium, eine Mittelschule, dazu eine 3-fach Sporthalle, ein Hallenbad und ein Kleinschwimmbecken. Der Bestand verbrauchte vor der Sanierung ca. 5 Mio. kWh/a Gas in einer Kesselanlage mit bis zu 9.000 kW Spitzenlast. Der Strombedarf betrug mehr als 1 Mio. kWh/a; Lüftungsanlagen arbeiteten ohne WRG. Die Bestands-CO_2-Emission beträgt mehr als 1.800 t/a. Die Verbräuche entsprechen ca. 300-350 EFH. Die Verbrauchskosten betrugen 2011 zuletzt 630.000 €/a.

Kenndaten:
BRI Gesamt 123.400 m³ | Schulbereich BRI: 86.500 m³ | Sportbereich 36.900 m³
HNF: ca. 25.000 m²

Ziel der Projektidee:
Energiekosten von 630.000 € auf ca. 100.000 € reduzieren, fossile Brennstoffe weitgehend vermeiden; Stromverbrauch reduzieren bzw. weitgehend PV-Eigenstrom einbinden

Konservative Heizungstechnik mit fossilen Energieträgern ersetzen durch deutliche Reduzierung des Bedarfes durch Wärmedämmung, innovative Heizungstechnik mit hohem Rückgewinnungsgrad aus Abluft und Abwasser, Speichertechniken mit Lastverschiebung Tag/Nacht und 1.250 m³ Wasser/Eisspeicher zur Lastverschiebung Winter/Sommer mit sommerlicher Kühlung aus Eisspeicher. „Energie auf dem eigenen Grundstück gewinnen“

Weiterhin: praktikable Lösungen suchen, passgenaue WP-Technik, Bedienerfreundlichkeit, niedrige Nachfolgekosten bei Wartung und Unterhalt, weitgehende CO_2-Freiheit herstellen.

Investitionskosten werden z. T. aus nachfolgenden niedrigen Energie-, Zins-, Reparaturkosten im Gegensatz zum Bestandsgebäude „gegenfinanziert“.

Dipl.-Ing. (FH)
Werner Haase

E-Mail:
info@haase-bey-architekten.de
Tel.:
09353/9828-0

Dipl.-Ing.
Jens Kaiser

E-Mail:
jens.kaiser@tu-dresden.de

Tel.: +49 351 463 39924

Zeitlicher Ablauf:
Oktober 2009 Startgespräch mit Antragstellung DBU
Ende 2010 Auftragsvergabe Planung
Mai 2013 Baubeginn
Gesamtfertigstellung November 2018, insgesamt 8 Bauabschnitte

Gegenüber der Konzeptplanung wurde die Ausführungsplanung in einigen Bereichen verändert; einzelne Komponenten sind entfallen, sehr konservative Auslegung von Leitungsführungen und Heizflächen; Einzellüftungsgeräte mit WRG in den Klassenzimmern; Sammellüftungsgeräte für innenliegende Räume und Aula; sehr umfangreiche MSR-Technik.
Derzeit ist das Monitoring auch im Bereich der Heizzentrale angelaufen; belastbare Ergebnisse liegen noch nicht umfänglich vor.

Fazit:
Für derart komplexe TGA-Aufgabe ist eine energetische Projektsteuerung empfehlenswert; die Anlagentechnik sollte vereinfacht werden und der MSR-Aufwand weitgehend reduziert sein. Eine textliche Funktionsbeschreibung der geplanten Betriebsweise und des Energiemanagement sollte von Anfang an erstellt werden und für alle Beteiligten verbindlich sein.

Es ist notwendig, im Bereich Niedertemperatur für Schule, Sport und Schwimmbad in Verbindung mit WP, PV und Speicherung vereinfachte Systeme zu entwickeln und zum Standard zu führen.

Vortrag von Dipl.-Ing. Werner Haase

Praxisbericht III **FlexControl – Netzdienliche Betriebsführungsstrategien für eine Energieeffiziente Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden im GHD-Sektor**

Vortragende/ Resümee Dr.-Ing. Peter Engelmann, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr.-Ing.
Peter Engelmann

Tel.: +49 761 4588 5129

Eine wichtige zukünftige Anforderung an Gebäude wird sein, den Betrieb bzw. die Wärme- und Kälteversorgung netzdienlich zu gestalten. Diese Anforderung ergibt sich aus den derzeit stattfindenden drastischen Änderungen im deutschen Energiesystem: der steigende Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien führt zu starken zeitlichen Schwankungen in der Stromproduktion. Durch den Übergang zu einer zunehmend dezentralen Versorgung entstehen lokale bzw. regionale Differenzen zwischen Erzeugung und elektrischer Last, was erhöhte Anforderungen an die Stabilität der Stromnetze stellt. Ein Ansatz, um Differenzen zwischen Stromangebot und -nachfrage auszugleichen, liegt im Demand-Side-Management (DSM) um so den elektrischen Leistungsbedarf variabel gestalten zu können.

Im Rahmen des seit Anfang 2016 laufenden Verbundvorhabens »FlexControl« werden neuartige, praxistaugliche Betriebsführungsstrategien für eine energieeffiziente und netzdienliche Wärme- und Kälteversorgung von Neubau- und Bestandsgebäuden im Gewerbe-/Handels-/Dienstleistungssektor (GHD) entwickelt. Unternehmen im Gewerbe, Handel und Dienstleistungssektor (GHD) weisen im Vergleich zu privaten Haushalten ein hohes technisches Potential für Netzdienlichkeit auf, übernehmen aber - im Gegensatz zur stromintensiven Industrie - noch keine aktive Rolle im Energiesystem. Um die notwendigen Anforderungen der Anlagenbetreiber an den realen Betrieb adäquat zu erfassen, wurde als erster Schritt eine umfassende Umfrage von Gebäude- und Anlagenbetreibern im GHD-Sektor durchgeführt. Diese Umfrage fragt die Transparenz über die eingesetzten Technologien zur Wärme- und Kälteerzeugung ab und untersucht die Bereitschaft und Motivation von Gebäudebetreibern für einen netzdienlichen Anlagenbetrieb bei unterschiedlichen Anreizmodellen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden Regelstrategien für reale Anlagen mit Hilfe von Simulationsmodellen und gekoppelten Optimierungsalgorithmen hinsichtlich eines netzdienlichen Betriebs bestimmt. Aus dem optimalen Systemverhalten werden einfacher anwendbare und daher praxisnähere Regeln mittels Betriebsmustererkennung abgeleitet. Diese Regeln werden einerseits in sogenannten „Hardware in the Loop“ (HiL)-Testständen, aber auch im realen Gebäudebetrieb in Demonstratorgebäuden hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit getestet.

Dr.-Ing. Peter Engelmann während seines Vortrags

Impressionen der Zuhörerschaft während der Praxisbeiträge

Praxisbericht IV **EnOB: KUEHA - Erprobung und Demonstration einer neuartigen Systemlösung zur sommerlichen Raumkühlung unter besonderer Berücksichtigung von Energieeffizienz und Praxistauglichkeit**

Vortragender/ Resümee Dipl.-Ing. Markus Arendt, TU Dresden, Institut für Energietechnik

Quelle: Markus Arendt

Dipl.-Ing.
Markus Arendt

E-Mail:
markus.arendt@
tu-dresden.de

Tel.: +49 351 463 32855

Vor dem Hintergrund zunehmender thermischer Belastungen in Sommermonaten, insbesondere in urbanen Gebieten, ist die Entwicklung eines kostengünstigen und energieeffizienten Systems zur sommerlichen Raumkühlung unter Einbeziehung regenerativer Energiequellen von großer Bedeutung. An dieser Stelle setzt das Projekt „EnOB: KUEHA - Erprobung und Demonstration einer neuartigen Systemlösung zur sommerlichen Raumkühlung unter besonderer Berücksichtigung von Energieeffizienz und Praxistauglichkeit“ an.
Die konkreten Ziele des von TU Dresden koordinierten Projektes zum „KUEhlen mit der vorhandenen HeizungsAnlage“ sind die Untersuchung der Wirkung gekühlter Heizflächen im Raum, weitere Felduntersuchungen sowie die Betrachtung von Vergleichssystemen. Dabei sollen zunächst innerhalb von Pilotversuchen der Nachweis grundsätzlicher physikalischer Effekte (z. B. Kaltluftsee, Kurzschlussströmung im Heizkörper) sowie die Quantifizierung der Größenordnung dieser Effekte und Einflussgrößen erfolgen. Zudem gilt es den Kühleffekt Freier Heizflächen gegenüber verschiedenen Vergleichssystemen abzuschätzen, die nachfolgenden Versuche zu planen und Aufgabenstellungen abzuleiten, welche mit Hilfe der Anlagen- und Gebäudesimulation bearbeitet werden sollen. Aufgrund des begrenzten Zeitraumes und Umfanges der bisherigen Untersuchungen sind die vorliegenden Ergebnisse bislang noch nicht verallgemeinerbar.

Temperaturabsenkungspotential

Um das Temperaturabsenkungspotential zu analysieren, werden zwei benachbarte Räume ähnlicher Lage, Nutzung und Ausstattung eines Bürogebäudes der Ohra Energie GmbH betrachtet. Obwohl die Kühlmitteltemperaturen in den Freien Heizflächen relativ hoch sind (17 °C - 21 °C), konnte eine deutliche Verringerung der Raumtemperatur im gekühlten Raum festgestellten werden. Da sich die Randbedingungen in beiden Räumen stark ähneln, kann die Temperaturdifferenz zwischen beiden Räumen als Wirkung der Kühlung über die Freien Heizflächen dargestellt werden. Des Weiteren existiert eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Untertemperatur der Heizflächen und einer erreichbaren Raumtemperaturabsenkung. Die Abhängigkeit führt zu einem Selbstregelungseffekt. Nimmt die Raumtemperatur ab, sinkt auch die Untertemperatur des Kühlmediums und dadurch auch die Kühlleistung. Durch diese Abhängigkeit besteht die Möglichkeit zur Verbesserung der Thermischen Behaglichkeit vor allem bei hohen Raumtemperaturen.

Heizflächendurchströmung und lokale Behaglichkeitseinflüsse

Bei der Untersuchung der Heizflächendurchströmung wurden Heizkörper mit parallel und seriell durchströmten Platten analysiert. Bei einem Kaltwassereintritt von unten wird ein parallel durchströmter Heizkörper vollflächig gekühlt und eine deutliche Kaltluftströmung erzeugt. Bei einem Kaltwassereintritt von oben und einem zu geringen Volumenstrom liegt eine Kurzschlussströmung vor, die den Heizkörper lediglich teilweise kühlt. Dabei bleibt die Oberfläche überwiegend warm und es entsteht eine geringe Kaltluftströmung. Bei einem Heizkörper mit seriell durchströmten Platten ist der Ort des Kaltwassereintritts nicht relevant. Auch bei einem geringen Volumenstrom kann sich der Kaltwassereintritt oben befinden.
Abschließend werden die Untersuchungen zu lokalen Behaglichkeitseinflüssen vorgestellt. Durch die Kühlung mit Freien Heizflächen bildet sich über dem kompletten Fußboden in den Büros ein Kaltluftsee aus. Dadurch verbessert sich die Kühlwirkung auf alle im Kaltluftsee befindlichen Wärmequellen (PC, Mensch, …).
Das Projekt KUEHA hat eine Laufzeit vom 01.06.2017 bis zum 31.05.2020.

Projektvorstellung „KUEHA“ von Dipl.-Ing. Markus Arendt

Workshop 1: Aktive Systeme, passive Nutzer? - Akteure und ihre Rollen im Reallabor

Verantwortliche: Amely Gundlach, Jan Richarz, Sebastian Remy, RWTH Aachen, E.ON ERC EBC

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen des Workshops „Aktive Systeme – passive Nutzer? Akteure und ihre Rollen im Reallabor“ wurde die Initiierung eines neuen Projektes mit Reallaborcharakter simuliert. Im ersten Teil erarbeiteten die Teilnehmenden in Kleingruppen die Positionen verschiedener Stakeholder, die im Zusammenhang mit einem solchen Projektes auftreten können. In der zweiten Phase wurde das Rollenspiel in Form einer moderierten Diskussion durchgeführt.
Die Simulation verdeutlichte, dass die verschiedenen Akteure sehr unterschiedliche Erwartungen und Themenschwerpunkte hinsichtlich des Projektes hatten. Die gewählte Kombination aus beteiligten Akteuren, Beteiligungsformat und Zeitpunkt der Beteiligung erwies sich als nicht zielführend. Im Rahmen der Diskussion wurden Detailfragen besprochen ohne zuvor eine gemeinsame Vision für das Projekt entwickelt zu haben. Dadurch wurden viele Aspekte gleichzeitig thematisiert und keine Regeln zur Entscheidungsfindung vereinbart. Die Ergebnisse zeigen, dass die Beteiligung unterschiedlicher Stakeholder an einem Projekt einer strukturierten Verfahrensplanung bedarf, bei der Zielgruppe, Zeitpunkt, Format und Entscheidungsregeln sorgfältig aufeinander abgestimmt werden.
Eine weitere Erkenntnis des Workshops ist, dass viele Projektleiter sich unter dem Konzept „Reallabor“, welches eine zentrale Stütze des siebten Energieforschungsprogramm ist, zum gegenwärtigen Zeitpunkt nichts vorstellen können. Den Teilnehmenden war teilweise z. B. nicht klar, wo der Unterschied zwischen Reallaboren und Umsetzungsprojekten liegt.

Einführung in die Thematik

In Reallaboren soll das Zusammenspiel von technischen Innovationen, neuen Geschäftsmodellen und staatlicher Regulierung in Quartieren erprobt werden. Die Planung und Durchführung eines solchen Forschungsprojekts erfordert die Zusammenarbeit zwischen sehr unterschiedlichen Akteuren.
Im Workshop „Aktive Systeme, passive Nutzer?“ wurde die Initiierung eines Reallabors im Rahmen eines Rollenspiels simuliert. Ziel war es, in einem interaktiven Format Ideen zu den Herausforderungen und Herangehensweisen für den Umgang mit unterschiedlichen Interessen und Erwartungen an ein Reallabor auszutauschen.

Protokoll

Um die Vorkenntnisse der insgesamt siebzehn Teilnehmer besser einschätzen zu können und die Kommunikation untereinander zu fördern, beginnt der erste Teil des Workshops mit einer soziometrischen Aufstellung zu drei Fragestellungen zum Projektformat Reallabor. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse. Zu sehen ist, dass der Begriff Reallabor zwei Teilnehmenden seit vielen Jahren bekannt ist, den meisten erst seit Veröffentlichung des 7. Energieforschungsprogramms. Es gibt auch Projektleiter, denen der Begriff gar nicht bekannt ist.
Die zweite und dritte Frage zielt darauf zu erfahren, ob die Teilnehmenden gerne in einem Reallabor wohnen würden und ob sie bereit wären, ihre Kinder in einem Reallabor zur Schule zu schicken. Bei der zweiten Frage positionieren sich alle Teilnehmenden geschlossen in der Mitte; die meisten würden es grundsätzlich nicht ausschließen, in einem solchen Forschungsprojekt zu wohnen, allerdings nur unter bestimmten Bedingungen. Hinsichtlich der Bereitschaft eigene Kinder in einem Reallabor zur Schule zu schicken, ist insgesamt eine Verschiebung hin zur einer größeren Bereitschaft zu erkennen.

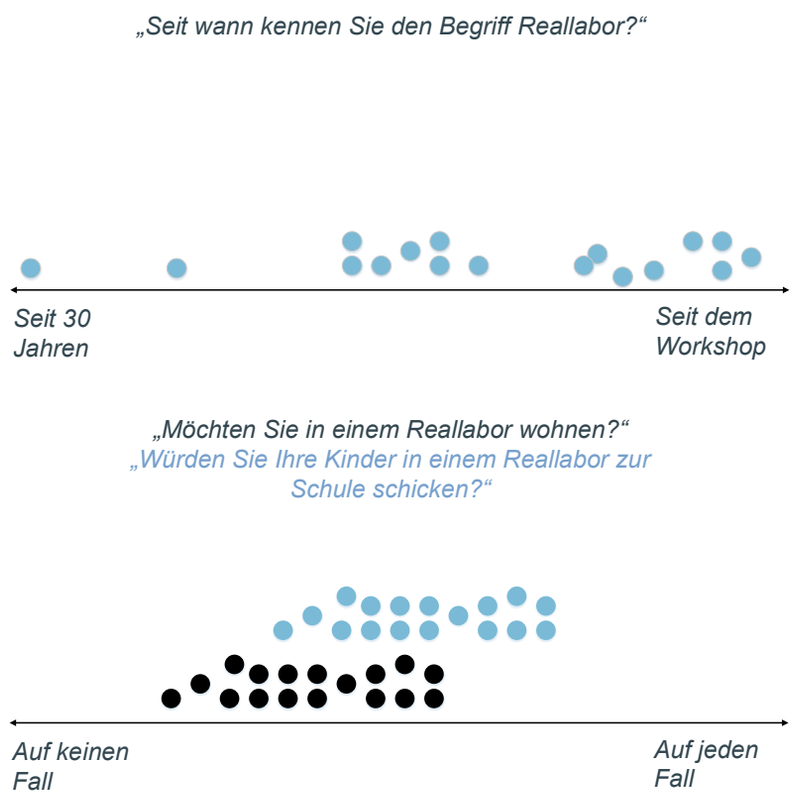


Abbildung 1: Ergebnisse der soziometrischen Aufstellung

Rahmenbedingungen der Simulation

Im Rahmen der Simulation wird die Initiierung eines Reallaborprojektes im Kontext einer Schulsanierung durchgespielt. Im Zentrum des Rollenspiels stehen die sanierungsbedürftigen Gebäude eines Gymnasiums und das angrenzende Quartier. Initiator der Idee, die Sanierung bzw. den Neubau in ein Forschungsprojekt zu integrieren, sind Wissenschaftler von einem Institut für angewandte Energieforschung. Der Direktor der Schule lädt daraufhin unterschiedliche Akteure zu einer offenen Diskussion ein, in der die Fragen „Reallabor- ja oder nein“ und „Abriss oder Sanierung“ geklärt werden sollen. Im Rollenspiel soll das Zusammentreffen von Gruppen mit stark unterschiedlichen Interessen und Hintergrundwissen simuliert werden.
Am ersten Tag des Workshops teilen sich die Teilnehmenden in mehrere Kleingruppen auf. Jede Kleingruppe erarbeitet auf Basis von Leitfragen die Position ihres jeweiligen Stakeholders. Die Gruppe „Wissenschaftler“ erstellt ein Konzept für ein Reallabor, bei dem ein Neubau mit Plusenergiestandard und Nahwärmenetz umgesetzt werden soll. Im Sinne einer umfassenden Quartierslösung werden auch die angrenzenden Wohngebäude einbezogen. Neben den Wissenschaftlern werden drei weitere Rollen besetzt, die nicht unmittelbar von dem Projekt betroffen sind und bei denen ein technisches und energetisches Hintergrundwissen vorausgesetzt werden kann: ein Stadtwerk, ein Planungsbüro und eine Bürgerenergiegenossenschaft. Rollen mit direkter Betroffenheit und geringerem technischen Hintergrundwissen sind ein Vertreter einer Anwohnerinitiative und der Elternvertretung, der Schulträger sowie Schüler der Arbeitsgruppe „Nachhaltigkeit“. Details zur Rollenentwicklung durch die Teilnehmenden können den angehängten Ergebnisplakaten entnommen werden.

Simulation

Die Diskussion wird vom Schuldirektor moderiert. Die Rolle wird von der Workshop-Leitung übernommen und es wird darauf geachtet, dass der Rektor die Diskussion nicht objektiv leitet, sondern eigene Interessen verfolgt. Für die anderen Stakeholder übernimmt jeweils ein Gruppenmitglied die Teilnahme am Rollenspiel, während die restlichen Anwesenden als Beobachter fungieren.
Das Rollenspiel beginnt mit einer Begrüßung und Vorstellung der Diskussionsteilnehmer durch den Rektor. Nach einer kurzen Beschreibung der Schule übergibt dieser an den anwesenden Wissenschaftler, der das erarbeitete Konzept für das Reallabor vorstellt. Hierbei soll der Großteil der Bestandsgebäude durch Neubauten mit Plusenergiestandard ersetzt werden. Die Energieversorgung soll vorrangig auf dem Einsatz von erneuerbaren Energien und Speichertechnologien basieren, wobei über ein neu zu installierendes Nahwärmenetz das gesamte umliegende Quartier versorgt werden soll. Im Rahmen des Forschungsprojektes ist ein aufwendiges Monitoring vorgesehen, sowohl in der Schule als auch in den umliegenden Wohnhäusern. Dies soll relevante Informationen über das Nutzerverhalten generieren. Bei der Steuerung und Regelung der Anlagen sollen mithilfe der erhobenen Messdaten kontinuierliche Optimierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des geplanten Projektes sollen sowohl die Errichtung als auch die Nutzungsphase berücksichtigt werden. Um den Lehrbetrieb sicherstellen zu können, soll das Bauprojekt in unterschiedlichen Phasen erfolgen sowie

die Installation von provisorischen Containern in Erwägung gezogen werden.
Auf die Frage seitens der Schulleitung, ob die vorgestellte Projektidee überhaupt durchführbar sei, antwortet der Planer, vor der Konzeptionierung müsse erst einmal in einer Leistungsphase 0 die Situation ausführlich analysiert werden. Grundsätzlich soll seiner Meinung nach allerdings eine Sanierung einem kompletten Neubau vorgezogen werden, da sich die Situation der Zuschüsse im Sanierungsfall deutlich besser gestalte und insbesondere die anfallenden Kosten für den Abriss nicht bezuschusst würden. Außerdem würden die Lehrräume in Neubauten deutlich kleiner ausfallen, was von den anwesenden Schülern kritisch aufgenommen wird.
Von Seiten des Schulträgers wird hinzugefügt, dass man sich bewusst sei, dass an der Schule dringender Handlungsbedarf bestehe. Grundsätzlich ziehe man mit Blick auf die Fortführung eines reibungslosen Schulbetriebs ein Neubau-Szenario vor. Man sei zwar bereit an innovativen Konzepten mitzuwirken, diese müssten jedoch in einem zulässigen rechtlichen Rahmen ablaufen. Wichtig sei in jedem Fall, dass ein zuverlässiger Betrieb sichergestellt werde und es nicht zu unerwarteten Kostensteigerungen komme.
Die Elternvertretung präferiert ebenfalls die Variante Neubau. Gesundheitliche Belastungen durch Asbest und Schimmelbefall seien Grund zur Sorge. Eine Lösung, bei der langfristig Container notwendig seien, sei allerdings schwer vorstellbar. Im Hinblick auf die Idee eines Reallabors wird hervorgehoben, dass die Kinder in keinem Fall „Versuchskaninchen“ sein dürften. Der Vertreter der Anwohnerinitiative hält eine energetische Quartierslösung zwar für denkbar, allerdings müssten sämtliche Umbaumaßnahmen im Hinblick auf akzeptable Lärmbelästigungen geprüft werden.
Nach einem Vorschlag seitens des Bürgerenergiegenossenschaft möglichst viel Dachfläche für Photovoltaik zu nutzen und Lehrer, Eltern und Schüler zum Mitmachen in der Genossenschaft zu gewinnen, stellt der Sprecher der Stadtwerke das innovative Konzept grundsätzlich in Frage und warnt davor, dass die Versorgungssicherheit nicht ausreichend sichergestellt werden könne. Insbesondere der zuverlässige Betrieb über das Forschungsprojekt hinaus müsse gewährleistet werden; die Stadtwerke würden hierfür keine Haftung übernehmen. Auf den Vorschlag des Wissenschaftlers, dass dies im besten Fall ein externer Partner erledigen könnte, wird von Seiten des Schulträgers darauf hingewiesen, dass die Einstellung von zusätzlichem Personal für die Instandhaltung von Anlagentechnik, die deutlich komplexer wäre als der bisherige Öl-Kessel, nicht bezahlbar sei. Hierzu wird vom Planungsbüro eingeworfen, dass es seitens der Stadt schon lange gewünscht sei, für die öffentlichen Gebäude einen zentralen Energiemanager einzustellen, aber insbesondere die Stadtwerke hierbei aktiv gegenwirken würden.
In der Folge kommt die Schulleitung noch einmal auf das Monitoringkonzept und die zugehörige Datenerhebung zu sprechen. Dieser Aspekt ist auch dem Schulamt besonders wichtig. Im Hinblick auf Datenschutzaspekte müssten sämtliche gesetzlichen Vorgaben erfüllt werden. Das vorgestellte Monitoring-Vorhaben führe zu einem „mulmigen Gefühl“. Diese Befürchtung wird seitens der Forscher entkräftet, da lediglich eine geringe Zahl der Lehrräume vermessen werden müsse und die Daten selbstverständlich anonymisiert würden. Von Seiten der anwesenden Schüler wird die Datenschutz-Problematik eher nachrangig eingeordnet, da man sowieso alle Informationen in sozialen Medien teile.
Im Kontext der Quartiersstrategie wird von den Anwohnern der Wunsch nach Ruhe

deutlich gemacht. Mit dem Gedanken an ein Reallabor könne man sich nicht anfreunden. Generell sehe man keinen Handlungsbedarf, da die aktuellen Heizungssysteme funktionieren würden und man die eigene Unabhängigkeit behalten wolle. Diese Haltung kann auch das Argument der Wissenschaftler nicht entkräften, dass durch die jährlichen Einsparungen und Zuschüsse eine Amortisationsdauer von 10 Jahren zu erreichen sei. Im Hinblick auf die Langlebigkeit der Anlage und die Unabhängigkeit von Energiepreisen sei das Quartierskonzept auch aus wirtschaftlicher Sicht äußerst vorteilhaft.
Neben der Verbesserung des Energieverbrauchs ist es der Schulleitung wichtig, die Außendarstellung der Schule zu verbessern und eine „nachhaltige Vorzeigeschule“ zu werden. In diesem Kontext weisen die Schüler noch einmal darauf hin, dass die Anschaffung neuer Lehrmittel, insbesondere von Tablets, äußerst wichtig sei und zeitnah erfolgen müsse.
Da sich in der Diskussion keine gemeinsame Position hinsichtlich der zu klärenden Fragen abzeichnet, wird abschließend ein Brainstorming durchgeführt, um eine gemeinsame Vision für die Schule zu entwickeln. Alle anwesenden Stakeholder werden aufgefordert, jeweils in einem Wort zusammenzufassen, was für sie bei dem Projekt das wichtigste Ziel sei. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

- Aufrechterhaltung Lehrbetrieb
- Grüne Schule
- Neue Lernkonzepte
- Integrale Planung
- Quartiersgedanke
- Pädagogische Einbindung
- Versorgungssicherheit
- Anwohnereinbindung
- Kostenneutralität

Nachbesprechung

Nach dem Rollenspiel werden zuerst die Beobachter gebeten zu beschreiben, was sie gesehen haben. Drei Beobachter erwähnen, dass die Diskussion sehr „gesittet“ und wenig konfrontativ abgelaufen sei. Weiterhin wird beschrieben, dass mehrere Themen nebeneinander diskutiert worden sein. Im Anschluss werden die Teilnehmer des Rollenspiels aufgefordert, aus ihrer Rolle heraus zu beschreiben, wie sie die Diskussion erlebt haben. Mit Ausnahme der Vertreter der AG Nachhaltigkeit hatten alle Parteien das Gefühl, dass ihre Position gehört worden sei. Die Schüler sind nicht zufrieden damit, wie mit ihren Vorschlägen und Beiträgen umgegangen worden ist. Die meisten „Stakeholder“ erwähnen außerdem, dass kein Entschluss für die zukünftige Vorgehensweise getroffen worden sei und das weitere Vorgehen unklar bleibe.
Um eine persönliche Einschätzung gebeten, vermuten mehrere Workshop-Teilnehmer, dass eine vergleichbare Diskussion in der Realität konfrontativer ablaufen würde und die Stakeholder weniger gut vorbereit wären. Viele sind der Meinung, dass zu viele unterschiedliche Stakeholder an der Diskussion beteiligt waren und hierdurch zu viele Themen nebeneinander liefen. Insbesondere die Vermischung von energetischen und pädagogischen Konzepten wird als Problem benannt. Eine Teilnehmerin äußert, dass

sie einer sehr frühen Beteiligung vieler verschiedener Stakeholder nach dem Rollenspiel kritischer gegenüberstehe als vorher.
Hinsichtlich des Workshop-Formats werden folgende Aspekte geäußert: Viele der Anwesenden finden es interessant, sich in eine andere Rolle hineinzuversetzen. Gleichzeitig wird mehrfach die Befürchtung geäußert, dass die Simulation nicht realitätsnah sei. Es wird betont, dass eine gute Kommunikation zwischen vielen Beteiligten wichtig für die erfolgreiche Durchführung von Umsetzungsvorhaben sei. Hierbei könnten Rollenspiele hilfreich sein, um sich zum einen in anderen Beteiligte hineinzuversetzen und zum anderen damit umzugehen, dass man trotz guter Vorbereitung mit unerwarteten Situationen und Positionen konfrontiert werden kann. Von einem der Teilnehmenden wird hervorgehoben, dass das Konzept des Reallabors eine zentrale Rolle in der Akzeptanzforschung einnehmen könnte, da es dabei helfen könne, den Dialog zwischen unterschiedlichen Akteure zu fördern. Gleichzeitig betonen viele Teilnehmenden, dass ihnen unklar sei, was ein Reallabor ist. Bei der Suche nach den wesentlichen Unterschieden zu einem normalen Umsetzungsprojekt wird unter anderem die Anzahl der beteiligten Stakeholder vorgeschlagen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Ergebnis hat die Simulation gezeigt, dass unterschiedliche Stakeholder nicht nur verschiedene Positionen zu gegebenen Themen vertreten, sondern insbesondere sehr unterschiedliche Themen in die Diskussion einbringen. Darüber hinaus verdeutlichte das Rollenspiel, dass die gewählte Kombination aus Beteiligungsformat, beteiligten Akteuren und Zeitpunkt der Beteiligung ungeeignet ist. Die Einladung vieler unterschiedlicher Stakeholder zu einem Zeitpunkt, an dem die Handlungsspielräume noch unklar sind, außerdem im Rahmen einer Diskussion konkrete Fragen diskutiert werden, ohne dass transparente Entscheidungsmechanismen bestehen, erwies sich als wenig zielführend. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass die Beteiligung vieler Akteure an einem Projekt einer strukturierten Verfahrensplanung bedarf. Zielgruppe, Zeitpunkt, Format und Entscheidungsregeln müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt werden.

Bürger Energiegenossenschaft

1. Kaufmännisch orientierter Vertreter:
   → konsensorientiert
   → wirtschaftliche Vorteile für Stakeholder darstellen
2. Bzgl. Reallabor:
   Ein weiteres Projekt; Hoffnung, dass Stakeholder für Innovatives aufgeschlossen sind
   Initiierungstreffen: *Frage*: Wie viele Stakeholder wohnen im Quartier an der Schule?
   Ziel: Akzeptanz für Idee erreichen!
3. Geschäftsmodell etablieren:
   → I. Fläche von Schule – Strom wird unabhängig vermarktet
   II. Schule hat Investment und Infrastruktur – Genossenschaft nimmt Spitzenstrom & sichert Strom bei Unterdeckung
   III. Reallaborbed.: Infrastruktur von Genossenschaftsstrom wird an Genossen im Quartier verkauft
4. Stakeholder:
   Schüler, Anwohner, Behörden, Lehrer, Schulträger
5. Siehe 3.

Schul-AG Nachhaltigkeit
Theodor-Heuss-Gymnasium (MINT-Schule)

Marius, Anette, Beatrice, Simon, Vanessa, Richard

→ Neubau oder Sanierung? → Hauptsache nachwachsende, langlebige Rohstoffe

→ Energieversorgung? → Hauptsache Grün

→ Reallabor?
Ja, aber: → Inhalte in „Projekten" erlernen – Integration in Lernplan

→ Nachhaltigkeit in Schulalltag leben (-> AG)

→ Finanzielle / soziale Belohnung

→ Unser Interesse: → Wir wollen mitreden / Wir wollen aktiv werden

→ Themen: Ökologische Baustoffe, Lehrgarten, Verhalten, Abfall, Wasser, Energie

Elternvertretung

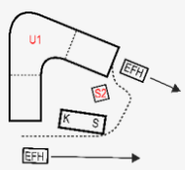
- Pro Quartier:
- Druckmittel: Politik
- Pro Neubau:
- Kinder:
- Pädagogisches Konzept:

Asbest, Schimmel
Lärm?
Kalkulierbar, wenig Risiko
Keine Versuchskaninchen
Reallabor: Einfluss Gesundheit Kinder
welche Regelungen werden außer Kraft gesetzt

Anwohner

- Kein Dreck, Lärm, Erschütterung
- Wünschen sich Schutz vor Baustelle, Asbest
- Lärmschutz von Sportanlagen
- Verkehrslösung für Hol- und Bringverkehr
- Kein Reallabor, kein „rechtsfreier Raum"
- Keine Quartierslösung -> autark bleiben
- Anwohner will gehört werden!
  + hat nichts davon
- „Wollen Sie Sich morgen in der Zeitung lesen?"

Wissenschaftler



Konzept:
- Neubau statt Sanierung:
  - Erhalt S2
  - Entkernen U1
- Plusenergieschule / -siedlung:
  - PV / Solarthermie
  - Speicher (Wärme / Strom) zentral
  - Erdwärmegewinnung / -speicherung
  - Wärmepumpe (Wärme / Kühlung)
  - Kühlung
  - Fußbodenheizung (Wärme / Kühlung)
- Nahwärmenetze / -stromnetz

Forschungsfragen:
- Nutzerverhalten Schule + EFH in Energiekonzept integrieren (Monitoring)
- Steuerung + Regelung - Einstellungsvarianten
- Zuschüsse für EFH
- Entwicklung der Schülerzahlen

Schulbetrieb während Umbau
- U1 vorziehen
- Zwischennutzung S2
- Container
- Digitales Lernen

→ **Wirtschaftlichkeit Bau und Nutzung muss gegeben sein**

Workshop Simulation - Gruppenarbeitsphase

Workshop 2: Bilanzräume, Systemgrenzen und Informationsaustauschanforderungen in Reallaboren

Verantwortlich: Prof.- Dr.-Ing. habil. Christoph van Treeck, RWTH Aachen, E3D

Einführung

Mit der Einführung von Reallaboren stellt sich für das Zusammenspiel vernetzter Energiequellen und -senken die Frage, wie Bilanzräume (Bereich, Gebäude, Quartier, Region) und Systemgrenzen (Nutzer, Raum, Gebäude, Anlage, Liegenschaft, Nahwärmenetz, Fernwärmenetz, Verteilnetz, Übertragungsnetz, Erzeuger) zu definieren sind. Welche Anforderungen ergeben sich an den Informationsaustausch in der Planung, welche an den Betrieb? An welchen Schnittstellen müssen Verflechtungen in einem urbanen Energiesystem abgebildet werden, wie im Zusammenspiel mit übergeordneten Energiesystemen und wie im nationalen und grenzübergreifenden Energiesystem? Im Workshop soll erarbeitet werden, welche Fragen für das Umfeld „Energie in Gebäuden und Quartieren“ offen sind und einer Klärung bedürfen.

1. Teil

In dem ersten Teil des Workshops „Bilanzräume, Systemgrenzen und Informationsaustauschanforderungen in Reallaboren“ wurde diskutiert, wie Systemgrenzen festgelegt werden könnten, um verschiedene Anforderungen zu erfüllen. Unterschiedliche Anforderungen resultieren aus dem Nutzen, den die Systemgrenze erbringen soll bzw. den systemtechnischen Gegebenheiten. Aus Sicht von Softwareherstellern ist es notwendig, dass die Systemgrenze Informationen über die Art der Daten und deren Herkunft liefert und selber preisgibt, was das System als solches darstellt. Hier wäre die Systemgrenze einer Grenze im Sinn eines Datenlieferungsprozesses gleichzusetzen.
Ein weiterer Aspekt der Systemgrenze ist die Regelung und Steuerung. Je unpräziser die Systemgrenze definiert ist, desto schwieriger gestaltet sich eine ergiebige Kommunikation mit dem System.
Reallabore stellen in gewisser Weise ebenfalls Systemgrenzen dar. Da diese jedoch in verschiedenen Skalierungen vorliegen können ist hier eine allgemeingültige Definition einer Systemgrenze ebenfalls nicht eindeutig. Die Ausprägung eines Reallabors kann von einzelnen Wohngebäuden über verteilte, aber nicht zusammenhängende Wohngebäude bis hin zu Quartieren reichen. In jedem Fall muss eine Vergleichbarkeit von Reallaboren untereinander mittels entsprechender Indikatoren erreicht werden, was für ihre Schnittstellen bedeutet, dass diese wohl definiert sein müssen.
Auf Basis dieser Diskussionspunkte wurden die Teilnehmer gebeten Vergleichsparameter für Reallabore zusammengetragen, welche zweckdienlich an den Systemgrenzen abgefragt werden können. Es wurden dabei die folgenden Parameter gewonnen: Autarkiegrad/Eigenversorgungsgrad, Volatilität, CO_2, Pro-X-Verbrauch (Kopf, äquivalente Grundfläche, etc.), Sanierung und Flexibilität (im Sinne eines Maßes der Reaktion eines Reallabors auf äußere Einflüsse).

Es stellte sich hierbei heraus, dass die Variabilität der Informationsanforderungen direkt an die Fragestellung gebunden ist, die das Reallabor beantworten können soll. Auf Basis dieser verschiedenen Auffassungen wurden die Teilnehmer gebeten, drei Kernkategorien in Form der folgenden Fragen zu definieren:

1. Welche Bilanzierungsgrößen sollten ermittelt werden?
2. Was ist eine Systemgrenze bzw. ein Bilanzraum?
3. Was ist ein Reallabor?

Es konnte auch hierbei festgestellt werden, dass die Bilanzierungsgrößen von dem Ziel, also der Perspektive des Betrachters abhängen. Die Problematik der notwendigen Vergleichbarkeit dieser Größen blieb weiterhin bestehen, so dass als Ergebnis konkretisiert wurde, dass die Referenzgrößen robust sein müssen. Dies kann nur durch einen Relativbezug erreicht werden, welcher beispielsweise in Form der Bezugsgrößen „pro Kopf“ oder „pro m²“ erzielt werden kann.

2. Teil

In dem zweiten Teil des Workshops wurde die Leitfrage diskutiert, welche Akteure hinsichtlich ihrer Interessen in einem gesamtheitlichen Zusammenspiel voneinander abgegrenzt werden müssen. Dabei wurde zwischen Rollen und Entitäten unterschieden, wobei letztere als physikalische Einheiten verstanden werden. Es wurden dabei folgende akteurspezifische Rollen herausgebildet:

- Erzeuger
- Netzbetreiber
- Lieferanten
- Mobilität
- Regulatoren
- Dienstleister
- Investoren
- Nutzer

Anhand dieser Kategorien wurde schlussgefolgert, dass aus statischer Sicht erhebliche Überlappungen zwischen den Akteuren vorliegen können. Es wurden daraufhin mehrere Ursachen identifiziert.

Zum einen erzeugt eine „eindimensionale“, statische Sichtweise auf die Akteure den Eindruck, dass diese in jeder Phase verschiedenen Kategorien zugeordnet werden könnten. Wird jedoch die Zeit mit in den Kontext des Gesamtgeschehens aufgenommen, so besitzen die verschiedenen Akteure nicht mehr den gleichen Aktionszeitraum. Die Grenzen können durch die Betrachtung der Zeit also differenzierter gezogen werden.

Zum anderen ist neben der zeitlichen Ereignisabfolge verschiedener Phasen auch der Raum entscheidend für eine deutliche Differenzierung. Akteure, die räumlich, zeitlich und funktional voneinander getrennt werden können, bieten dadurch einen differenzierten und klaren Überblick aus der Perspektive ihrer Handlungen.

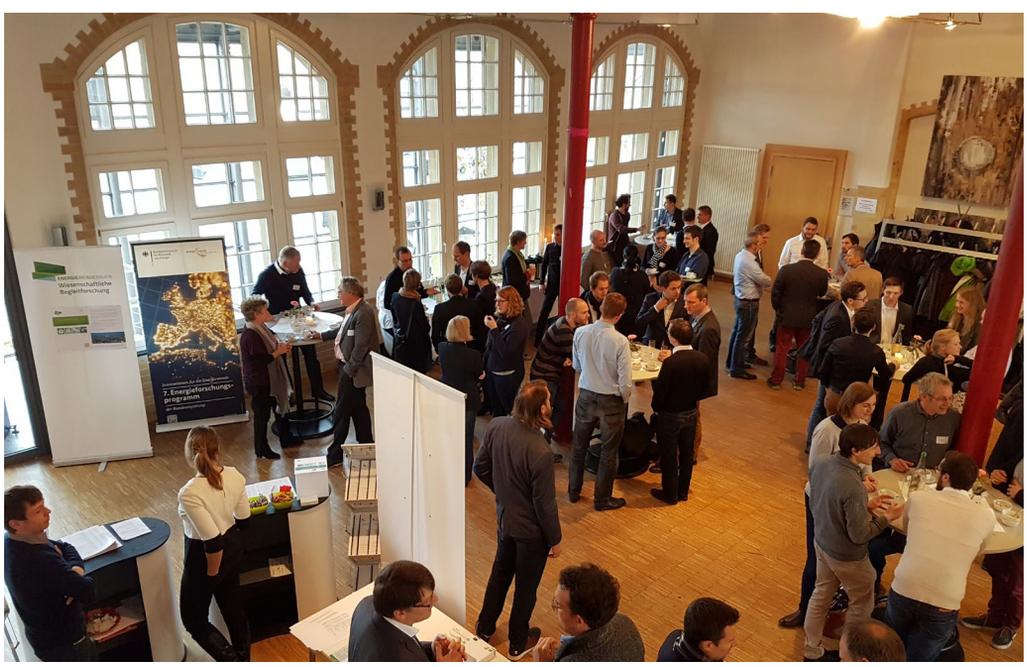
Die letztlich offenstehende Frage blieb jedoch bestehen, wie die Systemgrenzen vereint oder überlagert werden können und ob diese Möglichkeit überhaupt besteht. Aus technischer Sicht gestaltet sich diese Aufgabe problematisch, sofern alle Interessensgruppen eingebettet werden müssen. Ein Lösungspfad für diese Problemstellung könnte

die Einführung einer Metaebene darstellen, welche über indirekt messbare Parameter kommuniziert.

Einblick in die Arbeit des Workshops Bilanzräume, Systemgrenzen und Informationsaustausch in Reallaboren

Außenansicht Felix-Fechenbach-Berufskolleg

Gebäude des Veranstaltungsorts an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe



Impressionen aus dem PL-Treffen während der Pausenzeiten

Workshop 3: Kälteversorgungseinrichtungen als Element des Demand-Side-Managements (DSM) im Bereich der Sektorenkopplung

Verantwortliche: Samir Kharboutli, Sebastian Flemming, Fraunhofer IOSB-AST

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen des Workshops „Kälteversorgungseinrichtungen als Element des Demand-Side-Managements im Bereich der Sektorenkopplung“ wurden die verschiedenen technischen Konzepte zur Kühlung bzw. Klimatisierung von Objekten zusammengetragen, Differenzierungsansätze diskutiert und Erfahrungen ausgetauscht. Hierbei wurde deutlich, dass eine Einteilung der Ansätze in aktive und passive Konzepte äußerst umstritten ist und weitere Charakterisierungen benötigt werden. Erste Vorschläge wurden von den Workshop-Teilnehmern zusammengetragen und ausführlich diskutiert. Für das breite Feld der Kälteversorgungseinrichtungen wurden Potenziale und Grenzen identifiziert sowie die Nutzbarkeit sowie Vor- und Nachteile einer Nutzung innerhalb des Demand-Side-Managements diskutiert. Hierbei wurden auch die Anforderungen an weitere Komponenten sowie zukünftige Herausforderungen thematisiert und offene Forschungsfragen zusammengetragen, die in zukünftigen Forschungsvorhaben und -förderungen angegangen werden sollen.

Einführung in die Thematik

Unter der Überschrift und thematischen Ausrichtung des 5. Projektleitertreffens ENERGIEWENDEBAUEN „Kälte und Kühlung – aktive und passive Konzepte“ ordnet sich der Workshop „Kälteversorgungseinrichtungen als Element des Demand-Side-Managements im Bereich der Sektorenkopplung“ ein. Im Kontext der Energiewende und der zur Umsetzung diskutierten Notwendigkeit der Flexibilisierung des Energiesystems können Kühlungs- und Klimatisierungseinrichtungen einen wichtigen Betrag leisten. Der Zubau von dezentralen, erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen im angestrebten Umfang hat tiefgreifende Auswirkungen auf das Energiesystem. Aus der kontinuierlichen Zunahme der zeitlichen und räumlichen Fluktuation auf Seiten der erneuerbaren Energiebereitstellung ergibt sich eine zunehmende Diskrepanz zwischen dem Energieverbrauch und der -erzeugung. Eine Möglichkeit diesen Unterschied auszugleichen bieten Energiespeicher. Allerdings ist speziell die Ein- und Ausspeicherung elektrischer Energie aufwendig und derzeit nur in wenigen Anwendungsfällen wirtschaftlich darstellbar. Eine weitere Option den Energiebedarf an die wetterabhängige EE-Erzeugung, insbesondere von Windkraft- und PV-Anlagen anzupassen, stellt die sektorenübergreifende Nutzung dieses EE-Stroms dar. Dadurch können auch in anderen Energiesektoren fossile Energieträger substituiert und zugehörige CO_2-Emissionen vermieden werden. Darüber hinaus kann die cross-sektorale EE-Stromnutzung einen Beitrag leisten das Energiesystem zu flexibilisieren und damit die auszubauende

Integration von Erneuerbaren Energien Anlagen in das System unterstützen.
Der im Rahmen des Workshops „Kälteversorgungseinrichtungen als Element des Demand-Side-Managements im Bereich der Sektorenkopplung“ näher betrachtete Energiesektor ist der Wärmesektor, zu dem ebenfalls der Bereich der „Kälte“ zählt. Der Endenergieverbrauch zur Kältebereitstellung im Jahr 2016 betrug laut der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie veröffentlichten Gesamtenergiedaten 205 PJ und entspricht ca. 57 TWh.
Im Workshop werden die verschiedenen Varianten und Möglichkeiten der Kältebereitstellung besprochen und die Unterscheidung aktiver und passiver technischer Konzepte diskutiert. Dabei werden ebenfalls Konzepte zur gekoppelten Wärme- und Kältebereitstellung besprochen, Anwendungsfälle zusammengetragen und diskutiert welchen Betrag die unterschiedlichen Konzepte für ein Demand-Side-Management leisten können.

Protokoll

Samir Kharboutli und Sebastian Flemming begrüßen die Anwesenden und starten den Workshop mit einer Vorstellungrunde, in der die Teilnehmer sich und ihre Vorhaben aus der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN kurz vorstellen. Hierbei werden zusätzlich die bisherigen Erfahrungen mit der Thematik der Kälteversorgungseinrichtungen sowie die Erwartungen an den Workshop thematisiert.

Unterscheidung und Charakterisierung unterschiedlicher Kühlungskonzepte

Zunächst wird ein Impulsvortrag durch die Workshop-Leitung bezüglich verschiedener technischer Möglichkeiten zur Kühlung und Klimatisierung gehalten. Hierbei wurde eine Auswahl an gängigen Konzepten zur aktiven und passiven Kühlungen getroffen und die grundsätzliche Funktionsweise vorgestellt. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die verschiedenen, vorgestellten Konzepte und ordnet diese in „aktive“ und „passive“ Konzepte ein. Dabei erhebt die Abbildung keinen Anspruch auf Vollständigkeit und diente als Impuls für eine Diskussion über verschiedene Kühlungs- und Klimatisierungskonzepte sowie deren Einteilung.

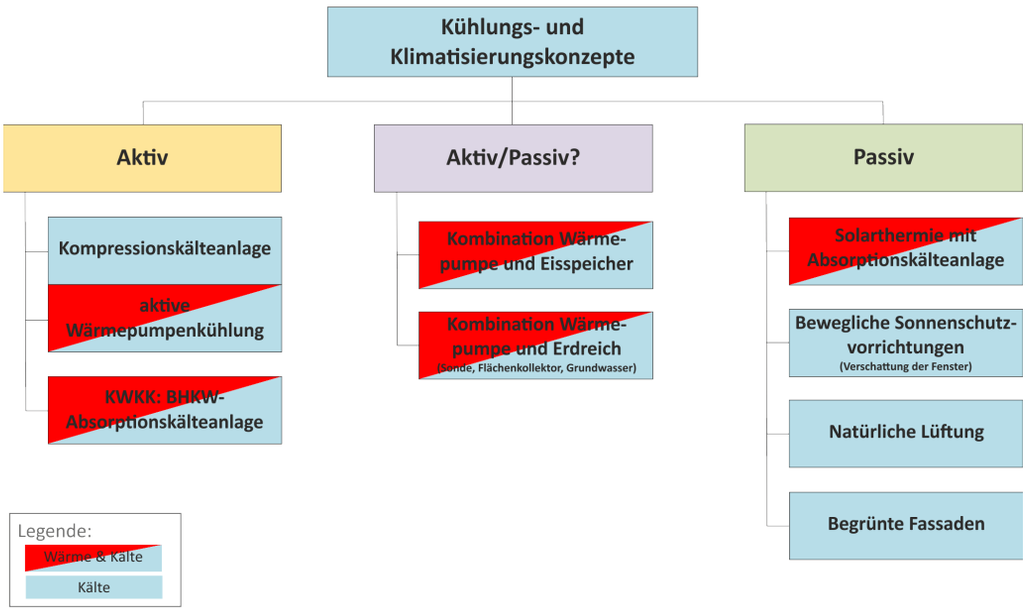


Abbildung 1: Gängige Kühlungs- und Klimatisierungskonzepte

Die mit Abstand am weitesten verbreitete technische Variante zur Bereitstellung von Kälte stellt die Kompressionskälteanlage (KKM) dar. Kompressionskälteanlagen erzeugen Kälte (bzw. entziehen Wärme) unter Einsatz elektrischer Energie. Die bekannteste technische Einrichtung im Haushalt ist der Kühlschrank. Ein weiterer wichtiger Bereich ist die Klimatisierung von Gebäude und Serverräumen. Aber auch im gewerblichen und industriellen Umfeld besteht ein erheblicher Bedarf an Kälte und reicht von der Haltbarmachung von Lebensmitteln und Sicherstellung der Kühlkette in der Lebensmittelindustrie bis in die Chemie- und Pharma-Industrie zur Prozesskühlung und Lagerung bestimmter Rohstoffe, Halbfabrikate und Endprodukte.
Derzeit wird die benötigte Kälte überwiegend bedarfsgerecht bereitgestellt, d. h. die Kompressionskälteanlage schaltet bei bestehendem Kältebedarf ein und nach bedienen des Bedarfs wieder aus. Aufgrund der Trägheit von thermischen Systemen werden die Anlagen häufig mittels 2-Punkt-Regelung gesteuert. Dies bedeutet, dass die Kompressionskälteanlage beim Erreichen eines oberen Temperaturgrenzwertes sich ein- und nach Erreichen des unteren Temperaturgrenzwertes ausschaltet. Zur Flexibilisierung des Energiebedarfs für die Kältebereitstellung könnte das Temperaturfenster zum Ein- und Ausschalten der Kompressionskälteanlage vergrößert und dadurch der Energiebedarf für die Kältebereitstellung zeitlich flexibilisiert werden. Inwieweit dies möglich ist, ist von dem Prozess abhängig, der den Kältebedarf verursacht. Eine weitere Möglichkeit den Energiebedarf zur Deckung des Kältebedarfs zu flexibilisieren stellt die Einbringung eines zusätzlichen thermischen Energiespeichers (Kältespeicher) dar. In Abhängigkeit der Größe bzw. der Kapazität des Speichers könnte hiermit der Kältebedarf von der Kältebereitstellung entkoppelt werden. Beide Varianten bieten somit die Möglichkeit, in einem gewissen Rahmen das Energiesystem zu flexibilisieren und die Kältebereitstellung an das zeitlich und räumlich fluktuierende Dargebot elektrischer Energie aus Erneuerbaren Quellen anzupassen.

Nach Auffassung der Workshop-Teilnehmer ist aufgrund der hohen gesetzlichen Anforderung an den Wärmeschutz von Gebäuden für die Zukunft zu erwarten, dass sich der Energiebedarf zur Raumwärmebereitstellung in der Heizperiode rückläufig darstellt, während der Kältebedarf zur Gebäudeklimatisierung außerhalb der Heizperiode aufgrund anhaltender Elektrifizierung (Abwärme elektrischer Geräte) zunehmen wird.
Neben dem am weitesten verbreiteten technischen Konzept der Kältebereitstellung mittels Kompressionskälteanlagen existieren weitere technische Möglichkeiten für die Bereitstellung von Kälte wie Absorptionskälteanlagen und Adsorptionskälteanlagen. Innerhalb des Workshops wird hierbei die Unterscheidung aktiver und passiver Varianten kritisch hinterfragt und in einer angeregten Diskussion mit den Workshop-Teilnehmern diese und weitere Charakterisierungs- und Unterscheidungsmöglichkeiten der Konzepte besprochen.

Passive Kühlung
Passive Kühlungskonzepte sind dadurch gekennzeichnet, dass der Energiebedarf nur für den Hilfsenergieeinsatz für z. B. Antriebe (Rollos, Pumpen, etc.) verursacht wird. Mit einer passiven Kühlung ist das Erreichen und Halten einer vorgegebenen Soll-Temperatur nur unter bestimmten Randbedingungen möglich, dies kann allerdings nicht sichergestellt werden. Somit sind passive Kühlungskonzepte nicht für temperaturkritische Prozesse geeignet. Allerdings kann eine passive Kühlung in Verbindung mit einer aktiven Kühlung einen signifikanten Beitrag leisten den Energiebedarf für eine aktive Kühlung zu reduzieren. Aufgrund der Minderung der Aufheizung der Räumlichkeiten, im Vergleich zu Gebäuden ohne Kühlung bzw. Klimatisierung können mit Konzepten zur passiven Kühlung die Behaglichkeit von Räumlichkeiten und Gebäuden verbessern.

Aktive Kühlung
Im Gegensatz zur passiven Kühlung sind Konzepte zur aktiven Kühlung dadurch gekennzeichnet, dass sie direkt für die Bereitstellung von Kälte einen Energiebedarf verursachen.

Gekoppelte Wärme- und Kälteversorgung (in Abb. 1 entsprechend kenntlich gemacht)
Neben Einrichtungen zur ausschließlichen Kälteversorgung existieren technische Varianten, die sowohl zur Wärme- als auch Kälteversorgung Einsatz finden können, so zum Beispiel die Wärmepumpen-Eisspeicher Kombination. In der Heizperiode nutzt die Wärmepumpe den Eisspeicher als Wärmequelle und entzieht dem Speicher Wärme und bringt diese unter Einsatz elektrischer Energie auf Nutztemperaturniveau für die Raumwärmebereitstellung. Bei einer effektiven Dimensionierung des Eisspeichers ist dieser am Ende der Heizperiode vereist. Anschließend kann der vereiste Speicher zur Kühlung/Klimatisierung eingesetzt werden. Durch die Kühlung/Klimatisierung über den Eisspeicher wird dieser regeneriert (erwärmt) und kann der Wärmepumpe zu Beginn der nächsten Heizperiode wieder als Wärmequelle zur Verfügung stehen. Durch die kurz beschriebene grundsätzliche Funktionsweise des Konzeptes zur gekoppelten Wärme- und Kältebereitstellung mittels Wärmepumpen-Eisspeicher Kombination resultiert die diskutierte Fragestellung, ob es sich hierbei um ein Konzept zur aktiven oder passiven Kühlung handelt. Im Rahmen des Projektleitertreffens kann diese Fragestellung nicht abschließend geklärt werden. Auf der einen Seite kann dieses Konzept als passives

Kühlungskonzept gesehen werden, da zur Kühlung lediglich Hilfsenergie zum Betrieb des hydraulischen Kreislaufs erforderlich wird, um z. B. ein Gebäude über den Eisspeicher zu kühlen. Auf der anderen Seite kann die Wärmepumpen-Eisspeicher Kombination auch als aktives Kühlungskonzept gesehen werden, da es hiermit zum einen möglich ist eine vorgegebene Soll-Temperatur zu erreichen und auch zu halten, zum anderen wird zur Vereisung des Eisspeichers elektrische Energie eingesetzt. Auch wenn der Nutzen der zugeführten elektrischen Energie eher auf der Wärmeseite der Wärmepumpe zuordenbar ist, kann durch die beschriebenen Zusammenhänge dieses Kühlungskonzept ebenfalls aktives Kühlungskonzept gesehen werden.

Diskussion Technologievarianten von Kühlungskonzepten

Im Anschluss an die lebhafte Diskussion zur Charakterisierung und Abgrenzung der unterschiedlichen Technologievarianten finden sich die Teilnehmer in zwei Kleingruppen zusammen, um hier die Kühlungskonzepte hinsichtlich folgender Punkte zu analysieren:

- Potential und Relevanz
- Nutzbarkeit innerhalb des Demand-Side-Managements
- Herausforderungen innerhalb des Demand-Side-Managements
- Vor- und Nachteile der Technologie
- Forschungsfragen

Hierbei wird schnell deutlich, dass sich eine Abgrenzung der einzelnen Technologievarianten äußerst schwierig gestaltet und die einzelnen Punkte eher verallgemeinert für das breite Feld der Kühlungskonzepte diskutiert werden sollte.

Potential und Relevanz von Kühlungskonzepten

Das Potential für einen umfassenden Einsatz der vorgestellten Kühlungskonzepte hängt maßgeblich von dem beabsichtigten Anwendungsfall ab und ist zudem hinsichtlich der technischen Ausgestaltung begrenzt. Aus der energetischen Relevanz (57 TWh, siehe Einleitung) und der Möglichkeit der Flexibilisierung der Kältebereitstellung (beispielsweise durch E-Speicher) resultiert in der Regel das Potential zur Nutzbarkeit für Demand-Side-Management (DSM). Werden beispielsweise zusätzliche Speicherelemente eingesetzt, kann das Potential und somit auch die Relevanz für einen breit angelegten Einsatz signifikant gesteigert werden. Die Teilnehmer sehen eine Verallgemeinerung des Potentials als eher schwierig an.

Nutzbarkeit innerhalb des Demand-Side-Managements

Weiterhin wird mit den Workshop-Teilnehmern das Konzept des Demand-Side-Managements (DSM) besprochen und die Nutzbarkeit der verschiedenen Kühlungs-/Klimatisierungskonzepten diskutiert. Beim DSM handelt es sich um ein Konzept zur Laststeuerung mit dem Ziel der Flexibilisierung der Stromnachfrage. Im Gespräch wurde festgestellt, dass DSM in zwei verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Zielstellungen eingeteilt werden kann, dem lokalen DSM und dem übergeordneten DSM. Ein lokales DSM verfolgt bspw. die Zielstellung der Eigenverbrauchsoptimierung von lokalen EE-Anlagen und/oder der Vermeidung von Lastspitzen durch die Begrenzung der Bezugsleistung am Netzanschlusspunkt. Letzteres entspricht dem im industriellen Umfeld bereits weitgehend etablierten Lastmanagement zur Einhaltung

der mit dem Energieversorgungsunternehmen vertraglich vereinbarten maximalen Bezugsleistung. Während ein übergeordnetes DSM bspw. das Ziel der Bereitstellung von Systemdienstleistungen (z. B. Spannungshaltung, Engpassmanagement) verfolgt.
Die Workshop-Teilnehmer sind sich einig, dass prinzipiell alle vorgestellten aktiven Technologiekonzepte für einen Einsatz innerhalb des DSM geeignet sind, mit Ausnahme der solarthermischen Kühlung mit Absorptionskältemaschine. Um den Einsatz jedoch effizienter und bedarfsgerecht zu gestalten, werden eventuell weitere Komponenten benötigt wie beispielsweise thermische Speicher oder eine Gebäudeklimatisierung. Auch ein thermisches Netz und das Schaffen von Redundanzen mit „Fuel-switch"-Möglichkeit, also die Substitution von Erdöl und Kohle durch klimafreundlichere Gase, werden als wichtige Ergänzung des Systems angesehen. Für die Flexibilisierung der Produktionsprozesse ist es außerdem notwendig, Materialspeicher zu installieren, um so einen geordnetes Lastmanagement zu ermöglichen.

Herausforderungen innerhalb des Demand-Side-Managements
Um einen effizienten und bedarfsgerechten DSM-Einsatz zu gewährleisten, muss die vorhandene Anlage möglichst genau dimensioniert und ausgelegt werden. Hierbei ist eine Standardisierung äußerst schwierig, sodass für verschiedene Anwendungsfälle unterschiedliche Auslegungen vorliegen. Eine weitere Herausforderung stellt die jeweilige Rollenverteilung dar. Neben den ohnehin schon vorhandenen Interessenkonflikten, die bei einer heterogenen Akteursvielfalt vorliegen, wird der Betreiber im Falle des DSM selbst zum Dienstleister und unterliegt hierdurch den umfassenden Pflichten dieser Rolle. Auch der regulatorische Gebäudebetrieb, beziehungsweise die Versorgungsaufgabe, wird durch diese Verschiebungen der Rollenverteilung beeinflusst und stellt eine weitere Problemstellung dar. Eine weitere große Herausforderung besteht im wirtschaftlichen Risiko. Bei einem „herkömmlichen" Kühlungskonzept ohne Beitrag zum DSM ist eine durchaus größere Akzeptanz festzustellen, da bislang keine genauen Vorgehensweisen vorliegen, wer innerhalb der neuen Konzepte das wirtschaftliche Risiko im Falle eines Verlustes zu tragen hat.

Vor- und Nachteile
Im Falle eines Einsatzes der aktiven Kühlungskonzepte im Sinne des DSM ergeben sich einige Vorteile wie beispielsweise die anwendungsspezifische Umsetzung. Hierbei können die vorhandenen Gegebenheiten detailliert berücksichtigt und in das System integriert werden. Durch den Einsatz von Speichern kann zudem ein Effizienzgewinn erzielt werden und auch der jeweilige Eigenverbrauch durch die Nutzung lokaler Erzeugung aus erneuerbaren Energien optimiert werden. Hierbei ergibt sich mit geringen Investmitteln ein vielversprechendes Potential zur Effizienzsteigerung.
Wie bereits beschrieben, sind oftmals zusätzliche Komponenten zur vorhandenen Technologie notwendig, was zu einer Komplexitätssteigerung der Kühlprozesse führt. Um die komplexen Anlagen steuern zu können, müssen Fachkräfte für den Betrieb zusätzlich geschult werden und Absicherungen für den Fall einer Fehlbedienung getroffen werden. Zudem sind höhere installierte Leistungen als im herkömmlichen Betrieb notwendig, um so einen effizienten Beitrag zum DSM zu leisten. Da die Umsetzungen meistens recht anwendungsspezifisch ausgelegt sind, fällt eine Standardisierung der Prozesse schwer und erfordert einen hohen Aufwand. Als weiteren Nachteil nennen die

Workshop-Teilnehmer den derzeitigen regulatorischen Rahmen, der eine Umsetzung des Demand-Side-Managements hemmt und dringend zielgerichtet nachgebessert werden sollte.

Forschungsfragen

Für die Wissenschaftliche Begleitforschung ist der Input der Workshop-Teilnehmer hinsichtlich neuer Forschungsfragen von großer Bedeutung, um so beispielsweise zukünftige Querauswertungen auf aktuelle Fragestellungen auszulegen. Besonders der Einsatz von Kühltechnologien in der Praxis sowie Best-Practice-Beispiele sind von hohem Interesse und sollen in künftigen vertiefenden Querauswertungen der Wissenschaftlichen Begleitforschung berücksichtigt werden.

Ein weiteres zukünftiges Themenfeld stellt ein Vergleich des Einsatzes von Speichern auf Stromseite und DSM für Kälteanlagen hinsichtlich ihrer energetischen Effizienz dar. Zudem sind auch umfassende Untersuchungen unterschiedlicher Betriebsführungsstrategien für die Projektleiter von großer Bedeutung, da diese die Dimensionierung zukünftiger Anlagen erheblich erleichtern würde.

Um einen effizienten und bedarfsgerechten DSM-Einsatz zu gewährleisten, muss die vorhandene Anlage möglichst genau dimensioniert und ausgelegt werden. Hierbei wäre eine optimale Anlagendimensionierung ein Forschungsthema, das diese Herausforderung angehen würde.

Als großes Hemmnis wurde innerhalb der Diskussion mehrfach die fehlende Standardisierung genannt. Daher wäre ein Konzept zur Standardisierung netzdienlicher Gebäude, beziehungsweise unterschiedliche Förderungen und das Schaffen von Anreizen, wichtige Themen, die zukünftig analysiert werden sollten.

Die zusammengetragenen Antworten der Workshopteilnehmer zu den einzelnen Kategorien sind in Abbildung 2 dargestellt. Hierbei konnten leider aus zeitlichen Gründen die Themengebiete Kompromisslösung sowie spezielle Anwendungsfälle nicht behandelt werden.

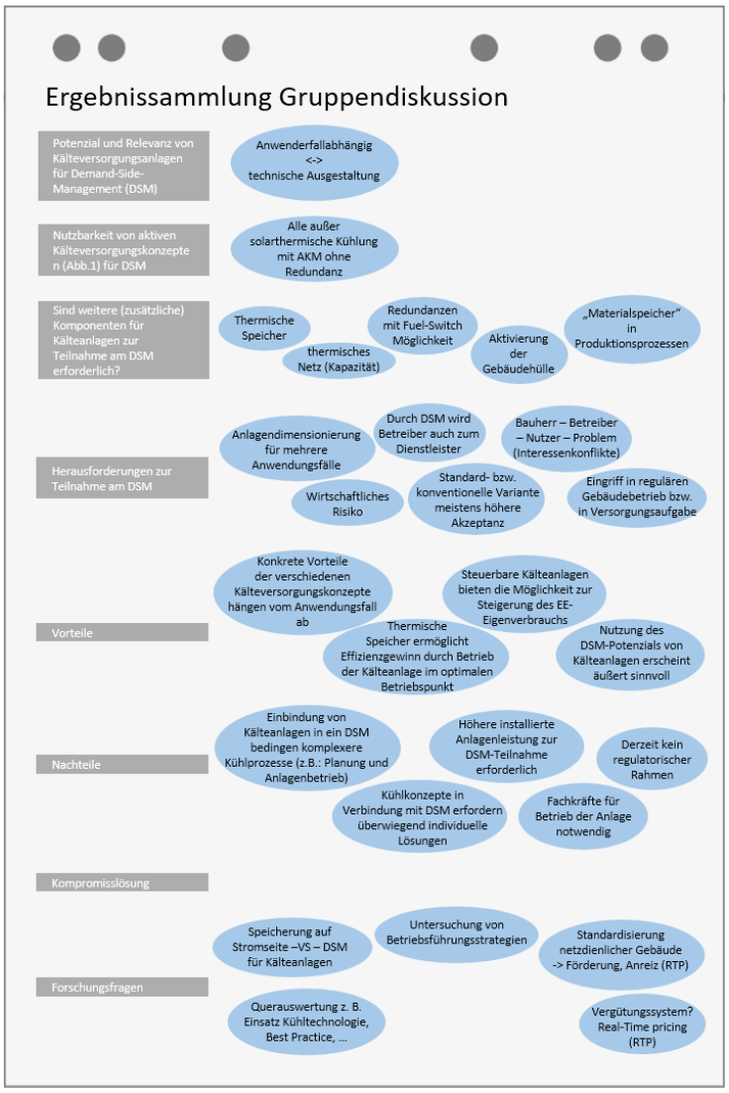


Abbildung 2: Ergebnissammlung Gruppendiskussion

Anwendung innerhalb von Förderprojekten

Abschließend wird durch die Workshopleitung ein Überblick zum Einsatz von Kühlungs- und Klimatisierungskonzepten innerhalb der Forschungsvorhaben der Förderinitiative ENEGRIEWENDEBAUEN gegeben. Hierzu wurde im Vorfeld anhand der Digitalen Projektlandkarte der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN sowie weiterer Informationsquellen nach entsprechenden Schlagworten recherchiert und die entsprechenden Projekte grob ausgewertet. Hierbei wird deutlich, dass insgesamt 83 Projekte den Stichworten „Kälte", „Klimatisierung" und „Kühlung" zugeordnet werden können. Eine Tendenz zu einer Projektkategorie kann hierbei nicht festgestellt werden. Betrachtet man die zu Beginn des Workshops vorgestellten Klimatisierungskonzepte und deren Einsatz innerhalb von Forschungsprojekten, fällt auf, dass die Kompressionskälteanlage am häufigsten (16 Projekte) eingesetzt wird, währende eine Wärmepumpe mit Eisspeicher eher selten Verwendung findet (3 Projekte).

Workshop 4: Passive & erneuerbare Kühlkonzepte: Welche Konzepte werden erprobt? Welche Betriebserfahrungen wurden gesammelt?

Verantwortliche: Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn, Fraunhofer IBP

Kurzzusammenfassung

Im Workshop „Passive & erneuerbare Kühlkonzepte“ präsentierte die Begleitforschung zunächst eine Auswertung des allgemeinen Fragebogens für die ENERGIEWENDEBAUEN-Projekte zum Bereich eingesetzte Kühlsysteme. In der Vorstellungsrunde stellten die Workshopteilnehmer kurz ihre Projekte und die darin enthaltenen Kühlkonzepte vor, die dann im Anschluss in eine von der Begleitforschung entwickelten Kühlkonzepttypologie eingeordnet wurden. Häufungen gab es in den Bereichen Erdreichwärmetauscher mit Wärmepumpenumgehung, Verdunstungskühlung und passive Kühlkonzepte mittels erhöhter Lüftung.
Basierend auf Projektpräsentationen wurde dann auf einige Kühlkonzepte genauer eingegangen und wichtige Einflussfaktoren und der zugehörige Forschungsbedarf diskutiert:

- Oberflächennahe Geothermie in Kombination mit Erdeisspeicher: Interessant war hier die Möglichkeit der übereinanderliegenden 2-lagigen Verlegung der Erdkollektoren, die Wichtigkeit der Erdreichregeneration (wenn nicht im Grundwasser verlegt), die Bedeutung von passenden Softwaretools, die auch von Praktikern angewendet werden können und die Komponentenoptimierung, da derzeit meist eine Überdimensionierung stattfindet.
- Passive Kühlung von Rechenzentren: Durch indirekte freie Kühlung und Verdunstungskühlung soll ein Rechenzentrum der Uni Greifswald gekühlt werden. Neue Server erlauben hier eine um ca. 3 K höhere Zulufttemperatur als bisher gefordert, so dass gemäß der Studie eine ganzjährige Kühlung ohne Kompressionskälteerzeugung möglich ist.
- Passive Nachtlüftungskonzepte in energieeffizienten Bildungsgebäuden: Wichtig ist hierbei die Abstimmung der Konzepte mit den Nutzern (vor allem Lehrer oder Erzieher), Weiterentwicklungen bei Beschlägen, die richtige automatische Steuerung sowie die Klärung von rechtlichen Fragen.

Abschließend wurde noch über einige Fragestellungen abgestimmt. Für die Zukunft sahen die Workshopteilnehmer eine wachsende Bedeutung des Kühlenergiebedarfs auch bei Altenheimen und Wohngebäuden. Der größte Forschungsbedarf im Bereich Kühlkonzepte wurde bei der Minimierung der Kühllast, bei den Regelstrategien und danach gleichwertig bei den Adsorptions-/Absorptionsprozesse und -materialien, der Einbindung von erneuerbaren Energien und der Auslegungssoftware und Komponentenoptimierung gesehen.

Einführung in die Thematik

Im Workshop wurden aktuelle vom BMWi-geförderte Projekte mit passiven oder erneuerbaren Kühlkonzepten im Gebäudebereich vorgestellt und diskutiert. Erfahrungen mit den Konzepten wurden zusammengetragen und mit den Erfahrungen und Einschätzungen der Workshopteilnehmer gespiegelt.
Die Begleitforschung hat dafür vorab die Teilnehmer gebeten, ihre Erfahrungen mit erneuerbaren und passiven Kühlkonzepten kurz zusammenzufassen. Zusätzlich hat die Begleitforschung die verfügbaren Informationen zu Kühlkonzepten aus dem Fragebogen für die ENERGIEWENDEBAUEN-Projektlandkarte (https://projektinfos.energiewendebauen.de/projektlandkarte/) ausgewertet. Insgesamt konnten dabei 41 abgeschlossene Gebäudefragebögen analysiert werden. Der Fragebogen fragt gezielt nach Kälteerzeugern, Kältespeichern und zugehörigen Verteil- und Übergabesysteme. Passive Raumkühlsysteme oder andere Kühlsysteme ohne Kälteerzeuger werden derzeit nicht gezielt abgefragt, können aber im Bereich Gebäude- und Anlagenkonzepte als Text beschrieben werden oder bei den Kälteerzeugern als „Sonstige“ angegeben werden.
Von insgesamt 41 Projekten gab es folgende textliche Beschreibungen zu passiven Raumkonzepten in jeweils einem Projekt:

- Spezieller Sonnenschutz (Art und Steuerung)
- Wärmetauscher für passive Kühlung angeordnet zwischen Wärmepumpen und Erdsonden
- Erdreich und freie Kühlung (alternativ KKM)
- Natürliche Nachtlüftung über ausfahrbare Lüftungsöffnungen in der Fassade (Kiemen)
- Direkte thermische Grundwassernutzung
- Passive Infrarot-Nachtkühlung (PINC)
- Energiepfahlanlage

Für die 41 Projekte mit 67 Gebäuden wurden insgesamt 78 Kälteerzeuger angegeben, wobei 45 Gebäude keine Kälteerzeuger enthalten:

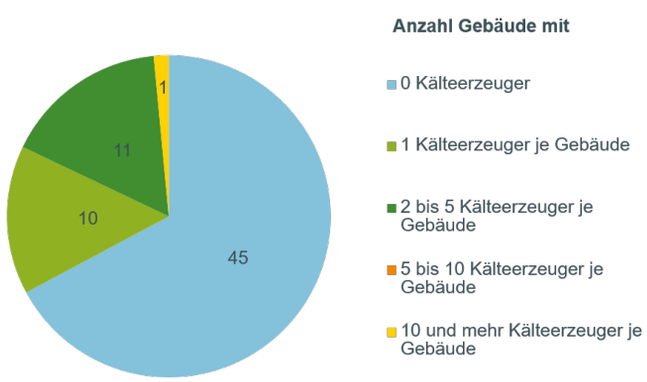


Abbildung 1: Fragebogenauswertung: Anzahl der installierten Kälteerzeuger je Gebäude

Eine Übersicht der eingesetzten Kälteerzeugertypen in den 41 Projekten zeigt Abbildung 2.

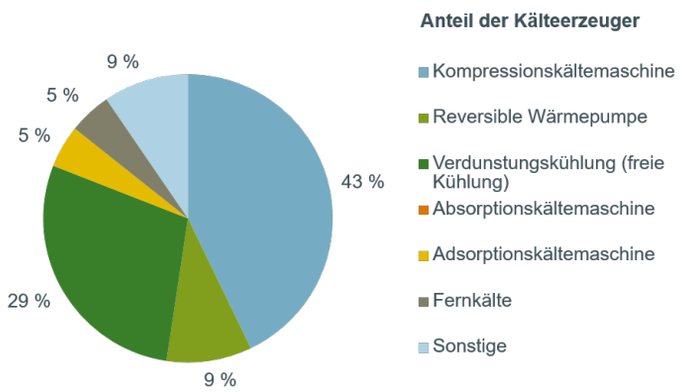


Abbildung 2: Fragebogenauswertung: Anteil der Kälteerzeuger

Kompressionskältemaschinen werden mit 43 % am häufigsten eingesetzt, gefolgt von Verdunstungskühlung (29 %) und reversiblen Wärmepumpen (9 %). Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen werden jeweils zu 5 % eingesetzt. Die restlichen 9 % der Kälteerzeuger wurden als „Sonstige“ eingetragen und sind:

- direkte thermische Grundwassernutzung,
- passive Infrarot Nachtkühlanlage,
- Energiepfahlanlage,
- Turboverdichter

Die dabei genutzten Energieträgern bzw. Wärmesenken sind in Abbildung 3 zusammengestellt. Dabei ist anzumerken, dass von den Projektnehmern der Strom für Wärmepumpen und andere Kühlerzeugerantriebe oftmals nicht mit angegeben wird (auch wenn ein zweites Eingabefeld frei ist).

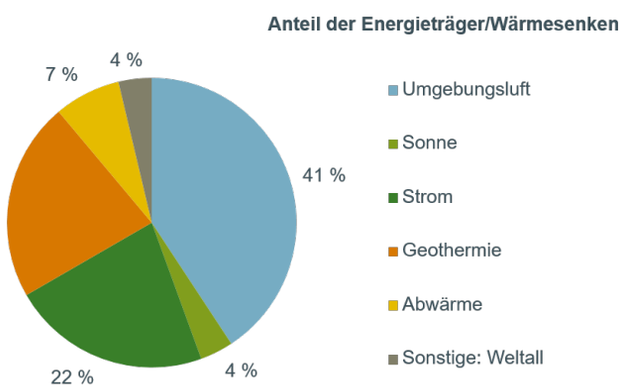


Abbildung 3: Fragebogenauswertung: für die Kälteerzeugung genutzte Energieträger bzw. Wärmesenken

Abbildung 4: Fotos von den beiden Workshop-Tagen.
Links: Tag 1 im Schulzentrum Detmold; rechts: Tag 2 in der Hochschule Detmold

Begrüßung und Vorstellungsrunde

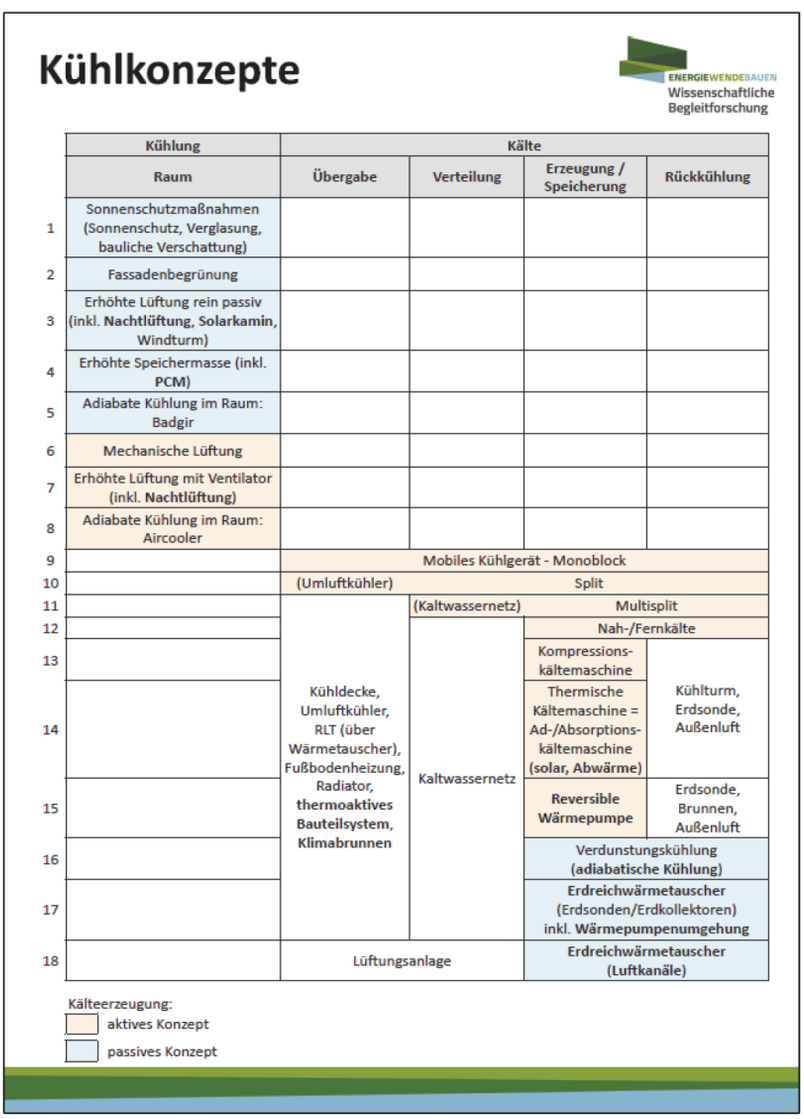
Hans Erhorn begrüßte die Workshop-Teilnehmer. Jeder Teilnehmer stellte sich, sein Vorhaben aus der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN und das dabei eventuell eingesetzte Kühlkonzept vor. Die Vorhaben mit Kühlkonzepte wurden auf einer Liste notiert und mit Nummern versehen, um die Kühlkonzepte später zuordnen zu können.

Die gesammelten Projekte und eingesetzten Kühlkonzepte lauteten wie folgt:

Nr.	Projektname	Eingesetztes Kühlkonzept
1	Degewo Zukunftshaus	Passiv, Erdreichspeicher
2	Green Fabs	Grüne Fassaden
3	COP 100	Indirekte Verdunstungskühlung
4	Schule Detmold	Passiv, Deckenventilatoren, Nachtlüftung
5	Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie	Erdeisspeicher
6	Demonstrator IAB	Geothermiefeld
7	Deck-In-Vent	Deckenventilatoren
8	Simquality	Diverse (Software)
9	Cool-Plan-Air	KKM, Absorption, WRG (Software)
10	Labordemonstrator	PCM-Kältespeicher
11	Moni-Research, PCM Demo 2	PCM aktiv/passiv, Strahlungskühlung
12	KUEHA	Kühlen mit freien Heizflächen, regen. Kühlung
13	ECO-Square	Erdwärmesondenfeld
14	EnaPlan DF	Natürliche Lüftung, Doppelfassaden
15	Adlershof	Kletterpflanzen, adiabate Kühlung
16	Böll	Erdsondenfeld direkt
17	UBA Dessau	Verdunstungskälte
18	EnModus	Geothermie, Induktionsgeräte
19	Baugebiet Lossegrund	Sole-Wärmepumpe reversibel + kaltes Nahwärme-netz (Schraubenverdichter)
20	OpenSorp	Offene Sorptionssysteme
21	Plusenergieschule Stuttgart	Nachtlüftung, Wärmepumpen-Umgehung, Geo-thermie

Zuordnung der Kühlkonzepte zu einer von der Begleitforschung entwickelten Kühlkonzepttypologie

Vom Fraunhofer IBP wurde als Vorbereitung zum Workshop eine Kühlkonzepttypologie entwickelt (siehe Abbildung 5) die zunächst in Kühlung des Raums und in die Kälteerzeugung unterscheidet. In beiden Bereichen wird zusätzlich, je nach System in passive und aktive Systeme aufgeteilt. Passive Systeme im Raum werden dabei als Systeme ohne mechanische Antriebe (z. B. Sonnenschutzmaßnahmen, Fassadenbegrünung, Nachtlüftung, PCM) interpretiert. Aktive System sind dabei z. B. mechanische Lüftung oder Aircooler. Als aktive Kälteerzeuger wurden folgende Systeme eingestuft: mobiles Kühlgerät, Split, Multisplit, Nah-/Fernkälte, Kompressionskältemaschine, thermische Kältemaschine (Ad-/Absorptionskältemaschine) sowie reversible Wärmepumpe. Als passive Kälteerzeuger wurden eingestuft: Verdunstungskühlung, Erdreichwärmetauscher inkl. Wärmepumpenumgehung oder über Luftkanäle.



Kühlkonzepte

ENERGIEWENDEBAUEN Wissenschaftliche Begleitforschung

	Kühlung	Kälte			
	Raum	Übergabe	Verteilung	Erzeugung / Speicherung	Rückkühlung
1	Sonnenschutzmaßnahmen (Sonnenschutz, Verglasung, bauliche Verschattung)				
2	Fassadenbegrünung				
3	Erhöhte Lüftung rein passiv (inkl. **Nachtlüftung, Solarkamin,** Windturm)				
4	Erhöhte Speichermasse (inkl. **PCM**)				
5	Adiabate Kühlung im Raum: Badgir				
6	Mechanische Lüftung				
7	Erhöhte Lüftung mit Ventilator (inkl. **Nachtlüftung**)				
8	Adiabate Kühlung im Raum: Aircooler				
9		Mobiles Kühlgerät - Monoblock			
10		(Umluftkühler)	Split		
11		Kühldecke, Umluftkühler, RLT (über Wärmetauscher), Fußbodenheizung, Radiator, **thermoaktives Bauteilsystem, Klimabrunnen**	(Kaltwassernetz)	Multisplit	
12			Kaltwassernetz	Nah-/Fernkälte	
13				Kompressions-kältemaschine	Kühlturm, Erdsonde, Außenluft
14				Thermische Kältemaschine = Ad-/Absorptions-kältemaschine **(solar, Abwärme)**	
15				**Reversible Wärmepumpe**	Erdsonde, Brunnen, Außenluft
16				Verdunstungskühlung **(adiabatische Kühlung)**	
17				**Erdreichwärmetauscher** (Erdsonden/Erdkollektoren) inkl. **Wärmepumpenumgehung**	
18		Lüftungsanlage		**Erdreichwärmetauscher (Luftkanäle)**	

Kälteerzeugung:
- aktives Konzept
- passives Konzept

Abbildung 5: Kühlkonzepttypologie entwickelt vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Im Workshop wurden die Projekte in die Typologie eingeordnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 6 dargestellt.

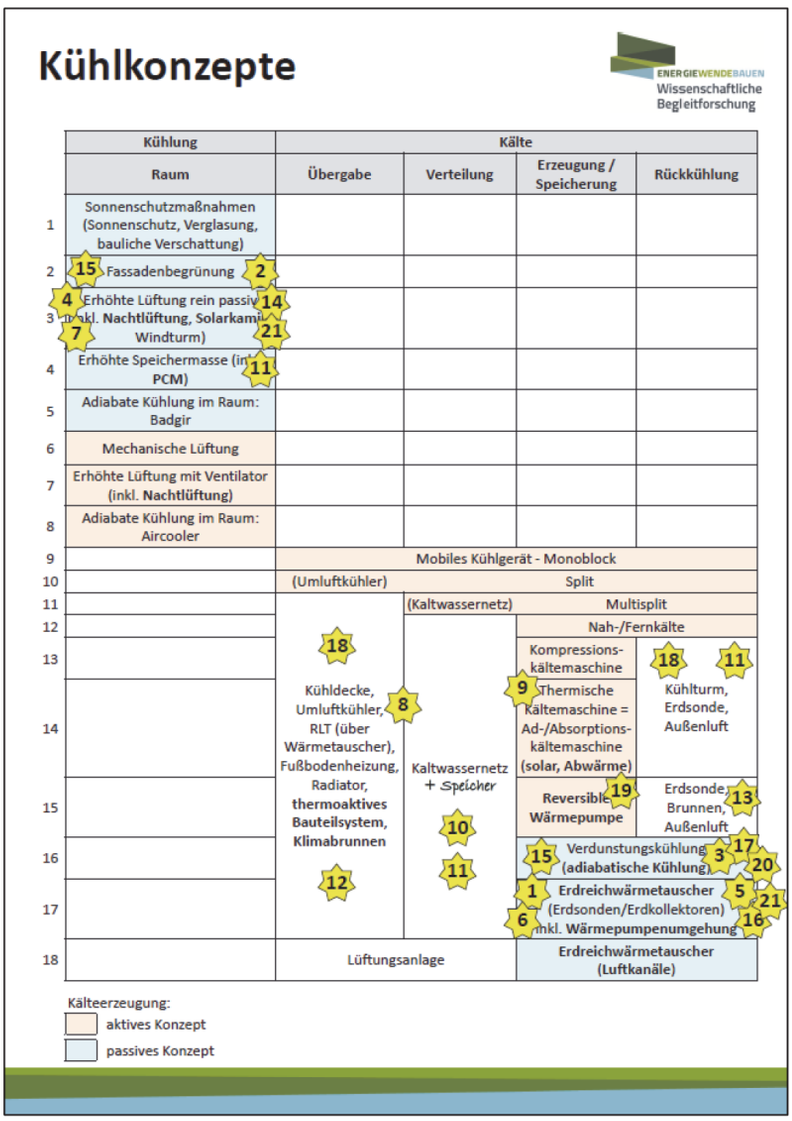


Abbildung 6: Kühlkonzepttypologie mit den zugeordneten Projekten der Workshopteilnehmer

Häufungen von Kühlkonzepten in den Projekten ergaben sich für:

- Erdreichwärmetauscher mit Wärmepumpenumgehung (5 Projekte)
- Verdunstungskühlung (4)
- Passive Kühlkonzepte mittels erhöhter Lüftung (3)

Fokus auf Kühlkonzepte mit erneuerbaren Energien

Zur Einführung ins Thema stellten Hans Petzold und Dr. Volker Stockinger das EnEff:Wärme-Verbundvorhaben ‚Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie' vor, an dem die TU Dresden zusammen mit der Hochschule München arbeitet. In vier Arbeitspaketen werden Einsatzszenarien bewertet, Laboruntersuchungen durchgeführt, Modelle

entwickelt und Simulationsuntersuchungen gemacht und zuletzt technologische und wirtschaftliche Voruntersuchungen zur Umsetzung eines Erdeisspeichers durchgeführt. Im Projekt wird ein bodenphysikalisches Modell mit gekoppelter Wärme- und Feuchtesimulation weiterentwickelt (DELPHIN). Die Laboruntersuchungen beinhalten Analysen des Verhaltens von Böden bei Wärmeentzug, Gefrier- und Auftauverhalten. Die hygrothermische Simulationssoftware DELPHIN 5 wurde mit einem verbesserten Eismodell (Stabilität, Performance) zur Version DELPHIN 6 weiterentwickelt. Für die Simulationsuntersuchungen wurde eine Gebäude- und Anlagenmodell in Modelica (Dymola) mit einem Kollektor und einem Erdeisspeicher in DELPHIN 6 verbunden. Erste Untersuchungen in der Praxis wurden in dem 2010 gebauten Ludmilla Wohnpark in Landshut mit 13 Einfamilien- und 8 Mehrfamilienhäusern durchgeführt. Dabei wurde eine oberflächennahe Geothermie mit Boden-Klima-Tauschern eingesetzt und mit einem Messfeld der Einfluss durch den Wärmeentzug untersucht. Die Messungen ergaben im Jahr 2012 eine Entzugsleistung von 28 W/m² Kollektorfläche und bei den eingesetzten Kollektoren in zwei Lagen übereinander 57 W/m² Gartenfläche. Es konnten Wärmepumpen-Jahresarbeitszahlen von 3,67 bis 3,79 in den Jahren 2012 bis 2016 erreicht werden mit Berücksichtigung der Kühlung. Das Erdreich wurde dabei nicht dauerhaft ausgekühlt, da die Kollektoren in der Grundwasserebene liegen. Die Projektpartner haben ein Folgeprojekt beantragt in dem ab Mitte März 2019 ein Erdeisspeicher in einer Siedlung mit 50 Gebäuden eingesetzt wird.

Die Projektnehmer haben ausgerechnet, dass wenn man 3 % der Oberfläche von Deutschland thermisch aktivieren würde, der Wärmeverbrauch aller deutschen Haushalte gedeckt werden könnte. Damit ist die oberflächennahe Geothermie ein ‚schlafender Riese der Energiewende'.

In der nachfolgenden Diskussion wurden folgende Punkte angesprochen:

- Es ist gut in kleinen Projekt zu ‚üben' und danach in größeren Projekten optimiert umzusetzen.
- Die Kombination oberflächennahe Geothermie mit Erdeisspeicher ist bei aktivem Kühlbedarf eine gute Lösung.
- Ein Problem ist die Erdreichregeneration wenn die Kollektoren nicht im Grundwasserbereich sind.
- Wichtig ist es, dass die entwickelten Simulationswerkzeuge mehr in der Praxis (Ingenieurbüros) genützt werden.

Als Forschungsbedarf werden folgende Punkte gesehen:

- Weiterentwicklung der Tools, auch Vereinfachung der Anwendung in der Praxis
- Abgleich mit Monitoring; hier soll die geplante Monitoringdatenbank unterstützen
- Die Komponenten werden derzeit noch überdimensioniert. Das muss sich ändern, damit die Effizienz besser wird.

Prof. Ulrike Jordan von der Universität Kassel erläuterte die ersten Erfahrungen aus dem Vorhaben OpenSorp, in dem ein offenes Absorptionssystem mit einer Kompressionskältemaschine oder einer direkten/indirekten Verdunstungskühlung im Labor gekoppelt wird. Durch die Entfeuchtung mit Sorptionsprozess konnte eine Strombedarfsreduzie-

rung der KKM von ca. 50 % erreicht werden. Als technische Probleme ergaben sich im Labor die Integration von Regenerator/Verflüssiger und die Benetzung der Wärme- und Stoffübertragerfläche. Die Diskussion ergab folgende Punkte:

- Eine solarthermische Kühlung kann die Kombination PV mit Kompressionskühlung investiv nicht schlagen.
- Die Salzlösung kann noch optimiert werden. Sie ist derzeit eher auf die Be-/Entfeuchtung als für die Kälteerzeugung ausgerichtet.
- Bei der Ab-/Adsorption ist der Hilfsenergiebedarf fast so hoch wie der Strombedarf einer entsprechenden Kompressionskältemaschine.

In der abschließenden Spiegelung mit der Praxis, also vor allen den Teilnehmern aus Ingenieurbüros, wurde folgendes hervorgehoben:

- Bei Kältekonzepten in Quartieren bestehen noch rechtliche Probleme bzgl. der Haftung, Genehmigungen und Steuern.
- Bei der oberflächennahen Geothermie gibt es meist Platz- und Kostenprobleme.

Eine Verlegung unter den Gebäuden ist meist schwierig, nicht zuletzt wegen der Wartung. Insofern wird die doppellagige Verlegung der Kollektoren als sehr interessant bewertet.

Fokus auf passive Kühlkonzepte

Am zweiten Tag wurden zwei Präsentationen mit Fokus auf passive Kühlkonzepte gehalten und diskutiert. Michael Schaub von der TU Berlin (Herman Rietschel Institut) stellte das Vorhaben ‚EnEff:DCC COP100' zur passiven Kühlung von Rechenzentren vor. In Deutschland gibt es 53.000 Rechenzentren mit einem Strombedarf von über 12,4 Milliarden Kilowattstunden im Jahr, das entspricht in etwa dem Stromverbrauch des Schienenverkehrs. Dabei werden ca. 40 % des Stromverbrauchs für Kühlung und unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) eingesetzt. Im Forschungs- und Demonstrationsprojekt werden in einem Testrechenzentrum eine ganzjährige Kühlung ohne Kompressionskälte untersucht, insbesondere die Druckverlust-Reduzierung, die Regelungsmethodik des Kalt-/Warmgangs, die Einbeziehung der USV-Anlagen, instationäre Betriebsweisen, sowie Hot-Spots und Rückströmungen. Im Neubau des Rechenzentrums der Uni Greifswald sollen danach die vielversprechendsten Maßnahmen umgesetzt werden und ein Monitoring und eine Betriebsoptimierung durchgeführt werden. Mithilfe des TRY Greifswald wurde das Kühlpotential der indirekten freien Verdunstungskühlung analysiert. ASHRAE 2015 legt die mögliche Zulufttemperatur für Rechner fest (Rechnerklassen A1 bis A4). Bei neuerer Hardware sind die Vorgaben nicht mehr so eng wie früher (A3). Damit können statt bisher 25 bis 27 °C als Zulufttemperatur ca. 3 K höhere Zulufttemperaturen eingesetzt werden. In der Jahressimulation ergibt sich, dass dann eine überwiegend indirekte freie Kühlung möglich ist, die ergänzt wird durch Verdunstungskühlung. Die Führungsgröße dabei ist die Überströmgeschwindigkeit zwischen Kaltgang und Warmgang.

Basierend auf der Präsentation wurden folgende Punkte diskutiert:

- Eine etwaige etwas geringere technische Lebensdauer der Rechner ist kein Problem, da die Server bereits deutlich vor Ende der technischen Lebensdauer aufgrund Kapazitätssprüngen ausgetauscht werden.
- Zur Verdunstungskühlung wird enthärtetes Frischwasser eingesetzt. Ein neues Projekt beschäftigt sich mit in diesem Bereich mit Umkehrosmose.

Hans Erhorn präsentierte einen Überblick über Nachtlüftungskonzepte an verschiedenen energieeffizienten Schulen. Insgesamt haben die Schulträger Sorgen, dass Kühlanforderungen in Schulen in der Zukunft entstehen könnten. Er ging auf drei Bildungsgebäude mit Nachtlüftung genauer ein: die Plusenergieschule Hohen Neuendorf, das Plusenergie-Kinderhaus Höhenkirchen-Siegertsbrunn, und die Plusenergieschule in Stuttgart. In Hohen Neuendorf wurde eine hybride Lüftung (eine Kombination zwischen natürlicher Fensterlüftung und mechanischer Be- und Entlüftung mit geringem Luftwechsel) eingesetzt. Die Nachtlüftung erfolgt durch ein gesondertes Fensterelement, dass automatisch im Sommer geöffnet wird. Im Kinderhaus Höhenkirchen-Siegertsbrunn wurden neben Phasenwechselmaterialien zwischen den Deckenbalken ein Lüftungskamin, Lüftungsampeln in allen Räumen und eine Nachtlüftung eingesetzt. Dabei wird bei hohen Temperaturen die Fassade und der Lüftungskamin im Foyer automatisch geöffnet. Allerdings haben die Erzieherinnen die eingesetzte Technik und vor allem deren Regelung nur bedingt angenommen. In der Stuttgarter Plusenergieschule erfolgt die automatische Nachtlüftung als Querlüftung von der Fassade über das Klassenzimmer durch eine Wandöffnung zum Flur und von dort durch die Fassade nach draußen und vice versa. In der anschließenden Diskussion einigte man sich auf folgende wichtige Faktoren für Nachtlüftungskonzepte:

- Beschläge,
- Abstimmung der Planung mit den Nutzern,
- Automatische Steuerung,
- Rechtliche Fragen bei Nachtlüftungskonzepte.

Als Abschluss des Workshops wurde noch über einige Fragestellungen abgestimmt. Darunter:

1. Müssen wir in Zukunft aufgrund des Klimawandels für alle Gebäude den (theoretischen/realen) Kühlenergiebedarf ermitteln?
   Die Workshopteilnehmer erachteten den sommerlichen Wärmeschutznachweis (inkl. der alternativen detaillierten Bewertung durch Simulation) als ausreichend an.

2. Müssen Altenheime und Wohngebäude in Zukunft mit Kühlsystemen ausgestattet werden?
   In der Diskussion wurde Wert auf eine detaillierte und korrekte Planung gelegt. Allerdings wurde auch befürchtet, dass der Klimawandel zu Kühlbedarf in diesen Gebäudetypen führt.

3. Wo besteht der größte Forschungsbedarf im Bereich Kühlkonzepte?
   Bei der Minimierung der Kühllast gefolgt von Regelstrategien und danach gleichwertig bei Adsorptions-/Absorptionsprozesse und -materialien, bei der Einbindung von erneuerbaren Energien, bei Auslegungssoftware und bei der Komponentenoptimierung.

4. Welche Ergebnisse zu Kühlkonzepten sind wichtig und sollten im Fragebogen abgefragt werden?
   Kosten vor Nutzerfeedback inkl. Probleme und Lösungen sowie Effizienzen.

Einblick in die Arbeitsphase in den Workshop 4 Passive & erneuerbare Kühlkonzepte: Welche Konzepte werden erprobt? Welche Betriebserfahrungen wurden gesammelt?

Workshop 5: Versorgungskonzepte mit und ohne Kältenetze: Neue Lösungen und aktuelle Erfahrungen

Verantwortliche: Carsten Beier, Matthias Schnier, Fraunhofer UMSICHT

Kurzzusammenfassung

Im Workshop beschäftigten sich die ca. 20 Teilnehmenden mit der Frage, wie die Kälteversorgung von Gebäuden und Quartieren in Zukunft aussehen kann. Welche Projekterfahrungen gemacht wurden, was Erfolgsfaktoren und Hemmnisse dafür sind, welche Technologien betrachtet und konkreten Fragestellungen bearbeitet werden und wo weiterer Forschungsbedarf in dem Bereich besteht.
In vielen Projekten wird Nutzkälte über Ad- oder Absorptionskältemaschinen aus (Ab-) Wärme gewonnen. Die benötigte Wärme stammt hierbei u.a. aus industrieller Abwärme, bestehenden Fernwärmenetzen oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWKK). Die vorgestellten Projekte haben häufig das Ziel, eine wirtschaftliche Machbarkeit einer konkreten Energieversorgungsanlage zu demonstrieren und Betriebserfahrungen zu einer solchen Anlage zu sammeln. Weitere häufig genannte Projektinhalte sind der Bau von Kältenetzen und die Nutzung thermischer Speicher. Durch die Zentralisierung und Nutzung von Speichern sollen technische und wirtschaftliche Effizienzpotentiale gehoben werden. Besonders hervorzuheben ist eine mögliche Bereitstellung von Flexibilität für den Stromsektor. Für den Bereich der gesamtsystemischen Optimierung und Analyse wurde weiterer Forschungsbedarf festgestellt.
Eine Kälteversorgung wird immer häufiger auch als Verkaufsargument für Immobilien betrachtet. Auch darum wird von den Teilnehmenden ein generell steigender Kältebedarf im Gebäudebereich erwartet. Kälteversorgung muss daher von Beginn an in Versorgungskonzepten berücksichtigt und mit anderen Bereichen wie z. B. Wärme und Strom zu einem Sektor übergreifend optimalen Gesamtsystem verknüpft werden. Diese Verknüpfung wird zukünftig eine noch wichtigere Rolle bei Versorgungskonzepten spielen. Wichtig für die erfolgreiche Projektumsetzung ist zudem ein ausreichend hoher Wissensstand bei allen Projektbeteiligten, gute Kommunikation innerhalb des Projektes und eine produktive Zusammenarbeit zwischen Praxis und Wissenschaft, damit innovative Lösungen den Weg in die Umsetzung finden und optimale Lösungen realisiert werden. Hemmnisse bei Projekten zum Thema Kälteversorgung sind zum einen technischer Natur, wie z. B. die vergleichsweise hohe Anfälligkeit für Messungenauigkeiten, hohe Komplexität bei der Umsetzung und schwierige Randbedingungen bei Projekten in Bestandsgebäuden. Andererseits wurden fehlende Kompetenzen und unsichere Geschäftsmodelle als hindernd beschrieben.
Neben einem generell steigenden Kältebedarf und dem Ausbau von Kältenetzen wirkt sich der Megatrend Digitalisierung auch im Bereich der Kälteversorgung aus. Zum einen durch erhöhte Rechenkapazitäten gesteigerten Kühlbedarf und zum anderen durch günstigere Mess-, Steuer-, Regelungs- und Kommunikationsmöglichkeiten.
Wichtige weitere Forschungsbedarfe die identifiziert wurden, waren u. a. die Quantifizierung der Zunahme des zukünftigen Kältebedarfs, Effizienzsteigerungspotentiale von

kombinierter Wärme- und Kälteversorgung, Flexibilisierung der Kälteversorgung und die technische Weiterentwicklung von Kältemaschinen. Generell sollten wissenschaftliche Ergebnisse schneller in die Praxis transferiert werden.

Einführung in die Thematik

Wie sieht die Kälteversorgung von Gebäuden und Quartieren in Zukunft aus? In welchen Fällen sind Kältenetze eine optimale Lösung und welche alternativen Kälteversorgungskonzepte sind Bestandteil aktueller Forschungsprojekte? Im Workshop soll ein Erfahrungsaustausch insbesondere in Hinblick auf den Praxistransfer und die breite Anwendung erfolgen. Aus diesem Kontext heraus sollen für den Forschungsbereich Energie in Gebäuden und Quartieren Forschungsbedarfe, aber auch Chancen und Hemmnisse für laufende und zukünftige Projekte identifiziert werden.

Inhalt

Zu Beginn stellte Carsten Beier Ziele, Inhalte und Ablauf des Workshops kurz vor. Im Anschluss teilten sich die Teilnehmenden in Kleingruppen auf um über die Themen des Workshops zu diskutieren.

Diskussionsrunde 1: Welche Technologien werden in laufenden Projekten betrachtet und welche Forschungsfragen werden bearbeitet?
Die Nutzung von zum Teil überschüssiger Wärme zur Kälteerzeugung ist in vielen Projekten zentraler Bestandteil. Dafür werden Ab- und Adsorptionskältemaschinen genutzt. Die meisten derartigen Projekte betrachten konkrete Anlagen im Betrieb um Betriebserfahrungen zu sammeln, Erfolgsfaktoren zu identifizieren und eine wirtschaftlich interessante Machbarkeit zu demonstrieren. Häufig wird die Wärme über Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bereitgestellt um die Nutzkälte zu erzeugen; sogenannte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung oder KWKK. Als weitere Möglichkeit wird in einem Projekt die bei der Wärmeversorgung über Wärmepumpen entstehende Kälte genutzt. Als Schwierigkeit bei dieser Kopplung von Wärme- und Kälteversorgung wird z. B. die zeitliche und bilanzielle Unausgeglichenheit der Bedarfe gesehen.
In einigen Projekten werden Kältenetze aufgebaut oder zumindest als Ausführungsvariante betrachtet. Durch diese Zentralisierung der Versorgung sollen Effizienzpotentiale gehoben werden. Vor allem in Verbindung mit solchen Netzen können Kältespeicher für eine Optimierung der Kälteversorgung eingesetzt werden. Speicher können je nach Aufgabe sehr unterschiedlich hohe Kapazitäten besitzen. Kleinere Speicher werden in Projekten zur kurzzeitigen Entkopplung von Wärme und Kältebedarfen bei KWKK-Anlagen genutzt. Für saisonale Speicher sind hingegen sehr große Speicherkapazitäten notwendig. Ein Projekt untersucht hierfür die Nutzung alter Bergbauanlagen im Ruhrgebiet.
Relativ viele der im Workshop vertretenen Projekte betrachten industrielle d.h. von der Außentemperatur eher unabhängige Kälteversorgungssysteme. Dazu gehört z. B. auch die Kühlung von Rechenzentren. Hierbei wird von einem Projekt der Einsatz neuer Rechnertypen geprüft, welche höhere Kühltemperaturen erlauben und damit den Energieeinsatz reduzieren. Im Idealfall kann eine freie Kühlung erfolgen.

Diskussionsrunde 2: Welche Erfahrungen gibt es mit durchgeführten Projekten? Was sind Erfolgsfaktoren, Hemmnisse und wo liegt weiterer Forschungsbedarf?

Aus den Erfahrungen der Teilnehmenden des Workshops wurden diverse Faktoren für die erfolgreiche Umsetzung von Kälteprojekten im Quartiers- und Gebäudekontext identifiziert. Kälteversorgung von Gebäuden, in zunehmendem Maße auch von Wohngebäuden, ist mittlerweile häufig ein zusätzliches Argument für die Steigerung der Attraktivität der Immobilie. Dafür muss die Relevanz der Kälteversorgung bei Quartiers- und Gebäudekonzepten und dessen Wechselspiel mit den Bereichen Strom und Wärme betrachtet werden. Ein Gesamtoptimum, das alle Bereiche berücksichtigt, muss angestrebt werden. Dabei ist es auch hilfreich die Kühlung im Planungsprozess frühzeitig zu betrachten, um z. B. Kälteabnehmer in räumlicher Nähe zueinander anordnen zu können und innovative Versorgungskonzepte wie z. B. passive Kühlung berücksichtigen zu können. Passive Kühlung sollte für diesen Zweck auch in Planungstools berücksichtigt werden. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht bieten Kältenetze Potenziale zur Effizienzsteigerung z. B. beim Betrieb von Kompressionskältemaschinen. Als wichtiger Erfolgsfaktor wurde außerdem ein genereller Erfahrungsaustausch zwischen Projekten z. B. der KWKK genannt. Auch eine vertrauensvolle Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis ist wichtig damit sich theoretisches Wissen und praktische Erfahrungen optimal ergänzen. Konkrete wissenschaftliche Unterstützung kann z. B. durch sektorübergreifende Simulation und Analyse erfolgen. Dies ist besonders im Hinblick auf Flexibilisierung von Anlagen und Sektorenkopplung entscheidend. In diesem Bereich wurde generell weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

Hemmnisse aus technischer Sicht sind unter anderem die Messungenauigkeit bei der Erfassung von Kältemengen. Dies wird vor allem mit der üblicherweise relativ geringen Temperaturdifferenz der Vor- und Rücklauftemperaturen im Kältenetz begründet. Auch aus diesem Grund ist es häufig schwierig bzw. sehr aufwändig den Kältebedarf von bestehenden Objekten, als Grundlage für Versorgungskonzepte, zu ermitteln. Auch die Verbrauchsabrechnung gestaltet sich daher schwieriger als bei Wärmeversorgungen. Dem kann z. B. durch neue Abrechnungs- oder Geschäftsmodelle begegnet werden. Bei Bestandsgebäuden erschweren Abweichung von Planungsunterlagen zur realen Ausführung oft die erfolgreiche Projektdurchführung. Beim Aufbau eines Kältenetzes in vorhandene Versorgungsstrukturen können zudem Probleme durch den zusätzlichen Platzbedarf und bestehende technische Vorgaben, wie z. B. Systemtemperaturen, auftreten. Erfahrungen aus anderen Projekten sind häufig nicht einfach nutzbar, da Datenbestände und Strukturen für jedes Projekt individuell sind. Verfügbare energetische, technische und wirtschaftliche Daten sind daher zwischen Projekten oft nicht vergleichbar. Raumkühlung wird von Nutzern deutlich empfindlicher wahrgenommen als Beheizung. Dies kann zu schnellerem negativen Nutzerfeedback führen. Kompetenzen im Bereich Kälteversorgung sind auf Grund der generell geringeren Nutzung häufig, z. B. auf Entscheiderebene, eher mangelhaft. Dies muss bei der Kommunikation und Entscheidungsfindung im Projekt berücksichtigt werden.

Diskussionsrunde 3: Was sind die Trends und zukünftigen Anforderungen?
Als übergeordneter Trend für die Kälteversorgung mit und ohne Kältenetze wurde ein steigender Kältebedarf ausgemacht. Ursachen dafür sind zum einen durch den menschengemachten Klimawandel ansteigende Temperaturen und Wetterextreme und andererseits ein gesteigerter Komfortbedarf auch im Wohnungsbaubereich. Auch eine gesteigerte Individualisierung der Versorgung, was z. B. Systemtemperaturen betrifft, wurde genannt. Die netzgebundene Kälteversorgung ist in Deutschland aktuell noch auf einige wenige Anlagen begrenzt. Eine große Anzahl von Projekten der Workshopbeteiligten beschäftigt sich jedoch mit diesem Thema, was auf einen steigenden Trend hinweist. Kältenetze bieten zudem eine gute Kombinationsmöglichkeit mit der Wärmeversorgung z. B. durch die Nutzung eines gemeinsamen Netzes im Rahmen einer kalten Nahwärme. Elektrisch betriebene Kältemaschinen werden ähnlich wie Wärmepumpen und BHKWs künftig ihren Beitrag zur Sektorkopplung leisten indem sie Flexibilitäten für das Stromnetz bereitstellen.
Die fortschreitende Digitalisierung wird sich vor allem in zwei Bereichen in Bezug auf die Kälteversorgung bemerkbar machen. So wird durch deutlich günstigere Sensorik, Kommunikations- und Regelungstechnik der Betrieb von Kälteversorgungsanlagen effizienter gestaltet werden können. Der durch die Digitalisierung steigende Bedarf an Rechenleistung führt aber auch zu einem entsprechend steigenden Kältebedarf z. B. für Rechenzentren.
Ein großer Trend geht zudem in die Kombination von Wärme- und Kälteversorgung. Vor allem bei zeitnahem Auftreten von Kälte- und Wärmebedarf können z. B. durch die Abwärmenutzung von Kältemaschinen Effizienzpotentiale gehoben werden. Auch die Kombination der Kälteversorgung mit anderen Technologien und die Einbeziehung weiterer in der Umgebung befindlicher Versorgungsobjekte werden im Rahmen der integralen Planung von Konzepten eine immer wichtigere Rolle spielen. Als Kombination von Technologien ist z. B. die Nutzung von lokal erzeugtem PV-Strom zum Antrieb von Kältemaschinen denkbar, da hierbei Leistungsangebot und -nachfrage zeitlich meist gut übereinstimmen. Für die notwendige Koordination bei der energetischen Kopplung mehrerer Versorgungsobjekte im Rahmen einer integralen Planung ist eine übergeordnete Instanz sinnvoll. Denkbar hierfür ist die Position eines vorhandenen Klimamanagers.

Diskussionsrunde 4: Wo liegt weiterer Forschungsbedarf?
Im Gegensatz zur Wärmeversorgung ist der Kältebereich deutlich kleiner, was umgesetzte Energie und auch Forschungsaktivität betrifft. Auf Grund des absehbar steigenden Bedarfs und erhöhten Anforderungen an die Kälteversorgung wurden weitere Forschungsbedarfe identifiziert.
Wissenschaftlich fundierte und detaillierte Analysen sowie Prognosen zur quantitativen Änderung des zukünftigen Kältebedarfs sind aktuell noch nicht verfügbar und in der Branche von großem Interesse. Zu unterscheiden ist dabei, ob der Kältebedarf durch Energieeinsatz oder mit passiven Systemen erfolgen kann, oder ob durch entsprechende Maßnahmen, z. B. bauphysikalische Maßnahmen, komplett auf eine Kälteversorgung verzichtet werden kann.
Grundsätzlich sollten Forschungsergebnisse schneller in die Praxis übertragen werden können. Hierbei dürfen bestehende Regelungen und Normen nicht übermäßig hinder-

lich sein. Der Praxistransfer könnte insbesondere bei der Tool- und Komponentenentwicklung beschleunigt werden. Dabei sollten Tools stets das Gesamtsystem berücksichtigen, um Wechselwirkungen identifizieren und Synergien nutzen zu können. Auch Prognosewerkzeuge für Kältebedarfe werden benötigt, um Anlagen für einen effizienten Betrieb auslegen zu können. Neben der reinen Energieeffizienz besteht weiterhin Forschungsbedarf zur Frage, wie Kältemaschinen zur Sektorkopplung eingesetzt werden können, um Flexibilitäten für den Stromsektor bereitzustellen. Dazu gehört auch die Kombination von Kälteanlagen mit Kälte- oder auch Stromspeichern.
Mögliche Effizienzsteigerungen, die durch die Kopplung von Wärme- und Kälteversorgung entstehen, sollten weiter erforscht werden. Dazu gehört z. B. die zeitliche (saisonale) und räumliche Verschiebung von thermischer Energie. Außerdem ist in gewissen Fällen auch die Nutzung eines gemeinsamen Netzes für die Kälte- und Wärmeversorgung denkbar. Besonders in diesen Fällen ist auch die Weiterentwicklung bestehender Abrechnungskonzepte notwendig.
Forschungsbedarf wird zudem bei der konkreten technologischen Weiterentwicklung von Kälteanlagen gesehen. Das umfasst z. B. die Weiterentwicklung von Erdreichwärmeübertragern in Bezug auf Dichtheit und Übertragungsleistung, sowie die Nutzung alternativer Kältemittel als Ersatz für die, die in naher Zukunft nicht mehr eingesetzt werden dürfen.

Einblick in die Arbeitsphase in den Workshop 5 Versorgungskonzepte mit und ohne Kältenetze: Neue Lösungen und aktuelle Erfahrungen

Impressionen aus der Stadt Detmold

Impression der Gruppenarbeitspahse innerhalb eines Workshops

Impressionen aus der Stadt Detmold

Gemeinsames Resümee der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Workshops

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN
RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E-Mail: begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de
Internet: energiewendebauen.de
Autoren: Wissenschaftliche Begleitforschung

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bildquellen sofern nicht explizit anders angegeben Wissenschaftliche Begleitforschung.

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung.
Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-942789-99-8