

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 13

Artikel: Moderne Spital-Klimaanlagen
Autor: Hochstrasser, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76552>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Moderne Spital-Klimaanlagen

Von Werner Hochstrasser, Zürich

Obschon die aerogene Keimübertragung im Spital nicht der einzige Übertragungsweg und auch bei weitem nicht der wichtigste ist, sind doch einige Fälle bekanntgeworden, wo Keime, die zu gefährlichen Krankheitsausbrüchen führten, durch Lüftungs- und Klimaanlagen übertragen wurden.

Andererseits führen wachsende Komfort- und Hygiene-Bedürfnisse (z. B. WC/Dusche für jeden Bettenraum), Anforderungen aufgrund medizinisch-technischer Einrichtungen und auch die Lage vieler Spitäler nahe am Zentrum von Städten zu immer umfangreicheren Lüftungstechnischen Anlagen, auch wenn nur die absolut unerlässlichen Ausrüstungen eingebaut werden (siehe Kasten).

Hygienische Anforderungen

Die für die einzelnen Räume – aufgrund ihrer Zweckbestimmung – zu stellenden Anforderungen sind heute in verschiedenen Richtlinien (1), (2), (3), weitgehend festgelegt und dokumentiert. Dabei werden im Hinblick auf ihre Zweckbestimmung Raumklassen für unterschiedliche hygienische Anforderungen festgelegt. Bei den Raumklassen mit «normalen» Anforderungen wird eine zweistufige Filtrierung der Aussenluft verlangt, eine Grob-Filterstufe (EU 4–5) zum Schutz der Anlage gegen Verschmutzung und eine Feinfilter-Stufe (EU 7–8) druckseitig des Ventilators, um sicherzustellen, dass kein Zustrom unfiltrierter Luft durch Lecks in den Anlagen möglich ist. Die hygienisch anspruchsvollsten Räume haben zudem noch unmittelbar vor Eintritt in den Raum einen Schwebstoff-Filter (bei schweizerischen und deutschen Richtlinien) resp. einen guten Feinfilter (bei amerikanischen Empfehlungen).

Ausserdem wird die Forderung erhoben, dass an der Grenze zwischen diesen Raumklassen und auch teilweise innerhalb einer Raumklasse kein Luftaustausch stattfinden dürfte.

Wie kann dies nun lüftungstechnisch verwirklicht werden?

Wenn wir versuchen, in einer offenen Türe eine Nullströmung einzuhalten, so kann dies nur dann annähernd gelingen, wenn die Temperaturen auf beiden Seiten der Öffnung gleich sind. Bereits bei 1 °C Temperaturdifferenz stellt sich eine Strömung gemäss Fig. 1 ein, welche ca. 350 m³/h zwischen den beiden Räumen austauscht. Versuchen wir den Austausch dadurch zu unterbinden, dass wir eine Strömung von der sauberen zur unsauberen Seite überlagern, so müssen wir bei 1 °C Differenz ca. 1200 m³/h ausblasen. Dies entspricht bereits etwa der Hälfte der Luftmenge eines Operationssaales und ist deshalb nicht praktisch zu verwirklichen, zumal ja

die Temperaturdifferenz auch grösser sein kann. Jede Person, die durch solche Grenzfläche durchtritt, wird zudem eine gewisse Verwirbelung und damit zusätzlichen Luftaustausch verursachen.

Auch ein Luftvorhang, wie er etwa zum Abdecken thermischer Differenzen eingesetzt wird, bringt keine Lösung, da die Filtrierungsqualität der dort eingesetzten Luft derjenigen im hygienisch anspruchsvolleren Teil entsprechen müsste, und die Luftmenge einer solchen Einrichtung sehr gross ist. Zudem sind relativ hohe Luftgeschwindigkeiten im Spiel, die Keime z. B. vom Boden aufwirbeln.

Glücklicherweise hat sich nicht nur aufgrund solcher Überlegungen, sondern auch basierend auf praktischer Erfahrung die Erkenntnis durchgesetzt, dass es praktisch undenkbar ist, mit offenen Türen einen solchen Luftaustausch zu verhindern, und möglichst dichte Türen oder sogar Schleusen bei solchen Übergängen werden vorgeschrieben. Es versteht sich von selbst, dass trotzdem zwischen den Räumen die Druckdifferenzen so sein sollten, dass Strömungen in Türspalten in der

richtigen Richtung laufen. Da Türspalten zwar in bezug auf Auftriebsströmungen zwar den gleichen Gesetzen gehorchen wie die offene Tür, aber ihre Fläche einige hundert- bis einige tausendmal kleiner ist als die Türöffnung, sind die ausgetauschten resp. überströmenden Luftmengen von beherrschbarer Grösse.

Bei den meisten der heute eingebauten Anlagen sind die Luftmengen (Zu- und Abluft) der Räume permanent eingestellt. Die Anlagen enthalten aber auf Zuluft-, weniger oft auch auf Abluftseite, teils sehr hochwertige Luftfilter, die in verstopftem Zustand wesentlich höheren Druckabfall haben als neu. Damit verändern sich im Verlauf der Zeit die den Räumen zugeführten Luftmengen etwas, und auch die Luftbilanz wird verändert und selbst geringe Änderungen der zugeführten und abgesaugten Luftmengen können bereits zu einer Umkehrung der Strömungsrichtung zwischen den Räumen führen, was in hygienisch kritischen Räumen nicht toleriert werden kann.

Energetische Anforderungen

Aus Energiegründen sollen die Lüftungstechnischen Anlagen nur dann in Betrieb sein, wenn sie wirklich benötigt werden. Die Verwirklichung eines solchen Postulates führt normalerweise zu einer grösseren Zahl von kleinen Anlagen, die nicht nur einen hohen Wartungsaufwand erfordern, sondern – insbesondere in hygienisch kritischen Zonen – nur sehr schwer zu einwandfreiem gemeinsamem Funktionieren zu bringen sind. Es ist schwierig, auf die Dauer die richtigen Druckrelationen der einzelnen Räume einzuhalten, wenn jede Raumgruppe ihre eigene An-

Bild 1a. Thermische Ausgleichströmung an offener Tür

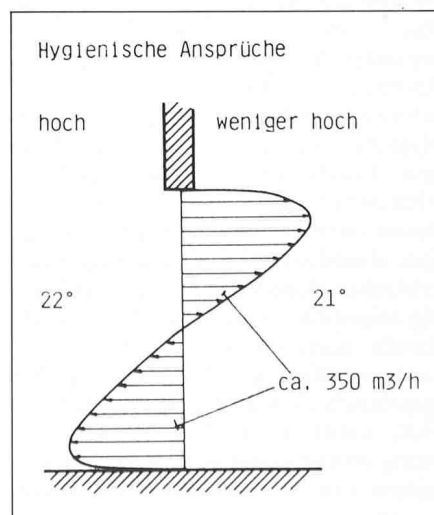
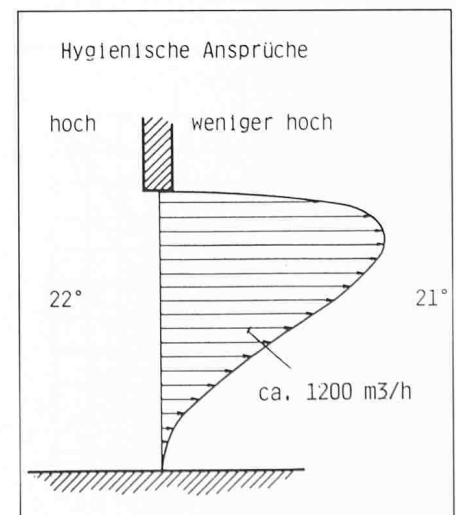


Bild 1b. Thermische Ausgleichströmung mit überlagerter Ausströmung, so dass keine Luft unfiltriert in den Raum mit hohen Ansprüchen einströmt



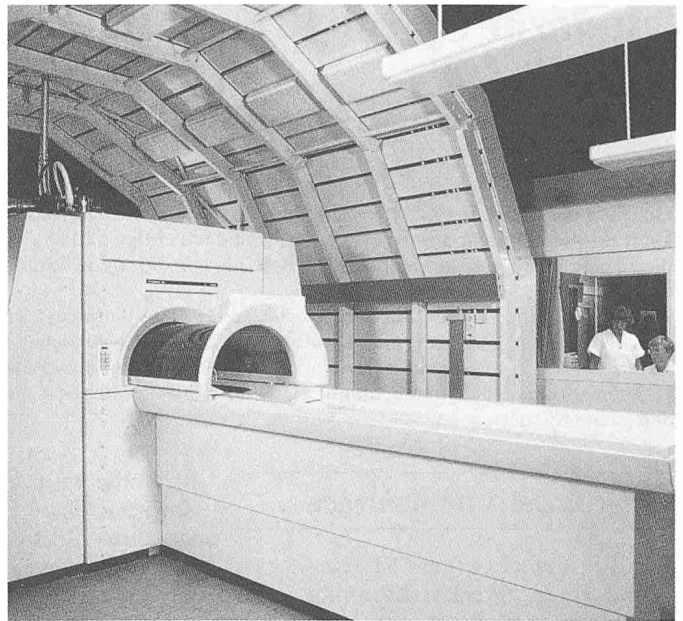
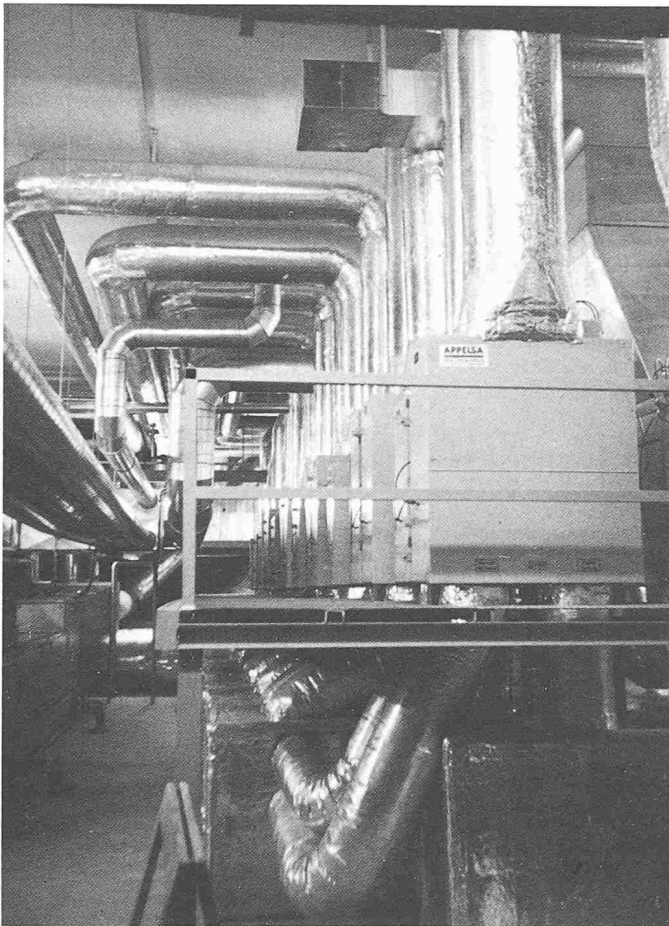


Bild 4. Magnetresonanz - Tomograph mit sichtbarer magnetischer Abschirmung

Bild 2. Zuluftzentrale mit abstellbaren Zonengeräten

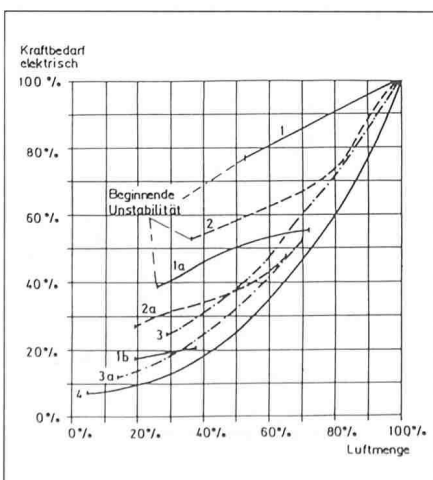
Bild 3. Kraftbedarf der Ventilatoren bei Teillast. Konstantdruck-Anteil 40%, entsprechend mittlerer Anlage-Auslegung

Kurve 1. Drosselung mit nachfolgender Abschaltung des einen Zentrifugalventilators und Zurückschalten auf tiefere Drehzahl

Kurve 2. Dralldrossel mit nachfolgender Abschaltung eines der beiden Zentrifugalventilatoren

Kurve 3. Drehzahlregulierung mit nachfolgender Ausschaltung eines der beiden Zentrifugalventilatoren

Kurve 4. Axialventilator mit Laufschaufelverstellung und konstanter Drehzahl.



lage hat, die beliebig geschaltet werden kann. Sehr unübersichtliche und hygienisch bedenkliche Strömungen können im Gebäude resultieren.

Um dieses Dilemma zu umschiffen, wurden schon vor über 10 Jahren, als die Energiefragen erstmals als wichtige Randbedingungen in unsere Überlegungen einfließen, neue Anlagentypen entwickelt.

Neue Anlagentypen

Im Operationstrakt des *Kantonsspitals Zug* wurde im wesentlichen von einer zentralen Anlage aus eine Vielzahl von Räumen und Raumgruppen mit verschiedensten Anforderungen bezüglich Hygiene, thermischen Raumkonditionen, Feuchtigkeiten, Lasten und Betriebszeiten versorgt (Fig. 2). Jeder Raum oder jede Raumgruppe war für sich abstellbar, und in den hygienisch kritischen Zonen wurde nicht vollständig abgestellt, sondern auch im «Stillstand» noch ein kleiner Prozentsatz Luft zugeführt, die dank der Endfilter hygienisch einwandfrei ist und auf alle Fälle dafür sorgt, dass die Luftströmung immer vom hygienisch hochwertigsten zum weniger kritischen Raum gerichtet ist.

Mit solchen Anlagen, welche die Luftmenge jeder Zone unabhängig von zusätzlichem Druckverlust infolge verstopfender Filter auf einen konstanten Wert regulieren, lässt sich die Luftbilanz der Räume problemlos auf Dauer einhalten. Da wir ja in der Regel mit 100% Aussenluft arbeiten, können auch Zonen verschiedener hygienischer Anforderungen - mit oder ohne dritte Filterstufe - an ein und dasselbe Versorgungssystem angeschlossen werden.

Aus Energiegründen soll grundsätzlich jeder Raum für sich abstellbar sein. Dies ergibt für das zentrale Versorgungssystem variable Luftmenge, und es muss zumindest eine Druckregulierung eingebaut werden, die an geeigneter Stelle des Kanalsystems einen konstanten Überdruck reguliert, ohne am Ventilator instabile Betriebszustände zu verursachen. Je nach Luftmenge und Druck sowie dem «Drosselverhältnis», d. h. dem Verhältnis zwischen der geringsten und der grössten im Betrieb benötigten Luftmenge, können verschiedene Konfigurationen optimal werden (Fig. 3). Für sehr grosse Einheitsgrößen bei verhältnismässig tiefem Druck sind sicher Axialventilatoren mit im Lauf verstellbaren Schaufeln optimal, während bei kleineren Einheiten oder höheren Drücken Drehzahlregulierungen oder bei bestimmten Ventilortypen

sogar einfache Drosselungen optimal sein können.

Da so praktisch alle Abteilungen eines Spitals an einer einzigen Luftaufbereitungsanlage angeschlossen sind, ist sicher eine redundante Ausführung einer solchen Anlage anzustreben, so dass nicht der Ausfall eines einzigen Motors, Lagers, Ventils oder sonstigen Geräteteils die gesamte Aufbereitung lahmlegen kann, sondern dass mindestens der lebenswichtige Teil der Anlagen auch nach einem Ausfall noch in Betrieb gehalten werden kann.

Auch ohne Ausfälle anzunehmen, ist genügende Redundanz der Anlagen für die Durchführung von Service- und Instandhaltungsarbeiten wesentlich.

Neue Möglichkeiten mit Elektronik

Als neues Element kommt jetzt noch die DDC-Regulierung («Direct digital control») dazu. Hier sind Temperatur-, Feuchte- und Druckfühler nicht mehr ausschliesslich für einen spezifischen Zweck verwendbar, sondern ihre Messwerte werden digital einem zentralen System zugeführt, wo sie sowohl für die klassischen Regelaufgaben wie Betätigung von Ventilen und Servomotoren als auch für Anzeigen und Alarmmeldungen dienen können. Es können auch beliebige zeitliche Abhängigkeiten (z. B. Zeitprogramme für Temperatur-Sollwerte) oder energetisch optimale Startzeiten, um zu bestimmter Zeit bestimmte Raumzustände zu erreichen, programmiert werden.

Mit solchen Regulierungssystemen ist es möglich geworden, ohne wesentlichen Zusatzaufwand, auch die Hygiene negativ beeinflussende Faktoren durch Alarmmeldungen anzuzeigen. Eine hygienisch erwünschte Druck-Abstufung kann durch Geschwindigkeitsfühler leicht überwacht werden, und länger dauernde Abweichungen vom Sollwert führen zu Alarm.

Zudem erlauben DDC-Regulierungen dank der üblicherweise damit kombinierten freiprogrammierbaren Steuerung sehr aufwandarme Anpassungen der Steuerungssequenzen an die effektiv vorhandenen Konditionen.

Im *Spital Ilanz*, wo eine elektrische Luft-Wasser-Wärmepumpe installiert ist, gab es anfänglich Schwierigkeiten mit der Abtausequenz, und im tiefen Winter drohte eine «Vergletscherung» der Verdampfer. Dank den guten Überwachungsmöglichkeiten mit DDC, wo praktisch jede massgebliche Tempera-

tur laufend digital angezeigt werden kann, und der nur sehr geringen Aufwand erfordernden Änderung der Steuerung, war das Problem trotz mehrmaligem Umstellen und anschliessendem Ausprobieren in wenigen Stunden gelöst.

Die guten Erfahrungen mit DDC liessen die anfängliche Zurückhaltung, alle Regulierungen eines ganzen Gebäudes durch einen einzigen Mikroprozessor machen zu lassen, langsam vergessen. Es zeigte sich aber bald, dass auch hier eine gewisse minimale Redundanz angezeigt ist, als uns eine DDC-regulierte Anlage eines Tages ohne ersichtlichen Grund vollständig ausfiel, und wir – dies ist die empfohlene minimale Redundanz – nur mit Handregulierung der Ventile und Geräte die Situation noch einigermaßen retten konnten.

Was war geschehen: In der vorangegangenen Nacht hatte es einen kurzen Stromausfall gegeben und die Zentraleinheit hatte ab ihrem dynamischen ROM alle Programme verloren, weil gleichzeitig auch noch die Backup-Batterie, die gerade für solche Situationen eingebaut ist, defekt und noch nicht ausgetauscht war.

DDC-Regulierung kann auch graduell zu zentraler Leittechnik ausgebaut werden und ermöglicht damit noch intensivere Überwachung der haustechnischen Anlagen.

Anspruchsvollere medizinisch-technische Anlagen

Da in den Spitälern laufend komplexe technische Anlagen eingebaut werden, ergeben sich immer höhere Ansprüche an Klima- und Lüftungsanlagen. Solche technische Anlagen mit speziell hohen Anforderungen an die Lüftungstechnik sind neben diagnostischen und therapeutischen Anlagen, in denen Radioaktivität eine Rolle spielt, vor allem auch die Magnetresonanztomografen (Fig. 4), von denen jede Einheit mit einem supraleitenden Magneten mit mehreren Tonnen Gewicht und dazu einem speziellen UKW-Sender (41,3 MHz ist die Resonanzfrequenz von Wasserstoff), Kühleinrichtungen und Computer ausgestattet ist, mit einer totalen Wärmeabfuhr von dauernd 20–40 kW, je nach Typ des Gerätes. Einige zusätzliche Komplikationen ergeben sich durch die hohen Anforderungen an magnetische und Hochfrequenz-Abschirmungen sowie durch die verhältnismässig weite Ausdehnung des sehr starken Magnetfeldes.

Es ist offensichtlich, dass die anfallende Wärme zurückgewonnen werden muss. Während die Abwärme der Kältemaschine für den MR-Tomografen der *AMI-Klinik in Zürich* direkt in das Gebäude-Heizsystem eingespiessen wird, ist beim *Universitätsspital* ein Verfahren gewählt worden, bei dem der Heizungs- und Ventilations-Wärmebedarf des unterirdischen Gebäudes, in dem sich die Anlagen befinden, vollständig durch die Abwärme der technischen Einrichtungen gedeckt wird. Überschüsse können zudem noch zur Erzeugung von Trink-Warmwasser im Spital verwertet werden.

Um allfällige Ausfälle oder Revisionen überbrücken zu können, ist überall eine Noteinspeisung aus dem normalen Heiz- und Kühlnetz des Spitals geplant, und die ganzen Anlagen sind so angelegt, dass nicht eine einzelne Störung die gesamte Einrichtung ausser Betrieb setzen kann.

Kriterien für die Notwendigkeit und Art Lüftungstechnischer Einrichtungen in Spitälern

- Zweckbestimmung der Räume:
 - Feuchte-Anfall, Gerüche, Gase und Dämpfe
 - Kühllast intern
 - Temperatur-Toleranz
 - Feuchte-Toleranz
 - Reinheit der Raumluft
 - Zuluft
 - Fortluft
 - Geräuschanforderungen
- Lage der Räume:
 - Innerhalb des Baukörpers
 - Relativ zu andern Räumen
 - Umgebungslärm
 - Luftverschmutzung in der Umgebung
- Energiefragen
 - Wärmerückgewinnung aus Abluft
 - Ausnützung von Wärme aus Kühlungsbedürfnissen

Literatur

- [1] Richtlinien für Bau, Betrieb und Überwachung von raumlufttechnischen Anlagen und Spitälern. SKI Schweiz. Institut für Gesundheits- und Krankenwesen, Aarau, Prov. Ausgabe 1987
- [2] DIN 1946 Bl. 4 (1978), und Entwürfe einer Neufassung (1985)
- [3] Minimum Requirements of Construction & Equipment for Hospital and Medical Facilities (U.S. Department of Health, Education & Welfare, Publication No. (HRA) 76-400, 1974)

Adresse des Verfassers: W. Hochstrasser c/o Hochstrasser Consulting AG, Leonhardshalde 21, 8001 Zürich.