

Sustainable Cooling – nachhaltige Kühlung bei Hitze

Themenkurzprofil Nr. 43 | Simone Ehrenberg-Silies • Stephan Richter | Januar 2021

Am Ende dieses Jahrhunderts könnte die globale Erderwärmung 3°C gegenüber dem Niveau vor der Industrialisierung betragen. Die Risiken für die Gesellschaft infolge der globalen Erderwärmung liegen auf der Hand. Zu erwarten sind gesundheitliche Folgen wie die Zunahme von Herz-Kreislauf-Problemen bis hin zu steigenden Mortalitätsraten genauso wie die Unbewohnbarkeit ganzer Landstriche, darunter viele ärmere Weltregionen. Rund 1 Mrd. Menschen weltweit sind Risiken ausgesetzt, die sich aus dem unzureichenden Zugang zu Kühlung ergeben.

Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Kühlung, etwa für Wohn- und Bürogebäude, öffentliche Gebäude, Daten- und Rechenzentren sowie für Lebensmittel und Medikamente, deutlich steigen wird. Bereits heute verursachen konventionelle Kühlgeräte, wie Kühlschränke, Raumklimageräte und Kältemaschinen für die Industrie, 10% der globalen Treibhausgasemissionen. Wenn weiterhin auf konventionelle Weise gekühlt werden sollte, entstünde ein Teufelskreis, denn die klimabedingte erhöhte Nachfrage nach Kühlung würde zu höheren Treibhausgasemissionen führen. Insbesondere besteht die Gefahr, dass sich die derzeit ca. 2,2 Mrd. Menschen aus der global wachsenden Mittelschicht nur günstige und zumeist weniger energieeffiziente Kühlgeräte leisten können.

Innovationen in den Bereichen Technologie, Stadt- und Raumplanung sowie Dienstleistung fokussieren auf die Entwicklung effizienter und emissionsarmer Kühlungstechnologien und -konzepte, die Ermöglichung des Zugangs zu diesen Technologien für breite Bevölkerungsschichten sowie die Vermeidung übermäßiger Erhitzung einzelner Gebäude oder ganzer Städte. Als besonders energieeffizient und klima-

freundlich gelten Sorptionskältemaschinen für die direkte Kühlung von Gebäuden. Sie können mit Wasser als Kältemittel und mit Solarenergie oder industrieller Abwärme betrieben werden. Die Solarwärme kann z.B. mit thermischen Solarkollektoren erzeugt werden, die an der Fassade von Gebäudehüllen angebracht werden und so zur indirekten Kühlung dieser Gebäude zusätzlich beitragen. Eine klimasensitive Stadt- und Raumplanung kann die Hitzeinselbildung in urbanen Räumen reduzieren, indem sie beispielsweise ausreichend Frischluftkorridore gewährleistet und Begrünungskonzepte vorsieht und umsetzt. Geschäfts- und Finanzierungsmodelle wie Cooling as a Service (CaaS) ermöglichen auch finanzschwächeren Menschen in Schwellen- und Entwicklungsländern den Zugang zu Kühlungsdienstleistungen auf hoch-effizientem Technologieniveau.

Hintergrund und Entwicklung

Der Teufelskreis aus Erderwärmung und steigender Nachfrage nach Kühlung

Schon heute verursachen konventionelle Kühlgeräte, z.B. Kühlschränke, Raumklimageräte und Kältemaschinen für die Industrie, ein Zehntel der Treibhausgasemissionen weltweit. Dies entspricht mehr als dem Doppelten der Emissionen aus dem gesamten globalen Luft- und Seeverkehr. Infolge der Erderwärmung und der mit ihr einhergehenden Extremwetterereignisse wie Hitzewellen in Verbindung mit der Zunahme der Weltbevölkerung, der Urbanisierung und dem Wachstum der globalen Mittelschicht würden sich die Emissionen aus Kühlung bis zum Jahr 2030 verdoppeln und bis zum Jahr 2100 verdreifachen, wenn auf konventionelle Weise weiter gekühlt würde (UN Environment Programme 2019).

Allein der Energiebedarf für Raumkühlung würde sich bis 2050 verdreifachen und 37% des globalen Wachstums der Stromnachfrage ausmachen. Dafür müssten die für die Raumkühlung vorgesehenen Stromerzeugungskapazitäten von 850 GW im Jahr 2016 auf 3.350 GW im Jahr 2050 aufgestockt werden. Die nachgefragte Aufstockung belief sich auf den aktuellen Gesamtstrombedarf der USA, Europas und Indiens zusammen (Lalit 2020).

Es besteht die Gefahr eines Teufelskreises: Kühlung verschärft die Erderwärmung, indem die nötige Elektrizität im Wesentlichen immer noch aus fossilen Brennstoffen erzeugt wird, was zusätzliche Kohlenstoffdioxid(CO₂)-Emissionen verursacht. Zudem entweichen Kältemittel wie fluorierte Treibhausgase (F-Gase), deren Klimaschädlichkeit 100- bis 24.000-mal größer ist als die von CO₂ (UBA 2020; UN Environment Programme 2019). Gleichzeitig fördert die sich verschärfende Erderwärmung wiederum eine steigende Nachfrage nach Kühlung.

Die fortschreitende Klimaerwärmung und der damit verbundene Anstieg von Hitzeextremen und Hitzeperioden bergen bereits heute und mit zunehmender Tendenz Risiken für das körperliche Wohlbefinden und die Gesundheit. Hierfür sind hauptsächlich hohe Flüssigkeits- und Elektrolytverluste durch Schwitzen und die übermäßige Belastung des Herz-Kreislauf-Systems verantwortlich. Der menschliche Körper weist im Inneren eine Temperatur von annähernd 37°C auf, während die Körperoberflächentemperatur bei 35°C gehalten wird, um einen stoffwechselbedingten Wärmeausgleich zu ermöglichen. Aus dauerhaften Hauttemperaturen von über 37°C resultieren erhöhte, langfristig tödliche Körperkerntemperaturen von über 42°C. Aber auch Hitzeperioden mit anhaltenden Temperaturen über 35°C gelten als nicht mehr erträglich, weil der Körper dann keine Wärme an die Umwelt abgeben kann (Sherwood/Huber 2010, S.9552).

Hauptbetroffene von Hitze sind ältere Menschen, chronisch Kranke, Schwangere und Kleinkinder (Rylander et al. 2013; UBA 2019b). Auch die durchschnittliche Mortalitätsrate steigt in Jahren mit besonders vielen Hitzetagen. So sind in Deutschland in den Jahren 2006 sowie 2015 etwa 6.000 Menschen mehr gestorben, als ohne Hitzeperiode zu erwarten gewesen wäre. Steigende Temperaturen und Hitzeextreme beeinflussen zudem die Arbeitsproduktivität. Hierbei sind nicht nur Personen betroffen, die hauptsächlich im Freien arbeiten, sondern auch diejenigen, die in Innenräumen wie Büros arbeiten. In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass erhöhte Temperaturen zu einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit sowie einer abnehmenden Konzentrationsfähigkeit führen können (UBA 2019a). In Schwellen- und Entwicklungsländern, in denen der Zugang zu Kühlung häufig erschwert ist, stehen die Menschen überdies vor dem Problem, dass sie fast die Hälfte ihrer geernteten Lebensmittel aufgrund fehlender oder unterbrochener Kühlketten verlieren. Unterbrochene



Kühlketten sind nach Angaben der WHO darüber hinaus die Ursache für den jährlichen Verlust von einem Viertel der verfügbaren Flüssigimpfstoffe (University of Birmingham 2018, S.8).

Derzeit leben 1,02 Mrd. Menschen in Armut in den 54 von Hitze am stärksten betroffenen Ländern¹ ohne oder mit nur geringem Zugang zu Kühlung (Sustainable Energy for All | SEforALL o.J.b).

Je nachdem, welches der vom Weltklimarat diskutierten Representative-Concentration-Paths(RCP)-Szenarien zur Entwicklung von Treibhausgasemissionen zutrifft, könnten sich die Effekte der Erderwärmung in manchen Weltregionen bis 2100 beträchtlich verschärfen.

Laut einer jüngst veröffentlichten Studie müssten – in Abhängigkeit von der tatsächlichen Erderwärmung und dem Bevölkerungswachstum – zwischen 1 und 3 Mrd. Menschen in Gebieten mit einer mittleren Jahrestemperatur von über 29°C leben. Im Augenblick trifft dieses Temperaturniveau nur auf 0,8% der Erdoberfläche zu, im Wesentlichen auf die Sahara. 2070 könnten 19% der Erdoberfläche in Afrika, Australien, Lateinamerika, Indien und Südostasien betroffen sein, darunter die ärmsten Regionen der Welt mit entsprechend geringen Ressourcen für Anpassungsstrategien. Führt man sich vor Augen, dass sich die Menschheit in den letzten 6.000 Jahren vor allem in klimatischen Gebieten

1 Ägypten, Algerien, Angola, Argentinien, Bangladesch, Benin, Bolivien, Brasilien, Burkina Faso, China, Côte d'Ivoire, Dschibuti, Dominikanische Republik, Eritrea, Eswatini, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Indien, Indonesien, Iran, Irak, Jemen, Kambodscha, Kamerun, Kongo, Laos, Liberia, Malawi, Mali, Mauretanien, Marokko, Mosambik, Myanmar, Namibia, Niger, Nigeria, Pakistan, Papua-Neuguinea, Paraguay, Peru, Philippinen, Senegal, Somalia, Sri Lanka, Sudan, Südsudan, Thailand, Timor-Leste, Togo, Tschad, Uganda, Vietnam (Sustainable Energy for All | SEforALL o.J.a).

aufgehalten hat, deren mittlere Jahrestemperatur zwischen 11 und 15 °C lag, und dass dieses Temperaturspektrum auch die erforderlichen Voraussetzungen für Landwirtschaft, Viehzucht sowie für die nichtlandwirtschaftliche Wirtschaftsleistung bietet, wird die Dramatik der Situation bewusst (Xu et al. 2020, S.1351 ff.).

Dass die Folgen der globalen Erderhitzung auch in Deutschland bereits spürbar sind, zeigt der zweite Monitoringbericht zur Klimafolgenanpassung der Bundesregierung (UBA 2019b). Seit Beginn der Klimaaufzeichnung im Jahr 1881 hat sich die mittlere Lufttemperatur hierzulande bis 2018 um 1,5 °C erhöht. Dieser Wert übertrifft den mittleren globalen Temperaturanstieg im gleichen Zeitraum um 0,5 °C. Die Erhöhung der Jahresmitteltemperatur ging in Deutschland mit einem Anstieg von Hitzetagen mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C einher. Im Flächenmittel hat sich die Anzahl der heißen Tage zwischen 1951 und 2018 von etwa 3 auf ca. 10 Tage erhöht, wobei im Jahr 2018 mit 20 Hitzetagen die meisten jemals gemessenen Hitzetage registriert wurden (zum Vergleich: Vor 1994 gab es in Deutschland keinen einzigen Sommer mit mehr als 10 heißen Tagen im Landesdurchschnitt).

Insgesamt hat sich die Wahrscheinlichkeit für Hitzewellen im nördlichen Europa mehr als verdoppelt verglichen mit der Situation, in der es keinen anthropogenen Klimawandel gegeben hätte (Tagesschau.de 2018).

Innovationen zum Umgang mit dem steigenden Kühlungsbedarf

Für eine nachhaltigere, klimaverträglichere Kühlung kommen im Wesentlichen die folgenden Handlungsoptionen infrage: der Einsatz von effizienten und emissionsarmen Kühlungstechnologien, die Ermöglichung des Zugangs

zu diesen Technologien für breite Bevölkerungsschichten sowie die Vermeidung übermäßiger Erhitzung von Gebäuden und Innenstädten.

Die hier vorgestellten Beispiele sollen aufzeigen, dass nicht nur bestimmte technologische Innovationen einen Beitrag dazu leisten können, weltweit nachhaltig zu kühlen, sondern es ebenso auf innovative Ansätze in den Bereichen Stadt- und Raumplanung sowie Dienstleistung ankommt.

Aus diesem Spektrum werden im Folgenden mögliche Lösungen vorgestellt, die auf die Kühlung von Gebäuden und städtischen Umgebungen fokussieren.

Technische Innovationen

Auf Gebäudeebene bieten technische Innovationen zunehmend nachhaltige Lösungen, um gesundheitlich zuträglichere Raumtemperaturen auch in Hitzeperioden zu ermöglichen. Nachfolgend werden Sorptionskältemaschinen als weitverbreitetes Beispiel für nachhaltige Kühltechnologien zur direkten Kühlung dargestellt und die Rolle der Gebäudehülle zur indirekten Kühlung beschrieben.

Klimakälte nachhaltiger erzeugen

Die Raum- und Gebäudekühlung ist eine Möglichkeit, gesundheitlich zuträglichere Temperaturen im privaten und beruflichen Umfeld zu schaffen. In Deutschland wird diese Form der Kühlung als Klimakälte bezeichnet. Hierunter fallen alle kältetechnischen Anlagen zur Klimatisierung, die sich im Wesentlichen in die Bereiche Gebäude- sowie Fahrzeugklimatisierung unterteilen lassen, wobei im Folgenden auf die Gebäudeklimatisierung fokussiert wird. Die Klimakälte war zwischen 2009 und 2017 das am stärksten wachsende und energieintensivste Segment der Kältetechnik mit 26 % des Gesamtenergiebedarfs in Höhe von 22,7 TWh im Jahr 2017 (VDMA 2019, S.12).

Für die Klimatisierung von Gebäuden und Räumen kommen stationäre Systeme und mobile Klimageräte zum Einsatz. Neben Kompressionskältemaschinen, deren Klimabilanz vor allem durch den Stromverbrauch für den Betrieb sowie Leckagen von klimaschädlichen Kältemitteln bestimmt wird, sind auf dem Markt auch **Sorptionskältemaschinen** erhältlich. Letztere werden mit Wärmeenergie durch thermische Verdichtung angetrieben, wobei eine Temperatur von 65 bis 75 °C bereits ausreichend ist. Als (Ab-)Wärmequelle für Sorptionskältemaschinen bieten sich Blockheizkraftwerke, Fern- und Solarwärme an. Bei der Nutzung von (industrieller) Abwärme oder Solarwärme sind solche Sorptionskältemaschinen nicht nur sehr energieeffizient, sondern verursachen auch geringe Treibhausgasemissionen während des Betriebs. So können bei der Gebäudeklimatisierung bis zu 65 % der Endenergie gegenüber Kompressionskälteanlagen eingespart werden (Heinrich et al. 2014, S.173). Zudem wird bei der Gebäudeklimatisierung Wasser als Kältemittel genutzt, sodass



durch das Kältemittel keine klimaschädlichen Emissionen bei der Klimatisierung entstehen.

Absorptionskältemaschinen sind die am weitesten verbreiteten thermischen Kälteerzeuger (Morgenstern et al. 2016, S.4). Als Kältemittel zirkuliert Wasser in einem geschlossenen Kreislauf. Dieses wird verdampft, sodass der Umgebung Wärme entzogen und die Temperatur gesenkt wird. Anschließend wird mithilfe eines Absorptionsmittels der Kälte Dampf gebunden. Die Austreibung des Wassers aus dem Sorptionsmittel geschieht durch thermische Energie. Für die Gebäudeklimatisierung wird als Kälte- bzw. Sorptionsmittelpaarung Wasser und Lithiumbromid eingesetzt. Wenn Kühltemperaturen unter dem Gefrierpunkt von Wasser notwendig sind, kann als Kältemittel Ammoniak und Wasser für die Sorption genutzt werden. Mit ammoniakbasierten Absorptionsanlagen können Nutzttemperaturen von bis zu minus 60 °C erzeugt werden.

Adsorptionskältemaschinen unterscheiden sich vor allem durch die Nutzung eines festen Sorptionsmittels und die zyklische Betriebsweise von Absorptionsanlagen (Morgenstern et al. 2016, S.5). Als Kältemittel wird i.d.R. Wasser genutzt, das verdampft und von Aktivkohle, Zeolithe oder Silikagel adsorbiert wird. Der Kältemitteldampfstrom wird in Adsorptionsmaschinen bis zur Sättigung des Sorptionsmittels aufrechterhalten. Anschließend wird der Adsorber durch thermische Energie regeneriert und das Wasser ausgetrieben, um den Kälteprozess erneut starten zu können.

Integration der Gebäudehülle in Kühlkonzepte

Die Fassade, die den größten Teil der Gebäudehülle ausmacht, birgt ein großes Potenzial, um hauptsächlich passiv zur Kühlung des Gebäudes beizutragen bzw. einer Erhitzung entgegenzuwirken. Hierbei gilt es, vor allem zu isolieren und die Strahlungswärme abzuhalten. **Der Verzicht**

auf Glasfassaden ist dabei wohl der einfachste Weg, dem Eintrag von Strahlungswärme in das Gebäude entgegenzuwirken (Richter et al. 2014, S.26).

Durch die Ausstattung der Fassade mit **thermischen Solar-kollektoren** kann zudem Solarwärme erzeugt werden, die für den Betrieb von Sorptionskältemaschinen genutzt werden kann (Morgenstern et al. 2016). Die Nutzung solarer Wärme ist besonders interessant, weil Wärmebedarf und -angebot im Einklang stehen. Zudem kann an sonnigen Kältetagen die Solarwärme auch zum Heizen der Gebäude eingesetzt werden.

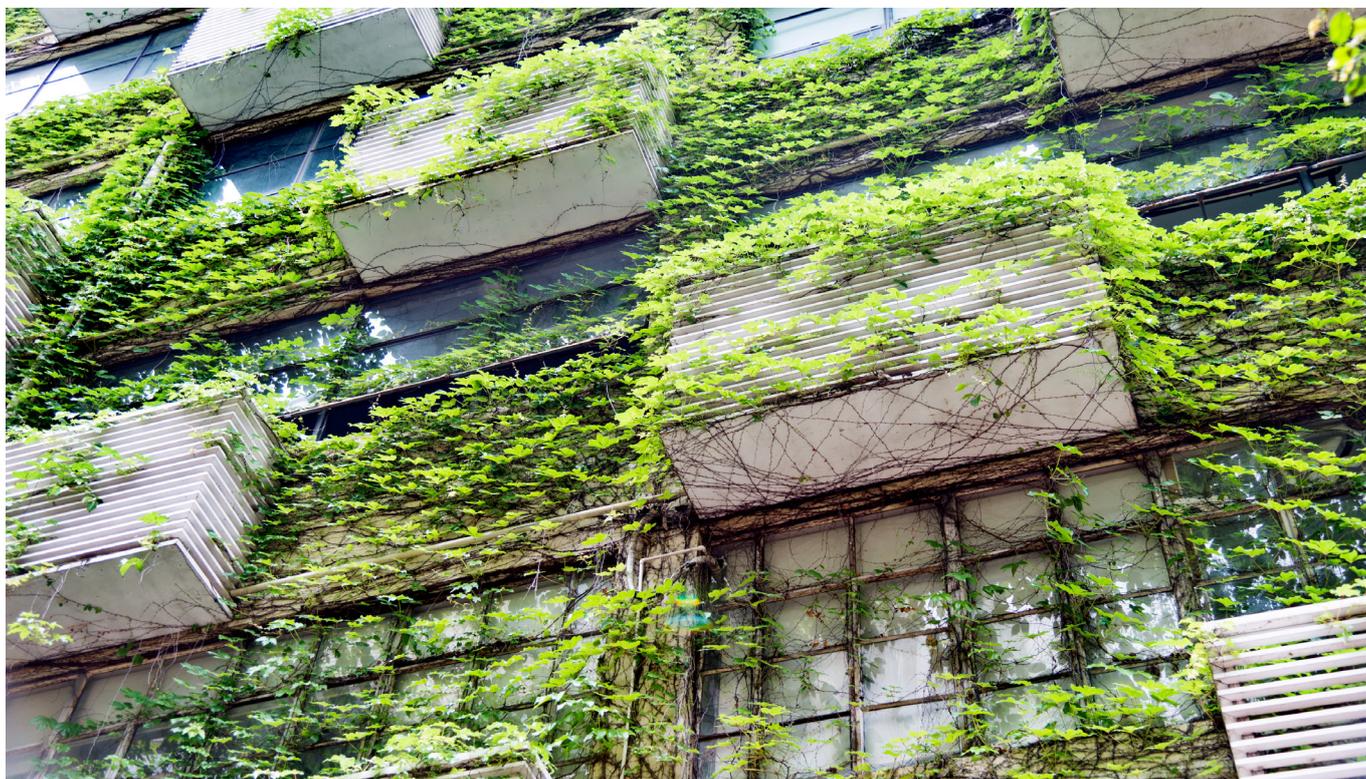
Die **Begrünung von Dächern und Fassaden** ist ein passives Kühlkonzept, das immer häufiger zusätzlich technisch unterstützt wird (Richter et al. 2014, S.28 f.). Hierbei wird durch zwei Effekte der Erhitzung eines Gebäudes entgegengewirkt: Einerseits agieren die Pflanzen als Verschattungselement, andererseits verdunsten sie über ihre Blätter Wasser und kühlen so das Gebäude wie auch die Umgebungsluft. So können Kälteanlagen bestenfalls ganz vermieden oder ihre Betriebstage reduziert werden. In besonders dicht bebauten Siedlungen und Städten kann durch die Verdunstung zudem das Klima im unmittelbaren Umfeld positiv beeinflusst werden. In den vergangenen Jahren sind neben die klassische Fassadenbegrünung mittels Kletterpflanzen auch sogenannte vertikale Gärten getreten. Hierfür werden beispielsweise bepflanzte Module an der Hauswand montiert. Ihr Vorteil: Sie sind auch für Gebäude mit einer Höhe über 10 m geeignet, in der Kletterpflanzen ihr Wachstumslimit erreichen. Vertikale Gärten sind allerdings wartungsintensiver als eine klassische Fassadenbegrünung.

Innovationen im Bereich Stadt- und Raumplanung: das Konzept der klimaangepassten Stadt

Als Alternative zum Einsatz konventioneller, aktiver Kühlungstechnologien wird seit Ende der 2000er Jahre zunehmend das Konzept der **klimaangepassten Stadt** diskutiert und umgesetzt, das sich u.a. am Leitbild einer Stadt mit ausreichend Frischluftkorridoren orientiert.

Städte sind stärker als das Umland von Hitze betroffen. Da sich Städte nachts in weitaus geringerem Maß als das Umland abkühlen, weisen sie im Vergleich dazu meist eine höhere Sterblichkeitsrate bei Hitzewellen auf. Die tatsächliche Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Land hängt von einer Reihe von Faktoren ab, wie Größe und geografische Lage der Stadt, Bodenversiegelungsgrad, Emissionen aus Abwärme, Luftverunreinigung und Dichte der bebauten Flächen (Lozán et al. 2019, S. 11 f.). Vor allem dicht bebaute Innenstädte mit wenig Stadtgrün kühlen sich nachts kaum ab (Kurmman/Kellerhoff 2020). In asiatischen und australischen Städten nutzen teils über 80% der Haushalte Klimaanlage, was nicht nur – wie zuvor beschrieben – einen negativen Effekt auf die Treibhausgasemissionen hat, sondern durch die plötzlich auftretenden Laständerungen im





Stromnetz zu lokalen Stromausfällen führen kann. Zudem verschärfen Klimageräte den Hitzeinseleffekt in Städten, indem sie Wärme aus der Wohnung in die ohnehin überhitzte Stadt befördern und selbst zusätzliche Wärme abstrahlen (Kurmamm/Kellerhoff 2020).

Das Umland hat für die klimaangepasste Stadt eine wichtige Funktion als Lieferant kühler und schadstofffreier Luft. Aufgrund vorhandener Bauwerke ist eine ideale Luftzirkulation in Städten im Nachhinein jedoch schwer herstellbar. Auch gewünschte Verdichtungen im Hinblick auf den Wohnungsbau stehen oftmals im Konflikt mit den Erfordernissen einer möglichst ungehinderten Luftzirkulation. Einen Lösungsansatz, um Verdichtung und Abkühlung in Einklang zu bringen, stellt eine intensivere Begrünung von z.B. Hinterhöfen, Fassaden und Dächern unter Einsatz der bereits beschriebenen passiven Kühlkonzepte dar, ebenso das Anlegen von Parks auf Konversionsflächen. Im Gegensatz zu versiegelten Flächen erzeugt die Sonnenenergie bei begrünten Flächen Verdunstung und entsprechend Verdunstungskälte und trägt daher weniger stark zur Erwärmung bei (Kurmamm/Kellerhoff 2020).

Allerdings kommt es auch bei Strategien der Stadtbegrünung darauf an, wie diese im Detail umgesetzt werden. Unter Umständen könnte es zu einem Zielkonflikt zwischen (Ab-)Kühlung einerseits und Luftqualität andererseits kommen. Mittelbar trägt die Erwärmung der Stadt nämlich zu einer besseren Luftqualität bei, da sie durch das Aufsteigen der warmen schadstoffreichen Luft die Luftzirkulation mit dem Umland antreibt. Durch Bäume in den Straßen könnte das Aufsteigen der warmen Luft eingeschränkt werden, was sich wiederum negativ auf die Luftqualität

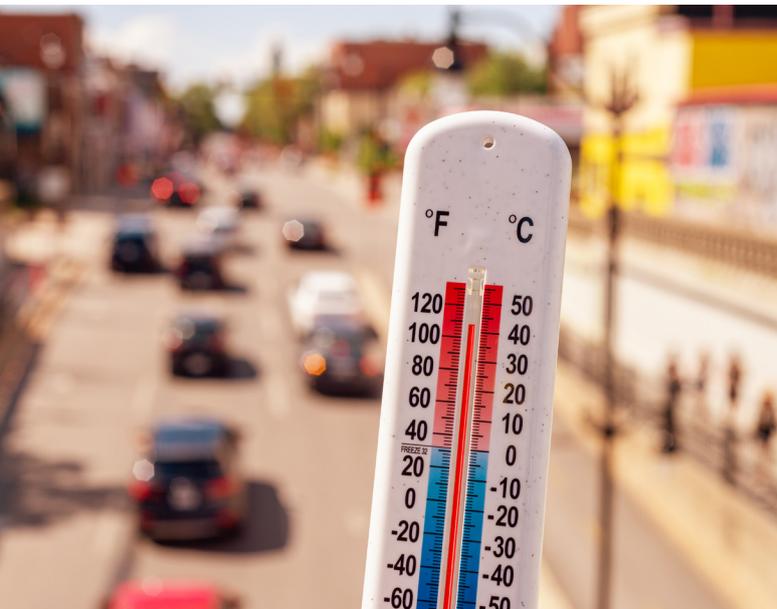
auswirken könnte. Die Umsetzung der klimaangepassten Stadt hängt also auch davon ab, wie sich die Mobilität in den nächsten Jahren verändert: z.B. in Richtung weniger Verbrennungsmotoren, einer Abnahme des Individualverkehrs, autonomen Fahrens und dadurch eines effizienteren Verkehrsflusses (Kellerhoff 2020).

Eine wichtige Funktion für die Realisierung der klimaangepassten Stadt haben präzise Stadtklimakarten, die als Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Bebauungspläne herangezogen werden können (Landeshauptstadt Potsdam 2019). Sie weisen sowohl Risikozonen für Hitze und Überschwemmungen als auch Kaltluftschneisen aus, durch die kühle Luft aus der ländlicheren Umgebung in die Innenstadt strömen kann. In diese Karten fließen zahlreiche Daten ein, u.a. zur Höhe von Gebäuden, zum Grad der Versiegelung oder zu Grün- und Geländeoberflächen (Kampe 2020, S.6).

Dienstleistungsinnovationen

Während die beschriebenen technologischen Innovationen und innovativen Ansätze im Bereich Stadt- und Raumplanung grundsätzlich weltweit zum Zweck einer nachhaltigeren Kühlung angewendet werden könnten, zielt die hier vorgestellte Dienstleistungsinnovation primär auf die Bedarfe der global wachsenden Mittelschicht.

Es wird erwartet, dass sich die asiatisch-pazifische Mittelschicht bis 2030 verdreifacht und mit 3 Mrd. Menschen ein Drittel der Weltbevölkerung stellen wird. Die sich verändernden Lebensstile und Bedarfe dieser wachsenden Mittelschicht werden die Nachfrage nach Kühlung erhöhen, sei es in Form von Klimaanlage, von Kühlketten für ver-



änderte Nahrungsmittelpräferenzen sowie für eine bessere medizinische Versorgung oder für die Kühlung von Rechenzentren für die digitale Wirtschaft (University of Birmingham o.J., S.3).

Die Gefahr besteht, dass sich vor allem die Gruppe der globalen unteren Mittelschicht mit mittlerem Hitzerrisiko den Kauf hocheffizienter Kühltechnologien selten individuell leisten können und deshalb häufig klimaschädlichere, aber kostengünstige Technologien nutzen muss (Sustainable Energy for All|SEforALL o.J.a, S.9f.). Die derzeit 2,2 Mrd. Menschen in dieser Gruppe leben von 10 US-Dollar oder weniger pro Tag, haben Zugang zu Elektrizität, können Ventilatoren nutzen und Lebensmittel im Haushalt kühlen, müssen aber mit unterbrochenen Kühlketten in der Lebensmittelproduktion und bei der Impfstoffversorgung leben.

CaaS ist ein innovatives Geschäfts- und Finanzierungsmodell, das an dieser Problemlage ansetzt und den Zugang von Menschen in Entwicklungs- und Schwellenländern zu Kühlungsdienstleistungen auf hocheffizientem Technologieniveau ermöglicht. Im Pay-per-Service-Modell CaaS bezahlen Kundinnen und Kunden lediglich die verbrauchte Kühleinheit und müssen keine Investitionen in Kühltechnologien leisten. Dadurch wird ihnen der Anreiz gesetzt, ihren Verbrauch möglichst effizient zu gestalten. Der Technologieanbieter wiederum hat ein beträchtliches Interesse daran, hocheffiziente Technologien mit geringem Energieverbrauch einzusetzen und diese nachhaltig zu warten, um eine hohe Rentabilität seiner Dienstleistung zu erzielen.

CaaS wird seit Anfang 2019 vor allem von der Basel Agency for Sustainable Energy (BASE)² sowie vom Kigali Cooling

Efficiency Program (K-CEP)³ vorangetrieben (Cooling as a Service Initiative o.J.a). Die Cooling as a Service Initiative (o.J.b) agiert dabei im Wesentlichen als Plattform, die an hocheffizienter Kühlung interessierte Kundschaft, Technologieprovider und Investoren zusammenbringt und diesen z.B. Musterverträge oder Berechnungsmodelle für die Gewährleistung der Wirtschaftlichkeit einzelner Vorhaben zur Verfügung stellt. CaaS-Projekte werden in der Dominikanischen Republik, in Jamaika, Südafrika und Mexiko realisiert. In Mexiko konnten beispielsweise mit einer auf Basis des CaaS-Modells betriebenen Kältemaschine innerhalb von 7 Jahren 18.000 t CO₂-Emissionen gegenüber dem Betrieb einer weniger effizienten Kältemaschine eingespart werden. Dies kommt den CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch von 1.945 Haushalten gleich (Global Innovation Lab for Climate Finance 2019, S.1).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Die Fallbeispiele machen deutlich, dass es nachhaltige Antworten auf einen zunehmenden Bedarf an Kühlung gibt, die an verschiedenen Aspekten ansetzen – von der Stadt- und Gebäudeplanung bis hin zu neuen Dienstleistungsangeboten. Vor dem Hintergrund der bereits wahrnehmbaren Erderwärmung bzw. der möglichen Erderwärmungsszenarien wäre es wünschenswert, wenn sich die hier beschriebenen Innovationen zügig weit verbreiten würden. In diesem Fall wäre ihr Beitrag zu einer nachhaltigen Kühlung durch die Verringerung von CO₂-Emissionen sehr wahrscheinlich am größten.

In Anbetracht der Tatsache, dass in Ländern wie Dubai mit einer Jahresmitteltemperatur von 27°C das Leben bereits heute im Wesentlichen in gekühlten Innenräumen stattfinden muss, wird deutlich, dass sie allenfalls Bausteine einer Anpassungsstrategie bei einer weiteren Zunahme der anthropogenen Erderwärmung sein könnten – wenn es denn überhaupt gelingt, umfassende und nachhaltige Kühlkonzepte für Gebiete mit extremen Temperaturen von über 29°C zu verwirklichen. Primäres Ziel muss daher die Einhaltung des 2-°C-Ziels des Pariser Klimaabkommens sein, sodass die Nachfrage nach Kühlungsleistung nicht ins Unermessliche steigt und weite Teile der Erde für Menschen unbewohnbar werden.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Aufgrund der aktuellen Entwicklungen und der erheblichen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Relevanz auf nationaler wie auch globaler Ebene

2 BASE ist eine Schweizer Stiftung, die Partnerin des United Nations Environment Programme ist.

3 K-CEP ist eine von der ClimateWorks Foundation verantwortete philanthropische Vereinigung, die die Kigali-Änderung des Montrealer Protokolls zur Reduzierung des Verbrauchs und der Produktion von Fluorkohlenwasserstoffen unterstützen möchte.

erscheint eine vertiefte Bearbeitung in Form einer Innovationsanalyse oder eines Monitoringprojekts lohnenswert. Eine vertiefende Analyse sollte nicht ausschließlich eine nationale oder europäische Perspektive einnehmen, sondern Möglichkeiten nachhaltiger Kühlungstechnologien und -strategien im globalen Kontext aufzeigen. Welche Rolle deutsche (Technologie-)Innovatoren dabei spielen, könnte ein gesonderter Untersuchungsaspekt sein. Neben der Kältetechnik für Klimatisierung könnten beispielsweise auch die Anwendungsbereiche Haushalts-, Industrie- und Supermarktkälte sowie Kältetechnik zur Nahrungsmittelherstellung in die Studie einbezogen werden. Ergänzend sollten Dienstleistungs- und soziale Innovationen, wie das CaaS-Modell, analysiert werden. Berücksichtigt werden sollten auch politische und soziale Rahmenbedingungen sowie Aspekte von Governance, die zur Umsetzung möglicher Maßnahmen zur nachhaltigen Kühlung der Zukunft beitragen können.

Literatur

- ▶ Cooling as a Service Initiative (o.J.a): Cooling as a Service Case Study. South African Fruit Packing Company Upgrades Ammonia System. www.caas-initiative.org/wp-content/uploads/2020/05/200525_SouthAfrica_new-1.pdf (16.2.2021)
- ▶ Cooling as a Service Initiative (o.J.b): CaaS. How it works. www.caas-initiative.org/how-it-works (16.2.2021)
- ▶ Heinrich, C.; Wittig, C.; Albring, P.; Richter, L.; Safarik, M.; Böhm, U.; Hantsch, A. (2014): Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie. UBA, Dessau-Roßlau
- ▶ Kampe, H. (2020): Stadtplanung im Klimawandel. Potsdam wappnet sich gegen Hitze und extreme Wetterereignisse. In: WISSENSCHAFT IM ZENTRUM, 26.9.2020, Potsdam, S. B6, https://pnn-abo.tagesspiegel.de/media/view/2020/09/wissenschaft_im_zentrum_3_2083.pdf (16.2.2021)
- ▶ Kellerhoff, P. (2020) Versiegelte Flächen drehen die Energieverteilung um. In: VDI Nachrichten 34/35, 21.08.2020
- ▶ Kurmann, F.; Kellerhoff, P. (2020): Damit Städte nicht ins Schwitzen kommen. In: VDI Nachrichten 34/35, 21.8.2020
- ▶ Lalit, R. (2020): These innovations could keep us cool without heating the planet. World Economic Forum, 16.1.2020, www.weforum.org/agenda/2020/01/these-innovations-could-keep-us-cool-without-heating-us-up/ (16.2.2021)
- ▶ Landeshauptstadt Potsdam (o.J.): Potsdam als Praxispartner im Forschungsprojekt „ExTrass“ der Universität Potsdam. www.potsdam.de/potsdam-als-praxispartner-im-forschungsprojekt-extrass-der-universitaet-potsdam (16.2.2021)
- ▶ Lozán, J.; Breckle, S.-W.; Graßl, H.; Kasang, D.; Matzarakis, A. (2019): Städte im Klimawandel. In: Lozán, J.; Breckle, S.-W.; Graßl, H.; Kuttler, W.; Matzarakis, A. (Hg.): Warnsignal Klima: Die Städte. Hamburg u.a.O., S.11–20
- ▶ Morgenstern, A.; Safarik, M.; Wiemken, E.; Zachmeier, P. (2016): Mit solarer Wärme kühlen. Konzepte und Technologien für die Klimatisierung von Gebäuden. FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, www.transforming-cities.de/wp-content/uploads/2016/07/themen_0316_internetx.pdf (16.2.2021)
- ▶ Richter, M.; Safarik, M.; Heinrich, C. (2014): Klimafreundliche Gebäudeklimatisierung. Ein Ratgeber für Architekten, Bauherren und Planer. UBA, Dessau-Roßlau
- ▶ Rylander, C.; Odland, J.; Sandanger, T. (2013): Climate change and the potential effects on maternal and pregnancy outcomes: an assessment of the most vulnerable – the mother, fetus, and newborn child. In: Global health action 6(1), DOI: 10.3402/gha.v6i0.19538
- ▶ Sherwood, S.; Huber, M. (2010): An adaptability limit to climate change due to heat stress. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107(21), S.9552–9555
- ▶ Sustainable Energy for All (o.J.a): Chilling Prospects 2020. Footnotes and References. www.seforall.org/chilling-prospects-2020/footnotes#6 (16.2.2021)
- ▶ Sustainable Energy for All (o.J.b): Global Access to Cooling in 2020. www.seforall.org/chilling-prospects-2020/global-access-to-cooling (16.2.2021)
- ▶ Tagesschau.de (2018): Hitzewelle in Europa: „Befinden uns mitten im Klimawandel“. Tagesschau.de, 28.7.2018, www.tagesschau.de/multimedia/video/video-430353.html (7.10.2020)
- ▶ The Global Innovation Lab for Climate Finance (2019): Cooling as a service (Magallón, D.; della Maggiora, C.; Motmans, T.; Hamza-Goodacre, D.). www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2020/07/Cooling-as-a-Service-CaaS_Instrument-Overview.pdf (16.2.2021)
- ▶ UBA (Umweltbundesamt) (2019a): IG-I-1: Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit. 26.11.2019, www.umweltbundesamt.de/ig-i-1-das-indikator#ig-i-1-hitzebedingte-minderung-der-leistungsfahigkeit (16.2.2021)
- ▶ UBA (2019b): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf (16.2.2021)
- ▶ UBA (2020): Emissionen fluoriertes Treibhausgas („F-Gase“). UBA, 6.7.2020, www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-fluoriertes-treibhausgas-f-gase#entwicklung-in-deutschland-seit-1995 (16.2.2021)
- ▶ UN Environment Programme (2019): What you should know about sustainable cooling. 17.7.2019, www.unep.org/cooling/

unenvironment.org/news-and-stories/story/what-you-should-know-about-sustainable-cooling (16.2.2021)

- ▶ University of Birmingham (2018): A Cool World – Defining the Energy Conundrum of „Cooling for All“. Birmingham, www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/Publications/2018-clean-cold-report.pdf (16.2.2021)
- ▶ VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.) (2019): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017, Frankfurt a.M., www.fuchs.com/fileadmin/schmierstoffe/Produkte/Lieferprogramm/Industrieschmierstoffe/Kaeltemaschinenoele/Energiebedarf_fuer_Kaeltetechnik_in_Deutschland_Herausgeber_Forschungsrat_Kaeltetechnik_e.V._im_VDMA.pdf (16.2.2021)
- ▶ Xu, C.; Kohler, T.; Lenton, T.; Svenning, J.-C.; Scheffer, M. (2020): Future of the human climate niche. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 117(21), S 11350–11355

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

Horizon
SCANNING

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expertenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: © iodrakon/iStock (S. 1); © AndreyPopov/iStock (S. 2); © traveler1116/iStock (S.3); © KangeStudio/iStock (S. 4); © baona/iStock (S. 5); © Marc Bruxelles/iStock (S. 6)

ISSN-Internet: 2629-2874