

2 Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch den Klimawandel

Thomas Bein

Der Klimawandel ist Fakt, die globale Erderwärmung ist in vollem Gange. Unter diesen Bedingungen werden regionale und saisonale Hitzewellen und/oder Naturkatastrophen (Überschwemmungen, großflächige Waldbrände, Dürreperioden) zunehmend zum Alltag gehören, bzw. sie sind schon im täglichen Leben angekommen. Durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) werden jährlich bis zu 250.000 zusätzliche Todesfälle erwartet, die als Folgen des Klimawandels einzuordnen sind (1). Der Klimawandel hat erhebliche Implikationen für die menschliche Gesundheit. Die Folgen des Klimawandels für das Auftreten neuer oder zusätzlicher Erkrankungen steht in den letzten Jahren zunehmend im Interesse epidemiologischer und klinischer Forschung. Im Rahmen von Hitzewellen und Naturkatastrophen entstehen neue Erkrankungsmuster, die sich auf das respiratorische System, auf Nierenfunktionsstörungen, auf neurologisch-kognitive Krankheiten, auf kardiovaskuläre Störungen, sowie auf – für europäische Länder bislang ungewöhnliche – Infektionskrankheiten (s. Abb. 1) beziehen (2; 3). Diese Veränderungen haben unmittelbare Relevanz für die Intensivmedizin, die in diesem Beitrag skizziert werden.

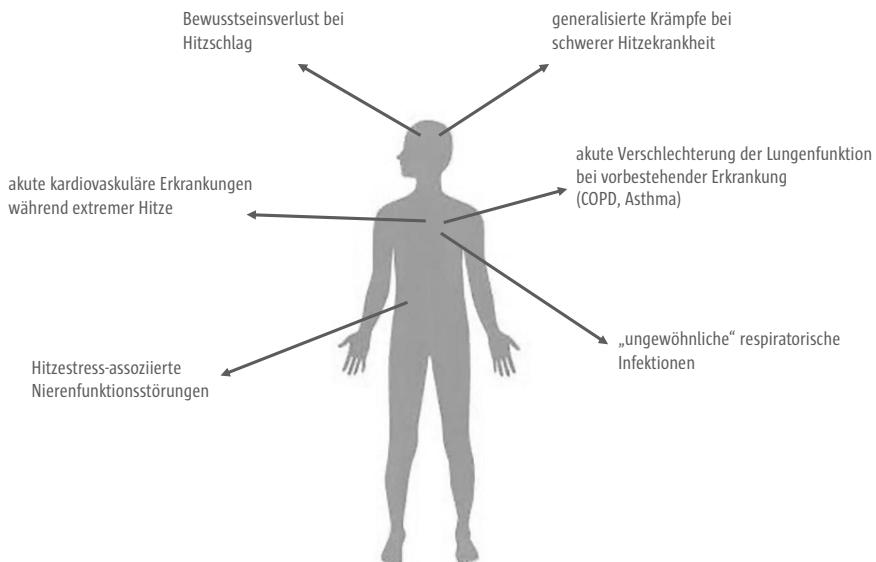


Abb. 1 Übersicht von Klimawandel-assoziierten Erkrankungen mit Relevanz für die Intensivmedizin (modifiziert nach [2])

2.1 Ungewöhnliche respiratorische Erkrankungen in a „warming world“

„*Lungs in a warming world*“ (4) werden anfälliger für Noxen-assoziierte inflammatorische Reaktionen, insbesondere bei vorbestehenden chronischen Lungen-erkrankungen (chronisch obstruktive Lungenerkrankung [COPD], Asthma). Erhöhte Konzentrationen an CO₂ oder Treibhausgasen in der Luft, Ozon (O₃), Stickstoffdioxid (NO₂) und erhöhte Feinstaubbelastungen (z.B. im Rahmen großflächiger Brände) gehören zu solchen Noxen. Pathophysiologisch wird eine pro-inflammatorische Reaktion (vermutlich über eine Aktivierung der toll-like Rezeptoren) sowie eine Erhöhung des Atemwegswiderstands bei vorgeschädigten Lungen (über eine Aktivierung der C-fiber Nerven) hervorrufen, die die Hyperreagibilität der Atemwege fördert (5).

Daher wurde im Rahmen von Hitzewellen eine exzessive Zunahme der (intensiv-)stationären Aufnahme von Patienten mit respiratorischen Störungen beobachtet (6; 7). Darüber hinaus ließ sich für jede Erhöhung der mittleren Temperatur um 1°C eine Steigerung der Letalität von COPD-Patienten feststellen. Auch die Zunahme von Klima-bedingten, bisher als „ungewöhnlich“ eingestuften Infektionserkrankungen des respiratorischen Systems (virale Infektionen [Hantavirus, Influenza, Ebola, West-Nil-Virus, Dengue, Respiratory Syncytial Virus], fungal hervorgerufene Infektionen [Aspergillosis, Coccidiomycosis]) werden die Intensivmedizin in den industrialisierten Ländern vermehrt beschäftigen (8). Ferner besteht an einem negativen Einfluss der Klima-

2 Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch den Klimawandel

assoziierten Änderung der Luftqualität auf die Vulnerabilität des respiratorischen Systems in Europa kein Zweifel (9). Es ist davon auszugehen, dass solche Veränderungen des Spektrums respiratorischer Erkrankungen den Bedarf an intensivmedizinischen Kapazitäten sowohl kurzfristig und saisonal, als auch langfristig spürbar vergrößern wird.

2.2 Kardiovaskuläre Risiken im Gefolge des Klimawandels

Die kardiovaskuläre Gesundheit steht besonders im Fokus der Auswirkungen von globaler Erderwärmung und Klimawandel (10). Als typische pathophysiologische Mechanismen zwischen Hitzebelastung und akuten kardiovaskulären Erkrankungen (besonders Herzinfarkte, Schlaganfälle) werden überwiegend eine generelle Vasodilatation, die gesteigerte Expression lokaler und systemischer Entzündungsreaktionen (Expression von Interleukinen), eine erhöhte Hämoviskosität sowie die Aktivierung der Blutgerinnung angesehen (11). In einer Übersicht bisheriger Daten waren Hitzewellen mit einem erhöhten Aufkommen akuter kardialer Erkrankungen (z.B. kardiale Dekompensation, Herzinfarkt) assoziiert, was zu einer gestiegenen Anzahl von Notaufnahmehäufigkeiten, stationären Aufnahmen und konsekutiv vermutlich auch Intensivbehandlungen führte (10). In einer großen europäischen epidemiologischen Studie (12) wurden für neun repräsentative europäische Metropolen während der Sommermonate (1990–2004) meteorologische Daten mit durch die jeweiligen statistischen Ämter erfassten Erkrankungen verglichen. Obwohl die Hitzewellen geografisch sehr unterschiedlich ausfielen, zeigte sich generell ein Hitze-bedingter Anstieg der Letalität zwischen 7,6% in München bis zu 33,6% in Mailand mit einem Anteil von kardiovaskulär bedingten Todesfällen von ca. 50%. Hier zeigt sich, dass sich die kardiologisch orientierte Intensivmedizin in besonderer Weise während großer Hitzebelastungen für zusätzliche Herausforderungen rüsten muss.

2.3 Nierenschädigungen im Fokus

Hitzewellen können in besonderer Weise – vor allem bei entsprechend vorgeschiädigten Menschen – eine Belastung der Nierenfunktion und -leistung hervorrufen: Volumenverlust und Dehydratation, gegebenenfalls begleitet von kardiovaskulären Problemen, stellen – insbesondere bei älteren Menschen mit multiplen Komorbiditäten – ein Risiko für akute Nierenfunktionsstörungen dar. Hier hat sich der Begriff „heat-stress nephropathy“ eingebürgert (13), dessen Spektrum von einer passageren Einschränkung der Nierenfunktion bis zum akuten Nierenversagen reicht. In Zentralamerika wurden Epidemien von Nierenerkrankungen beschrieben, die zunächst unerklärlich waren. Bei näherer Analyse zeigte sich, dass ausschließlich Patienten mit hitzebedingter Dehydratation betroffen waren. Ähnliche Daten wurden aus den Vereinigten

Staaten (California Central Valley) sowie aus Indien und Sri Lanka gemeldet, wo es zu einem Versorgungsgenpass von Dialyse-Geräten kam (zusammengefasst in 13). Für Europa liegen bisher keine belastbaren Daten vor, es ist allerdings davon auszugehen, dass auch hier unter Hitzewellen mit einer erhöhten Rate von Nierenversagen zu rechnen ist (14). Für die Intensivmedizin besteht die Notwendigkeit, einen saisonal höheren „ad hoc“ Bedarf an Dialyse- und/oder Hämolfiltrationsgeräten und den erforderlichen Behandlungsmöglichkeiten zu antizipieren.

2.4 Hitzewellen – besondere Aspekte für die Intensivmedizin

Es ist meteorologisch untermauert, dass Hitzewellen in Häufigkeit und Dauer in den letzten Jahrzehnten erheblich zugenommen haben. Physiologisch gesehen ist der menschliche Organismus auf eine relativ eng eingestellte Homöostase der Körpertemperatur angewiesen. Während Abweichungen in die Hypothermie insgesamt noch besser kompensiert werden können, induzieren Fieber und Hyperthermie sehr schnell sowohl physiologische Kompensationsanstrengungen (Umverteilung des Blutvolumens zur Haut, Schwitzen), als auch – bei eingeschränkter Kompensationsmöglichkeit – pathophysiologische Reaktionen (Inflammation, Endotoxinämie, zentrale Hypovolämie, kardiovaskulärer Stress), die bei extremer Exposition (Körperkerntemperatur > 40°C) und vorbestehenden Risikofaktoren bis zum Multiorganversagen führen können. Zur Orientierung werden Hitze-assoziierte Erkrankungen in drei Schweregrade eingeteilt (15):

- **Milde Hitzeerkrankung („Hitzekrämpfe“):** Symptome: Adynamie, Gesichtsödeme, Muskelkrämpfe
- **Moderate Hitzeerkrankung („Hitzeerschöpfung“):** Symptome: Orthostase, Schwindel, Lichtscheue, Bewusstseinstrübung, fatigue, Übelkeit
- **Schwere Hitzeerkrankung (Hitzschlag):** Symptome: Bewusstseinsverlust bis Koma, Erbrechen, Tachykardie, Hyperventilation, generalisierte Krampfanfälle, kardiovaskuläres Schocksyndrom

Die Entscheidung über das Behandlungsmanagement muss individuell nach Symptomen, Alter und Komorbidität getroffen werden. Während bei milder Hitzeerkrankung häufig eine ambulante Behandlung ausreicht, können bei ausgeprägteren Formen die stationäre oder intensivstationäre Versorgung mit Organersatztherapie und aktiver Kühlung notwendig werden. Insbesondere bei schwerer Hitzeerkrankung besteht die Gefahr eines inflammatorisch getriggerten Multiorganversagens. Patienten mit Hitzschlag sind aus den dargelegten Gründen Intensiv-behandlungspflichtig, da sie einer vitalen Bedrohung ausgesetzt sind. Eine Analyse von Intensivpatienten, die während der Hitzewelle im August 2003 auf französischen Intensivstationen behandelt wurden, ergab alarmierende Daten: Die Hospitalletalität der 345 Patienten mit

2 Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch den Klimawandel

Hitzschlag betrug 62,6%, diese war bei Patienten, die auf Intensivstationen ohne Klimaanlage lagen, deutlich höher im Vergleich zu Stationen mit air condition (16). Als prognostische Risikofaktoren für die Hitzschlag-assoziierte Sterblichkeit wurden die chronische Diuretika-Einnahme, ein Alter > 80 Jahre, eine Unterbringung in Alten- oder Pflegeheim, eine Körperkerntemperatur > 40°C, eine maligne Erkrankung, ein Schocksyndrom sowie ein Glasgow Coma Scale < 12 identifiziert (17). Eine aktuelle Analyse der Hitzebedingten Mortalität in Deutschland (18) berechnete etwa 8.700 hitzebedingte Sterbefälle für 2018 und etwa 6.900 für 2019. Dies unterstreicht die Notwendigkeit für die Intensivmedizin, während zunehmend häufiger und intensiver auftretender Hitzewellen fachlich und logistisch gewappnet zu sein.

2.5 Erderwärmung und Klimawandel – Konsequenzen für die Intensivmedizin

Klimawandel und Erderwärmung lassen – wie beschrieben – erhebliche Konsequenzen für die Intensivmedizin erwarten: schwere Erkrankungen des kardialen oder respiratorischen Systems, neue, teilweise lebensbedrohliche Infektionen und die Zunahme von Nierenversagen können mit ausgeprägten Funktionsstörungen oder dem Versagen von Organen und Organsystemen einhergehen – die Organersatztherapie (Beatmung, Kreislaufunterstützung, Nierenersatz) ist eine Kernkompetenz der Intensivmedizin. In mehreren Studien waren die stationären Aufnahmen von Patienten mit akutem Nierenversagen, Appendizitis, Dehydrierung, ischämischem Schlaganfall, psychischen Störungen und diabetogener Stoffwechselentgleisung während Hitzewellen signifikant erhöht. Obwohl keine gesonderte Analyse für die Intensivmedizin durchgeführt wurde, ergibt sich logischerweise eine höhere Auslastung von Intensivbetten und eine erhöhte Inanspruchnahme von Personal und Technik.

Wie kann sich die Intensivmedizin vorbereiten? Die Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Sowohl für eine erhöhte kontinuierlich wirksame Inanspruchnahme von intensivmedizinischen Leistungen (Folgen des generellen Anstiegs der Temperatur) als auch für akute Massen-Beanspruchung (z.B. Hitzewellen, Naturkatastrophen) sind spezifische Konzepte erforderlich, um adäquat reagieren zu können (2). Zum skizzierten Komplex „Klimawandel und Intensivmedizin“ ist eine Initiative erforderlich, die auf der Ebene von Fachgesellschaften Konzepte erstellt. Intensivmediziner werden sich zukünftig in ihrem Ausbildungscurriculum dem Thema „Klima-assoziierte Erkrankungen“ widmen müssen, um sich spezifische, bislang nicht oder wenig relevante Erkenntnisse, z.B. zu ungewöhnlichen Infektionserkrankungen, anzueignen.

Darüber hinaus werden dringend für Deutschland und Europa präzise epidemiologische Daten benötigt, um die Entwicklung der Klimawandel-assoziierten Erkrankungen und ihre medizinischen Konsequenzen besser abschätzen

I Klimawandel und Nachhaltigkeit

Tab. 1 Lösungsansätze für intensivmedizinische Herausforderungen im Kontext von Erderwärmung und Klimawandel (modifiziert nach [2])

Herausforderung	Lösungsansatz
Anstieg der Anzahl kritisch kranker Patienten im Gefolge von Hitzewellen, oder Luftverschmutzung	Bereitstellung einer höheren Kapazität von Intensivbetten, v.a in Küstenregionen und Megacities
Massenanfall kritisch kranker Patienten im Gefolge von rapiden Wetterumschlägen, Überschwemmungen, Waldbränden oder anderen Naturkatastrophen	Bereitstellung einer ‚Reserve‘ von Intensivbetten und Personal, die im Bedarfsfall akut aktiviert werden kann
Zunahme von Infektionen, besonders mit „ungewöhnlichem“ Charakter	<ul style="list-style-type: none">■ Bereitstellung von Isolationsmöglichkeiten■ Erweiterung der Kenntnisse des Intensivpersonals bzgl. des Managements „ungewöhnliche“ Infektionen
Anstieg der Anzahl von Patienten mit akuter Nierenschädigung während Hitzewellen	Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl von Nierenersatzverfahren
Gefahr der Einschränkung der Energieversorgung von Kliniken bei Naturkatastrophen	adäquates Vorsorgemanagement

zu können. Außerdem sollten auch und besonders wir Mediziner selbst uns in gebotenen Maße für eine Abmilderung des Klimawandels einsetzen.



Take home messages:

- *Erderwärmung und Klimakrise fordern die Intensivmedizin doppelt heraus: zum einen muss mit stärker auftretenden Erkrankungen im kardiovaskulären, pulmonalen und renalen Bereich gerechnet werden.*
- *Im Rahmen von Hitzewellen und Naturkatastrophen steigen Mortalität und Morbidität in der (vor allem alten) Bevölkerung an. Notaufnahmen und Intensivstationen müssen sich fachlich, strukturell und in der Ausstattung darauf einstellen.*
- *Die globale Erderwärmung wird auch nach Zentraleuropa bisher „untypische“ Infektionserkrankungen bringen, deren Kenntnis und Management in die Intensivmedizin zu integrieren ist.*

2 Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch den Klimawandel

Literatur

1. World Health Organisation: Climate Change. URL: https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1 (abgerufen am 22.07.2022)
2. Bein T, Karagiannidis C, Gründling M, Quintel M (2020) Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch Klimawandel und globale Erderwärmung. *Anaesthesia* 69: 463–469
3. Shuman EK (2011) Global climate change and infectious diseases. *Int J Occup Environ Med*; 2: 11–9
4. Bernstein AS, Rice MB (2013) Lungs in a warming world: climate change and respiratory health. *Chest* 143: 1455–1459
5. Hayes D Jr, Collins PB, Khosravi M, Lin RL, Lee LY (2012) Bronchoconstriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma: role of cholinergic reflex. *Am J Respir Crit Care* 185(11): 1190–6
6. Lin S, Luo M, Walker RJ, Liu X, Hwang SA, Chinery R (2009) Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology* 20: 738–46
7. Monteiro A, Carvalho V, Oliveira T, Sousa C (2012) Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal. *Int J Biometeorol* 57: 155–167
8. Rossati A (2017) Global Warming and Its Health Impact. *Int J Occup Environ Med*;8:7–20
9. Doherty RM, Heal MR, O'Connor FM (2017) Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environ Health* 16(Suppl 1): 118
10. Bayram H, Bauer AK, Abdalati W, Carlsten C, Pinkerton KE, Thurston GD, Balmes JR, Takaro TK (2017) Environment, Global Climate Change, and Cardiopulmonary Health. *Am J Respir Crit Care Med* 195: 718–724
11. Chen K, Breitner S, Wolf K, Rai M, Meisinger C, Heier M, Kuch B, Peters A, Schneider A (2019) Projection of Temperature-Related Myocardial Infarction in Augsburg, Germany. *Dtsch Arztebl Int* 116: 521–527
12. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de' Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramón M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iñiguez C, Perucci CA (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 9: 37
13. Glaser J, Lemery J, Rajagopalan B, Diaz HF, García-Trabaino R, Taduri G, Madero M, Amarasinghe M, Abraham G, Anutakulchai S, Jha V, Stenvinkel P, Roncal-Jimenez C, Lanasa MA, Correa-Rotter R, Sheikh-Hamad D, Burdmann EA, Andres-Hernando A, Milagres T, Weiss I, Kanbay M, Wesseling C, Sánchez-Lozada LG, Johnson RJ (2016) Climate Change and the Emergent Epidemic of CKD from Heat Stress in Rural Communities: The Case for Heat Stress Nephropathy. *Clin J Am Soc Nephrol* 11: 1472–83
14. Sorensen C, Garcia-Trabaino R. (2019) A New Era of Climate Medicine – Addressing Heat-Triggered Renal Disease. *N Engl J Med* 381: 693–696
15. Gauer R, Meyers BK (2019) Heat-related illnesses. *Am Fam Physician*; 99: 482–489
16. Misset B, De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Gattolliat O, Boughrara E, Annane D, P, Garrouste-Orgeas M, Carlet J (2006) Mortality of patients with heatstroke admitted to intensive care units during the 2003 heat wave in France: a national multiple-center risk-factor study. *Crit Care Med* 34: 1087–92
17. Hausfater P, Megarbane B, Dautheville S, Patzak A, Andronikof M, Santin A, André S, Korchia L, Terbaoui N, Kierzek G, Doumenc B, Leroy C, Riou B. (2010) Prognostic factors in non-exertional heatstroke. *Intensive Care Med* 36: 272–80
18. Winkelmayr C, Muthers S, Niemann H, Mücke HG, an der Heiden M (2022) Hitzebedingte Mortalität in Deutschland zwischen 1992 und 2021. *Deutsches Ärzteblatt*, Jg. 119, Heft 26, 451–457

I Klimawandel und Nachhaltigkeit



Prof. Dr. Thomas Bein, M.A.

Studium der Humanmedizin in Marburg und München. Ausbildung zum Facharzt für Anästhesiologie am Universitätsklinikum der Ludwig-Maximilians-Universität, Innenstadt und Großhadern. Oberarzt der Anästhesiologischen Intensivstation Klinikum Großhadern. Wechsel an die neu gegründete Universitätsklinik Regensburg und Aufbau der Intensivstation. 1995 Forschungsaufenthalt in Uppsala, Schweden. 1997 Habilitation. Seit 2002 Professur und bis 2019 Leitung der Operativen Intensivstation. Forschungsschwerpunkte: Behandlungsstrategien beim akuten Lungenversagen, extrakorporaler Gasaustausch.