

Ergebnispapier zum Thema der Kühl- und Kältetechnik

Im Rahmen des Begleitforschungsprojekts EE4InG



Verfasser des Berichts:

ETA-Solutions GmbH
Johannes Thirolf



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1.	Einleitung.....	3
2.	Kurzbeschreibung der untersuchten Technologie.....	5
2.1.	Allgemeine Beschreibung der Kühl- und Kältetechnik	5
2.2.	Betrachtete Einsatzgebiete	7
2.2.1.	Papier- und Zellstoffindustrie.....	7
2.2.2.	Druckindustrie	8
2.2.3.	Chemie – übrige chemische Industrie	8
2.2.4.	Pharmazeutische Industrie.....	9
2.2.5.	Kunststoff- und Gummiverarbeitung	9
2.2.6.	Elektro- und Elektronikindustrie	10
2.2.7.	Fahrzeugindustrie	11
2.2.8.	Maschinenbau.....	12
2.2.9.	Sonstige	12
2.3.	Zusammenfassung.....	12
3.	Marktkontexturierung	13
4.	Energietechnische und wirtschaftliche Bewertung.....	19
4.1.	Energetische Bewertung im Status quo	19
4.2.	Erfassung energetischer Daten einzelner Branchen	20
4.3.	Papiergewerbe.....	22
4.4.	Sonstige chemische Industrie	23
4.5.	Kunststoff- und Gummibranche.....	23
4.6.	Maschinenbau	24
4.7.	Zusammenfassung unterschiedlicher Energiebedarfe	24
4.8.	Schaltschrankkühlung und Flüssigkeitskühlsätze	26
4.9.	Einschub Aktualisierung VDMA-Daten	27
4.10.	Rechenzentren.....	28
4.11.	Entnommene Wassermenge	29
4.12.	Bestand Verdunstungskühlanlagen	30
4.13.	Abwärmenutzung	32
4.14.	Zusammenfassung.....	35
5.	Technologiezyklusanalyse	35
6.	Analyse des Innovationssystems	36
7.	Weitere Forschungs- und Entwicklungsziele	38
8.	Hemmnisse	43
9.	Empfehlungen Forschungsförderung.....	44
10.	Literaturverzeichnis	45

1. Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt eine Übersicht der ausgearbeiteten Ergebnisse aus dem Bereich der Kühl- und Kältetechnik (KK-Technik) dar. Die dargestellten Inhalte beziehen sich sowohl auf Ergebnisse aus Recherchearbeiten sowie Inhalte und Diskussionsergebnisse aus dem Dialog mit Experten aus dem Bereich der KK-Technik. Ziel des Dokuments ist es, eine übergreifende Betrachtung der Anwendungsfelder von industrieller und gewerblicher Kühl- und Kältetechnik zu ermöglichen. Auf diesem Wege sollen anschließend Schwerpunkte abgeleitet werden, welche sich für eine vertiefende Betrachtung eignen, um (Optimierungs-) Potenziale zu untersuchen und auszuschöpfen zu können. Auf Grundlage dieser Ausarbeitungen werden dann mögliche Forschungs- und Entwicklungsziele abgeleitet und in Form von Empfehlungen zusammengefasst.

Als Orientierung der Vorgehensweise zur Analyse des Bereichs der KK-Technik wird die EDUAR&D-Methodik herangezogen, welche der Analyse einer spezifischen Technologie dient (siehe Abbildung 1-1). Allerdings bietet die Betrachtung der Kühl- und Kältetechnik vor dem industriellen und gewerblichen Hintergrund eine Vielzahl möglicher Anwendungsfelder und Gestaltungsformen. Aus diesem Grund erfolgt im Rahmen der Untersuchung keine Analyse einer spezifischen Technologie, sondern eine Betrachtung aus einem allgemeinen und übergreifenden Blickwinkel heraus. Die einzelnen Schritte der EDUAR&D-Methodik dienen daher lediglich als struktureller Rahmen zur Orientierung, um eine konsistente Vorgehensweise zu den weiteren Analysen zu ermöglichen.

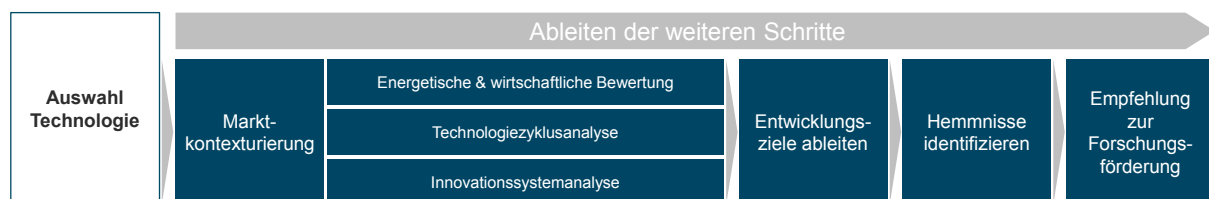


Abbildung 1-1: Arbeitsschritte der EDUAR&D-Methodik

Die Anwendungsfelder, welche bei der Analyse einer näheren Untersuchung unterzogen werden, beziehen sich im Wesentlichen auf die Einsatzgebiete, welche im Rahmen einer Studie des VDMA aus dem Jahre 2011¹ betrachtet wurden. Aufgrund unterschiedlicher Relevanzen bzw. potenzieller Sonderrollen des KK-Technik-Einsatzes innerhalb der verschiedenen Branchen werden zwecks Vergleichbarkeit einige der Einsatzgebiete keiner weiteren Untersuchung unterzogen (**näher betrachtet**). Auch wird die Datenverfügbarkeit aus weiteren Quellen bei der Auswahl der Anwendungsfelder berücksichtigt.

Tabelle 1-1: Einsatzbereiche nach VDMA-Studie [Preuß, 2011]

Einsatzbereiche nach VDMA-Studie	
Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden	<i>Kunststoff- und Gummiverarbeitung</i>
<i>Papier- und Zellstoffindustrie</i>	Bau- und Baustoffindustrie

¹ Hinweis: während der Bearbeitung wurde eine aktualisierte Studie veröffentlicht, siehe Abschnitt 4.9

Druckindustrie	Elektro- und Elektronikindustrie (auch Leiterplattenfertigung und Löten, Halbleiterfertigung)
Chemie – Luft- und Gasverflüssigung	Fahrzeugindustrie
Chemie – übrige chemische Industrie	Maschinenbau
Pharmazeutische Industrie	Sonstige <ul style="list-style-type: none"> • Kompressoren, z.B. zur Drucklufterzeugung, Drucklufttrocknung • Prozesskälte (Flüssigkeitskühlsätze) für industrielle Anwendungen • Schaltschrankkühlungen

Zur Vorgehensweise der Analyse wurde beginnend eine (Literatur-) Recherche durchgeführt und Grundlagen der Thematik erarbeitet. Die Inhalte und identifizierten Problemstellungen wurden im Rahmen eines Expertengesprächs diskutiert und vertieft. Als Diskussionsgrundlage des Expertengesprächs wurden vier Thesen formuliert, welche von sowie mit dem Teilnehmerkreis diskutiert wurden. Die (Diskussions-) Thesen lauteten:

Tabelle 1-2: Impulsthese zum Fachgespräch Kühl- und Kältetechnik

These 1	<i>Energetische Bedeutung der KK-Technik in der Industrie wird unterschätzt</i>
These 2	<i>Energetische Bedeutung der KK-Technik steigt weiter an</i>
These 3	<i>Durchdringung effizienter Technik mangelhaft</i>
These 4	<i>Existenz (Effizienz-) Potenzial zur Abwärmenutzung</i>

Als Diskussionsergebnis wurden die vier folgenden Thesen zu den vier vorab formulierten hinzugefügt:

Tabelle 1-3: Ergänzende Thesen nach Fachgespräch Kühl- und Kältetechnik

These 5	<i>Betrachtung der Zusammenhänge im Gesamtsystem mangelhaft</i>
These 6	<i>Kenntnisse über Potenziale von Monitoringsystemen unzureichend verbreitet</i>
These 7	<i>Bedarfsangepasste Betriebsweise als Effizienzpotenzial</i>
These 8	<i>Wärmepumpentechnik auch in Fokus nehmen</i>

Auf Grundlage des neuen Kenntnisstandes wird die EDUAR&D-Methodik als Orientierung der weiteren Vorgehensweise herangezogen und die einzelnen Anwendungsfelder näher betrachtet. Dabei werden einzelne Arbeitsschritte festgelegt, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten:

- Akteure identifizieren
- Prozesse mit Kühl- und Kältetechnik identifizieren
- Eingesetzte Technologien identifizieren
- Energetische Kennzahlen und -werte identifizieren
- Cluster bilden
- Herstelleridentifikation und -analyse

- Forschungsaktivitäten und -tätigkeiten identifizieren

Anhand dieser Arbeitsschritte werden die Teilschritte der EDUAR&D-Methodik in einer einheitlichen Vorgehensweise bearbeitet. In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Analyse in der Struktur der EDUAR&D-Methodik dargestellt. Dabei werden die Arbeitsschritte den jeweils relevanten Kapiteln zugeordnet.

2. Kurzbeschreibung der untersuchten Technologie

Wie einleitend beschrieben, zeichnet sich die Untersuchung im Bereich der Kühl- und Kältetechnik durch eine allgemeine und übergreifende Perspektive aus. Aus diesem Grund erfolgt an dieser Stelle zuerst ein Überblick über die unterschiedlichen Elemente und Realisierungsformen dieser.

2.1. Allgemeine Beschreibung der Kühl- und Kältetechnik

Innerhalb des Fokusbereichs kommen unterschiedliche Technologiefelder zum Einsatz, die es zu berücksichtigen gilt (Abbildung 2-1). Je nach betrachtetem Systemelement liegen darüber hinaus verschiedene Ausprägungsformen vor, durch welche sich das jeweilige System realisieren lässt (Abbildung 2-2). Anhand dieser Abbildung wird nochmals die Abweichung zur eigentlichen Vorgehensweise der EDUAR&D-Methodik aufgezeigt, da nicht eine einzelne Technologie betrachtet wird, sondern ein größerer Fokus vorliegt.



Abbildung 2-1: Elemente der KK-Technik (eigene Darstellung)

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in dem Austausch mit den Experten im Kontext der KK-Technik die **Bedeutung der Wärmepumpentechnik hervorgehoben** wurde. In diesem Zusammenhang erfährt insbesondere das Element der Abwärmenutzung in Abbildung 2-1 eine besondere Relevanz.

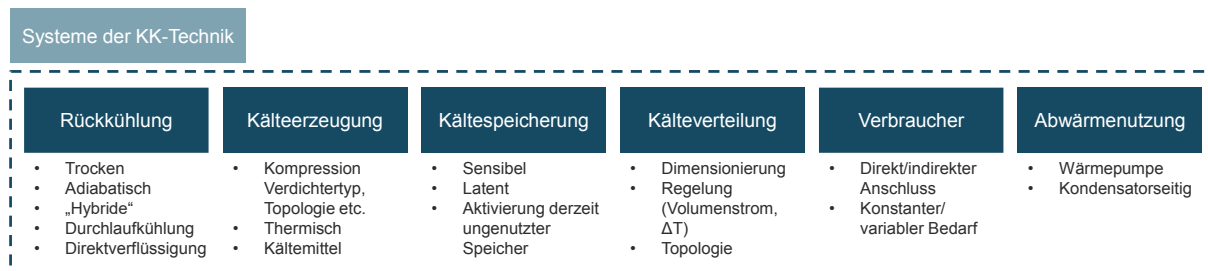


Abbildung 2-2: Ausprägungsformen der Systeme der KK-Technik (eigene Darstellung)

Auch die Thesen, welche als Diskussionsgrundlagen für das Fachgespräch vorbereitet wurden, drehen sich indirekt und direkt um das Thema der Abwärmenutzung und werden in dieser Form durch die Experten bestätigt. So werden beispielsweise die Thesen, dass ein (*Effizienz-*) **Potenzial zu Abwärmenutzung existiert** und die **Durchdringung effizienter Technik mangelhaft** ist, tiefgehender diskutiert.

Abbildung 2-3 gibt eine Übersicht über die temperaturbezogene Einsatzbereiche der verschiedenen Technologien.

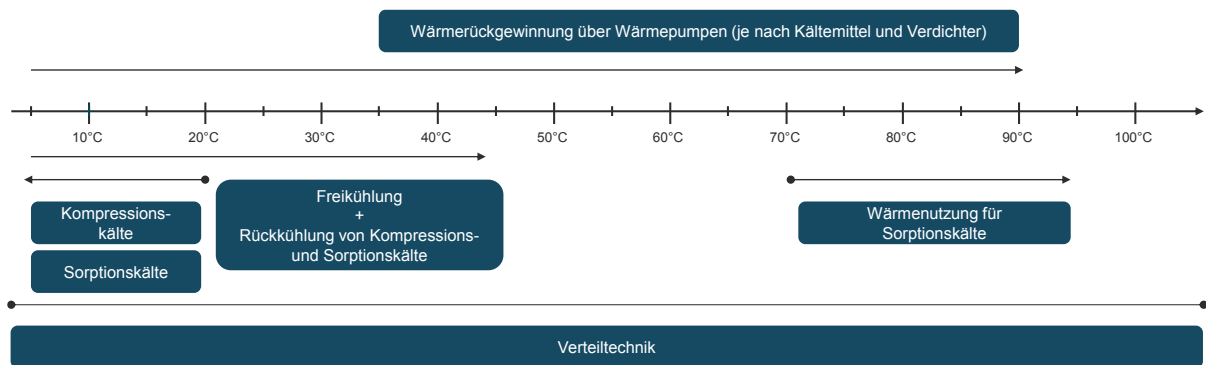


Abbildung 2-3: Temperaturbezogene Einsatzbereich (eigene Darstellung)

Die Einsatzbereiche der KK-Technik können darüber hinaus auch in den Anwendungsbereich der Prozesskühlung und der Human-/Klimakälte unterteilt werden. In diesem Zusammenhang können die nachfolgenden Realisierungsformen innerhalb der Anwendungsbereiche betrachtet werden.

Tabelle 2-1: Übersicht möglicher KK-Technik im Bereich Prozesskühlung und Human-/Klimakälte

Prozesskühlung	Human- und Klimakälte
<ul style="list-style-type: none"> • Dezentrale Flüssigkeitskühlsätze • Zentrale Flüssigkeitskühlsätze <ul style="list-style-type: none"> ○ Luftgekühlter Verflüssiger ○ Wassergekühlter Verflüssiger • Zentrale Kühlwasserversorgung <ul style="list-style-type: none"> ○ Offene Systeme ○ Geschlossene Systeme ○ Hybride Systeme ○ Durchlaufkühlung (Brunnen, Gewässer, etc.) • Kühlraumkühlung (z.B. Nahrungsmittelkühlung) <ul style="list-style-type: none"> ○ Luftkühler und Flächenkühler (dezentral, Split, Kaltsole) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dezentral erzeugte Kälte (Klimageräte) • Zentral erzeugte Kälte für Umluftkühlung <ul style="list-style-type: none"> ○ Split-Klimageräte ○ Kaltwasser/Sole-Kühlgeräte • Zentral erzeugte Kälte für RLT-Anlagen (mit/ohne Entfeuchtung) <ul style="list-style-type: none"> ○ Zentrale Rückkühlung (Kühlwasser) ○ Dezentrale Rückkühlung (luftgekühlter Verflüssiger)

Abschließend sollen Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3 nochmals aufgegriffen werden. Die Realisierung der kühl- und kältetechnischen **Grundgestaltung** kann wie dargestellt auf unterschiedlichen Weisen realisiert werden. In Abhängigkeit der berücksichtigten Teilbereiche entsteht dabei schnell eine große Zahl potenzieller Varianten der Gestaltung (Abbildung 2-4).

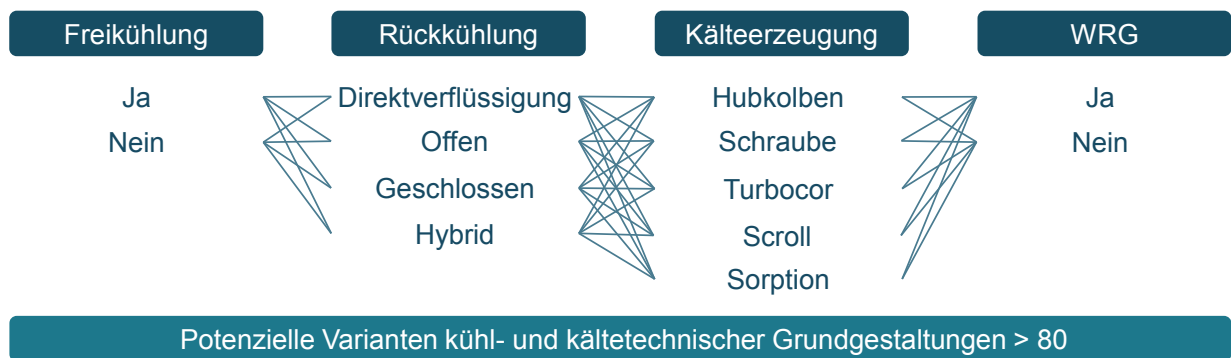


Abbildung 2-4: Potenzielle Varianten der kühl- und kältetechnischer Grundgestaltung² (eigene Darstellung)

Nachdem im vorangegangenen Teil eine (kurze) Übersicht über die betrachtete Technologie inkl. der verschiedenen Ausprägungs- und Realisierungsformen gegeben wurde, erfolgt nun eine Darstellung der Anwendungsfelder innerhalb der betrachteten Branchen. Ziel ist es, **Gemeinsamkeiten hinsichtlich der zum Einsatz kommenden KK-Technik und relevanter Temperaturniveaus abzuleiten**. Auf diese Weise soll im Anschluss eine Clusterbildung erfolgen und damit eine Basis geschaffen werden, um **branchenübergreifende Ansatzpunkte für Optimierungen und Potenzialsteigerungen** zu identifizieren.

2.2. Betrachtete Einsatzgebiete

An dieser Stelle soll nun der Überblick über die zur Anwendung kommende KK-Technik innerhalb der betrachteten Branchen gegeben werden. Dies dient dazu, Prozesse und Verfahren aufzuzeigen, welche einen kühl-/kältetechnischen Hintergrund aufweisen und sich für anschließende Analysen eignen. Weiterhin werden im Hinblick auf Forschungs- und Entwicklungsziele (Kapitel 7) Stakeholder der entsprechenden Bereiche aufgelistet.

2.2.1. Papier- und Zellstoffindustrie

Die kühl- und kältetechnischen Prozesse in der Papier- und Zellstoffindustrie betreffen im Wesentlichen den Bereich der Abwasserbehandlung bzw. die Kühlung des aufzubereitenden und wiedereinzuleitenden Abwassers. Weiterhin erfolgt mitunter eine Kühlung von Transportrollen bei der Papierherstellung sowie die Kühlung von Nebenprozessen oder einzelnen Gebäudeteilen (z.B. Büro oder Schalträume).

Infolge des hohen Wasserbedarfs in der Papier- und Zellstoffindustrie wird häufig Wasser aus umliegenden Flüssen oder Bächen entnommen. Die Temperatur des wiedereingeleiteten Wassers darf vorgegebene Grenzwerte nicht überschreiten und wird aus diesem Grund gekühlt. Hierfür kommt beispielsweise ein Kühlturm zum Einsatz. Alternativ kommt bisweilen auch ein Wärmetauscher zum Einsatz, über welchen das (entnommene) Prozesswasser mittels dem (wiedereinzuleitenden) Abwasser vorgewärmt wird.

Weiterhin erfolgt der wesentliche Einsatz von KK-Technik im Bereich der Abwasseraufbereitungsanlagen (ARA). Unternehmen aus der Papier- und Zellstoffindustrie besitzen oftmals eine eigene ARA mit biologischer Stufe. Diese biologische Abwasseraufbereitungsstufe weist eine maximale (Einleit-) Temperatur des Abwassers auf (30-35°C), welche unter Umständen durch eine

² Betrachtung Kaltwassertemperatur >0°C, nicht berücksichtigt z.B. Verteilung, Regelung, Kältemittel

Kühlung gewährleistet werden muss. Auch hier erfolgt die Kühlung überwiegend mittels des Einsatzes eines Kühlturms oder alternativ über den Einsatz eines Wärmetauschers. [Jung/Hutter, o.J. & Jung et al., o.J.]

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der Papier- und Zellstoffindustrie stellt der Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP) dar.

2.2.2. Druckindustrie

Innerhalb der Druckindustrie erfolgt der Einsatz von KK-Technik schwerpunktmäßig im Bereich der Druckapparate und im Bereich der Trocknung. Dabei erfolgt insbesondere eine Kühlung an (Heatset-) Offsetdruckmaschinen, an Rotationsdruckmaschinen, an Flexodruckmaschinen und an Folienpressen.

Bei den Offsetdruckmaschinen kommt es im Wesentlichen zu einer Temperierung der Farbreiber (Temperaturbereich: ca. 26-28°C) und Farbduktor (Temperaturbereich: ca. 20°C), zu einer Temperierung des Feuchtwassers (Temperaturbereich: ca. 8-12°C) sowie einer Kühlung der Kühlwalzen. An der Kühlstrecke werden die Papierbahnen hierbei von etwa 90-140°C auf 20-30°C heruntergekühlt. [Heidelberger Druckmaschinen AG, 2011]

Bei Flexodruckmaschinen erfolgt bei größeren Maschinen ebenso eine Kühlung der Farbwerke und darüber hinaus eine Kühlung der Bahn nach dem Trocknerbereich mittels Kühlwalzen. Der Trocknerbereich wird mitunter als Heißlufttrockner realisiert mit einer Temperatur von ca. 50-100°C.

Weiterhin kommt die KK-Technik zudem bei UV-Trocknung zum Einsatz. Bei diesen Trocknern erwärmt sich das Strahlergehäuse, sodass es zur Verhinderung unzulässig hoher Berührungstemperaturen zu einer aktiven Kühlung kommen kann. [BG ETEM, o.J.]

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der Druckindustrie stellt der Bundesverband Druck und Medien e.V. (bvdM) dar. Dieser teilt sich auf in acht regionale Verbände.

2.2.3. Chemie – übrige chemische Industrie

Die chemische Industrie (ausgenommen Luft- und Gasverflüssigung als Sonderbereich) weist eine Vielzahl von Anwendungsfeldern der KK-Technik auf. Beispielfhaft sind hier die Prozesse

- Behälterkühlung (z.B. Fermenter)
- Reaktorkühlung
- Galvanische Prozesse
- Lösungsmittelrückgewinnung
- Biogasaufbereitung
- Raffinerieprozesse
- Gefrierprozesse
- Rückkühlung von Kühlwasserkreisläufen

zu nennen. Aufgrund der Vielzahl potenzieller Anwendungsfelder erfolgt für die chemische Industrie an dieser Stelle keine tiefere Detaillierung mit dem Hinweis eines breiten Anwendungs- und Temperaturbereichs.

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der chemischen Industrie stellt der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) dar. Dieser teilt sich auf in sieben Landesausschüsse.

2.2.4. Pharmazeutische Industrie

Anwendungsfelder sind z.B.

- Kühlung von Suspension
- Kühlung von Tensiden
- Kühlung von WFI und Reinstwasser
- Kühlung von Spenderblut und Blutplasma
- Kondensation von Lösungsmitteln aus Produktionskesseln

Aufgrund der Vielzahl potenzieller Anwendungsfelder erfolgt für die chemische Industrie an dieser Stelle keine tiefere Detaillierung mit dem Hinweis eines breiten Anwendungs- und Temperaturbereichs.

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der Pharmaindustrie stellt der Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V. (BPI) dar. Dieser teilt sich auf in sieben Landesverbände. Weiterhin sind der Bundesverband der Arzneimittel-Hersteller e.V. (BAH) sowie der Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V. (VFA) zu nennen.

2.2.5. Kunststoff- und Gummiverarbeitung

Die Prozesse der KK-Technik in der Kunststoff- und Gummiverarbeitung umfassen sowohl die Werkzeug- als auch Werkstückkühlung bei verschiedenen Fertigungsverfahren. So kommen kühl- und kältetechnische Anwendungen z.B. im Bereich des Urformens, des Umformens sowie des Fügens zum Einsatz (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Beispielhafte Anwendungsfelder der KK-Technik in der Kunststoff- und Gummiindustrie

Urformen	Umformen	Fügen
Spritzgießen	Thermoformen	Kunststoffschweißen
Extrusion		
Kalandrieren		
Rotationsformen		
Schäumen		
Blasformen		

Im Bereich des **Spritzgießens** wird grundsätzlich zwischen der Werkstück- und Hydraulikkühlung unterschieden, wobei die Hydraulikkühlung ein höheres Temperaturniveau aufweist. Die Kühlung des Werkstücks durch Durchströmung mittels Kühlmittel selbst erfolgt lediglich bei der Verarbeitung von Thermoplasten. Das Kühlwassertemperaturniveau liegt je nach Anwendungsfall etwa zwischen 10°C und 30°C und oftmals im Bereich von ca. 15-20°C. Teilweise wird von höheren potenziell möglichen Temperaturniveaus berichtet. Bei der Verarbeitung von Elastomeren und Duroplasten erfolgt keine Kühlung des Werkstücks, sondern eine Temperierung des sogenannten Kaltkanals auf ein Temperaturniveau von etwa 20-60°C. Dieser Kaltkanal kann z.B. aus wassergekühlten (Transport-) Rollen bestehen und soll eine Vernetzungsreaktion vor der eigentlichen Formgebung verhindern.

Weiterhin erfolgt die Hydraulikkühlung auf einem Temperaturniveau von etwa 30-35°C, wobei auch in diesem Bereich von höheren potenziell möglichen Temperaturniveaus berichtet wird.

Im Bereich der **Extrusion** erfolgt, wie beim Spritzgießen, ebenfalls die Temperierung eines Kaltkanals bei Verarbeitung von Elastomeren. Weitere Maschinenbereiche als Anwendungsbereich von KK-Technik sind z.B. die Nutbuchse im Einzugsbereich, Antriebe und Getriebe sowie einzelne Zylinderzonen des Extruders. Mitunter erfolgt die Kühlung allerdings auch über Gebläse und somit Kühlluft. Weiterhin kommt es im Bereich der Kalibrierung zum Einsatz von KK-Technik. Grundsätzlich wird das Kühlwassertemperaturniveau am Extruder im Bereich von 30-40°C gesehen und das Temperaturniveau der Einzugszone sowie Hydraulikaggregate bei etwa 20°C.

Auch das Cast-Verfahren zur Folienproduktion weist verschiedene Bereiche mit kühl- und kältetechnischem Hintergrund auf. Z.B. dienen Kühlwalzen der Abkühlung der Schmelze, wobei diese in einem Anwendungsfall von ca. 290°C auf etwa 30-40°C abgekühlt wird. Dabei liegt das Kühlwassertemperaturniveau auf etwa 10-12°C im vorderen Kühlstreckenabschnitt und 20-23°C im restlichen Teil. Das Kühlwassertemperaturniveau der Folienherstellung selbst liegt demnach etwa bei 10-20°C.

Ferner erfolgt die Temperierung des Extruder Getriebes und Antriebs auf einem Niveau von etwa 20-30°C.

Die **Blasextrusion** stellt z.B. durch die Kühlung des Blasdorns ein Einsatzgebiet der KK-Technik dar. In diesem Zusammenhang liegt ein niedriges Kühlwassertemperaturniveau von etwa 4-6°C vor. Weiterhin erfolgt bei der Herstellung von Flaschen durch das Streckblasformen ein Einsatz von KK-Technik mit einem Temperaturniveau von etwa 10-20°C. Auch bei der Blasextrusion erfolgt mitunter die Kühlung durch das Anblasen von Kühlluft.

Auch im Bereich des **Kalandrierens** erfolgt der Einsatz von KK-Technik an Kühlwalzen zur Folientemperierung. Bei dem **Rotationsformen** erfolgt eine Kühlung oftmals mittels Luftgebläse oder Vernebelung und Besprühung von Wasser. Das **Schäumverfahren** weist z.B. durch die Kühlung des Gases, der Pumpenköpfe und der treibmittelbeladenen Schmelze Anwendungsgebiete der KK-Technik auf.

Im Bereich des **Thermoformens** erfolgt beispielsweise in der Großserienproduktion eine Werkzeugtemperierung. Hierbei kann sich das Temperaturniveau bei PP-Verpackungen im Bereich von etwa 10°C bewegen. Die Verarbeitung anderer Materialien kann dagegen höhere Temperaturniveaus aufweisen.

Abschließend soll nochmal auf das Einsatzgebiet der KK-Technik an Prüfständen (zur Materialprüfung) verwiesen werden (z.B. Röntengeräte im Rahmen der Reifenherstellung).

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der Kunststoff- und Gummiverarbeitung stellt der Gesamtverband der Kunststoffverarbeitenden Industrie (GKV) als Dachverband dar. Diesem sind verschiedene Zusammenschlüsse zuzuordnen. Weiterhin ist der Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V. (WDK) als Netzwerk zu nennen, welcher sich ebenfalls nochmals unterteilt. Zudem existiert bei dem VDMA ein Fachverband für Kunststoff- und Gummimaschen. [Wimmer et al., (2009); Schwarz et al. (2009)]

2.2.6. Elektro- und Elektronikindustrie

Anwendungsfelder im Bereich der Elektro- und Elektronikindustrie sind z.B.

- Kühlung Prozesse bei Halbleiterproduktion, Prozesse bei Solaranlagenproduktion, Prozesse bei Leiterplattenproduktion, Lagerung elektrisch leitfähiger Klebstoffe, Reinraumtechnik

Beispielhafte Erfahrungen der Kühlgrundlasten in einer Halbleiterfabrik können z.B. mit Vorlauftemperaturen des Kühlwassers von 5-11°C angegeben werden. Ein wichtiger Kältebedarf liegt im Bereich der Elektro- und Elektronikindustrie in Form von Reinraumkonditionierungen vor. Oftmals wird dieser Bereich der Klimakälte zugeordnet, welcher im Rahmen dieses Statuspapiers kein Fokusthema darstellt.

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der Elektro- und Elektronikindustrie stellt der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) dar. Diesem sind verschiedene Fachverbände zugeordnet.

2.2.7. Fahrzeugindustrie

Der Bereich der Fahrzeugindustrie weist ein sehr großes Feld potenzieller Anwendungsfelder der KK-Technik auf. Beispielhaft können hierbei die folgenden Aspekte genannt werden:

- Kühlung Presswerk, z.B. Kühlung Werkstücke, Werkzeuge, Schaltschränke, Hydrauliköl
- Kühlung Rohbau, z.B. Kühlung Industrieroboter, Schweißzangen
- Kühlung Lackiererei, z.B. Kühlung von Tauchbädern, Industrieroboter
- Komponentenfertigung, z.B. Kühlung von Spritzgießmaschinen, Werkzeugmaschinen, Kühlschmierstoffe
- Kühlung Härteöl
- Prüfstände
- Gießerei
- Luftkonditionierung (Oberflächentechnik)
- Luftkonditionierung (bei Oberflächentechnik)
- Kühlzonen bei Trocknung
- Kühlung UV-Trockner
- Windkanäle
- Klimakammern
- Kühlung Maschinen und Hilfsstoffe (siehe 2.2.9)

Im Bereich der Fahrzeugindustrie konnte für einen praktischen Anwendungsfall ein Kühlwassertemperaturniveau von etwa 27-32°C identifiziert werden. Dieses bezog sich auf die Kühlanwendungen an Prüfständen, Kompressoren, Maschinenkühlung sowie der Rückkühlung von Kältemaschinen. Weiterhin wurde in dem betrachteten Anwendungsfall ein Temperaturniveau von etwa 10-15°C identifiziert für Kühlanwendungen an Motorprüfständen und Kühlschmierstoffen.

Als weiteres Beispiel soll die kathodische Tauchlackierung aufgeführt werden, deren Tauchbadtemperierung (ca. 28-32°C) ein Einsatzgebiet der KK-Technik darstellt. Das Kühlwassertemperaturniveau kann hierbei etwa 14-16°C betragen. Ferner wird das Beispiel der Industrieschweißroboter genannt. Hierbei liegt das Kühlwassertemperaturniveau der Brenner-Wasserkühlung bei etwa 15-25°C. [Schlei-Peters, 2019]

Aufgrund der Vielzahl potenzieller Anwendungsfelder erfolgt für die Fahrzeugindustrie an dieser Stelle keine tiefere Detaillierung mit dem Hinweis eines breiten Anwendungs- und Temperaturbereichs

Ein wichtiger Branchenverband im Bereich der Fahrzeugindustrie stellt der Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) dar.

2.2.8. Maschinenbau

Die Prozesse im Bereich des Maschinenbaus weisen Ähnlichkeiten zu diesem der Fahrzeugindustrie auf. Dennoch werden die folgenden an dieser Stelle nochmals zusätzlich aufgeführt.

- Schweißen
 - Widerstandsschweißen, Schweißroboter, MIG/TIG-Schweißen, Pulverschweißen
- Lasersysteme
 - Laserbeschriften, Laserschweißen, Laserschneiden, Laserbohren, Laserhärten
- Eloxieren

Aufgrund der Vielzahl potenzieller Anwendungsfelder erfolgt für den Maschinenbaubereich an dieser Stelle keine tiefere Detaillierung mit dem Hinweis eines breiten Anwendungs- und Temperaturbereichs.

2.2.9. Sonstige

Ein übergeordneter Einsatz schließt sich abschließend mit der Kühlung an Kompressoren (z.B. im Rahmen der Druckluftherzeugung oder -trocknung), der Bereitstellung von Prozesskälte über Flüssigkeitskühlsätzen für industrielle Anwendungen und den Schaltschrankkühlungen an. An dieser Stelle wird nur kurz auf die Anwendungsfelder eingegangen.

Für den Bereich der Flüssigkeitskühlsätze ergibt sich eine Vielzahl an Anwendungsgebieten. Beispielhafte Anwendungsgebiete sind

- Kühlung Werkzeugmaschinen
 - BAZ, Schleifen, Fräsen
- Kühlung Lasertechnik
 - Schneiden, Schweißen, Markieren
- Kühlung Schweißgerät
- Kühlung Kühlmittel und Kühlschmierstoff (bei Filtration)
- Oberflächentechnik
 - Vorbehandlung, Entgraten, Beschichten

Auch der Bereich der Schaltschrankkühlung erstreckt sich über ein großes, branchenübergreifendes Anwendungsfeld. Beispielhafte Anwendungen sind u.a. die Kühlung von Schaltschränken und Serverracks kleiner (z.B. Serverschrank) bis große Kategorien (z.B. Serverräume). Mitunter erfolgt die energetische Bewertung der Kühlung solcher Systeme allerdings unter dem Bilanzraum der Klimatisierung, welcher im Rahmen dieses Statuspapiers nicht betrachtet wird. Die Versorgung der Schaltschränke und Server kann einerseits über eine dezentrale oder zentrale Kälteversorgung erfolgen.

2.3. Zusammenfassung

Als Ergebnis der vorherigen Ausführungen werden in Abbildung 2-5 die verschiedenen Temperaturniveaus der Branchen in einer gemeinsamen Übersicht abgebildet. Es ist ersichtlich, dass sich ein großer Teil der Temperaturniveaus in einem Bereich zwischen 10°C und 30°C befindet. Mitunter erstrecken sich die Temperaturniveaus einzelner Branchen über größere Niveaubereiche und teilweise bewegen sie sich auf sehr niedrigen oder hohen Niveaus. Dennoch deuten die Temperaturniveaus und aufgezeigte Einsatzgebiete auf ähnliche Versorgungsstrukturen hin.

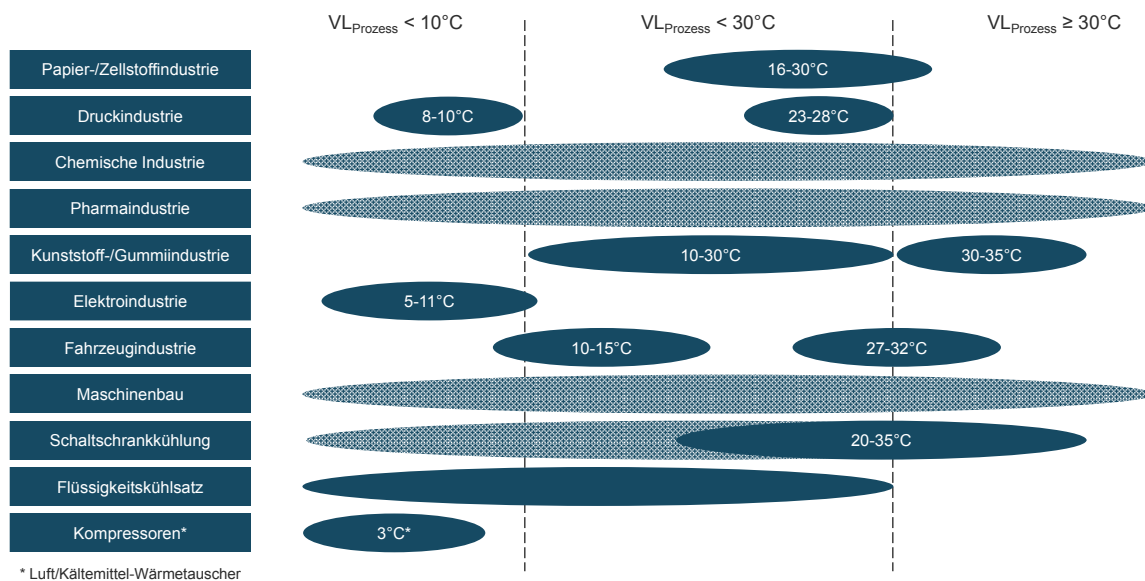


Abbildung 2-5: Qualitative Übersicht relevanter Temperaturbereiche innerhalb der betrachteten Einsatzbereiche (eigene Darstellung)

Die verschiedenen Temperaturbereiche können darüber hinaus im Zusammenhang mit Abbildung 2-3 betrachtet werden. Hierbei werden verschiedenen Temperaturbereichen unterschiedliche Arten der Kälteerzeugung, z.B. mittels Kompressionskältemaschine oder Freikühlung, zugeordnet. Anhand dieser Zuordnung kann eine Einschätzung über zum Einsatz kommende Anlagen sowie eine potenzielle Eignung zu einem Freikühlbetrieb erlangt werden.

3. Marktkontexturierung

Im vorangegangenen Teil wurde sowohl ein Überblick über die betrachtete Technologie selbst als auch über Anwendungsbereiche innerhalb verschiedener Branchen gegeben. In dem nun vorliegenden Kapitel sollen der Markt bzw. die Marktsituation der KK-Technik beleuchtet werden.

Im Rahmen der Analyse der Marktkontexturierung erfolgt dabei eine Betrachtung des Marktes für KK-Anwendungen sowie eine Analyse von identifizierten Herstellern. In Tabelle 3-1 sind einige der Fragestellungen dargestellt, welche im Kontext der Marktanalyse als relevant erachtet werden.

Tabelle 3-1: Fragestellungen im Bereich der Marktsituation der KK-Technik

Markt für kühl- und kältetechnische Anwendungen		
Hersteller	Wirtschaftliche Kennzahlen	Energetische Kennzahlen
<ul style="list-style-type: none"> • Hersteller für KK-Elemente auf dem Markt? • Welche KK-Elemente werden angeboten? • Erkennbare Strukturen unter den Herstellern? • Spezialisierungen der Hersteller auf dem Markt? • [...] 	<ul style="list-style-type: none"> • Absatzzahlen für KK-Anwendungen? • Umsatzzahlen für KK-Anwendungen? • Entwicklung der Kennzahlen? • [...] 	<ul style="list-style-type: none"> • Energetische Kennwerte für KK-Technik in Deutschland? • Energetische Kennwerte für KK-Technik in Europa? • Energetische Kennwerte für KK-Technik weltweit? • [...]

In einem ersten Schritt wurde eine Web-Recherche zu Herstellern im Bereich der KK-Technik durchgeführt, über welche in Summe 57 Hersteller identifiziert wurden. In einem nächsten Schritt wurden sämtliche identifizierte Hersteller hinsichtlich ihres Produktportfolios und wirtschaftlichen Kennzahlen analysiert. Insbesondere zur wirtschaftlichen Situation der Unternehmen konnten Informationen hierbei nur eingeschränkt erlangt werden. Das Produktportfolio der Hersteller wurde in Anlehnung an die in Abbildung 2-2 dargestellten Ausprägungsformen der Systembestandteile der KK-Technik hin untersucht (siehe Abbildung 3-1).



Abbildung 3-1: Untersuchte Bestandteile im Hersteller Portfolio (eigene Darstellung)

Als Ergebnis dieses Schrittes ergab sich die nachfolgende Übersicht aus Abbildung 3-2. Die Übersicht zeigt die jeweils (absolute) Anzahl der jeweiligen Anlagen in den Produktportfolios aller recherchierten Hersteller. Aus der Abbildung geht keine Information bzgl. einer Spezialisierung einzelner Hersteller hervor, da keine Information bzgl. der Verteilung der Anlagen/Produkte auf einzelne Hersteller abgeleitet werden kann. Eine diesbezügliche Analyse erfolgt in einem nächsten Schritt (siehe unten).

Bei der Analyse der absoluten Zahlen zeigt sich, dass im Bereich der **Rückkühlung** die Kühltürme in offener und geschlossener (trockener) Betriebsweise im Portfolio der betrachteten Hersteller dominieren. Auch Hybrid-Kühltürme werden von etwa 40 % der identifizierten Hersteller angeboten und Anlagen zur Direktverflüssigung von etwa 30 % der Hersteller. Der Bereich der **Kälteerzeugung** wird eindeutig von Kompressionskälteanlagen dominiert, deren Anzahl diese der thermisch angetriebenen Anlagen um mehr als das Vierfache übersteigt. Auffällig ist, dass nur eine sehr geringe Anzahl Anlagen im Bereich der **Speicher** anbietet. Zudem weist der (auf den Homepages der Hersteller explizit genannte) Bereich der **Kälteverteilung** nur eine relativ geringe Anzahl auf. Der letzte Bereich der **Abwärmenutzung** weist dagegen eine höhere Anzahl auf, wird allerdings nur von etwa 30 % der Hersteller (explizit) angeboten.

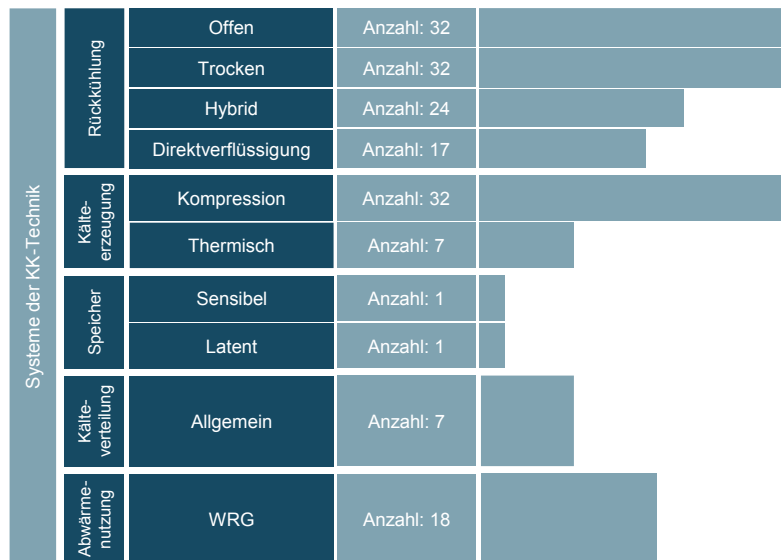


Abbildung 3-2: Häufigkeit Bestandteil in Portfolio (n=57 Hersteller) (eigene Darstellung)

Eine Betrachtung der Herstellerstrukturen und der einzelnen Produkte aus dem Portfolio lässt Rückschlüsse auf die aus dem Fachgespräch erlangten Ergebnisse ziehen. So wird als ein Ergebnis des Fachgesprächs die These aufgenommen, dass die **Betrachtung der Zusammenhänge im Gesamtsystem mangelhaft** erscheinen. Bei Analyse der Herstellerstrukturen fällt auf, dass einige der Produktgruppen, insbesondere Anlagen zur Rückkühlung jeder Art aber auch thermisch angetriebene Kältemaschinen, grundsätzlich nur für sich, d.h. unabhängig von weiteren Teilelementen, angeboten werden. Auf diese Weise erfolgt der Blick auf das Gesamtsystem schon von dem Hersteller ausgehend nur in geringem Maße. Keiner der identifizierten Hersteller deckt sämtliche Bestandteile aus Tabelle 3-4 ab.

Weiterhin ist eine Bewertung der Marktsituation der Hersteller anhand der Absatzzahlen und wirtschaftlichen Kennzahlen aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit der Daten nur eingeschränkt möglich. Lediglich für die Hälfte der identifizierten Hersteller existiert eine (aktuelle) verfügbare Datengrundlage. Diese setzt sich zusammen aus Informationen zur Bilanzsumme sowie dem Unternehmensgewinn. Für die Bilanzsumme der Hersteller liegen insgesamt 22 Daten (Jahr 2017) bzw. 21 Daten (Jahr 2018) vor und für die Gewinnkennzahlen insgesamt 19 (Jahr 2017) bzw. 16 (Jahr 2018) Daten. Umsatzkennzahlen sind nur für 3 (Jahr 2017) bzw. 1 (Jahr 2018) Hersteller verfügbar und gehen daher nicht in die Auswertung mit ein. In Tabelle 3-2 ist die jeweilige Veränderung der Kennzahlen aus dem Jahr 2018 im Vergleich zum Vorjahr 2017 aufgetragen. Anhand dieser Werte ist ersichtlich, dass eine mehrheitlich positive Veränderung sowohl bei der Bilanzsumme als auch dem Gewinn ausgemacht werden kann. Grundsätzlich ist zudem allerdings auch die Tendenz auszumachen, dass sich in beiden Spalten entweder eine relativ hohe positive Veränderung einstellt oder ein negativer Wert. Anhand dieser Tendenz könnte auf die Vermutung geschlossen werden, dass sich unter den identifizierten Herstellern einige größere befinden, welche als „Big Player“ im Markt agieren.

Tabelle 3-2: Übersicht Entwicklung Wirtschaftskennzahlen der Hersteller [North Data³]

Hersteller	Δ€ Bilanzsumme (2018 zu 2017)		Δ€ Gewinn (2018 zu 2017)	
1	+ 728.668 €		+ 287.080 €	
2	+ 289.061 €		+ 54.519 €	
3	-		- 3.500.000 €	
4	-		- 228.052 €	
5	+ 65.820 €		- 12.010 €	
6	- 54.500 €		- 88.726 €	
7	+ 285.232 €		-	
8	-		+ 9.094 €	
9	-		- 216.338 €	
10	- 177.858 €		-	
11	- 1.469.747 €		-	
12	- 534.073 €		-	
13	- 401.059 €		-	
14	- 211.436 €		-	
15	-		- 83.024 €	
16	+ 99.727 €		-	
17	-		+ 6.152 €	
18	-		+ 388.719 €	
19	+ 1.295.650 €		-	
20	- 209.667 €		-	
21	+ 275.5000 €		-	
22	- 260.077 €		-	
23	+ 1.543.212 €		-	
24	+ 172.209 €		+ 45.887 €	
25	-		+ 544.700 €	
26	- 94.340 €		-	
27	+ 1.685.866 €		-	
28	+ 368.092 €		+ 3.267 €	
29	+ 70.163 €		-	
	12x	9x	8x	6x

³ <https://www.northdata.de/>

Neben der Analyse der Hersteller/-struktur im Bereich der KK-Technik wird der Blick zudem auf Marktteilnehmer im weiteren Sinne gerichtet. Hierbei wurde eine tabellarische Übersicht verschiedener Organisationen (Verbände, Vereine, etc.) erstellt, um einen Überblick über themenbezogene Zusammenschlüsse zu erhalten (Tabelle 3-3). Gleiches wurde für forschungsbezogene Einrichtungen und Institute in Deutschland durchgeführt. Eine Übersicht dieser Einrichtungen und Institute inkl. einer stichpunktartigen Beschreibung des Tätigkeitsbereichs kann Tabelle 3-4 entnommen werden.

Tabelle 3-3: Übersicht Organisationen im Bereich der KK-Technik

Nr.	Abk.	Name
1	AGFW	Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
2	BDH	Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie e.V.
3	BIV	Bundesinnungsverband des deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks
4	BWP	Bundesverband Wärmepumpe e.V.
5	DKV	Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
6	FGK	Fachverband Gebäude-Klima e.V.
7	HKK	Historische Kälte- und Klimatechnik e.V.
8	ILK	Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH
9	IZW	Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V.
10	ÜWG	Überwachungsgemeinschaft Kälte- und Klimatechnik e.V.
11	VDKF	Verband deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V.
12	VDKL	Verband Deutscher Kühlhäuser und Kühllogistikunternehmen e.V.
13	VDMA	Fachgruppe Kühlmöbel
14	VDMA	Fachabteilung Kälte- und Wärmepumpentechnik
15	VDMA	Fachverband Allgemeine Lufttechnik
16	ZVKKW	Zentralverband Kälte Klima Wärmepumpen
17	-	Eurammon
18	-	Green Chiller Verband für Sorptionstechnik e.V.
19	-	Netzwerk Kälteeffizienz Hamburg e.V.

Identifizierte Einrichtungen und Institute aus dem Bereich der Wissenschaft und Forschung mit Bezug zur KK-Technik:

Tabelle 3-4: Übersicht Forschungseinrichtungen mit Bezug zur KK-Technik

Nr.	Name	Tätigkeitsbereich
1	FH Münster – Energie, Gebäude, Umwelt	Labor Raumluf- und Kältetechnik
2	Forschungsrat Kältetechnik e.V.	Gebäudeklima; Gewerbekälte; Industriekälte; Transport; Haushaltskälte; Wärmepumpen; Kryotechnik
3	Fraunhofer IPM – Thermische Energiewandler	Thermoelektrik; Magnetokalorik; Elektrokolorik
4	Fraunhofer ISE – Wärme- und Kältetechnik	Wärmepumpen; Lüftung; Klima; Kälte
5	Hochschule Hannover – Abt. Maschinenbau	Labor für Kälte- und Klimatechnik Bereich Gebäudetechnik und Gebäudeautomation
6	Hochschule Karlsruhe – Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik	Eisbrei; Verflüssiger; Kälteanlagen; Klimaanlage; solare Klimatisierung
7	Hochschule München – Bereich Versorgungs- und Gebäudetechnik	Wärmepumpen; Kältetechnik; Klimatechnik
8	KIT – Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik	Kältemittel; Kompressionskälteanlagen; Wärmepumpen; Kryotechnik
9	Leibniz Universität Hannover – Institut für Thermodynamik	Thermodynamische Kreisprozesse; industrielle Kälteanlage (Chiller); Wärmepumpe; Anlagenregelung
10	Ostbayerische technische Hochschule Regensburg	Labor Kraft-Wärme-Kälte; Labor Heizungs- und Klimatechnik
11	Technische Hochschule Köln	Labor Wärmepumpen und Kältetechnik; Labor Raumluftechnik
12	TU Berlin – Fachgebiet Maschinen- und Energieanlagentechnik	Absorptionskälteanlagen; Absorptionswärmepumpe; Wärmetransformator; Dampfstrahlkälteanlagen; PV-Kühlen; Wirbelrohre; WRG; Speicher
13	TU Braunschweig – Institut für Thermodynamik	Kältemittel; Modellierung Stoffdaten; Wärmepumpen; Regelung und Fehlerdiagnose Kälteanlagen; Kältekreislauf
14	TU Dresden – Bitzer-Professur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik	Kältemittel; Sorptionskältemaschinen, Gemischkälteanlagen; mobile Kälte-/Wärme; Haushaltskälte; Kryotechnik; Kleinkälteverdichter; Haushaltskälteverdichter; Industrielle Kältemittel-Verdichter; Prozessgasverdichter; Stoffdatenlabor
15	TU Dresden – Professur für technische Thermodynamik	Kühlturmversuchsstand
16	Uni Kassel – Institut für Thermische Energietechnik	Absorptionsprozesse in der Kältetechnik

17	Universität Stuttgart – Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung	Absorptionskältemaschine; Absorptionswärmepumpe; Eisspeicher; Schaltschrank Thermomanagement
18	Universität Stuttgart – Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung	Schaltschrankklimatisierung; Absorptionswärmepumpe; Absorptionskälteanlagen; Eisspeicher; Simulation; Wärmepumpenregelung; Raumklimatechnik
19	ZAE Bayern – Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.	Wärmetauscher; Absorptionskältemaschine; Solare Klimatisierung

4. Energietechnische und wirtschaftliche Bewertung

Die vorangegangenen Kapitel haben sowohl einen Überblick über die zum Einsatz kommenden Technologien sowie deren Hersteller gegeben. Dabei wurde aufgezeigt, auf welche Art ein kühl-/kältetechnisches System realisiert werden kann und welche Anwendungsfelder innerhalb verschiedener Branchen existieren. Ferner wurde die Analyse der identifizierten Hersteller dargestellt.

Im nun vorliegenden Kapitel soll ein Überblick über die Relevanz einzelner Branchen im Hinblick auf die energetische Situation (*Energetische Kennwerte* aus Tabelle 3-1) gegeben werden. Darüber hinaus sollen in einem ersten Schritt derzeit zum Einsatz kommende Vorgehensweisen zur Bewertung der energetischen Situation der KK-Technik aufgezeigt und analysiert werden.

4.1. Energetische Bewertung im Status quo

Der Arbeitsschritt zur energietechnischen Betrachtung soll zuerst einen Überblick über die Systematik zur energetischen Bewertung einer kühl- und kältetechnischen Anlage geben. Im Rahmen des Arbeitsschrittes dient die Arbeitsthese einer isolierten energetischen Betrachtungsweise bei der Bewertung von kühl- und kältetechnischen Systemen, im Status quo, als Orientierung. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Fokus der Bewertung und Optimierung überwiegend auf einem jeweiligen Teilsystem liegt und weniger häufig auf dem Gesamtsystem. Dies bedingt gleichzeitig, dass Effizienzkriterien/-Kennzahlen gleichsam nur für die betrachteten Teilsysteme existieren und gemessen werden.

Beispielhaft soll an dieser Stelle ein Blick auf die Norm SIA 382/1 des Schweizer Bundesamtes für Energie geworfen werden, welche die in Abbildung 2-2 gezeigten Ausprägungsformen bzw. Elemente eines kühl- und kältetechnischen Systems zur Bewertung nach Abbildung 4-1 unterteilt. Zur Systembewertung werden für die eingeteilten Bereichen Effizienzkriterien/-Kennzahlen definiert und dargestellt.

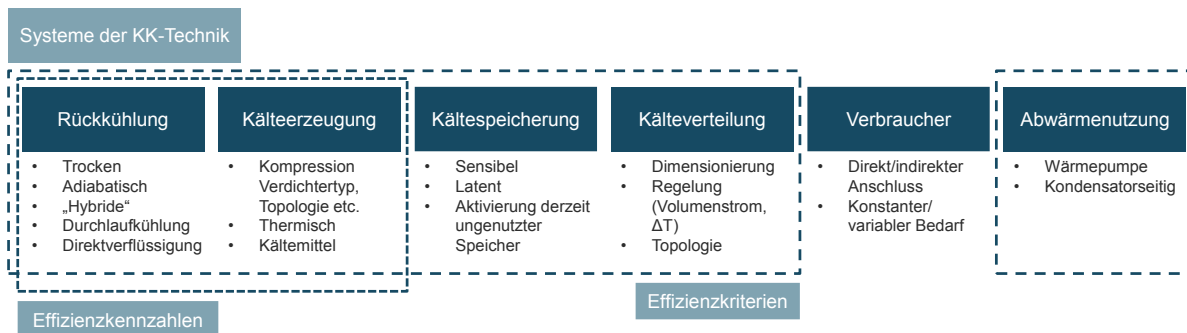


Abbildung 4-1: Beispiel einer energetischen Bewertung im Status quo (eigene Darstellung nach [Bundesamt für Energie, o.J.])

Anhand der Norm SIA 382/1 können Hinweise und Aussagen hinsichtlich eines effizienten Kälteanlagenbetriebs im Durchschnittsbetrieb abgeleitet werden. Mitunter werden energetische Anforderungen an das System durch konkrete Kennzahlen abgebildet. Dabei beziehen sich die Kennzahlen im Wesentlichen auf die einzelnen Teilbereiche selbst (Abbildung 4-1), teilweise allerdings auch auf zusammenhängende Bereiche (Kälteerzeugung/Rückkühlung, in Form des EER+).

Die Norm SIA 382/1 verschafft einem Anwender durch die Bewertung mittels konkret vorgegebener, standardisierter Richtwerte, eine gute Möglichkeit den Einsatz der KK-Technik energetisch zu bewerten. Dabei bleibt auch die Perspektive einer übergeordneten, d.h. teilsystemübergreifenden, Betrachtung nicht unberücksichtigt.

Dennoch soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass der Systemgedanke inkl. dynamischer Abhängigkeiten bei der energetischen Bewertung zu stärken ist, da nach dem derzeitigen Stand die Orientierung an statischen Informationen dominiert. Ferner bleibt die Frage nach der Verbreitung und dem Bekanntheitsgrad der Norm unter Anwendern in Deutschland bestehen, welche sich aufgrund des schweizerischen Hintergrundes der Norm ergibt.

Weiterhin kann das VDMA Einheitsblatt 24247 vor dem Hintergrund eines energieeffizienten Kältemaschinenbetriebs herangezogen werden. Das Einheitsblatt, bestehend aus 8 Teilen, gibt ähnliche (qualitative) Hinweise wie sie in der zuvor genannten SIA 382/1 aufgezeigt werden [VDMA, 2017]. Allerdings werden dabei von der SIA-Norm konkretere Richtwerte eines effizienten Betriebes vorgegeben. Nichtsdestotrotz kann auch das VDMA Einheitsblatt 24247 für eine energetische Bewertung herangezogen werden.

4.2. Erfassung energetischer Daten einzelner Branchen

Nachdem zuvor die energetische Bewertungsmethodik im Bereich der KK-Technik thematisiert wurde, wird an dieser Stelle nun der Blick auf verfügbare Datengrundlagen zur Bewertung der energetischen Situation einzelner Branchen gerichtet. Im Wesentlichen wird dabei ein Vergleich mit der vorab erwähnten VDMA-Studie aus dem Jahre 2011 angestellt. Eine Bewertung der energetischen Situation einzelner Branchen kann über die Studien des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) zur Erstellung von Anwendungsbilanzen einzelner Branchen abgeleitet werden.

Abbildung 4-2 zeigt den Strombedarf⁴ ausgewählter Branchen zur Bereitstellung von Prozesskälte für die Jahre 2013 bis 2018. Die betrachteten Branchen sind das Papiergewerbe⁵, die sonstige chemische Industrie⁶, die Gummi- und Kunststoffwarenbranche⁷ sowie der Maschinenbau⁸. Die Anwendungsbilanzen werden für weitere Branchen erstellt, jedoch liegen nicht für alle Branchen Daten zur Prozesskälte vor.

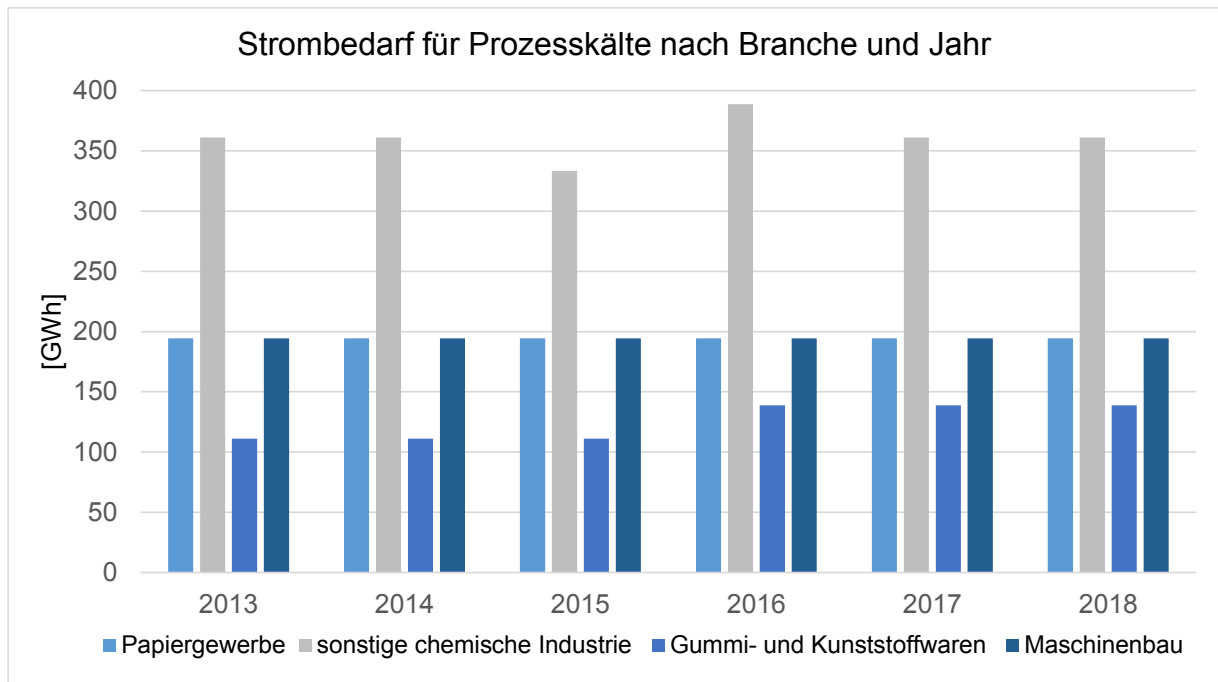


Abbildung 4-2: Strombedarf für Prozesskälte nach Branche und Jahr in [GWh] (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019a] & [Fraunhofer ISI, 2019b])

⁴ Betrachtung Makroebene in [J], Betrachtung Mikroebene in [Wh]

⁵ Wirtschaftszweiklassifikation 17 – Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus

⁶ Wirtschaftszweiklassifikation 20, 21, ohne 20.1 – Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen, ohne Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen

⁷ Wirtschaftszweiklassifikation 22 – Herstellung von Gummi- und Kunststoffware

⁸ Wirtschaftszweiklassifikation 28 – Maschinenbau

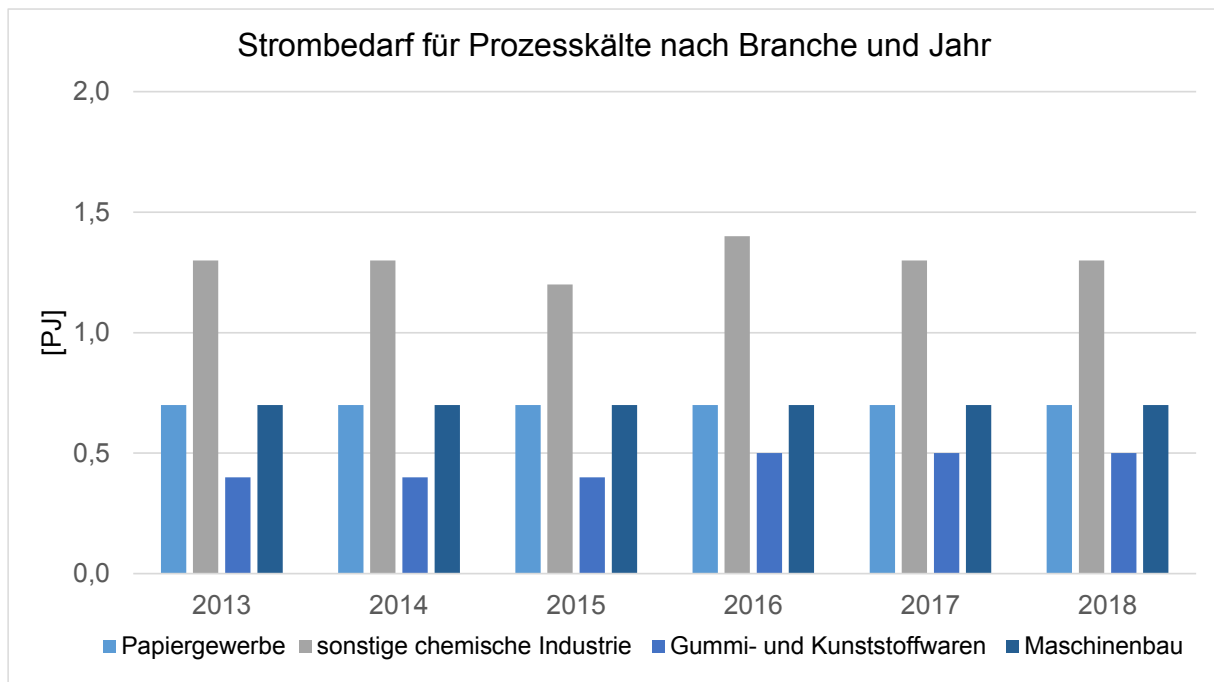


Abbildung 4-3: Strombedarf für Prozesskälte nach Branche in Jahr in [PJ] (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019a] & [Fraunhofer ISI, 2019b])

Der dargestellten Datengrundlage nach unterliegt der Strombedarf für Prozesskälte für die Branchen des Papiergewerbes sowie Maschinenbaus keiner Veränderung über die abgebildeten sechs Jahre. Weiterhin fallen die Veränderungen der übrigen Branchen nur gering aus.

Anhand dieser Datengrundlage soll im nun folgenden Teil ein Vergleich mit den Daten aus der VDMA-Studie erfolgen.

4.3. Papiergewerbe

Für die erste Gegenüberstellung werden die Daten zum Bereich der Papierbranche herangezogen. Gemäß den **im Jahre 2019 veröffentlichten** Daten der AGEB beträgt der Strombedarf für Prozesskälte für diese Branche konstant 194,4 GWh über die Jahre 2013 bis 2018. Allerdings liegt gemäß den **vor 2019 veröffentlichten** Daten lediglich ein (konstanter) Strombedarf von 83,3 GWh für die Jahre 2008 bis 2015 für diese Branche vor. Aus den Veröffentlichungen ist kein Grund für diese rückwirkende Bedarfssteigerung in der aktuellen Veröffentlichung auszumachen.

Die VDMA-Studie aus dem Jahre 2011 beziffert den (Kälte-)Endenergiebedarf der Papier- und Zellstoffindustrie für das Jahr 2009 auf insgesamt 90 GWh. Gemessen an den aktuellen AGEB-Bedarfswerten liegt demnach ein **Unterschied im Energiebedarf mit einem Faktor > 2** vor. Hierbei wird der Wert aus dem Jahre 2013 als Vergleichswert herangezogen, um den ältesten Bedarfswert der aktuellen Veröffentlichung betrachten.

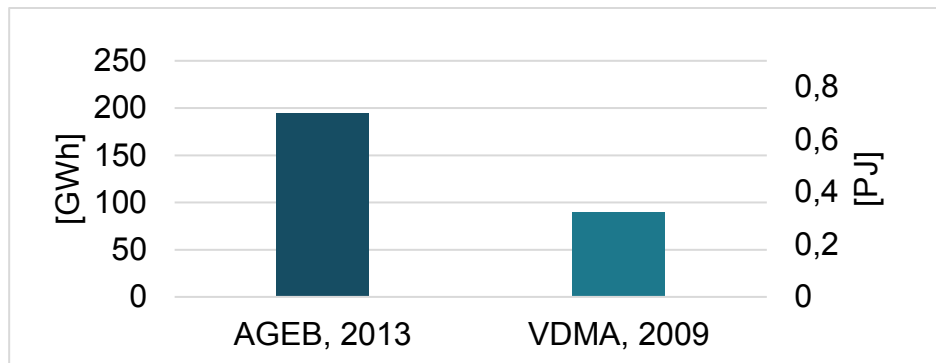


Abbildung 4-4: Unterschiedliche Energiebedarfswerte im Bereich der Papierindustrie (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019b] & [Preuß, 2011])

4.4. Sonstige chemische Industrie

Auch für den Bereich der sonstigen chemischen Industrie ist ein Unterschied hinsichtlich der Energiebedarfswerte auszumachen. Die Bedarfswerte nach Abbildung 4-2 liegen für den betrachteten Zeitraum zwischen 333,3 GWh und 388,9 GWh. Aus der VDMA-Studie ist ein Endenergiebedarf in Höhe von 1.950 GWh für die übrige Chemische Industrie zu entnehmen. Bei dem Vergleich mit dem Wert aus dem Jahr 2013 zeigt sich somit ein **Unterschied im Energiebedarf mit einem Faktor > 5**.

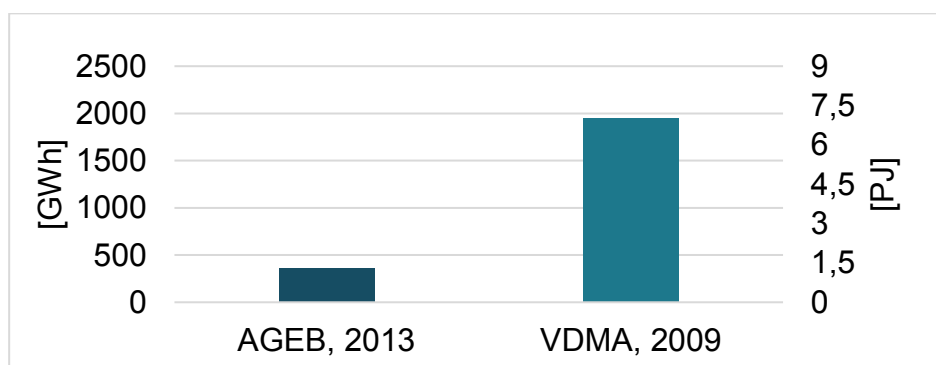


Abbildung 4-5: Unterschiedliche Energiebedarfswerte im Bereich der sonstigen chemischen Industrie (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019b] & [Preuß, 2011])

4.5. Kunststoff- und Gummibranche

Die Gummi- und Kunststoffwarenbranche weist im Gegensatz zu dem Papiergewerbe keinen konstanten, aber niedrigeren Energiebedarfswert auf als das Papiergewerbe. Der Energiebedarfswert liegt in den Jahren 2013 bis 2018 gemäß Abbildung 4-2 zwischen 111,1 GWh und 138,9 GWh. Für diese Branche liegen in den Veröffentlichungen **vor dem Jahre 2019** keine Energiebedarfswerte vor.

Aus der VDMA-Studie wird für das Jahr 2009 ein Energiebedarfswert von 700 GWh angegeben. Für diesen Bereich liegt der **Unterschied im Energiebedarf sogar bei einem Faktor > 6**. Auch an dieser Stelle zeigt AB den energetischen Unterschied der Branche ausgehend von den betrachteten Studien.

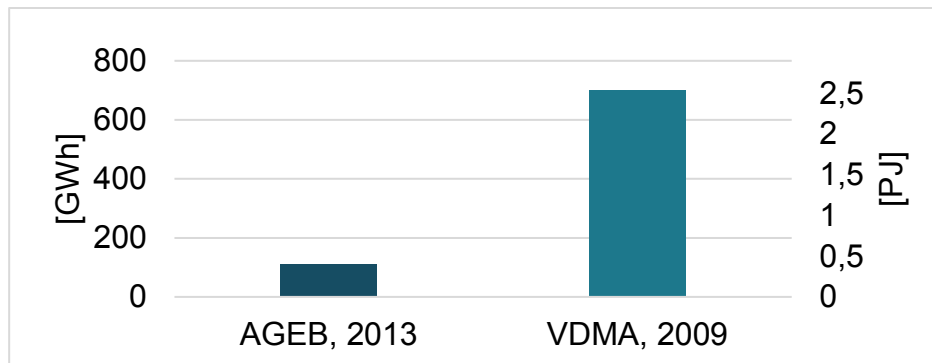


Abbildung 4-6: Unterschiedliche Energiebedarfswerte im Bereich der Kunststoff- und Gummibranche (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019b] & [Preuß, 2011])

4.6. Maschinenbau

Die letzte Gegenüberstellung erfolgt für die Maschinenbaubranche. Hierbei zeigt sich nach Abbildung 4-2 ein konstanter Strombedarf in Höhe von 194,4 GWh für alle betrachteten Jahre. Der Vergleich mit dem Energiebedarf nach der VDMA-Studie, welcher sich auf 117 GWh beläuft, zeigt für diesen Bereich einen geringeren **Unterschied im Energiebedarf mit einem Faktor < 2**.

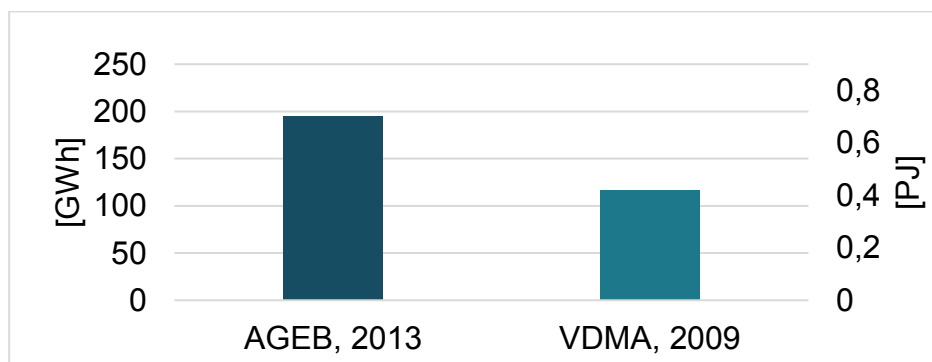


Abbildung 4-7: Unterschiedliche Energiebedarfswerte im Bereich des Maschinenbaus (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019b] & [Preuß, 2011])

4.7. Zusammenfassung unterschiedlicher Energiebedarfe

Anhand der vorangegangenen Kapitel konnte ein Überblick über die unterschiedlichen Energiebedarfswerte einzelner Branchen im unmittelbaren Vergleich gegeben werden. Dabei werden teilweise große Unterschiede bis zu einem Faktor > 6 aufgezeigt.⁹

In Abbildung 4-8 sind nun nochmals die unterschiedlichen Schwerpunktbranchen innerhalb der beiden Studien aufgezeigt. Hierbei liegen innerhalb der Studien erkennbare Unterschiede vor.

In beiden Studien stellt die sonstige chemische Industrie den größten Energiebedarf dar. Besonders auffällig ist allerdings, dass das Papiergewerbe nach den Daten der AGEB den zweitgrößten Energiebedarf aufweist, wohingegen die Papier-/Zellstoffbranche nach der VDMA-Studie den

⁹ Hinweis: Im Rahmen der Analyse wurde kein unmittelbarer Vergleich der Branchenbetrachtungsgrenzen vorgenommen.

geringsten Bedarf ausmacht. Gleiches zeigt sich für die Kunststoff-/Gummibranche, welche innerhalb der VDMA-Studie den zweitgrößten Anteil ausmacht, in der Untersuchung der AGEB allerdings den geringsten Anteil aufweist. Der Bereich des Maschinenbaus bewegt sich in beiden Untersuchungen auf einem ähnlichen Niveau, sowohl vom absoluten Energiebedarf als auch relativen Energiebedarf zu den weiteren Branchen.

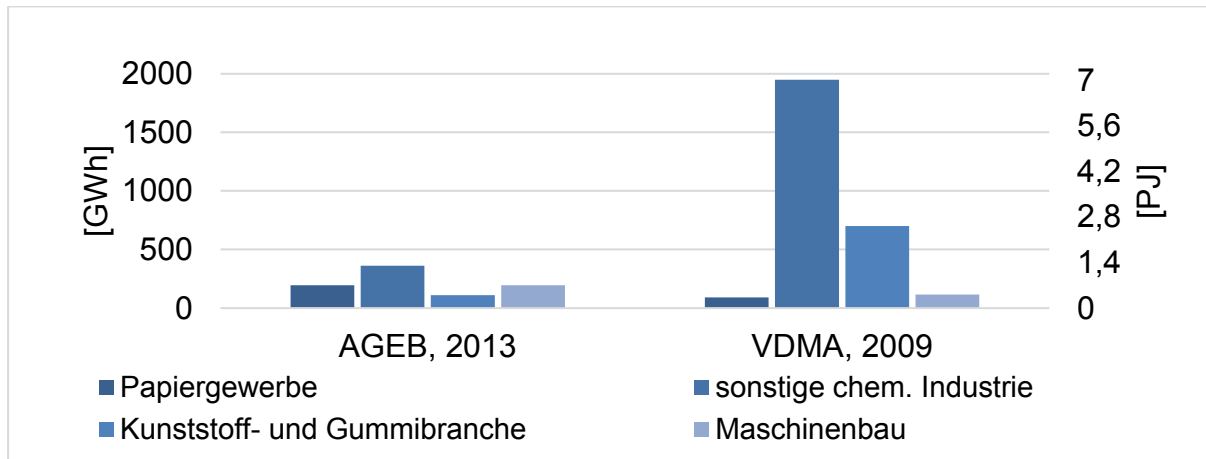


Abbildung 4-8: Unterschiedliche Schwerpunkte innerhalb der betrachteten Datenquellen (eigene Darstellung nach [Fraunhofer ISI, 2019b] und [Preuß, 2011])

Darüber hinaus ist den veröffentlichten Daten keine Information darüber zu entnehmen, welche genauen Bereiche bzw. (Teil-) Systeme eines kühl- und kältetechnischen Systems in die Bedarfsermittlung miteingehen. Allerdings wird im Rahmen der AGEB-Daten ein Hinweis darauf gegeben, dass sich der elektrische Energieeinsatz für Prozesskälte in der Regel auf den Kompressorantrieb bezieht.

Der Energiebedarf eines kühl- und kältetechnischen Systems kann sich anhand unterschiedlich gewählter Systemgrenzen ergeben (Abbildung 4-9). Sofern nur der eigentliche Kälteerzeugungsprozess in die Ermittlung des Energiebedarfs miteingehet, so sind weitere Verbraucher auf Seiten der Rückkühlung oder auf Seiten des Prozesses/Anlagen nicht enthalten und erhöhen den realen Bedarf zusätzlich. Weitere rückkühl- bzw. anlagenseitige Verbraucher sind z.B. Pumpen oder Ventilatoren, welche in Abhängigkeit der Anlagengröße durchaus hohe Leistungs- und damit Energiebedarfe aufweisen können. Insbesondere der rückkühlseitige Energiebedarf sollte bei der Bilanzierung des Gesamtbedarfs nicht vernachlässigt werden. Als Faustformel gilt hier ein Wert für den Energiebedarf eines Kühlturms (bestehend aus Ventilator und Pumpen) von ca. 3 % der Kühlleistung [Hesselbach, 2012]. Real kann dieser Wert auch deutlich höher liegen, wie eigene Erhebungen zeigen. So wurden Wert von ca. 10 % festgestellt.

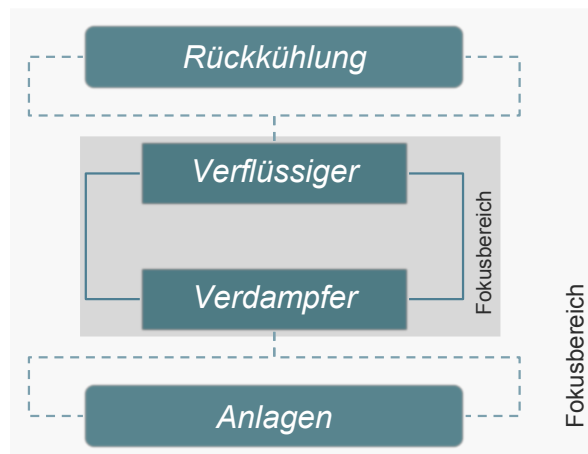


Abbildung 4-9: Potenzielle Systemgrenzen zur Ermittlung des Energiebedarfs (eigene Darstellung)

4.8. Schaltschrankkühlung und Flüssigkeitskühlsätze

Auch hinsichtlich der übergreifenden Bereiche der Flüssigkeitskühlsätze und Schaltschrankkühlungen können die analysierten Daten kritisch hinterfragt werden. Beispielfhaft nennt die Studie des VDMA einen Absolutwert von 200.000 Kältesystemen im Bereich der Flüssigkeitskühlsätze für industrielle Anwendungen (Stand 2009). Nach einer Expertenschätzung des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW) überstieg der Bestand an NC-Maschinen im Jahr 2010 diese Anzahl allerdings mit einem Wert von 300.000 Maschinen. Auch der zugehörige Energiebedarf nach der VDMA-Studie in Höhe von 504 GWh/a würde bei einem Bestand von 200.000 Systemen und einer industrieüblichen Betriebsstundenzahl von 4.000 Stunden im Jahr einen durchschnittlichen Leistungswert von 0,63 kW je Anlage aufweisen. Bei 2.000 Betriebsstunden im Jahr würde der Leistungswert auf 1,26 kW je Anlage steigen und wäre dennoch als gering zu betrachten. [Preuß, 2011]

Über eine eigene Abschätzung des Energiebedarfs von Chillern mit einer Kühlleistung bis 40 kW wird ein deutlich höherer Energiebedarf abgeschätzt. Die Abschätzung geht von einer EU-weit installierten Anlagenbasis von ca. 1 Mio. Geräten mit einer gewichteten Kühlleistung von ca. 10 kW und einem durchschnittlichen EER von ca. 2,2 (somit elektrische Leistungsaufnahme ca. 4,54 kW) aus. Bei einem Anteil von ca. 28 % der in Deutschland verbauten Systeme und einer jährlichen Auslastung von ca. 25 % würde sich bei 8.760 Jahresstunden ein Gesamtenergiebedarf von ca. 2.800 GWh ergeben, welcher somit den dargestellten Bedarf der VDMA-Studie um mehr als das 5-fache übersteigt.

Der Energiebedarf im Bereich der Schaltschrankkühlungen wird im Rahmen der VDMA Studie mit einem Absolutwert von 313 GWh angegeben [Preuß, 2011]. Auch in diesem Bereich wird über alternative Schätzungen ein wesentlich höherer Bedarf gesehen.

So geht eine ähnliche Schätzung zu der vorherigen von einem EU-weiten Anlagenbestand für Schaltschrankklimageräte von ca. 1,2 Mio. Systemen mit einer gewichteten Kühlleistung von ca. 1,8 kW bei einem durchschnittlichen EER von ca. 1,7 (somit elektrische Leistungsaufnahme ca. 1,06 kW) aus. Bei einem Anteil von ca. 28 % der in Deutschland verbauten Systeme und einer jährlichen Auslastung von ca. 25 % würde sich bei 8.760 Jahresstunden ein Gesamtenergiebedarf von ca. 780 GWh ergeben, welcher somit den dargestellten Bedarf der VDMA-Studie um mehr als das doppelte übersteigt.

Eine weitere Schätzung geht von einem EU-weiten Anlagenbestand im Bereich der Schaltschrankkühlung von ca. 700.000 Systemen mit einer gewichteten Kühlleistung von ca. 2 kW bei einem durchschnittlichen EER von ca. 2 (somit elektrische Leistungsaufnahme von ca. 1 kW) aus. Bei

einem Anteil von ca. 28 % der in Deutschland verbauten Systeme und einer jährlichen Auslastung von ca. 25 % würde sich bei 8.760 Jahresstunden ein Gesamtenergiebedarf von ca. 430 GWh ergeben, welcher somit ebenfalls den dargestellten Bedarf der VDMA-Studie übersteigt.

Somit ist sowohl im Bereich der Flüssigkeitskühlsätze als auch der Schaltschrankkühlung sowohl der Anlagenbestand als auch dessen energetische Bedeutung potenziell zu hinterfragen, sodass die energetische Relevanz real höher sein dürfte.

4.9. Einschub Aktualisierung VDMA-Daten

Während der Bearbeitung an dem Statuspapier wurde eine Aktualisierung der dargestellten VDMA Studie aus dem Jahr 2011 (Bezug auf **Jahr 2009**) veröffentlicht. Diese bezieht sich auf das **Jahr 2017** und enthält aktualisierte Werte zu den dargestellten Energiebedarfen und Anlagenbestand. Die relevanten Werte sollen im Folgenden dargestellt werden und analog zu der bisherigen Gegenüberstellung mit den AGEB-Daten für das Jahr 2017 verglichen werden.

Tabelle 4-1: Gegenüberstellung VDMA-Studie aus den Jahren 2011 und 2019 (für 2009 und 2017) [Preuß, 2011] & [Preuß, 2019]

Branche	Jahr 2009	Jahr 2017	Veränderung
Papiergewerbe (Kapitel 4.3)	90 GWh	105 GWh	+17 %
Sonstige chemische Industrie (Kapitel 4.4)	1.950 GWh	2.657 GWh	+36 %
Kunststoff- und Gummibranche (Kapitel 4.5)	700 GWh	906 GWh	+29 %
Maschinenbau (Kapitel 4.6)	117 GWh	137 GWh	+17 %
Flüssigkeitskühlsätze (Kapitel 4.8)	504 GWh	544 GWh	+8 %
Anzahl Flüssigkeitskühlsätze (Kapitel 4.8)	200.000	230.000	+15 %
Schaltschrankkühlungen (Kapitel 4.8)	313 GWh	319 GWh	+2 %
Durchschnitt			+18 %

Es wird ersichtlich, dass die energetische Bedeutung nach der aktuellen VDMA-Veröffentlichung in allen Bereichen gestiegen ist. Die Werte nach AGEB für das Jahr 2017 belaufen sich auf folgende Werte.

Tabelle 4-2: Gegenüberstellung AGEB-Daten der Jahre 2013 und 2017 [Fraunhofer ISI, 2019b]

Branche	AGEB 2013	AGEB 2017	Veränderung
Papiergewerbe (Kapitel 4.3)	194,4 GWh	194,4 GWh	+0 %
Sonstige chemische Industrie (Kapitel 4.4)	361,1 GWh	361,1 GWh	+0 %
Kunststoff- und Gummibranche (Kapitel 4.5)	111,1 GWh	138,9 GWh	+25 %
Maschinenbau (Kapitel 4.6)	194,4 GWh	194,4 GWh	+0 %
Durchschnitt			+6 %

Es zeigt sich, dass sich die Daten nach AGEB nur für den Bereich Kunststoff und Gummi erhöhen. Die ausbleibende Veränderung der übrigen Branchen ist im Zusammenhang mit Abbildung 4-2 einzuordnen.

Die aktualisierten Werte der VDMA-Studie zeigen eine gestiegene energetische Bedeutung über die Zeit an. Allerdings weist diese weiterhin die in den vorherigen Kapiteln aufgezeigten Problemstellungen auf, wenn es um die Gegenüberstellung mit den AGEB-Daten geht. Die Ergebnisse behalten also trotz zwischenzeitlich erfolgter Aktualisierung der Daten weiterhin Gültigkeit.

4.10. Rechenzentren

In Zusammenhang mit Schaltschrankkühlungen steht die übergeordnete Betrachtung ganzer Rechenzentren unterschiedlicher Kategorien. Abbildung 4-10 gibt an dieser Stelle nochmals einen Ausblick auf Rechenzentren in Deutschland. Ausgehend von einem Gesamtstrombedarf von ca. 14 TWh/a (50,4 PJ/a) zeigt sich ein insgesamt wachsender Strombedarf. Gleichzeitig bewegt sich der Anteil für die Klimatechnik in einem Bereich zwischen 18 bis 26 %, bzw. einem absoluten Strombedarf zwischen 2,8 und 3,2 TWh/a. [Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestags, 2019] Dieser Bedarf übersteigt jede der in Abbildung 4-8 aufgezeigten Branchen und verdeutlicht somit die energetische Relevanz der Kühl- und Kältetechnik im Zusammenhang mit Rechenzentren in Deutschland.

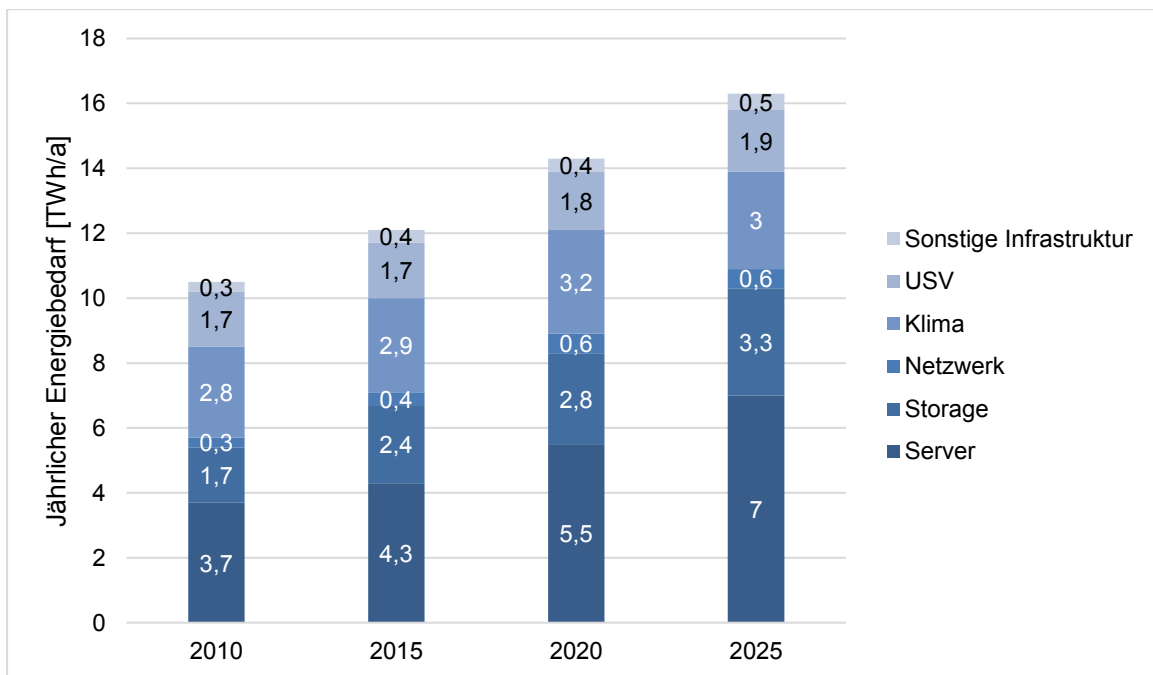


Abbildung 4-10: Elektrischer Jahresenergiebedarf von Rechenzentren (Basisprognose) [Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestags, 2019]

Den Bestand an Rechenzentren verschiedener Kategorien zeigt Tabelle 4-3. Mit großer Mehrheit besteht dieser aus Rechenzentren mit einer Größe von weniger als 100 m². Im Zusammenhang mit der energetischen Bedeutung nach Abbildung 4-10 deutet die Verteilung auf einen hohen spezifischen Energiebedarf eines einzelnen Systems hin.

Tabelle 4-3: Anzahl Rechenzentren in Deutschland nach Kategorie [Hintemann, 2017]

Rechenzentrumskategorie	Anzahl der Rechenzentren in Deutschland		
	2007	2013	2017

Serverschrank (3-10 m ²)	33.700	30.500	30.500
Serverraum (11-100 m ²)	18.100	18.100	19.900
Kleines Rechenzentrum (101-500 m ²)	1.700	2.150	2.500
Mittleres Rechenzentrum (501-5.000 m ²)	210	280	330
Großes Rechenzentrum (über 5.000 m ²)	45	70	90

4.11. Entnommene Wassermenge

Neben der Analyse des direkten Energiebedarfs einzelner Branchen erfolgt eine Abschätzung des energetischen Potenzials darüber hinaus auch anhand der Wassermengen, welche für industrielle Kühlzwecke verwendet werden (vgl. Abbildung 4-11).

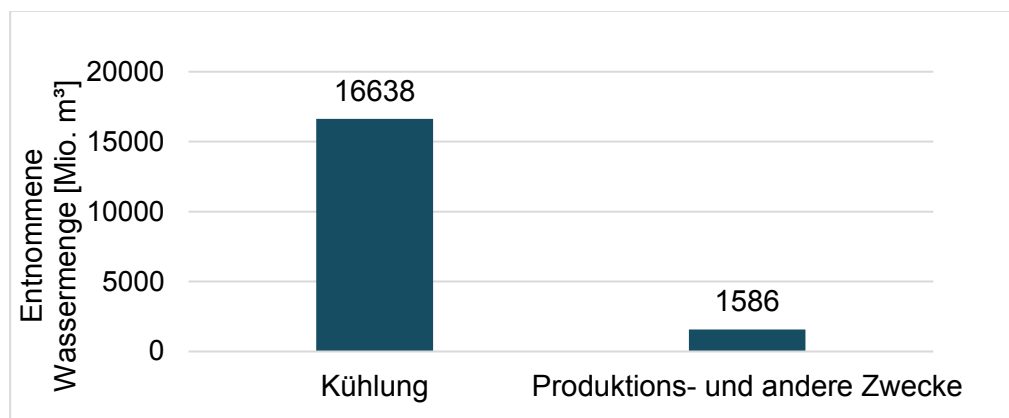


Abbildung 4-11: Entnommene Wassermenge der dt. Industrie nach Verwendungszweck im Jahr 2016 (eigene Darstellung nach [Statista 2018])

Nach Informationen des Umweltbundesamtes beläuft sich der Gesamtwasserbedarf bzw. -entnahme der Bereiche des Bergbaus, des verarbeitenden Gewerbes sowie der Energieversorgung auf 18.500 Mio. m³. Die Gesamtsumme inkl. der übrigen Kategorien aus Abbildung 4-11 (Bewässerung: 271 Mio. m³, in Produkte eingehendes Wasser: 158 Mio. m³, Belegschaft: 96 Mio. m³) beläuft sich auf 18.749 Mio. m³ Wasser. [UBA, 2020] Demzufolge ist davon auszugehen, dass unter dem Begriff Industrie in Abbildung 4-11 auch genau diese drei Bereiche des Bergbaus, des verarbeitenden Gewerbes sowie der Energieversorgung zusammengefasst werden.

Zieht man aus diesem Wasserbedarf den Anteil der Energieversorgung ab, so bezieht sich der **restliche Bedarf ausschließlich auf die Bereiche des Bergbaus und des verarbeitenden Gewerbes**. Der absolute Wasserbedarf der Energieversorgung beläuft sich für das Jahr 2016 auf etwa 12.700 Mio. m³ Wasser, welcher hauptsächlich für Kühlzwecke verwendet wird. An dieser Stelle wird zur Ermittlung des Wasserbedarfs für die Bereiche des Bergbaus und des verarbeitenden Gewerbes überschlägig dieser Absolutwert herangezogen und nicht der genaue Anteil für Kühlzwecke. Dieser ist den veröffentlichten Daten des Umweltbundesamtes nicht zu entnehmen.

Subtrahiert man den Wasserbedarf der Energieversorgung von dem Wasserbedarf aus Abbildung 4-11 so bleibt ein **Restbedarf von ca. 3.938 Mio. m³ Wasser**, welcher zu Kühlzwecke in den beiden Bereichen entnommen wird.

Für eine einfache Abschätzung der im (industriellen) Kühlwasser bzw. Kühlprozess enthaltenen Energie, wird die folgende Faustformel herangezogen. Die Erwärmung von 1 m³ Wasser um 1 K erfordert eine Energie von ca. 1 kWh. Bei 3.938 Mio. m³ Kühlwasser und einer industrieeüblichen Temperaturdifferenz von 4-5 K ergibt sich auf diese Weise überschlägig eine Gesamtenergie von **17,7 TWh**, welche potenziell in dem Kühlwasser enthalten ist. Stellt man diese Gesamtenergie der Wärmebereitstellung aus Umweltwärme und Geothermie aus dem Jahr 2020 entgegen, so weist dieser Wert mit ca. 17,5 TWh eine ähnliche Größenordnung auf [UBA, 2021].

Es ist an dieser Stelle anzunehmen, dass sich die Angabe der entnommenen Wassermenge auf offene (Verdunstungs-) Kühlsysteme bzw. Durchlaufkühlsysteme/Grundwasserkühlung bezieht. Die Energiemenge, welche in geschlossenen bzw. trockenen Systemen und Anlagen mit Direktverflüssigung enthalten ist, bleibt bei dieser (überschlägigen) Gesamtenergie somit unberücksichtigt. Gleichbedeutend erhöht sich die Gesamtenergiemenge, welche in industriellen Kühlsystemen enthalten ist.

4.12. Bestand Verdunstungskühlanlagen

Nachdem zuvor eine Betrachtung der Wasserentnahme für kühl- und kältetechnische Anwendungen erfolgt ist, soll in diesem Kapitel kurz auf den Anlagenbestand von Verdunstungskühlanlagen eingegangen werden.

Entsprechend der 42. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) sind Betreiber von Verdunstungskühlanlagen, Kühltürmen und Nassabscheidern verpflichtet, diese den zuständigen (Landes-) Behörden anzuzeigen. Auf dieser Grundlage wurde im Rahmen der Projektarbeit eine Anfrage der entsprechenden Daten in anonymisierter Form bei den zuständigen Behörden durchgeführt. Ziel war es, den bisher nur sehr lückenhaft vorliegenden Informationsstand zum Anlagenbestand zu erweitern. Es ist zu betonen, dass sich diese Bestandsdaten ausschließlich auf Anwendungen (1) Verdunstungskühlanlagen, (2) Kühlturm und (3) Nassabscheider beziehen, d.h. **keine Informationen über Kältemaschinen, Trockenkühler, Hybridkühler und Direktverflüssiger** enthalten sind. Der im Folgenden dargestellte Anlagenbestand bezieht sich auf die Rückmeldung von insgesamt **14 der 16 Bundesländer**. Nach mehrfacher Rückmeldung verschiedener Landesbehörden sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass davon auszugehen ist, dass ein Großteil der angezeigten Kühltürme eigentlich den Verdunstungskühlanlagen zuzuordnen ist. Betreiberseitig werden diese häufig (fälschlicherweise) als Kühltürme bezeichnet, obwohl sie nicht einem Kühlturm nach 42. BImSchV entsprechen. Der reale Bestand an Verdunstungskühlanlagen dürfte entsprechend größer sein.

Tabelle 4-4: Übersicht Verdunstungskühlanlagen, Kühltürmen und Nassabscheidern in Deutschland nach 42. BImSchV (eigene Darstellung nach [Datenabfrage Landesbehörden])

Anwendung	Anzahl
Verdunstungskühlanlagen	11.615
Kühltürme	834
Nassabscheider	2.507

Neben der absoluten Anlagenanzahl wurde darüber hinaus eine Auswertung der Jahre der Inbetriebnahme der Anlagen vorgenommen. Aufgrund der energetischen Relevanz (Luftstrom durch Einsatz Ventilatoren statt Naturzug wie beim Kühlturm) beziehen sich diese Daten nur auf die

Verdunstungskühlanlagen ohne Berücksichtigung der in vielen Fällen offensichtlich fälschlicherweise angegebenen Kühltürmen.

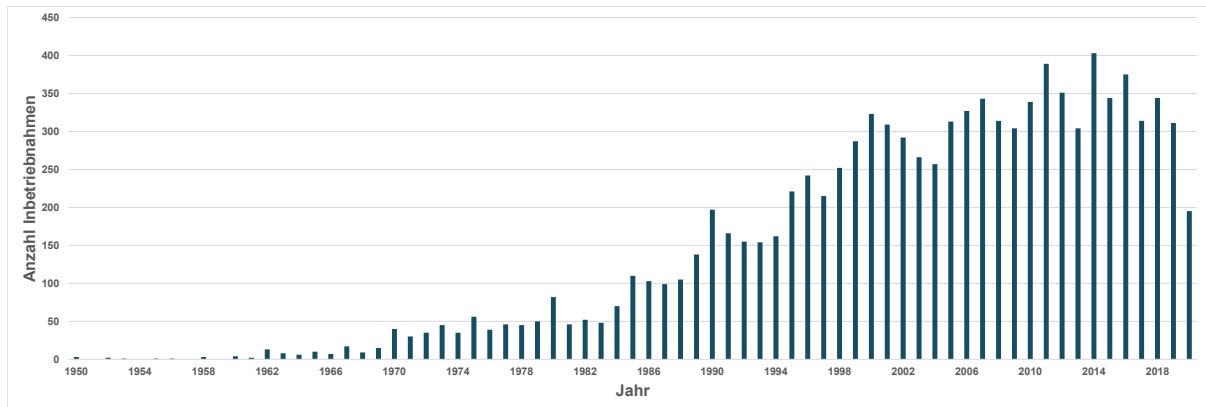


Abbildung 4-12: Anzahl Inbetriebnahme Verdunstungskühlanlagen nach Jahr (Zeitraum 1950 bis 2020)¹⁰ (eigene Darstellung nach [Datenabfrage Landesbehörden])

Abbildung 4-12 soll darüber hinaus nochmals durch eine Einordnung in 20-Jahres-Intervalle dargestellt werden. Anhand dieser Einordnung kann das Verhältnis der in Betrieb genommenen Anlagen im jeweiligen Zeitraum ermittelt werden (siehe Tabelle 4-5).

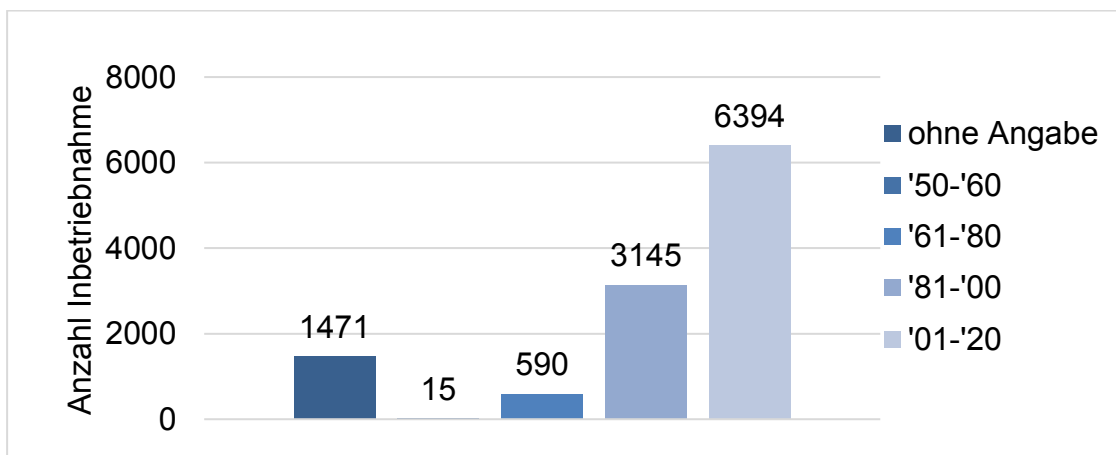


Abbildung 4-13: Anzahl Inbetriebnahme Verdunstungskühlanlagen (ohne Kühltürme) nach Zeitraum (n=11.615) (eigene Darstellung nach [Datenabfrage Landesbehörden])

Tabelle 4-5 zeigt, dass etwa 1/3 der Anlagen bis zum Jahre 2000 in Betrieb genommen wurden und somit ein bedeutender Anteil der Anlagen älter als 20 Jahre ist. Sämtliche dargestellten Anlagen werden im Kataster als „aktiv“ geführt. Welcher Anteil der Anlagen allerdings fälschlicherweise als „aktiv“ geführt wird und nicht aus dem System herausgenommen wurde konnte anhand der Rückmeldung durch die Landesbehörden allerdings nicht ermittelt werden.

¹⁰ Nicht enthalten sind 1.471 Verdunstungskühlanlagen, welche ohne Information zum Jahr der Inbetriebnahme übermittelt wurden (somit n=10.144)

Tabelle 4-5: Anteil Inbetriebnahme Verdunstungskühlanlagen (ohne Kühlturm) nach Zeitraum (eigene Darstellung nach [Datenabfrage Landesbehörden])

Anwendung	Anteil Anlagen
Ohne Angabe	12,7 %
Zeitraum 1950 bis 1960	0,1 %
Zeitraum 1961 bis 1980	5,1 %
Zeitraum 1981 bis 2000	27,1 %
Zeitraum 2001 bis 2020	55,0 %

Der Zeitraum 2001 bis 2020 weist eine relativ einheitliche Anzahl der jährlich in Betrieb genommenen Anlagen auf. Im Durchschnitt wurden jährlich etwa 319 Anlagen in Betrieb genommen. Daraus ist zu schließen, dass kurz- und mittelfristig eine gleichbleibende Anzahl an Anlagen dem Cluster „Betriebszeit >20 Jahre“ hinzukommt.

4.13. Abwärmenutzung

In diesem Kapitel soll nun nochmals ein Blick auf eine mögliche Abwärmenutzung für die KK-Technik gerichtet werden.

Eine Untersuchung aus dem Jahr 2014 hinsichtlich des Potenzials der Kältebedarfsdeckung über wärmegetriebene Kälteerzeugungsverfahren kommt zu dem Ergebnis, dass in den Bereichen der Industriekälte, der Nahrungsmittelherstellung und der Gebäudeklimatisierung ein hohes Potenzial besteht, den zum Zeitpunkt der Untersuchung herrschenden Anteil der Kältebedarfsdeckung mittels Ab-/Adsorptionskältemaschinen, zu steigern.

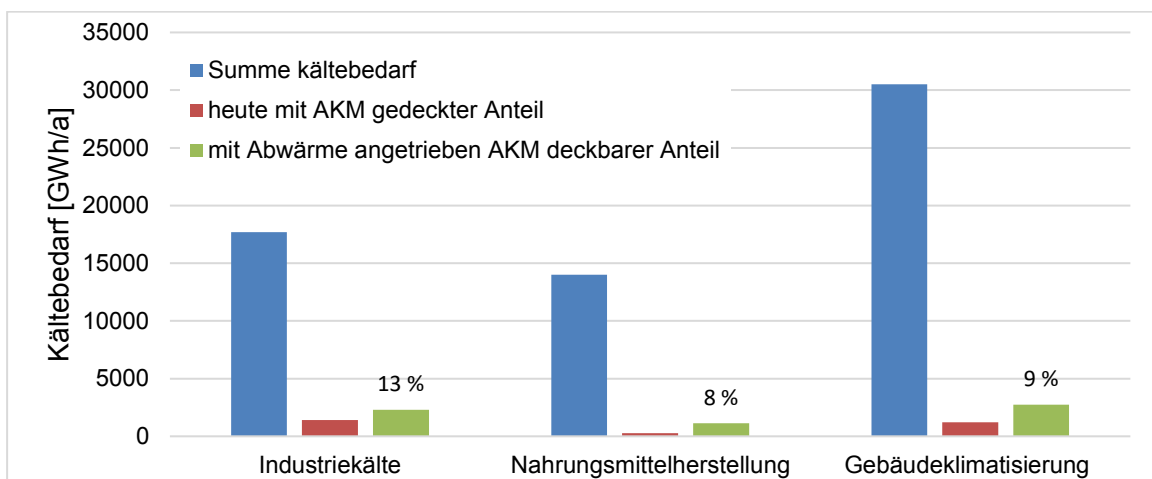


Abbildung 4-14: Kältebedarf und gegenwärtiger bzw. perspektivischer Anteil der mit Abwärme angetriebenen Kältetechnik - Variante: Nutzung vorhandener Abwärme zur Kälteerzeugung [Heinrich et al., 2014]

Der Anteil der mittels Abwärme angetriebenen Kältetechnik wird im Bereich der Industriekälte perspektivisch mit etwa 13 % (Ist-Anteil: 8 %) gesehen. Für den Bereich der Nahrungsmittelherstellung vervierfacht sich dieser Wert vom Ist-Anteil mit 2 % auf 8 %. Der Bereich der Gebäudeklimatisierung weist dagegen ein noch größeres Potenzial auf und erhöht sich von dem Ist-Anteil 2 % auf insgesamt 9 %.

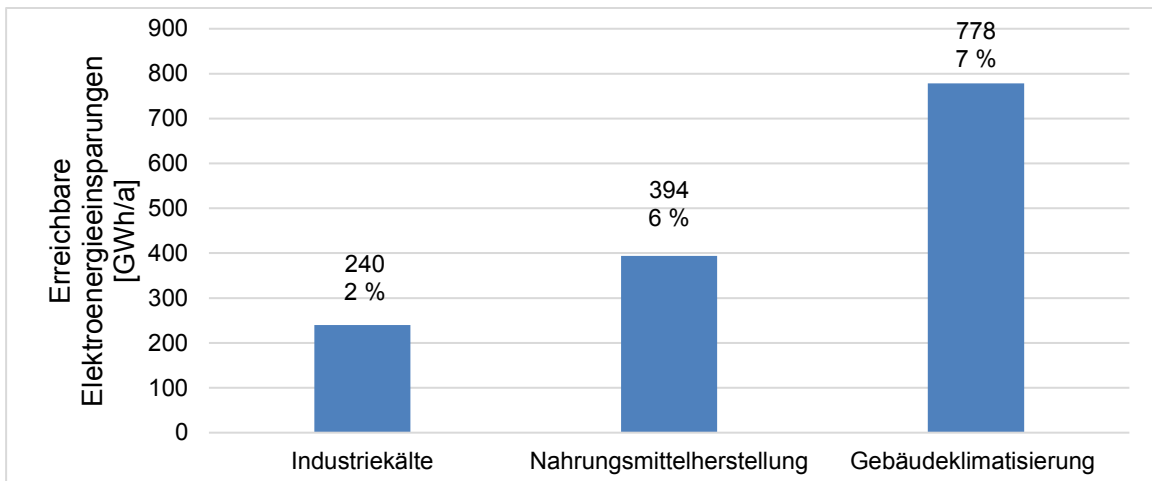


Abbildung 4-15: Erreichbare Elektroenergieeinsparungen in den einzelnen Branchen (%-Anteile auf den Elektroenergiebedarf der Kälterzeugung je Branche bezogen) - Variante: Nutzung vorhandener Abwärme zur Kälterzeugung - Keine Berücksichtigung Eigenbedarf Strom AKM [Heinrich et al., 2014]

Neben der dargestellten Variante der Nutzung vorhandener Abwärmequellen als Antriebswärme wird weiterhin die Variante der Nutzung von vorhandenen bzw. nachzurüstenden KWK-Anlagen auf Erdgas-Basis betrachtet. Hierbei ergeben sich die folgenden Anteile.

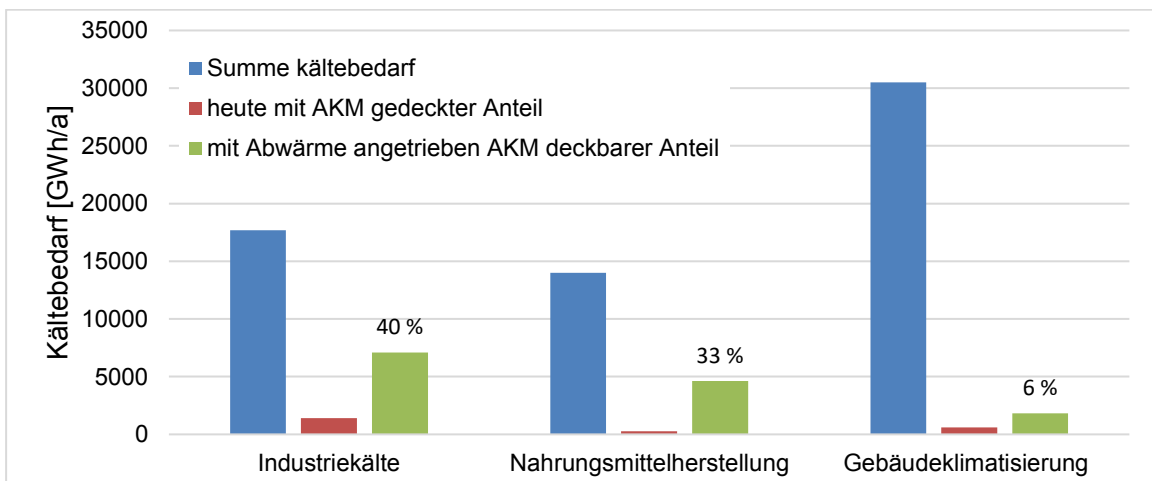


Abbildung 4-16: Kältebedarf und gegenwärtiger bzw. perspektivischer Anteil der mit Abwärme angetriebenen Kältetechnik - Potenzial: Einsatz von Erdgas-betriebenen KWK-Anlagen [Heinrich et al., 2014]

Das Potenzial für diese Variante wird im Bereich der Industriekälte von etwa 8 % (Ist-Anteil) auf etwa 40 % gesehen. Im Bereich der Nahrungsmittelherstellung von 2 % (Ist-Anteil) auf 33 % und im Bereich der Gebäudeklimatisierung von 2 % (Ist-Anteil) auf 6 %. Die erreichbaren Elektroenergieeinsparungen sind in der folgenden Abbildung erkennbar.

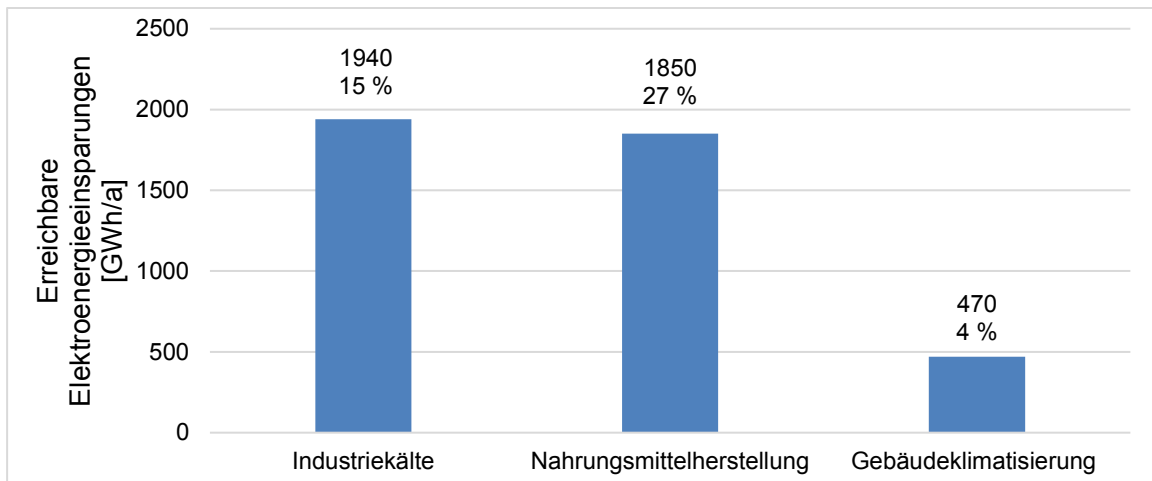


Abbildung 4-17: Erreichbare Stromeinsparungen in den einzelnen Branchen (%-Anteile auf dem Strombedarf der Kälteerzeugung je Branche gerechnet) – Potenzial: Einsatz von Erdgas-betriebenen KWK-Anlagen – Keine Berücksichtigung Eigenbedarf Strom der AKM [Heinrich et al., 2014]

In einer Dissertation aus dem Jahr 2016 wird ebenfalls eine Nutzbarkeitsanalyse durchgeführt. Als Ergebnis hinsichtlich Absorptionskälteanlagen wird eine (theoretische) potenzielle Kältebedarfsdeckung der Sektoren Industrie und GHD (Kältebedarf: 104 PJ/a bzw. 28,9 TWh/a) von ca. 77 % bei einer thermischen Leistungszahl von 0,7 und einer Abwärmemenge von ca. 115 PJ/a (31,9 TWh/a) (bei Abwärme mit mind. 70°C und Nutzung bis 35°C) gesehen. Weiterhin wird der NT-Wärmebedarf im Sektor Industrie, d.h. Wärme auf einem Niveau <100°C, mit 452 PJ/a (125,6 TWh/a) angegeben. Dieser kann gemäß Nutzbarkeitsanalyse mit einer Menge von 102 PJ/a (28,3 TWh/a) mit Abwärme >100°C gedeckt werden (bei Nutzung bis 35°C). Diese Potenziale werden unter dem Hinweis einer fehlenden Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Dimensionen angegeben. [Brückner, 2016]

Die Nutzbarkeitsanalyse wird ergänzt um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Industrieanwendungen. Hierbei werden Grenzwerte zur jährlichen Betriebsstundenanzahl angegeben, ab welchen ein wirtschaftlicher Einsatz erreicht wird.

Tabelle 4-6: Grenzwerte Betriebsstundenanzahl zu wirtschaftlichem Einsatz [Brückner, 2016]

Anwendung	Stunden
Absorptionswärmepumpen	
Industrie, GHD, Gebäude*	> 2.500 h/a
* Gebäude bereits	> 1.000 h/a
Mechanische Wärmepumpen	
Industrie	> 4.000 h/a
GHD, Gebäude	> 1.000 h/a
Absorptionskältemaschinen	
Industrie	> 7.000 h/a
Gebäude	> 2.500 h/a

Bzgl. der Absorptionskältemaschinen wird darüber hinaus exemplarisch ein spezifischer Grenzinvestitionskostenwert für eine jährliche Betriebsstundenzahl von 1.000 h/a abgebildet, auf welchen die Investitionskosten sinken müssten. Dieser beträgt für den Sektor Industrie 370 €/kW und für den Gebäudebereich 510 €/kW.

Trotz der zuvor aufgeführten, verfügbaren Datengrundlagen kommt ein Kurzgutachten bzgl. strategischer Optionen zur Dekarbonisierung und effizienten Nutzung von Prozesswärme und -kälte aus dem Jahr 2018 zu dem Ergebnis, dass eine aussagekräftige Potenzialbestimmung der NT-Abwärme (T-Niveau 20-60°C) in Deutschland nicht vorliegt. Dies wird z.B. mit der Vielfältigkeit der vorhandenen Quellen begründet. Weiterhin kommt das Kurzgutachten zum Ergebnis, dass NT-Abwärme zum Zeitpunkt des Gutachtens sowohl nur in geringem Maße erfasst sowie genutzt wird. Das Potenzial der NT-Abwärme wird als sehr bedeutend im Vergleich zu dem Potenzial der „klassischen“ Abwärme angesehen. In diesem Zusammenhang werden z.B. interne Kühlkreisläufe als Beispiel herangezogen, welche sich mit einer Temperatur von 25-40°C gut als Wärmequelle für Wärmepumpen anbieten. [Maaß et al., Stand 2018]

4.14. Zusammenfassung

Die vorangegangenen Kapitel deuten bei der Analyse des Endenergiebedarfs zur Bereitstellung von Prozesskälte in einzelnen Branchen sowohl auf eine ungenaue Datenlage als auch ungenaue Datenerhebungsmethodik hin. Betrachtete Studien kommen nach Abbildung 4-8 teils zu deutlichen Unterschieden in der energetischen Bewertung einzelner Branchen.

Ferner sind anhand der Entwicklung in Abbildung 4-2 nicht unmittelbar Rückschlüsse auf die Thesen des Fachgesprächs zu ziehen. Die hierbei relevanten Thesen, dass die **energetische Bedeutung der KK-Technik in der Industrie unterschätzt wird**, sowie die **energetische Bedeutung der KK-Technik weiter ansteigt**, können nicht eindeutig aus dem identifizierten Verlauf ausgemacht werden. Dies verstärkt die Frage nach der Genauigkeit der Datenlage bzw. Erhebungsmethodik, da sich die Aussagen von Experten nur bedingt bzw. nicht in den dargestellten Veröffentlichungen zeigen.

Es könnten darüber hinaus weitere Datengrundlagen im Kontext zusammengetragen werden und ein erster Datenbestand von Verdunstungskühlanlagen aufgebaut werden, welcher trotz konkreter Zahlenwerte einen qualitativen Charakter aufweist.

5. Technologiezyklusanalyse

Aufgrund der Tatsache, dass dieses Statuspapier die KK-Technik aus einer übergeordneten Perspektive betrachtet und keine einzelne Technologie fokussiert, wird keine Technologiezyklusanalyse im klassischen Sinne durchgeführt.

Allerdings kann im Hinblick auf eine Technologiezyklusanalyse auf eine potenzielle Effizienzlücke der KK-Technik hingewiesen werden. Trotz der Verfügbarkeit einer Vielzahl von Effizienzoptionen hinsichtlich technischer Komponenten und Betriebsweisen, werden diese Effizienzpotenziale im heutigen Anlagenbestand kaum ausgeschöpft. Die Verfügbarkeit weist auf einen hohen Technologie-Reifegrad (Technology Readiness Level TRL) hin. Zu dieser Vielzahl von Effizienzoptionen können z.B. Wärmerückgewinnungskomponenten, Drehzahlregelungen, Regelungen nach Umgebungsbedingungen, dynamische Volumenstrom- und Vorlauftemperaturenanpassungen oder auch Monitoringsysteme gezählt werden. In dem Anlagenbestand wiederum finden sich häufig überdimensionierte Anlagen und Anlagen mit schlechtem Teillastwirkungsgrad, trotz überwiegender

Betriebsweise in Teillast. Weiterhin kommt es häufig zu einer mangelhaften Systemregelung und keiner Kommunikation zwischen Kälteerzeugern und -nutzern. Diese Einschätzungen wurden im Rahmen der Expertengespräche bestätigt.

6. Analyse des Innovationssystems

Der nun folgende Abschnitt beschäftigt sich mit einer Analyse des Innovationssystems im Bereich der KK-Technik. Zur Analyse des Innovationssystems wurde eine systematische Recherche mittels der Förderdatenbank EnArgus durchgeführt. Dabei wurden Förderprojekte mit dem Hintergrund der KK-Technik der letzten 10 Jahre identifiziert und jeweils Stichworte des Projektes, der Projektzeitraum sowie die Fördersumme in einer tabellarischen Übersicht gesammelt (Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Übersicht identifizierter Forschungsprojekte im Bereich KK-Technik seit 2010 [EnArgus-Suchfunktion¹¹]

Projekt	Stichworte Förderprojekt	Zeitraum	Fördersumme
1	Solare Kühlung	01.06.2010-31.12.2012	800.951 €
2	Solare Kühlung; thermisch angetriebene Kälteerzeugung, Rückkühlung	01.09.2012-30.11.2015	1.827.288 €
3	Expansionsventil; Klein-/Kompaktkältegerät	01.02.2015-31.12.2018	997.630 €
4	Solare Kühlung; Speicher	01.01.2016-31.12.2019	2.686.280 €
5	Absorptionskälteanlage; thermisch angetriebene Kälteerzeugung	01.08.2017-30.11.2020	513.593 €
6	Absorptionskälteanlage; solare Kälteerzeugung; kleiner Leistungsbereich	01.08.2012-31.10.2015	635.271 €
7	Betriebsanalyse; Software; Bestandsanlagen	01.01.2019-31.12.2021	1.138.130 €
8	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung; Absorptionskälteanlage	01.05.2013-31.08.2018	4.381.713 €
9	Anlagenmonitoring; Energiemonitoring; Kontinuierlich; Energiemanagement	01.11.2012-31.07.2016	1.085.779 €
10	CO ₂ -Kälteanlage; Optimierung; Transkritisch; Volllastbetrieb; Teillastbetrieb	01.11.2017-31.10.2020	424.737 €
11	Betriebsüberwachung; Automatisiert; Fehlerdiagnosealgorithmen	01.11.2019-30.06.2021	1.042.188 €
12	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung; Thermisch angetriebene Kälteerzeugung; Solar, Dezentral, Kleiner und mittlerer Leistungsbereich	01.07.2010-31.10.2013	1.076.724 €
13	Rechenzentrum; Kühlung	01.10.2015-30.09.2020	504.723 €
14	Flüssigeis; Kältespeicher; Wärmeübertrager	01.04.2017-30.09.2020	1.125.210 €
15	Thermisch angetriebene Kälteerzeugung; Normal- und Tiefkälte	01.09.2012-31.08.2015	2.531.953 €

¹¹ <https://www.enargus.de/>

16	Energiemanagement; Flexible Kälteerzeugungssysteme; Kälteabsorber; Kompressionskältemaschine; Wärmespeicher; Kältespeicher	01.05.2018-30.04.2022	2.040.838 €
17	Absorptionswärmepumpe	01.09.2017-31.08.2020	628.641 €
18	Magnetokalorik; Tiefkühlung; Medizintechnik	01.06.2017-31.05.2021	1.729.074 €
19	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung; Optimierung	01.11.2015-31.12.2019	495.009 €

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Häufigkeit der Nennung der einzelnen Stichworte, so ergibt sich das in Abbildung 6-1 dargestellte Bild.

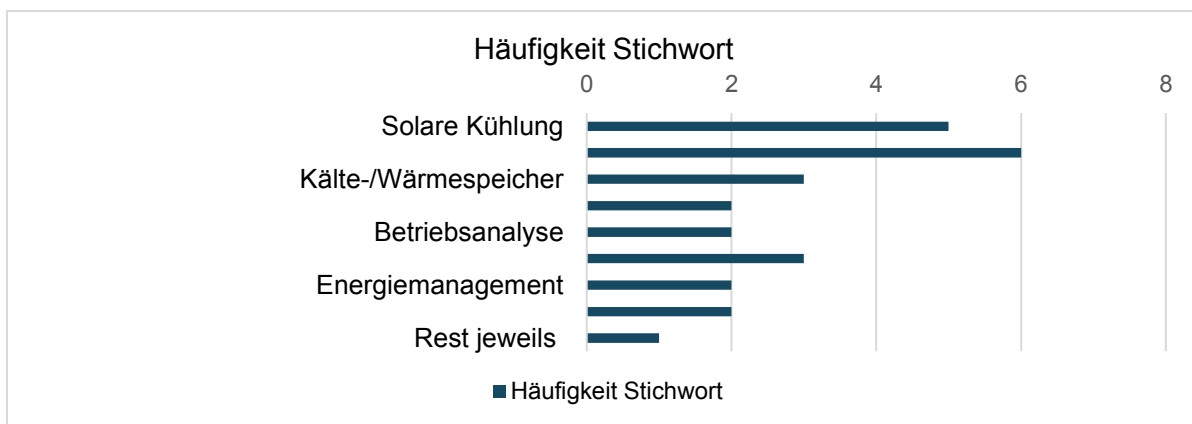


Abbildung 6-1: Häufigkeit der Stichworte aus Forschungsprojekten

Anhand dieser Verteilung sind Zusammenhänge mit der Herstelleranalyse aus Kapitel 3 bzw. den Thesen aus dem Fachgespräch aus Kapitel 1 erkennbar. Bis auf die **solare Kühlung**, als „neuer“ Bereich, weisen alle weiteren Stichworte mit einer Anzahl an Nennungen > 2 einen Bezug zu der Analyse bzw. den Thesen auf. Nichtsdestotrotz kann auch für den Bereich der solaren Kühlung ein Bezug zu den Thesen hergestellt werden. Forschungsaktivitäten zur solaren Kühlung können mitunter einen Hintergrund in einer (großen) energetischen Bedeutung der KK-Technik (These 1 und 2) haben.

Weiterhin kann ein Zusammenhang zwischen der Nennung der **thermisch angetriebenen Kälteerzeugung** sowie der **Speicher** und der geringen Anzahl an Herstellern für diese beiden Technologien (Abbildung 3-2) ausgemacht werden. Das Stichwort bzgl. des (kleinen/mittleren) **Leistungsbereichs** bezieht sich im Wesentlichen auf die solare Kühlung und die thermisch angetriebene Kälteerzeugung und weist keinen unmittelbaren Bezug zu der vorherigen Ausarbeitung auf. Weiterhin können die Stichworte zur **Betriebsanalyse** und dem **Energiemanagement** durchaus als Bestätigung der These der **mangelhaften Betrachtung der Zusammenhänge im Gesamtsystem** sowie der These einer **unzureichenden Verbreitung der Kenntnisse über Potenziale von Monitoringsystemen** betrachtet werden. Zumal es sich bei den entsprechenden Forschungsprojekten überwiegend um aktuelle Projekte handelt, was die Aktualität der Thesen unterstreicht. Das Stichwort der **Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung** kann im übertragenen Sinne ebenfalls auf die These der mangelhaften Betrachtung der Zusammenhänge im Gesamtsystem bezogen werden. Allerdings bezieht sich die Aussage des Gesamtsystems primär auf das Zusammenspiel der Bestandteile eines Kühl- und Kältesystems an sich (vgl. Abbildung 4-9).

Darüber hinaus weist die letzte These, welche auf das **Effizienzpotenzial einer bedarfsangepassten Betriebsweise** hinweist, keinen unmittelbaren zu den relevanten Stichworten in Abbildung 6-1 auf. Dennoch können in Tabelle 6-1 der These zugehörige Stichworte identifiziert werden.

Eine Darstellung der Akteure mit Forschungsbezug ist bereits in Kapitel 3 erfolgt, weswegen an dieser Stelle lediglich auf Tabelle 3-4 verwiesen wird. Bei der Analyse der Projektbeteiligten aus Tabelle 6-1 wird ersichtlich, dass sich das Innovationssystem zu, größten Teil aus Forschungseinrichtungen sowie Herstellern ergibt. Anwender oder Betreiber sowie planende Ingenieure sind nur kaum Bestandteil des Innovationssystems.

7. Weitere Forschungs- und Entwicklungsziele

Ausgehend von den Ergebnissen der Expertengespräche und der Bearbeitung der vorangegangenen Kapitel ergeben sich Fragestellungen, welche sich für eine weitere Untersuchung eignen und im Folgenden dargestellt werden.

Im Rahmen der Expertengespräche wurden neben konkreten Technologien weitere allgemeine Forschungs- und Entwicklungsthemen benannt (siehe auch Thesen in Abschnitt 1). So wurden folgende Einschätzungen bzgl. derzeit und zukünftig besonders relevanten Technologien (-entwicklungen) gegeben.

- **Kältemittelstrategie:** Verwendung von **natürlichen/Low-GWP-Kältemitteln**. Damit gleichzeitig **Sicherheitsfragestellungen** sowie die technische Umsetzung deutlich **reduzierter Füllmengen** in den Kältekreisen. (Mehrfachnennung)
- **Betriebsangepasste Auslegung:** Anlagenbetrieb oft nicht im Auslegungspunkt, womit sie für den Großteil der Betriebsstunden überdimensioniert sind. (Mehrfachnennung)
- **Rückkühlung:** Fokus auf **Systemeffizienz** (wenig Monitoring-Daten für Kälte verfügbar, elektrische Systemeffizienz oftmals schlecht), **Betriebsüberwachung** zur Erkennung von Effizienzverlusten und Anlagendefekten (Predictive Maintenance), **Akustik** und alternative Geometrien. (Mehrfachnennung)
- **Qualitätssicherung Kältekreis** im Feld: Erkennen und Vermeiden von Kältemittelverlusten.
- **Trennung Kühlung und Feuchteinstellung:** Zwei unterschiedliche Grundoperationen, welche aus praktischen Gründen kombiniert werden, aber nicht aus energetischen Gesichtspunkten

Zur Frage nach innovativen Technologien, welche trotz entsprechender Potenziale nur eine geringe Verbreitung in der Anwendung gefunden haben, werden insbesondere die folgenden Themen genannt.

- **Elasto-, Elektro- und Magnetokalorik** in ausgewählten Anwendungen. (Mehrfachnennung)
- **Wasser als Kältemittel** in Kompressionskälte.

Die Frage nach potenziellen Forschungsfragestellungen, um **Effizienzpotenziale** im Bereich der Kühl- und Kältetechnik zu ermöglichen wird folgendermaßen beantwortet.

- **Bedarfsangepasste Betriebsführung:** „Kältekurvenbetrieb“ statt „statisch 6/12°C“. (Mehrfachnennung)
- **Betriebsüberwachung/Optimierung Gesamtsystem** inkl. Übergabe und Rückkühler: Entwicklung einfacher nicht-invasiver Sensorik-Systeme, Nutzung digitaler Auswert-/Analysetools. (Mehrfachnennung)
- **Betriebskennfelder** für Kältekreise, Wärmeträger, Verdichter, ggf. weitere Komponenten: Auslegungspunkt oft nicht Betriebspunkt mit häufig großer Abweichung.

- Erarbeitung **anwendungsnaher Komponentenmodelle**: Transfer vom physikalischen Grundprozess auf das gesamte Bauteil oft nicht gut gegeben (für Universitäten nicht wissenschaftlich genug, für Unternehmen zu grundlagennah).
- **Einbindung Erneuerbarer Energien** durch Integration Speicher.
- **Flexibler Betrieb in Netzen (Strom/Wärme)**: Nutzung der Kältebereitstellung als Quelle für WP-Prozesse.
- **Wärmeübertragung**: Großer Einfluss auf Effizienz und Kosten

Weiterhin wurde die Frage nach potenziellen Forschungsfragestellungen, um Abwärmenutzung im Bereich der Kühl- und Kältetechnik zu ermöglichen beantwortet.

- Breite **Kartierung des Wärme- und Kältebedarfs** inkl. Leistungs- und Temperaturanforderungen für unterschiedliche Industriesegmente: Identifikation der Bedarfe der Branchenvertretungen in Richtung CO2-Neutralität sowie Entwurf von Mustersystemen.
- **Einfache Auslegungs-/Bewertungstools** zur Identifikation des Benefits.
- (Weiter-) Entwicklung **standardisierter, kostengünstiger Sorptionsprozesse**: Verwendung neuer Materialien oder Fertigungsmöglichkeiten. (Mehrfachnennung)
- **Standardisierung von Übergabesystemen**: z.B. für Fernwärme.
- Nutzen von Synergien zwischen Herstellern und Forschungseinrichtungen durch **Gemeinschaftsforschung**.
- **Wärmeübertragung**: Großer Einfluss auf Effizienz und Kosten
- Integrative Ansätze mit Abwärmeerzeugern: **Hybridisierung Kälteprozesse** (Mehrfachnennung)

Mehrfachnennungen durch verschiedene Experten sind insbesondere bei elasto-, elektro- und magnetokalorischen Prozessen, Sorptionsprozessen (u.a. Integration in Fernwärmenetz) und einer bedarfsgerechten Betriebsweise bzw. Teillastzuständen aufgetreten. Übergeordnet wird auch von den Experten auf die Entwicklung kostengünstiger Systemelemente verwiesen, um ökonomische Hemmnisse im Bereich der Energieeffizienz und Abwärmenutzung zu mindern.

Um konkretere F&E-Themenbereiche abzuleiten, wurden die Einzelantworten in einem nächsten Schritt geclustert (Tabelle 7-1). Cluster 1 bis 4 bauen dabei zeitlich aufeinander auf, wohingegen Cluster 5 als vertiefende Technologieforschung für sich betrachtet wird. Die Darstellung der Einzelthemen folgt an dieser Stelle keiner Priorisierung.

Tabelle 7-1: Cluster der Ergebnisse des Fachgesprächs Kühl- und Kältetechnik

	Cluster	Themen
Zeitlich aufeinander folgend	Cluster 1 – Bedarfs- und Potenzialkataster	Breite Kartierung des Wärme- und Kältebedarfs inkl. Leistungs- und Temperaturanforderungen für unterschiedliche Industriesegmente: Identifikation der Bedarfe der Branchenvertretungen in Richtung CO2-Neutralität sowie Entwurf von Mustersystemen.
		Integrative Ansätze mit Abwärmeerzeugern (Hybridisierung Kälteprozesse).
		Standardisierung von Übergabesystemen : z.B. für Netze (werksintern).
	Cluster 2 – Methodisieren der Technologie- und Anlagenplanung	Erarbeitung anwendungsnaher Komponentenmodelle : Transfer vom physikalischen Grundprozess auf das gesamte Bauteil oft nicht gut gegeben (für Universitäten nicht wissenschaftlich genug, für Unternehmen zu grundlagennah).

Iosgelöst		Betriebsangepasste Auslegung: Anlagenbetrieb oft nicht im Auslegungspunkt, womit sie für den Großteil der Betriebsstunden überdimensioniert sind.
	Cluster 3 – Bedarfsgerechter Betrieb (Transfer Forschungsergebnisse)	Bedarfsangepasste Betriebsführung: „Kältekurvenbetrieb“ statt „statisch 6/12°C“.
		Betriebskennfelder für Kältekreise, Wärmeübertrager, Verdichter, ggf. weitere Komponenten: Auslegungspunkt oft nicht Betriebspunkt mit häufig großer Abweichung.
		Einfache Auslegungs-/Bewertungstools zur Identifikation des Benefits.
	Cluster 4 – Perspektive Wärmenetze	Standardisierung von Übergabesystemen: z.B. für Fernwärme (werksgrenzenübergreifend).
		Einbindung Erneuerbarer Energien durch Integration Speicher.
		Flexibler Betrieb in Netzen (Strom/Wärme): Nutzung der Kältebereitstellung als Quelle für WP-Prozesse.
	Cluster 5 – Vertiefte Technologie- und Komponentenforschung	Elasto-, Elektro- und Magnetokalorik in ausgewählten Anwendungen.
		(Weiter-) Entwicklung standardisierter, kostengünstiger Sorptionsprozesse: Verwendung neuer Materialien oder Fertigungsmöglichkeiten.
		Kältemittelstrategie: Verwendung von natürlichen/Low-GWP-Kältemitteln . Damit gleichzeitig Sicherheitsfragestellungen sowie die technische Umsetzung deutlich reduzierter Füllmengen in den Kältekreisen.
Qualitätssicherung Kältekreis im Feld: Erkennen und Vermeiden von Kältemittelverlusten .		
Wasser als Kältemittel in Kompressionskälte.		
Rekuperative Expansion im Kältekreis.		

Neben und mit den unmittelbaren Empfehlungen seitens der Experten werden aus den erarbeiteten Inhalten der vorangegangenen Kapitel weitere Fragestellungen abgeleitet.

Abbildung 2-3 deutet den Einsatzbereich verschiedener Technologien zu verschiedenen Temperaturbereichen an. Gleichzeitig gibt Abbildung 2-5 einen Hinweis darauf, welche Ähnlichkeiten hinsichtlich der Temperaturbereiche in den betrachteten Branchen existieren. Dies lässt auf gewisse Analogien bei dem Einsatz von KK-Technik in den unterschiedlichen Branchen schließen. In Bezug auf Abbildung 4-9 werden diese Analogien bis zu dem Übergabepunkt zum anlagenseitigen Kreislauf gesehen (Abbildung 7-1).

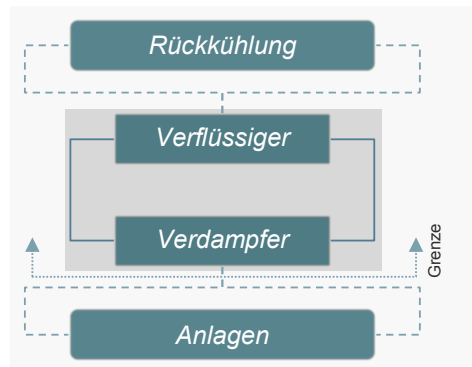


Abbildung 7-1: Systemgrenze bei Betrachtung branchenübergreifender Analogien (eigene Darstellung)

Ungeachtet der Gestaltungsvielfalt in den Teilelementen (Abbildung 2-2 bzw. Abbildung 2-4) unterscheidet sich der grundlegende Aufbau kühl- und kältetechnischer Systeme branchenübergreifend nur bedingt (Prozesskreis/Kältekreis/Kühlkreis bzw. Prozesskreis/Kühlkreis).

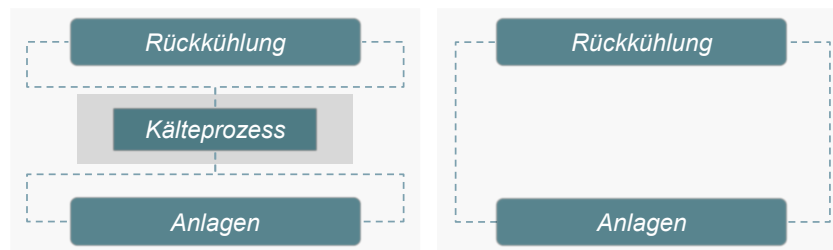


Abbildung 7-2: Branchenübergreifender Grundaufbau kühl- und kältetechnischer Systeme (eigene Darstellung)

Aufgrund dieser Tatsache und der ähnlichen Temperaturniveaus wird darauf geschlossen, dass der Einsatz von KK-Technik branchenübergreifend insbesondere in den Bereichen Kälteerzeugung und Rückkühlung hohe Ähnlichkeiten aufweist. Demzufolge könnte eine **hohe Übertragbarkeit von Effizienzoptimierungen auf verschiedene Branchen** existieren.

Entsprechend wäre ein erster **Fokusbereich bzgl. Forschungs- und Entwicklungszielen, der Bereich der Kälteerzeugung und Rückkühlung**. Ein ganzheitlicher Optimierungsansatz wäre folglich auf eine Vielzahl von Anwendungsfällen zu übertragen.

Potenzielle Forschungsfragen in diesem Zusammenhang könnten sich an den folgenden orientieren.

- Welche Technologien sind nötig, um das Potenzial im Technologiefeld zu steigern?
- Welche Effizienzgrade/Kennwerte sollten je nach Konfiguration im Bestand erreicht werden?
- Wie können Benchmarks zur Bewertung des Bestands aus Perspektive des Gesamtsystems aussehen?

Die obenstehende Darstellung bezieht sich auf den Bereich bis zur Grenze aus Abbildung 7-1. Darüber hinaus könnte in den Betrachtungsbereich auch der Bereich hinter der Schnittstelle bzw. dem Übergabepunkt zur Anlage hin betrachtet werden. Fragen in diesem Zusammenhang wären z.B. auf Ähnlichkeiten und Unterschiede der KK-Technik der einzelnen Branchen im anlagenseitigen Kreislauf zu formulieren (z.B. Laufzeiten, Regelung, Wärmeübertragung etc.). Die Fragestellungen erreichbarer Effizienzgrade bzw. Benchmark Werten ergibt sich vor dem Hintergrund der energetischen Relevanz von kühl- und kältetechnischen Anlagen im industriellen Kontext. Dabei variiert der relative Anteil für Kühl- und Kältetechnik am Gesamtstrombedarf sehr stark (teils unterer einstelliger %-Bereich), was auf eine unterschiedliche (oftmals untergeordnete) Bedeutung dieses „Nebenprozesses“ schließen lässt. Es

gilt zu beachten, dass ein geringer relativer Anteil durchaus einen großen absoluten Energiebedarf bedeuten kann, insbesondere im branchenübergreifenden Vergleich (vgl. Abbildung 7-3). Aus der Kombination der energetischen Bedeutung und der Komplexität der Systemgestaltung bzw. systeminterner Wechselwirkungen wird eine potenziell nur unzureichend verbreitete Kenntnis einer effizienten, optimalen Systemkonfiguration erwartet.

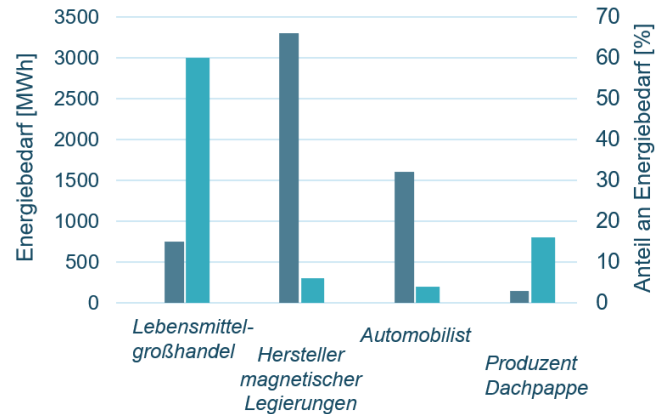


Abbildung 7-3: Branchenübergreifender Vergleich relativer und absoluter Energiebedarfe (eigene Darstellung anhand Datengrundlage aus Energieberatungsprojekten)

Anhand der Entwicklung von Vergleichssystemen für einzelne Referenzanwendungen könnte Betreibern über Benchmarks eine schnelle Informationsgrundlage ermöglicht werden. Im Bereich der Gewerbe-/Supermarktkälte finden solche Methoden bereits erfolgreich Anwendung. Die relative energetische Bedeutung ist hierbei allerdings ungleich höher (oftmals 60-70 % des Gesamtstrombedarfs).

Weiterhin wird an dieser Stelle nochmals Bezug auf Abschnitt 4 genommen. Aus diesem geht hervor, dass hinsichtlich der energetischen Ausgangssituation und damit Relevanz der KK-Technik in Deutschland grundsätzlich eine gewisse Ungewissheit besteht. Die Informationsbasis in Form der verfügbaren Datenlage deutet auf eine inkonsistente Datenbeschaffung bzw. -verfügbarkeit hin, welche als ein **zweiter Fokusbereich durch eine Schaffung von Transparenz des Bestands und der energetischen Relevanz** thematisiert werden kann. Hierbei würde es sich gewissermaßen um die Erarbeitung von Grundlagen bzw. einer Ausgangsbasis handeln mit dem Ziel, die bisher verwendete Datenbasis, welche mitunter als Grundlage für (politische) Entscheidungen dient, einer Aktualisierung zu unterziehen und die reale energetische Situation abzubilden.

Potenzielle Forschungsfragen in diesem Zusammenhang könnten sich an den folgenden orientieren.

- Wie hoch ist der reale Energie-/Ressourcenbedarf der bestehenden kühl- und kältetechnischen Systeme?
- Welche Charakteristika bzw. Merkmale prägen den Bestand an kühl- und kältetechnischen Systemen?
- Wie hoch ist das real existierende energetische Optimierungspotenzial der KK-Technik?

Als weiteren Punkt sind die relevanten Akteure zu thematisieren. Zur Bearbeitung der zuvor formulierten, potenziellen Forschungsfragen sind diese Akteure miteinzubeziehen. Die vorangegangenen Abschnitte haben eine Vielzahl an potenziellen Akteuren aufgezeigt. Aus diesem Grund zeigt sich ein **dritter Fokusbereich mit den Stakeholdern im Bereich der KK-Technik**. Hierzu sind z.B. auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu zählen, welchen sowohl Kapazität

als auch Kompetenz im Themenkomplex fehlt und somit durch eine strukturierte und zielgerichtete Vermittlung an geeignete Kompetenzträger geholfen werden kann. Mitunter existieren hierfür bereits Strukturen, welche systematisch weiterentwickelt werden können.

Potenzielle Forschungsfragen in diesem Zusammenhang könnten sich an den folgenden orientieren.

- Welche sind die relevanten Stakeholder (segmentiert nach Branchen)?
- Was sind geeignete Kommunikationswege, um Akteure zusammenzubringen?

Zusammenfassend können die zuvor genannten Anregungen und Fragestellung der Fokusbereiche unter den folgenden Aspekten nochmals gesammelt und um weitere ergänzt dargestellt werden.

- Analyse des quantitativen und qualitativen Anlagenbestands (Art Kataster)
- Identifizierung des realen Energie-/Ressourcenbedarfs (somit energetische Relevanz) der Kühl- und Kältetechnik im Bestand
- Identifizierung und Quantifizierung der energetischen und wirtschaftlichen Potenziale durch Optimierung im Neubau und Bestand der Kühl- und Kältetechnik
- Analyse der (wirtschaftlichen) Potenziale unter Berücksichtigung systemgrenzenübergreifender Abhängigkeiten und Potenziale (in Anlehnung an SIA 382/1)
- Identifizierung von (wirtschaftlichen) Potenzialen der umgebungs- und lastabhängigen Systemregelung
 - Z.B. nach Umgebungsbedingungen der Temperatur [°C] oder rel. Feuchte [%] oder nach Bedarf einer Wärmerückgewinnung
- Analyse der (erwartbaren) Effekte in Teillast
 - Z.B. bei geringerem Volumenstrom, geringeren ΔT , niedrigere Rückkühltemperaturen etc.)
- Erzeugung von Benchmarks zur Ermöglichung einer Potenzialabschätzung im Bestand
 - Strukturierung sinnvoller Systemkombinationen eines kühl- und kältetechnischen Systems inkl. Wärmerückgewinnung
- Identifikation relevanter branchenbezogener/-übergreifender Stakeholder (Industrie und Forschung) und nachhaltige Vernetzung dieser Stakeholder

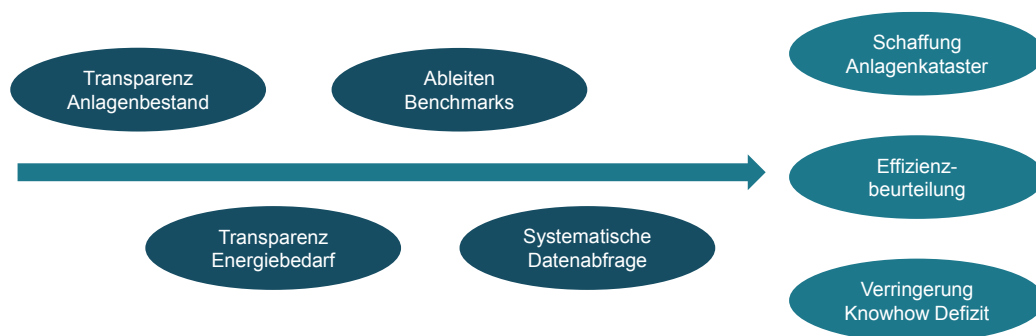


Abbildung 7-4: Überblick Vorgehensweise empfohlener F&E-Aktivitäten (eigene Darstellung)

8. Hemmnisse

Im Rahmen der Expertengespräche wurden (klassische) Hemmnisse im Bereich der KK-Technik diskutiert und um neue ergänzt. Als Ergebnis wurden u.a. die folgenden Hemmnisse im Zusammenhang mit der Nichtausnutzung der vorhandenen Effizienzoptionen festgehalten.

- Investor-Nutzer-Dilemma
- Know-how Gefälle (von Hersteller zu Nutzer)

- Mangelnde Erfahrung/Vertrauen bei Innovationen
- Investitionskosten
- Mangelnde Ausbildung
- Fehlendes Systemmonitoring (Transparenzschaffung)
- Forschungsvernetzung zu gering

Darüber hinaus wird ein wesentliches Hemmnis eines hohen Effizienzniveaus in der zuvor schon angedeuteten (betreiberseitigen) Knowhow-Verbreitung gesehen. Das gering zu erwartende Effizienzniveau im Bestand dürfte u.a. daraus resultieren, dass kühl- und kältetechnische Anwendungen charakterisiert sind durch eine hohe Planungskomplexität, da eine Beteiligung unterschiedlicher Gewerke erforderlich ist und das System an sich durch eine Vielzahl systemischer Zusammenhänge und Wechselwirkungen geprägt ist. Weiterhin zeichnet sich ein kühl- und kältetechnisches System durch eine große Variantenvielfalt zur Gestaltung bzw. Konfiguration des Systems aus (selbst bei Fokussierung auf eine Kaltwasserversorgungstemperatur $> 0^{\circ}\text{C}$). Schon bei einzelnen Elementen ist die Vielfalt von Einflussparametern auf die Leistungsfähigkeit groß, z.B. wirken sich bei einem offenen Kühlturm Aspekte wie Umgebungstemperatur und -feuchtegehalt, Intensität Sonneneinstrahlung, Tropfenfallhöhe, Kühlwasservolumenstrom, Benetzungsfläche oder Verschmutzung am Wärmeübertrager auf die Leistungsfähigkeit aus. Folglich erhöht die Betrachtung des Gesamtsystems die Komplexität signifikant, weswegen keine statische Lösung unter Berücksichtigung aller Teilelemente existiert.

9. Empfehlungen Forschungsförderung

Die Empfehlung zur Forschungsförderung leitet sich anhand der F&E-Ziele aus Kapitel 7 ab. Weiterhin wurde im Rahmen der Projektarbeit ein Forschungsimpuls im Sinne eines Quick Scans für den Themenbereich ausgearbeitet.

10. Literaturverzeichnis

- Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (o.J.): UV-Trocknung. Wiesbaden
- Brückner, S. (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland – Bestimmung von gesichertem Aufkommen und technischer bzw. wirtschaftlicher Nutzbarkeit. Dissertation. Technische Universität München, München
- Bundesamt für Energie (o.J.): Kälte effizient erzeugen – Das Wichtigste zur Kälteerzeugung nach SIA 382/1. Ittigen
- Datenabfrage Landesbehörden: Hessen, Brandenburg, Berlin, Hamburg, Sachsen-Anhalt, Bremen, Baden-Württemberg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Schleswig-Holstein
- Expertenvorträge im Rahmen Fachgespräch: Hr. Himmelhuber (Rittal GmbH & Co. KG), Hr. Prof. Dr. Hesse (TU Dresden), Hr. Prof. Dr. Ziegler (TU Berlin), Hr. Molter (Green Chiller Verband), Fr. Dr. Schnabel (Fraunhofer ISE), Hr. Dr. Bartholomé (Fraunhofer IPM)
- Fraunhofer ISI (2019a): Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren Industrie und GHD. Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) – Entwurf. Karlsruhe
- Fraunhofer ISI (2019b): Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2013 bis 2017. Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) – Entwurf. Karlsruhe
- Heidelberger Druckmaschinen AG (2011): Alkoholreduziertes Drucken. Heidelberg
- Heigl, E.-M. (2008): Energieoptimierung Lackiererei – Analyse der Quellen und Senken. Diplomarbeit. Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes. Leoben
- Heinrich, C.; Wittig, S.; Albring, P.; Richter, L.; Safarik, M.; Böhm, U.; Hantsch, A. (2014): Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Hg. V. Umweltbundesamt (Climate Change, 25/2014).
- Hesselbach, J. (2012): Energie- und klimaeffiziente Produktion. Springer Vieweg. Wiesbaden
- Hintemann, R. (2017): Update 2017 – Rechenzentren in Deutschland – Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Im Auftrag des Bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH. Berlin
- Jung, H.; Hutter, A. (o.J.): Energierückgewinnung in der Papierindustrie, PTS
- Jung, H.; Hutter, A.; Öller, H.-J (o.J.): Entwicklungslinien Wärmeintegration. PTS-Forschungsbericht
- Maaß, C.; Sandrock, M.; Fuß, G. (2018): Strategische Optionen zur Dekarbonisierung und effizienten Nutzung der Prozesswärme und -kälte. Kurzgutachten. Hamburg Institut.
- Papierfabrik Palm GmbH & Co. KG (2019): Wasserrechtliches Verfahren – Betriebsbeschreibung – Ergänzung Abwasserkühlung. Aalen
- Preuß, Guntram (2011), Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten. VDMA Allgemeine Lufttechnik, Frankfurt

Preuß, Guntram (2019), Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017. VDMA Allgemeine Lufttechnik, Frankfurt

Schlei-Peters, Ina (2019): Modellbasierte Investitionsplanung produktionsbezogener Umweltschutzmaßnahmen, Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden

Schwarz, O.; Ebeling, F.-W.; Furth, B. (2009): Kunststoffverarbeitung. Vogel Buchverlag. Würzburg

Statista (2018): Entnommene Wassermenge der deutschen Industrie nach Verwendungszweck 2016. Online abrufbar unter (letzter Abruf: 08.10.2021): <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/314739/umfrage/wassernutzung-der-deutschen-industrie-nach-verwendungszweck/>

Statista (2020): Entnommene Wassermenge der deutschen Industrie nach Verwendungszweck im Jahr 2016. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/314739/umfrage/wassernutzung-der-deutschen-industrie-nach-verwendungszweck/>

Umweltbundesamt (2020): Wasserressourcen und ihre Nutzung. Online abrufbar unter (letzter Abruf: 08.10.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#wassernachfrage>

Umweltbundesamt (2020): Wasserressourcen und ihre Nutzung. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#wassernachfrage>

Umweltbundesamt (2021): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online abrufbar unter (letzter Abruf: 08.10.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (2017): VDMA 24247-5 – Energieeffizienz von Kälteanlagen – Teil 5: Industriekälte. Berlin

Wimmer, W.; Pamminger, R.; Winkler, R.E.; Bauer, M. (2009): Energiedienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz von Spritzgießmaschinen im Kunststoffbereich – Berichte aus Energie- und Umweltforschung 55/2009. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien

Wissenschaftlicher Dienst des Bundestags (2019): Energieverbrauch von Rechenzentren, Aktenzeichen WD 8-3000-041/19, Fachbereich: WD8: Umwelt, Naturschutz; Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung