

Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung, Effizienzpotentiale, sowie hemmende Faktoren für den Einsatz von effizienter Kältetechnologie im GHD-Sektor und bei milchproduzierenden Betrieben in Deutschland in der Periode 2008 - 2020

Felix Reitze

Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Schönfeldstraße 8, 76131 Karlsruhe, Deutschland, Telefon: +49 721-9152636 24, Fax: +49 721 9152636 11, Email: F.Reitze@irees.de, Homepage: www.irees.de

Kurzfassung:

Diese Analyse modelliert, - neben einer systematischen Zusammenschau des Prozesskältebedarfs bzw. des entsprechenden Strombedarfs für die Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungs-Sektoren (GHD) - den zukünftigen Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung des deutschen GHD-Sektors als Referenz-Szenario bis zum Jahr 2020. Der berechnete Prozesskältebedarf der Referenzentwicklung wurde in einem zweiten Schritt für acht Subbranchen technologiespezifisch in die drei Temperaturbereiche 1) -196 bis -30 °C, 2) -30 bis 0 °C und 3) 0 bis 15 °C unterteilt. Der gesamte Bereich der Gebäude-Klimatisierung im GHD-Sektor und des Transports war dabei von der Analyse und der Projektion ausgenommen, sodass nur der Endenergiebedarf von stationären Prozess-Kälteanlagen in die Betrachtungen eingeflossen ist.

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels, der veränderten Lebensführung im modernen Alltag und den zunehmenden Komfortansprüchen der Menschen wurde anhand der Berechnungen mit diesem sektoralen Bottom-up-Modell ein steigender Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung innerhalb des GHD-Sektors für die Periode 2008 - 2020 von 19,4 TWh/a auf rund 22 TWh/a ermittelt. (+ 13 %). Der größte Anteil davon entfiel mit ca. 49 – 56 % (rd. 11 TWh/a) während der gesamten Untersuchungsperiode auf die Subbranche *Handel (Einzel- und Großhandel)*.

Keywords:

Prozesskältebedarf, Effizienzpotentiale, Hemmnisse, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD)

1 Problemstellung

Der Endenergieverbrauch Deutschlands lag im Jahr 2010 nach Angabe der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. bei rund 2.510 TWh (oder 9.050 PJ) Endenergie (AGEB, 2011). Im Jahr 2010 entfielen auf den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) mit 1.373 PJ gut 15 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland (AGEB, 2011). Obwohl die Raumheizung und Raumlüftung (inklusive der Klimatisierung) in den meisten Subsektoren des GHD-Sektors den größeren Anteil am Endenergiebedarf ausmacht, ist in einigen Subsektoren auch der Prozesskältebedarf erheblich. Gleichzeitig werden in diesem Sektor große Energieeffizienz-Potentiale gesehen (Schlomann *et al.*, 2011). Die unzureichende Erfassung dieses Sektors im Rahmen der amtlichen Energiestatistik erschwert die energiewirtschaftliche und umweltpolitische Berichterstattung an internationale Organisationen (z.B. UNFCCC) und schränkt die Basis für energiewirtschaftliche Bewertungen und Prognosen sowie Wirkungsanalysen von energiepolitischen Entscheidungen noch immer erheblich ein (Schlomann *et al.*, 2011).

Laut VDMA (2011) wurden im Jahr 2009 in Deutschland insgesamt etwa 83,4 TWh Energie für den Antrieb von Kältemaschinen jeglicher Art verbraucht. Davon waren 70,4 TWh elektrische Energie, d.h. knapp 16 % des gesamten Strombedarfs Deutschlands. Auf den GHD-Sektor entfielen im Jahr 2009 mit knapp 30 TWh (Prozesskälte + Klimatisierungskälte) rund 36 % des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland, der zur Kälteerzeugung eingesetzt wurde - davon ca. 0,1 TWh nicht elektrische Energie (meist Fernwärme; VDMA (2010). Die Kältetechnik ist laut Schäfer (2012) daher generell ein bedeutender Faktor im Energiehaushalt von Deutschland.

Die derzeit verfügbaren Daten zum Kältebedarf der einzelnen Branchen im GHD-Sektor und deren Energiebedarf sind heute noch zu gering, um ein hinreichend detailliertes Bild der aktuellen oder der zukünftigen Situation des Kältebedarfes erstellen zu können. Beim Kältebedarf im GHD-Sektor liegt prinzipiell der Einzel- und Großhandel (inklusive der Klimatisierungskälte) mit etwa 4,3 TWh pro Jahr an der Spitze (nur strombasiert), gefolgt von der Gastronomie mit 3 TWh pro Jahr (Schlomann *et al.*, 2011 & 2012).

Die technische und akteursspezifische Komplexität des Kältebereichs erfordert daher angepasste Maßnahmen, um zu wirksamen und zugleich ökonomisch günstigsten Verbesserungen hin zu der angestrebten Reduktion von CO₂-Emissionen zu gelangen. Unterschiedliche Ansätze stehen zur Verfügung wie die Reduktion des Endenergiebedarfs (z.B. verbesserte Regelung von Prozessen), die Erhöhung der Energieeffizienz (z.B. Abwärmennutzung) oder der verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien zur Bedarfsdeckung.

Energieeffizienzverbesserungen bei den Kälteanlagen und Kühlmöbeln des GHD-Sektors sind sowohl aus maschinentechnischen und regelungstechnischen Gesichtspunkten als auch aus der Perspektive der richtigen Aufstellung, Nutzung und regelmäßigen Wartung der Anlagen äußerst vielfältig (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2010); das Energieeffizienzpotential liegt nach Aussage von Branchenexperten – je nach Technik, Installation und Betrieb – zwischen 10 % und 40 %. Es gibt jedoch auch Ansichten nach denen das Effizienzpotential bei der Gewerbekälte bei 60 % liegt; die durchschnittliche Energieeffizienzoption im GHD-Sektor könnte heute somit bei ungefähr 35 % liegen (Schwarz, 2012).

Schließlich sind rentable Energieeffizienz- und Substitutions-Investitionen durch zahlreiche Hemmnisse und branchenübergreifende Faktoren (Bürger *et al.*, 2012) blockiert und machen daher eine technik- und aktorsgruppen-spezifische Energie- und Innovationspolitik erforderlich. Derartige Hemmnisse sind z.B.

- die Befürchtung der negativen Beeinflussung der Produktqualität,
- fehlende Kenntnisse und fehlender Marktüberblick zu Investitionsoprionen und Betrieb kältetechnischer Anlagen,
- auf das Investitionsrisiko statt auf die Rentabilität abgestellte Entscheidungsrountinen, finanzielle Restriktionen,
- Scheu vor Fremdkapital-Aufnahme und hohe Planungsunsicherheiten oder
- vermeintliche Wettbewerbsvor- bzw. -nachteile (Gruber *et al.*, 1994).

Selbst bei einer Verminderung der bestehenden Hemmnisse, in hocheffiziente Kältesysteme zu investieren und sie sachgerecht zu betreiben, ist es ein Frage, inwieweit eine Reihe von Faktoren wie z.B. zunehmende Komfortansprüche der jeweiligen Nutzergruppen, verstärkte Auflagen der Gewerbeaufsicht, die weiter fortschreitende Ausbreitung von Verkaufsautomaten oder von EDV-Technologien sowie die veränderten Koch- und Essgewohnheiten (z.B. die weitere Marktdiffusion von Fertig- und Tiefkühlprodukten, der Trend zum Fast Food bzw. Convenience Food) bis Ende dieses Jahrzehnts zu einem Anstieg des Endenergiebedarfs für Kälteanwendungen im GHD-Sektors führen werden.

2 Methodik

Ausgehend von dem Basisjahr 2008 wurde für ein Referenz-Szenario die Entwicklung des Endenergiebedarfs zur Prozesskälteerzeugung bis zum Jahr 2020 mit Hilfe eines quantitativen Bottom-Up-Modells modelliert. In dem entwickelnden technologie- und branchenorientierten Ansatz (Böhringer & Rutherford, 2008; Herbst *et al.*, 2012) wurden nach Möglichkeit folgende Einflüsse berücksichtigt:

- die technischen und aktorspezifischen Komplexität des Kältesektors in ihren verschiedenen Anwendungen (z.B. nach der Nutzungsart und entsprechenden Temperaturen),
- die technisch-wirtschaftlichen Effizienzpotentiale der Kälteerzeugung und -nutzung sowie
- die bestehenden wesentlichen hemmenden Faktoren bezüglich des Einsatzes von Effizienztechnologien im Kältebereich des GHD-Sektors.

Auf Basis der „Integrierten Wärme- und Kältestrategie Deutschland“ (2012) wurden sowohl die allgemeinen Rahmenbedingungen, wie Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung, für die Modellrechnung übernommen, als auch sektoren- bzw. technologiespezifische Einflussfaktoren (Entwicklung der Beschäftigten nach Branchen, Entwicklung der Unternehmenszahlen, Entwicklung der Bruttowertschöpfung) für den Energiebedarf untersucht. Zur Ableitung der externen Einflussfaktoren wurden dabei öffentlich verfügbare Statistiken und Studien herangezogen und deren Ergebnisse für die Modellrechnung aufbereitet.

Als Haupttreiber für den Energieverbrauch wurde bis 2020 die Beschäftigungsentwicklung der untersuchten Branchen auf der Basis der Annahmen der Studie „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (Entwicklung Erwerbstätige) (Schlesinger *et al.*, 2010) berechnet.

Die Aufteilung des deutschen GHD-Sektors erfolgte in Anlehnung an die Klassifikation der Studie „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010“ (Schloman *et al.*, 2011) sowie nach der nationalen Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) bzw. der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft, der sogenannten NACE-Klassifizierung (Rev. 2.0) (Destatis, 2008).

Der GHD-Sektor wurde insgesamt in diejenigen acht Subsektoren aufgegliedert, für die ein merklicher Kältebedarf im Bereich der Prozesse in Deutschland identifiziert werden konnte (Kranzl *et al.*, 2012). Die Schwerpunktauswahl der Branchen des GHD-Sektors für den Prozesskältebereich wurde anhand der differenzierten Anwendungsbilanz des GHD-Sektors (AGEB, 2011), eigener Untersuchungen sowie einer umfassenden Literaturlauswertung getroffen. Unter den GHD-Sektor werden in der vorliegenden Masterarbeit auch die Gewächshäuser sowie die Milch produzierenden landwirtschaftlichen Betriebe mit ihrem Kältebedarf gezählt. In den Bereichen Herstellungsgewerbe/Handwerk, Handel und Landwirtschaft ist die Analyse in diesem Zusammenhang auf spezielle Sparten begrenzt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Betrachtete prozesskälte-intensive Branchen des GHD-Sektors sowie deren energiebedarfsbestimmenden Größen

Branche	Tiefere Branchengliederung	Haupttreiber des Energiebedarfs	Zusätzliche Einflussfaktoren
Baugewerbe WZ 41 & WZ 42	Bodenvereisung Zuschlag- bzw. Betonkühlung	Beschäftigung	Bruttowertschöpfung (1000 €), produzierte Zementmenge
Herstellungsgewerbe/Handwerk WZ 10.71 & WZ 10.13	Bäckerhandwerk Fleischerhandwerk	Beschäftigung	Verarbeitete Menge Mehl (kg) bzw. Fleisch (kg), Kühlhausfläche in m ² , Anzahl Betriebe, Bevölkerung
Gastgewerbe WZ 55 & WZ 56	Beherbergung Gastronomie	Beschäftigung	Anzahl ausgegebener Mahlzeiten, Anzahl der Sitzplätze bzw. Besucher, Anzahl der Betriebe
Handel WZ 47.11, WZ 47.2, WZ 47.73, WZ 47.76, WZ 46.22, WZ 46.23 & WZ 46.3	Einzelhandel Großhandel	Beschäftigung	Laufmeter bzw. Displayflächen von Kühltruhen und -regalen (m ²), Anzahl der Betriebe
Gesundheit WZ 86.1, WZ 86.10.3, WZ 87 & WZ 87.3	Krankenhäuser Vorsorge- oder Rehabilitations- Einrichtungen	Beschäftigung	aufgestellte Betten, Anzahl der Einrichtungen, Anzahl der med.-techn. Großgeräte, Anzahl Blutspenden
Erziehung und Unterricht WZ 85, WZ 85.42.1 & WZ 85.42.2	Keine	Schüler/Studenten	keine
Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei WZ 85, WZ 85.42.1 & WZ 85.42.2	Gartenbau Milcherzeugung	Gewächshausfläche (ha) Milchleistung (kg)	keine

<p>Restliche Branchen (GHD) WZ 11.05, WZ 11.06, WZ 86.2, WZ 86.9, WZ 93.11, WZ 44.22, WZ 47.99.9, WZ 52.10, WZ 1.21, WZ 1.27, & WZ 91.04</p>	<p>Blutspendewesen, Pathologie, freie Arztpraxen, Tierarztpraxen, Eisstadien bzw. Eisbahnen, Schneekanonen, Haus- und Gaststättenbrauereien, Gewerbe-Kühlhäuser, gekühlte Verpflegungsautomaten, Kühl- und Gefriergeräte in Arbeitsstätten, technische Sonderanwendungen, Kryotechnik, usw.</p>	<p>Beschäftigung, etc.</p>	<p>Anzahl Blutspender, Bevölkerungsentwicklung, Anzahl freier Arztpraxen und Tierarztpraxen, Anzahl Eisbahnen und Eisstadien, beschneite Fläche der Skipisten in Deutschland, Anzahl der Haus- und Gaststättenbrauereien, gekühltes Lagervolumen, Anzahl gekühlte Verpflegungsautomaten</p>
--	---	----------------------------	---

Quelle: verändert nach Herbst *et al.*, 2011; Destatis, 2011

Des Weiteren existiert eine ganze Reihe von branchenübergreifenden kältetechnischen Anwendungen bzw. Sonderanwendungen (Kühlhäuser, gekühlte Verpflegungsautomaten, etc.), die ebenfalls einen gewissen Prozesskältebedarf besitzen. Diese Anwendungen können nicht einem einzigen Subsektor des GHD-Sektors zugewiesen werden, sondern gelangen in mehreren bzw. gar allen Subsektoren in der gleichen Art und Weise zur Anwendung. Etliche Subsektoren des GHD-Sektors weisen nach Schlomann *et al.*, (2011) bzw. VDMA (2011) keinen substantiellen *Prozesskältebedarf* auf (z.B. „Wäschereien“ [WZ 96.01], „Instandhaltung und Reparatur v. Kraftwagen“ [WZ 45], etc.) und wurden daher in dieser Arbeit nicht näher betrachtet. Der gesamte Energiebedarf des Segmentes „*Transportkälte*“ (Logistik, Straßen- und Schienenfahrzeuge, mobile Verkaufsstände, Luftfahrzeuge bzw -fracht, Binnen- und Seeschiffe, gewerbliche Kühlboxen, mobile Mietkältesysteme und Container), der Kältebedarf in öffentlichen und privaten Transportmitteln sowie der Bereich „*Klimakälte*“ wurde ausgegliedert und keine eigenen Betrachtungen dazu durchgeführt (Holzmann, 2012).

Zunächst wurde der absolute Kälteenergiebedarf der einzelnen Branchen sowie der speziellen Sparten im Basisjahr 2008 bestimmt. Die Kalibrierung des Prozesskältebedarfs in 2008 basiert u.a. auf der Studie „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010“ (Schlomann *et al.*, 2011 & 2012), der VDMA-Berichte zum Kältemarkt in Deutschland (VDMA, 2009 & 2011), der Studie „Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte“ (DKV, 2002) sowie auf Expertenschätzungen. Anhand der in den einzelnen Branchen eingesetzten typischen Kältetechnologien erfolgt eine prozentuale Aufteilung des absoluten Prozesskältebedarfes (Endenergiebedarf zur Kälteerzeugung) auf *drei gängige Temperaturniveaus*¹ (vgl. Tabelle 2).

Ausgehend vom Basisjahr wurde der prozentuale Anteil der einzelnen Branchen bzw. Sparten des GHD-Sektors an den verschiedenen Temperaturniveaus bis 2020 in Abhängigkeit von der Entwicklung des Endenergiebedarfes der jeweiligen Branche sowie des erwarteten Arbeitsproduktivitäts- als auch des Energieeffizienzfortschrittes der Kältetechnik modelliert (Kranzl *et al.*, 2012) (vgl. Formel (1) nachfolgend).

¹ *Normalkühlung (NK)*: Kühltemperaturbereich über 0 °C, *Tiefkühlung (TK)*: Kühltemperaturbereich < 0 °C

$$PKB_{i,n,t} = AT_{i,n,t} + EEB_{i,t} \quad (1)$$

$PKB_{i,n,t}$ Energiebedarf für Prozesskälte im Temperaturniveau n der Branche i im Jahr t

$AT_{i,n,t}$ Anteil des Energiebedarfs für Prozesskälte im Temperaturniveau n der Branche i am Endenergiebedarf der Branche i im Jahr t in Prozent

$EEB_{i,t}$ Endenergiebedarf der Branche i im Jahr t

Durch Summierung über die drei Temperaturbereiche n erhält man dann den Endenergiebedarf für die Prozesskälte-Erzeugung $PKB_{i,t}$ für jede einzelne Branche.

Tabelle 2: Temperaturniveaus und Einsatzbereiche der Kältetechnik im Gewerbe-Sektor

Nr.	Temperaturniveau	Einsatzbereich
1	-196 °C bis -30 °C	technische Spezialanwendungen, Luftzerlegung, Erzeugung technischer Gase, Medizintechnik, Biologie, Kryomedizin, Laboratorien, Wehrtechnik, Schnellgefrieren, Kühlung von elektronischen Bauteilen, ...
2	-30 °C bis 0 °C	Gefrierprozesse bei Kaltlagerung sensibler Produkte, Verkauf bzw. Transport, ...
3	0 °C bis 15 °C	Kühllagerung sensibler Erzeugnisse (Lebensmitteln, pharmazeutische Produkte), Klimatisierung, Anlagen-Kühlung, ...

Quelle: eigene Darstellung (Reitze, 2012)

3 Ergebnisse

Unter den gegebenen Rahmenbedingungen besteht 2008 im GHD-Sektor in Deutschland bereits im Falle des *Referenz-Szenarios* ein stattlicher Endenergiebedarf von 19,4 TWh, der zur Deckung des anfallenden Prozesskältebedarfs in verschiedensten Subbranchen des GHD-Sektors notwendig ist (vgl. Tabelle 3). Dieser Endenergiebetrag entspricht einem Anteil von 1,7 % vom gesamten Endenergiebedarf (ca. 1.111 TWh) des GHD-Sektors in Deutschland bzw. 14,3 % des Strombedarfs (ca. 135 TWh) (AG Energiebilanzen, 2011 & 2012).

Die Subbranche Handel (Einzel- und Großhandel) hat mit insgesamt ca. 49 – 56 % (d.h. rd. 11 TWh/a) während der gesamten Untersuchungsperiode den jeweils größten Anteil am Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung des GHD-Sektors in Deutschland (vgl. Tabelle 3). Innerhalb der Subbranche Handel (Einzel- und Großhandel) handelt es sich beim Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung zu mehr als 98 % um einen Strombedarf, während die Wärmenutzung mit Sorptionsanlagen derzeit in Deutschland noch eher die Ausnahme darstellt. Das *Gastgewerbe* mit den Beherbergungs- und Gastronomie-Betrieben weist einen ebenfalls erheblichen Prozesskältebedarf von 2,5 TWh (2008) bzw. einen Anstieg um 37 %

auf 3,5 TWh im Jahr 2020 auf. Die Subbranche Erziehung und Unterricht weist mit 240-430 GWh/a zusammen mit dem Baugewerbe (7-8 GWh/a) den geringsten Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung in Deutschland auf (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Entwicklung des Endenergiebedarfs zur Prozesskälteerzeugung im GHD-Sektor von Deutschland nach Subbranchen in den Jahren 2008 – 2020

Nr.	Branche	Endenergiebedarf in TWh/a			CAGR 2020 / 2008	Δ 2020/ 2008
		2008	2015	2020		
5	Handel	10,8	10,8	10,7	-0,1%	-1%
4	Gastgewerbe	2,5	3,1	3,5	2,7%	37%
9	Rest des GHD-Sektors	1,6	1,8	2,1	2,4%	34%
10	Branchenübergreifende Anwendungen sowie Sonderanwendungen	1,5	1,8	2,0	2,7%	38%
2	Herstellungsgewerbe / Handwerk	1,4	1,5	1,5	0,1%	1%
6	Gesundheit	0,8	1,1	1,3	4,1%	62%
7	Landwirtschaft	0,6	0,6	0,6	-0,5%	-6%
8	Erziehung und Unterricht	0,2	0,3	0,4	5,0%	79%
1	Baugewerbe	0,008	0,008	0,007	-0,9%	-10%
Summe Nr. 1-10		19,4	20,9	22,0	1,0%	13%
Summe Nr. 1-8 (exklusive Nr. 9-10)		16,4	17,3	17,9	0,7%	9%
Summe Nr. 9-10		3,0	3,6	4,1	2,6%	36%

Quelle: eigene Darstellung (Reitze, 2012)

Aufgrund der schnellen Alterung in der demographischen Entwicklung in Deutschland weist die Subbranche Gesundheit (Krankenhäuser, Rehabilitationseinrichtungen sowie Alten- und Pflegeheime) beim Bedarf an Prozesskälte über die Untersuchungsperiode ein relativ großes Wachstum auf (+62 %). Darin enthalten sind u.a. die gesamten Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen, die selbst beim Endenergiebedarf zur Prozesskälteerzeugung eine Steigerung um 129 Prozent bis 2020 aufweisen.

Die Temperaturverteilung auf die drei definierten Niveaus bleibt nach den Annahmen dieser Untersuchung über die gesamte Untersuchungsperiode konstant. Knapp 70 % des Prozesskältebedarfes fallen dabei im NK-Bereich (0 °C bis 15 °C) und 30 % im TK-Bereich (- 30 °C bis 0 °C) sowie nur gut 1 % im Tieftemperaturbereich (-196 °C bis -30 °C) an.

3.1 Energieeffizienzpotentiale und bestehende Hemmnisse

Am Anfang aller Energieeffizienzbemühungen sollte das Vermeiden eines unnötigen Kältebedarfs stehen. Darunter ist derjenige Kältebedarf zu verstehen, der für den Anwender keinen Nutzen bringt. Im Bereich der Kältebereitstellung ist zwar die kontinuierliche Weiterentwicklung der Anlageneffizienz zu beobachten, die sich mehr oder weniger am Markt etabliert. Generell sollte nicht nur auf Effizienz, sondern bereits bei der Planung von Kälteanlagen auf die Effektivität dieser Anlagen geachtet werden.

Es zeigt sich aber, dass über alle Branchen hinweg erhebliche Effizienzpotentiale bei den jeweiligen Prozessen vorhanden sind (HERMES, 2000). Diese ergeben sich sowohl aus relativ kurzfristig möglichen Optimierungsmaßnahmen der Prozesse bzw. Möglichkeiten der Abwärmenutzung der Kälteerzeugung als auch aus dem Einsatz neuer Technologien und Verfahren, die eher langfristig wirken. Zu beachten ist, dass eine dynamische Effizienzverbesserung meistens in Zeiten starken Produktionswachstums beobachtet werden kann, da in viele neue Maschinen und Anlagen investiert wird und dadurch die mittlere Effizienz im Anlagenbestand ansteigt.

Insgesamt liegen die wirtschaftlichen Energieeffizienz-Potentiale bei der Kältenutzung und -Erzeugung in Deutschland im Jahr 2008 je nach Subbranche des GHD-Sektors zwischen 20 % und > 50 %. Die Effizienzpotentiale bei der Kälteerzeugung werden heute aber aus mancherlei Gründen nur zu einem geringeren Anteil gehoben. Beim gewerblichen Kältemarkt liegen die Gründe für die Nicht-Ausschöpfung von Effizienzpotentialen entlang des gesamten Produktzyklus einer Energieeffizienz-Investition ((BÜRGER *et al.*, 2012). Einzelne Maßnahmen zur Beseitigung eines der bestehenden Hemmnisse zeigen daher meist eine äußerst geringe Wirkung, wenn nicht auch andere Hemmnisse gleichzeitig durch entsprechende Maßnahmen beseitigt werden und sich somit ein effektiver Synergie-Effekt ergibt. Deshalb wird von erforderlichen Maßnahmen-Bündeln gesprochen, um eine erfolgreiche Energieeffizienzpolitik machen zu können (BÜRGER *et al.*, 2012). Gleichzeitig sollte der Wirkung sozialpsychologischer Einflüsse, wie z.B. dem Prestige unter Kollegen, Karriereinteressen oder dem Firmen-Image sowie einer an der Nachhaltigkeit orientierten Lebensweise, welche sich in einer Mehrzahlungsbereitschaft bzw. einem hohen persönlichen Engagement der Investoren und/oder anderer beteiligter Akteure äußern können, mehr Beachtung gewidmet werden.

Gesamtheitlich betrachtet sind Maßnahmen in erheblichem Umfang nicht nur von Seiten der Politik, sondern auch von Seiten der betroffenen Verbände und der verschiedenen Akteursgruppen erforderlich, um möglichst viele Effizienzoptionen in Deutschland zu heben und der effizienten Kältetechnologie einen Durchbruch im gesamten GHD-Sektor zu ermöglichen.

4 Fazit

Schon heute gibt es eine ganze Reihe von technologischen Ansätzen (Abwärmenutzung mittels Sorptionskälteanlagen, hoch effiziente Kompressoren, bessere Isolation und Regelung der Kältemaschinen), fördernden Faktoren der Energiepolitik (z.B. geförderte Beratungen, günstige Kreditprogramme seitens der KfW, Kälte-Contracting, zusätzliches Förderprogramm für die Kleinserienproduktion von Absorptionsanlagen und in Zukunft die Vorschriften der Öko-Design-Richtlinie) und mögliche Veränderungen des Nutzerverhaltens

(optimale Anlagenwartung, Einstellen der tatsächlich benötigten Temperaturen, etc.), die zu einer deutlichen Steigerung der Energieeffizienz von Kälteanlagen und somit zu einer sichtbaren Reduktion des Energiebedarfs zur Erzeugung von Prozesskälte beitragen können.

Allerdings sind die politischen Förderinstrumente nicht systematisch an den bestehenden Hemmnis-Bündeln orientiert, sondern entstanden eklektisch in der Vergangenheit. Hier wird es erforderlich sein, entsprechende Instrumenten-Bündel seitens der Bundesregierung zusammen mit den betroffenen Akteuren der Wirtschaft (Beratung, Fortbildung, Hersteller) zu generieren, die die gegebenen rentablen Effizienz-Potentiale weit mehr ausschöpfen könnten, als dies heute geschieht.

5 Kritische Würdigung und weiterer Ausblick auf Analysen und Politik-Design

Abgesehen von vereinzelt Projekten und Studien, wie z.B. DKV (2002), SCHLOMANN *et al.* (2004, 2008 & 2011), VDMA (2009 & 2011), „Wärme- und Kältestrategie Deutschland“ (2009-2012) (vgl. KRANZL *et al.*, 2012) oder Arnemann *et al.* (2013) wurde der Kältebedarf des gesamten GHD-Sektors in der Bundesrepublik Deutschland noch kaum näher empirisch analysiert.

Um fundierte und belastbare branchenspezifische Detailkenntnisse (energierelevante Anlagen im Betrieb, ihre Merkmale und ihr technischer Stand, Unterschiede bei der betrieblichen Ausstattung) über den Prozesskältebedarf des GHD-Sektors und die geräte- bzw. anlagen-spezifischen Gegebenheiten (Ausstattungsdaten, Betriebsstunden, Wartung der Anlagen, Nutzerverhalten, elektrische Leistung einzelner Geräte, etc.) der einzelnen Subbranchen des Gewerbes zu gewinnen, sollten im Rahmen eines Monitoring-Programms innerhalb ausgewählter Branchen von Fachleuten Betriebsbegehungen durchgeführt werden; die Ingenieure sollten bei den Betriebsbegehungen vor Ort eine messtechnische Analyse des realen Energiebezugs der Kälteanlagen vornehmen, um eine belastbare, branchen-spezifische Basis für zukünftige Modellrechnungen- und Prognosen zu erhalten und eine bessere Wirkungsabschätzung von Politikmaßnahmen und Energieeffizienzvorgaben zu ermöglichen.

Im Kältemarkt ist ohne Zweifel viel Kreativität Voraussetzung, um die bestehenden Energieeffizienzpotentiale zu realisieren und auch vielversprechende Lösungen und Ansätze zu prüfen (z.B. Förderung von Absorptionsanlagen, Nahwärmeverbünde, Kälte-Contracting, Abwärme- bzw. Fernwärmenutzung zur Kälteerzeugung). Von Seiten der Energiepolitik sollten alle wesentlichen Akteure des Kältemarktes in Deutschland bei der Beseitigung existierender hemmender Faktoren in entsprechenden Politik-Bündeln berücksichtigt werden. Auf diese Weise würden viele bereits heute rentable Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung bei Kälteanlagen realisiert werden.

6 Literatur

- AG Energiebilanzen (2012):** Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland – Daten für die Jahre von 1990 – 2011. Berlin: 2012.
- AG Energiebilanzen (2011):** Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland – Daten für die Jahre von 1990 – 2010. Berlin: 2011.
- Arnemann, M. et al. (2013):** Kältetechnologien in Deutschland - Energetische, ökologische Analysen sowie Potentiale der Entwicklung. Karlsruhe: 2013.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2010):** Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe. Augsburg: 2010.
- Böhringer, C.; Rutherford, T. F. (2008):** Combining Top-Down and Bottom-up in Energy Policy Analysis: A Decomposition Approach, Energy Economics, Band 30, 2008, Nr. 2, S. 574-596.
- Bürger, V., Fette, M., Herbst, A., Jochem, E., Reitze, F., Schulz, W., Seebach, D. & Toro, F. (2012):** Arbeitspaket 4 – Darstellung des aktuellen Rechts- und Förderrahmens und dessen Wirkungen. Freiburg/Karlsruhe/Bremen, 30. Oktober 2012.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) (2011):** Gesundheit – Tiefgegliederte Diagnose-daten der Krankenhauspatientinnen und –patienten 2010. Wiesbaden: 2011.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) (2008):** Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen 2008. Wiesbaden: 2008.
- DKV (2002):** Steimle, F., Kruse, H., Wobst, E. & Jahn, K. - Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte. Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V., 2002.
- Gruber, E., Krug, N., Jochem, E., Reichert, J., Yigit, Z. & Köwener, D. (1994):** Hemmnisse für die Techniken zur rationellen Energienutzung und Vorschläge für deren Abbau. Karlsruhe: 1994.
- Herbst, A.; Toro, F.; Reitze, F. & Jochem, E. (2012):** Steps towards hybrid energy model systems. Swiss Journal of Economics and Statistics, 2012, 148(2), 111-135.
- Hermes, H.-D. (2000):** Analysen zur Umsetzung rationeller Energieanwendung in kleinen und mittleren Unternehmen des Kleinverbrauchersektors. Flörsheim am Main: 2000.
- Holzmann, D. (2012):** Temperaturgeführte Lagerung Schnittstelle zwischen See- und Landtransport. Online verfügbar unter: www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt10/holzmann/inhalt.htm. Stand: 22.03.2012.
- Kranzl, L., Henning, M., Fette, M., Herbst, A., Hummel, M., Jochem, E., Kockat, J., Lifschiz, I., Müller, A., Reitze, F., Schulz, W., Steinbach, J. & Toro, F. (2012):** Arbeitspaket 6: Integrale Modellierung auf Basis vorhandener sektoraler Modelle und Erstellen eines integrierten Rechenmodells des Wärme- und Kältebereichs. Berlin: 2012.
- Schäfer, V (2012):** Energieeffizienz, Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung. Kälte durch Wärme erzeugen. Ingoldstadt: 9. Februar 2012.
- Schlesinger, M., Hofer, P., Kemmler, A., Kirchner, A., Strassburg, S., Lindenberger, D., Fürsch, M., Nagle, S., Paulus, M., Richter, J., Trüby, J., Lutz, C., Khorushun, O., Lehr, U. & Thobe, I. (2010):** Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Basel, Köln, Osnabrück: 2010.

- Schlomann, B. et al. (2012):** Energieverbrauch des Sektors GHD für die Jahre 2007 und 2010. Karlsruhe: 2012.
- Schlomann, B. et al. (2011):** Energieverbrauch des Sektors GHD für die Jahre 2007 und 2010. Karlsruhe: 2011.
- Schlomann, B., Gruber, E., Geiger, B. Kleeberger, H., Herzog, T. & Konopka, D.-M (2008):** Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Karlsruhe, München: 2008.
- Schlomann, B., Gruber, E., Eichhammer, W. & Kling, N. (2004):** Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe Handel, Dienstleistung (GHD). Kurzfassung des Abschlussberichts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Berlin, München, Leipzig, Nürnberg: 2004.
- Schwarz, J. (2012):** Festkolloquium „Energieeffizienz. Hochschule Karlsruhe, 12. Oktober 2012.
- VDMA (2011):** Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland – Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten. Frankfurt am Main: 2011.
- VDMA (2009):** Branchenbericht – Deutscher Markt für Kältetechnik 2009 – Bestand an Kältesystemen in Deutschland nach Einsatzgebieten; Marktvolumen für kältetechnische Anwendungen. Frankfurt am Main: 2009.