

Gefährdete Patienten schützen

# Stadtluft im Klimawandel – „Dusty and Hot“

Uta Liebers, Christian Witt – Charité–Universitätsmedizin Berlin

Die gesundheitlichen Risiken der Luftverschmutzung werden besonders in Innenstädten in Zeiten des Klimawandels verstärkt. Gefährdete Bevölkerungsgruppen wie Patienten mit Asthma bronchiale oder COPD müssen durch geeignete Strategien geschützt werden. Vier Maßnahmen werden hier vorgestellt.

Von Hitzestress sind urbane Räume, besonders Großstädte, betroffen. Die versiegelten Flächen und Gebäudeblöcke haben eine größere Wärmekapazität als natürliche Flächen; sie stauen die Wärme und produzieren damit ein als Hitze-Insel-Effekt bezeichnetes Phänomen [1]. Folglich liegen die maximalen Temperaturen in den Stadtzentren bis zu 11°C über denen der ländlichen Umgebung. In Berlin beträgt der Temperaturunterschied zum Brandenburger Umland bis zu 8°C. Die Hitze-inseln kühlen nachts weniger ab und lassen die Nachttemperaturen oft nicht unter 20°C sinken. Folglich nimmt die Zahl der tropischen Nächte (> 20°C) zu, was die Schlafqualität beeinträchtigt. Mit der Dauer einer Hitzeperiode verstärkt sich dieser Effekt und damit sowohl die Intensität als auch die Dauer der Belastung durch Hitzestress [2].

## Metropolenregionen – urbaner Hitzestress und Schadstoffbelastung

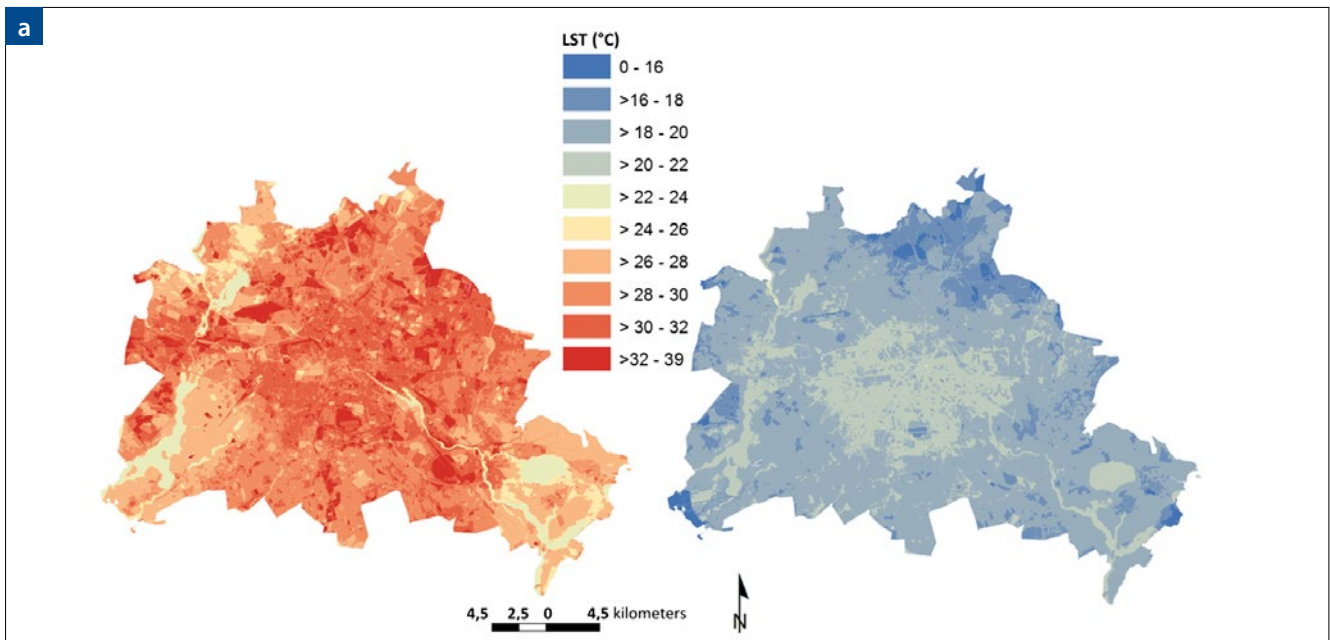
In der Metropolenregion Berlin wurde in den Jahren 2001 bis 2010 eine Exzessmortalität durch Hitzewellen von 5 % ermittelt, besonders betroffen waren ältere Menschen (> 65 Jahre) und dichter besiedelte Stadtbezirke [2]. Die altersbereinigten täglichen Mortalitätsraten ließen sich in Berlin bis auf die Straßenebenen bemessen. Hierbei zeigten sich Unterschiede zwischen den Wohngebieten. Während der heißen Hitzewellen im Juli 2006 und 2010 stieg das monatliche Mortalitätsrisiko in Berlin durchschnittlich auf 132 % gegenüber Jahren ohne Hitzewellen an, in einigen dicht besiedelten Gebieten der Innenstadt sogar bis auf 450 % [3]. Mithilfe einer solchen geografischen Zuordnung der hitzebedingten zusätzlichen Mortalität wurden in Berlin erstmals urbane Hotspots ausgemacht, in denen die dort lebende Bevölkerung besonders gefährdet ist [3].

Simultan zur Erwärmung der Erde verläuft die globale Urbanisierung, sodass die Auswirkungen des Klimawandels durch die weltweite Verstädterung weiter verschlimmert werden. Im Jahr 2014 lebten schon 54 % der Weltbevölkerung in Städten. Nach Prognose der Vereinten Nationen wird diese Zahl bis 2050 auf 66 % ansteigen [4].

Der in den Innenstädten vorzufindende Risikofaktor Luftverschmutzung während einer Hitzewelle wirkt sich besonders auf die vulnerable Gruppe der Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen aus [5]. Gleichzeitig zur Aufheizung steigt die Luftschadstoffkonzentration (►Abb. 1).



*Hitze und Luftverschmutzung – für Lungenkranke eine besonders risikoreiche Kombination.*



© Mit freundlicher Genehmigung aus [27]

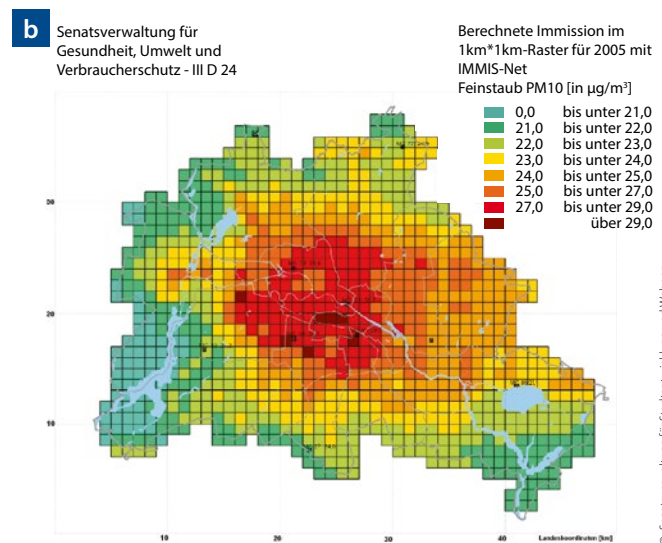
1 Hitzeinseleffekt in Berlin, Oberflächentemperatur um 10:00 Uhr (links) und 22:00 Uhr (rechts).

Die Gründe sind multifaktoriell. Meteorologisch wird die in den Städten erzeugte Luftschadstoffkonzentration aufgrund der geringen Luftzirkulation an heißen Tagen nicht abgeführt. Darüber hinaus steigt die Hintergrundkonzentration von Feinstaub aus der ländlichen Umgebung durch die Trockenheit und möglicherweise durch Waldbrände an [6]. Hochhäuser leiten Abgase von ihren Dächern durch Fallwinde und Luftverwirbelungen in Bodennähe und erzeugen lokale Schadstoff-Hotspots in angrenzenden Straßen [7]. Feinstaubpartikel (PM<sub>2.5</sub>), und auch Stickoxide gelangen durch Kühlung und Transport erhöhten Energieverbrauch in die Luft. Ebenso steigt die bodennahe Ozonkonzentration an.

Als Resultat einer durch Sonneneinstrahlung induzierten chemischen Reaktion wird die bodennahe Ozonkonzentration durch die Reaktion von Stickoxiden und Wasser weiter erhöht [6]. Unter Sonneneinstrahlung ändern sich auch die chemischen Eigenschaften der Feinstaubpartikel. So bilden als Aerosol vorliegende organische Substanzen („volatile organic compounds“), z. B. Ammoniakverbindungen, die vornehmlich durch landwirtschaftliche Nutzung (Düngemittel, Tierhaltung) in die Atmosphäre gelangen, im Sonnenlicht ebenfalls Ozon und oxidative Radikale. Diese lösen in wässriger Lösung z. B. im Respirationstrakt oxidativen Stress aus und wirken irritativ auf die Atemwege [8]. Ozon verändert Proteine, die als organische Stäube in der Atemluft vorkommen, in allergene Substanzen und kann dadurch zu erhöhten Allergenbelastungen beitragen [9]. Folglich sind Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen durch die Synergie von Hitzestress und Luftschadstoffbelastung in urbanen Regionen besonders betroffen (►Abb. 2).

### Klimawandel und Sterblichkeit

Zwischen 1880 und 2012 hat sich die Erde um 0,85°C erwärmt, ein weiterer Temperaturanstieg von insgesamt 2°C wird bis 2050 prognostiziert [4]. Eine bereits wahrnehmbare und gesundheitlich relevante Veränderung des Klimas in Mitteleuropa ist das

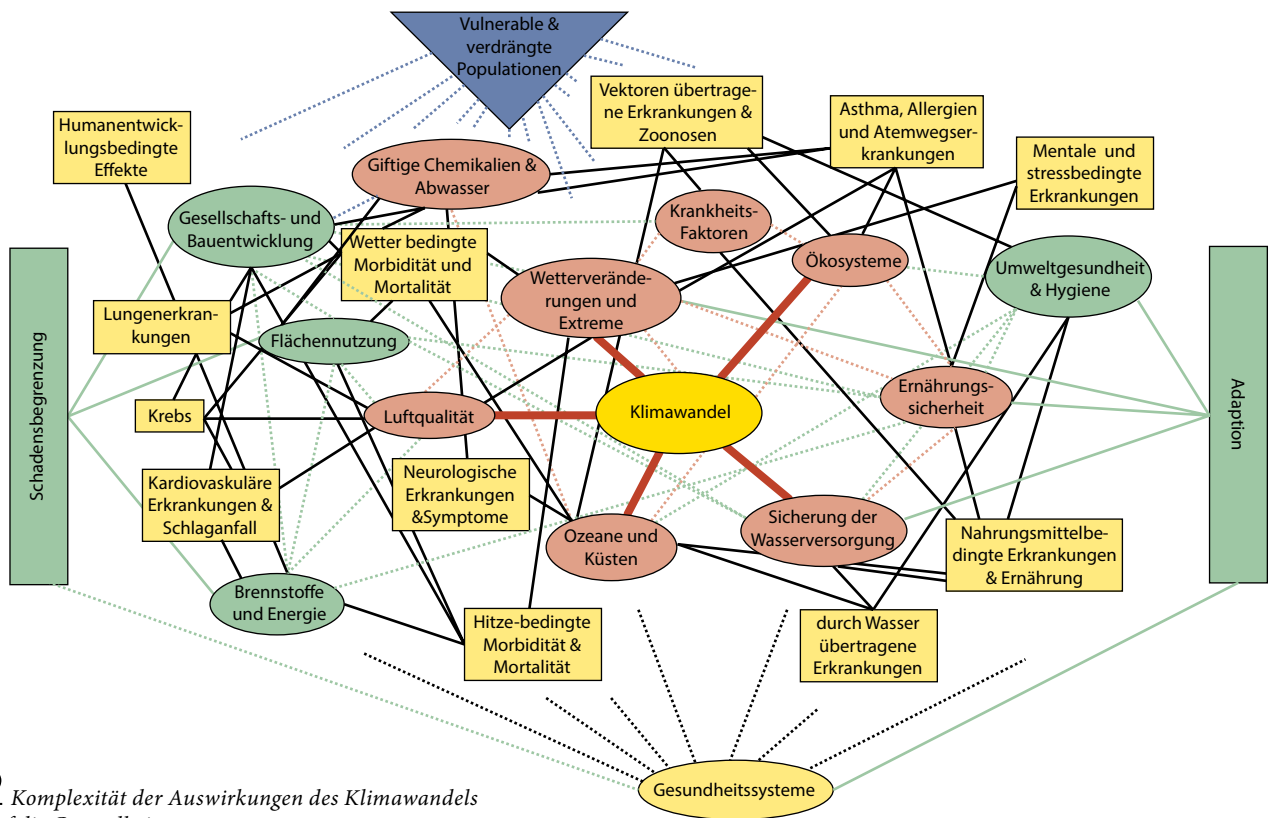


© Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin

1 Feinstaubbelastung in Berlin (PM<sub>10</sub> Jahresmittel 2005).

gehäufte Auftreten von Hitzewellen. Die letzten drei Dekaden von 1983 bis 2012 waren die heißesten drei Jahrzehnte seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. So wurden in der Schweiz 2003 und 2015 die wärmsten Sommer der letzten 150 Jahre dokumentiert mit einer Exzessmortalität von 6,9 % bzw. 5,4 % [10, 11]. Die derzeit führenden Klimamodelle prognostizieren, dass ab 2050 circa 50 % aller zukünftigen Sommer mit Hitzewellen verlaufen werden. Dabei wird sowohl die Frequenz als auch die Intensität der Hitzewellen zunehmen [12, 13]. Die gesundheitsrelevante Dimension einer Hitzeperiode ist von den langjährigen klimatischen Verhältnissen der Region abhängig.

Eine Hitzewelle ist charakterisiert als Periode von mehr als vier zusammenhängenden Tagen mit täglicher Durchschnittstemperatur oberhalb der 98-Perzentile der Region [14].



© Nich Porter Cj et al. Environmental Health Perspectives 2010

2 Komplexität der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit.

Die bisher umfangreichste Studie zur Relation zwischen Temperatur und Sterblichkeit wurde 2015 von Gasparrini im Lancet veröffentlicht [15]. Für den Untersuchungszeitraum 1985 bis 2012 ließen sich die meisten Todesfälle eher kühleren Temperaturen außerhalb extremer Wetterereignisse zuordnen. Im Rahmen des Klimawandels wird sich die Risikoverteilung hin zu extremen Wetterereignissen, sowohl Hitze- als auch Kältewellen, verschieben [4].

Darüber hinaus stellt der plötzliche Anstieg von Morbidität und Mortalität um 8,9 bis 12,1 % während einer Hitzewelle [15] eine besondere Herausforderung für die Gesundheitssysteme der Zukunft dar. Für die einzelnen Regionen lässt sich eine optimale Tagesdurchschnittstemperatur mit der geringsten Sterblichkeitsrate ermitteln (z. B. London 19°C, Madrid 22°C) [16]. Die Mortalität steigt bei Temperaturen unterhalb des Optimums zunächst langsam kontinuierlich an. Adaptiv greifen hier vor allem soziokulturelle und technische Faktoren. Der Anstieg der kältebedingten Mortalität ist weniger steil in Regionen mit strengen Wintern und entsprechender Adaptation durch Kleidung und Heizung wie Nordeuropa, während die Sterblichkeit bei Minusgraden im Mittelmeerraum steiler ansteigt.

Hitze hingegen führt in allen Regionen zu einem exponentiellen Anstieg der Sterblichkeit: Das tägliche Sterberisiko steigt bereits bei einem Temperaturanstieg von 1°C über der Sommermitteltemperatur um 0,4 bis 3,4 % [14]. Die Bevölkerung kann dem Hitzestress im Unterschied zum Kältestress weniger ausweichen oder auf technische Adaptation zurückgreifen. Vielmehr ist die physiologische Adaptationskapazität begrenzt. Daher ist die Exzessmortalität bei der ersten Hitzewelle des Jahres größer als im weiteren Verlauf des Sommers. Dieses vielfach do-

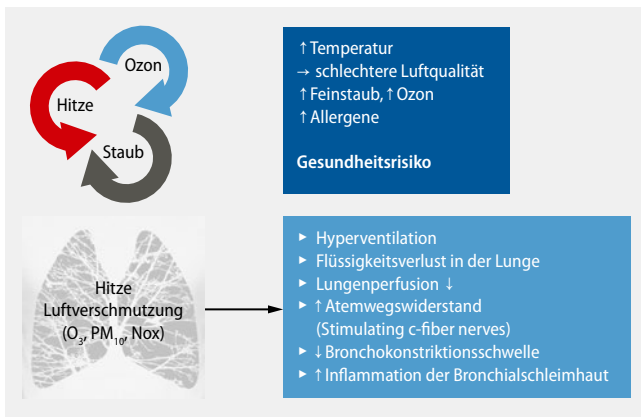
kumentierte Phänomen wird zum einen durch das fehlende Gefahrenbewusstsein der Bevölkerung und die noch fehlende physiologische Adaptation im Frühsommer und zum anderen durch einen „Harvesting Effekt“ der Personen mit eingeschränkter Adaptationskapazität erklärt [14, 15].

**Auswirkung von Hitzestress auf COPD-Patienten**

Physiologisch kompensiert der Organismus den Hitzestress mit erhöhter Wärmeabgabe. Die dazu nötige gesteigerte Hautdurchblutung und die Verdunstungskühlung mittels Evaporation und Transpiration erfordern ein höheres Herz-Zeit-Volumen und eine verstärkte Ventilation. Die gesteigerte Atemarbeit führt zu einem erhöhten Flüssigkeitsverlust in den Lungen, zur Verminderung der Lungenperfusion, zur Stimulation der C-Fasern in den Atemwegen und damit zur Absenkung der Bronchokonstriktionsschwelle (►Abb. 3).

Besonders bei Patienten mit Asthma, aber auch bei gesunden Probanden wurden erhöhte Atemwegswiderstände bei Hitzeexposition gemessen [17, 18]. Bei Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen kann dieser Mechanismus Exazerbationen triggern. Darüber hinaus bedingt die höhere Atemfrequenz mehr Totraumatemung und damit eine herabgesetzte Atemeffizienz. Patienten mit fortgeschrittener COPD können aufgrund einer stark eingeschränkten Atemkapazität ihre Atemfrequenz kaum noch steigern und erschöpfen die Atemmuskulatur.

Die Anwendung bronchodilatatorischer Notfallmedikamente bewirkt bei diesem Pathomechanismus kaum Symptomlinderung. Im Gegenteil, der betamimetische Effekt am Herzen kann die Dyspnoe besonders bei kardialer Komorbidität oder sekundärer pulmonaler Hypertonie verstärken. Deshalb leiden



### 3 Pathophysiologie des Hitzestresses an der Lunge.

Patienten mit COPD während der heißen Tage unter Belastungsdyspnoe und Mobilitätsverlust. Patienten mit pulmonaler arterieller Hypertonie im Stadium NYHA II–III aus dem Raum Berlin zeigten eine signifikante Absenkung der täglichen Schrittzahl um ca. 30 % bereits ab einer Tageshöchsttemperatur über 25°C [19].

Eine erhöhte Anzahl notfallmäßiger Krankenhauseinweisungen für Patienten mit COPD wurde mehrfach belegt. Bisherige europaweite Studien zeigen, dass die Notfallkonsultationen und Hospitalisierungen häufiger bei Atemwegserkrankungen, als wie primär erwartet bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen auftraten [16]. An heißen Tagen steigen die Notaufnahmen wegen Atemwegserkrankungen signifikant an (►Abb. 4). Die größte Studie mit 12,5 Millionen Patienten wertete den Zusammenhang von Temperatur und Anzahl der Notaufnahmen über 9 Jahre (1999 bis 2008) in 213 US-Counties aus. Es zeigt sich ein Anstieg der Notaufnahmen um 4,3 % je 10°F Erhöhung der Tagesdurchschnittstemperatur. Der Effekt war ausgeprägter in Gegenden mit niedrigeren Sommertemperaturen [21].

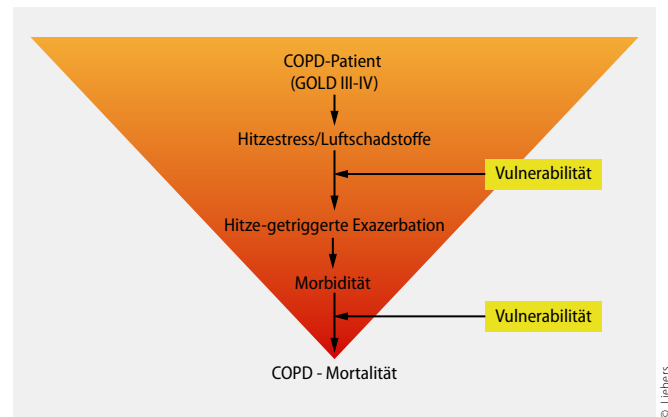
Eine Hochrechnung für den Staat New York prognostiziert unter Zugrundelegung unterschiedlicher Klimamodelle einen zwei- bis sechsfachen Anstieg hitzeassoziiertes stationärer Aufnahmen wegen Atemwegserkrankungen am Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum Ende des 20. Jahrhunderts. Damit kommen zukünftig erhebliche Herausforderungen auf das Gesundheitssystem und besonders auf die pneumologisch tätigen Ärzte zu [22].

#### Adaptationsstrategien im urbanen Raum

Hitzewellen treffen in Mitteleuropa auf eine nicht adaptierte Bevölkerung, deren physische Adaptationskapazität gegenüber Hitze im Rahmen des demografischen Wandels zunehmend durch Alter und chronische Krankheiten eingeschränkt ist. Die Adaptationsstrategien umfassen folgende Maßnahmen:

1. Steigerung des Gefahrenbewusstseins,
2. Patientenführung (Notfallplan, Klima-adaptierte Medikation, ggf. Telemedizin),
3. Soziale Vernetzung vulnerabler Personen und
4. Bauliche Maßnahmen (Innenraumkühlung).

Bereits 1995 veröffentlichten Semenza et al. eine Fall-Kontroll-Studie über hitzeassoziierte Todesfälle während einer extremen Hitzewelle in Chicago [22]. Dabei wurden neben gesundheitli-



### 4 COPD-Modell für Hitze-getriggerte Morbidität und Mortalität.

chen auch soziale Risikofaktoren adressiert: Bettlägerigkeit, Pflegebedürftigkeit und soziale Isolation. Protektiv wirkten Klimaanlage in der Wohnung und die Steigerung des Gefahrenbewusstseins beispielsweise durch Warnhinweise in den Medien. [23]. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangten Zang et al, die eine Hitzewelle in der Metropolenregion Adelaide (Australien) im Jahre 2009 ausgewertet hatten [24]. In einer Fall-Kontroll-Studie wurden Alleinleben und das Vorhandensein einer chronischen Herzkrankheit als Risikofaktoren für die Mortalität identifiziert. Eine Kühlung der Schlafräume und die Teilnahme an sozialen Aktivitäten häufiger als einmal wöchentlich wirkten präventiv.

#### Besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen identifizieren

Folglich müssen vulnerable Bevölkerungsgruppen identifiziert und qualifiziert werden. Die wissenschaftliche Datenlage spricht für eine besondere Gefährdung der Patienten mit mittelschwerer und schwerer COPD, während einer Hitzewelle zu exazerbieren.

Gefahrenbewusstsein setzt einerseits eine risikoorientierte mediale Information über die Wetterprognose, andererseits Krankheitskompetenz und Compliance des Patienten voraus. In die strukturierten Schulungen von Asthma- und COPD-Patienten, die bereits Bestandteil des Disease Management Programms (DMP) sind, sollten klimatische Gefahren und entsprechende Verhaltensmaßnahmen aufgenommen werden.

#### Körperliche Aktivität ggf. einschränken

Im Fokus der Verhaltensmaßnahmen bei Hitze stehen eine protektive Reduktion körperlicher Aktivitäten zur Senkung der Atemarbeit vor allem in den heißen Tagesstunden, passive Kühlung der Wohnräume durch Lüften und Sonnenschutz, gezielte Nutzung von Raumkühlung (Fahrzeug, öffentliche Räume), ausreichende Flüssigkeitszufuhr, Verzicht auf schwer verdauliche Nahrung und aktive Kontaktaufnahme zu potenziell hilfeleistenden Personen. Wichtig ist zudem ein Selbstmonitoring von Vitalparametern und Peakflow, um ggf. nach entsprechender Schulung die Gabe von Diuretika und die Nutzung von kurz wirksamen Bronchodilatoren individuell anzupassen bzw. medizinische Hilfe zu suchen. Bereits jetzt werden in Pflegeheimen und Krankenhäusern Hitzepläne, Risikoscreening und

Hinweise für die betreuten Personen erarbeitet und in die pflegerische Ausbildung integriert (z. B. Projekt Klimaanpassungsschule in Berlin).

### Soziale Vernetzung

Die soziale Vernetzung ist zunächst eine Aufgabe der Betroffenen und ihres sozialen Umfeldes. Jedoch können medizinische Angebote wie Lungensport, Selbsthilfegruppen, Internet-basierte Angebote bereits erste Schritte zur Vernetzung und Steigerung der Krankheitskompetenz vermitteln.

Über individuelle Maßnahmen und ärztliche Beratung hinaus konnten wir in einem BMBF-geförderten Projekt (KLIMZUG, INKA-BB) nachweisen, dass auch telemedizinisches Monitoring die Zahl hitzebedingter Exazerbationen von COPD-Patienten signifikant senken können [25].

### Räumlichkeiten anpassen

In Deutschland wird bisher kaum eine technische Adaptation durch bauliche Maßnahmen wie Strahlungsschutz oder Fassadenbegrünung bzw. Innenraumklimatisierung vorgehalten – weder in der häuslichen Umgebung noch am Arbeitsort oder im öffentlichen Raum. Selbst Krankenhäuser verfügen meist nur in Operationssälen und Intensivstationen über Klimaanlage.

Die Hypothese, dass eine optimierte Innenraumkühlung des Krankenzimmers die Rekonvaleszenz bei hitzeinduzierter Exazerbation der COPD verkürzt, prüften wir im Rahmen eines DFG-geförderten Projektes. Dazu wurden zwei Patientenzimmer der pneumologischen Station mit einer konvektionsfreien Innenraumkühlung ausgerüstet (Kühldecken, Klima Cooling Inc.) und die Patienten randomisiert einem gekühlten bzw. konventionellen Patientenzimmer zugewiesen. Während in den gekühlten Zimmern konstant 23°C herrschten, stieg die maximale Temperatur in den konventionellen Krankenzimmern bis auf 32°C. Im Ergebnis wurden die Patienten im gekühlten Zimmer deutlich früher mobil (gemessen mittels Activity Tracking) und konnten eher entlassen werden (durchschnittliche Verweildauer um ca. einen Tag kürzer im klimatisierten Krankenzimmer).

Untersuchungen mittels Monitoring von EKG und Atemfrequenz wiesen auf eine sympathikotone Überaktivierung mit Tachykardie, Tachypnoe und verstärkter kardiorespiratorischer Kopplung auch während der Nachtstunden hin. Dieser Pathomechanismus reduziert die Kompensationsfähigkeit des Organismus auf Hitzestress und könnte somit zur hitzegetriggerten Exazerbation der COPD beitragen. Der Einfluss der Medikation auf die Sympathikusaktivierung ist Gegenstand weiterer Untersuchungen unserer Arbeitsgruppe.

Hinsichtlich des Phänotyps der durch Hitze gefährdeten COPD-Patienten wurden über 400 Patienten untersucht, die wegen einer Exazerbation der COPD in ein innenstädtisches Berliner Krankenhaus eingewiesen wurden. Patienten mit hitzegetriggerten Exazerbationen wiesen ein geringeres Durchschnittsalter auf als Patienten, die während der kühleren Jahreszeiten exazerbierten.

Weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu Lungenkrankheiten in Zeiten des Klimawandels sind erforderlich, um gefährdete Populationen genauer zu definieren, regionale „Hotspots“ zu identifizieren und Adaptationsstrategien zu implementieren.

Die deutsche Akademie der Technikwissenschaften hat 2012 ein Positionspaper mit Vorschlägen für relevante Anpassungs-

strategien an den Klimawandel und mögliche Marktchancen in Deutschland veröffentlicht [26]. Diese beinhalten die geowissenschaftliche Erfassung und Modellierung der Klimaveränderung, besonders in urbanen Hitzeinseln (städtische Agglomerationsräume), prospektive klinische Studien von Seiten der Gesundheitswissenschaften hinsichtlich Vulnerabilität, bis hin zur technischen Entwicklung und Implementierung spezifischer hitzestressorientierter Frühwarn- und Interventionssysteme für gefährdete Patientengruppen. Technologieentwicklungen der Patientenführung wie Telekommunikation und Telemedizinmonitoring sollten unterstützt werden.

In der Konsequenz geht es auch um die bauliche Entwicklung eines „klimaangepassten“ Krankenhauses sowie u. a. eine Modell-Klimatisierung von Patientenzimmern als relevante Anpassungsstrategie und mögliche Marktchancen. Auch die Therapie selbst könnte im Sinne einer klimaadaptierten Arzneimittel-Therapie entwickelt werden.

### Fazit

Infolge des Klimawandels wird in den nächsten Jahrzehnten voraussichtlich jeder zweite Sommer mit Hitzewellen verlaufen. Der Hitzestress ist, bedingt durch den Hitzeinseleffekt, in urbanen Zentren besonders belastend. Zusätzlich verschlechtert sich die innerstädtische Luftqualität wegen erhöhter Konzentrationen von Feinstaub, NO<sub>x</sub> und Ozon, was eine inflammatorische Reaktion in der bronchialen Mukosa induziert und die Bronchokonstriktionsschwelle absenkt.

Deshalb können die Kombination aus Hitzestress und Luftschadstoffen bei COPD-Patienten Exazerbationen auslösen und nachweislich zu einem Anstieg stationärer Aufnahmen und der Mortalität an Hitzetagen führen. Folglich sind vulnerable Patienten zu identifizieren und hinsichtlich präventiver Maßnahmen zu schulen (hitzeadaptiertes Verhalten und Medikation). Darüber hinaus sollten technische Entwicklungen zur Patientenführung wie Telemedizin und innovative Krankenzimmerklimatisierung gefördert werden.



Univ.-Prof. Dr. med. Christian Witt

Arbeitsbereich Ambulante Pneumologie  
Charité – Universitätsmedizin Berlin  
Charitéplatz 1, 10117 Berlin



Dr. med. Uta Liebers

Arbeitsbereich Ambulante Pneumologie  
Charité – Universitätsmedizin Berlin  
Charitéplatz 1, 10117 Berlin

Literatur

1. Gabriel KM, Endlicher WR. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environ Pollut.* 2011;159(8-9):2044–50
2. Scherer D, Fehrenbach U, Lakes T, Lauf S et al. Quantification of heat stress hazards, vulnerabilities and risks in cities – the example of heat-stress related mortality in Berlin, Germany. *Die Erde.* 2013;144(3–4):238–59
3. Schuster C, Burkart K, Lakes T. Heat mortality in Berlin – Spatial variability at the neighborhood scale. *Urban Climate.* 2014;10:134–47
4. Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J et al. Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet.* 2015;386:1861–914
5. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adey O et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet.* 2017; [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
6. Doherty RM, Heal MR, O'Connor FM. Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environ Health.* 2017;16(Suppl 1):118
7. Aristodemou E, Boganege LM, Mottet L, Pavlidis D et al. How tall buildings affect turbulent air flows and dispersion of pollution within a neighbourhood. *Environ Pollut.* 2017;233:782–96
8. Lelieveld J. Clean air in the Anthropocene. *Faraday Discuss.* 2017;200:693–703
9. Lelieveld J, Evans SJ, Fnais M, Giannadaki D et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature.* 2015;525:367–71
10. Vicedo-Cabrera AM, Ragettli MS, Schindler C, Röösli M. Excess mortality during the warm summer of 2015 in Switzerland. *Swiss Med Wkly.* 2016;146:w14379; <https://doi.org/10.4414/smww.2016.14379>
11. Ragettli MS, Vicedo-Cabrera AM, Schindler C, Röösli M. Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environ Res.* 2017;158:703–9
12. Duffy PB, Tebaldi C. Increasing prevalence of extreme summer temperatures in the U.S. *Climatic Change.* 2012;111(2):487–95
13. Meehl GA, Tebaldi C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science.* 2004;305(5686):994–7
14. Witt C, Schubert AJ, Jehn M, Holzgreve A et al. The effects of climate change on patients with chronic lung disease—a systematic literature review. *Dtsch Arztebl Int.* 2015;112(51-52):878–83
15. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet.* 2015;386:369–75
16. Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, D'Ippoliti D. High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med.* 2009;179(5):383–9
17. Aitken ML, Marini JJ. Effect of heat delivery and extraction on airway conductance. *Am Rev Respir Dis.* 1985;131(3):357–61
18. Hayes DJ, Collins PB, Khosravi M, Lin RL et al. Bronchoconstriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma: role of cholinergic reflex. *Am J Respir Crit Care Med.* 2012;185(11):1190–6
19. Jehn M, Gebhardt A, Liebers U, Kiran B et al. Heat stress is associated with reduced health status in pulmonary arterial hypertension: a prospective study cohort. *Lung.* 2014;192(4):619–24
20. Anderson CB, Dominici F, Wang Y, McCormack MC et al. Heat-related emergency hospitalizations for respiratory diseases in the Medicare population. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;187(10):1098–103
21. Lin S, Hsu WH, Van Zutphen AR, Saha S et al. Excessive heat and respiratory hospitalizations in New York State: estimating current and future public health burden related to climate change. *Environ Health Perspect.* 2012;120(11):1571–7
22. Semenza JC, Rubin CH, Falter KH, Selanikio JD et al. Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *N Engl J Med.* 1996;335(2):84–90
23. Naughton MP, Henderson A, Mirabelli MC, Kaiser R et al. Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med.* 2002;22(4):221–7
24. Zhang Y, Nitschke M, Krackowizer A, Dear K et al. Risk factors for deaths during the 2009 heat wave in Adelaide, Australia: a matched case-control study. *Int J Biometeorol.* 2017;61(1):35–47
25. Jehn M, Donaldson G, Kiran B, Liebers U et al. Tele-monitoring reduces exacerbation of COPD in the context of climate change—a randomized controlled trial. *Environ Health.* 2013;12:99
26. acatech (Hrsg.): Anpassungsstrategien in der Klimapolitik (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012
27. Dugord PA, Lauf S, Schuster C, Kleinschmit B. Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – The case study Berlin, Germany. *Comput Environ Urban Syst.* 2014;48:86–98