

Keimfreie Technik

Hygienische Kühlung von Medizingeräten

Autoren: G. Luthe, L. O. Jansen

Einleitung

Koagulase-negative Staphylokokken, Enterokokken, Laktobazillen, Hefen, Clostridien, *Escherichia coli*, *Staphylokokkus epidermis*, *Staphylokokkus aureus* – alles Keime, die sich auf und in unserem Körper finden. Diese und viele andere Keime sind dort zuhause und wichtig für einen gesunden Körper. Sie schützen zum Beispiel unsere Haut oder sind an der Verdauung von Speisen und Getränken beteiligt. Siedeln sie sich aber an Stellen im oder am Körper an, an die sie eigentlich nicht gehören, kann es zu einer Infektion kommen. Dasselbe gilt für Keime, wie zum Beispiel die Influenzaviren, an die wir durch unser soziales Umfeld gelangen. In jedem Herbst rollt die Erkältungswelle wieder los. Mittlerweile lassen sich immer mehr Menschen gegen die Grippe impfen. Mal erfolgreich, mal nicht – aber unser Immunsystem bekommt diese Situation in der Regel gut allein in den Griff.

Anders hingegen sieht es häufig aus, wenn wir als Patient ins Krankenhaus kommen. Laut DART-2020-Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit bekommen jedes Jahr 400.000 bis 600.000 Patienten im stationären Bereich eine nosokomiale Infektion (NI). Von einer nosokomialen Infektion wird gesprochen, wenn die Erkrankung bei Aufnahme in das Krankenhaus weder bestand noch sich in der Inkubationsphase befand. Die Infektion wurde im Krankenhaus erworben. Dies bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass sie auf Fehlern in der medizinischen Behandlung oder einem ärztlichen oder pflegerischen Fehlverhalten basiert. Dramatisch ist die Zahl von 15.000 Menschen, die an solchen nosokomialen Infektionen sterben. Zudem werden die Behandlungskosten in Zeiten klammer Kassen zusätzlich nach oben getrieben.

Mit zunehmender Häufigkeit sind bei den nosokomialen Infektionen sogenannte Problemkeime involviert. In den Krankenhäusern nehmen diese Problemkeime einen immer höher werdenden Stellenwert ein. Denn sie sind durch notwendige

>> Für eilige Leser

Viele elektrisch betriebene Medizingeräte stellen aufgrund ihrer offenen Bauweise eine versteckte mikrobielle Kontaminationsquelle für Problemkeime im Geräteinneren dar. Durch die Verwendung von Gehäuselüftern für die Kühlung der Geräte werden diese Keime wieder an die Umgebungsluft abgegeben und führen so potenziell zu folgeschweren und kostenintensiven nosokomialen Infektionen. Dies kann durch den Einsatz von Peltier-Elementen verhindert werden. Das Peltier-Element ermöglicht eine hermetisch geschlossene Bauweise von Medizingeräten, bei gleichzeitiger Kühlung. Somit wird eine Sammlung, Vermehrung und Weiterverbreitung von Keimen durch Medizingeräte verhindert und ergo eine kostenintensive Infektionsquelle vermieden.

Isolationsmaßnahmen nicht nur extrem ressourcenbindend und damit kostenintensiv, sie gefährden auch den Patienten.

Der MRSA (Methicillin-Resistente *Staphylococcus Aureus*) ist inzwischen durch die wiederkehrende Präsenz in den Medien nahezu jedem als Problemkeim ein Begriff. Zwar ging in den vergangenen Jahren, laut dem Epidemiologischen Bulletin des Robert Koch Instituts (RKI) vom Mai 2018, die Zahl der durch Blutkulturen nachweislich infizierten Menschen im stationären Bereich von 12,1 % im Jahr 2015 auf 10,6 % in 2016 in Deutschland zurück, allerdings muss man erwäh-

nen, dass es im europäischen Vergleich anders aussieht. Während einige Länder ihre Quote auf 1 % und weniger reduzieren konnten (zum Beispiel die Niederlande und Dänemark), kämpfen andere Länder mit Quoten von bis zu 50 % (Rumänien, Portugal, Griechenland, Malta und Zypern). Dennoch stellt der MRSA nur die Spitze des Eisbergs an Problemkeimen dar. Der allseits bekannte MRSA rückt zunehmend zugunsten von MRGN (multiresistente gramnegative Bakterien) in den Hintergrund. Zu den wichtigsten MRGN gehören zum Beispiel *Pseudomonas aeruginosa* oder auch *Acinetobacter baumannii*.

Aber was sind eigentlich multiresistente Keime? Die KRINKO (Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention) am RKI definiert einen Keim als multiresistent, wenn er auf mindestens drei von vier der wichtigsten klinischen Substanzen NICHT mehr sensibel reagiert. Das heißt schlicht und einfach: Mindestens drei der vier wichtigsten Antibiotika (3MRGN) wirken nicht mehr und die Infektion ist somit kaum noch zu beherrschen. „Mindestens“ implementiert auch, dass es Keime gibt, die 4MRGN sind – also resistent gegen alle 4 Hauptwirkstoffe, mit der Konsequenz, dass keine der vier wichtigsten klinischen Substanzen eine Wirkung auf das Keimspektrum hat.

Hinzu kommen noch viele weitere Problemkeime. Die bekanntesten sind hier die VRE (Vancomycin-Resistente Enterokokken) oder Bakterien, die zusätzlich ESBL (Extended-Spectrum-Beta-laktamasen) bildend sind. Diese ESBL-Erreger bilden ein spezifisches Enzym und spalten hierdurch bestimmte Antibiotika, die dann nicht mehr wirken. Diese ESBL-Erreger sind nur noch durch sogenannte Reserveantibiotika beherrschbar. Reserveantibiotika, oder im Englischen antibiotics of last resort, wie zum Beispiel die Carbapeneme, dürfen nur in speziellen Fällen nach strenger Indikationsstellung eingesetzt werden, um Resistenzbildungen vorzubeugen. Aber auch bei diesen Carbapenem-Antibiotika zeigen sich erste Resistenzen, so dass für diese Infektionen

zum Teil gar keine Antibiotika mehr zur Verfügung stehen.

Zudem grassieren in den Medien immer mal wieder Horrorszenarien. Vor einigen Jahren war ein bestimmter Influenza-Virus sehr präsent und verbreitete Angst und Schrecken vor einer Pandemie, also einer Kontinent-übergreifenden Ausbreitung. H5N1 – oder auch besser bekannt als die Vogelgrippe – geisterte durch die Medien und löste die schlimmsten Befürchtungen aus. Glücklicherweise blieb bei uns alles relativ ruhig. Einige Zeit vorher war das erstmals in Ostasien beobachtete Coronavirus, welches die schwere Infektionskrankheit SARS auslöst (severe acute respiratory syndrome), Gegenstand des multi-medialen Interesses.

„Verkeimte“ Technik

Jeder von uns kennt den Anblick von komplett verunreinigten und damit auch verkeimten Festplatten in Computern. Dort wird Luft über einen Filter ins Gehäuse geblasen, um die Wärme der Bauteile aufzunehmen. Diese Kühlluft tritt an anderer Stelle aus dem Gehäuse wieder aus und mit ihr Keime und andere Verunreinigungen. Nur weil der Computer im Krankenhaus steht oder es sich um ein Medizingerät mit entsprechendem Reinigungsregime handelt, ist er leider nicht keimfrei oder nicht verdreckt.



Bild 1: Verunreinigungen im Elektroniksystem, hervorgerufen durch Lüfertechnologie. Das abgelagerte Material besteht aus Fasern, Bakterien, Viren, Feuchtigkeit sowie Hautschuppen.

Die mt | medizintechnik griff das gesamte Thema bereits in der Ausgabe 5/2018 auf, in der Hygiene zum Schwerpunktthema erklärt wurde. Clemens Bulitta stellte hier im Editorial die Frage, welche Rolle die Medizintechnik bei der Entstehung und Verbreitung solcher Infektionen spielt, und vor allem, wie die Medizintechnik die Situation verbessern kann.

In der mt | medizintechnik 4/2018 wurde dem Problem der Lüftungstechnik im OP ein komplet-

ter Artikel gewidmet. Bei der Lüftungstechnik ist die Patienten- und Arbeitssicherheit unstrittig, hingegen ist der Einfluss auf die Vermeidung postoperativer Wundinfektionen seit vielen Jahren Gegenstand kontroverser Diskussionen. Letztlich muss der Betreiber gemeinsam mit dem Krankenhaushygieniker im Sinne des Risikomanagements abwägen, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen und können, um die mikrobiologische Belastung der Raumluft zu reduzieren. Von dem verkeimten Inneren unserer Medizingeräte als Teil der Belastung wird auch dort nicht gesprochen. Dabei kennt man Fälle von bakteriellen Erkrankungen von Technikern, die nach der Wartung und Öffnung von Medizingeräten auftraten. Ein Chefarzt einer großen Universitätsklinik hat es wie folgt auf den Punkt gebracht: „Das Leben meiner Patienten kann man verlängern durch die richtige Ausrichtung der Austrittsöffnungen der Lüftungsschlitze an den Medizingeräten.“ Provokant könnte man dies auch umdrehen, also eine Verkürzung durch ungünstige Ausrichtung – um damit die Dramatik der Situation zum Ausdruck zu bringen. Streng genommen müsste jedes Medizingerät jeden Tag nach jedem Betriebsintervall von zwei Stunden geöffnet und gesäubert werden, um nicht als verkeimt zu gelten. Es herrscht also akuter Handlungsbedarf.

Dieser Artikel beschreibt eine technische Lösung als Beitrag zur Krankenhaushygiene, die das Problem der Verkeimung und der Ausbreitung innovativ angeht, und vergleicht sie mit anderen Konzepten.

Kühlung mit Kühlluft

Bei der Luftkühlung wird die Oberfläche von wärmeerzeugenden Objekten durch daran vorbeiströmende Luft gekühlt. Bei Elektromotoren oder elektronischen Bauelementen der Leistungselektronik ist dies notwendig, um die Überhitzung und Zerstörung der Bauteile zu vermeiden. Hier geht es nicht um Konvektion, sondern um Massetransport, der von der Förderleistung des Lüfters und der Wärmekapazität des beförderten Mediums Luft abhängt. Luft ist für die Wärmestrahlung weitgehend durchlässig (diatherm). Da all diese Prozesse spontan ablaufen und folglich entsprechend den Grundgesetzen der Thermodynamik einen Temperatuausgleich zur Folge haben, kann eine künstlich erwünschte Kühlung eines Gegenstandes gegen einen Temperaturgradienten nur unter hohem Energieaufwand erreicht werden. Eine Verbesserung kann nach dem Prinzip der Oberflächenvergrößerung erfolgen. Die aufgewandte Energie für die Kühlleistung ist abhängig von verschiedenen Faktoren: Wärmeleitfähigkeit der Geräteteile, Oberfläche, Oberflächenstruktur und Luftwiderstand,

laminare und turbulente Strömung, Filterwiderstand, Luftkanalführung, Temperaturunterschied etc. Alles, was das System energieeffizienter macht, erhöht allerdings zugleich die Wahrscheinlichkeit auf Verkeimung. Damit ist der Anspruch, energieeffizient kühlen zu wollen, gegen die Hygiene abzuwägen. Das vorrangige Bestreben des Betreibers sollte ein möglichst hoher Hygienestandard sein – der notwendigerweise zu Lasten des Energieverbrauchs geht. Hier muss die Energieersparnis zurücktreten hinter die Patientensicherheit.

Der Verkeimung wird in aktuellen Systemen meist mit Filtern begegnet.

Luftfiltration an Kühlern in Medizingeräten

Bakterien werden zum Großteil mit Filtern der Größe von 200 nm abgeschieden. Hierzu sind Filter ab Filterklasse E12 mit einem Abscheidegrad von 99,5 % einzusetzen. Diese Filter werden auch eingesetzt als *Endfilter für Reinräume der Klassen ISO 7 und ISO 5; Abluftfilter in kerntechnischen Anlagen (H14/U15/16)*. Gemäß den bekannten Filtereffekten sind Partikel um 100 bis 300 nm am schwersten abzuscheiden (MPPS = *most penetrating particle size*). Der Begriff HEPA-Filter (High Efficiency Particulate Air Filter) wird in den USA anders gehandhabt, wodurch der Begriff HEPA leider oft irreführend ist. Anders als im Geltungsbereich der Europäischen Normen besteht auf dem Gebiet der Vereinigten Staaten nur der Begriff *HEPA* mit feststehendem Abscheidegrad. Der Abscheidegrad ist vergleichbar mit dem der Filterklasse H13 nach EN 1822-1:1998. Nach DOE-STD-3020-97 beträgt er 99,97 Prozent für Partikel mit einer Größe von 0,3 µm. HEPA-Filter sind nicht ausreichend zur vollständigen Abscheidung von Schwebstoffen/Bakterien und erzeugen darüber hinaus einen großen Luftwiderstand. Da grober Staub die feinen Filter natürlich auch verstopfen würde, ist eine ganze Kaskade an abgestuften Filtern nötig. Diese müssen gewartet respektive getauscht werden. Deshalb wird bei Geräten häufig nur ein Staubfilter eingesetzt, der natürlich Bakterien nicht herausfiltert. Insofern ist es nicht besonders verblüffend, dass es im Inneren von Medizingeräten zu Ablagerungen von Bakterien kommt. Ursächlich sind hier die hohen Oberflächenstrukturen von Elektronikplatinen und toten Luftwinkeln. Nahrung für die Bakterien wird dabei durch die Lüfter beständig nachgeliefert. Zugleich entsteht durch die Abwärme eine ideale Temperatur, die das Bakterienwachstum begünstigt. Feuchtigkeit gelangt als Gas oder als Aerosol ebenfalls in die Geräte und damit ist der Nährboden für Bakterien, Viren, Pilze, Sporen schließlich perfekt.

Eine antibakterielle Beschichtung der Geräte im Inneren verhindert nicht die zunehmende Keimbelastung. Denn die ersten Lagen toten Materials überdecken einfach biozide Oberflächenstrukturen und bilden selbst den Nährboden für die nächste Lage an Keimen. Das ist also kein gangbarer Weg.

Hermetische Abschottung und Kühlung durch die geschlossene Wand

Betrachten wir das Problem mit frischem Blick: Der beste Filter, der 100 % Bakterien, Viren, Pilze und deren Sporen, Aerosole und Nahrungspartikel für Bakterien herausfiltert, ist eine hermetisch geschlossene Wand. So simpel es auch klingen mag, hermetisch abgeschlossene Gehäuse für Medizingeräte machen wirklich dicht. Das Problem ist hier allerdings, wie man durch eine geschlossene Wand hindurch kühlt. Denn die Platinen, die Steuerelektronik und Motoren sind ja schließlich auf die Kühlung per Luftmassenstrom ausgelegt. Es sollte aber kein neues Design der Elektronik notwendig sein, um eine effiziente Gesamtlösung anzubieten. Diese Probleme lassen sich in unserem Ansatz mit existierenden Komponenten lösen, um eine marktfähige Alternative zu Lüftern schnell etablieren zu können. Auch können dabei die vorhandenen Gehäuseöffnungen genutzt werden, die wir wieder mit unserem System verschließen. Folglich sind keine teuren Neuentwicklungen für Bauteile oder Gehäuse notwendig. Bestehende Komponenten können weiterverwendet werden.

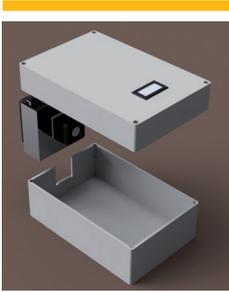


Bild 2: Integration der Peltierkühlung in das Gehäuse.

Das Herzstück bildet ein sogenanntes Peltier-Element. Das ist ein elektrothermischer Wandler, der basierend auf dem Peltier-Effekt (nach Jean Peltier, 1785–1845) bei Stromdurchfluss eine Temperaturdifferenz erzeugt. Ein Peltier-Element besteht aus zwei oder mehreren kleinen Quadern, je aus p- und n-dotiertem Halbleitermaterial. Diese sind abwechselnd oben und unten durch Metallbrücken miteinander verbunden. Die Metallbrücken bilden zugleich die thermischen Kontaktflächen und sind durch eine aufliegende Folie oder eine Keramikplatte isoliert – üblicherweise wird Aluminiumoxid eingesetzt.

Immer zwei unterschiedliche Quader sind so miteinander verbunden, dass sie eine Reihenschaltung ergeben. Der zugeführte elektrische Strom durchfließt alle Quader nacheinander. Abhängig von Stromstärke und -richtung kühlen sich die oberen Verbindungsstellen ab, während die unteren sich erwärmen. Der Strom pumpt somit Wärme von einer Seite auf die andere und erzeugt eine Temperaturdifferenz zwischen den Platten. Dieser Temperaturgradient ist entscheidend. Denn kühlt man die warme Seite ab, z. B. mit einem aufgesetzten Kühlkörper plus Ventilator, so wird die kalte Seite zunehmend kälter. Die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten kann, je nach Element und Strom, bei einstufigen Elementen bis ca. 70 Kelvin betragen. Dieses Peltier-Element ist vollständig mit Aluminiumoxid umschlossen und wird anstelle des Lüfters und des Filters eingesetzt. Damit ist das Medizingerät hermetisch abgeschlossen – Keime können nicht ein- und nicht austreten.

An der Innenseite des Gehäuses ist nun ein Ventilator angebracht, der den Luftmassenstrom zum Peltier-Element bewegt und abkühlt und anschließend als geschlossenen Luftkühlkreislauf im Inneren des Gehäuses wieder zur Wärmequelle zurückführt. Die Effizienz wird nun mit einem schwarz eingefärbten Kühlkörper aus Aluminium gesteigert, der Strahlungswärme und Konvektionswärme effizient von der Luft auf den Kühler überträgt. Ein besonderer Vorteil hierbei ist die Temperierung auf eine Temperatur oder einen Temperaturbereich, der die Langlebigkeit der Elektronik verbessert.

An der Außenseite kann die Wärme nun über verschiedene Systeme abgeführt werden. Das kann eine Heatpipe sein, ein Kühlkörper mit und ohne Ventilation oder eine große Metalloberfläche des Gehäuses selbst sowie eine externe Fluidkühlung. Am einfachsten ist die Verwendung eines Kühlkörpers mit Ventilator an der Außenseite. Damit erfüllt das System eine effiziente Kühlleistung und zugleich eine hermetische Kapselung der Elektronik.

Den Peltier-Elementen wird eine geringe Leistungsfähigkeit nachgesagt, jedoch geht die Entwicklung zu immer besseren Systemen hin. Außerdem steht in der Klinik die Hygiene an vorderster Stelle und nicht die Energieeffizienz, wie es bei einem Kühlschrank für die Küche sein mag. Übrigens, für IT-Schaltschränke sind bereits Peltierkühlungen im Einsatz, um diese vor der Umgebung zu schützen.

Ausblick

Wir wollen dieses System nutzen, um den Menschen vor Bakterien, Pilzen, Sporen und Viren zu schützen. Hier geht es schlicht um Menschenle-

ben und darum, nicht nur der stetig zunehmenden Bedrohung durch Mikroben und deren zunehmende Resistenzentwicklung, sondern allen potenziell schädlichen Keimen Einhalt zu gebieten, am besten durch prophylaktische Maßnahmen. Dieses ist ein entscheidender Beitrag zur Krankenhaushygiene und damit auch zur Patienten- und Personalsicherheit.

Wir bedanken uns beim Unterstützerkreis des Tech for Future (<http://techforfuture.nl>) für den Support.

Literatur

- [1] Norbert Elsner, Siegfried Fischer, Jörg Huhn: Grundlagen der Technischen Thermodynamik. Band 2, Wärmeübertragung. Akademie Verlag, Berlin 1993, ISBN 3-05-501389-1.
- [2] DIN EN 779:2012-10 Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Bestimmung der Filterleistung; Deutsche Fassung EN 779:2012. Beuth Verlag, Berlin.
- [3] DIN EN 1822 Teil 1:2011-01 Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 1822-1:2009. Beuth Verlag, Berlin.

Dokumentation: G. Luthe, L. O. Jansen.

Hygienische Kühlung von Medizingeräten. mt | medizintechnik 139 (2019), Nr. 3, S. 30, 2 Bilder, 3 Lit.-Ang.

Schlagwörter: Keime, Infektionsrisiko, Hygiene, Lüfter, Kühlung

Autoren



Prof. Dr. Gregor Luthe
Dipl.-Chemiker, Nanotechnologe
E-Mail: Gregor.Luthe@smartbee-systems.com
Web: www.smartbee-systems.com



Lars Oliver Jansen
Examiniertes Fachkrankenschwefler Anästhesie und Intensivpflege
E-Mail: Lars-Oliver.Jansen@use-lab.com
Web: www.use-lab.com