

nordwest2050

Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse
in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten

29. WERKSTATTBERICHT

März 2014

Innovationspotenzialanalyse und Roadmap Klimaangepasste Kältetechnik

Potenziale und Innovationssystem

Jens Clausen



Impressum

Herausgeber des Werkstattberichts:

artec | Forschungszentrum Nachhaltigkeit
Universität Bremen
Enrique-Schmidt-Str.7
28359 Bremen

Kontakt:

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH
Dr. Jens Clausen
Prinz Albrecht Ring 12
30657 Hannover
Telefon: 0511 - 300 59 245
E-Mail: clausen@borderstep.de

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen des Forschungsverbundes „nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten“ erstellt. Für den Inhalt sind die genannten Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Zitiervorschlag: Clausen, Jens (2014): Innovationspotenzialanalyse und Roadmap Klimaangepasste Kältetechnik. Potenziale und Innovationssystem. nordwest2050-Werkstattbericht Nr. 29. Universität Bremen: Bremen

Diese Publikation ist im Internet als pdf-Datei abrufbar unter: www.nordwest2050.de.

Bremen, März 2014

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation	4
2. Ziel und Methode	5
3. Ergebnisse der Wertschöpfungskettenanalyse und der Vulnerabilitätsanalyse	
Energie	8
3.1 Bioenergie	8
3.2 Klimatisierung und Kühlung	9
3.3 Bevölkerungsentwicklung bis 2020.....	9
4. Auswahl der Kandidaten für die Innovationspotenzialanalyse und mögliche Leuchtturmprojekte.....	12
5. Klimaangepasste Kältetechnik.....	15
5.1 Absorptionskälteanlagen.....	15
5.1.1 Anbieter wärmegetriebener Kältemaschinen	16
5.1.2 Beispiel: Absorptionskältemaschine in der Kreissparkasse Wesermünde-Hadeln in Bremerhaven	18
5.1.3 Beispiel: Absorptionskälteanlage auf dem E-Ship 1	19
5.2 Erdsondenfelder	21
5.2.1 Beispiel: Landessparkasse zu Oldenburg (LzO)	22
5.2.2 Beispiel: Erdsondenfeld der Kunsthalle Bremen	23
5.3 Brunnenkühlung	25
5.4 Rückkühlung mit Fluss- oder Brunnenwasser.....	28
5.5 Adiabate Kühlung	30
5.6 Leuchtturmprojekt Hof Siemering	31
5.7 Leuchtturmprojekt Rechenzentrum Consultix	34
6. Potenziale und Akteure.....	38
6.1 Regionale Ressourcenverfügbarkeit.....	38
6.1.1 Potenzial für Erdsondenfelder	38

6.1.2 Potenzial für Brunnen- und Flusswasserkühlung	39
6.1.3 Potenzial an Abwärme	40
6.2 Abschätzung der Markt- und Energiesparpotenziale	43
6.3 Akteure im Kältetechnikmarkt.....	53
6.3.1 Hersteller	54
6.3.2 Planer und Handwerk	54
6.3.3 Kunden	56
6.3.4 Forschungseinrichtungen	57
6.3.5 Leitakteure der klimaangepassten Kältetechnik	57
7. Bewertung des Innovationspotenzials.....	58
7.1 Regionale Innovationssysteme.....	58
7.2 Der Ansatz des kreativen Milieus.....	60
7.3 Das Innovationssystem Kälte- und Klimatechnik in der Metropolregion.....	61
8. Bewertung des Innovationssystems und Roadmap zur Förderung einer klimaschützenden und klimaangepassten Kältetechnik	64
8.1 Märkte und Markterschließung aus Sicht der Praxis	65
8.2 Hemmnisse der Markterschließung aus Sicht der Praxis	66
8.2.1 Planungsphase	66
8.2.2 Zahlungsbereitschaft und Liquidität der Kunden	67
8.2.3 Anlagenbetrieb	68
8.3 Szenario klimaangepasste Kältetechnik 2020	69
8.4 Maßnahmen einer Roadmap zur Förderung einer klimaangepassten	
Kältetechnik	69
8.4.1 Information und Sensibilisierung	69
8.4.2 Planungsphase	70
8.4.3 Staatliche Leitplanken	72
8.4.4 Zahlungsbereitschaft und Liquidität der Kunden	72
8.4.5 Anlagenbetrieb	73
8.5 Fazit Roadmap Klimaangepasste Kältetechnik.....	74
Literatur	77

1. Ausgangssituation

Diese Arbeit steht im Zusammenhang mit dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt *nordwest2050* zur regionalen Klimaanpassung. An dieser Stelle interessieren uns besonders die Energieversorgung und die nötigen Anpassungen im Bereich der Kühlung und Klimatisierung. Für viele Herausforderungen der Klimaanpassung in diesem Bereich (z.B. zunehmende Temperaturextreme und damit verbundene zusätzliche Kühllasten) bestehen heute schon leistungsfähige technologische Lösungsansätze (z.B. solares Kühlen, geothermische Kühlung), oder befinden sich zumindest im Entwicklungsstadium, so dass kurz- und mittelfristig mit deren Anwendung zur Lösung von Klimaanpassungsherausforderungen gerechnet werden kann. Diese Technologie- und ihre Innovationspotenziale sind bei der Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien zu berücksichtigen, da sie in doppelter Weise eine Chance darstellen: Zum einen bieten diese Technologien und Innovationskonzepte¹ konkrete Lösungsangebote für Klimaanpassung und sind wesentlicher Bestandteil der Anpassungskapazität; zum anderen können sich aus der Entwicklung und dem Verkauf dieser Technologien, Produkte und Dienstleistungen neue Märkte und Absatzchancen für Unternehmen und Hersteller in der Region ergeben, und zwar sowohl für den Absatz innerhalb der Region als auch national und im internationalen Export. Um die tatsächlichen Innovationspotenziale abschätzen zu können, bedarf es nun einer spezifischen Methodik. Im Bereich der Technikanalyse und der Innovationsforschung existieren bereits verschiedene Konzepte und Methoden zur Ermittlung von Technologie- und Innovationspotenzialen und zur Beurteilung der technologischen Leistungsfähigkeit (EFI 2009) und des Innovationsverhaltens einzelner Unternehmen, Branchen, Regionen oder Länder (Rammer 2009). Auf diese kann zwar konzeptionell und z.B. mit Blick auf relevante Potenzialindikatoren zurückgegriffen werden, allerdings folgen diese jeweils spezifischen Erkenntnis- und Gestaltungsinteressen und sind daher für die Zwecke einer Innovationspotenzialanalyse im Rahmen des Vorhabens *nordwest2050* nicht eins zu eins übertragbar. Damit ergab sich die Notwendigkeit, im Rahmen von *nordwest2050* eine Methodik der Innovationspotenzialanalyse zu entwickeln, die einerseits „das Rad nicht neu erfindet“, andererseits aber für die Erkenntnis- und Gestaltungsinteressen von *nordwest2050* hinreichend spezifisch und passgenau ist. Eine solche Methodik wurde im Leitfaden Innovationspotenzialanalyse (Fichter und Hintemann 2010) im Rahmen des Projektes vorgelegt.

¹ Im Kontext dieser Analyse reden wir auch dann von einer Innovation, wenn eine neuartige technische, organisationale, geschäftsfeldbezogene, institutionelle oder soziale Problemlösung für eine regionale Branche oder die ganze Region Neuheitswert hat. Damit kommen auch Lösungen in den Blick, die vielleicht an anderen Orten bereits eine gewisse Marktdiffusion erreicht haben (vgl. Fichter und Hintemann 2010).

2. Ziel und Methode

Während bei den Vulnerabilitätsanalysen in den vier Clustern die regionalen Klimawirkungen abgeschätzt und die Notwendigkeiten zur Klimaanpassung analysiert und herausgearbeitet werden („Nachfrageseite“), soll es bei der Innovationspotenzialanalyse um die Analyse von existierenden oder in der Entstehung befindlichen Technologie- und Problemlösungspotenzialen gehen, also um die „Angebotsseite“. Hier soll untersucht werden, welche Kompetenzen und Potenziale (z.B. Akteure und Technologien) in der Region bzw. in einzelnen Wirtschaftsklustern vorhanden sind, um ausgewählte Problemlösungsfelder anzugehen und für diese aus der Region heraus, klimaangepasste Innovationen zu entwickeln und gegebenenfalls auch Zukunftsmärkte zu generieren. Ziel der Innovationspotenzialanalysen ist es, mit Blick auf die Nordwest-Region sowie die drei Wirtschaftsklustern die regional aktivierbaren Technologie- und Innovationspotenziale zu analysieren und herauszuarbeiten. Dies dient als Grundlage für die Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien in den Innovationspfaden.

In diesem hier vorliegenden Teil der Innovationspotenzialanalyse geht es um solche Lösungen, die energetisch geringwertige Energie- und Stoffquellen nutzen (sogenannte Low-Exergy Quellen) und dabei nachgefragte energetische Dienstleistungen erbringen. Dazu gehören sowohl solche Technologien, die Umweltenergien nutzen, als auch solche, die Rest- und Abfallströme nutzen. Diese Technologien werden zusammengenommen als „Low Exergy Solution“ bezeichnet. Ganz allgemein besteht eine Low Exergy Solution dabei aus einer Quelle mit niederwertiger Energie oder Stoffen (niederexergetische Quelle), einer Wandlungstechnologie und einer zu liefernden Energiedienstleistung (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

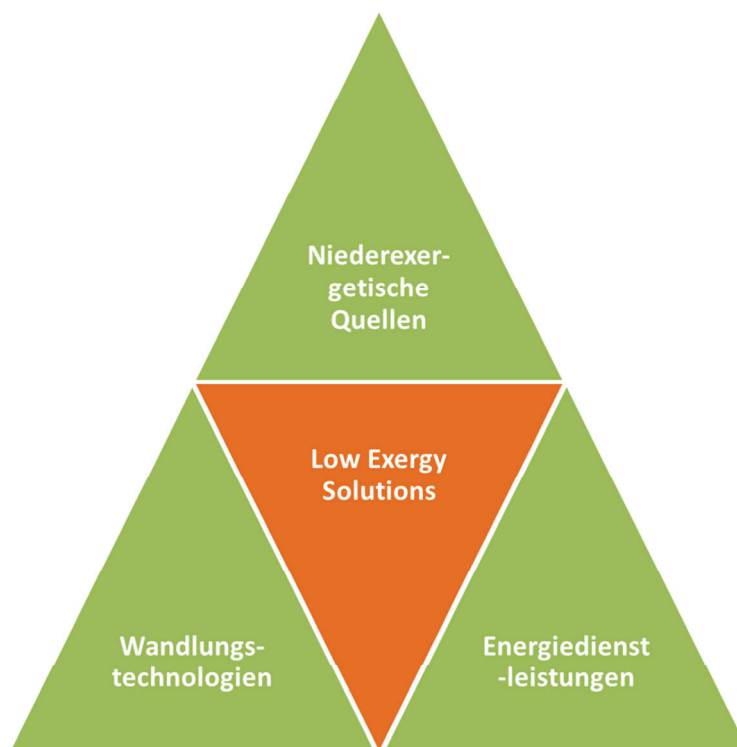


Abbildung 1: Prinzipielle Komponenten einer Low Exergy Solution

Quelle: eigene

Zunächst erfolgte in einem Screening die Erstellung einer Übersicht von Innovationspotenzialen der regionalen Energiewirtschaft in Bezug auf Low Exergy Solutions. Im Rahmen des Screenings wurden mit Blick auf aktuelle Innovationen sowie auf die Potenziale der Metropolregion folgende Technologien in den Fokus des Screenings aufgenommen (Clausen et al. 2011):

Low-Ex-Energiequellen:

- BHKW zur Kraft-Wärme-Kopplung,
- Solarthermie,
- Geothermisches und hydrothermales Kühlen,
- Wärmepumpen,
- Abwärme,
- Biogasgewinnung mit dem Ruminotec-Verfahren.

Wandlungstechnologien, Speicherung und Verteilung

- Langzeitwärmespeicher,
- Nahwärmenetze,
- Mobile Wärme,
- Bioenergiedörfer,
- Kältenetze und Kältespeicher,
- Wärmegetriebene Kältemaschinen,
- Organic-Rankine-Cycle Anlagen.

Die Analyse dieser 12 Komponentender Innovationskandidaten zielt dabei nicht nur auf die Identifikation von technologischen Einzelinnovationen, die innerhalb von Innovationspfaden weiter verfolgt werden sollen, sondern auch auf das Erkennen von Zusammenhängen, die die Grundlage eines Low-Exergy Energiesystems bilden könnten. Bereits das Screening machte es möglich, den Entwicklungsstand und die Anwendungsreife der Technologien zu beurteilen, insbesondere waren die Position im Innovationszyklus, die Leistungsfähigkeit sowohl im Vergleich zu bereits existierenden Marktangeboten als auch im Vergleich zu funktional äquivalenten Technologien, die sich noch in Erforschung und Entwicklung befinden, bekannt.

Für ausgewählte Innovationen wird dann mit folgendem Vorgehen das Innovationspotenzial für die Metropolregion ermittelt:

- Analyse der infrastrukturellen und technischen Grundlagen / Voraussetzungen in der Region zur Nutzung der ausgewählten Low Exergy Solutions.
- Identifizierung führender Forschungseinrichtungen und Unternehmen (innerhalb und außerhalb der Metropolregion).

Besondere Aufmerksamkeit kommt der Angebots- und Nachfrageseite der ausgewählten Innovationen zu. Auf der Angebotsseite ist zu ermitteln:

- Bestimmung der natürlichen Potenziale (Verfügbarkeit von geothermischer und aquiferer Umgebungskälte, organischen Reststoffen etc.),
- regionale und technisch-ökonomische Ausbaupotenziale der ausgewählten Innovationen,
- Identifizierung von Unternehmen der Metropolregion, die die betreffende Technologie bereits anbieten bzw. entwickeln (können) und in Zukunft herstellen, anbieten und anwenden könnten,

- Beschreibung der nationalen und internationalen Wettbewerbsposition regionaler Unternehmen in den relevanten Märkten.

Es haben sich insbesondere solche Low Exergy Technologien als erfolgversprechend für die Klimaanpassung der Region herausgestellt, die Kühlung und Klimatisierung als Energiedienstleistung erbringen (siehe Abschnitt unten zur Auswahl der Kandidaten). Auf der Nachfrageseite ist daher primär zu analysieren:

- Klimatisierungsbedarfe für industrielle/ gewerbliche/private Gebäude sowie Kühlbedarfe im Temperaturbereich der Low Exergy Solutions,
- Entwicklung von Marktszenarien und Abschätzung von Marktpotenzialen sowohl für die Metropolregion als auch für nationale und internationale Märkte.

In einem letzten Schritt erfolgt dann die Abschätzung, ob die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten zu einem Leit- oder Pilotmarkt für die ausgewählten Innovationen der Klimaanpassung aus dem Bereich „Low Exergy Solutions“ werden könnte.

In der Studie der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2008) wurde gefunden, dass von 24 erfassten Biogasanlagen nur 15 über ein Wärmenutzungskonzept verfügen und auch dort nur 34% des Wärmepotenzials ausgeschöpft werden. Da die Dynamik des Zubaus von Biogasanlagen weiterhin hoch ist, Stührmann (2012) schätzt schon Anfang 2012 allein in der Metropolregion Bremen-Oldenburg einen Bestand von knapp 700 Biogasanlagen, dürfte das nutzbare Wärmepotenzial aus Biogasanlagen ständig größer werden.

3.2 Klimatisierung und Kühlung

Die für Kälte und Klima aufgewandte Energie fließt zu etwa 67% in die Nahrungsmittelkette, zu ca. 22% in die Gebäudeklimatisierung und zu etwa 9% in Industriekälte außerhalb der Nahrungsmittelbranche (DKV 2002)².

Ganz wesentlich ist daher die Erkenntnis von Gabriel und Meyer (2010: 107), dass aufgrund der hohen Konzentration der Lebensmittelbranche in der Metropolregion (ca. 4,2% der Wirtschaftsleistung im Vergleich zu 2% bundesweit) der Anteil des Stroms, der zur Kälteerzeugung aufgewandt wird, bei 8% (Bremen) und sogar bei 10% im niedersächsischen Teil der Metropolregion liegen dürfte.

Wird weiter in Betracht gezogen,

- dass die klimatisierte Fläche europaweit steigt (EECCAC 2003),
- Gabriel und Meyer(2010: 226) als dauerhafte Auswirkung des Klimawandels auch einen Anstieg der Nachfrage nach Kälteanwendungen erwarten und
- der Stromverbrauch für Kälteanwendungen und Klimatisierung besonders bei hochsommerlichen Temperaturen hoch ist, wenn die konventionelle Stromproduktion ihrerseits durch mangelnde Verfügbarkeit von Kühlwasser u.U. eingeschränkt ist (Gabriel und Meyer 2010: 135),
- die Erzeugung aus Photovoltaik hingegen bei sommerlichen Hitzeperioden auch entsprechend hoch sein dürfte, zusammenfallend mit einer höheren Belastung der Stromnetze (Wachsmuth et al. 2012),

so wird deutlich, dass ein Beitrag zu einem klimaangepassten Kälteversorgungssystem sehr hilfreich sein könnte.

3.3 Bevölkerungsentwicklung bis 2020

In der Untersuchung des Berlin Instituts (2005) wurden eine Reihe demographischer Indikatoren für alle deutschen Land- und Stadtkreise erhoben. Die 16 Landkreise der Metropolregion zeigen dabei in der Mehrheit eine Tendenz der Bevölkerungszunahme. Bewertet wurden:

- Kinderzahl pro Frau,
- Anteil der unter 20-Jährigen,
- Frauenanteil,
- Zu- bzw. Abwanderung sowie
- Natürliche Bevölkerungsentwicklung durch Geburten und Sterbefälle.

Für die Landkreise der Metropolregion ergibt sich dabei fast durchgängig die Erwartung einer Bevölkerungszunahme. Die Stadtkreise Oldenburg, Osnabrück und Wilhelmshaven dagegen

² Die Datenlage zu Kälteanwendungen ist dürftig. Die Analyse des DKV stellt für viele Einzelfragen die aktuellste Quelle dar.

lassen wie auch Bremen und Bremerhaven eher einen Bevölkerungsrückgang erwarten. Als Ergebnis wird in der folgenden Abbildung die Bevölkerungsprognose bis 2020 dargestellt.

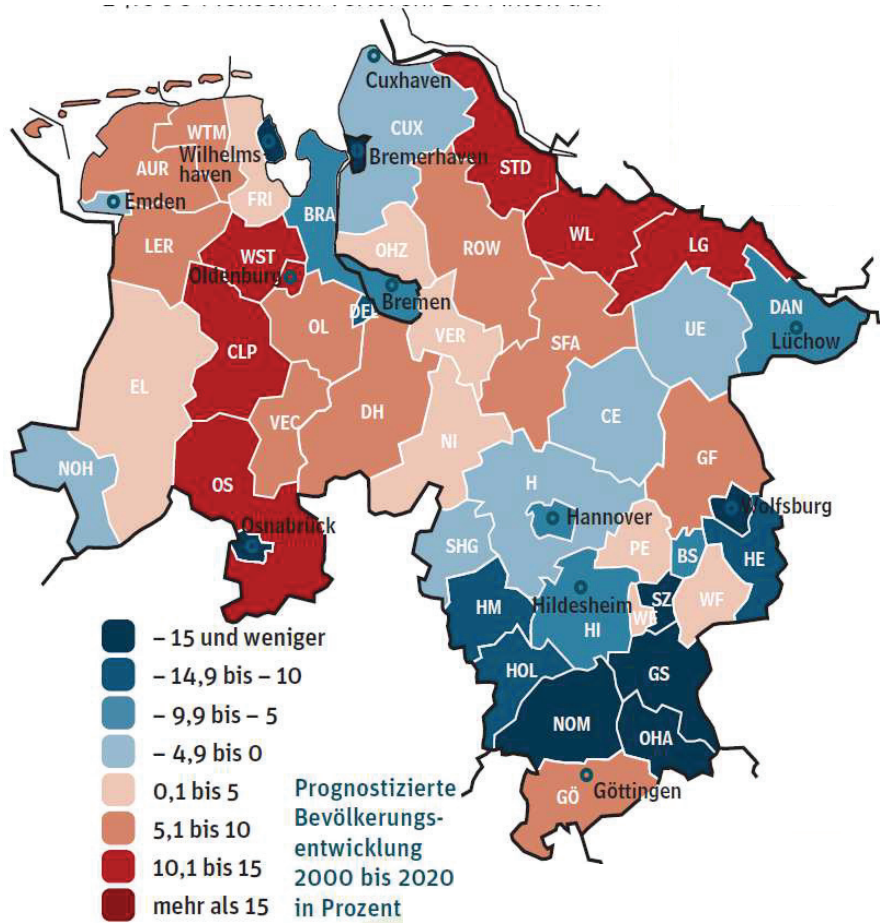


Abbildung 3: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in Niedersachsen bis 2020

Quelle: Berlin Institut 2005

Der Demografie-Bericht des Kommunalverbundes Niedersachsen Bremen³ (2010) geht dagegen in allen Kreisen der Metropolregion von einer bis 2030 sinkenden Bevölkerung aus.

³ Der Kommunalverbund Niedersachsen/ Bremen e.V. ist ein Zusammenschluss von rund 30 Kommunen in der Region Bremen. Näheres unter www.kommunalverbund.de.

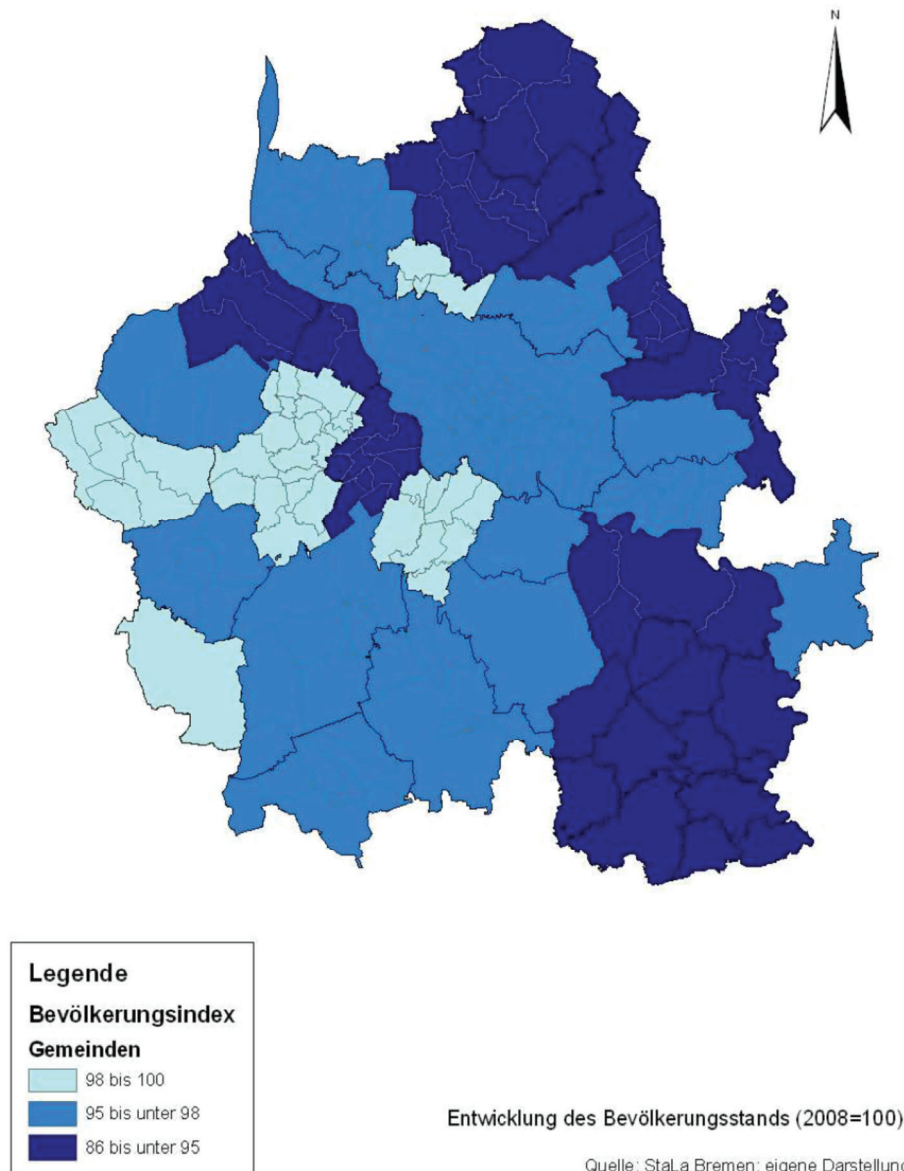


Abbildung 4: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung im Bremer Umland bis 2030

Quelle: Kommunalverbund Niedersachsen-Bremen 2010

Auch bei Eingabe des Zieljahres 2020 im Demografie-Monitoring in der Webpräsenz des Kommunalverbundes (www.kommunalverbund.de) ergeben sich in allen Landkreisen sinkende Bevölkerungszahlen. Langfristig rechnet auch das Statistische Bundesamt (Destatis 2006) mit einem Abnehmen der Gesamtbevölkerung von ca. 82 Millionen in 2005 auf 69 bis 74 Millionen in 2050, wobei die veröffentlichte Analyse keine Aufdifferenzierung nach Regionen enthält. Grundsätzlich lässt diese Prognose aber auch für die Metropolregion den Schluss zu, dass alle Energieversorgungszenarien vorsichtig mit Blick auf eine langfristig sinkende oder allenfalls stagnierende Wohnbevölkerung zugeschnitten werden sollten.

4. Auswahl der Kandidaten für die Innovationspotenzialanalyse und mögliche Leuchtturmprojekte

Im Rahmen der Zielsetzung des Projektes ist es möglich, sehr unterschiedliche Low-Exergy-Energiesysteme zu skizzieren. Diese Low-Exergy-Energiesysteme sind die eigentlichen Innovationskandidaten für die Innovationspotenzialanalyse (Fichter und Hintemann 2010). Die an anderer Stelle in Screening-Datenblättern (Clausen et al. 2011) vorgestellten Technologien fließen als Komponenten in diese Systeme ein und spiegeln jedes für sich bereits den Problembezug, die Leitbildorientierung (Low-Exergie) und Innovationstrends. Die folgenden fünf verschiedenen Low-Exergy-Energiesysteme wurden in Reflektion der Arbeiten des Technologiescreening (Clausen et al. 2011) und mit Blick auf aus der Literatur oder anderen Regionen bekannte Lösungen im Austausch von Universität Bremen und dem Borderstep Institut entwickelt. Sie seien zunächst im Überblick dargestellt:

Tabelle 1: Technologiekomponenten der Low-Ex-Energiesysteme

Low-Ex-System	Notwenige Technologiekomponenten	Optionale Technologiekomponenten
Hocheffiziente Kälteversorgung	Hydrothermale Kältequelle Kältenetz Kältespeicher	Wärmegetriebene Kältemaschine
Integriertes Low-Ex-System in der Nahrungsmittelbranche	BHKW Wärmegetriebene Kältemaschine Kältenetz Kältespeicher	Hydrothermale Kältequelle
Erschließung einer Abwärmequelle	Nah- oder Fernwärmenetz Mobile Wärme Wärmegetriebene Kältemaschine	Langzeitwärmespeicher
Integrierendes Wärme- und Kältenetz	KWK Abwärmequelle Solare und Geothermische Wärmeinspeisung Langzeitwärmespeicher Wärmegetriebene Kältemaschine	
Bioenergiedorf 2.0	Biogasanlage und * entweder zentrales BHKW und Wärmenetz * oder Biogasnetz und dezentrale KWK	Wärmegetriebene Kältemaschine Prozesswärme Biogasanlage System Rumintec

Für eine Entscheidung für einen Innovationspfad wäre als zusätzliche notwendige Bedingung zu formulieren, dass Praxisakteure gefunden werden müssen, die an dem einen oder

anderen Low-Ex-System Interesse entwickeln. Dabei geht es weniger um Hersteller der Anlagen, sondern um diejenigen Betreiber, die die Investition und das wirtschaftliche Risiko des erfolgreichen Betriebs tragen.

Zur weiteren Fokussierung der Aktivitäten wurde daher am 22. März 2011 im Haus der Wissenschaft in Bremen der „Innovations-Workshop „Low Exergy Energiesysteme“ durchgeführt. Dieser Innovationsworkshop hatte zum Ziel, in zwei Bereichen Ideen zu entwickeln und zu priorisieren, die im Rahmen von 'nordwest2050' weiter verfolgt werden sollen:

1. Verbundsysteme der Kühlung und Klimatisierung, die z.B. Kälte aus wärmegetriebenen Kältemaschinen kurzfristig zwischenspeichern, in Netzen verteilen und so die Kälteerzeugungskapazitäten besonders effizient nutzen. Aber auch die Nutzung geothermischer (aus dem Erdreich) oder aquiferer (aus Wasser) Kälte wäre möglich.
2. Abwärmenutzungssysteme, die z.B. die zeitliche Nutzung vorhandener Abwärme durch Niedertemperaturspeicher verbessern oder durch Wärmetransport in Containern von Netzen unabhängig machen.

Zu beiden Themen wurde im Workshop, der von Dr. Willy Bierter moderiert wurde, gearbeitet. Neben den Vertretern der Universität Bremen und des Borderstep Instituts nahmen Praxisakteure aus sieben Institutionen teil: Kreislandvolkverband Vechta, Schweinezucht Lutten, Klimaschutzagentur energiekonsens Bremen, EWE AG, Bioenergie Varrel, SWB AG sowie D. Meyer Kühlanlagen GmbH.

Im weiteren Verlauf des Workshops wurden drei mögliche Szenarien für Anwendungen mit Leuchtturmprojekten entwickelt.

Das „**Südoldenburg**“-Szenario (1)“ wurde um landwirtschaftliche Biogasanlagen mit BHKW entwickelt und umfasst die integrierte Wärme- und Kältenutzung und dabei insbesondere mögliche klimawandelbedingt steigende Kältebedarf in der Tierhaltung. Auf dem Workshop wurden einige Fragen festgehalten:

- Ist eine solche Kältenutzung für die Tierhaltung nach EEG (2012) als Wärmenutzungskonzept zulässig?
- Welches Geschäftsmodell ist hier empfehlenswert, ggf. Contracting?
- Wie steht es um die Resilienz der Ansätze, die Zuverlässigkeit und Flexibilität?

Hier bietet sich an, im Umfeld und in Zusammenarbeit mit der Bioenergie-Region Südoldenburg einen Ort zu identifizieren, an dem sich sowohl Biogasanlagen mit ungenutzter (sommerlicher) Wärmeleistung wie auch Standorte der Lebensmittelindustrie oder Landwirtschaftliche Betriebe mit Tierproduktion befinden, um an einem konkreten Ort beispielhaft zu prüfen, ob sich Kältebedarfe wirklich und im konkreten Fall wirtschaftlich decken lassen und sich insoweit die Primärenergie besser ausnutzen lässt.

Das „Südoldenburg“-Szenario“ führte letztlich zur Realisierung eines Leuchtturmprojektes, welches in Abschnitt 5.5 beschrieben ist.

Das „**Kühlager Szenario (2)**“ untersucht die Möglichkeit, die in der Region in großer Zahl vorhandenen Kühlager effizienter zu kühlen. Auch hier werfen sich Fragen auf:

- Wie ist die jeweilige Größenordnung des Kältebedarfs?

- Welche zukünftigen Technologien beeinflussen den Innovationspfad?
- Wie steht es um die Erfordernis eines Nahwärmenetzes oder Kurzzeitspeichers?

In der durch die Logistik-Arbeiten von 'nordwest2050' aufgestellten Liste von Kühllägern der Metropolregion finden sich zwei Zentren: Der Fischereihafen Bremerhaven sowie die Stadt Bremen. Es wäre möglich, für ein „repräsentatives“ Kühlhaus in einer der beiden Lokationen eine fiktive Planung durchzuführen und dabei die Fragen zu klären:

- Ist Abwärme am Standort verfügbar oder kann ein BHKW zur Strom- und Wärmeproduktion wirtschaftlich eingesetzt werden?
- Welche Kühltechnik kann alternativ zur Kompressionskältemaschine eingesetzt werden?
- Besteht eine Genehmigungsmöglichkeit für Rückkühlung mit Umgebungskälte?
- Wie steht es um die Wirtschaftlichkeit?

Das „**Büro- und Rechenzentrums-Szenario (3)**“ fokussiert auf die Frage der effizienten Kühlung von Rechenzentren oder Bürogebäuden mit den ähnlichen Fragen:

- Wie ist die jeweilige Größenordnung des Kältebedarfs?
- Welche zukünftigen Technologien beeinflussen den Innovationspfad?
- Wie steht es um die Erfordernis eines Nahwärmenetzes oder Kurzzeitspeichers?

Es wäre möglich, für ein „repräsentatives“ Gebäude (z.B. Bürohaus mit RZ) eine fiktive Planung durchzuführen und dabei die Fragen zu klären:

- Ist Abwärme am Standort verfügbar oder kann ein BHKW eingesetzt werden?
- Welche Kühltechnik kann alternativ zur KKM wirtschaftlich eingesetzt werden?
- Besteht eine Genehmigungsmöglichkeit für Rückkühlung mit Umgebungskälte?

Das „Büro- und Rechenzentrums-Szenario“ führte letztlich zur Planung eines Leuchtturmprojektes, welches in Abschnitt 5.6 beschrieben ist.

Gemeinsam ist allen Szenarien die Fragestellung, wie Kälte sowohl klimaschützend als auch klimaangepasst bereitgestellt werden kann. Die weiteren Arbeiten konzentrieren sich daher auf den Innovationspfad „Klimaangepasste Kältetechnik“, dessen Leitbild sich wie folgt definiert darstellen lässt.

Leitbild „Klimaangepasste Kältetechnik“

Klimaangepasste Kältetechnik umfasst eine Reihe von Technologien zur Erzeugung von Nutzkälte, die durch die Nutzung von einer Vielfalt von Low-Exergy Quellen das Stromnetz besonders im Sommer entlasten, damit deren Vulnerabilität senken, und die Resilienz der Kälteversorgung erhöhen. Insbesondere umfasst klimaangepasste Kältetechnik dabei die Quellen

- Umgebungskälte wie z.B. Brunnenwasser, Flusswasser oder Erdkälte sowie alle Formen von Abwärme,

die Wandlungstechnologien

- Absorptionskältetechnik, Erdsondenfelder und Brunnenkühlung,

sowie die nachgefragte Energiedienstleistung bei den Kältekunden

- Büro- und Verwaltungsgebäude, Hotels, Rechenzentren, Einzelhandel, Lebensmittelhersteller und Landwirtschaft.

5. Klimaangepasste Kältetechnik

Der Innovationspfad „Klimaangepasste Kältetechnik“ leistet folgende Beiträge zur Klimaanpassung der Energieversorgung:

- Beitrag zur Deckung der klimawandelbedingt steigenden Kühlbedarfe,
- Reduktion der sommerlichen Stromlast (Netzentlastung),
- sowie einen Klimaschutzbeitrag dadurch, dass bei der Erzeugung Verfahren mit höherer elektrischer Arbeitszahl zum Einsatz kommen (Energie- und CO₂-Einsparung).

In den folgenden Abschnitten werden zunächst vier Technologien der Kältebereitstellung vorgestellt, von denen die ersten beiden schon im Bericht zum Screening (Clausen et al. 2011) behandelt worden sind. Mit der Brunnenkühlung und der Rückkühlung über Grund- und Flusswasser werden zwei weitere Technologien ergänzt, deren Vorteilhaftigkeit besonders im direkten Einzugsbereich von Flüssen erst im Anschluss an das Screening deutlich wurde. In den dann folgenden Abschnitten werden die beiden Leuchtturmprojekte vorgestellt, die im Kontext der Low-Exergy Solutions realisiert wurden.

5.1 Absorptionskälteanlagen

Herkömmliche Kühl- und Klimaanlage arbeiten mit elektrisch betriebenen Kompressoren, die einen umso höheren Energiebedarf haben, je wärmer die Umgebungsluft ist. Absorptionskälteanlagen, Adsorptionskälteanlagen oder Sorptionskälteanlagen nutzen Restwärme aus KWK oder z.B. sommerliche Sonnenenergie aus Solarthermie und wandeln diese mit Hilfe verschiedener Kältemaschinen in Nutzkälte um. Im speziellen Fall des solaren Kühlens gibt es, anders als bei der solaren Heizung, kein Speicherproblem: Der Kühlbedarf steigt und fällt nahezu zeitgleich mit dem Angebot an Sonnenenergie. Zusätzlich zu der ganzjährig solar darstellbaren Warmwasserversorgung nutzt das solare Kühlen eine bei vorhandenen Kollektoren in den Sommermonaten bereitstehende, aber weder durch Warmwasser noch durch Heizung benötigte Energiemenge. Ein ähnlicher Vorteil ergibt sich beim Antrieb durch Abwärme aus KWK, da diese Wärme meist nur im Winter zum Heizen eingesetzt werden kann. Die Technologie der Absorptionskühlanlagen ist vergleichsweise alt, verbreitet sich aber nur langsam. So wurde der Hamamatsu (Japan) Presseturm schon 1985 mit solarer Warmwasserversorgung und solarer Klimatisierung ausgestattet, die auch nach 22 Jahren noch zuverlässig funktioniert (Niemeyer 2007). Baumgärtel (2012) erwähnt sogar eine 70 Jahre alte Absorptionskälteanlage.

Der Beitrag der Kühlung mit wärmegetriebene Kälteanlagen zur Klimaanpassung besteht darin, zum Antrieb der Kühlaggregate Abwärme oder solare Wärme statt Strom einzusetzen. Statt einer hohen elektrischen Leistung für die Kühlanlage kann so der Verbrauch an elektrischer Energie auf die Antriebe von Pumpen beschränkt werden. Wärmegetriebene Kälteanlagen erschließen die regenerative Energiequelle des Sonnenlichts oder der Abwärme zusätzlich für Kälteerzeugung und Klimatisierung. Dadurch kommt es zu erheblichen sommerlichen Netzentlastungen. Beides erhöht die Resilienz der Energieversorgung und beantwortet einige der Verwundbarkeiten der Energieversorgung (vgl. auch Wachsmuth et al 2012).

Absorptionskühlanlagen haben typischerweise einen thermischen Wirkungsgrad (coefficient of performance – COP) von etwa 0,7, d.h. sie benötigen etwa 1,5-mal soviel Wärme zum Antrieb, wie sie Kälte liefern sollen. Der elektrische COP liegt bei etwa 10. Die Kühlleistung der Maschine ist des Weiteren abhängig von der Warmwassertemperatur und der Rückkühltemperatur, wie die folgende Grafik zeigt.

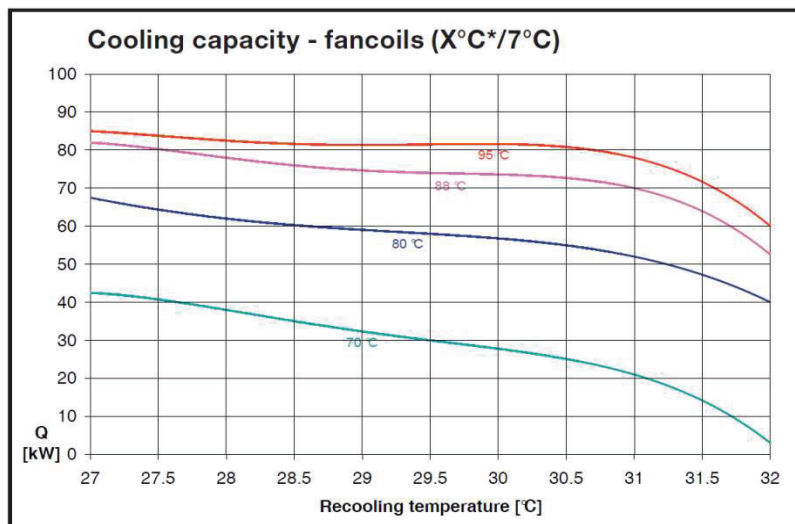


Abbildung 5: Kennlinie einer Absorptionskältemaschine

Quelle: SolarNextAG 2009

5.1.1 Anbieter wärmegetriebener Kältemaschinen

Wärmegetriebene Kältemaschinen werden von einer Reihe maschinenbaulicher Spezialisten seit ungefähr 50 Jahren produziert. Größtenteils waren diese für den Antrieb mit einem Heizbrenner, z. B. auf Gasbasis, konstruiert. Dies versprach auch früher schon Kostenvorteile, da die kWh Gas schon lange preiswerter ist als die kWh Elektrizität.

Erst seit den 70er Jahren wurden die ersten Anlagen für den Antrieb mit Niedertemperaturwärme umkonstruiert. Sowohl industrielle Abwärme als auch Solarenergie wurden so als Antriebsenergie nutzbar. Die ersten Anlagen für Solarbetrieb – Absorptionskältemaschinen - wurden im Kontext eines japanischen Förderprogramms in den 70er Jahren für das solare Kühlen eingesetzt. Die Wärme wurde mit optimierten Solarkollektoren bei ca. 100 °C gewonnen. Über 300 Gebäude wurden mit staatlichen Zuschüssen ausgerüstet, viele jedoch nach Auslaufen der Zuschüsse wieder abgebaut (Kimura 2004). Das Unternehmen Yazaki produzierte damals auch bereits Kleinanlagen mit 4,5 kW und 7 kW Leistung, deren Verkaufsstückzahlen allerdings nicht ausreichend waren (Yazaki 2003).

Der Weltmarkt für Großabsorber umfasste vor einigen Jahren noch ca. 6.000 Anlagen pro Jahr (Simader 2005). 15 Herstellern und Anbietern von Absorptionsmaschinen konnten aktuell (Herbst 2012) identifiziert werden. Deren Aktivitäten reichen von einer noch nicht abgeschlossenen F&E (Solarfrost) über Klein- und Vorserien kleiner europäischer Hersteller bis zu den Herstellern großer Anlagen aus Asien und den USA.

Tabelle 2: Hersteller von Absorptionskältemaschinen

Hersteller	Land	Kälteleistung der Produkte (kW)	Internet	Absorptionskühler seit ca.	Technische Eigenschaften und Entwicklungsstatus
Solarfrost AT Econic systems (Partner)	Österreich	2 bis 10	www.solarfrost.com	1996	Ammoniak-Wasser, Entwicklungsphase, noch nicht lieferbar
Broad	China	23bis 11.000	www.broad.com	1991	10.000 Einheiten in China im Einsatz
Pink Behältertechnik	Österreich	19	www.pink-behaelerteknik.at	2003	Ammoniak-Wasser, Pilotprojekte/Erstanwendungen realisiert
SK Sonnen Klima GmbH Enus	Deutschland Spanien	8 bis 15	www.sonnenklima.de	2002	LiBr-Wasser, Erstanwendungen realisiert
EAW	Deutschland	15 bis 200	www.eaw-energieanlagenbau.de	2003	LiBr-Wasser, Serienfertigung
Solarnext	Deutschland	8 bis 150	www.solarnext.eu	2006	Bietet Anlagen anderer Hersteller wie Yazaki oder EAW als Komplettsysteme mit Kühlturm und Steuerung an
Yazaki	Japan	35 bis 105	www.yazakienergy.com	1970	100.000 Einheiten weltweit im Einsatz, nur Kühlen oder mit Heizung, für Solar geeignet (Hersteller bietet kein Komplettsystem an), LiBr-Wasser
Carrier (UTC)	USA	17 bis 5280	www.carrier.com		Weltmarktführer in AirConditioning, Erdgas oder LPG Antrieb; Ammonium-H ₂ O, Kombi-Geräte Wärme/Kälte
Robur S.p.A.	Bergamo/ Italien	25 bis 125	www.robur.com	1991	Spezialist für gasbetriebene Kältemaschinen mit WRG, COP 1,6 (Gas)
Kyoungwon-Century America, Inc. Finetec-Century	USA Korea	80 bis 1500	www.century.co.kr	2002 1985	Heißwassergetriebener Absorptionskühler, COP 0,725, div. Größen
Colibrib.v.	Niederlande	200 kW bis 6,5 MW	www.colibri-bv.com	1981	Ammonium-H ₂ O, nur Industrieanlagen – Kälteproduktion bis -60°C
Ebara	Japan	150 kW bis 3,5 MW	www.ers.ebara.com	1963	Erster LiBr – Chiller 1963 (!)
York/ Johnson Controls	USA	35 bis 4800	www.york.com		Absorptionstechnologie nur im Industriebereich, LiBr-H ₂ O
Trane	USA	2000 bis 4800	www.trane.com	1950	LiBr, COP bis 1 (direkt befeuert)
Mitsubishi Heavy Industries	Japan	3500 bis 8800	www.mhi.co.jp		

Quelle: eigene Recherchen, Unternehmenswebsites, BINE 2004

Der Anbietermarkt für Adsorptionskältemaschinen ist noch wesentlich übersichtlicher als der für Absorptionsmaschinen. Nur zwei traditionelle Anbieter sind bekannt. Beide sind über Vertretungen in Deutschland aktiv. Hinzu kommt die neu gegründete Sortech, die als Spin-Off des Fraunhofer ISE 2002 explizit auf die Anwendung der Technologie im solaren Kühlen hin gegründet wurde.

Tabelle 3: Hersteller von Adsorptionskältemaschinen

Hersteller	Land	Kälteleistung der Produkte (kW)	Internet	Adsorptionskühler seit ca.	Technik/Hinweis auf Marktanteil
SorTech AG	Deutschland	8 bis 15	www.sortech.de	2002	Zeolithe oder Silikagel & Wasser, Spin-Off des Fraunhofer ISE
Nishiyodo (Vertrieb GBU)	Japan	50 bis 430 kW	www.gbunet.de		Wasser/Silikagel
Mayekawa (mycom) (Vertrieb Albring GmbH)	Japan	50 bis 500	www.albring-gmbh.com www.mayekawa.co.jp		Wasser/Silikagel

Quelle: Unternehmenswebsites, eigene Recherchen

Systeme mit Sorptionsrotoren sind von einigen Anbietern mit einer Vielzahl von Systemkonfigurationen für unterschiedliche Klimata verfügbar. Einige Systeme werden bereits kommerziell mit Silikagel angeboten. Systeme mit flüssigen Sorptionsmaterialien sind in der Testphase, z. B. bei L-DCS-Technology.

Tabelle 4: Hersteller von Sorptionskältemaschinen

Hersteller	Land	Kälteleistung der Produkte (kW)	Internet	Dessicant-Kühler seit ca.	Hinweis auf Marktanteil
Robatherm	Deutschland	75	www.robatherm.de		14 Referenzanwendungen dokumentiert
L-DCS-Technology	Deutschland	200 bis 350	www.l-dcs.com	2002	Wasser-LiBr Technologie in der Erprobungsphase

Quelle: Unternehmenswebsites, eigene Recherchen

Aufgrund der Komplexität aller drei Technologien ist es nicht unwahrscheinlich, dass sich Systemanbieter etablieren werden, die zwar keine Technologiehersteller sind, sondern zugekaufte Komponenten zu Systemen komplettieren und ausliefern. Das Unternehmen Solarnext ist ein erstes Beispiel hierfür.

5.1.2 Beispiel: Absorptionskältemaschine in der Kreissparkasse Wesermünde-Hadeln in Bremerhaven

Die in 2004 umgebaute Zentrale der Kreissparkasse Wesermünde-Hadeln sollte einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten⁴. In einem BHKW wird daher aus Erdgas Strom und Wärme erzeugt. Die im Motor anfallende Wärme wird im Sommer zum Antrieb der Kältemaschine und im Winter zum Heizen genutzt.

⁴ Der Text zum Beispiel basiert auf der Projektdarstellung des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr (2012).

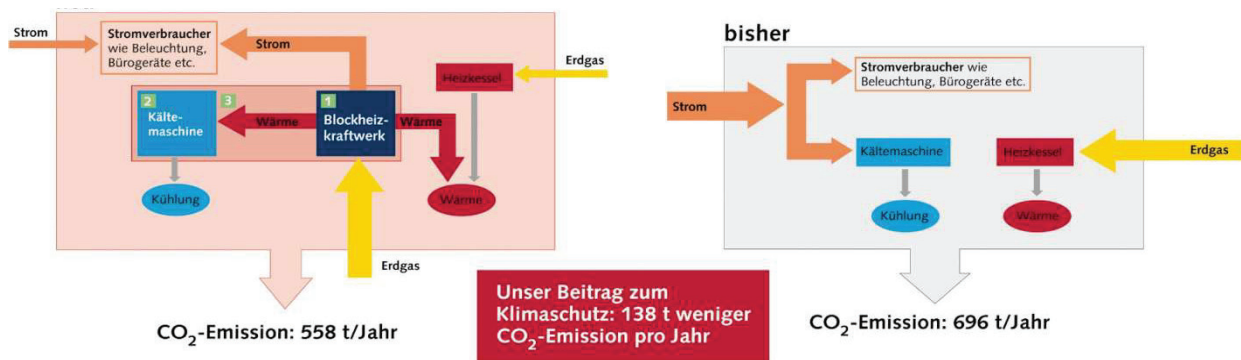


Abbildung 6: Absorptionskältemaschine in der KSK Wesermünde-Hadeln

Quelle: Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr 2012

Damit auch im Sommer angenehme Temperaturen für Mitarbeiter und Kunden herrschen, werden moderne Gebäude voll klimatisiert. In der Kreissparkasse geschieht dies jetzt durch eine Absorptionskältemaschine. Durch den Einsatz der kombinierten Technik zur Strom-, Wärme- und Kälte-Erzeugung werden seither der Umwelt jedes Jahr knapp 140 t klimaschädliches Kohlendioxid erspart.

Nach Aussagen des verantwortlichen Haustechnikers, arbeitet die Absorptionskälteanlage des Herstellers York seit 2004 zuverlässig und deckt im Sommerhalbjahr einen großen Anteil des Kältebedarfs. Als haustechnische Einrichtung ist sie u.U. etwas zu sensibel, oft meldet das Kontrollsystem kleiner Fehler, die eine händische Justierung erfordern. Hieraus folgt ein gewisser Arbeitsaufwand. Wichtig aber ist, dass der Betrieb zuverlässig erfolgt. Auch die geplante Verbesserung der Energieeffizienz in Verbindung mit reduzierten Treibhausgasemissionen konnte realisiert werden. Von der Kostenseite her ist die Anlage neutral, letztlich konnten die Energiekosten nicht gesenkt werden, sie stiegen aber auch nicht an (Schulz 2012).

5.1.3 Beispiel: Absorptionskälteanlage auf dem E-Ship 1

Auf Schiffen wird Kälte nicht nur für die Kühlung von Arbeits- und Aufenthaltsräumen von Besatzung und Passagieren, sondern auch für die Kühlung vieler Frachtgüter benötigt. Standard ist dabei, die Kompressionskälteanlagen mit Seewasser rück zu kühlen, da dies meist kälter ist als die Luft und auch der Betrieb von Kühltürmen auf Schiffen aufgrund der salzigen Luft und den begrenzten Platzverhältnissen nicht unproblematisch ist.

Das E-Ship 1 von Enercon sollte in vielen Dimensionen zeigen, was im Schiffbau besser gemacht werden kann. Es ist mit Flettner Rotoren ausgerüstet und kann 10.000 Tonnen Ladung aufnehmen (Enercon 2011). Die vier Segel-Rotoren, unterstützt von einem diesel-elektrischen Antriebssystem, das über zwei synchron laufende ENERCON- E-Motoren 7.000 kW Leistung auf die Antriebswelle bringt, sorgen für eine Reisegeschwindigkeit von 16-18 Knoten. Wärmerückgewinnung sowie eine Ballastwasseraufbereitungsanlage sorgen für vorbildliche Umweltwerte.



Abbildung 7: E-Ship 1

Quelle: www.ship-dreams.de

Für die Kälteerzeugung an Bord des E-Ship 1 wird eine speziell für Seetauglichkeit ausgelegte Absorptionskälteanlage der EAW mit 140 kW Kälteleistung eingesetzt (Wild 2011). Die Abwärme der Motoren wird in Dampfturbinen für die Stromerzeugung eingesetzt deren Abwärme wiederum für den Antrieb der Absorptionskälteanlage genutzt.



Abbildung 8: 140 kW Absorptionskälteanlage auf einem Prüfstand zum Test der Seetauglichkeit

Quelle: Wild 2012

Weitere Anlagen sind auf den zwei Windenergieanlagen-Errichterschiffen von RWEI (Projekt „Seabreeze“) eingebaut (Wild 2011).

5.2 Erdsondenfelder

Zur Kühlung von Gebäuden, also zu Abführung von Wärme, benötigt es Energie. Im Falle einer Kompressionskühlanlage sind dies etwa 25% bis 33% (COP zwischen 3 und 4) der abzuführenden Wärme in Form von Strom. Pumpst man dagegen einen Kühlwasserstrom durch eine kalte Umgebung (sogenannte „freie Kühlung“), dann reichen schon etwa 5% bis 7% (COP von 15 bis 20) der Wärmemenge als elektrische Antriebsenergie aus.

Mehrere technische Möglichkeiten scheinen denkbar, um dieses Prinzip umzusetzen: Kühlung mit kaltem Wasser, welches aus einem See oder Meer oder aus einem anderen Oberflächengewässer (in Küstennähe z.B. an einem Siel) angesaugt wird oder aus einer Aquifere (unterirdische Grundwasserströmung) gepumpt wird. Als dritte Möglichkeit ist die Leitung des Kühlwassers durch eine Erdwärmebohrung (bzw. hier Erdkältebohrung) denkbar, wobei das Kühlmittel durch den Kontakt zur in das Erdreich eingebetteten Leitung abgekühlt wird. Technisch sind diese Anlagen vergleichsweise einfach. Sie bestehen aus einer durch ein kühles Medium führenden, gut wärmeleitenden Leitung sowie aus einer Pumpe. Durch die Verwendung mehrerer Kälteleitungen und mehrerer Pumpen kann einfach eine Redundanz hergestellt werden.

Es ist demnach geothermisch möglich, nicht nur Wärme aus dem Erdboden zu entziehen (typische Wärmepumpe) sondern auch Wärme dort einzulagern. Die Vielzahl von Wärmepumpen in Einfamilienhäusern entzieht dem Boden jeden Winter eine bestimmte Wärmemenge zum Zwecke der Raumheizung, andere Einrichtungen, wie Rechenzentren könnten jeden Sommer Wärme einlagern.

Bei Bürogebäuden kann die Anwendung kombiniert zum Heizen und Kühlen erfolgen, wie hier für ein Bürogebäude in Langen von Kolsch (2005) dargestellt.

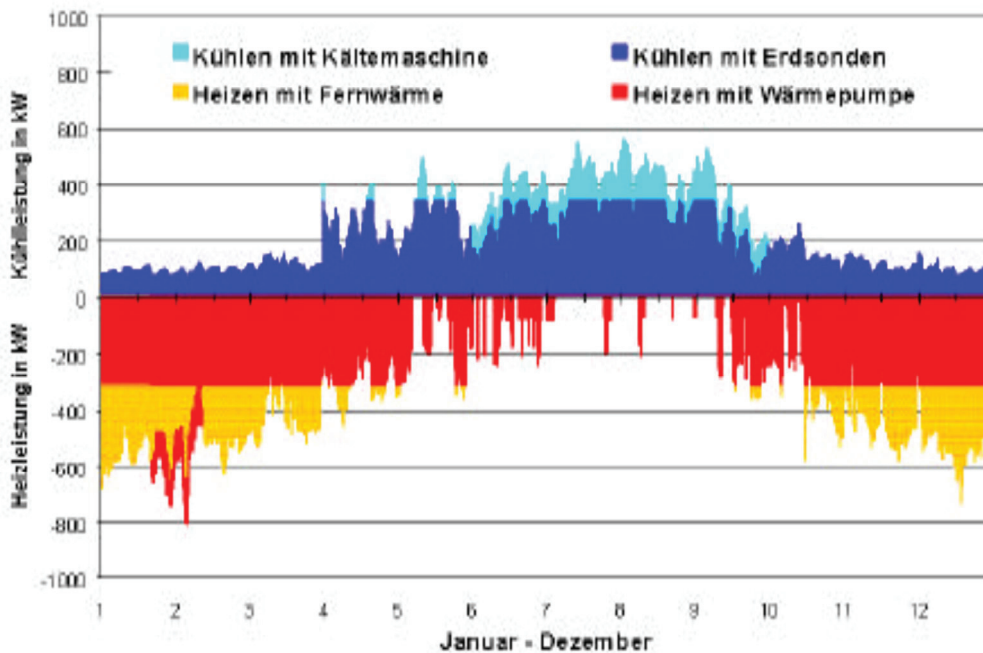


Abbildung 9: Jahresleistungskurve beim kombinierten geothermischen Heizen und Kühlen

Quelle: Kolsch 2005

Erdwärmepumpen haben eine typische Arbeitszahl zwischen 3 und 4, pro kWh Elektrizität können also etwa 3 bis 4 kWh Wärme gewonnen werden. Die Klimatisierung über Erdsonden, soweit keine Wärmepumpe erforderlich ist, erfolgt aber deutlich effektiver. Energie Schweiz (2010) gibt als erreichbaren COP 8-18 bei Kühlung über Erdsonden an.

Bei der Planung großer Bürogebäude hat sich in den letzten Jahren die integrierte Wärme und Kälteversorgung über Erdsondenfelder als eine der neuen Lösungen durchgesetzt, da sich mit der klassischen Lösung der getrennten Klimaanlage und Heizung (vgl. Abbildung 6) die Anforderungen der Energieeinsparverordnung für Gebäude (EnEV 2009) kaum einhalten lassen (Lohr 2012).

5.2.1 Beispiel: Landessparkasse zu Oldenburg (LzO)

In unmittelbarer Nähe des Oldenburger Bahnhofes wurde im August 2009 der Neubau der Landessparkasse zu Oldenburg (LzO) offiziell eingeweiht. Er bringt die 600 Mitarbeiter der 15 LzO-Zentralbereiche, die bisher an acht verschiedenen Standorten in der Oldenburger Innenstadt und Vororten verteilt waren, wieder unter ein Dach (Schmidt 2009).



Abbildung 10: Der Neubau der Landessparkasse zu Oldenburg (LzO)

Quelle: Borderstep

Bei der Entwicklung des Kälte- und Wärmekonzeptes spielten sowohl die langfristigen Betriebskosten als auch Umweltbelange eine maßgebliche Rolle. Nach eingehender Beratung durch Fachleute und mehrfacher Simulation des Energiekonzeptes durch die Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart, entschied sich der Bauherr für ein Energie-, Gebäudetemperier- und Lüftungskonzept mit folgenden Komponenten (Schmidt 2009):

- „Erdsondenfeld mit 63 Sonden, à 150 m Tiefe, Erschließungsfläche ca. 10 000 m² Wärmepumpenanlage zum Heizen und Kühlen (2 Wärmepumpen, mit je 485 kW Kühlleistung (6/12 °C) und je 590 kW Heizleistung (35/28 °C),
- Temperierung aller Bürobereiche mittels Betonkerntemperierung (BKT); Heizlast ca. 30 W/m², Kühllast ca. 40 W/m², mit Ausnahme von Sondernutzungen wie Schulungsräumen im EG,

- zusätzliche Kühlung der Räume in den Vorstandsetagen (4 Stockwerke im Hochhaus) über Alu-Sandwich-Kühldecken und Quelllüftung über Unterflurkonvektoren,
- ein geschlossener Nasskühlturm als Rückkühler für die Wärmepumpe in ihrer Funktion als Kältemaschine (600 kW bei 31/26 °C Kühlwassertemperatur) und als Freikühleinrichtung bei Nacht (400 kW, 14/17 °C) für die Betonkerntemperierung,
- Grundtemperierung der beiden Hallen (Mitarbeiterrestaurant, Foyer/Versammlungshalle) über Fußbodenheizung/Fußbodenkühlung, zusätzliche Unterflurkonvektoren (mit Heiz-/Kühlfunktion) im Fassadenbereich mit Zuluft über Luftkanäle.“

Weiter kann die neue LzO-Zentrale auch bei Nacht über einen in der Erde eingelassenen, geschlossenen Nasskühlturm „frei“ gekühlt werden. Durch die Kombination der Erdsondenanlage mit der freien Kühlung werden künftig rund 70 % der Jahreskühlarbeit regenerativ bereitgestellt.

Bedingung für den Einsatz solcher Kühlsysteme ist die Möglichkeit, mit sehr geringen Temperaturdifferenzen, also z.B. niedrigen Vorlauftemperaturen im Heizfall, heizen und kühlen zu können. Durch Betonkerntemperierung und Unterflurkonvektoren ist dies realisierbar. Schmid (2009) resümiert: „Um ein solches Gebäude thermisch stabil zu halten, ist jedoch eine gezielte Bewirtschaftung des Erdsondenfeldes sowie eine intelligente Steuerung des Sonnenschutzes und dessen Tageslichtfunktion nötig.“ Wärme- wie Kältebelastung sollten also möglichst klein gehalten werden und im Erdsondenfeld sollten sich der sommerliche Energieeintrag und der winterliche Energieentzug die Waage halten.

5.2.2 Beispiel: Erdsondenfeld der Kunsthalle Bremen

Im Jahr 2007 begannen die Planungen für eine Erweiterung und grundsätzliche Modernisierung der Kunsthalle Bremen (Beckmann 2012). Zum damaligen Zeitpunkt war die Kunsthalle durch einen Fernwärmeanschluss beheizt. Der Kältebedarf der Klimageräte wurde durch eine Kompressionskältemaschine gedeckt.

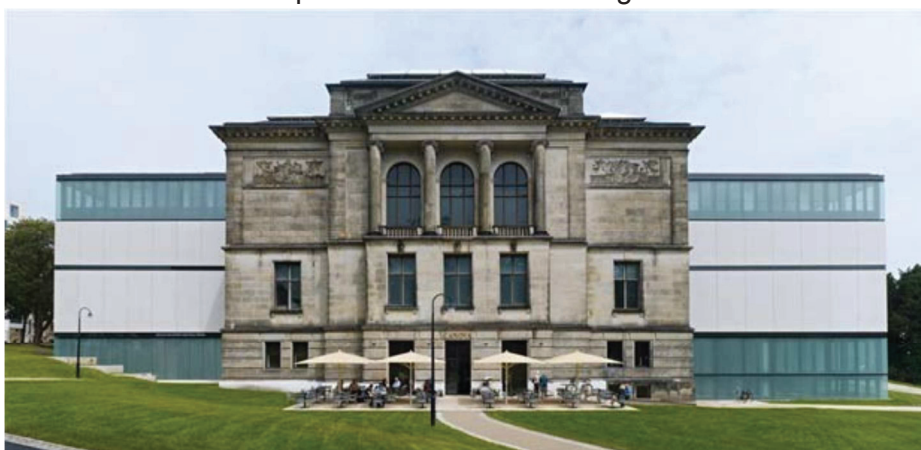


Abbildung 11: Kunsthalle Bremen mit Alt- und Neubau, Erdsondenfeld unter dem Neubau und unter dem Rasen im Vordergrund

Quelle: Kunsthalle Bremen

In der Ausschreibung der Museumssanierung wurde die Aufgabenstellung wie folgt formuliert: „Schützen der musealen Exponate in den Ausstellungsbereichen durch Schaffung

eines optimalen Klimas (relative Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur) unter Berücksichtigung von innovativen Energietechniken zur Minimierung der Betriebskosten und der CO₂-Emissionen.“

Zur Realisierung kam eine Erdsondenanlage, die in Kombination mit einem ölfreien Turboverdichter zur Wärme- und Kälteversorgung genutzt wird (Beckmann 2012). Das Heiz- und Kühlkonzept beruht auf drei Kernkomponenten, mit denen ein hoher Wirkungsgrad und ein in Folge günstiger Energieverbrauch realisiert werden:

- Die Verteilung von Wärme und Kälte im Gebäude erfolgt durch Kühl-/ und Heizdecken, Kühl- und Heizwänden sowie Fußböden, teilweise über Betonkernaktivierung.
- Die Wärmepumpe und Kältemaschine ist ein ölfreier Turboverdichter, mit dem im Heizfall ein COP von 4 realisiert wird.
- Das Erdsondenfeld umfasst 70 Sonden, die 99 m tief sind und über absperzbare Einzelleitungen an das System angeschlossen sind.

Durch die Flächenheizung ist es möglich, sowohl beim Heizen wie beim Kühlen mit niedrigem Temperaturvorlauf zu fahren. Die Heizung des Gebäudes erfolgt mit einer Vorlauftemperatur von ca. 35°C (Rücklauf 30°C), die Kühlung der Decken und Wände mit einer Vorlauftemperatur von ca. 18°C (Rücklauf 20°C). Nur für die Versorgung der Klimatechnik ist, um eine ausreichende Trocknung der Luft zu erreichen, ein weiterer Kühlkreislauf von 6°C erforderlich.

Die Kühlung des Gebäudes ist bis in die kalte Jahreszeit hinein notwendig. Denn obwohl die Lichtdecken des Gebäudes mit hochenergieeffizienten Leuchtstoffröhren beleuchtet werden, liegt der Stromverbrauch der Beleuchtung bei 20 Watt/m². Hinzu kommt die Wärmelast durch das Publikum. Bei erfolgreichen Ausstellungen mit vielen hundert Besuchern gleichzeitig ist daher auch der Wärmeeintrag durch die Menschen erheblich.

Dennoch war es nötig, für sehr kalte Tage eine Spitzenlastheizung einzuplanen. Als Alternativen standen ein Brennwertkessel und eine existierende Versorgung über eine Fernheizung durch das BHKW des Gerichtsgebäudes zur Verfügung. Aus Gründen des Erhalts guter Nachbarschaft fiel die Entscheidung zugunsten der Lösung mit Fernheizung, deren zu liefernde Wärmemenge jedoch klein bleibt.

Sehr aufwendig ist das Regelsystem gelöst. Der Einsatz von CO₂-Fühlern macht die Minimierung der Frischluftanteile in Abhängigkeit der Besucherfrequenz möglich. Der Einsatz von Feuchte- und Temperaturfühler dient der individuellen Raumtemperaturregelung.

Das Erdsondenfeld wurde mit einem Raster von 7 mal 7 m angelegt, so dass sich die eingetragene Wärme oder Kälte einer Bohrung nicht auf die anderen Bohrungen auswirkt. Die theoretisch errechnete Leistung jeder Bohrung von ca. 3 kW bestätigte sich sowohl in einem vorab durchgeführten Thermal Response Test als auch in der Praxis des Anlagenbetriebs. Das gesamte Erdsondenfeld hat somit eine Leistung von ca. 210 kW, die entweder als Wärme entnommen oder eingetragen werden kann.

Die Bohrungen führten in den oberen Schichten durch Sand, in den tieferen Lagen trafen sie auf Tonschichten. Die in den 70 Bohrungen angetroffenen Schichtungen waren sehr ähnlich. Bei der Durchführung der Bohrungen erwies sich die Nähe des Wallgrabens (der Abstand betrug teilweise nur 10m) als ohne Bedeutung. Zur Aufnahme der Erdsondenpaare war ein

Bohrdurchmesser von 15 cm erforderlich. Die Bohrungen konnten durch ein Bohrunternehmen aus der Region ohne Probleme niedergebracht werden.

Das Energiekonzept der Kunsthalle wird durch eine Photovoltaikanlage abgerundet, die jedoch nur einen Bruchteil des für die Beleuchtung und die Haustechnik erforderlichen Stroms erzeugt.

5.3 Brunnenkühlung

Die Brunnenkühlung folgt einem sehr einfachen, technischen Prinzip. Wenn z.B. kaltes Wasser von 12°C als Vorlauf für die Klimageräte benötigt wird und solches Wasser in einer Grundwasserschicht vorhanden und eine Genehmigung für die Förderung möglich ist, dann kann Kälte einfach gefördert werden und muss nicht technisch erzeugt werden. So kann die Kälteerzeugung von einem COP von 3-4 der Kompressionskälteanlage auf einen deutlich höheren COP der Brunnenkühlung umgestellt werden. Energie Schweiz (2010) gibt als erreichbaren COP 13 bis 22 für Grundwasserkühlung an. Brunnenkühlung ist zwar eine einfache Technologie, aber auch sie ist nicht ohne Risiken. Chancen und Risiken werden am Anwendungsbeispiel „Radio Bremen“ deutlich.

Beispiel: Grundwasserkühlung bei Radio Bremen

Für Radio Bremen wurde ab 2002 ein neues Gebäude geplant (Thomas 2011). Es gelang einen günstig gelegenen Standort nahe der Weser und nahe des Zentrums zu finden, der in einem Mischgebiet mit vielen Wohngebäuden liegt. Um die neuen Gebäude errichten zu können, wurde eine Grundwasserabsenkung durchgeführt. Hierfür wurden 4 jeweils 16 m tiefe Brunnen gebohrt, von denen zwei auf der Flussseite des Wesergebäudes und zwei neben dem Gebäude Diepenau liegen.

Im weiteren Planungsverlauf der Gebäude stellte sich heraus, dass eine konventionelle Kälteversorgung auf eine Reihe von Schwierigkeiten stoßen würde. Zum einen war die mit einem auf dem Dach platzierten Kühlturm verbundene Schallemission im Wohngebiet unerwünscht, zum anderen war es problematisch, die Versorgungsleitungen durch die Studioräume nach oben zum Dach zu führen. Auch hätte das Gewicht der Kältemaschinen auf dem Dach eine aufwendigere Statik zur Folge gehabt.



Brunnendeckel neben dem Haupteingang

Foto: Borderstep

In der Konsequenz schlug das Berliner Planungsbüro vor, die bereits zur Grundwasserabsenkung bei Baubeginn 2004 angelegten Brunnen mit ihrer Wassertemperatur um die 14°C als Kaltwasserquelle zu nutzen und dass dann erwärmte

Wasser direkt in die Weser einzuleiten. Aus Sicht der Wasserbehörden stand einem solchen Vorgehen nichts im Wege, denn es steht in direkter Flussnähe reichlich Grundwasser zur Verfügung und auch die Einleitung von erwärmtem Wasser in die Weser ist thermisch so lange genehmigungsfähig, wie das Wasser mit maximal 30°C eingeleitet wird.

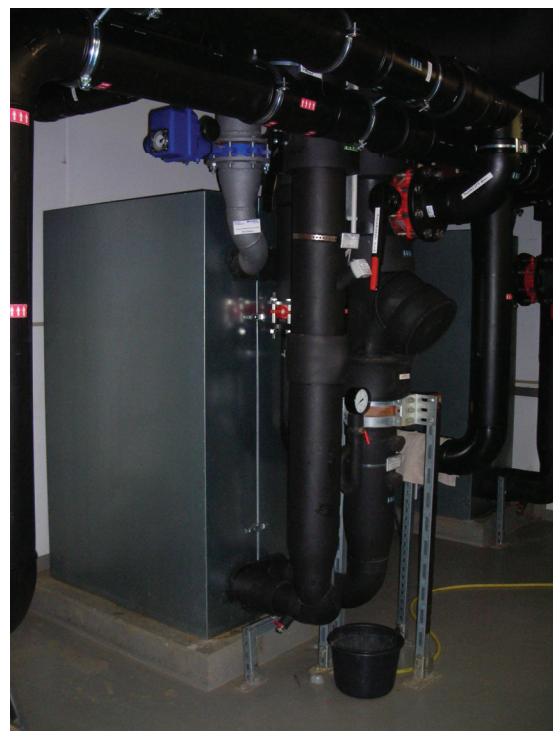
In der Folge wurde ein Klimatisierungssystem entworfen, welches die Klimatisierung der Studios und Archive sowie der Rechnerräume übernimmt. Auch die Kühlung des Notstromaggregats erfolgt durch dies System. Der überwiegende Teil des Klimasystems ist dabei auf eine Vorlauftemperatur von 16°C und eine Rücklauftemperatur von 19°C ausgelegt. In einigen Bereichen ist jedoch ein kälteres Netz mit einer Vorlauftemperatur von 6°C und eine Rücklauftemperatur von 12°C erforderlich. Für diesen Kreislauf wurden zwei redundante Kältemaschinen aufgestellt, deren Rückkühlung ebenfalls über das Brunnenwasser erfolgt.

Funktionen der Klimatisierung

- Klimatisierung der Studios und Rechnerräume
- Klimatisierung der Rechnerräume
- Kühlung des Notstromaggregats

In jedem der Brunnen wurde eine 13kW Pumpe montiert und das Brunnenwasser wird über Rohre von 200 mm Nennweite zu drei Plattenwärmetauschern gepumpt. Vor den Wärmetauschern sind Filter montiert. Jeder Wärmetauscher mit Filter kann über Hähne vom Kaltwassernetz getrennt werden, so dass eine Reinigung der Filter und ggf. der Wärmetauscher möglich ist. Das erwärmte Wasser wird in einem Sammelrohr zur Weser geführt. Von diesem Sammelrohr gibt es einen Abzweig ins Abwassernetz, da in Hochwassersituationen kein Wasser in die Weser eingeleitet werden darf. An den Tagen, an denen dies geschieht, ist für die Ableitung des Wassers nicht nur eine Einleitegebühr von 16 Cent/m³ fällig, sondern die volle Abwassergebühr von gegenwärtig 2,39 €/m³ muss gezahlt werden. Allein die wenigen Tage, an denen jährlich dieser Weg gewählt werden muss, führen zu ca. 10.000 € in der ursprünglichen Planung nicht berücksichtigten Betriebskosten.

Aber auch an anderen Stellen erwies sich die Planung als nicht optimal. So war weder dem Berliner Planungsbüro noch der beauftragten Berliner Bohrfirma offenbar der in Bremen hohe Eisengehalt des Grundwassers bekannt. Dieser macht die regelmäßige Reinigung der Wärmetauscher und langfristig wohl auch der Rohre des Primärwasserkreislaufs erforderlich. Aufgrund des unterschiedlich hohen Eisengehalts der beiden Brunnenpaare in je ca. 40m und ca. 100m Abstand vom Weserufer ist bei Betrieb des einen Brunnenpaares alle 3 Monate, bei Betrieb des anderen Brunnenpaares sogar alle 6 bis 8



Plattenwärmetauscher

Foto: Borderstep

Wochen eine Reinigung der Filter und Wärmetauscher erforderlich. Auch hierdurch entstanden jährliche, ursprünglich nicht erwartete Betriebskosten von ca. 10.000 €. Weiter war es aufwendig, in die Verrohrungen nachträglich Revisionsklappen einzubauen, so dass auch eine Rohrreinigung ggf. möglich wird. Dies war allerdings in den ersten 4 Betriebsjahren seit der Inbetriebnahme 2007 noch nicht nötig.

Die Wassertemperatur der Brunnen erwies sich im Laufe der Jahre als unterschiedlich. Während die weserfernen Brunnen vergleichsweise konstant eine Wassertemperatur von 13°C bis 14°C aufweisen, schwankt die Temperatur der wesernahen Brunnen mit der Jahreszeit. So ist das hier geförderte Wasser z.B. Anfang Dezember 2011 ganze 18°C warm, da noch bis in den Winter hinein das im Sommer versickerte warme Weserwasser gefördert wird. Im Frühjahr dagegen kann diesen Brunnen oft Wasser entnommen werden, welches nur 6°C bis 10°C warm ist. Zudem ist die Wasserverfügbarkeit des wesernahen Brunnens sogar eingeschränkt tideabhängig, so dass bei sehr niedrigem Wasserstand nicht immer Wasser verfügbar ist. Diese Erfahrung führt nun zu einer jahreszeitlich versetzten Wahl der jeweils aktiven Brunnen. Ist das Wasser aller Brunnen vorübergehend für eine reine freie Kühlung zu warm, so werden die Kältemaschinen genutzt, um auch im Sommer einen stabilen Vorlauf von 16°C zu erreichen.

Im letzten Betriebsjahr trat ein weiteres Problem auf: einer der Brunnen begann Sand zu fördern. Damit trat die Frage auf, ob die Brunnen, die ja ursprünglich nur zur temporären Grundwasserabsenkung gebohrt wurden, nicht für die dauerhafte Nutzung hätten anders gestaltet werden müssen.

Trotz der letztlich höher als geplant liegenden Kosten des Systems dürften diese dennoch deutlich niedriger liegen, als sie mit einer konventionellen Kompressionskältemaschine gewesen wären. Denn die Nennleistung der abzuführenden Wärme liegt bei ca. 750 kW. Würde diese mit einer konventionellen Kältemaschine mit einem COP von 4 abgeführt, so wäre mit einer elektrischen Antriebsleistung von ca. 190 kW zu rechnen. Durch die Brunnen kann die Versorgung der Wärmetauscher mit Kaltwasser dagegen mit einer durchschnittlichen Antriebsleistung von 2 der Pumpen von zusammen 26 kW geleistet werden. Eingespart werden so nicht nur eine dauerhafte (über das Jahr gemittelte) Leistung von ca. 160 kW, die zu einem Stromverbrauch von ca. 1,4 Mio. kWh/a und bei einem Strompreis von 15 Cent/kWh zu Mehrkosten von 210.000 € jährlich führen würde, sondern auch die Wartung der hierzu erforderlichen Kältemaschinen und Rückkühler entfällt.

Was hätte nun bei dieser Anlage anders gemacht werden können?

Zum einen wäre es möglich gewesen, eine Enteisungsanlage einzubauen. Abgesehen von hohen Investitionskosten von ca. 250.000 € wäre hierfür auch ein recht großer Raum erforderlich, der nicht eingeplant wurde und so auch nicht zur Verfügung steht. Zudem fielen Kosten für die Entsorgung der Schlämme an. Ob sich dadurch eine erhöhte Wirtschaftlichkeit gegenüber der regelmäßigen Reinigung der Plattenwärmetauscher und Rohre ergeben hätte, müsste durch eine detaillierte Kostenberechnung geprüft werden.

Daten & Fakten

Betreiber: Radio Bremen

Brunnen: 4 Brunnen zu je 16m

Kälteleistung ca. 750 kW

Fördermenge ca. 300.000 m³/a

Zum zweiten wäre es möglich gewesen, statt der Plattenwärmetauscher Rohrbündelwärmetauscher einzubauen, die sich u.U. leichter reinigen lassen.

5.4 Rückkühlung mit Fluss- oder Brunnenwasser

Auch der COP einer Kompressionskälteanlage wird bei Rückkühlung mit Brunnen- oder Flusswasser besser. Das liegt daran, dass Brunnen- oder Flusswasser selbst im Sommer kaum wärmer als 20° wird, während bei der Nutzung von Luftkühlern zur Rückkühlung die Temperatur des Wasserrücklaufs im Sommer oft um die 30°C liegt. In 2002 wurde z.B. vor der Flachwasserzone Kleinensieder Plate etwas weseraufwärts von Nordenham folgender Temperaturverlauf gemessen:

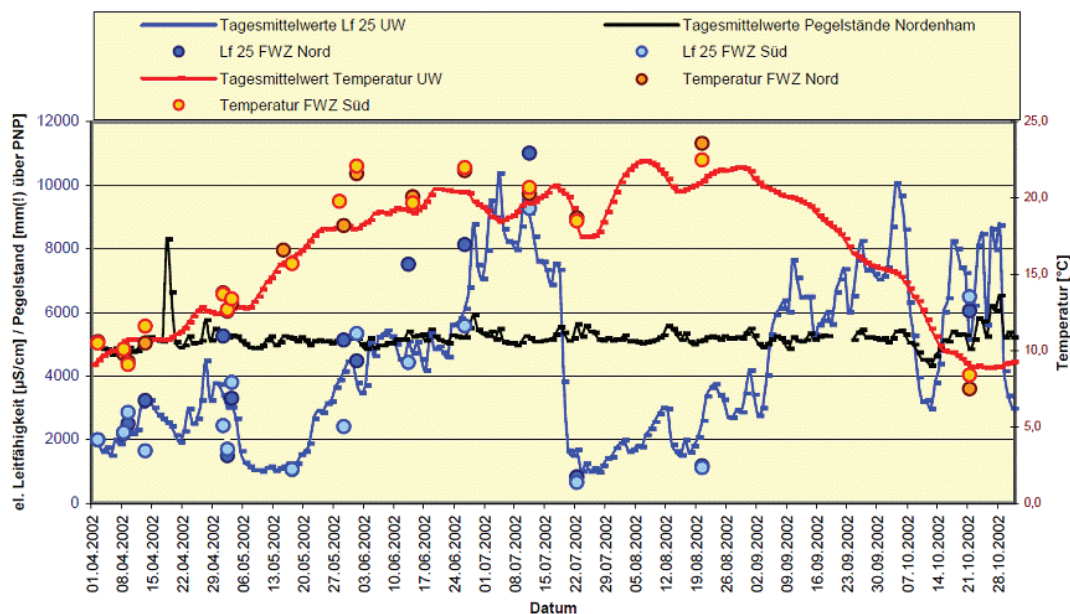


Abbildung 12: Tagesmittelwerte der Wassertemperatur und der el. Leitfähigkeit Lf 25 über den Untersuchungszeitraum im Vergleich zu Einzelmessungen in der Flachwasserzone (FWZ) der Kleinensieder Plate

Quelle: Lange 2003

Für Bremen ist bekannt, dass im Jahr 2011 die Lufttemperatur an ca. 350 Stunden 23°C überschritt. Zumindest in dieser Zeit besteht ein Vorteil bei der Temperaturdifferenz (Dickehut 2012). Auch in der Weser scheint also die Gewinnung von Wasser zur Rückkühlung durchaus realistisch.

Die Rückkühlung mit Flusswasser ist zwar offenbar eher wenig verbreitet, aber nicht ganz neu. Einige Systeme sind bekannt:

Tabelle 5: Projekte zur Rückkühlung mit Flusswasser

Projekt	Kälteleistung	Rückkühlung	Spezifika
DomAquarrée, CityQuartier, Berlin (Wolfferts 2011)	4 Stück Schraubenkalt- wassersätze à 1,35 MW	Rückkühlung über das Flusswasser der Spree	Kälteanlage für ein 5-Sterne-Hotel, einen Büro- Block und einen Wohnblock mit drei Tiefgaragenebenen
Bahnhof, Zürich (Energie Schweiz 2002)	2 Kältemaschinen Baujahr 1990/91 mit einer Leistung von 2x1,3 MW	Rückkühlung der Kältemaschinen erfolgt mit Flusswasser der Limmat	Die Kältemaschinenkondensatoren werden speziell durch Kugelfilteranlagen gereinigt.
Kältenetz Paris (Friotherm 2005)	Anlage mit einer Kälteleistung von 52 MW	Rückkühlung über das Flusswasser der Seine	Kühlenergie wird in einen Kaltwasserspeicher eingespeist und dann über ein 50 km langes Netz, das in den Kanälen für Abwasser und Strom unterhalb der Straßen von Paris verläuft, an 262 Kunden geliefert. Das System spart jährlich die Entnahme von 500.000 m ³ Wasser, das in den Rückkühlern verdampft. Der COP-Wert der flusswassergekühlten Kältemaschinen ist im Vergleich zu luftgekühlten Maschinen um 37% höher (Wojtan 2011).
Baerum Fjernvarme AS Oslo (Friotherm 2008)	Zwei Wärmepumpen, jede mit einer Leistung von 6.5 MW (Heizen) und 4.5 MW (Kühlen)	Rückkühlung über einen <i>Hauptsammler des Abwassersystems von Oslo</i> mit einem Durchfluss von 3.000 l/s.	Wärmepreis von 4,2 Cent/kWh (2005) konnte realisiert werden

Der COP lässt sich durch Flusswasserrückkühlung etwa von 4,5 auf 6 steigern (Meyer 2011). Dies wird auch durch eine Auskunft des für das Paris-Beispielverantwortlichen Planers bestätigt (Wojtan 2011), der im Vergleich von Luft- und Seinerwasser-Rückkühlung einen um 37% besseren COP erwähnt. Dies würde einer Energieeinsparung von 25% entsprechen, was noch um die unterschiedlichen Energieverbräuche der wasser- bzw. luftbasierten Rückkühlung zu korrigieren ist.

Beispiel: Hafengewässerrückkühlung im Eiswerk Bremerhaven

Das Eiswerk Bremerhaven beschreibt seine Produkte kurz und knapp: „Eis in fast unbegrenzter Menge, und soweit das Auge reicht.“ 180 Tonnen Wassereis werden täglich erzeugt. Die Effizienz, mit der das Eis erzeugt wird, bestimmt direkt die Wirtschaftlichkeit und Konkurrenzfähigkeit des Unternehmens. Seit der Neugründung als Bremerhavener Eiswerk

GmbH im Jahre 1984 wird daher die Rückkühlung der Kältemaschinen mit Hafenwasser betrieben.

Das Eiswerk liegt nur etwa 50 m vom Fischereihafen entfernt und kann so über eine kurze unterirdische Rohrleitungsverbindung das Wasser aus dem Hafen entnehmen und über eine Schiffsbeeisungsanlage die auslaufenden Fischereifahrzeuge versorgen (siehe Bild).

Der Vorteil von Flusswasser als Rückkühlmedium besteht darin, dass zum einen die Temperatur des Flusswassers über den Tag nicht so stark schwankt wie die der Luft. Im Jahresablauf dagegen fällt der Vergleich zwischen den in 2012 dokumentierten Eintrittstemperaturen des Hafenwassers und dem jeweiligen Mittelwert von Tageshöchst- und Tagestiefsttemperatur⁵ gar nicht so unterschiedlich aus. Zum zweiten entfällt die Notwendigkeit, große Mengen von Luft mit einem Gebläse durch den Kühlturm zu bewegen. Für die Abführung von Wärme ist hierfür das Pumpen von Hafenwasser deutlich effektiver. Die größte Kältemaschine des Eiswerkes konnte so bei einer Kühlleistung von 473 kW auf eine Leistung an der Kompressorwelle von nur 100 kW ausgelegt werden, was einem errechneten COP von 4,73 bei einer angenommenen Temperatur des Hafenwassers von 18°C entspricht. Diese Temperatur wird aber nur in ca. 4 Monaten des Jahres erreicht oder überschritten, in der kälteren Jahreszeit muss der COP daher deutlich besser sein. Das Eiswerk ist überzeugt, dass die vorhandene Lösung die in Bezug auf Betriebs- und Wartungskosten günstigste ist.

Seit 1984 läuft die Anlage zuverlässig und ausgesprochen wartungsarm. Lediglich Reinigungsarbeiten an den Turmkondensatoren sind regelmäßig erforderlich und der reibungslose Betrieb der Hafenwasserpumpen ist zu gewährleisten.

5.5 Adiabate Kühlung

Die adiabate Kühlung nutzt die Eigenschaft von Wasser, im Prozess des Verdampfens Wärme aufzunehmen. Wird trockene Luft befeuchtet, so kühlt sie um bis zu 10°C ab. Als Zuluft für Gebäude ist diese Luft meist nicht mehr geeignet, da sie durch die aufgenommene Feuchtigkeit über eine zu hohe relative Feuchte verfügt. Wird jedoch noch ein Gegenstrom-Wärmetauscher eingesetzt, in dem die durch Befeuchtung abgekühlte Abluft der trockenen Zuluft die Wärme entzieht, so kann dies System zur Kühlung von Luftströmen eingesetzt werden. Der entscheidende Vorteil ist, dass die Betriebskosten auf etwa ein Drittel der Betriebskosten einer Kompressionskälteanlage gesenkt werden können (Energieagentur NRW 2009).

Die Anwendung des Prinzips der adiabaten Kühlung beschränkt sich zunächst auf Anwendungsfälle, in denen kühle Luft benötigt wird, also z.B. die Gebäudeklimatisierung. Wird das Prinzip der adiabaten Kühlung in einem Rückkühler zur Anwendung gebracht, kann mit dem gleichen Funktionsprinzip jedoch auch ein im Verhältnis zur Außenluft günstigerer Kühleffekt eines Kühlwasserstroms realisiert und dieser auf ein Temperaturniveau deutlich unter der Lufttemperatur abgekühlt werden.

Ein adiabater Rückkühler wird z.B. im Leichtturmprojekt Rechenzentrum Consultix zur Anwendung kommen, Details dazu siehe unten (Abschnitt 0)

⁵ Wetterdaten für Bremen, jeweils Tageshöchst- und Tagestiefsttemperatur gemittelt. Quelle www.wetter.com vom 28.11.2012.

5.6 Leuchtturmprojekt Hof Siemering

Auf dem Hof des Putenmästers Heinrich Siemering in Varrel bei Sulingen befindet sich ein BHKW mit ca. 250 kWel. Das BHKW versorgt die Mastställe und drei Wohnhäuser im Winter mit Wärme. Im Sommer ist der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung nur gering und ein Großteil der Wärme geht daher ungenutzt verloren. Durch hohe sommerliche Außentemperaturen besteht für die Putenandererseits das Risiko schwerer gesundheitlicher Schäden. Dieses Risiko wird durch den Klimawandel tendenziell verschärft (siehe Schuchardt und Wittig 2012), daher bestand bei dem Mäster Interesse an der Prüfung der Möglichkeit einer Stalkühlung, die durch die Abwärme des BHKW mit Energie versorgt würde.



**Westwand eines Putenstalls
auf dem Hof Siemering mit „offenem Vorhang“**

Die Mastdauer von Puten beträgt bei den Hennen 16 Wochen, bei den Hähnen ca. 21-22 Wochen. In den ersten 6 Wochen muss geheizt werden (wenn es nicht ohnedies warm genug ist). Danach ist im Sommer eher Kühlung notwendig. Hierzu wird z.Zt. üblicherweise Umgebungsluft genutzt. Die Ställe sind seitlich in der Weise offen, dass die Tiere zwar nicht hinaus können, aber ein Luftwechsel stattfindet. Dieses Prinzip funktioniert nur bei geeigneter Windrichtung und –stärke ausreichend gut. Erfahrungsgemäß entstehen an Tagen mit Außentemperaturen von 35°C kritische Situationen. Hier können bei den Puten hohe Mortalitätsraten auftreten.

Die Kühlperiode kann anhand regionaler Klimadaten bei derzeitigen Klimabedingungen etwa 10 Wochen (also 70 Tage mal 12 Stunden = 840 Stunden) abgeschätzt werden. Würde man die Anlage nun so auslegen, dass sie kleiner dimensioniert ist, nachts auch läuft und dabei einen Kältespeicher „auf Vorrat“ kühlt, würde sie ungefähr 1.700 Betriebsstunden erreichen. Diese Zeit stellt eine zusätzliche Wärmeabnahme dar, für die der BHKW-Betreiber den Wärmenutzungsbonus geltend machen kann.

Exkurs Kühlung und Tierschutz

Aus Sicht des Tierschutzes gibt es in der gegenwärtigen Haltungsform durch sommerliche Hitze ein Tierschutzproblem (Drossé 2011). Die Tiere, besonders die Masthühner aber auch Schweine und Puten, leiden unter dem Hitzestress. Besonders Hochleistungstiere, die auf hohe und schnelle Gewichtszunahme gezüchtet wurden, sind anfälliger gegenüber Hitze als langsam wachsende Tiere. Zudem trägt die hohe Besatzdichte erheblich dazu bei, dass sich Hitze staut und schlechter abgeleitet werden kann. In den 1990er Jahren gab es daher in Niedersachsen ein von der Presse so genanntes „Massensterben“ in der Broilermast. Dass ein Bestand bei Hitze „umkippt“ ist aber auch heute noch gar nicht so selten, wenn auch die Ställe etwas besser sind als damals (Drossé 2011).

Es war einige Zeit üblich, eine Dachberieselung in Broilermastställe einzubauen, eine Praxis die heute nicht mehr verfolgt wird, insbesondere wegen der dadurch erhöhten Luftfeuchtigkeit. Puten geben nur 40% ihrer Überschusswärme an die Umgebungsluft über Haut und Gefieder ab, 60% der Wärmeabgabe erfolgt über die Atmung (Czarik 2011), und diese Form der Wärmeabgabe wird mit zunehmender Luftfeuchtigkeit schwieriger. Heute wird wieder in erster Linie zur Kühlung „belüftet“, ein Verfahren das durch die Außentemperaturen und technisch bedingte Luftwechselraten begrenzt ist. Damit ist das Problem wieder weitgehend ungelöst und die Bauern suchen derzeit nach praktikablen Lösungen. Technische Lösungen sind kaum bekannt. Hilfestellung gibt kaum jemand. Ein innovativer Beitrag zur Lösung des Problems „Sommerhitze“ wäre daher aus Tierschutzsicht zu begrüßen (Drossé 2011).

Das Problem hat natürlich ursprünglich mit der Intensivtierhaltung zu tun. Die Intensivtierhaltung ist ein Problem der Ernährungskultur und des hohen Fleischkonsums und damit ein langfristiges Problem. Das Problem der Intensivtierhaltung muss daher auf der Ebene der Ernährungskultur gelöst werden. Dass die Tiere in der gegenwärtigen Haltungsform leiden, trägt nicht dazu bei, diese rascher abzuschaffen. Bei der berechtigten Forderung nach einer technischen Lösung darf aber nicht vergessen werden, dass auch die Zucht, die schnellwüchsige und hitzeanfällige Tiere hervorgebracht hat und die intensive Tierhaltung mit einer großen Anzahl Tiere unter hohen Besatzdichten Teil des Problems sind (Drossé 2011). Letztlich geht es also nicht nur um einen reduzierten Fleischkonsum, sondern auch darum, die Hochleistungsrasse⁶ in der Tierproduktion durch Rassen zu ersetzen, die aufgrund ihrer Physiologie zu einem artgerechten Leben in der Lage sind. Auch hier aber geht es um ein langfristiges Problem, denn die Hochleistungsrasse stellen ja gerade die Möglichkeit zur Produktion sehr preiswerten Fleisches, welches wieder die Vorbedingung des hohen Fleischkonsums ist (vgl. die Fallstudie Huhn bei Idel et al. 2004).

Die Projektierung soll für einen von zwei parallel (fast) in Nord-Süd-Ausrichtung errichteten Ställen aus den 80er Jahren erfolgen. Die Wände der Ställe sind mit 6 cm Mineralwolle isoliert, das Dach mit 12 cm. Etwa 30 m südlich des östlichen Stalls steht das BHKW mit ca. 300 kW_{therm} und einer Abgastemperatur von ca. 680 °C. Die Temperatur des Wassers hinter dem Wärmetauscher beträgt z.Zt. ca. 90°C, ist aber regelbar. Zwei Ställe sind für die Kühlung von Interesse. Beide dienen der Mast männlicher Puten, die schwerer und älter werden und damit eher ein Wärmeproblem haben als die leichteren Hennen. In der Mastendphase sind jeweils 2.500 Puten von max. 21 kg Gewicht in den Ställen. Zunächst soll der obere (in der Skizze blau unterlegte) Stall ausgerüstet werden.

⁶ Teilweise handelt es sich um sogenannte Qualzuchten, also z.B. Puten, die aufgrund ihres sehr schweren Brustmuskels nicht mehr aufbaumen und auf einer Stange schlafen können.

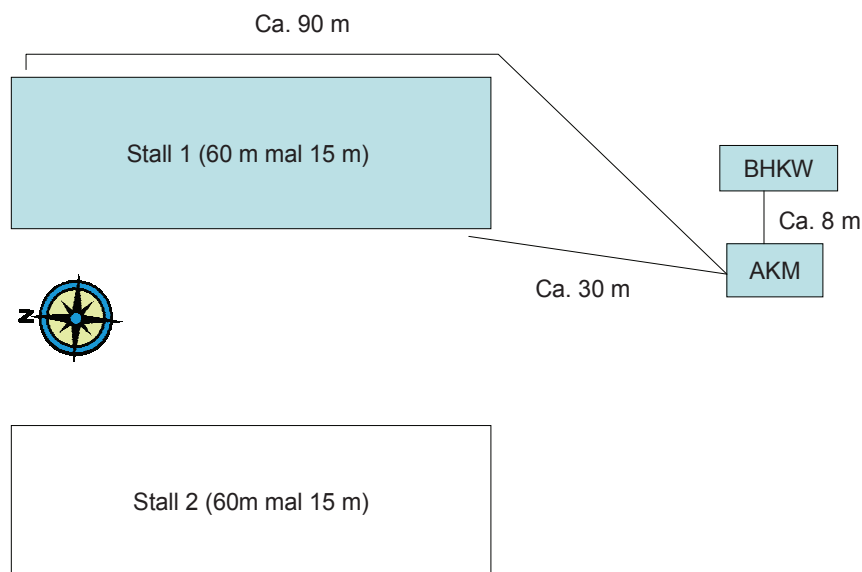


Abbildung 13: Lageskizze der Putenställe

Die Abwärme des BHKW macht die Versorgung einer Absorptionskältemaschine mit einer Kälteleistung von bis zu 200 kW möglich. Nach Abschätzung der Wärmeentwicklung durch die Puten und durch die Sonneneinstrahlung einerseits und der Projektkosten andererseits wurde eine Kältemaschine ausgewählt, die eine Nennleistung von 70 kW hat, die sich mit Blick auf die zur Verfügung stehenden, hohen Antriebstemperaturen auf etwas über 80 kW erhöhen könnte, wie aus der Kennlinie der eingesetzten Kältemaschine in Abbildung 5 zu erkennen ist. Durch den Einbau von zwei Kältespeichern zu je 4.000 Liter wird darüber hinaus der Betrieb der Anlage auch über Nacht ermöglicht, so dass die tagsüber zur Verfügung stehende Spitzenlast noch höher liegt.



**Westwand des Putenstalls
umgebaut mit Einlass für Luft in den Wärmetauscher**

Die Kälte wird an zwei gegenüberliegenden Ecken des Stalls in zwei Wärmetauscher eingespeist, die mit Blick auf hohe Leistung und gute Reinigungsmöglichkeiten ausgewählt wurden. Der Luftstrom durch die Wärmetauscher wird durch zwei Schläuche geleitet und „fällt“ aus diesen durch Löcher hinunter in den Stall. Dadurch, dass ein Schlauch im Norden, der andere im Süden beginnt, soll eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Kälte erreicht werden.

Wirkung

Im April 2013 wurde die Anlage erfolgreich in Betrieb genommen. Ab Mai stand sie für die Kühlung des Stalles zur Verfügung. Am 11. Mai wurden 2.490 Jungputen eingestallt, in den ungekühlten Vergleichsstall wurden 2.550 Jungputen eingestallt.

Die Kälteanlage selbst erreichte eine Leistung, die den theoretisch durch die Temperatur des Heißwassers (BHKW-Abwärme) und die gewünschte Kaltwassertemperatur von 6°C vorgegebenen möglichen Werten entsprach und arbeitete zuverlässig.

Der Sommer 2013 wies in Niedersachsen keine langen oder extremen Hitzeperioden auf. Dennoch entschied sich der Betreiber, die Anlage über 1.000 Stunden in Betrieb zu halten und den Stall wenn immer machbar auf einer Temperatur von ca. 23°C zu halten. Stieg die Außentemperatur höher an, so konnte immer noch eine gegenüber dem Vergleichsstall um ca. 4°C niedrigere Stalltemperatur erreicht werden. Während heißer Perioden beobachtete der Mäster, dass die Puten aktiver waren als diejenigen im ungekühlten Stall und vermutlich weniger Stress durch hohe Temperaturen hatten. Dies spiegelt sich auch in den Masterergebnissen.

Am 1. Oktober wurden aus dem gekühlten Stall 2.358 Puten ausgestallt, aus dem ungekühlten Stall 2.396 Puten. Die Mortalität im gekühlten Stall lag damit um 0,8% niedriger, was aber keinen auffälligen Unterschied darstellte. Bei gleicher Futtermittelverwertung von 2,5 kg Futter pro kg Mastendgewicht erreichten die Puten im gekühlten Stall ein höheres Mastendgewicht von durchschnittlich 20,15 kg gegenüber 18,9 kg im ungekühlten Stall.

Die drei Ziele des Vorhabens:

- 1) deutliche Senkung der maximalen Stalltemperatur im Vergleich zu einem nicht gekühlten Stall,
- 2) Verbesserung der Masterergebnisse sowie
- 3) Verbesserung des Wohlbefindens der Tiere

konnten damit erreicht werden.

5.7 Leuchtturmprojekt Rechenzentrum Consultix

Der Markt für IT-Dienstleistungen wird, wie andere auch, von Zielen einer nachhaltigen und insbesondere klimafreundlichen Wirtschaftsweise verändert. Ziel des Unternehmens Consultix GmbH ist es daher, beim Bau eines neuen, mittelgroßen Rechenzentrums in Bremen Westend, die Kühlung und Klimatisierung möglichst energieeffizient und CO₂-arm zu realisieren und auf den Einbau einer Kompressionskälteanlage möglichst ganz zu verzichten. Dies wird einerseits über eine geeignete Geräteauslegung erreicht, andererseits über eine Kombination aus freier Kühlung und Kühlung über Erdsonden und Brunnen.

Das Rechenzentrum wird in einem im zweiten Weltkrieg errichteten, späteren Atombunker gebaut. Der eigentliche Kern des Klimakonzeptes ist die Auswahl der IT-Geräte. Es werden ausschließlich Server, Switches und Peripheriegeräte zum Einsatz kommen, die für eine

Zulufttemperatur von 26°C und eine Ablufttemperatur von 35°C ausgelegt sind. Durch entsprechend groß dimensionierte Klimageräte in den IT-Räumen wird es möglich, im Kühlwasserkreislauf eine Vorlauftemperatur von 19°C und eine Rücklauftemperatur von 25°C zu erreichen. Mit einem adiabaten Hybridkühler kann so bis zu einer Außentemperatur von 27°C frei gekühlt werden. Am Standort Bremen und beim augenblicklichen Klima, überschreitet die Außentemperatur aber nur ca. 100 Stunden im Jahr die Marke von 27°C, so dass eine ergänzende frei Kühlung über eine Erdsondenanlage oder Brunnen nur an wenigen Stunden im Jahr zum Einsatz kommen muss.

Die bereitzustellende Kühlleistung des Rechenzentrums wurde in drei zu bewertenden Ausbaugrößen vorgegeben. Die Ausbaustufen für das Rechenzentrum betragen in der 1. Ausbaustufe: 200 kW, in der 2. Ausbaustufe: 400 kW und in der 3. Ausbaustufe: 800 kW. Die Kühlleistung muss über ein ganzes Jahr, also 8760 Stunden, zur Verfügung gestellt werden. Auf der Basis des Jahres 2011 wurde die potentiell mögliche Nutzungsdauer für die geothermische Kühlung in einer Machbarkeitsstudie (Sommer 2012) ermittelt. Dabei stellten sich drei alternative Lösungen als wesentlich heraus (siehe

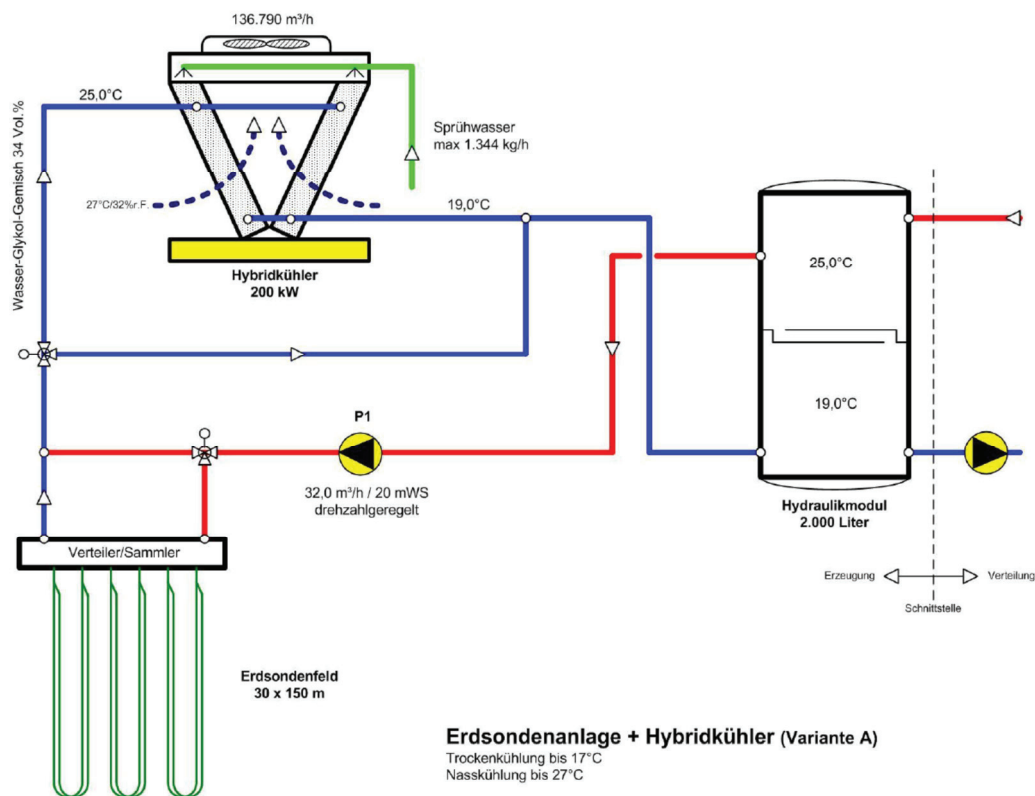


Abbildung 14: Adiabate Kühlung in Verbindung mit einem Erdspeicher

Quelle: Sommer 2012

und Abbildung 15).

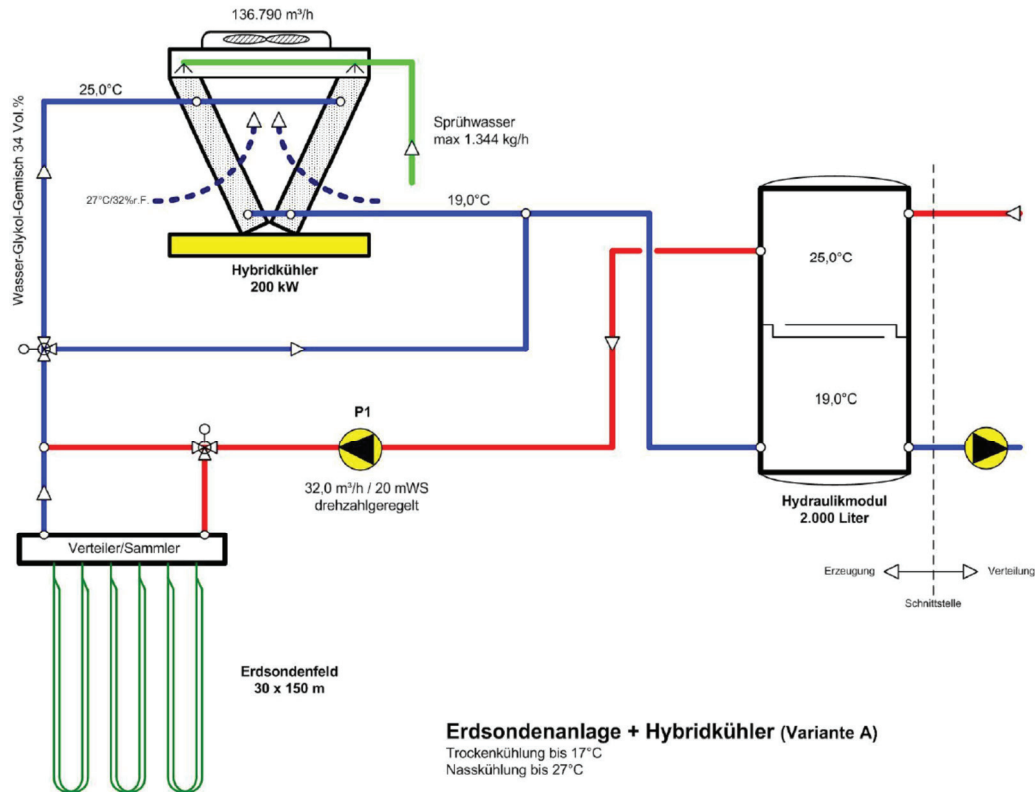


Abbildung 14: Adiabate Kühlung in Verbindung mit einem Erdspeicher

Quelle: Sommer 2012

Alternative 1: Der Hybridkühler, der sowohl trocken wie auch adiabate (befeuchtet) betrieben werden kann, kann bis 17°C Luftaußentemperaturen als Trockenkühler die geforderte Leistung bereitstellen. Von 17°C bis 27°C erfolgt die adiabate Kühlung. Ab einer Temperatur von 27°C muss das Erdsondenfeld die Last abdecken.

Die abzuführende Jahreskältearbeit beträgt 1.752.000 kWh. Der Anteil der auf das Erdsondenfeld entfällt beträgt 9.800 kWh/a.

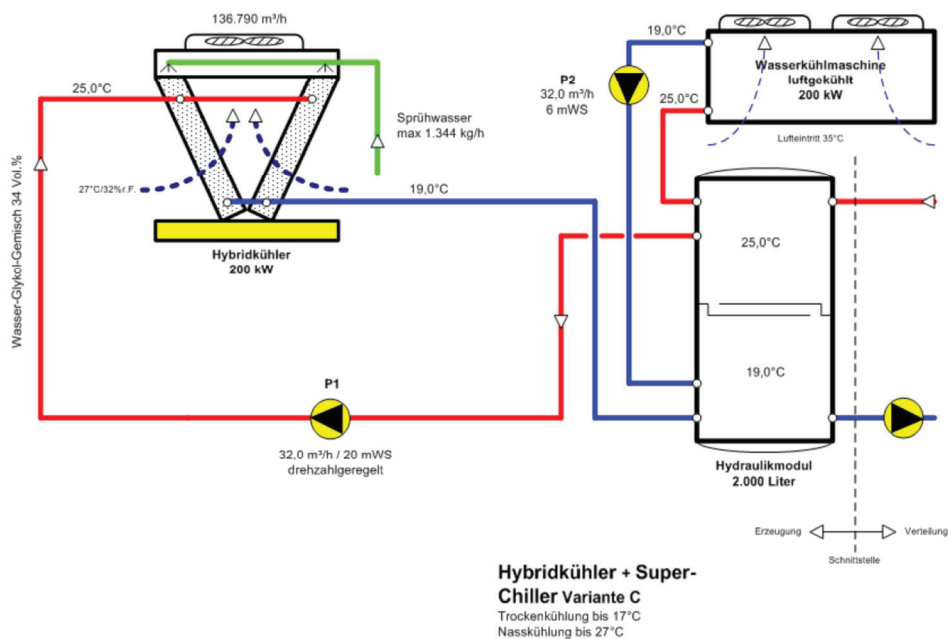


Abbildung 15: Adiabate Kühlung mit luftgekühlter Kältemaschine

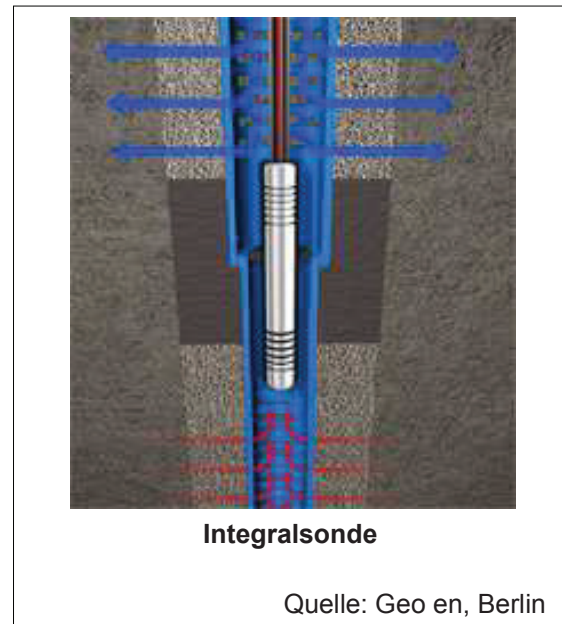
Quelle: Sommer 2012

Alternative 2: Der Hybridkühler kann bis 17°C Luftaußentemperaturen als Trockenkühler die geforderte Leistung bereitstellen. Von 17°C bis 27°C erfolgt die adiabate Kühlung. Ab einer Temperatur von 27 °C muss die luftgekühlte Wasserkühlmaschine die Last abdecken.

Die abzuführende Jahreskältearbeit beträgt 1.752.000 kWh. Der Anteil der auf die Kältemaschine entfällt beträgt 9.800 kWh/a.

Als **dritte Alternative** wurde die Gewinnung von Kühlwasser durch einen Brunnen mit Integralsonde geprüft (siehe Abbildung). Kaltes Grundwasser (rote Pfeile) wird in einer solchen Sonde durch die Filterstrecke angesaugt und zum Wärmetauscher transportiert. Erwärmtes Wasser (blaue Pfeile) fließt vom Wärmetauscher zurück zum Diffusor. Von dort sickert es langsam und gleichmäßig zurück in die Erde und gibt dabei thermische Energie ab. Im Anschluss an die vom Beratungsbüro Lohr Consult erstellte Machbarkeitsstudie (Sommer 2012) und die Konzeption einer Brunnenlösung durch Geo-en Berlin wurde im November 2012 eine Bohrung auf 200m abgeteuft. Im Zuge der Bohrung wurde der Bohrkern geologisch beurteilt. In die Bohrung wurde eine Duplexsonde eingebracht und die Bohrung verfüllt. Anschließend wurde ein Thermal Response Test durchgeführt.

Im Herbst 2013 wurde die Planung der Anlage abgeschlossen und der Bau von 4 Integralbrunnen findet im Frühjahr 2014 statt.



6. Potenziale und Akteure

6.1 Regionale Ressourcenverfügbarkeit

6.1.1 Potenzial für Erdsondenfelder

Das über Erdsondenfelder erschließbare Potenzial an Wärme oder Kälte ist grundsätzlich durch zwei Rahmenbedingungen begrenzt: Zum einen stellt die verfügbare Grundstücksfläche eine Begrenzung dar, da pro Bohrung nur eine bestimmte Menge (Wärme-)Arbeit zu oder abgeführt werden kann, die Bohrungen einen Mindestabstand untereinander haben müssen und an der Grundstücksgrenze keine dauerhafte Temperaturerhöhung oder -absenkung von 2 Kelvin oder mehr auftreten darf (Panteleit 2012). Eine Begrenzung ergibt sich also letztlich mit Blick auf das Einzelobjekt. Mit Blick auf den Wärme- und Kältebedarf der Bauten in der Metropolregion kann das über Erdsondenfelder erschließbare Potenzial an Wärme oder Kälte innerhalb dieser Studie daher nicht zahlenmäßig erfasst werden.

Eine prinzipielle Eignung großer Flächenanteile der Metropolregion Bremen-Oldenburg ist aus dem Internet-Kartenserver Erdwärmennutzung des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie ablesbar, siehe Abbildung 16 (Fritz 2009):

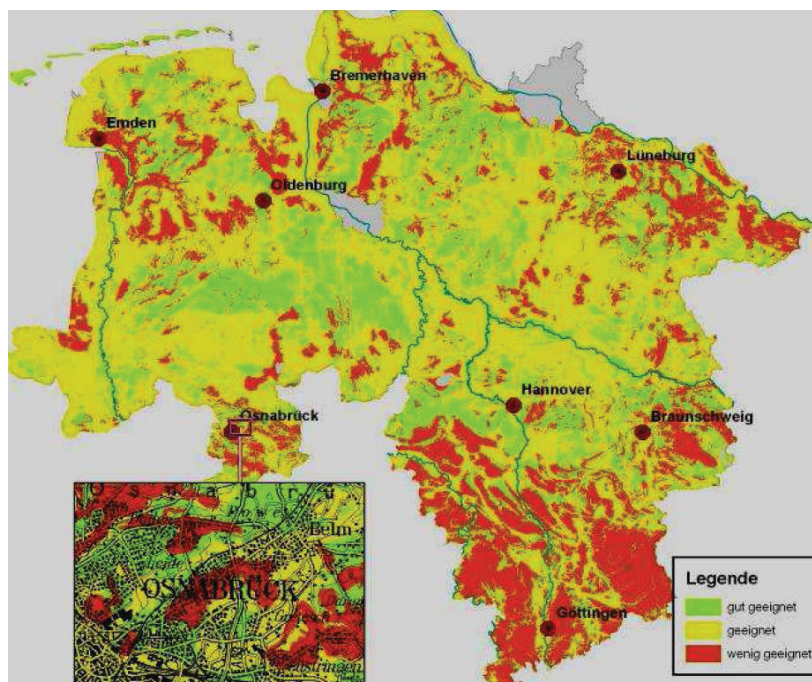


Abbildung 16: Standorteignung für Erdwärmekollektoren

Quelle: Fritz 2009

Auch eine – teilweise nur bedingte - Zulässigkeit ist gegeben, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.:**

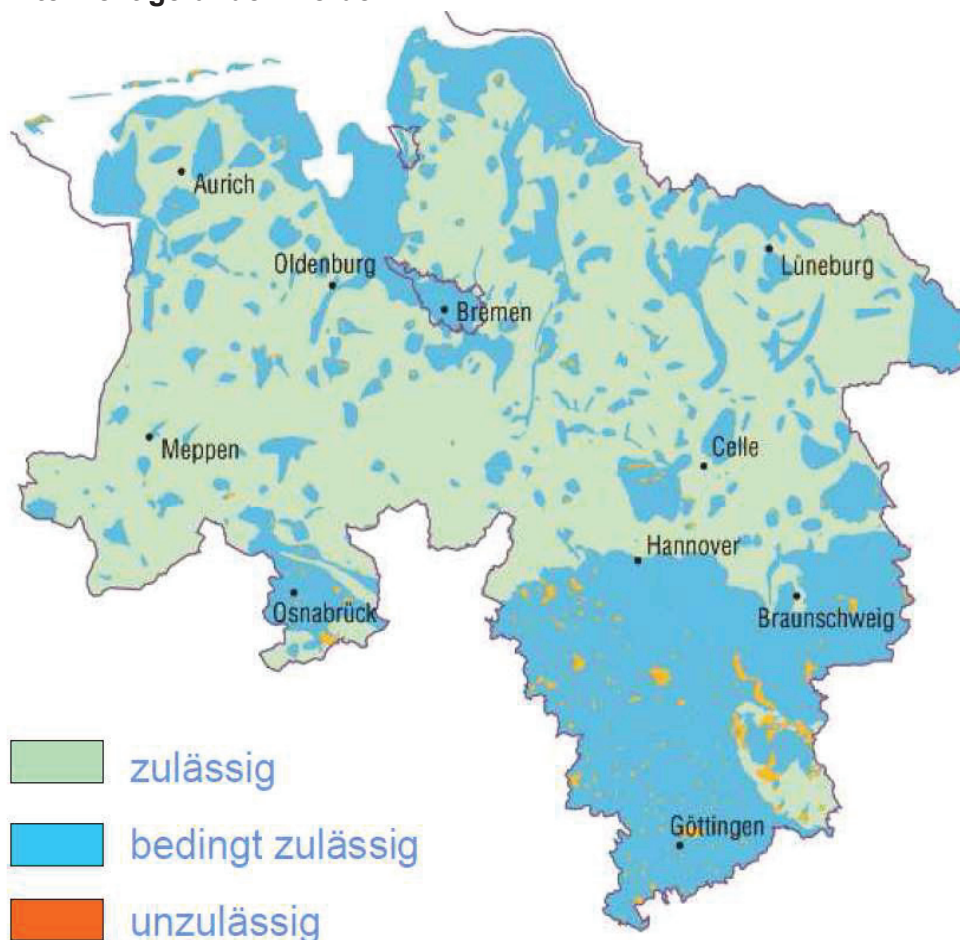


Abbildung 17: Nutzungsbedingungen oberflächennaher Geothermie

Quelle: Fritz 2009

Unter www.lbeg.niedersachsen.de unterhält das Zentrum für Geothermie verschiedene Kartenserver, mit denen Online für jede Adresse in Niedersachsen eine erste Prüfung der Eignung des Grundstücks für Flächenkollektoren und geothermische Bohrungen im Bereich bis 100 m Tiefe möglich ist.

6.1.2 Potenzial für Brunnen- und Flusswasserkühlung

Begrenzt durch die Grundstückslage sowie wasserrechtliche Vorschriften ist das über Brunnen- und Flusswasser erschließbare Potenzial an Wärme oder Kälte. Sowohl wasserführende Grundwasserschichten (Aquifere) mit für das jeweilige Objekt ausreichender Ergiebigkeit sind nicht überall vorhanden und auch Fluss- oder Hafenwasser ist nur dort verfügbar, wo die Grundstückslage den Leitungsbau zum jeweiligen Fluss oder Hafenbecken von den Kosten her zulässt. In der Regel liegt in der Nähe von Gewässern das Grundwasser hoch und kann über Brunnen gewonnen und oberirdisch über eine Leitung in das Gewässer eingeleitet werden. Der Bau eines zusätzlichen Schluckbrunnens wird so vermieden und auch das Risiko eines hydraulischen Kurzschlusses, also des erneuten Ansaugens bereits erwärmten Kühlwassers durch den Saugbrunnen, besteht nicht.

Die Entnahmemenge ist dabei so zu bemessen, dass die Wiedereinleitung mit höchstens 30°C erfolgen kann. Jede Einzelnutzung unterliegt der Genehmigungspflicht. Wie hoch das nutzbare Potenzial letztlich ist, könnte nur durch eine ökologisch ausgerichtete und geografisch hoch aufgelöste Potenzialstudie ermittelt werden. Allein das inzwischen stillgelegte AKW Unterweser leitete allerdings 1.742 MW an Wärme in die Weser ein (Niedersächsische Bezirksregierung Weser-Ems 2004: 15).

Am Beispiel der Bremer Innenstadt lässt sich ein Bereich markieren, in dem die Entfernung zur Weser bis zu ca. 200 m beträgt. Für Gebäude in diesem Bereich wären eine Kühlung über Brunnenwasser und der Bau einer Leitung zur Direkteinleitung in die Weser zumindest denkbar.

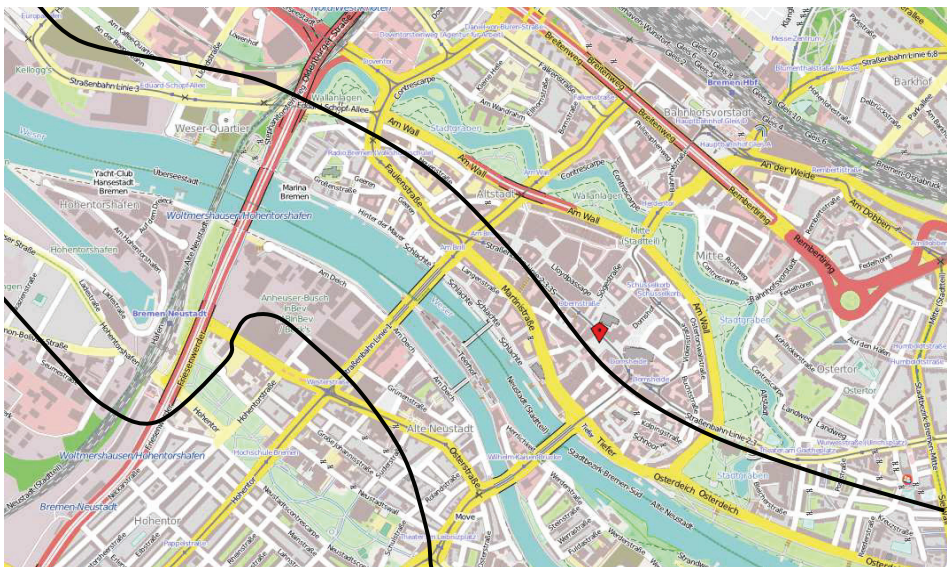


Abbildung 18: Flussnahe Bereich der Bremer Innenstadt

Quelle: www.openstreetmap.de bearbeitet.

6.1.3 Potenzial an Abwärme

Das Potenzial für Absorptionskälteanlagen begrenzt sich durch die verfügbare Abwärme. Diese wiederum entstammt im ländlichen Bereich vornehmlich den ca.700 Biogas-BHKW in der Region (Stüßmann 2012), soweit deren Wärme im Sommer noch nicht genutzt wird, oder anderen Quellen von Abwärme einschließlich KWK. Von besonderer Bedeutung könnten weiter die Wärmenetze in einer Reihe größerer und kleinerer Städte sein. Darüber hinaus gibt es eine Reihe einzelner, stationärer Abwärmequellen wie etwa der Stahlwerke Bremen, über die allerdings keine nutzbare Aufstellung existiert.

So verteilt z.B. die swb Netze GmbH als Netzbetreiber Wärme in Bremen und Bremerhaven über insgesamt 370 Kilometer Wärmeleitungen. Die swb beschreibt den Kreislauf wie folgt: „Die Leitungen verlaufen meist unter öffentlichen Straßen und Wegen der Stadt. ... Das Heizwasser wird erwärmt in den swb-Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung oder es wird dezentral Wärme in kleineren Heizwerken und von großen Pumpen in die Leitungen gebracht. Auf dem Weg zum Kunden beträgt die Temperatur des Wärmeträgers – je nach

Versorgungsnetz und Witterung – 70 bis 130 Grad Celsius. ... Für das Warmwasser wird dem heißen Wasser die Energie per Wärmetauscher entzogen und an das Warmwasser im Hauskreislauf übertragen. ... Das abgekühlte Wasser fließt schließlich aus der Kundenanlage mit 50 Grad in die Wärmeleitungen zurück“ (swb-Gruppe2012). Wärmenetze sind sowohl in Bremen wie in Bremerhaven nur in Teilen des Stadtgebietes verfügbar. Interaktive Karten geben Aufschluss über Primärenergiefaktoren der Teilnetze, die Anteile von KWK und regenerativen Energien an den Energieträgern sowie die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen.

In Bremerhaven werden, farblich dargestellt, sieben Teilnetze ausgewiesen, von denen fünf mit einem Primärenergiefaktor von 0 auf Basis von 100% KWK und 100% regenerativen Energiequellen (Müll) zertifiziert sind. Zwei Teilnetze basieren nur zu 62,5% auf fossiler KWK. Die Vorlauftemperaturen variieren zwischen 70 und 95°C in drei Teilnetzen und 80 bis 120°C in vier Teilnetzen (swb-Gruppe 2012).



Abbildung 19: Wärmenetze in Bremerhaven

Quelle: swb-Gruppe 2012

Welche Straßen und Orte genau angeschlossen sind, ist aus der interaktiven Karte nicht ablesbar.

Auch in Bremen werden sieben Teilnetze ausgewiesen, von denen zwei mit einem Primärenergiefaktor von 0 auf Basis von 100% KWK und 100% regenerativen Energiequellen (Müllheizkraftwerk an der Universität) zertifiziert sind. Die anderen Teilnetze basieren mit unterschiedlichen Prozentteilen auf fossiler KWK. Die Vorlauftemperaturen variieren zwischen 70 und 110°C in vier Teilnetzen und 70/80 bis 130°C in drei Teilnetzen (swb-Gruppe 2012).

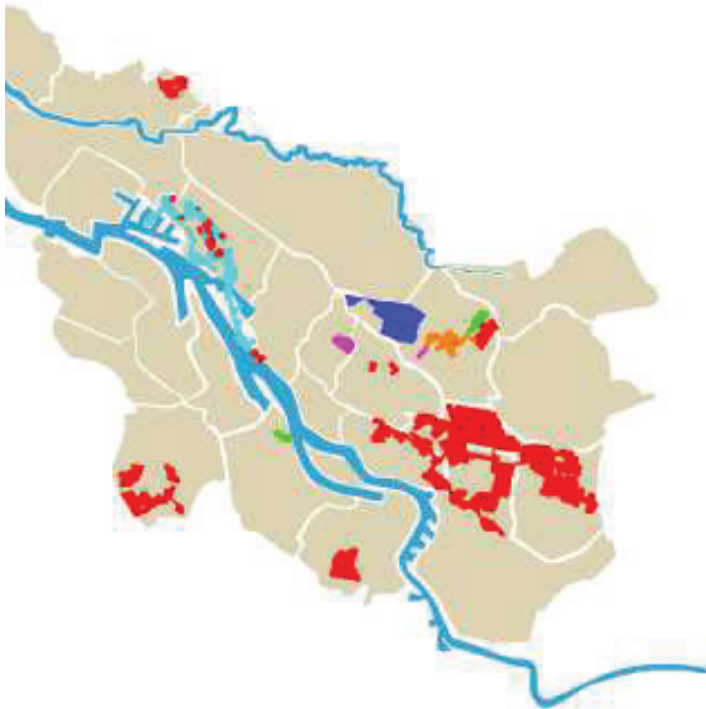


Abbildung 20: Wärmenetze in Bremen

Quelle: swb-Gruppe 2012

Bei einer Anschlussleistung bis zu 15 kW werden neue private Wärmekunden von der swb zu einem Festpreis von 4.254,25 € incl. 15 m Leistungslänge an alle ihre Wärmenetze angeschlossen, höhere Entfernungen müssen extra bezahlt werden. Der Abnahmepreis beträgt zur Zeit bei einem Festpreis von 6,08 € monatlich und einem Arbeitspreis von 9,64 Cent/kWh (swb 2012a). Sowohl für die Lieferung einer größeren Leistung über 15 kW als auch für eine mögliche Einspeisung müssen mit der swb individuell Verträge ausgehandelt werden (Brinkmann 2012).

Schierenbeck (2012) berichtet von zwei Fällen, in denen größere Bauten neu an das Fernwärmenetz angeschlossen wurden. Im Fall einer Farben- und Lackfabrik in Bremen gelang dies jedoch nur, weil die swb die Kosten für den Fernwärmeanschluss komplett übernahm, wodurch ein kurzfristiger Vorteil bei den Investitionskosten erzielt wurde. Die Fernwärmekosten schienen während der Planung noch höher auszufallen als die Ölkosten, waren aber dann schon kurz nach der Realisierung als niedriger. Auch in einer Seniorenwohnanlage im Bremer Westen gelang der Anschluss. Ein Logistikunternehmen in der Überseestadt erhielt jedoch überhaupt kein Angebot und für ein Hotel in Uninähe erwiesen sich sowohl der Anschlusspreis als auch die Wärmekosten als zu hoch. Letztlich fallen Entscheidungen über gewerbliche Nutzung von Fernwärme in Einzelverhandlungen.

In Osnabrück, Oldenburg, Wilhelmshaven, Delmenhorst und Cuxhaven wie auch in Zeven gibt es kein größeres Wärmenetz, sondern nur einzelne Wärmekunden rund um BHKWs, die teils mit Biogas betrieben werden. So betreibt die EWE einige kleinere Fernwärmegebiete, z.B. in Oldenburg die Wärmegebiete „Krusenbusch“ (ca. 200 Hausübergabestellen), „Gartenstadt Mühlenhof“ (ca. 155 Hausübergabestellen) und ein noch recht neues Gebiet „Alte Stalling“ (ca. 10 Hausübergabestellen). Weiterhin gibt es auch noch in Nordenham

(Bonner Str.), Berne (Schwarzer Weg) und auch in Ganderkesee Heide kleinere Fernwärmegebiete (von Waaden 2012).

Die Fernwärme Nord GmbH in Bremerhaven betreibt als mittelständischer Unternehmen einige kleine und mittlere Netze in Bremen und überregional, die auf Basis klassischer Gas- und Ölkessel beheizt werden.

Die Gemeindewerke Lilienthal GmbH (www.gemeindewerke.de) nordöstlich von Bremen liefern im Netzeinzugsbereich z.B. bei einem Verbrauch zwischen 10.000 und 20.000 kWh/a bei einem Grundpreis von 202,30 €/a und einem Arbeitspreis von 8,45 Cent/kWh an etwa 300 Haushalte Fernwärme.

Als Wärmequelle für Absorptionskälteanlagen sind alle diese Wärmenetze nur eingeschränkt geeignet. Die variablen Vorlauftemperaturen sind im Sommer meist niedriger, was sich auf den besonders dann erforderlichen Betrieb einer Absorptionskälteanlage durch einen schlechten COP auswirkt. Dies erhöht die nötige Anlagengröße und damit die Investitionskosten. Weiter ist, um mit einer Absorptionskälteanlage Kälte wettbewerbsfähig gegenüber einer Kompressionskälteanlage erzeugen zu können, kaum ein Wärmepreis über 1 Cent/kWh bezahlbar⁷. Dies alles deutet darauf hin, dass in jedem Falle der wirtschaftliche Betrieb einer Absorptionskälteanlage in einem Wärmenetz nur auf Basis einer Verhandlungslösung mit dem jeweiligen Netzbetreiber erfolgen kann.

6.2 Abschätzung der Markt- und Energiesparpotenziale

Der zugängliche Markt für Low-Exergy-Kühlösungen scheint, so zeigen die bekannten Fallbeispiele, zum einen bei Neubau und Sanierung von Bürobauten, Hotels und im Einzelhandel zu liegen. Auch Rechenzentren könnten ein interessantes Einsatzfeld sein.

Wichtig ist zum anderen, dass in Bremen 8 Prozent, im niedersächsischen Teil der MPR sogar 10 Prozent, des Stromverbrauchs der Kälteerzeugung dienen (Gabriel und Meyer 2010). Der Bundesdurchschnitt liegt nur bei 4 Prozent. Der Grund hierfür liegt in der hohen Dichte der Lebensmittelverarbeitung, so dass auch diese Branche in den Fokus der Untersuchung kommen muss. Auch im Umfeld der Landwirtschaft sind Anwendungen zu erwarten.

Um das Marktpotenzial für Low-Exergy-Kühlösungen zu ermitteln, ist demnach zunächst der Bestand an Bürogebäuden, Hotels sowie Einzelhandelsflächen zu ermitteln und weiter die Zahl der Rechenzentren in der Metropolregion abzuschätzen. Auch das Potenzial in der Lebensmittelindustrie ist abzuschätzen. Die Abschätzung des Bestandes an Bürogebäuden, Hotels sowie Einzelhandelsflächen folgt dabei der Methodik, die vom DKV (2002) angewendet wurde.

Büro- und Verwaltungsgebäude

Im Bereich der Büro- und Verwaltungsgebäude wurden laut dem Statistischen Bundesamt seit dem Beginn der Erhebungen 1980 bis 1998 70 Mio. m² Nutzfläche neu errichtet (DKV

⁷ Dies ergibt sich aus der Überlegung, dass bei einem Wärme COP von ca. 0,7 dann schon 1,5 Cent pro kWh Kälte für Wärme gezahlt werden müssten. Um die Kälte zur Kompressionskälte mit einem Preis von ca. 5 Cent/kWh wettbewerbsfähig anbieten zu können, erscheint dies schon viel.

2002: 33). Zeidler und Böttcher (1998, zitiert nach DKV 2002) ermitteln die 1980 bestehende klimatisierte Fläche von Büro- und Verwaltungsgebäuden auf ca. 28 bis 38 Mio. m². Der DKV (2002) schätzt den damaligen Anteil klimatisierter Fläche auf ca. 40% und die in 1998 bestehende Gesamtfläche auf ca. 160 Mio. m² und sichert diese Schätzung über einen parallelen Ansatz ab. Er führt Büromarktanalysen für die sechs größten deutschen Städte mit zusammen 8 Millionen Einwohnern an, in denen Flächen von 61 Mio. m² dokumentiert werden. Unter der Annahme, dass in den übrigen deutschen Städten mit einer Einwohnerzahl über 100.000 mit insgesamt ca. 18 Mio. EW eine mit 70% nicht ganz so ausgeprägte Büroimmobilienstruktur besteht ergibt sich eine Gesamtfläche von 150 Mio. m². In den größten Städten wären so pro 1 Mio. EW 7,6 Mio. m². Bürofläche vorhanden, in den kleineren Städten wären es 5,3 Mio. m². Bürofläche pro Mio. EW.

Zur Anwendung auf die Metropolregion sind damit zunächst die größten Städte der Metropolregion zu ermitteln. Mit Blick auf das weitere Wachstum des tertiären Sektors wird die Abschätzung in der Weise weiterentwickelt, dass nunmehr auch in Städten mit 50.000 bis 100.000 Einwohnern von wesentlicher Büro- und Verwaltungsfläche ausgegangen wird, wenn auch nur auf halbem Niveau (also 2,6 m² pro EW) verglichen mit den mittelgroßen Städten. Auf dieser Basis lassen sich folgende Schätzungen durchführen:

Tabelle 6: Abschätzung der Fläche der Büro- und Verwaltungsgebäude

Stadt	Einwohner	Bürofläche in m ² pro Mio. EW	Fläche der Büro- und Verwaltungsgebäude 1998 in Mio. m ²
Bremen	547.000	5,3	2,90
Osnabrück	164.000	5,3	0,87
Oldenburg	162.000	5,3	0,86
Bremerhaven	113.000	5,3	0,60
Wilhelmshaven	81.000	2,6	0,21
Delmenhorst	74.000	2,6	0,19
Cuxhaven	50.000	2,6	0,13
		Summe	5,76

Um diese errechneten Daten zu validieren könnte man am Beispiel Bremen wie folgt nachrechnen. Aus Hamburg ist bekannt, dass bei einem Bestand von ca. 13 Mio. m² Bürofläche in den Jahren seit 2008 ca. 500.000 m² an Neuvermietungen „umgesetzt“ wurden, also etwa 4% des Bestandes (Angermann Research 2011). Überträgt man diesen Prozentsatz auf Bremen, wo in den letzten Jahren zwischen 80.000 m² und 110.000 m² umgesetzt wurden (Wirtschaftsförderung Bremen 2011), dann errechnet sich ein Bestand von ca. 2,5 Mio. m² an Büro- und Verwaltungsfläche. Auch für Osnabrück ist die Übereinstimmung mit der Bestandsangabe der Wirtschaftsförderung Osnabrück (2010) zu 856.801 m² erstaunlich präzise, während sie in Oldenburg (Wirtschaftsförderung Oldenburg 2007) etwas höher liegt als die dort für 2007 angegebenen 832.000 m². Für die kleineren Städte konnten keine einschlägigen Quellen gefunden werden.

Insgesamt dürfte die Schätzung von knapp 6 Mio. m² Büro- und Verwaltungsgebäude die Wirklichkeit in der Metropolregion Bremen Oldenburg einigermaßen wiedergeben. Bei einem Klimatisierungsfaktor von 0,64 (DKV 2002) würde sich daraus eine klimatisierte Fläche von ca. 4 Mio. m² ableiten lassen. Die in den letzten 20 Jahren errichteten Büro- und Verwaltungsgebäude hatten im Mittel eine Nutzfläche von 1.523 m² (Destatis 2012), wodurch sich die Zahl der klimatisierten Objekte auf ca. 2.600 schätzen lässt.

Diese Betrachtungen, die im Wesentlichen den Zustand zur Jahrtausendwende beschreiben, sind zu ergänzen um einige Überlegungen zu den Entwicklungen seit dem Jahr 2000. Die Wirtschaftsförderung Bremen (2011) gibt für die Jahre ab 2007 vergleichsweise konstant (2010 und 2011 jedoch etwas niedriger) eine Bauaktivität von ca. 60.000 m²/a an, für die gesamte Metropolregion kann dieser Wert in Anlehnung an die oben dargestellte Flächenaufteilung etwa auf 120.000 m²/a geschätzt werden. Aus der Entwicklung der Bestandsdaten für Oldenburg (Wirtschaftsförderung Oldenburg 2007) ist zu schließen, dass nur ca. 70% davon in den Netto Zuwachs der Bürofläche eingehen, 30% dagegen über Abgänge kompensiert werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass ca. 500.000 m² der Fläche 2007 oder später errichtet wurde und so den Vorschriften der EnEV 2007 genügen muss. Nach Auskunft von Lohr (2012) sind in dieser Zeit nur noch vergleichsweise wenige Büroimmobilien mit klassischen Klimälösungen mit Kompressionskälte ausgestattet worden. Die klassisch klimatisierte Fläche im Bestand dürfte daher um etwa 10% niedriger liegen als die Bestandswerte, also bei ca. 3,6 Mio. m².

Diese Fläche wird nach der bundesweiten Untersuchung der DKV (2002) zu ca. 1% mit Absorptionskälteanlagen und zu ca. 99% mit Kompressionskälteanlagen klimatisiert. Dies führt bei einem Stromverbrauch für die Kompressionskältemaschinen von ca. 15 kWh/m²*a⁸ zu einem Stromverbrauch von ca. 54GWh/a für die Klimatisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden in der Metropolregion.

Veranschlagt man hier in Anlehnung an die in den Fallbeispielen erreichten Einsparungen pauschal ein Einsparpotenzial durch die intensivere Nutzung von erd- und wassergebundenen Kältepotenzialen von 20 bis 30%, so entspricht dies einem Einsparpotenzial von 10 bis 15 GWh/a.

Bei einer geschätzten Nutzungsdauer einer Klimaanlage von ca. 20 Jahren ist davon auszugehen, dass in der Metropolregion um die 130 Anlagen jährlich neu errichtet oder grundlegend überarbeitet werden.

Hotels

In 2010 gab es knapp 18.000 Hotels in Deutschland. Prozentual nach der Einwohnerzahl umgelegt entfiel ein Anteil von 2,9% oder ca. 520 Hotels auf die Metropolregion. In Anlehnung an den DKV (2002) entfällt auf diese eine Gebäudefläche von 1,36 Mio. m². Die vom DKV (2002) angenommenen spezifischen Flächendaten sind wie folgt:

⁸ Dieser Wert gilt für Bürogebäude, deren Kälteanlage mit einem variablen Volumenstrom arbeitet und für eine durchschnittliche Arbeitszahl der Kältemaschine von 3,25 (DKV 2002: 41).l

Tabelle 7: Spezifischen Flächendaten zur Klimatisierung von Hotels

Spezifische Kühllast in kWh/ m ² * a	188,7
Maximale spezifische Kältearbeit über freie Kühlung mit Außenluft in kWh/ m ² * a	- 103,5
freie Kühlung mit Kühlturm in kWh/ m ² * a	- 13,0
durch Kältemaschinen abzuführende spezifische Kältearbeit in kWh/ m ² * a	= 72,2

Quelle: DKV (2002)

Es ergibt sich eine durch Kältemaschinen jährlich abzuführende Kältearbeit von 98 GWh in der Region. Davon werden nach Verteilung der vom DKV (2002) erfassten Anlagen 0,62% durch Absorptionskältemaschinen und 99,38% durch Kompressionskältemaschinen erbracht. Bei einer durchschnittlichen Arbeitszahl der Anlagen in Hotels von 3,34 führt damit der Betrieb der Kompressionskältemaschinen zu einem Stromverbrauch von 29 GWh/a.

Veranschlagt man hier pauschal ein Einsparpotenzial durch die intensivere Nutzung von erd- und wassergebundenen Kältepotenzialen von 20 bis 30%, so entspricht dies einem Einsparpotenzial von 6 bis 9GWh/a.

Bei einer geschätzten Nutzungsdauer eine Klimaanlage von ca. 20 Jahren ist davon auszugehen, dass in der Metropolregion um die 26 Anlagen jährlich neu errichtet oder grundlegend überarbeitet werden.

Einzelhandel

Der HDE (2006) weist für 2010 eine Prognose von ca. 125 Mil. m² Verkaufsfläche aus. Das statistische Bundesamt (2012) spezifiziert für Bremen 1,37Mil. m² in 4.723 Verkaufsstätten, für Niedersachsen 15,88 Mil. m² in 43.311 Verkaufsstätten. Der rein prozentuale Anteil der MPR (Verhältnis der Einwohner) daran entspricht 21,7% oder 3,45 Mil. m² in 9.400 Verkaufsstätten.

Insgesamt kann also in der MPR von einer Verkaufsfläche im Einzelhandel von 4,82Mil. m² in mehr als 14.000 Verkaufsstätten ausgegangen werden. Der Klimatisierungsanteil im Einzelhandel wird durch den DKV (2002) zu 80% angenommen und wird seit 1999 nicht gesunken sein. Es dürften also ca. 4 Mil. m² klimatisierte Verkaufsfläche in ca. 11.000 Verkaufsstätten vorhanden sein. Die vom DKV (2002) angenommenen spezifischen Flächendaten sind wie folgt:

Tabelle 8: Spezifischen Flächendaten zur Klimatisierung im Einzelhandel

Spezifische Kühllast in kWh/ m ² * a	210,3
Maximale spezifische Kältearbeit über freie Kühlung mit Außenluft in kWh/ m ² * a	- 69,0
freie Kühlung mit Kühlturm in kWh/ m ² * a	- 18,3
durch Kältemaschinen abzuführende spezifische Kältearbeit in kWh/ m ² * a	= 123,0

Quelle: DKV (2002)

Es ergibt sich eine durch Kältemaschinen abzuführende Kältearbeit von 592 GWh. Davon werden nach Verteilung der vom DKV (2002) erfassten Anlagen 1,86% durch Absorptionskältemaschinen und 98,14% durch Kompressionskältemaschinen erbracht. Bei einer durchschnittlichen Arbeitszahl der Anlagen im Einzelhandel von 3,3 führt damit der Betrieb der Kompressionskältemaschinen zu einem Stromverbrauch von 176 GWh/a. Veranschlagt man hier pauschal ein Einsparpotenzial durch die intensivere Nutzung von erd- und wassergebundenen Kältepotenzialen von 20 bis 30%, so entspricht dies einem Einsparpotenzial von 35 bis 50 GWh/a. Bei einer geschätzten Nutzungsdauer einer Klimaanlage von ca. 10 Jahren ist davon auszugehen, dass in der Metropolregion um die 1.100 Anlagen jährlich neu errichtet oder grundlegend überarbeitet werden.

Rechenzentren

Rechenzentren haben das thermische Problem, eine übermäßige Erwärmung der elektronischen Geräte zu vermeiden, die grundsätzlich auf engem Raum konzentriert sind. Zusätzlich zu dem Verbrauch der IT-Geräte (Server, Speicher, Switches) verbrauchen die unabhängige Stromversorgung, die Stromverteilung, die Beleuchtung und die Klimatechnik Strom. Im Durchschnitt ist dieser Stromverbrauch ungefähr doppelt so hoch wie der Verbrauch der IT allein (Fichter et al. 2009).

Abhängig von den Temperaturen im Serverraum können Low-Exergy Lösungen als Effizienztechnologien hilfreich sein. Je höher die Temperaturen der Zu- und Abflüsse der Serverräume, desto höher ist der Anteil, der in freier Kühlung an die Außenluft oder andere Umweltmedien abgegeben werden kann, ohne Kompressionskälteanlagen einsetzen zu müssen. War bisher oft eine Zulufttemperatur von 18°C üblich, die einen Kaltwasservorlauf unter 14°C erforderte und so freie Kühlung nur bis zu einer Außentemperatur von unter 8 - 10°C möglich machte, so reichen für moderne Rechenzentren Zulufttemperaturen um 26°C aus, was freie Kühlung bei Außentemperaturen bis zu 17°C und die adiabate freie Kühlung bis zu 27°C möglich macht. Bei diesem höheren Temperaturniveau kann dabei nicht nur gegen Außenluft frei gekühlt werden, auch Grundwasser, Flusswasser und das Erdreich weisen häufig Temperaturen auf, die eine solche freie Kühlung ermöglichen würden.

Nach einer Erhebung im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hintemann und Fichter 2010) gab es im Jahr 2010 in Deutschland ca. 53.000 Serverräume und Rechenzentren.

Tabelle 9: Rechenzentren und ihre Kennwerte in Deutschland nach Größenklassen

Rechenzentrumstyp	Server-schrank	Server-raum	Kleines Rechen-zentrum	Mittleres Rechenzentrum	Großes Rechen-zentrum
Server	3 bis 10	11 bis 100	101 bis 500	501 bis 5.000	Über 5.000
Anzahl Rechen-zentren	33.000	18.000	1.750	370	50
Anschlussleistung bei PUE=2 in kW	3	12	100	480	5000
Fläche in m ²	5	20	150	600	6000
Verbrauch in MWh/a	26	105	876	4.200	42.000
Stromkosten in €/a bei 15 Cent/kWh	3.900	15.750	131.400	630.000	6,3 Mio. €

Quelle: Berechnung auf Basis von Zahlen von Hintemann und Fichter 2010

Um den Anteil der Rechenzentren zu ermitteln, der in der Metropolregion Bremen Oldenburg liegt, wird wie folgt vorgegangen: Große Rechenzentren liegen grundsätzlich an sogenannten „Internet Backbones“, also leistungsfähigen, europäischen Datenautobahnen. Von solchen Leitungen durch die MPR ist uns nichts bekannt, es dürfte daher keine wirklich großen Rechenzentren in der MPR geben. Alle anderen Rechenzentren stellen dagegen heute einen Bestandteil der grundlegenden Wirtschafts- und Wissenschaftsinfrastruktur dar. Es kann daher plausibel davon ausgegangen werden, dass sie sich mehr oder weniger proportional zu Bevölkerung und Bevölkerungszentren verteilen. Die MPR hat insgesamt 2,73 Mio. Einwohner, davon 547.000 in Bremen (über 500.000 EW) und 439.000 in Städten über 100.000 EW. Unter der Annahme, dass Rechenzentren in Städten über 500.000 EW dreifach und in Städten über 100.000 doppelt konzentriert sind, ergeben sich für die MPR folgende Zahlen von zu erwartenden Serverräumen und Rechenzentren.

Tabelle 10: Abschätzung der Zahl der Rechenzentren in der Metropolregion

Rechen-zentrumstyp	Server-schrank	Server-raum	Kleines Rechen-zentrum	Mittleres Rechenzentrum	Großes Rechen-zentrum
Anzahl Rechenzentren					
in BRD	33.000	18.000	1.750	370	50
in Bremen	451	246	24	5	0
in Osnabrück, Oldenburg und Bremerhaven	236	129	13	3	0
in den anderen Orten der MOB	438	239	23	5	0

Mit Blick auf die jährlichen Stromkosten dürften letztlich aufwendige Low-Exergy Lösungen prioritär eher für Rechenzentren und nicht für Serverräume interessant sein. Damit ergibt sich in der MPR eine Zahl von 50 bis 100 Rechenzentren, für die im Zuge der Umstellung auf moderne IT mit höheren Lufttemperaturen die Low-Exergy Lösungen interessant werden könnten. Bei den Low-Exergy Technologien, die in Rechenzentren zum Einsatz kommen werden, wird es sich zum überwiegenden Teil um Varianten der freien Kühlung handeln. Hier verbreitet sich ohnehin eigendynamisch die freie Kühlung über trockene oder feuchte Kühltürme (Luft). Sowohl im Bereich der freien Kühlung ins Grundwasser (Datadock 2011, Beispiel Radio Bremen in Kapitel 5.1.2) wie auch bei der freien Kühlung mittels eines Erdsondenfeldes (Fichter et al. 2009) gibt es dagegen in Deutschland erst jeweils einige Beispiele. Eingesetzt werden in diesen Technologien folgende Komponenten:

Tabelle 11: Komponenten der Low-Exergy Kühlung von Rechenzentren

Frei Kühlung Luft	Frei Kühlung Grundwasser	Frei Kühlung Erdsonden
IT-Komponenten, die für hohe Zulufttemperaturen von 26°C und höher ausgelegt sind		
Groß dimensionierte Klimageräte, die einen Wärmetausch Luft-Wasser bei niedriger Temperaturdifferenz ermöglichen		
Verrohrung	Wasser-Wasser-Wärmetauscher zum Grundwasserkreislauf	Verrohrung
Pumpen	Verrohrung	Pumpen
Adiabater Hybridkühler	Pumpen	Erdsonden
	Brunnen	

Auf Basis der Optimierung von Kühltechnologien nimmt die Roadmap „Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020“ (BITKOM et al. 2010) einen sich bis 2030 von 2.0 auf 1,7 verbessernden PUE-Wert (Power Usage Effectiveness) an, was eine Steigerung der Energieeffizienz der Kühlung um über 40% erfordern würde. Der Vergleich der COP-Werte einer konventionellen Kompressionskälteanlage mit den COP-Werten der Low-Exergy Technologien lässt jedoch wesentlich höhere Fortschritte möglich erscheinen. Würde daher letztlich in allen vermutlich in der Metropolregion Bremen Oldenburg gelegenen Rechenzentren die Energieeffizienz der Kühlung verdoppelt, so ergäbe sich folgendes Einsparpotenzial:

Tabelle 12: Energieeinsparpotenzial in Rechenzentren der Metropolregion

Rechenzentrumstyp	Kleines Rechenzentrum	Mittleres Rechenzentrum	Großes Rechenzentrum
Anzahl Rechenzentren			
in der MPR	60	13	0
Verbrauch in MWh/a	876	4.200	42.000
Verbrauch aller RZ in MPR in MWh/a	52.560	54.600	0
Potenzial zur Senkung des Verbrauchs in MWh/a	13.000	13.000	

Zusammen ergäbe sich ein Einsparpotenzial von ca. 26 GWh/a an etwa 70 Standorten. Die Zahl der jährlich neu auszustattenden Objekte lässt sich mit Blick auf die hohe Dynamik dieses Sektors nicht schätzen.

Lebensmittelindustrie

Die in Deutschland für Kälte und Klima aufgewandte Energie fließt zu etwa 67% in die Nahrungsmittelkette, zu ca. 22% in die Gebäudeklimatisierung und zu etwa 9% in Industriekälte außerhalb der Nahrungsmittelbranche (DKV 2002). Ganz wesentlich ist daher die Erkenntnis von Gabriel und Meyer (2010: 107f), dass aufgrund der hohen Konzentration der Lebensmittelbranche in der Metropolregion (ca. 4,2% der Beschäftigten arbeiten im Ernährungsgewerbe im Vergleich zu 2% bundesweit) der Anteil des Stroms, der zur Kälteerzeugung aufgewandt wird, bei 8% (Bremen) und sogar bei 10% im niedersächsischen Teil der Metropolregion liegen dürfte.

Weiter ist bekannt, dass es in der Metropolregion ca. 150 Kühlhäuser gibt. Nach einer Liste des Clusters Hafenwirtschaft aus 'nordwest2050' verteilen sie sich wie folgt auf die Orte: 93 in Bremen, 31 in Bremerhaven, 6 in Cuxhaven, 4 in Wilhelmshaven und 18 weitere.

Der DKV (2002) gibt an, dass je nach Nahrungsmittelbereich zwischen 40% (Molkereiprodukte) und 70% (Obst und Backwaren) der Kälte in einem Temperaturbereich um 0°C benötigt wird. Der Rest ist zur Erzielung von Tiefkühl- (-25°C) oder Gefrierbedingungen (-35°C) erforderlich. Bezogen auf die bundesweite Anlagenzahl sind ca. 2.600 von insgesamt 10.880 erfassten Anlagen der „Normalkühlung“ zuzuordnen (ca. 24%), die anderen dem Tiefkühl- oder Gefrierbereich. Aufgrund der relativ kleineren Kältemenge, die die Normalkühlung zu liefern, hat, ist aber zum Betrieb der Anlagen der Normalkühlung nur etwa 21% der Gesamtstromaufnahme aller Kälteanlagen der Nahrungsmittelindustrie erforderlich.

Weiter ist aber zu beachten, dass auch die Kühltechnik für Tiefkühl- oder Gefrierbedingungen in einzelnen Fällen 2-stufig ausgeführt sein kann. Die erste Kühlstufe liefert dann einen Wasserstrom von etwa 5°C, der seinerseits das Rückkühlmedium des zweiten Kühlreislaufes darstellt. In solchen Fällen wäre die erste Kühlstufe mit Absorptionskältetechnik darstellbar.

Mit Blick auf die einsetzbaren Low-Exergy Technologien ergibt sich mit diesen dürftigen Informationen dennoch ein relativ klares Bild.

- Freie Kühlung ist nur bei Zieltemperaturen über 15°C zu einem wesentlichen Anteil im Jahr möglich. Mit der Anforderung, mindestens 0°C bereitzustellen, entfällt diese Möglichkeit komplett. Dies gilt für sämtliche Umgebungsmedien, also Luft, Wasser und Boden.
- Rückkühlung der Kühlanlagen mit Fluss- oder Brunnenwasser ist dagegen grundsätzlich überall dort möglich, wo eine hinreichende Wassermenge zur Verfügung steht. Es ist dann zwar weiterhin eine Kältemaschine erforderlich, der COP steigt aber im Sommer u.U. deutlich an.
- Der Einsatz von Ab- und Adsorptionskälteanlagen ist überall dort möglich, wo Kälte in einem Temperaturbereich um 0°C benötigt wird, d.h. insgesamt etwa in 24% der Kälteanlagen (DKV 2002), sowie dort, wo eine zweistufige Tiefkühlung oder Gefrierkälteerzeugung erfolgt. Nach Aussage von Meyer (2012) sind dies aber nur wenige Fälle.

Für Kälte oberhalb von 6 Grad Celsius kommen hierfür Absorptionskältemaschinen mit dem Betriebsmittel Wasser/ Lithiumbromid in Frage. Peetz (2007) sieht sogar bis zu einer Zieltemperatur von -10°C die Möglichkeit zum Einsatz von Absorptionskältemaschinen, wenn diese mit dem Kältemittel Ammoniak(NH₃)-Wasser arbeiten und führt Einsatzmöglichkeiten in der Lebensmittelindustrie, in Brauereien und Molkereien auf.

Tabelle 13: Potenzielle Anwendungsfelder von Absorptionskältemaschinen in der Industriekälte

Anwendungen	Anzahl der Kälteanlagen	Nutzbereiche to [°C]				
		+ 6°C	0 °C	-10 °C	-30 °C	- 50 °C
Lebensmittelindustrie	15.000	X	X	X	X	X
Brauereien	1.200			X		
Molkereien	250		X	X		
Kunststoffindustrie	6.200	X				
Metallindustrie	2.000	X				
Chemie	1.700	X	X	X	X	X
Logistikzentren, Lager	200	X	X	X	X	

Einsatzbereich von Wasser-LiBr-
AKA

Einsatzbereich von NH₃-Wasser AKA
in Verbindung mit KWK

Quelle: Peetz 2007 nach ILK Dresden

Der Einsatz von Absorptionskälteanlagen wäre also in der Lebensmittelbranche vermutlich vielfach möglich, wenn überschüssige Wärme über 90°C (besser über 100 °C) verfügbar wäre. Da aber die meisten Lebensmittelbetriebe für Reinigungs- und Verarbeitungsprozesse auch Wärme benötigen, steht solche Abwärme vermutlich nicht allzu häufig zur Verfügung.

Mit Blick auf die Erschließung solcher Potenziale ist zu vermuten, dass der „Industrial Symbiosis“ Ansatz helfen könnte. Gefordert wäre, Wärme verbrauchende Unternehmen in der direkten Nachbarschaft von Unternehmen mit Wärmeüberschuss anzusiedeln. Wirtschaftliche Einsatzpotenziale können sich dort ergeben, wo mindestens 3.000 Volllaststunden jährlich gegeben sind (Schicktanz et al. 2011).

Die Substitution von Kompressionskälteanlagen durch Absorptionskälteanlagen ist in der Metropolregion theoretisch bei ca. 24% der Anlagen möglich, die etwa 21% des Stromverbrauchs repräsentieren. Dies entspricht einer Strommenge von ca. 300 GWh, von denen wiederum etwa 50% oder 150 GWh eingespart werden könnten. Diese Einsparungen wären zu erschließen, wenn Abwärme zum Antrieb der Absorptionskälteanlagen zur Verfügung stände. In beiden Fällen, in denen jedoch mit Vertretern der Lebensmittelindustrie gesprochen wurde, stellte sich heraus, dass Abwärme im Bereich von mindestens 90°C, wie sie zum Antrieb einer AKM geeignet ist, wäre sie denn überhaupt vorhanden, in anderen Prozessen eingesetzt würde, die ihrerseits Wärmebenötigen (Neuschl 2011, Lütvogt 2011). Mit Blick auf diese Randbedingung erscheint die Realisierung des o.a. Einsparpotenzials von 150 GWh/a nur dann erreichbar, wenn die Nahrungsmittelbranche mit Abwärme reichlich versehen wäre. Ein solcher Zustand ließe sich aber wohl nur sehr langfristig mit dem „Industrial Symbiosis“ Ansatz erreichen, wenn Betriebe mit einem Bedarf an Kälte nach und nach in die Nachbarschaft von Unternehmen mit Wärmeüberschuss verlagert würden. Auch hier wieder ergäbe sich eine eher raumplanerische Aufgabe. Kurz- oder Mittelfristig ist daher davon auszugehen, dass von dem erwähnten Potenzial von 150 GWh/a bestenfalls 10% wirklich erschlossen werden könnten. Durch das Aufsplitten auf angepasste Temperaturniveaus und Einbindung freier Kühlung können u.U. weitere Potenziale erschlossen werden.

Letztlich ergäbe sich so ein Einsparpotenzial von ca. 45GWh/a an vermutlich einigen hundert Standorten. Hinzu käme ein weiteres Potenzial, das sich ergibt, falls auch anteilig der Kühlbedarf unterhalb von 0°C durch wärmegetriebene Kühlanlagen gedeckt werden könnte.

Zusammenfassung

Zusammengefasst ergeben sich in den untersuchten Kategorien von Kälteanwendern folgende Kenndaten und Einsparpotenziale:

Tabelle 14: Einsparpotenziale durch Low-Exergy Kühltechnologien in der Metropolregion

Kälteanwender	Anzahl	Anzahl jährlich neu zu errichtender Anlagen	Stromverbrauch für Kälteerzeugung in GWh	Anteiliges Einsparpotenzial in %	Mögliche Alternativtechnologien	Einsparpotenzial in GWh
Büro- und Verwaltungsgebäude	Ca. 2.600	130	54	20 bis 30	Erdsonden, Rückkühlung über Wasser	10 bis 15
Hotels	520	26	29	20 bis 30	Erdsonden, Rückkühlung über Wasser	6 bis 9
Einzelhandel	11.000	1.100	176	20 bis 30	Erdsonden, Rückkühlung über Wasser	35 bis 50
Kleine und mittlere Rechenzentren	75	?	50	25	Erdsonden, Rückkühlung über Wasser	25
Lebensmittelherstellung (Normalkälte)	einige Hundert	einige Dutzend	300	15	Absorptionskälte, Rückkühlung über Wasser	45

Es ergibt sich eine weitere Fokussierung der Arbeiten auf den Einzelhandel, Rechenzentren, Büro- und Verwaltungsgebäude sowie die Lebensmittelverarbeitung. Innerhalb des Einzelhandels wird es nötig sein, etwaige Bemühungen auf große und größte Objekte zu konzentrieren, da sonst die Zahl der Objekte zu hoch ist. In der Gruppe der Rechenzentren ist die Zahl der Objekte ohnehin klein. Das Einsparpotenzial insgesamt kann auf ca. 121 GWh/a bis 144 GWh/a veranschlagt werden.

6.3 Akteure im Kältetechnikmarkt

Zu einer Innovationspotenzialanalyse gehört neben der Technologiebeschreibung und der Beschreibung der physikalischen Potenziale vor allem eine Beschreibung der Akteure im

Innovationssystem (Fichter und Hintemann 2010), hier also speziell die Akteure im Kältetechnikmarkt.

Die folgende Graphik soll die Hauptakteure im Markt darstellen, wobei es zwischen diesen etliche Verflechtungen und Interaktionen gibt. Die Grenzen sind nicht als diskret zu betrachten, sondern oft ineinander überfließend.

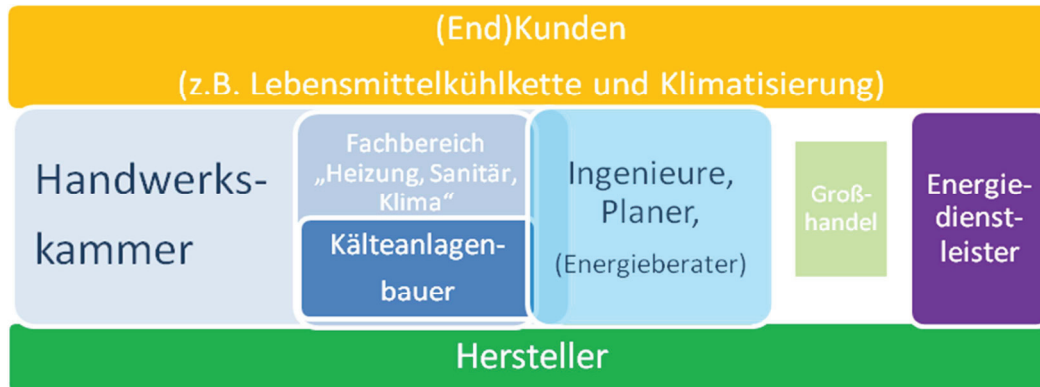


Abbildung 21: Hauptakteure im Klima- und Kältetechnikmarkt

Quelle: Schröder 2008

6.3.1 Hersteller

Hersteller von Kältemaschinen sind York (Johnson Controls Systems and Service GmbH) in Mannheim, Yazaki Europe Limited, Köln, und die Carrier GmbH & Co.KG, die verschiedene Arten von Kältemaschinen produzieren, sowohl Kompressions- als auch teilweise Ad- oder Absorptionsmaschinen. Spezialhersteller wie die EAW fokussieren auf Absorptionskälteanlagen. Diese Hersteller kommen alle nicht aus der Metropolregion, beliefern diese jedoch. Nur die Firma Kreuzträger stellt Kälteanlagen für spezielle Einsatzfälle in der MPR her. Ein Überblick der Hersteller alternativer Kältemaschinen (Ab- und Adsorption sowie Sorption) findet sich in Abschnitt 0.

6.3.2 Planer und Handwerk

Die Distribution ist aus Sicht von York (Gehring 2008) so aufgebaut, dass als nächstes Kettenglied Fachplaner oder Stadtwerke folgen, dann die Anlagenbauer (Handwerker der Kälte- und Klimatechnik), gefolgt von den Endkunden. Bei Carrier kommen laut Grübler (2008) die Hauptanfragen von Seiten des Großhandels und der Planer. Allerdings werden einige Projekte auch direkt mit den Endkunden realisiert, vor allem wenn es sich um komplexe, individuelle Anlagen handelt. In jedem Fall erfolgt die Installation der Anlagen durch das Handwerk.

Die Metropolregion Bremen-Oldenburg reicht in die Handwerkskammern Oldenburg, Bremen, Hannover und Lüneburg-Stade hinein (HWK 2008). Der Kältetechnikmarkt wird dabei im Wesentlichen durch das Gewerbe der „Kälteanlagenbauer“ bedient. Wenn es jedoch um reine Umwälzpumpen mit Betonkernaktivierung geht, so ist eher das Gewerbe der „Installateure und Heizungsbauer“ betroffen, die auch für Rohrsysteme der Kühlung mit

Brunnenwasser oder zum Transport von Erdwärme oder –kälte zuständig sind. Diese Strukturen des Handwerks sind im Großteil Deutschlands historisch gewachsen und identisch. In der Metropolregion existiert die „Kälteanlagenbauer-Innung Bremen-Oldenburg“ mit Sitz in Westerstede, deren Tätigkeit aber nicht die gesamte Metropolregion umfasst. Diese Innung ist Mitglied des Bundesinnungsverbandes des Kälteanlagenbauerhandwerks (BIV) und vertritt derzeit 49 Betriebe (HWK 2012).

Neben der Handwerksinnung sind einige Fachbetriebe für Klima und Kältetechnik im Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V. organisiert. Aus der Reihe der 76 Fördermitglieder des Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V.(VDKF) fand sich Anfang 2012 eins in der MPR und eins im Landkreis Steinfurth. Mit der Fachbetriebssuche auf der Website des VDKF (2012) lassen sich in den Postleitzahlbereichen 26, 27, 28 und 49 ca. 40 Fachbetriebe innerhalb der MPR identifizieren. Umfrage-Daten aus dem VDKF-Geschäftsbericht ergeben für Niedersachsen folgende Tätigkeiten, wobei diese Werte im Bundestrend liegen (VDKF 2007a, VDKF 2007b).

Tabelle 15: Tätigkeiten der Kälte- und Klimatechniker in Niedersachsen

Tätigkeiten der Kälte- und Klimatechniker in Niedersachsen	
<i>Nach Technik:</i>	
Klimatechnik	87%
Gewerbekälte	80%
Industriekälte	67%
Lüftung	54%
Wärmepumpen	47%
<i>Nach Tätigkeit:</i>	
Handwerk	93%
Service und Wartung	93%
Handel	27%
Hersteller	20%
Ingenieurbüro	13%

Quelle: Schröder 2008 auf Basis von VDKF 2007a:2

Gut 13 Prozent der befragten Handwerksunternehmen in Niedersachsen führen also auch Tätigkeiten eines Ingenieurbüros durch, wobei auch in über 60 Prozent der befragten Betriebe ausgebildete Ingenieure tätig sind (VDKF 2007a und 2007b, S. 2 ff.). Darüber hinaus gibt es noch spezielle Ingenieur- und Planungsbüros. Bohse (2008), Sachverständiger und Inhaber eines Planungsbüros, wies allerdings darauf hin, dass es kaum Planer wie ihn in der Region gäbe, und hauptsächlich die Planung durch Hersteller mit ihren eigenen Planungsabteilungen oder den Großkunden mit ihren eigenen Ingenieursabteilungen gestalten würde. Dies war auch bei den durch Schröder (2008) untersuchten Praxisfällen bei der Bunting AG (Meyer 2008) oder Nordmilch AG (Schmieder 2008) der Fall. Nur ein geringer Anteil der Kälteanlagenbauer würde nach Brunkes Einschätzung (2008) die Planung komplett selbsttätig durchführen.

Die Energieberatung im Kälte- und Klimakontext wird vor allem von Ingenieuren und Planern übernommen. Explizite Energieberater – besonders für den Klima- und Kältetechnikbereich – waren Wagner (2008) in der Metropolregion noch nicht bekannt. Auch eine Anfrage bei der Verbraucherzentrale in Oldenburg bzgl. dieses Themas ergab, dass die „normalen“ Energieberater sich nicht explizit mit der Klima- und Kältetechnik befassen. Laut Widera (2008) traue sich kaum ein Energieberater an diese Thematik heran, da die neue DIN 18599 (2012) so umfangreich sei. Energieberater können damit sowohl Handwerker als auch Ingenieure sein.

Als überbetriebliche Beratungsinstitution ist der Bremer Energiekonsens zu nennen. Ansprechpartner sind Michael Pelzl im Büro Bremen und Heinfried Becker im Büro Bremerhaven. Der Energiekonsens verfügt über ein Netzwerk von 65 Energieexperten (www.energie-experten.net), zu denen teils Berater und Architekten, teils Handwerker verschiedener Gewerke zählen. Diese beschäftigen sich zu einem kleinen Teil auch mit Lüftungs- und Klimatechnik.

Auf interkommunaler Ebene ist noch das Energienetzwerk Nordwest zu nennen, ein Zusammenschluss von kommunalen Energie- und Klimaschutzbeauftragten, die für die Diskussion kommunaler Projekte und Strategien einen zentralen Austauschort darstellen (www.energienetzwerk-nordwest.de).

6.3.3 Kunden

Als mengenmäßig größte Akteursgruppe sind die Kälte- und Klimakunden zu nennen. Hierzu gehören die schon erwähnten Großkunden, die über eigene Techniker und Ingenieure verfügen, wozu vor allem die Industrie, große Einzelhandelsketten und auch Schlachthöfe, zählen. Zum Bereich der kleineren Gewerbekunden können Unternehmen mit kleinen Serverräumen, Hotels, Bäckereien oder auch Blumenläden gezählt werden. Insgesamt kann die Zahl der Kälte- und Klimakunden in der Metropolregion Bremen Oldenburg auf mindestens 15.000 geschätzt werden, wobei sich allein etwa 11.000 Einzelhandelsgeschäfte in dieser Gruppe befinden (vgl. Abschnitt 0).

Als besondere Akteure sind die Pioniere der Kältetechnik zu nennen. Zumindest auf einige dieser Pioniere ist das Projekt bisher gestoßen. Hierzu zählt zum Beispiel das Unternehmen D. Meyer Kältetechnik, welches die Absorptionskälteanlage auf dem Hof Siemering (Putenstallkühlung) realisiert hat. Das Unternehmen Consultix aus Bremen will ein ganzjährig frei gekühltes Rechenzentrum in Bremen Westend errichten, und muss daher auch zu diesen Pionierakteuren gezählt werden. Eine Reihe von Unternehmen betreiben bereits sehr effiziente Kälteanlagen. So kühlen Radio Bremen und Siedentopf, die Betreiber des Bürogebäudes „Weser Tower“, nicht mit Kompressionskälte, sondern mit Brunnenwasser aus dem Uferbereich der Weser. Die Eisfabrik Bremerhaven nutzt Flusswasser zur Rückkühlung der Kälteanlagen zur Eisproduktion. In diese Gruppe gehört auch das Beratungsbüro Erecon in Bremen, das sich u.a. auf den Betrieb von Rechenzentren bei hohen Temperaturen spezialisiert hat, was die Möglichkeit der Nutzung freier Kühlung verbessert.

6.3.4 Forschungseinrichtungen

Die Liste der Forschungseinrichtungen der Kälte- und Klimatechnik in Deutschland auf der Homepage des Kälte- und Klimatechnischen Vereins e.V. (DKV2012) umfasst 37 Forschungseinrichtungen. Keine davon liegt in der Metropolregion Bremen Oldenburg. Der Forschungsrat Kältetechnik (2012) hat 27 Mitglieder. Keines davon repräsentiert die Metropolregion Bremen Oldenburg. Auch dem in Hannover angesiedelten Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen e.V. (Rüssmann 21012) sind keine Forschungsaktivitäten der Kältetechnik im Raum Bremen Oldenburg bekannt. Eine einschlägige Forschung in der Metropolregion findet offenbar nicht statt.

6.3.5 Leitakteure der klimaangepassten Kältetechnik

Mit Blick auf die Tatsache, dass weder einschlägige Hersteller noch Forschungseinrichtungen in der MPR vertreten sind, stellen Handwerksbetriebe, Ingenieurbüros, Energieberatungs-Intermediäre und letztendlich die Kunden selbst das Milieu dar, in dem sich innovative Lösungen entwickeln und verbreiten können. Auf dies Milieu soll im folgenden Kapitel nochmals ein Blick aus wissenschaftlicher Perspektive geworfen werden.

Die Leitakteure des Milieus sind zum einen die interessierten und hinsichtlich alternativer Lösungen besonders aktiven Handwerksunternehmen und Ingenieurbüros. Weiter gehört zu den Leitakteuren auch der Energiekonsens, der aufgrund seiner Informations- und Netzwerkfunktion eine besonders Rolle und Bedeutung hat.

7. Bewertung des Innovationspotenzials

7.1 Regionale Innovationssysteme

Für die Bewertung des Innovationspotenzials in der Kälte- und Klimabranche in der Metropolregion Bremen Oldenburg soll eine Kombination aus dem „Schildkrötenmodell“ (Fichter 2005: 132) und dem Ansatz des kreativen Milieus (Aydalot 1986 und andere) gewählt werden. Dabei repräsentiert das „kreative Milieu“ innerhalb der Metropolregion das Innere der Schildkröte, die im Wesentlichen aus dem nationalen und internationalen Kontext stammenden externen Einflüsse finden sich im äußeren Bereich wieder.

Das „Schildkrötenmodell“

Aufbauend auf das von Fichter (2005, 132) in Anlehnung an Ahrens et al. (2002, 15) entwickelte „Schildkrötenmodell“⁹ lassen sich die maßgeblichen externen Impulse und Einflüsse des Innovationsgeschehens mit Hilfe der folgenden sechs Konstrukte beschreiben.

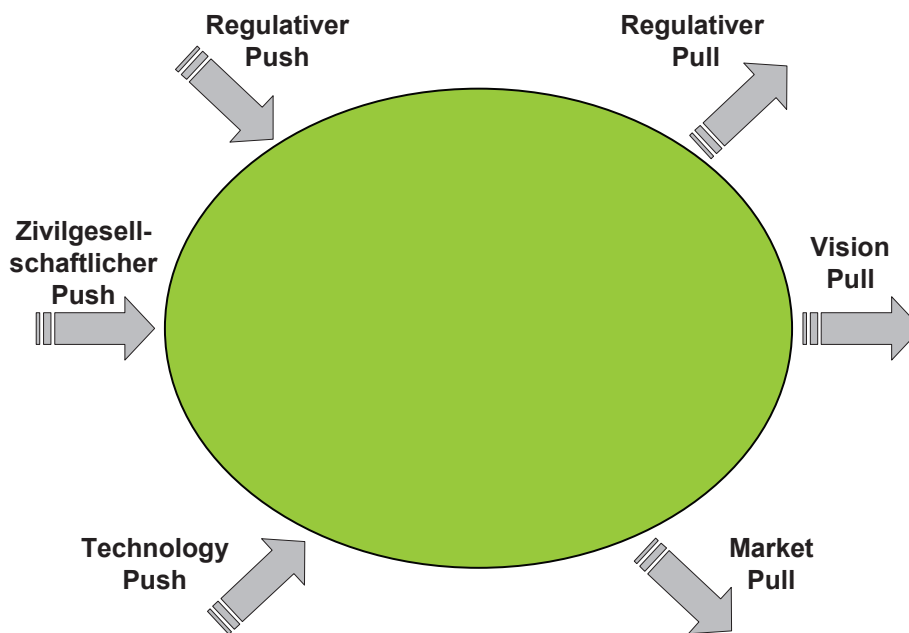


Abbildung 22: Konstrukte externer Einflussfaktoren von Nachhaltigkeitsinnovationen

Quelle: Fichter (2005a)

Technology Push: Zu den zentralen Treibern im Innovationsgeschehen zählen Basisinnovationen (Pleschak/Sabisch 1996, 4). Durch die Anwendung von Schrittmacher- und Schlüsseltechnologien wie z. B. der Mikroelektronik, Lasertechnik oder Biotechnologie lassen sich neue Wirkprinzipien und Anwendungsmöglichkeiten in verschiedenen Branchen nutzen. Diese lösen im Innovationswettbewerb einen technologischen Veränderungsschub aus. Zu wichtigen Innovationen der Kälte- und Klimatechnik gehören in den letzten 30 Jahren

⁹ Die Bezeichnung „Schildkrötenmodell“ entstand aus der Tatsache, dass die entwickelte Darstellung von Akteurssystem (ovaler Körper) und Einflussfaktoren (Kopf, Beine, Schwanz) einer von oben betrachteten Schildkröte ähnelt.

die Nutzung von Erdsondenfeldern durch oberflächennahe Geothermie sowie die kleinen Absorptionskältemaschinen.

Auch der **zivilgesellschaftliche Push** kann in bestimmten Branchen und Situationen eine bedeutende Rolle bei der Initiierung und Durchsetzung von Nachhaltigkeitsinnovationen spielen. Umwelt-, Menschenrechts- oder Verbraucherschutzorganisationen, aber auch wissenschaftliche Einrichtungen, können im Zusammenspiel mit den Medien durch eine öffentliche Skandalisierung von Stoffen, Verfahren oder Produkten enormen Einfluss auf das Innovationsgeschehen nehmen. Die Eigendynamik des Klimaschutzes, und neuerdings auch der Klimaanpassung, wirken sich auf vielen Wegen auf die Kälte- und Klimatechnik aus.

Unter **regulativem Push** werden hier alle staatlichen und suprastaatlichen Regelungen gefasst, die einen Veränderungsdruck auf die Akteure einer Wertschöpfungskette ausüben. Der Druck kann dabei sowohl durch die politische Debatte, die Ankündigung von Regelungen als auch durch das tatsächliche Verabschieden und In-Kraft-Treten entsprechender Gesetze, Verordnungen oder Richtlinien entstehen. Auf die zentrale Bedeutung vor-regulativer Signale weisen insbesondere Ahrens et al. (2003, 6) hin. Klemmer/Lehr/Löbke (1999, 81) unterstreichen, dass das Ordnungsrecht seine wesentliche Wirkung über Ankündigungseffekte entfaltet. Im Kälte- und Klimabereich ist besonders die Energieeinspar-VO als regulativer Push zu sehen.

Unter dem Begriff **regulativer Pull** werden zwei Arten staatlicher Anreize für Neuerungen zusammengefasst. Zum einen sind dies gesetzliche Regelungen, die keinen direkten, sondern eher einen indirekten Veränderungsanreiz schaffen. So können gesetzliche Regelungen zum anlagen- oder arbeitsplatzbezogenen Umwelt- und Gesundheitsschutz z.B. indirekt Gefahrstoffsubstitutionen auslösen. Zum anderen fallen darunter alle staatlichen Förder- und Forschungsprogramme, die einen Anreiz für die Marktakteure zur Entwicklung oder Einführung neuer umweltschonender Technologien oder Produktnutzungen schaffen. Ein Beispiel hierfür ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz, welches in seinen letzten Fassungen einen auskömmlichen Einspeisebonus nur bei Wärmenutzung bietet und so indirekt einen Anreiz zur Wärme- Kälte Wandlung liefert. Auch die Förderung der Forschung und Entwicklung zur Klimaanpassung fällt in diese Kategorie.

Unter dem Begriff des **Vision Pull** werden hier unternehmensübergreifende Visionen, Leitbilder, Szenarien, Strategien oder Handlungsgrundsätze zusammengefasst, die die Akteure in der Wertschöpfungskette zu Innovationsinitiativen stimulieren oder die Ausrichtung des Innovationsgeschehens maßgeblich beeinflussen. Die im Rahmen des Projektes geförderten Leuchtturmprojekte innovativer Unternehmer aus dem Bereich „Low Exergy Solutions“ und das Leitbild einer resilienten regionalen Energieversorgung (siehe Stührmann et al. 2012) stellen Beispiele für Vision Pull dar. Für die Kühlung von Rechenzentren stellt das Branchenleitbild einer Green IT einen zusätzlichen solchen Pull-Faktor dar.

Unter dem Begriff des **Market Pull** können alle Nachfrageveränderungen zusammengefasst werden, die ein Unternehmen zu Innovationsbemühungen veranlassen. Dazu zählen z. B. der Rückgang der Nachfrage für ein bestimmtes Produkt, ein sich verschärfender Kostenwettbewerb mit sinkenden Gewinnmargen oder die Veränderung umwelt- und gesundheitsbezogener Kundenanforderungen. Zumindes im Bereich der Büro- und Verwaltungsgebäude kann von einer aktiven Nachfrage nach innovativen Wärme- und

Kältelösungen gesprochen werden, wie sie sich z.Zt. in einer wachsenden Zahl von Erdsondenfeldern niederschlagen. Im Bereich von IT-Dienstleistungen werden auch von Kundenseite vermehrt klimafreundliche Produkte nachgefragt.

Bei dem skizzierten Modell unternehmensexterner Einflussfaktoren wird der Multi-Impuls-Hypothese gefolgt. Diese besagt, dass Innovationen nicht einzelnen, sondern immer mehreren Einflussfaktoren unterliegen. Die Multi-Impuls-Hypothese konnte durch die bisherigen Studien durchgehend bestätigt werden (Fichter 2005a: 129). Dabei hat sich auch erwiesen, dass die Impulse je nach Sektor oder Branche durchaus unterschiedlich sein können. Damit lässt sich keine Impuls-Kombination isolieren, die auf alle Anwendungsfälle übertragbar ist.

7.2 Der Ansatz des kreativen Milieus

Der Milieu-Ansatz stellt einen territorialen Innovationsansatz dar, der den Zusammenhang von unternehmerischem Innovationsverhalten und regionalem Umfeld untersucht. Speziell interessiert die Bedeutung der sozialen Beziehungen zwischen den Akteuren aus Wirtschaft, Politik, Forschung und Entwicklung in geographisch überschaubaren Räumen für unternehmerisches Innovationsverhalten.

Im Wesentlichen geht das Konzept des kreativer Milieus zurück auf die „Groupe de Recherche Européenne les MilieuxInnovateurs“ (GREMI), eine seit 1984 bestehende Zusammenarbeit von überwiegend frankophonen Regionalökonomien. Kernfrage ihrer Forschung war die Suche nach den Ursachen für die unterschiedliche Innovationsfähigkeit von verschiedenen Wirtschaftsräumen. Im deutschsprachigen Raum hat man sich bis ca. Mitte der 90er Jahre kaum mit dem Milieu-Ansatz beschäftigt (Fromhold-Eisebith 1995: 30f.). Seitdem diskutieren insbesondere Wirtschaftsgeografen und Regionalökonomien das Konzept kreativer Milieus (vgl. Grotz/Schätzl 2002; Dybe/Kujath 2000; Fritsch et.al. 1998; Camagni 1991).

Innovationen und innovative Unternehmen werden im Ansatz des kreativen Milieus verstanden als Resultat kollektiver Synergie- und Lernprozesse verschiedener Akteure in einer Region, die in ein synergieerzeugendes Beziehungsgeflecht eingebunden sind. Dieses synergieerzeugende Beziehungsgeflecht ist das (kreative) Milieu.

Dieses Milieu (Beziehungsgeflecht) ist insbesondere geprägt durch informelle und soziale Beziehungen, durch ein regionales Gemeinschaftsgefühl und einen mentalen Zusammenhalt (im Sinne einer socialembeddedness, Granovetter 1991), der auf gemeinsamen Wertvorstellungen und Verhaltensnormen basiert. Dieses „Milieu-Bewusstsein“ (vgl. Fromhold-Eisebith 1995) beruht auf gemeinsamen kulturellen Wurzeln und einem gemeinsamen Entwicklungs- und Erfahrungshintergrund der regionalen Akteure (vgl. Camagni 1991).

Die Interaktionen in diesem Beziehungsgeflecht sind geprägt von Kooperation, Partnerschaft und Informationsaustausch. Die informellen Beziehungen beruhen auf sozialen Bindungen in bestimmten (regionalen) Netzwerken, wie beispielsweise die Mitgliedschaft regionaler Akteure (Unternehmen, Politiker etc.) in Fachverbänden, Vereinen, Industrie- und Wissenschaftsclubs etc. und können ein wichtiger Ausgangspunkt auch für geschäftliche Beziehungen sein (vgl. Obermaier 1999:14). So erleichtern diese informellen und sozialen Beziehungen verbunden mit der regionalen Nähe und damit der Möglichkeit häufigerer Face-to-Face-

Kontakte im Milieu einen intensiveren Informationsaustausch, geschäftliche Kontaktabbau und kollektive Lernprozesse. Durch diesen intensiven Informationsaustausch wiederum können Innovationspotenziale schneller erkannt und genutzt sowie Unsicherheiten im Hinblick auf Veränderungen der Umweltbedingungen reduziert werden.

Die kollektiven Lernprozesse im Milieu werden nicht nur durch den meist informellen Informationsaustausch zwischen den Akteuren begünstigt, sondern auch durch die Mobilität von Arbeitskräften zwischen den Unternehmen sowie Lieferverflechtungen. So kann erworbenes Wissen auf andere Akteure im Milieu übertragen bzw. für diese nutzbar gemacht werden. Gemeinsame Wert- und Moralvorstellungen stellen dabei sicher, dass einzelne Unternehmen das vorhandene Wissenspotenzial innerhalb des Milieus nicht zu Lasten anderer Akteure ausnutzen, ohne selbst einen Beitrag zu leisten.

Wie aber wird das Milieu zum innovativen Milieu? Ein Milieu, verstanden als regionales Beziehungsgefüge im oben erläuterten Sinne kann durch seine Eigenschaften und die Vernetzung (die sozialen und informellen Beziehungen) der verschiedenen Akteure Kreativität und Innovativität zwischen den Akteuren in der Region anregen bzw. fördern. Hierfür wichtig sind das kreative Potenzial durch die räumliche Akteurs-Konzentration, schnellere Informationsflüsse und Wissenstransfer durch das (informelle) Beziehungsgeflecht, das Gemeinschaftsgefühl und die kollektive Lernfähigkeit. Dies zusammen kann die regionale Innovationsfähigkeit und –tätigkeit steigern und damit auch ihre strukturelle Anpassungs- und Wettbewerbsfähigkeit verbessern (vgl. Obermaier 1999: 15). Den im Milieu bestehenden Beziehungen kann auch eine Art „Stand-by-Charakter“ (Fromhold-Eisebith 1999: 170) zugeschrieben werden, die bei Bedarf aktiviert werden können für eine geschäftliche Zusammenarbeit oder für gemeinsame Innovationsprozesse, wodurch sich das Milieu zum kreativen Milieu entwickelt. „Ein „Milieu“ und ein „innovatives Milieu“ unterscheiden sich damit nicht in den grundlegenden Voraussetzungen, wohl aber in eintretenden regionalen Wirkungen.“ (Fromhold-Eisebith 1995: 32). D.h., dass kreative Milieus tatsächlich Innovationen hervorbringen bzw. positive regionale Entwicklungen als Ergebnis ihrer Kreativität bewirken.

7.3 Das Innovationssystem Kälte- und Klimatechnik in der Metropolregion

Sieht man die Akteure innerhalb der Metropolregion als „Milieu“, so wäre dies Milieu in der Mitte der Schildkröte zu platzieren. Neben den drei „klassischen“ Elementen der Branche, Handwerk, Planungs- und Ingenieurbüros sowie Kammern und Verbände, sind mit Blick auf die Innovativität des Milieus drei weitere Akteure von hoher Bedeutung:

- Institutionen der Energieberatung wie der Bremer Energiekonsens,
- Visionäre Unternehmer und von ihnen realisierte Leuchtturmprojekte,
- Akteure der Regionalplanung, wie zum Beispiel das Energienetzwerk Nordwest.

Letztere sind deswegen von Bedeutung, weil in ihnen das Potenzial zu sehen ist, die bisher dominierende Raumunabhängigkeit von Wärme- und Kältelösungen mit einer Raumbindung zu versehen. Dieser Gedanke schlägt sich z.B. im Abwärmeatlas Sachsen (Sächsische Energieagentur 2012) oder in den Energiepotenzialkarten in den Niederlanden (v. d. Dobbeltstein et al. 2011) nieder. Akteure der Raumplanung sollten daher im weiteren Projektverlauf gezielt hinzugezogen werden.

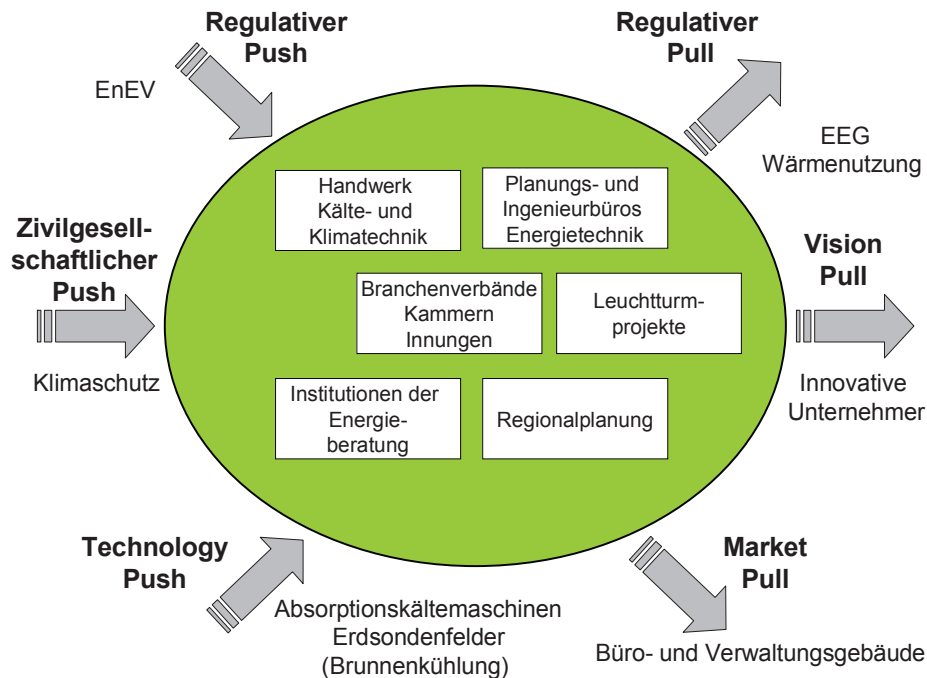


Abbildung 23: Gefülltes Schildkrötenmodell Innovationssystem Kälte- und Klima für die Metropolregion Bremen Oldenburg

Quelle: eigene nach Fichter (2005a)

Mit Blick auf überregionale (äußere) Einflüsse scheinen einige Einflüsse besondere Bedeutung zu haben:

- Die Verfügbarkeit von Absorptionskälteanlagen sowie die Technologie der Erdsondenfelder.
- Der regulative Push und Pull, wie er beispielhaft in EnEV und EEG zum Ausdruck kommt.

Durch die EnEV 2009 ergeben sich einige Anforderungen an Kälte- und Klimatechnik. Die Dena (2008) fasst diese wie folgt zusammen:

„Energetische Inspektion von Klimaanlage: Die bereits in der EnEV 2007 vorgeschriebene energetische Inspektion von Klimaanlage soll zukünftig von einer nach Landesrecht zuständigen Behörde geprüft werden können. Diese kann die Vorlage einer von der inspizierenden Person ausgestellten Bescheinigung verlangen. Wann und in welcher Form eine solche Prüfung durchgeführt wird, bleibt den Bundesländern überlassen.

Klimaanlagen und sonstige Anlagen der Raumluftechnik: Für größere Klima- und Lüftungsanlagen, die auch zur Luftbefeuchtung oder Luftentfeuchtung bestimmt sind, gilt nun auch eine Pflicht zur Nachrüstung von elektronischen Steuerungseinrichtungen, die den Sollwert für Befeuchtung und Entfeuchtung getrennt regeln können. Für den erstmaligen Einbau und beim Ersatz von Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen wird eine maßvolle Dämmpflicht eingeführt (6 mm mit WLG 035). Klima- und Lüftungsanlagen mit hohen Leistungen (> 12kW

bzw. $\geq 4.000 \text{ m}^3/\text{h}$ Volumenstrom), die neu eingebaut werden und zentrale Klima- und Lüftungsanlagen, die erneuert werden, müssen mit einer Einrichtung zur Wärmerückgewinnung versehen sein.“

Durch die durch das EEG (2012) nochmals verstärkte Pflicht zur Nutzung der Wärme von Biogas-BHKW ergibt sich ein zweiter Impuls des Gesetzgebers, der die sommerliche Wärmenutzung zum Antrieb von Kältemaschinen und damit die Primärenergieeffizienz von Kälteanlagen fördern könnte.

Aus der Sicht von Lohr (2012) führen die steigenden Anforderungen an neue Gebäude dazu, dass Bauherren, Planer und Architekten von neuen Büro- und Verwaltungsgebäuden vermehrt über grundsätzliche Alternativen zur klassischen Kompressionskälteanlage nachdenken. Dies führt indirekt zu einem Market Pull. Einige besonders engagierte Bauherren oder Planer wieder sind Ausdruck des Vision Pull.

8. Bewertung des Innovationssystems und Roadmap zur Förderung einer klimaschützenden und klimaangepassten Kältetechnik

Die erste wesentliche Eigenschaft des Innovationssystems Kälte- und Klimatechnik in der Metropolregion Bremen-Oldenburg ist das fast völlige Fehlen von Herstellern und Forschung zu einschlägigen Technologien. Nur die Firma Kreuzträger stellt Kälteanlagen für spezielle Einsatzfälle her. Letztlich kann damit das Innovationssystem eher als Diffusionssystem bezeichnet werden, denn der Schwerpunkt der weiteren Projektarbeit wird nicht auf der Entwicklung neuer Technologien liegen können, sondern eher auf der Verbreitung andernorts entwickeltes Technologien. Mit Blick auf das Schumpeter'sche Innovationsverständnis ist hier einschränkend anzumerken, dass Innovationen in der Form von „neuen Kombinationen“ selbstredend auch im Kontext einer innovativen Einzellösung oder Anwendung entstehen können, womit das regionale Innovationssystem diesen Charakter letztlich zumindest teilweise doch behält (Schumpeter 1997).

Die zweite wesentliche Eigenschaft ist die Tatsache, dass das Innovations- und Diffusionssystem Kälte- und Klimatechnik hier wie auch andernorts eingebettet ist in die gesamtgesellschaftliche Transformation der Energiewende. Konkret wirkt sich diese Einbettung durch den zivilgesellschaftlichen Push aus, durch vielfältige Initiativen des Gesetzgebers (Push und Pull) sowie letztlich auch dadurch, dass individuelle Unternehmer als Träger der gesamtgesellschaftlichen Vision einer klimafreundlichen Gesellschaft marktwirksam auftreten, in dem sie innovative Projekte einfordern und realisieren wollen.

Die dritte wesentliche Eigenschaft besteht in der Tatsache, dass es keinen einzigen wirtschaftlich großen Akteur gibt, der Teil des engeren Innovations- und Diffusionssystem Kälte- und Klimatechnik ist. Die Akteure setzen sich durchgängig aus Handwerkern, Ingenieurbüros und kleineren Institutionen zusammen.

Zur Förderung einer klimaschützenden und klimaangepassten Kältetechnik in der MPR wurde daher in einigen Veranstaltungen im Herbst 2012 die Entwicklung der Roadmap klimaangepasste Kältetechnik mit Weiterbildung verknüpft. Die Veranstaltungsreihe war wie folgt aufgebaut:

- Termin am 7.11.2012: Einführung mit Überblick über alternative Kältetechniken, Vorstellung der Absorptionskälteanlage zur Kühlung des Putenstalls in Varrel (Herr Meyer, D. Meyer Kühlanlagen, Herr Baumgärtel, Solarnext und Herr Siemering), anschließend Diskussion mit den Teilnehmern zu der Frage „Für welche Anwender und in welchen Märkten sind alternative Kältetechniken zukünftig wichtig?“
- Termin am 27.11.2012: Einführung: Vorstellung der Erdsondenanlage der Kunsthalle Bremen (Herr Kollert, Kunsthalle, Herr Beckmann, Ingenieurplanung Voigt und Wittig), Vorstellung der Ergebnisse zur Abschätzung der auf Termin 1 fokussierten Märkte, anschließend Diskussion mit den Teilnehmern zu der Frage „Welche Hemmnisse behindern zur Zeit die Verbreitung alternativer Kältetechniken?“

- Termin am 23.1.2013: Einführung, Vorstellung der Brunnenkühlung von Radio Bremen (Herr Thomas, Radio Bremen), anschließend Diskussion mit den Teilnehmern zu der Frage „Durch welche Maßnahmen ließe sich die Verbreitung alternativer Kältetechniken fördern?“

Danach erfolgte die Auswertung der Veranstaltungsreihe und die Ableitung von Konsequenzen für die im Rahmen der Roadmap zu empfehlenden Maßnahmen. Diese wurden im November 2013 nochmals mit einem Akteurskreis diskutiert.

Wirkung

Im Anschluss an die Veranstaltungsreihe haben sich einige der Handwerker weiter mit dem Thema beschäftigt. Im Dezember 2013 wurden alle 14 Unternehmen, von denen Mitarbeiter teilgenommen haben, mit einem kurzen Fragebogen angeschrieben. Von diesen haben 6 Unternehmen geantwortet.

Seit der Veranstaltungsreihe haben einige Unternehmen eine oder mehrere der oben genannten Technologien bei einer Projektplanung mit durchdacht, aber verworfen (2 Fälle), bei einer Projektplanung durchdacht und mit dem Kunden besprochen (3 Fälle), durchgerechnet und angeboten (3 Fälle). Angeboten und erfolgreich einen Auftrag erhalten hat ein Unternehmen sogar in zwei Fällen.

Zwei Unternehmen haben im Anschluss an die Veranstaltungen neue Partner gewonnen, mit denen sie solche Anlagen planen und anbieten.

Alle sechs Antwortenden gaben an, grundsätzlich neugierig auf neue Anlagentypen geworden zu sein und sich auf Messen oder Veranstaltungen weitergebildet zu haben.

8.1 Märkte und Markerschließung aus Sicht der Praxis

Die in Kapitel 6.2 ausgeführte Sicht auf die Märkte wird grundsätzlich von den bei Termin 1 anwesenden Personen geteilt. Eine Einschätzung, in welchen Teilmärkten welche alternativen Kühltechnologien zum Einsatz kommen können, ist mangels Erfahrung für keinen der Anwesenden möglich.

Mit Blick auf den Einzelhandel ist aus Sicht der Anwesenden zu unterscheiden zwischen Lebensmittelhandel, der mit Tiefkühlung und Kühlung arbeitet, und Einzelhandelsgeschäften wie Juwelieren, bei denen sich eine sommerliche Klimatisierung als Standard etabliert hat. Gute Beispiele der Anwendung besonders energieeffizienter, klimaschützender oder klimaangepasster Kältetechnik sind keinem der Anwesenden bekannt. Gleiches gilt für das Anwendungsfeld der Lebensmittelherstellung.

Nicht widersprochen wird auch der Einschätzung, dass mit Ausnahme des Bereichs der Lebensmittelherstellung große Effizienzsteigerungspotenziale in Höhe von mindestens 25% des dokumentierten Energieverbrauchs für die Kälteerzeugung als Einsparpotenzial vorhanden sind.

8.2 Hemmnisse der Markterschließung aus Sicht der Praxis

Die Hemmnisse, die der Realisierung klimaangepasster Kältetechnik entgegenstehen, sind sehr vielfältiger Natur. In der Planungsphase bestehen besonders schwerwiegende Probleme. Auch die Zahlungsbereitschaft und Liquidität der Kunden ist ein wesentliches Hemmnis. Nach der Installation stelle die Bedienung der Anlagen das größte Problem dar. Problemlagen, Ursachen und Lösungsansätze lassen sich wie folgt darstellen:

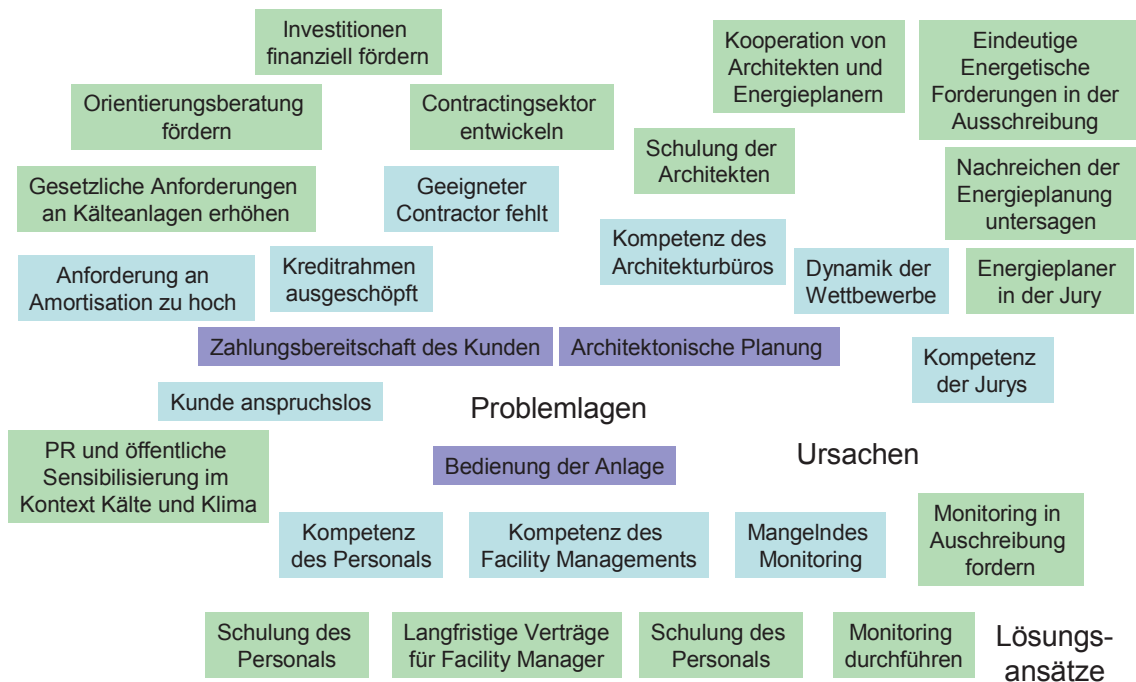


Abbildung 24: Hemmnisse und Ursachen der Verbreitung klimaangepasster Kältetechnik und Lösungsansätze

Quelle: eigene (Problemlagen: blau, Ursachen: hellblau, Lösungsansätze: grün)

8.2.1 Planungsphase

Kälte- und Klimatechniker kommen oft erst am Ende der Planung ins Spiel. Wenn der Entwurf steht oder das Rechenzentrum voll ist kommt der Kunde mit der Bitte „Mach das kalt hier!“ (Originalzitat eines Anwesenden am 1. Termin). Dem steht der Wahlspruch mancher Kältetechniker gegenüber, die unter dem Motto „Wir machen alles kalt!“ aber letztlich keine Chance haben, einen ganzheitlichen Ansatz zu entwickeln oder Synergien zu Energiepotenzialen der Umwelt (z.B. Fluss oder Grundwasser) oder des Umfeldes (z.B. BHKW-Abwärmepotenzial in der Nachbarschaft) zu erschließen.

Als mit Abstand wichtigstes Hemmnis wurde von den bei Termin 2 anwesenden Personen einvernehmlich die Planung und Konzeption der Gebäude genannt. In vielen, gerade den kleinen Architekturbüros mangle es an Kompetenz, ein Gebäude energetisch zu optimieren. Zudem habe man manchmal wenig Verständnis für und Interesse an einem Ansatz, der die Energieplanung und Haustechnik in kompetenter Vertretung durch ein entsprechend

aufgestelltes Ingenieurbüro von Anfang an einbeziehen. Konkret steht dem oft das finanzielle Interesse seitens der Architekten im Wege, keine Aufgaben abzugeben und weitere Partner ins Boot zu holen, um den eigenen Honoraranteil zu maximieren.

Wichtigste Gegenmaßnahme sei ein ganzheitlicher Ansatz, der der Haustechnik von Anfang an einen zentralen Stellenwert beimesse. Positivbeispiel seien solche Vorhaben, die in erster Linie von Ingenieurbüros betreut werden, sowie Großprojekte, bei denen Kompetenzen und Verantwortungen von vorneherein gleichmäßig zwischen Architekten (Ästhetik) und Ingenieuren (Haustechnik) aufgeteilt werden.

Ein weiteres Problemfeld sind Wettbewerbe und deren Prämierung. Hier wurde angeführt, dass im Falle anonymer Wettbewerbsbeiträge die Kompetenz des Einreichers nicht hinreichend beurteilt werden könne.¹⁰ Manche Vorschläge berücksichtigten auch die Energieplanung nicht hinreichend und zögen sich dahin zurück, die Energieplanung dann eben „nachzureichen“. Da aber letztlich durch die Geometrie und Ausrichtung des Gebäudes die energetischen Qualitäten weitgehend determiniert würden, könne letztlich eine ganzheitliche Energieplanung nicht „nachgereicht“ werden, sondern müsse von Anfang an im Entwurf enthalten und mit diesem verbunden sein.

Weiter wären Juries oft dominiert von Personen, denen die optischen und funktionalen Qualitäten des Entwurfs wichtiger wären als die haustechnischen und energetischen Qualitäten. Es wurde von einem Wettbewerb berichtet, in dem ein technischer Fachplaner in der Jury vertreten war. Dies wurde von den Architekten als völlig unangemessen kritisiert. Ein spezielles Problem der Diffusion effizienter und neuer Anlagentypen liegt aber auch auf Seite der Ingenieurbüros sowie der Fachunternehmen der Kälte- und Klimatechnik. Von mehreren Anwesenden wurde ein Mangel an Erfahrung mit alternativen Technologien erwähnt. Zwar sind je Technologie verschiedene Modellanlagen in der MPR vorhanden, den Anwesenden sind diese jedoch nicht bekannt. Hersteller und Lieferanten unkonventioneller Kältemaschinen sind den Anwesenden ebenfalls kaum bekannt. Der Bedarf zur Herstellung von Kontakten zu Lieferanten wird deutlich artikuliert. Im Kontext von geothermischen Systemen oder Brunnensystemen sind auch Kontakte zu Genehmigungsbehörden und Brunnenbauern von Bedeutung. Weiter war auch ein Bafa-Förderprogramm für effiziente Kälteanlagen sowie die Möglichkeit einer von der KfW geförderten Beratung nicht allen Anwesenden bekannt.

8.2.2 Zahlungsbereitschaft und Liquidität der Kunden

Ein großes Problem stellen die regelmäßig hohen Investitionskosten alternativer Kälteanlagen dar. Sowohl Investoren als auch Mieter (wenn Investor ≠ Nutzer) seien an niedrigen Nebenkosten interessiert, aber entweder würden die anfallenden Kosten schlichtweg umgeschichtet von Neben- auf Mietkosten oder der Amortisierungszeitraum sei zu lang. Durch geringere Liquidität sei die Rentabilität mittlerweile in vielen Fällen weniger wichtig als die kurzfristige Finanzierbarkeit. Auf Seiten der Kältetechniker führt der Druck des Kreditrahmens des Kunden dazu, Anlagen mit möglichst niedrigen Investitionskosten anzubieten und einzubauen, die regelmäßig schlechte Energieeffizienz aufweisen.

¹⁰Dies Argument mag jedoch nicht überzeugen. Letztlich sollten die Ausführungen in der Planung erkennen lassen, welche Haustechnik-Kompetenz hinter dem Vorschlag steht. Es ist daher zu vermuten, dass im Hintergrund hier auch Schwächen der Ausschreibungen von Bedeutung sind. Stelle die Ausschreibung keine klaren Anforderungen, so kann u.U. auch ein Wettbewerbsbeitrag prämiert werden, der energetisch suboptimal ist

Beispielhaft wurde angeführt, dass z.B. Fleischereien früher durchaus liquider gewesen wären. Dies hätte es ermöglicht, die Anlageneffizienz durch den aufwendigen Bau von Wärme- oder Kältespeichern langfristig zu verbessern. So etwas käme heute kaum noch vor. Für große Unternehmen (z.B. der Lebensmittelindustrie) spiele zwar der Kreditrahmen eine weniger einschränkende Rolle, es würden aber grundsätzlich keine Investitionen mit einer Amortisationszeit von mehr als drei oder vier Jahren durchgeführt. Aufwendige und alternative Kältelösungen seien aber typischerweise nur langfristig rentierlich.

Eine erfolgreiche Gegenmaßnahme seien Leasing-Modelle oder Contracting¹¹, die in einzelnen Fällen zur Realisierung geführt hätten. Große Leasing- oder Contracting-Unternehmen picken sich aber wiederum die rentablen Rosinen aus dem Kuchen. So würden z.B. Heizzentralen gern im Contracting errichtet, das Kälte- und Klimasystem dagegen nicht, weil die Rentabilität für die Contractoren deutlich niedriger liegt. Weiter wurde auf das negative Image von Contractoren verwiesen und die Probleme die mit Ihnen zusammen hängen (Vertragsgestaltung etc.). Da aber viele Unternehmen nach dem Bau von aufwendigen Anlagen kein geeignetes Personal haben, diese Anlagen fachgerecht zu fahren bzw. zu überwachen, spräche dieses Argument wieder für den Einsatz von Contractoren.

Ein Hemmnis, welches die Selbstfinanzierung wie auch die Finanzierung über Leasing oder Contracting beeinflusst, liegt in der Zukunftssicherheit des Unternehmens. Während ein Contractingunternehmen bei der Ausrüstung einer Schule nicht fürchten muss, dass die Schule nach kurzer Zeit ihren Betrieb einstellt, wirkt sich das Konkursrisiko von Unternehmen (z.B. im Handel) auf Contractoren voll aus.

Die Liquidität des Kunden kann auch durch staatliche Förderung entlastet werden. Die Möglichkeit staatlich geförderter KfW-Beratung hilft in der Planungsphase. Weiter gibt es ein Zuschussprogramm des BAFA (vgl. Abschnitt 0) zur Realisierung effizienter Kältetechnik. Die aktuellen Förderprogramme bevorzugen aus der Sicht eines Teilnehmers größere Projekte, weil die Schwelle für Förderungen (z.B. durch den Aufwand zur Antragstellung) hoch liege. Weiter wurde erwähnt, dass die Förderung natürlicher Kühlmittel, die vom Gesetzgeber gepusht würden, zweifelhaft wäre, da sie energetisch weniger sinnvoll wären als herkömmliche Alternativen und auch mit einem höheren Materialaufwand verbunden wären.

8.2.3 Anlagenbetrieb

Längerfristige Probleme (auch bezüglich der Leistungsbewertung und somit der Attraktivität) von klimaangepasster Kältetechnik verursacht die manchmal fehlende kompetente Betreuung solcher Anlagen. Oft würden mangelnde Ausbildung der Bediener (in vielen Fällen häufig wechselndes Personal diverser Anbieter von Gebäudemanagement - Facility Management) und schlechte Kenntnis der jeweiligen Anlage dazu führen, dass diese völlig falsch gefahren werden und dadurch die Vorteile gegenüber herkömmlicher Kältetechnik nicht oder deutlich weniger zum Tragen kommen. Selbst aufwendige Anlagen verfügen nicht über ein Energiemonitoring, so dass nicht erkannt werden kann, ob die geplanten COP-Werte eingehalten werden. Mangels Daten besteht dann auch kein Anlass zur Optimierung. Auch kann der Erfolg eines hohen COP und eines niedrigen Energieverbrauchs besser und überzeugender kommuniziert werden, wenn neben den Planungsdaten auch Messdaten vorhanden sind.

¹¹ Beim Leasing finanziert der Leasinggeber die Anlage, die durch den Leasingnehmer betrieben und gewartet wird, beim Contracting liegt der Anlagenbetrieb in der Hand des Contractors, dessen Dienstleistung in der Lieferung von Kälte und/oder Wärme besteht.

Viele Besitzer von Immobilien beauftragen zur Kostensenkung Facility Management Unternehmen statt eigenes Personal zu beschäftigen. Die Qualifikation des eingesetzten Personals beurteilen einige der Anwesenden als zweifelhaft. Würde dann noch regelmäßig neu ausgeschrieben, ginge auch noch die mühsam gesammelte Erfahrung mit dem Fahren der Anlage verloren. Dies wirke sich regelmäßig negativ auf den Energieverbrauch aus.

8.3 Szenario klimaangepasste Kältetechnik 2020

Auf Basis der in Kapitel 5 vorgestellten Technologien und den in Kapitel 6.2 dokumentierten Abschätzungen der Markt- und Energiesparpotenziale sowie der in Abschnitt 8.2 dokumentierten Hemmnisse lässt sich damit ein grobes Szenario der klimaangepassten Kältetechnik entwerfen. Dieses Szenario für 2020 ist gekennzeichnet durch verschiedene Veränderungen:

- Gegenüber 2012 besteht eine deutlich höhere Aufmerksamkeit für die Energieplanung und damit auch der Kälte- und Klimatechnik neuer Gebäude sowie derjenigen Gebäude, die grundlegend renoviert werden.
- Es erfolgt eine Unterstützung der Planungsphase durch eine Regionalplanung, die Kartenmaterial zu dezentralen Energiepotenzialen wie Geothermie, Aquifere, Energiepotenzial von Flusswasser und bisher nicht genutzte Abwärme bereitstellt.
- Es hat sich eine wirtschaftliche Lösung etabliert, Fernwärme im Sommer zum Antrieb von Absorptionskältemaschinen zu nutzen. Hierbei erzielen die Fernwärmeanbieter nur minimale Deckungsbeiträge und auch die Anwender kommen aufgrund der eigentlich zu niedrigen Vorlauftemperaturen von 80°C bis 90°C nicht zu hohen Wirkungsgraden. Unter dem Strich profitiert von dieser Lösung nur der Klimaschutz.
- In Ausschreibungen und Wettbewerben zur Planung von Neubauten oder großen Renovierungsvorhaben werden anspruchsvolle Ziele für die Energieeffizienz der Wärme- und Kälteversorgung schon durch die Auftraggeber formuliert. Der Nachweise der energie- und haustechnischen Fachkompetenz ist Voraussetzung der Beteiligung an Wettbewerben und in den Jurys sind Energieplaner grundsätzlich vertreten.
- Bei jedem zweiten Projekt der Neukonzeption einer kältetechnischen Anlage oder Klimaanlage kann durch die Realisierung alternativer Anlagenkonzepte eine Einsparung von 50% des Stromverbrauchs gegenüber der Kompressionskälteerzeugung realisiert werden.

In diesem Szenario spiegelt sich auch das Leitbild der klimaangepassten Kältetechnik.

8.4 Maßnahmen einer Roadmap zur Förderung einer klimaangepassten Kältetechnik

Die Förderung der Verbreitung klimaangepasster Kältetechnik muss an den Hemmnissen ansetzen und wird insoweit wiederum den drei Oberthemen Planung, Finanzierung und Anlagenbetrieb zugeordnet. Hinzu kommen Maßnahmen der Information und Sensibilisierung, die Zielgruppenübergreifend nützlich erscheinen.

8.4.1 Information und Sensibilisierung

Gabriel und Meyer (2010: 107) haben abgeschätzt, dass aufgrund der hohen Konzentration

der Lebensmittelbranche in der Metropolregion (ca. 4,2% der Wirtschaftsleistung im Vergleich zu 2% bundesweit) der Anteil des Stroms, der zur Kälteerzeugung aufgewandt wird, bei 8% (Bremen) und sogar bei 10% im niedersächsischen Teil der Metropolregion liegen dürfte. Diese hohe Bedeutung der Kälteerzeugung für den regionalen Stromverbrauch ist öffentlich wenig bekannt. Ebensovienig bekannt sind die Möglichkeiten der klimaangepassten Kälteerzeugung, was sich in extremniedrigen Marktanteilen der mit der Kompressionskältemaschine konkurrierenden Technologien niederschlägt. Es scheint daher sinnvoll, dass gesamte Akteursfeld, welches die Kälte- und Klimatechnik herstellt, liefert und nutzt für die klimapolitische Bedeutung (über die Wahl des Kältemittels hinaus) und für die Einsparpotenziale zu sensibilisieren.

Aufbauend auf der Erfahrung, dass sich mit einer Veranstaltungsreihe nur eine kleine Zahl von Personen erreichen lässt, sind zwei Maßnahmen mit breiterer Wirkung denkbar:

- Ein Leitfaden, der gute Beispiele (also letztlich die Motivation) darstellt und das Gesamtsystem der Problemlagen, Ursachen und Lösungsansätze beschreibt. Die Zielgruppen eines solchen Leitfadens wären Kunden/Auftraggeber, Behörden, Ausführende Planer und Kältetechniker. Die Gliederung eines Leitfadens „Klimaangepasste Kältetechnik“ würde umfassen:
 - Einleitung
 - Technologieüberblick
 - 6 bis 8 Praxisbeispiele
 - Hinweise zur Projektdurchführung von Wettbewerb und Planung bis zum Betrieb
 - Anbieterlisten
- Eine Serie von 2 oder 3 Presseberichten, in denen nicht nur einzelne Beispiele dargestellt sondern auch fundiert über das Thema informiert würde.
- Die Bildung eines entsprechend fokussierten Kompetenznetzwerks wäre hilfreich, um für die Beteiligten die Bildung fachkompetenter Partnerschaften für einzelne Projekte zu erleichtern und Erfahrungen auszutauschen.

8.4.2 Planungsphase

Mit Blick auf die zentrale Bedeutung, die die Planungsphase für die Realisierung einer klimaangepassten Kältetechnik hat, sollten geeignete Maßnahmen zur Veränderung der Planungskultur durchgeführt werden. Mit Blick auf die große Anzahl von Akteuren, die die Planung im Einzelfall bestimmen, dürfte vielerorts aber nur eine indirekte Wirkung der Maßnahmen zur Information und Sensibilisierung zu erreichen sein. Im Zentrum der Planung großer Objekte stehen damit Wettbewerbe, die von der Freien und Hansestadt Hamburg wie folgt charakterisiert werden (2011: 8) „Das Wettbewerbswesen besitzt in Deutschland eine jahrhundertelange Tradition; konkurrierende und gutachterliche Verfahren gelten öffentlichen wie privaten Auftraggebern als Garant für die jeweils bestmöglichen Ideen und Lösungen.“ Aber gerade diese jahrhundertelange Tradition führt auch zu erprobten und schwer änderbaren Strukturen und Gewohnheiten. Es heißt daher weiter: „Oftmals wird Nachhaltigkeit noch immer als additiver Zusatz von Entwurfskonzepten aufgefasst, der sich im weiteren Planungsverlauf im Haustechnikeller lösen lässt“ (a.a.O. 8).

Die Richtlinien für Planungswettbewerbe des Bundes (BMVBS 2008: 5) zeigen allerdings eine Möglichkeit auf, wie die Kluft zwischen städtebaulichem und architektonischen Entwurf

einerseits und einer erstklassigen Energieplanung andererseits zu überwinden ist. Sie führen aus:

„Wettbewerbe können sich insbesondere auf folgende Aufgabenfelder erstrecken und sollen in geeigneten Fällen interdisziplinär angelegt sein:

- Städtebau, Stadtplanung, Stadtentwicklung,*
- Landschafts- und Freiraumplanung,*
- Planung von Gebäuden und Innenräumen,*
- Planung von Ingenieurbauwerken und Verkehrsanlagen,*
- technische Fachplanungen.“*

Mit der Auslobung so genannter interdisziplinärer Wettbewerbe umgeht schon der Auslober das Dilemma der zu späten Mitplanung energetischer und anderer Nachhaltigkeitsaspekte. Der Leitfaden Nachhaltigkeitsorientierte Architekturwettbewerbe der Freien und Hansestadt Hamburg (2011: 17) empfiehlt auch eine klare Beschreibung des Wettbewerbsgegenstandes mit klarem Bezug zur Nachhaltigkeit mit folgendem Formulierungsvorschlag:

„Bereits in der frühen Planungsphase sind anspruchsvolle Zielvorgaben zum energieeffizienten und nachhaltigen Bauen zu berücksichtigen. Die Wettbewerbsaufgabe sowie die Nachhaltigkeitsanforderungen sind in Teil B der Auslobung ausführlich beschrieben (ggf. ergänzen: z.B. Ziele nach dem DGNB- oder Hafencity-Goldstandard).“

Entsprechend eindeutig wird auch die Erwartung des Auslobers an die Teilnehmer formuliert (a.a.O. 18):

„Zur umfassenden Bearbeitung der Zielvorgaben des Wettbewerbs zum energieeffizienten und nachhaltigen Bauen, wird ergänzend erwartet, einen entsprechenden Fachplaner hinzuzuziehen. Hierfür bedarf es keiner gesonderten Zustimmung des Auslobers. Die Fachplaner sind in der Teilnahmeerklärung mit aufzuführen.“

Wird ein Wettbewerb interdisziplinär veranstaltet, so muss auch das Preisgericht entsprechend zusammengesetzt sein. Hierzu heißt es in den Richtlinien für Planungswettbewerbe des Bundes (BMVBS 2008: 7): *„Der Auslober bestimmt die Preisrichter und Stellvertreter. Bei interdisziplinären Wettbewerben ist jede Fachrichtung vertreten.“*

Letztlich lassen sich diese Hinweise auf einen nachhaltigkeitsorientierten Architekturwettbewerb auch auf die Beauftragung von Architekten und Planern außerhalb von Wettbewerbern übertragen. Auch in solchen Prozessen sollten die dem Bauherren wichtigen Planungsziele von vornherein sachlich und auch durch Fachplaner im Planungsprozess mit vertreten sein.

Nachdem für die Ausrichtung von Planungsprozessen und Wettbewerben auf Nachhaltigkeit grundsätzlich Richtlinien und Hinweise existieren weist die deutliche Erwähnung solcher Prozesse als Hemmnis für eine gute Kälte- und Klimatechnik darauf hin, dass entsprechend angepasste Planungs- und Wettbewerbsabläufe in der Metropolregion Bremen-Oldenburg nicht so gut verankert und verbreitet sind, wie vielleicht wünschenswert wäre. Es scheint daher folgendes möglich:

- Durchführung eines Workshops mit Vertretern von Städten, Landkreisen und ggf. großen privaten Auftraggebern zu Wettbewerben und Ausschreibungen von Bauleistungen mit dem Ziel, diese auf Nachhaltigkeit und einen guten Energiestandard auszurichten.

8.4.3 Staatliche Leitplanken

Erhöhte Anforderungen des Gesetzgebers an Kälte- und Klimaanlageanlagen haben schon in der EnEV Wirkung gezeigt. Die Tatsache, dass sich bei der Planung großer Bürogebäude in den letzten 7 Jahren die integrierte Wärme- und Kälteversorgung über Erdsondenfelder als eine der neuen Lösungen durchgesetzt hat, wird auf die Energieeinsparverordnung für Gebäude (EnEV 2009) zurückgeführt (Lohr 2012).

Eine Verschärfung der staatlichen Anforderungen scheint in verschiedenen Bereichen denkbar:

- Regelungen, die durch verschärfte energetische Anforderungen an zusätzliche Gebäudeklassen den Marktanteil ineffizienter Lösungen reduzieren,
- Regelungen, die bei bestimmten Gebäudeklassen interdisziplinäre Wettbewerbe unter Einbezug von technischer Fachplaner zum Standard machen,
- Regelungen, die durch ein Wärmenutzungsgebot für Fernwärmeversorger deren Neigung vergrößern, sich auf die sommerliche Versorgung von Absorptionskälteanlagen einzulassen,
- Regelungen, die eine Nachweispflicht über das Nichtvorhandensein von Low-Exergy Energiequellen zur Voraussetzung der Genehmigung von Kompressionskältemaschinen (ab einer bestimmten Leistungsklasse) machen,
- Regelungen für den Anlagenbetrieb, die z.B. auf die Schulung des Personals oder eine Pflicht zum energetischen Monitoring (ab einer bestimmten Leistungsklasse) gerichtet sein könnten,
- Regelungen, die regionale Institutionen verpflichten, Kartenmaterial zu Low-Exergy Energiequellen zu erstellen und öffentlich zugänglich zu machen, wie dieses durch van Dobbelen et al (2011) entwickelt wurde.

Eine Reihe von Aktivitäten ist hierzu im Rahmen des Klimaschutz- und Energieprogramm 2020 (Freie und Hansestadt Bremen 2010) zu erwarten. In Niedersachsen ist mit vergleichbaren Programmen durch die neue Landesregierung zu rechnen.

8.4.4 Zahlungsbereitschaft und Liquidität der Kunden

In Bezug auf die Zahlungsbereitschaft der Kunden dürfte ähnlich wie auf die nicht-nachhaltigen Amortisationsanforderungen der Großindustrie nur eine indirekte Wirkung der Maßnahmen zur Information und Sensibilisierung zu erreichen sein. Das Kreditvergabeverhalten der Banken kann im Rahmen des Projektes und durch spezifische Maßnahmen nicht beeinflusst werden. Konkret erfolgen aber könnte:

- die Evaluation der Potenziale von Leasing und Contracting mit dem Ziel, die Wirksamkeit dieser Modelle für die Optimierung von Kälteversorgungssystemen besser auszuschöpfen,
- die Recherche zu weiteren Fördermöglichkeiten.

Ein Bafa-Förderprogramm ist schon vorhanden.

Bafa-Basisförderung Altanlagen (2-stufiges Verfahren)

Nach der Basisförderung für Altanlagen sind Maßnahmen und Anlagen förderbar, wenn bei bestehenden Kälteanlagen der Jahres-Elektroenergieverbrauch mindestens 150.000 kWh beträgt und der Status Check ein Energieverbrauchs-Minderungspotenzial durch Einsatz effizienter Komponenten und Systeme von mindestens 35 % ergeben hat.

Die Fördersätze der Basisförderung für Altanlagen betragen 15 % der Nettoinvestitionskosten beziehungsweise 25 % der Nettoinvestitionskosten, wenn Kohlendioxid, Ammoniak oder nicht halogenierte Kältemittel verwendet werden und mittels einer Berechnung ein Nachweis über die Gesamteffizienz erbracht wird.

Seit dem 24.06.2011 werden auf Grund einer Änderung der Verwaltungsauffassung nunmehr auch große Sorptionskälteanlagen gefördert. Die Sorptionskältemaschine muss dabei eine minimale Kälteleistung von 50 kW aufweisen und der Antrieb (Beheizung) der Sorptionskälteanlage muss mittels Sekundärwärme, d. h. a) Abwärme (Abgas, Dampf, Heiß- oder Warmwasser) aus z. B.: Produktion, BHKW-Anlagen, b) Wärme aus Fern- oder Nahwärmenetz oder c) Wärme aus thermischer Solaranlage erfolgen. Direkt befeuerte Sorptionskälteanlagen werden nicht im Rahmen der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen gefördert.

Quelle: www.bafa.de vom 13.11.2012

8.4.5 Anlagenbetrieb

Auf die Bedeutung eines kompetenten Anlagenbetriebs wurde aus dem Kreis der Workshopteilnehmer mehrfach hingewiesen. Zwei Schlüsselfaktoren ermöglichen einen optimalen Betrieb: zum einen kompetentes Personal, zum anderen ein gutes Monitoring, welches das Personal über die richtige Funktion der Anlage kontinuierlich informiert hält. Langfristig kann auf beides hingewirkt werden:

- Aus- und Weiterbildung von Klimatechnikern, die als Angestellte größerer Anlagenbetreiber arbeiten,
- Entwicklung wirksamer und kostengünstiger Monitoringkonzepte, z.B. durch Onlineüberwachung durch einen kompetenten Fachbetrieb,
- Nachweis der kostensenkenden Wirkung von Monitoring durch einschlägig und gut dokumentierte Fallbeispiele. Es ist aus dem Öko-Controlling bekannt, dass die Erfassung von Daten die Erkennung und Behebung von Schwachstellen fördert. Der Nachweis der finanziellen Rentabilität des nötigen Aufwandes würde Akzeptanz und Verbreitung fördern,
- Entwicklung von Software, die auf Basis von Onlinedaten das Monitoring vornimmt und die Betriebsführung Arbeit sparend unterstützt.

Dagegen scheint es kaum möglich, dem (ruinösen) Preiswettbewerb der Facility Management Unternehmen entgegenzuwirken. Die hier eintretende Kostensenkung wirkt sich grundsätzlich darauf aus, dass eher schlecht ausgebildetes Personal unter starkem Zeitdruck arbeitet, was für einen optimalen Anlagenbetrieb nicht förderlich sein kann. Ggf. ist die Onlineüberwachung komplexer Anlagen wie der Kälte- und Klimatechnik durch Fachbetriebe aber eine gute Ergänzung des Facility Managements.

Im Rahmen des im Kontext der Planung vorgesehenen Workshops scheint es machbar, auch die Frage des Anlagenbetriebs und der Problematik des raschen Wechsels der Facilitymanager anzusprechen.

8.5 Fazit Roadmap Klimaangepasste Kältetechnik

Die Maßnahmen zur Förderung der Verbreitung klimaangepasster Kältetechnik lassen sich den verschiedenen Akteursgruppen zuordnen und zeitlich grob ordnen, so dass letztlich ein Überblick entsteht, welche Akteursgruppe welchen Beitrag zu leisten hat.

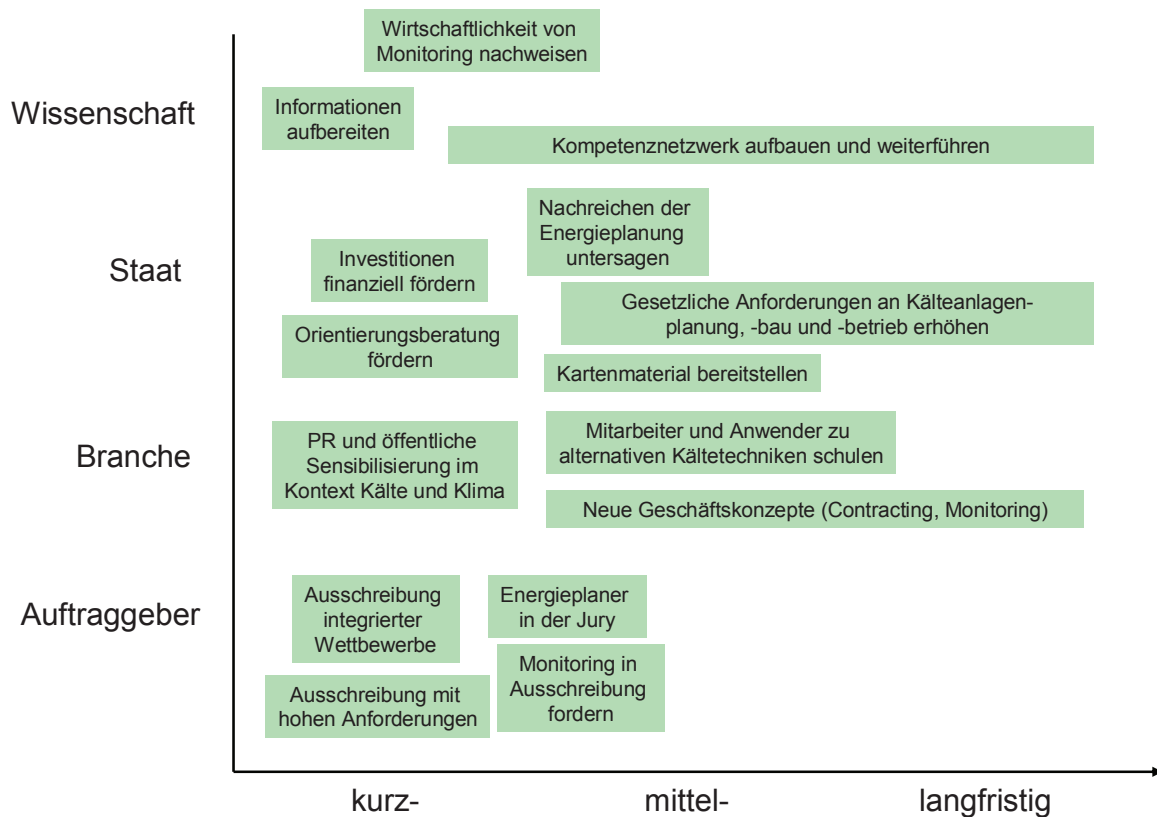


Abbildung 25: Akteure und Maßnahmen der Verbreitung klimaschonender Kältetechnik

Quelle: eigene

Die Maßnahmenvorschläge und die Strukturierung in Abhängigkeit von den Akteuren wurden am 5.11.2013 in Bremen mit einer Reihe von Fachleuten aus Bremen und Niedersachsen diskutiert.

Zu einigen Maßnahmen gibt es nach Einschätzung der Anwesenden bereits Aktivitäten und Kontexte, an die diese anschlussfähig sind. So existiert z.B. ein in Vorbereitung befindliches Programm der Bremer Aufbau-Bank, in das ggf. auch die klimafreundliche und klimaangepasste Kältetechnik integriert werden könnte. Sowohl Bremen als auch die Landeshauptstadt Hannover in Niedersachsen widmen sich auch bereits stärker der Förderung von Kooperation und Energieeffizienz in Gewerbegebieten. Auch hier ist das Kältethema anschlussfähig.

Der Contractingsektor bietet aus Sicht eines Teilnehmers Entwicklungsmöglichkeiten. Hier würden zunehmend Unternehmen Geschäftsmodelle entwickeln, mit denen auch kleinere Anwendungsfälle erschlossen werden könnten. Dabei wäre aber zu beachten, dass die Contractoren auch oft selbst die Anlagen errichten und betreiben, also letztlich im Wettbewerb zu etablierten Kälte-Klima-Unternehmen stehen. Den Dialog darüber fördert der Energiekonsens bereits, z.B. mit der Veranstaltung „Contracting for Beginners“. Auch die B.A.U.M. Zukunftsfonds e.G. könnte in diesem Kontext wichtig sein, da sie die Finanzierung von Effizienzinvestitionen gerade für Querschnittstechnologien wie Kälte überregional zu ihrer Aufgabe gemacht hat.

Die Ausschreibung interdisziplinärer Architekturwettbewerbe ist an ein Programm „Unternehmer bauen in Bremen“ (Der Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen 2012) angeschlossen, welches gute und energieeffiziente Gewerbearchitektur fördert. Mit Handels- und Handwerkskammer, Energiekonsens, RKW und Architektenkammer wird dies Programm breit unterstützt. Als Vorbild für grundsätzliche Richtlinien könnte der „Leitfaden Nachhaltigkeitsorientierte Architekturwettbewerbe.“ (Hansestadt Hamburg 2011) dienen.

Förderungsmöglichkeiten gibt es bundesweit über die BAFA und im Land Bremen über die REN-Richtlinie (Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr 2013), aus der in 2013 jedoch nur eins von insgesamt 36 Projekten im Feld Kälte angesiedelt war. Fördermöglichkeiten sollten daher stärker bekannt gemacht werden. Letztlich braucht es wohl „Kümmerer“, die z.B. in Innungen oder Energieagenturen, die Kälteanwender, Planer oder Handwerker beraten und ihnen konkret helfen, Anträge zu stellen.

Als prioritär und recht rasch realisierbar erschienen den Anwesenden die folgenden Maßnahmen:

- Auf der Ebene der Anwender wären bei Neubauten interdisziplinäre Wettbewerbe sehr wichtig und nicht nur für Kälte, sondern für Energieeffizienz insgesamt zentral.
- Um das für die Effizienzverbesserung für aussichtreich gehaltene Monitoring zu etablieren wären Erfolgsdaten zum Monitoring hilfreich.
- Orientierungsberatung, für die bereits in vielen Regionen eine Förderkulisse existiert, wäre gut. Sie hakt aber daran, dass sich kaum Berater mit unkonventioneller Kältetechnik auskennen.
- Besonders wichtig ist daher die Aus- und Weiterbildung von Beratern (Ingenieurbüros), Handwerkern und letztlich auch Anwendern. Dies kann z. B. durch Institutionen des Handwerks (z.B. die Norddeutsche Kälte-Fachschule in Springe) geschehen.
- Der Realisierung von Projekten könnte durch Förderung des Contracting befördert werden. Hierfür wäre der Contractingsektor besonders dort zu entwickeln, wo er auch für kleine Projekte Potenziale bietet. Auch die Frage Kapitalversorgung für Contractoren könnte Bedeutung haben.
- Weiter bräuchte es mehr PR und mehr „Kümmerer“ für das Thema Kälte, bei denen aber weder die institutionelle Anbindung noch die Finanzierung klar ist.

Zum Projektabschluss des fünfjährigen Projektes ‘nordwest2050’ mit seinem Arbeitsfeld „Low-Exergy Solutions“ stellt sich die Frage, welche Akteure für eine weitere Verbreitung dieser Lösungen in den nächsten Jahren Bedeutung haben können.

Hier sind zunächst die Kälte- und Klimahandwerker mit ihren Innungen und dem Bundesinnungsverband zu nennen. Ihre Tätigkeit ist oft nicht mit dem Interesse an der Diffusion bestimmter oder innovativer Lösungen verbunden. Aber für sie ergibt sich die Chance, über spezielle Erfahrungen mit neuen Technologien am Markt auf Differenzierung zu setzen. Neben der gesellschaftlichen Verpflichtung, an Umwelt- und Klimaschutz mitzuwirken ergibt sich letztlich für einzelne Handwerker auch das Argument, zusätzlicher Geschäftschancen. Solche Chancen liegen u. U. nicht nur in der technischen Spezialisierung, sondern auch im Angebot von Contractingprojekten. Die Innungen wiederum sind im Kontext der besonders wichtigen Weiterbildung zentrale Akteure.

Energieeffizienzagenturen (oft unterstützt von Fachabteilungen von Ministerien) könnten und sollten vielerorts die offene Rolle der Kümmerer wahrnehmen. Hier ergeben sich vielerlei Synergien, da Kommunikation und Agenda Setting ohnedies zu den Kernfähigkeiten dieser Organisationen gehören und auch die Durchführung von Veranstaltungen und die Initiierung von Weiterbildungsprogrammen beherrscht wird.

Beratende Ingenieure aus dem Energie-, Klima- und Kältefach stehen wie die Handwerker vor der Herausforderung sich ständig weiter zu bilden. Mit dem VDI, dem DKV und den regionalen Ingenieurkammern wäre es gut, wenn auch hier Low-Exergy Kältesysteme eine stärkere Beachtung in Veranstaltungen und Weiterbildungen bekommen würden.

Literatur

- 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen, Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe (3N 2009): Stand und Perspektiven der Biogasnutzung in Niedersachsen, Bericht für das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung, Hannover.
- 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen, Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe (3N 2012): Biogas in Niedersachsen. Entwicklung, Stand und Perspektiven. 5. überarbeitete Auflage November 2012. Hannover. Online unter www.3n-info.de vom 2.4.2013.
- Ahrens, A.; Braun, A.; Effinger, A, von Gleich, A.; Heitmann, K.; Lißner, L; Weiß, M. (2002): Forschungsverbundprojekt: SubChem „Gestaltungsoptionen für handlungsfähige Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe“, Zweiter Zwischenbericht (Berichtsjahr 2002), Bremen, Hamburg
- Ahrens, A.; Braun, A.; Effinger, A, von Gleich, A.; Heitmann, K.; Lißner, L; Weiß, M.; Wölk, C. (2003): SubChem – Gestaltungsoptionen für handlungsfähige Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe – Ergebnisse, Hypothesen, Definitionen, Bremen, Hamburg
- Angermann Research (2011): Büromarktbericht Hamburg – 1. Quartal 2011. Online unter www.angermann.de vom 2.3.2012.
- Baumgärtel, Thomas (2012): Vorstellung der in Bau befindlichen Absorptionskältemaschine zur Kühlung eines Stallgebäudes. Vortrag auf dem Akteursworkshop „Zukunftsfähige Bioenergie in der Metropolregion Bremen Oldenburg“ am 19. März 2011 in Vechta.
- Beckmann (2012): Kunsthalle Bremen. Demonstrationsbauvorhaben Heizung / Klima / Kälte. Vortrag am 27.11.2013 in Bremen.
- Berlin Institut (2005): Deutschland 2020. Die demografische Zukunft der Nation. Berlin.
- BINE-Informationsdienst (2004): Klimatisieren mit Sonne und Wärme. Reihe Themeninfo1/04 Online: www.bine.info (abgerufen am 29.1.2007).
- BITKOM, BMU, UBA (2010): Roadmap „Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020“. Entwicklung eines Leitmarktes für Green Office Computing. Berlin.
- Bohse, A. (2008): Albert Bohse Sachverständigen- und Planungsbüro. Telefonisches Interview am 6. Juni 2008.
- Brinkmann, Christoph (2012): Pressestelle swb. Telefongespräch vom 29.3.2012.
- Brunke (2008):Kreutzträger Kältetechnik GmbH & Co.KG. Telefonisches Interview am 12. Juni 2008.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS 2008): Richtlinien für Planungswettbewerbe. RPW 2008. Fassung vom 12. September 2008. Berlin.
- Camagni, R. (ed.): Innovation networks: Spatial Perspectives. London 1991.
- Clausen, Jens (2007): Zukunftsmarkt Solares Kühlen. Fallstudie im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens „Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern/ Leitmärkten“ (FKZ 206 14 132/05). Berlin. Online unter www.borderstep.de.
- Clausen, Jens; Bierter, Willy; Winter, Wiebke (2011): Screening Innovationspotenziale der regionalen Energiewirtschaft Teil A: Low Exergy Solutions. Unveröffentlichter Bericht an die Universität Bremen.

- Czarik, Michael (2011): Keeping Poultry Cool During Hot Weather. Vortrag vom 19.10.2011 an der University of Georgia, Centre for Poultry Environmental Management and Energy Conservation. Online unter www.poultryventilation.com vom 13.11.2012.
- Datadock (2011): Europas Grünstes Rechenzentrum. Firmenbroschüre. Hürth.
- Dena (2008): Zusammenfassung Referentenentwurf zur Novellierung der Energieeinsparverordnung (Entwurf zur EnEV 2009), Stand: 28.04.08. Online unter www.zukunft-haus.info vom 16.3.2012.
- Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2012): Homepage. Projektbeispiel KSK Wesermünde-Hadeln. Online unter www.umwelt-unternehmen.bremen.de vom 11.4.2012.
- Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2013): Richtlinie zur Förderung der sparsamen und rationellen Energienutzung und -umwandlung in Industrie und Gewerbe (REN-Richtlinie)
- Bericht der Verwaltung für die Deputation für Umwelt, Bau, Verkehr, Stadtentwicklung und Energie (L) am 31. Oktober 2013. Bremen.
- Der Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen (2012): Beratungs- und Förderprogramm „Unternehmen bauen in Bremen“. Vorlage Nr. 18/155-S für die Sitzung der städtischen Deputation für Wirtschaft, Arbeit und Häfen am 27.06.2012 in Bremen.
- Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V. (DKV 2002): Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte. Statusbericht des DKV Nr.22. Stuttgart.
- Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V. (DKV 2012): Forschungseinrichtungen der Kälte- und Klimatechnik. Homepage. Online unter www.dkv.org vom 12.3.2012.
- Dickehut, Andres (2012): E-Mail vom 21.6.2012.
- DIN V 18599 (2012): Energetische Bewertung von Gebäuden. Berlin.
- Dose, S. (2008): E-Mail vom 26. Mai 2008.
- Drossé, Inke (2011): Akademie für Tierschutz. Telefongespräch vom 10.5.2011.
- Dybe, G.; Kujath, H.J. (2000): Hoffnungsträger Wirtschaftscluster, Berlin, 2000.
- EECCAC (2003): Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners. Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U., Armines. Volume 2. Online unter: www.cenerg.ensmp.fr (19.8.2010)
- ENERCON (2011): ENERCON aktuell. E-Ship 1: Kooperationsvereinbarung zwischen ENERCON, ArkonShipping und Reederei Wessels. Meldung vom 26.01. 2011. Online unter www.enercon.de vom 11.4.2012.
- Energieagentur NRW (2009): Adiabate Kühlung – Kühlung ohne Strom. Online unter www.energieagentur.nrw.de vom 13.11.2012.
- Energie Schweiz (2002): Kombinierte Kälte- und Wärmeerzeugung. Online unter www.energieschweiz.ch vom 6.4.2011.
- Energie Schweiz (2010): Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen. Online unter www.energieschweiz.ch vom 6.4.2011.
- Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2009): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit 2009, Berlin.
- Fichter, K. (2005): Interpreneurship. Nachhaltigkeitsinnovationen in interaktiven Perspektiven unternehmerischen Handelns, Marburg

- Fichter, K. (2005a): Nachhaltige Nutzerintegration im Innovationsprozess, in: Fichter, K; Paech, N.; Pfriem, R. (2005): Nachhaltige Zukunftsmärkte. Orientierungen für unternehmerische Innovationsprozesse im 21. Jahrhundert, Marburg, S. 351 - 370
- Fichter, Klaus; Clausen, Jens; Eimertenbrink, Maik (2009): Energieeffiziente Rechenzentren – Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien. Broschüre herausgegeben vom Bundesumweltministerium, 2. Auflage, Berlin. Online unter www.bmu.de
- Fichter, Klaus; Hintemann, Ralph (2010): Leitfaden Innovationspotenzialanalyse. Oldenburg.
- Forschungsrat Kältetechnik (2012): Mitgliederliste. Homepage. Online unter www.fkt.com vom 12.3.2012.
- Freie und Hansestadt Bremen (2010): Klimaschutz- und Energieprogramm 2020. Zugleich Vierte Fortschreibung des Landesenergieprogramms gemäß § 13 des Bremischen Energiegesetzes. Online unter www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/KEP-Brosch%FCre_Endfassung%20komplett.pdf vom 2.4.2013.
- Freie und Hansestadt Hamburg (2011): LeNA. Leitfaden Nachhaltigkeitsorientierte Architekturwettbewerbe. Hamburg. Online unter www.hamburg.de vom 18.12.2012.
- Friotherm AG (2005): Energy from sewage water – District heating and district cooling in Sandvika, with 2 Unitop® 28C heat pump units. Online unter www.friotherm.de vom 14.4.2011.
- Friotherm AG (2008): Unsichtbare Kühlanlage versorgt das Zentrum von Paris8 Unitop®-Kühlaggregate in unterirdischem Maschinenraum. Online unter www.friotherm.de vom 14.4.2011.
- Fritsch, M.; Koschatzky, K.; Schätzl, L.; Sternberg, R. (Hrsg.) (1998): Regionale Innovationspotenziale und innovative Netzwerke. In: RuR 4/1998, S.243-252.
- Fritz, J. (2009): Internet-Kartenserver und Onlineberatung zur oberflächennahen Erdwärmennutzung. Vortrag auf dem Geothermietag am 29.10.2009 in Hannover.
- Fromhold-Eisebith, M. (1995): Das creative Milieu als Motor regionalwirtschaftlicher Entwicklung, in: Geographische Zeitschrift, 83. Jg., (1995), H. 1, S. 30-47.
- Gabriel, J.; Meyer, S. (2010): Eine Vulnerabilitätsbezogene Wertschöpfungskettenanalyse für ausgewählte Wertschöpfungsketten im Cluster Energiewirtschaft.
- Gehring (2008): Telefonisches Interview mit der York, Johnson Controls Systems and Service GmbH am 5. Juni 2008.
- Granovetter, Mark (1991): The Social Construction of Economic Institutions. In: Etzioni, Amitai; Lawrence, Paul R. (1991): Socio-Economics. Toward a New Synthesis. M.E. Sharp. Armonk, New York.
- Grotz, R.E.; Schätzl, L. (Hrsg) (2001): Regionale Innovationsnetzwerke im internationalen Vergleich. Münster.
- Grübler (2008): Telefonisches Interview mit der Carrier GmbH & Co.KG am 26. Mai 2008.
- HDE (2006): Flächenentwicklung Einzelhandel 1980 bis 2010. Online unter www.einzelhandel.de vom 12.3.2012.
- Hintemann, R., Fichter, K. (2010): Materialbestand in deutschen Rechenzentren – Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. UBA-Texte 55/2010 Dessau-Roßlau.

- Hottelling (2010): Knapp 18.000 Hotels in Deutschland – Zahl bleibt konstant. Pressemeldung vom 1. Dezember 2010. Online unter www.hottelling.de vom 12.3.2012.
- HWK (2012): Handwerkskammer Ammerland online. Innung Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik Ammerland. Datenbank: Innung für Kälte- und Klimatechnik Bremen-Oldenburg. Online unter www.handwerk-ammerland.de/Sanitaer.html vom 13.4.2012.
- Idel, Anita; Clausen, Jens; Wunderlich, Ulrike; Isele, Judith; Kohlschütter, Niels (2004): Fallstudie Huhn. In: IÖW, Öko-Institut, Schweisfurth-Stiftung, FU-Berlin, LAGS (Hrsg.): Agrobiodiversität entwickeln! Handlungsstrategien für eine nachhaltige Tier- und Pflanzenzucht. Berlin. Online unter www.agrobiodiversitaet.net vom 14.11.2012.
- Kimura, Ken-ichi (2004): Japanese Air Conditioning Experience. Vortrag am 20. Juni 2004 auf der IEA Conference on Cooling Buildings in a Warming Climate in Sophia Antipolis, Frankreich. Online unter: www.iea.org/dbtw-wpd/Text-base/work/2004/cooling/kimura.pdf (abgerufen am 26.2.2007).
- Klemmer, P.; Lehr, U.; Löbbe, K. (1999): Umweltinnovationen, Anreize und Hemmnisse, Analytica-Verlag, Berlin
- Kolsch, Oliver (2005): Erdwärme. Regenerative Energie für Heute und Morgen. Vortrag an der FH Bielefeld am 5. Mai 2005.
- Kommunalverbund Niedersachsen-Bremen (2010): Demografie-Bericht. Bremen. Online unter www.kommunalverbund.de vom 26.6.2012.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg. 2008): Abwärmenutzung von Biogasanlagen. Uelzen.
- Lange, Jürgen; (2003): Limnologische Funktionskontrolle der Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme auf der Kleinensieder Plate. Abschlussbericht April 2003. Online unter www.wsv.de vom 6.4.2011.
- Lohr, Hans-Joachim (2012): Inhaber LohrConsult. Persönliches Gespräch am 7.2.2012 in Bremen.
- Lütvogt, Dirk (2011): Geschäftsführer Auburg Quelle. Persönliches Gespräch am 30.8.2011 in Wagenfeld.
- Meyer, Jörg (2011): Inhaber D. Meyer Kühlanlagen. Telefongespräch vom 18.4.2011.
- Meyer, Jörg (2012): Inhaber D. Meyer Kühlanlagen. Telefongespräch vom 23.3.2011.
- Meyer, R.(2008):BüntingBeteiligungs AG. Persönliches Interview am 24. Juni 2008 in Oldenburg.
- Neuschl, Marc (2011): Leiter Controlling Deutsche See. Persönliches Gespräch am 28.8.2011 in Bremen.
- Niedersächsische Bezirksregierung Weser-Ems (2004): Bestandsaufnahme zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie vom 21.4.2004. Online unter www.wrrl-kommunal.de vom 26.5.2012.
- Niemeyer, Jens (2007): Telefonische Auskunft vom 23.3.2007.
- Obermaier, F. (1999): Kreative Milieus und Netzwerke: neue Erklärungs- und Strategieansätze der Regionalentwicklung sowie deren empirische Überprüfung anhand von Fall-Studien in Bayern, Bayreuth.
- Panteleit, Björn (2012): Persönliches Gespräch am 7.2.2012 in Bremen.
- Peetz, Helmut (2007): Kälte aus Wärme. Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen für Temperaturen unter 0 °C. Vortrag auf der enertec am 7.3.2007 in Leipzig.

- Pleschak, F.; Sabisch, H. (1996): Innovationsmanagement, Stuttgart
- Rammer, C. (2009): Innovationsverhalten der Unternehmen in Deutschland 2007, Aktuelle Entwicklungen und die Rolle der Finanzierung, Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 04-2009, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Feb. 2009, Mannheim.
- Rüssmann, Hans (2012): Telefonische Auskunft vom 16.3.2012.
- Sächsische Energieagentur (2012): Abwärmeatlas Sachsen. Homepage. Online unter www.abwaermeatlas.sachsen.de vom 29.2.2012.
- Schick Tanz, Matthias; Wapler, Jeanette, Henning, Hans-Martin (2011): Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung: Primärenergieeinsparung und Wirtschaftlichkeit? In: KI Kälte Luft Klimatechnik (2011) Nr. 1-2 S. 22 – 26.
- Schierenbeck, Anne (2012): Fernwärme für Gewerbebauten: Praxisbeispiele. Vortrag auf einer Veranstaltung des Energiekonsens am 26.9.2012 in Bremen. .
- Schmid, Wolfgang (2009): Nachhaltige Gebäudetemperierung. Landessparkasse zu Oldenburg heizt und kühlt mit Geothermie. In: Bautechnik 2009 Nr. 12.
- Schmieder (2008): Nordmilch AG. Telefonisches Interview am 7. Mai 2008.
- Schröder, Sven (2008): Der Klima- und Kältetechnikmarkt in der Metropolregion Bremen-Oldenburg – Chancen für Low Exergy Alternativen? Eine Fallstudie Unternehmensstrategien für Klimaschutz-Innovationen (Projektkurs im Wintersemester 2007/08 und im Sommersemester 2008) Hauptleistung im Wahlpflichtfach Ökologische Ökonomie Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Schröder, Sven (2008): Der Klima- und Kältetechnikmarkt in der Metropolregion Bremen-Oldenburg – Chancen für Low Exergy Alternativen? Eine Fallstudie. Hauptleistung im Wahlpflichtfach Ökologische Ökonomie Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Schulz, Manfred (2012): Organisation FM (früher Bauorganisation). Kreissparkasse Wesermünde-Hadeln. Telefongespräch vom 11.4.2012.
- Schuchardt, B.; Wittig, S. (Hrsg.) (2012): Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel, nordwest2050-Berichte 2, Bremen/Oldenburg.
- Schumpeter, Joseph A. (1997): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Eine Untersuchung über Unternehmerrisiko, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus. Neunte Auflage. Duncker & Humblot. Berlin.
- Simader, Günter R. (2005): Klimatisierung, Kühlung und Klimaschutz: Technologien, Wirtschaftlichkeit und CO₂-Reduktionspotenziale. Vortrag bei der Austrian Energy Agency am 21. 4. 2005. Online: [www.energyagency.at/\(de\)/themen/klima-schutz_index.htm](http://www.energyagency.at/(de)/themen/klima-schutz_index.htm)
- Solarnext AG (2009): chillii cooling kit WFC 70. Rimsting. Online unter www.solarnext.de vom 9.11.2012. .
- Sommer, Markus (2012): RZ-Bunker kühlung Bremen. Machbarkeitsstudie. Unveröffentlicht.
- Statistisches Bundesamt (Destatis 2006): Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (Destatis 2012): Bauen und Wohnen. Baugenehmigungen / Baufertigstellungen von Nichtwohngebäuden 2011. Lange Reihen z.T. ab 1980. Wiesbaden.

- Stührmann, S.; Gleich, A. von; Brand, U.; Gößling-Reisemann, S. (2012): Mit dem Leitkonzept Resilienz auf dem Weg zu resilienteren Energieinfrastrukturen. In: Decker, M.; Grunwald, A.; Knapp, M. (Hrsg.): Der Systemblick auf Innovation - Technikfolgenabschätzung in der Technikgestaltung. editionsigma, Berlin.
- Stührmann, Sönke (2012): E-Mail vom 16.3.2012.
- swb-Gruppe (2012): Unser Wärmenetz. Online unter www.swb-gruppe.de vom 28.3.2012.
- swb-Gruppe (2012a): Produkte. swb Wärme Basis. Online unter www.swb-gruppe.de vom 28.3.2012.
- Thomas, Werner (2011): Gebäudetechnik Radio Bremen. Persönliches Gespräch am 6.12.2011.
- van den Dobbelen, Andy; Broersma, Sebe; Stremke, Sven (2011) Energy Potential Mapping for Energy-Producing Neighborhoods. In: SUSB Vol.2 No.2 Jun.2011 S. 170 – 176.
- VDKF (2007a): VDKF-Umfrage Geschäftsergebnis 2007. Niedersachsen. Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V. Online unter http://kaelteanlage.org/members/download/geschaeftergebnis_2007_niedersachsen.pdf vom 30. Mai 2008.
- VDKF (2007b): VDKF-Umfrage Geschäftsergebnis 2007. Bundesgebiet. Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V. Online unter http://www.vdkf.com/members/download/geschaeftergebnis_2007_bundesgebiet.pdf vom 30. Mai 2008.
- Waaden, Manuel von (2012): EWE-Energiedienstleistungen. E-Mail vom 2.4.2012.
- Wachsmuth, J.; Gleich, A. von; Gößling-Reisemann, S.; Lutz-Kunisch, B.; Stührmann, S.: Sektorale Vulnerabilität: Energiewirtschaft, in: Schuchardt, B.; Wittig, S. (Hrsg.) (2012): Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel, nordwest2050-Berichte 2, Bremen/Oldenburg.
- Wagner, H. 2008. Solare EnergieTechnik. Persönliches Interview am 9. Mai 2008 in Sulingen. Siehe Anhang 2: Interviews B1.
- Widera, R. 2008. ARS Energieberatung Oldenburg. Telefonisches Interview am 26. Mai 2008. Siehe Anhang 2: Interviews D.
- Wild, Yves (2011): Erste Betriebserfahrungen mit einer LiBr-Absorptionskälteanlage an Bord eines Schiffes. Vortrag auf dem Sprechtag "Energieeffiziente Klimatisierung von Schiffen" am 19.10.2011 in Bremerhaven. Online unter www.stg-online.org vom 11.4.2012.
- Wild, Yves (2012): Homepage. Schiffskältetechnik. Online unter www.drwild.de vom 11.4.2012.
- Wirtschaftsförderung Bremen (2011): Immobilienmarkt Report Bremen 2011. Online unter www.wfb-bremen.de vom 2.3.2012.
- Wirtschaftsförderung Oldenburg (2007): Gewerbeimmobilienbericht Oldenburg 2007. Online unter www.oldenburg.de vom 2.3.2012.
- Wirtschaftsförderung Osnabrück (2010): Büromarktbericht Osnabrück 2010. Online unter www.wfo.de vom 2.3.2012.
- Wojtan, Leszek (2011): E-Mail vom 18.4.2011.
- Wolfferts (2011): Dom Aquarrée, City Quartier, Berlin. Referenzbeispiel. Online unter <http://wolfferts-gruppe.de> vom 14.4.2011.

Yazaki (2003): Pursuing comfort and convenience with environmentally friendly technology. Firmenprospekt. Hamamatsu.

Zeidler, O.; Böttcher, O. (1998): Sanierungspotenzial von RLT-Anlagen. HLH Band 49 (1998) Nr. 3.