

Effiziente Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbe, Handel und Dienstleistung



Fraunhofer ISE
Dr. Doreen Kalz
doreen.kalz@ise.fraunhofer.de

Dr. Wolfgang Kramer
wolfgang.kramer@ise.fraunhofer.de

Dr. Anton Neuhäuser
anton.neuhaeuser@ise.fraunhofer.de

DBFZ
Sven Schmidt
sven.schmidt@dbfz.de

Der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) mit seinem hohen Anteil an Büro- und Produktionsflächen beansprucht rund 16 % (1.354 PJ) des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland [1, Stand 2013]. Fast die Hälfte des Energieeinsatzes entfällt auf die Raumwärme und ein Viertel der Energie wird für mechanische Energie, d. h. in erster Linie für Antriebe, verwendet (*Abbildung 1*). Prozesswärme, Warmwasser und Beleuchtung bilden die restlichen Energieverbrauchsanteile. Für die Klimatisierung des gesamten GHD-Sektors werden nach unterschiedlichen Erhebungen Werte für den jährlichen Endenergiebedarf zwischen 15,0 TW_{end} [2, Stand 2005] und 20,8 TW_{end} [3, Stand 2009] angegeben. Viele Studien prognostizieren weiterhin einen Anstieg des Energiebedarfs für die Gebäudekühlung in Deutschland und auch in Europa. Damit ist der gesamte Bestand an Nichtwohngebäuden in den Nutzungsklassen „Bildung“, „Büro und Verwaltung“, „Gewerbe und Industrie“ und „Handel und Dienstleistung“ für CO₂-Emissionen in Höhe von ca. 155 Mio. t pro Jahr verantwortlich [4].

Zielstellung

Bestehende Studien zum GHD-Sektor gehen davon aus, dass Energieeinsparungen in signifikanter Höhe durch Effizienzsteigerungen bei der Beheizung und Kühlung von Nichtwohngebäuden des GHD-Sektors

erschließbar sind. Durch eine konsequente Bedarfsreduktion und durch eine energieeffiziente Wärme- und Kältebereitstellung wird erwartet, dass sich kumulierte wirtschaftliche Energieeinsparpotenziale in einer Größenordnung von 14 % des gesamten Endenergiebedarfs der Sektoren Industrie und GHD erschließen lassen [5]. Absolut gesehen liegen die größten Potenziale im Bereich der Gebäudetechnik [5]. Beispiele für eine Systemoptimierung und für Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz entlang der gesamten Versorgungskette sind in *Abbildung 2* dargestellt.

Dazu werden im Folgenden ausgewählte Projekte und Ergebnisse vorgestellt:

Effiziente Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden mit Wärmepumpen

Gebäude des GHD-Sektors mit einem reduzierten Leistungs- und Energiebedarf für Heizung und Kühlung ermöglichen den effizienten Einsatz von Umweltwärmequellen und -senken in Kombination mit Wärmepumpen. Flächenheizsysteme, wie Fußboden- oder Betonkerntemperierung, begünstigen den Einsatz von Wärmepumpen, mit denen das vorhandene Temperaturniveau der Wärmequelle auf die notwendige Vorlauftemperatur von 27 bis 32 °C erhöht wird. Im Sommer werden das Erdreich oder das Grundwasser vorrangig direkt als Wärme-

Abbildung 1
Energieverbrauch [PJ] im GHD-Sektor:
Anteile des jeweiligen Anwendungsbereichs [%] am Gesamtbezug
Quelle: [1], Stand Februar 2013

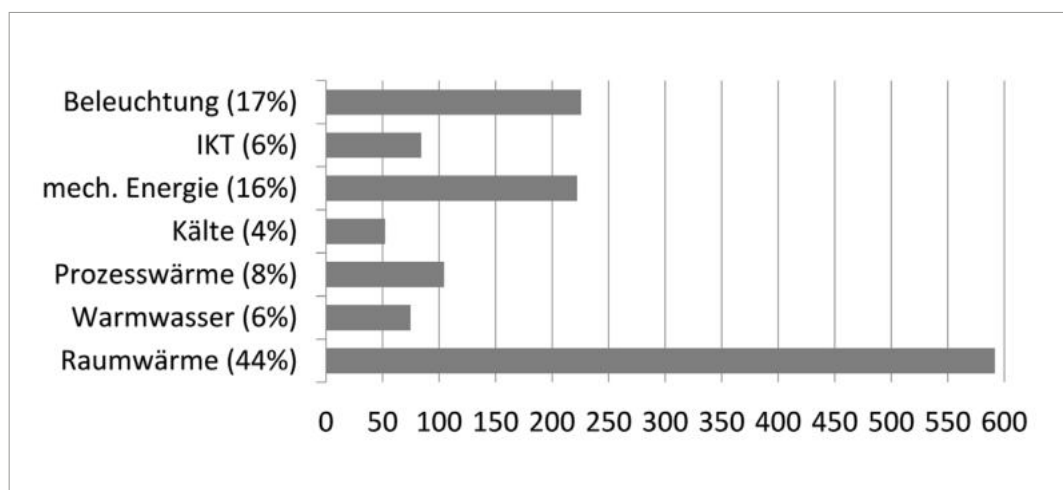
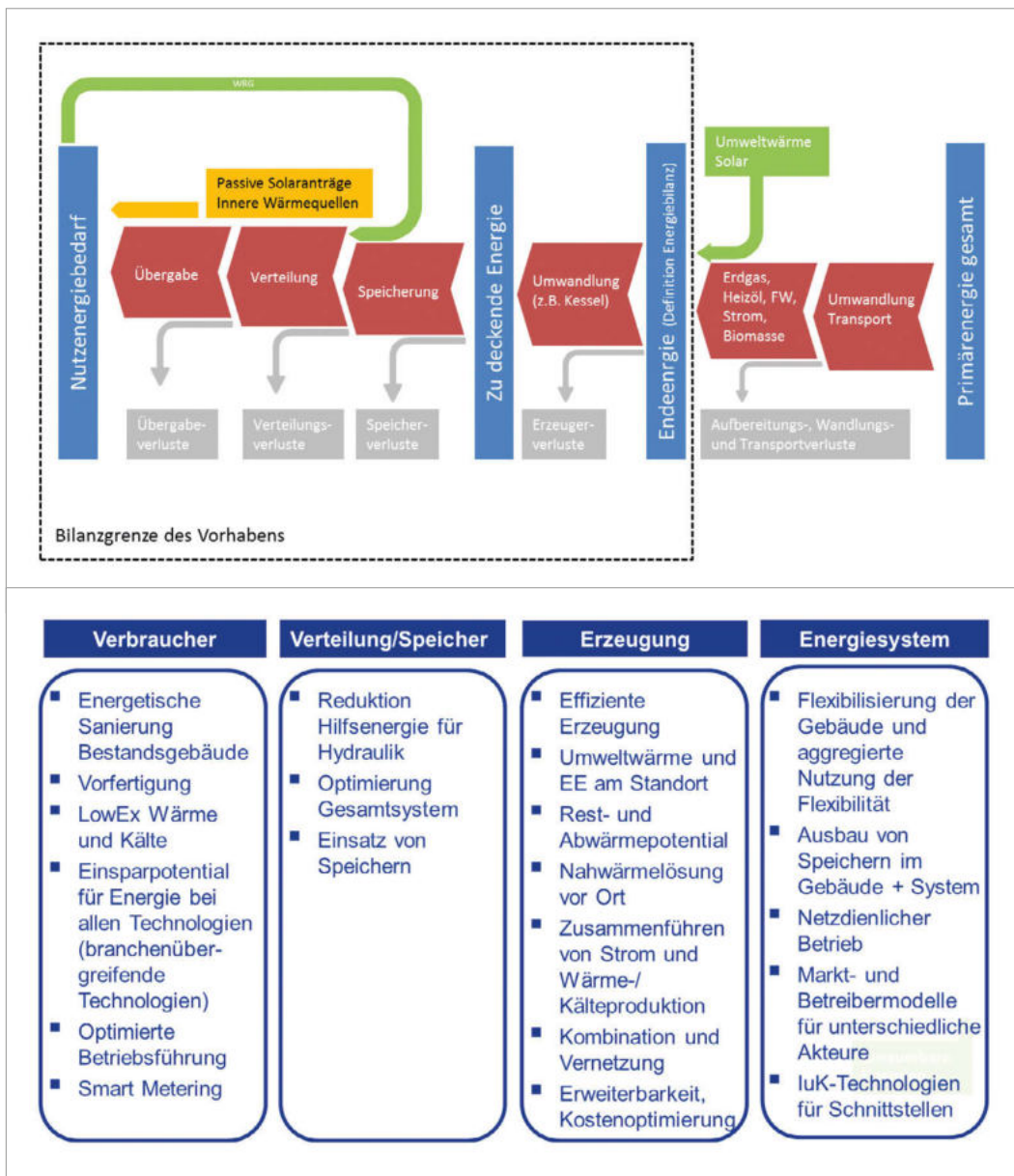


Abbildung 2
Effizienzsteigerung und Systemoptimierung entlang der gesamten Versorgungskette



senke zur Kühlung der Gebäude genutzt. Erfordert das Gebäude und die Nutzung eine erhöhte Kühlleistung, kann Klimakälte auch durch eine reversibel arbeitende Wärmepumpe energieeffizient bereitgestellt werden. Reicht eine Quellenart nicht aus, dann können mehrere Quellen parallel zu einem Verbund betrieben werden.

Auf Basis von mehrjährigen Messkampagnen im Rahmen des Förderprogramms EnOB (Projekte „LowEx-Monitor“ und „Netzreaktive Gebäude“, Förderkennzahlen 0327466B und 03ET1111A) wurde die Energie- und Effizienzperformance sowie das Betriebsverhalten von 17 großen Wärmepumpenanlagen mit einem thermischen Leistungsbereich von

40 bis 300 kW_{therm} bewertet. Für die Wärmepumpenanlagen (Wärmepumpe mit Verdichter und Primärpumpe) wurden Jahresarbeitszahlen von 3,2 bis 6,7 kWh_{therm}/kWh_{el} (Erdreich) bzw. 3,0 kWh_{therm}/kWh_{el} (Grundwasser) erreicht. Die Nutzung von erdreichgekoppelten, reversiblen Wärmepumpen zur Kälteerzeugung stellt ein effizientes und nachhaltiges Konzept zur Gebäudekühlung dar. Auch hier bedingen die relativ hohen Vorlauftemperaturen zur Kühlung von 16 bis 20 °C gute Energieeffizienzen. Messtechnisch wurden in Projekten Jahresarbeitszahlen von 4,8 bis 6,1 kWh_{therm}/kWh_{el} nachgewiesen. Betriebserfahrungen und die systematische wissenschaftliche Auswertung der Projekten zeigt, wie wichtig die richtige Auslegung des Gesamtsystems, eine korrekte

Umsetzung auf der Baustelle und schließlich eine gut abgestimmte Betriebsführung sind, um das hohe Effizienzpotenzial von Energieversorgungskonzepten mit Umweltenergie wirklich auszuschöpfen.

Wichtige Maßnahmen sind unter anderem:

- eine an das Gebäude und die Nutzung angepasste Heiz- und Kühlkurve
- niedrige Vorlauftemperaturen für die Wärmeübertragungssysteme
- Regelung der Volumenströme nach der Temperaturdifferenz
- Anpassung bzw. Optimierung der Betriebszeiten
- Reduzierung des Teillastverhaltens
- Leistungsabstimmung der einzelnen Verbraucher
- geringe Druckverluste im hydraulischen System

Effiziente Wärmeerzeugung mit Solarthermie für Prozesse

Thermische Solaranlagen können in vielen Industrie- und Gewerbebetrieben einen erheblichen Teil des Wärmebedarfs decken. Zur Planung nachhaltiger Anlagen ist branchenspezifisches Know-how entscheidend, weil mögliche Effizienzmaßnahmen und Zukunftsszenarien individuell berücksichtigt werden müssen. Das Fraunhofer ISE arbeitet aktuell an einem Branchenkonzept für die Nutzung solarer Prozesswärme in Wäschereien. Es koordiniert ein Konsortium aus Solarthermie-Industrie, Wäschereibranche, Forschung und Softwareentwicklung. Ziel ist es, Lösungen für eine optimierte und standardisierte solarthermische Unterstützung zu erarbeiten. („Solare Prozesswärme für Wäschereien“, SoProW, Förderung BMUB, Förderkennzahl: 0325999A).

Unter anderem werden folgende Effizienzmaßnahmen geprüft:

- Dampferzeuger: Regelungsoptimierung, Economiser, Vorwärmung Kessel-Zusatzwasser über Rauchgaskondensator (Brennwerttechnik) und/oder Brüden-Kondensator
- Dampfnetz: Isolierung von Rohrleitungen, Prüfung der Kondensat-Ableiter, geschlossene Kondensat-Rückführung (unter Druck), Nachverdampfung zur Erzeugung von Niederdruck-Dampf
- Taktwaschanlage: Vorwärmung Waschwasser durch Abwasser und Mangel-Abluft, Reduzierung der Bearbeitungstemperatur
- Wasch-Schleudermaschinen: Vorwärmung Waschwasser durch Abwasser, Reduzierung der Bearbeitungstemperatur
- Trockner: Dezentrale Beheizung und Gegenstrom-Wärmetauscher zur Vorwärmung der Trocknungsluft mit der Abluft

Nach Umsetzung dieser Effizienzmaßnahmen erscheinen folgende Integrationsstellen für Solarwärme besonders interessant:

- Waschwasser für Wasch-Schleudermaschinen (ca. 25 auf ca. 70 °C)
- Waschwasser für Taktwaschanlage (ca. 40 auf ca. 60 °C)
- Kessel-Zusatzwasser (ca. 70 auf ca. 100 °C)
- Direkte solare Dampferzeugung (Dampftemperaturen zwischen 140 und 200 °C)

Auf Prozessebene wird bei den Wasch-Schleudermaschinen aufgrund ihres Batch-Betriebes oft nur die Abwasser-Wärmerückgewinnung umgesetzt, so dass ein sehr attraktives Temperaturniveau verbleibt. Bei der Taktwaschanlage kann meist in erheblichem Umfang Abwärme genutzt werden. Aufgrund des hohen Wasser- und Energiebedarfs kann aber trotzdem eine geeignete, kontinuierliche Solar-Wärmesenke verbleiben. Auf Versorgungsebene verbleibt in sehr effizienten Betrieben beim Kessel-Zusatzwasser teils nur noch ein relativ geringer Wärmebedarf auf für stationäre Kollektoren vergleichsweise hohem Temperaturniveau. Je nach Standort ist dort die Dampferzeugung mit fokussierenden, nachgeführten Kollektoren zu prüfen. Wenn das Dampfnetz generell nicht zur Disposition steht, bietet diese Einbindungsart die höchste Zukunftssicherheit, weil sich Änderungen an einzelnen Prozessen kaum auf den Solarertrag auswirken.

Effiziente Wärmeerzeugung mit Biomasse

Der Einsatz von Biomasse zur effizienten Wärmebereitstellung konnte sich in den letzten Jahren auch im GHD-Sektor erfolgreich etablieren. Die vielfältigen Vorteile wie hohe Flexibilität, gute Speicherbarkeit und dezentrale Anwendung machen die Biomasse zum idealen Partner im erneuerbaren Energiemix der Zukunft und können zu einem klimafreundlichen Wärmemarkt beitragen. Forschungen im Bereich zukunftsweisender, effizienter, kostengünstiger und praxisorientierter Technologien stehen hierbei im Vordergrund. Aktuell wird ein Großteil der erneuerbaren Wärme mit Holzfeuerungen kleiner und mittlerer Leistung gewonnen. Hierbei kommen vor allem Technologien wie Scheitholzvergaserkessel, Holzhackschnitzel- und Pelletkessel zum Einsatz.

Um die Technologie von Konversionsanlagen und deren Zusammenhänge zu optimieren, befasst sich das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ), insbesondere der Bereich der thermo-chemischen Konversion mit der Anlagentechnologie und dessen Regelungsalgorithmen, der Modifikation von Fest-

brennstoffen sowie der Rauchgasreinigung und der Systemeinbindung. Beispielsweise wurden im Rahmen des BioMaxEff-Projektes kostengünstige Pelletkessel mit höchster Effizienz und niedrigsten Emissionen für unterschiedliche Gebäudetypen in einem Verbundprojekt sieben ausgewählter europäischer Länder entwickelt, unter Laborbedingungen getestet und im Feld untersucht [7].

Neben der Wärmeproduktion mit reinen Feuerungsanlagen ist die Kopplung vom Strom- und Wärmeproduktion ein wichtiger Bestandteil aktueller Forschungsvorhaben. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass mit einer Stromproduktion auch mögliche Nutzwärme anfällt. Um Strom und Wärme bedarfsgerecht bereitzustellen werden zwei mögliche Technologien verfolgt:

- **KWK-Technologie:** Hier werden Strom- und Wärme durch eine einzelne Anlage erzeugt (Gasturbine, Dampfturbine, Diesel- oder Gasmotor, Dampfmotor, ORC-Anlage).
- **Vernetzung mehrerer Bioenergiebereitsteller:** Vor allem in größeren Objektversorgungen kann es sinnvoll sein, Erzeugeranlagen für eine bedarfsgerechte Energiebereitstellung zu kombinieren und zu einem Gesamtkonzept zu vernetzen. Als Beispiel sei hier die Kombination eines Pelletkessels mit einer Brennstoffzelle genannt. Beide Erzeugeranlagen besitzen sehr hohe Wirkungsgrade und sind in der Lage, Wärme bzw. Strom bedarfsgerecht bereitzustellen. (Eine am DBFZ befindliche kommerzielle Brennstoffzelle hat einen elektrischen Wirkungsgrad von ca. 60 % und einen thermischen Wirkungsgrad von ca. 25 %. Pelletkessel besitzen in der Regel Wirkungsgrade von über 80 % [8], [9]).

Die von der Brennstoffzelle produzierte Wärme kann dazu genutzt werden, die Start-/Stopp-Zyklen des Pelletkessels an den Übergangstagen im Frühjahr und Herbst zu reduzieren oder sogar komplett zu vermeiden. Hierdurch würde der Jahresnutzungsgrad des Pelletkessels gesteigert und die Abgasemissionen erheblich gesenkt werden. Durch die Kombination dieser beiden Erzeugeranlagen könnten Strom und Wärme bedarfsgerecht, effizient und beim Einsatz von erneuerbar gewonnenen Wasserstoff zu 100 % erneuerbar bereitgestellt werden.

Einsatz von Kaltwasserspeichern

Mit dem Einsatz von Kaltwasserspeichern sind viele Vorteile in energetischer, ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht erschließbar. Dies

wurde in einem Pilotprojekt nachgewiesen, welches seit 2007 erfolgreich betrieben wird [6]. Bisher sind keine dezentralen Kaltwasserspeicher mittlerer Größe im oder am Gebäude errichtet worden. Dies wurde erstmals im Laborgebäude des Fraunhofer ISE umgesetzt. Die Integration des großen Kaltwasserspeichers stellte viele Herausforderungen an die Gebäudearchitektur, die Dimensionierung, Errichtung und Abdichtung des Speichers sowie den Betrieb des Gesamtversorgungssystems. Für das Laborgebäude sollen die typischerweise im Gewerbebau eingesetzten Wärme- und Kälteversorgungssysteme auf Hoch- bzw. Niedertemperatur durch ein System mit niedrigem Exergieinsatz ersetzt werden, bei dem die Versorgungstemperaturen nahe an den gewünschten Raumtemperaturen liegen. Durch den kleineren Temperaturhub kann die Effizienz der Kühlprozesse deutlich verbessert werden. Am Standort kann aufgrund der Nutzung oberflächennaher Geothermie durch Nachbargebäude ausschließlich Außenluft als Umweltwärmesenke für die Kältebereitstellung genutzt werden.

Im Mittelpunkt des Energieversorgungskonzeptes steht eine hocheffiziente Wärmepumpe mit magnetgelagerten Turboverdichtern, die gleichzeitig Wärme und Kälte erzeugt. Als Wärmesenke steht ein großer, unterirdischer Kaltwasserspeicher mit einem Volumen von 500 m³ zur Verfügung, der Prozesse und Klimaanlage mit Hochtemperaturkälte in einem Temperaturbereich von 16 bis 22 °C versorgt. Der Speicher wird zum einen durch Außenluft, zum anderen durch das unter dem Speicher anstehende Erdreich und Grundwasser rückgekühlt („LowEx-Bestandsgewerbebauten“, BMWi, Förderkennzeichen 03ET1035A).

Netzdienlicher Betrieb von Gebäuden und Liegenschaften

Die fortschreitende Umstellung des deutschen Energiesystems auf erneuerbare Energien bringt es mit sich, dass zu bestimmten Zeiten Strom aus regenerativen Quellen im Überfluss vorhanden sein wird, wohingegen zu anderen Zeiten der Strom emissionsbelastet mit fossilen Spitzenlastkraftwerken erzeugt werden muss. Da Strom im Gegensatz zu anderen Energieformen nur schwierig speicherbar ist, müssen Stromerzeugung und Stromverbrauch zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht sein. Um dies zu gewährleisten, stehen verschiedene technische Maßnahmen – sogenannte Flexibilitätsoptionen – zur Verfügung, die den Ausgleich von „zu viel“ und „zu wenig“ Strom liefern.

Unter „Lastmanagement“ (demand-response) versteht man die Änderung des zeitlichen Verlaufs des Strombezuges von Endverbrauchern als Reaktion auf ein Preissignal oder andere Anreizmechanismen. In einem Projekt des Fraunhofer ISE wird untersucht wie Gebäude, die Strom zur Wärme- und Kälteerzeugung nutzen (z. B. mit elektrischen Wärmepumpen oder Kältemaschinen) oder regelbar Strom produzieren (z. B. mit Anlagen in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)), zum Lastmanagement genutzt werden und somit zur Flexibilisierung des Energiesystems beitragen können („Netzreaktive Gebäude“, Förderung BMWi, Förderkennzahl 03ET1111A).

Unter „Flexibilitätsoption“ werden Maßnahmen zusammengefasst, um kurzfristig auf Schwankungen in der Stromproduktion oder Stromnachfrage zu reagieren. Dazu zählen:

- flexibilisierte und bedarfsorientiert betriebene konventionelle Kraftwerke und KWK-Anlagen
- Energieumwandlungsprozesse wie Power-to-Gas oder Power-to-Liquid
- bedarfsgerechte Erzeugung aus erneuerbaren Energien (z. B. Einspeisemanagement von Windkraft- und PV-Anlagen, stromgeführte Fahrweise von Biomasseanlagen)
- Lastmanagement (z. B. abschaltbare Lasten in Haushalt, Gewerbe und Industrie)

Die jeweiligen Flexibilitätsoptionen weisen unterschiedliche Eigenschaften auf, z. B.:

- positive und negative bereitstellbare Ausgleichsleistung
- Abrufgeschwindigkeit
- saisonale Verfügbarkeit und Ausbaupotenzial

Heute nehmen Flexibilitätsoptionen z. B. über die Regelleistungsmärkte oder die Strombörse EEX am Energiemarkt teil.

Zusammenfassung

Für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbe, Handel und Dienstleistung sind u. a. folgende Maßnahmen erforderlich:

- Maßnahmen für **Effizienzsteigerung**: hohes Potenzial über die gesamte Versorgungskette erschließen
- Integrierte Konzepte **Gebäudehülle**: Integration Haustechnik, Integration aktive Solarwandler, hohes Maß an Vorfertigung anstreben
- **Wärme- und Kälteversorgung**: Konzepte mit niedrigem Exergieinsatz machbar, Synergien zwischen Prozess- und Gebäudeversorgung nutzen

- **Wärmeerzeugung**: Nutzung von Umweltwärme und Abwärme in Kombination mit Wärmepumpen, Einsatz von Solarthermie und Biomasse
- **Speicher**: Integration von Speichern mit hoher Speicherkapazität und -leistung in Bestandsgebäuden
- **Energiemanagement**: Betriebsoptimierung, Fehlererkennung und Qualitätssicherung im Betrieb und
- Optimierung des **Gesamtsystems** mit ganzheitlichen Ansätzen

Referenzen

- [1] BMWi Zahlen und Fakten Energiedaten, Stand Februar 2013. <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/energiedaten.html>
- [2] Schlesinger M (2010) Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- [3] Bettgenhäuser K et al. (2011) Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. www.uba.de/uba-info-medien/3979.html
- [4] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS: Systematische Datenanalyse im Bereich der Nicht-Wohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation 27/2013.
- [5] Schmid et. al (2003) Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch. Im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes.
- [6] http://www-user.tu-chemnitz.de/~tur/ks2/pilotpr_ks.htm
- [7] BioMaxEff: Kostengünstige Pelletkessel mit höchster Effizienz und niedrigsten Emissionen, <https://www.dbfz.de/forschung/referenzprojekte/biomaxeff-kostenguenstige-pelletkessel-mit-hoechster-effizienz-und-niedrigsten-emissionen.html>, letzter Zugriff: 22.03.2016
- [8] D. BÜCHNER ; DR. J. V. SONNTAG: BioMaxEff: Kostengünstige Pelletkessel mit höchster Effizienz und niedrigsten Emissionen. Leipzig, 2014
- [9] SVEN SCHMIDT: Untersuchung zur flexiblen Strombereitstellung durch eine Brennstoffzelle, DBFZ Jahrestagung 2014, Leipzig, 1.–2. Okt. 2014