Anmerkung: Wir erhielten folgende Anfrage von Saarbrücken - Stadtgestaltung/Denkmalschutz

Bei Instandsetzungsarbeiten wurden an einem ehemaligen Schulhaus in Saarbrücken, Stadtteil St. Johann, an beiden Giebelwänden in Naturstein gefasste Öffnungen gefunden. Nach meinen Recherchen handelt es sich dabei um Lüftungsöffnungen, die mit in den Giebelwänden liegenden Kanälen verbunden waren, die dann über Dach geführt wurden.
Diese vermutlich klimatechnische Anlage aus der Erbauungszeit des Gebäudes ist bisher ein Unikat in Saarbrücken. Uns sind bisher auch keine weiteren Anlagen dieser Art im Saarland bekannt.

Professor Fitzner konnte hier sehr schnell helfen und auf ein Fachbuch von Hermann Rietschel „ Rietschel, H.: Lüftung und Heizung von Schulen, Berlin, Verlag Julius Springer, 1886“ verweisen. Professor Fitzner hat sich selbst sehr ausführlich mit der Geschichte der Lüftungstechnik befasst und deshalb veröffentlichen wir hier auch einen Beitrag von ihm dazu.

Lüftungs- und Heizungstechnik in Schulen von Rietschel bis heute

Klaus Fitzner

Einleitung

Vor etwas mehr als hundert Jahren wurden die Schulen von Einzelofenheizung auf zentrale Heizanlagen umgestellt. Es entwickelten sich verschiedene Systeme, je nachdem wie die Kombination von Heizung und Lüftung vorgenommen wurde. Die Diskussionen um die Vor- und Nachteile zentraler Anlagen und die Mißverständnisse und Fehlbeurteilungen und deren Ursachen wurden sehr gut überliefert, und sie zeigen manch eine Parallele zur heutigen Beurteilung von RLT-Anlagen [1].

Prof. Dr.-Ing. Klaus Fitzner, Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Technische Universität Berlin.

Genau vor hundert Jahren auf der ersten „Versammlung der Heizungs- und Lüftungsfachmänner, 1896“ war die Diskussion über die besten Verfahren schon weitgehend beendet. Auf der Tagung sprach *Rietschel* deshalb nur über das von ihm entwickelte Verfahren, Heizkörper für Warmwasser- und Dampfheizung zu berechnen, womit er einen Wettbewerb gewonnen hatte, der mit einem Preis von 4500 Goldmark verbunden war [2].

Rietschel erhielt 1882 von der Königlichen Ministerial-Bau-Kommission zu Berlin und dem Königlichen Provinzial-Schul-Kollegium der Provinz Brandenburg den Auftrag, „die Lüftungs- und Heizungsanlagen in einer Anzahl höherer Lehranstalten einer Prüfung zu unterziehen“. Das Ergebnis schlug sich 1886, also schon vor 110

Jahren, in einem Buche [3] nieder. Die damaligen Ideen und Vorstellungen blieben uns deshalb sehr gut erhalten. Normalerweise bleiben sie allerdings ungelesen. Und anfangs habe ich mich auch gefragt, ob denn hier ausgerechnet etwas über die Messungen von vor über 100 Jahren gesagt werden muß. Inzwischen freue ich mich, daß mich die Vortragsvorbereitung aus Anlaß dieser 100-Jahrfeier der „Versammlung der Heizungs- und Lüftungsfachmänner, 1896" veranlaßte, mich mit meinem Vorvorgänger und seiner Tätigkeit etwas gründlicher zu beschäftigen. Am meisten hat mich die Entdeckung begeistert, daß der Schwerpunkt der Untersuchung schon damals beim Thema *Luftqualität* lag. Die Begeisterung wird nur geschmälert durch die bedauerliche Feststellung, daß die Probleme von damals weitgehend auch heute noch existieren. Wir sollten das als einen Ansporn betrachten, dazu beizutragen, daß das in weiteren 100 Jahren nicht mehr so ist!

Im Vergleich zu damals hat sich einiges geändert. Daß sich aber in über 100 Jahren auch an der Art und Weise, wie Anlagenbau betrieben wird, gar nicht so sehr viel geändert hat, wie wir manchmal glauben möchten, zeigen einige Bemerkungen, die heute noch volle Gültigkeit haben, zu denen sich *Rietschel* in der Einleitung zu seinem Buch, vielleicht auch zur Rechtfertigung seiner Untersuchung, hinreißen läßt:

„Der Grund für die nicht genügende Benutzung der an bestehenden Anlagen gemachten Erfahrungen liegt sowohl in dem Umstand, dass die letzteren nicht genug durch Veröffentlichung zum Allgemeingut geworden sind, als auch in der Thatsache, dass überhaupt zu wenig sachgemässe Beobachtungen angestellt worden sind.

Häufig haben die Beobachter zwar die Wirkung einer Anlage festgestellt, waren sich aber nicht klar, ob die gewonnenen Ergebnisse, als eine Folge des in Anwendung gebrachten Systems, oder als eine Folge der guten oder mangelhaften Ausführung der Anlage angesehen werden mussten. Natürlich gaben solche Untersuchungen zu falschen Schlüssen Veranlassung und haben dahin geführt, Unklarheit über den Werth mancher Einrichtungen hervorzurufen.

Von ausführenden Ingenieuren sind nur selten an Anlagen Beobachtungen angestellt worden, da letztere mühevoll und umständlich sind, und die für dieselben nöthige Zeit selten erübrigt werden konnte; sofern aber Industrielle Beobachtungen gemacht haben, sind die Ergebnisse aus einem unrichtigen Geschäftsinteresse meist nicht veröffentlicht worden."

Untersuchte Schulen und Art der Lüftungs- und Heizungssysteme

Die Untersuchungen wurden in 65 Räumen an 12 Schulen, überwiegend Gymnasien, durchgeführt und zum Vergleich wurden noch Meßwerte aus der Königlichen Universität angeführt. In *Tab. 1* sind die Namen der Lehranstalten und die Kurzbeschreibungen der Anlagen wiedergegeben [3].

Tabelle 1. Verzeichnis der untersuchten „Lehranstalten".

Lehranstalt	Lüftungs- und Heizungssystem
1. Königliche Blinden-Anstalt zu Steglitz.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft durch besondere Kanäle über Dach.
2. Königliche Elisabeth-Schule zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft vom Dachboden beginnenden und über Dach endigenden Sammelschächten. Erwärmung der Luft in den Schächten durch die innerhalb der eisernen Rauchröhren abziehenden Feuergase.
3. Königliches Französisches Gymnasium zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft nach im Keller liegendend. Sammelkanälen, von diesen durch Abzugschächte über Dach. Erwärmung der Luft in den Schächten durch die innerhalb eiserner Rauchröhren abziehenden Feuergase.
4. Königliches Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin.	Kachelofenheizung. Im Winter 1884/85 5 Klassenräume probeweise mittelst „Ventilationsöfen" verschiedener Systeme erwärmt.
5. Königliches Joachimsthalsches Gymnasium zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft nach Sammelkanälen, welche an der Decke desselben Stockwerks liegen, in welchem die betreffenden Klassenräume sich befinden; von den Sammelkanälen durch Abzugsschächte über Dach.
6. Städtisches Leibniz-Gymnasium zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft nach Sammelkanälen auf dem Dachboden, von diesen durch Abzugsschächte, in welchen die eisernen Schornsteine liegen, über Dach.
7. Königliches Luisen-Gymansium zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft nach dem Dachboden; von hier durch Abzugsschächte, in denen die eisernen Rauchröhren hochgeführt sind, über Dach.
8. Königliches Stadtschullehrer-Seminar zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft nach Sammelkanälen auf dem Dachboden, von diesen durch Abzugsschächte, in welchen die eisernen Schornsteine liegen, über Dach.
9. Königliche Taubstummen-Anstalt zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft nach Sammelkanälen auf dem Dachboden, von diesen durch Abzugsschächte, in welchen die eisernen Schornsteine liegen, über Dach.
10. Städtisches Victoria-Gymnasium zu Potsdam.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft durch besondere Kanäle über Dach.
11. Vorschule des Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasiums zu Berlin.	Feuer-Luftheizung. Ableitung der Luft durch besondere Kanäle über Dach. Kachelofen-Heizung für 6 Klassenräume.
12. Königliches Wilhelms-Gymnasium zu Berlin.	Drucklüftungsanlage. Erwärmung der Luft durch Feuerluftheizapparate. Bis zum Winter 1884/85 bestanden die Lüftungseinrichtungen nur in Fensterjalousien und Jalousien über den Klassenthüren. Warmwasser-Niederdruckheizung.

Die meisten Schulen enthielten sogenannte Feuerheizungen, einige auch Kachelöfen und eine besaß eine Warmwasser-Niederdruckheizung. Der Aufbau der Feuerheizungen ist genauer in „*Rietschels* Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungsanlagen" [4] beschrieben.

Bild 1 zeigt die Darstellung einer solchen Anlage. Die Luft wird außen zu ebener Erde angesaugt, aber auch in halber Gebäudehöhe, wenn die bodennahe Öffnung im Bereich von verunreinigter Luft liegt. Sie gelangt dann in eine Absetzkammer für den Staub und danach in eine Kammer mit dem Heizapparat, der heute als Direktbeheizung bezeichnet würde. Die Außenwände des Heizapparates oder die Heizgasrohre erwärmen die Luft in der Luftkammer. Die erwärmte Luft strömt durch eigenen Auftrieb durch gemauerte Kanäle in die darüber liegenden Räume. Die Austrittsöffnung der warmen Luft im Raum ist oberhalb des Aufenthaltsbereiches der Personen. Zum Absaugen der Luft gibt es unten im Raum eine oder mehrere Öffnungen. Die untere Öffnung ist im Winter wichtig, wenn geheizt werden muß. Ohne die Abluftöffnung unten würde die warme Luft nicht den Raum durchströmen.

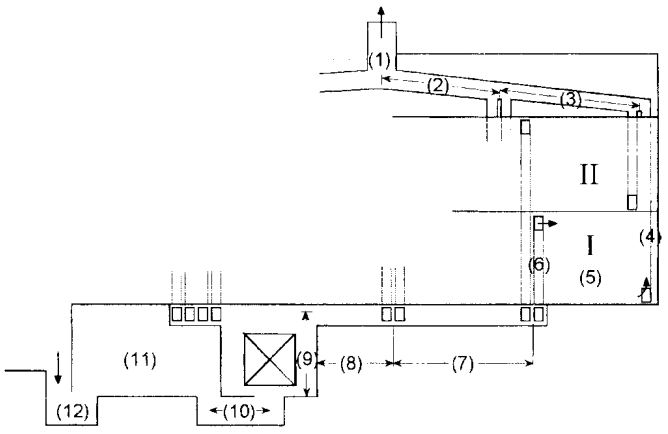

Bild 1. Beispiel einer Lüftungsanlage [4].

Rietschel gibt in seinem Buch auch Angaben über die Lage der Kanäle an: nicht in Außenwänden, nur kurze horizontale Kanäle, gemeinsame Verteil- und Sammelkanäle! Die Abluft läßt sich durch zusätzliche Beheizung antreiben. Für Schulen wurde aber keine Heizung der Abluft empfohlen, auch keine Beheizung mit dem Abgaskamin des Heizapparates. Weil Schulen nicht durchgehend beheizt wurden und außerhalb der Schulzeit auskühlten, hätte das nach *Rietschel* dazu geführt, daß morgens beim Anheizen sehr viel Luft durch die Klassenräume geströmt und nachmittags bei geringer Beheizung der Luftaustausch zu schlecht gewesen wäre. *Rietschel* rät davon ab, die Zuluft oder die Abluft durch die Fenster oder Öffnungen in der Außenwand strömen zu lassen, weil Zugerscheinungen bei kalter Außenluft nicht zu vermeiden seien.

Als zweckmäßigste Lösung wird empfohlen, die Luft durch ebenfalls gemauerte Abluftkanäle zum Dachboden und von dort durch Kanäle über Dach abzuführen. Für die Berechnung dieses Gesamtsystems finden sich ausführliche Rechenbeispiele in [4]. Eine Problematik bei der Berechnung bestand darin, daß die einzelnen Räume nicht dicht nach außen und zu den Korridoren und Treppenhäusern abgeschlossen waren. Die von *Rietschel* durchgeführten Messungen sollten deshalb vor allem auch überprüfen, welchen Einfluß diese Nebenwege auf die Durchlüftung der Räume hatten und ob zum Beispiel die Räume oben und unten im Gebäude anders beaufschlagt wurden.

Bild 2 gibt ein Beispiel für das zu berechnende System aus Raum und Luftkanälen wieder.

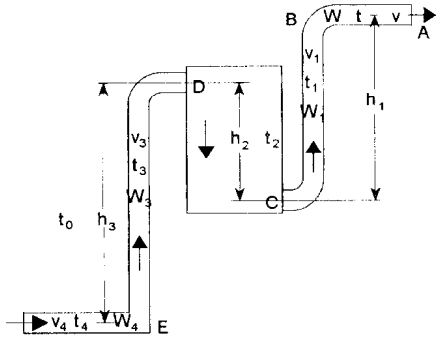

Bild 2. System aus Raum und Luftkanälen [4].

Rietschels Untersuchungen ergaben, daß die richtige Berechnung der Zuluftkanäle, aber auch die richtige Funktion, wichtiger ist als die der Abluftkanäle.

Bild 3 zeigt den Grundriß eines Klassenraumes, in dem auch die Querschnitte der Zu- und Abluftkanäle eingezeichnet sind. Der Raum hat eine Grundfläche von 53 m^2, eine Höhe von ca. 4,2 m, die beiden Fenster liegen auf der schmalen Raumseite. Die Luft tritt oben durch eine Öffnung ein und verläßt ihn unten durch die andere Öffnung. Der Lehrer, der auf der Seite gegenüber auf dem Katheder saß, beschwerte sich in einigen Fällen über Zugerscheinungen, die behoben werden konnten.

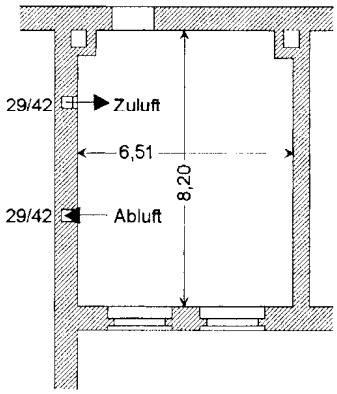

Bild 3. Grundriß eines Klassenraumes.

Damals wurde in Frage gestellt, daß mehr als dreifacher Luftwechsel je Stunde zugfrei möglich sei. *Rietschel* klärte auch diese Frage. Er stellte fest, daß dazu mehrere Luftauslässe erforderlich sind. Radialluftdurchlässe waren damals offenbar noch nicht bekannt.

Durchgeführte Messungen

Folgende Größen wurden gemessen:

1. „Kohlensäuregehalt" der Luft in den Klassenräumen,
2. Luftbewegung in den Lüftungskanälen und in den Klassenräumen,
3. Temperaturverteilung (*Wärmevertheilung*) in den Klassenräumen,
4. Feuchtigkeitsgehalt in den Klassenräumen,
5. Stündlicher Luftwechsel.

Dabei wurden die Klappen der Zu- und Abluftöffnungen in den Räumen unterschiedlich eingestellt. Der Einfluß geöffneter Türen und Fenster wurde überprüft.

Der Kohlensäuregehalt wurde nach der von *Pettenkofer* entwickelten Meßmethode ermittelt. Die Probennahme wurde zu Beginn und Ende der Unterrichtsstunden in möglichst voll besetzten, aber auch in unbesetzten Räumen durchgeführt. Dabei wurden als Wärme- und Kohlensäurequellen Stearinkerzen abgebrannt, deren Gewichtsabnahme ein Maß für Heizenergie- und Kohlendioxidabgabe war.

Aus den Meßergebnissen und Beobachtungen wurden Vorschläge für Luftwechsel und Wärmebedarf und für die Wahl, Anordnung und Ausführung von Lüftungs- und Heizungsanlagen abgeleitet. Dazu gehören schließlich auch Vorschläge für die Bedienung der Anlagen, für die Ausschreibung und für Entwurf und Ausführung.

Auslegung nach Kohlensäuregehalt

Der Abschnitt der Ergebnisse beginnt mit der Feststellung:

„Bekanntlich giebt es um das Güteverhältnis der Luft in einem von Personen benutzten Raum zu bestimmen zur Zeit keine andere Art und Weise, als die Ermittelung des Kohlensäuregehaltes. Nach von Pettenkofer wird angenommen, dass die durch den Athmungs- und Ausdünstungsvorgang hervorgerufene Luftverschlechterung proportional der von den Personen ausgeathmeten Kohlensäure gesetzt werden kann, und dass ein Kohlensäuregehalt von 1 pro mille des Luftvolumen des betreffenden Raumes, als höchste zulässige Grenze – soweit andere Quellen für Kohlensäurebildung als ausgeschlossen zu betrachten sind – nicht überschritten werden darf.

Da der Kohlensäuregehalt der athmosphärischen Luft etwa 0,4 pro mille ergiebt, soll mithin in einem von Personen benutzten Raum keine stärkere Luftverunreinigung durch die Erzeugnisse der Athmung und Ausdünstung geduldet werden, als diejenige, welche einer Kohlensäurezunahme von 0,6 pro mille entspricht. Da sich abgesehen von der Kohlensäure und Wassermenge die ***Erzeugnisse der Athmung und Ausdünstung eines Menschen gegenwärtig noch der Bestimmung entziehen****, wird man bis auf Weiteres mit dem von Pettenkofer'schen Vorschlage arbeiten müssen."*

Dieser Gedanke lag auch jeder Auslegung der Zuluftvolumenströme zugrunde. Die Auslegung wurde streng nach dem geforderten Kohlensäuregehalt durchgeführt. Im „Leitfaden" [4] läßt sich nachlesen, daß die Auslegung einer Lüftungsanlage damit begann, den Kohlensäuregehalt vorzugeben. Mit der Personenzahl, für die der Raum vorgesehen war, wurde dann der Zuluftvolumenstrom festgelegt. Darauf wurde mit der Annahme der Zulufttemperatur der Auftrieb und der Widerstand des Luftkanales berechnet, bzw. sein Querschitt so ausgelegt, daß der vorgesehene Volumenstrom bei der ungünstigsten angenommenen Temperaturdifferenz noch strömte.

Bild 4 als ein Beispiel gibt das Raum-Kanal-System wieder, das es zu berechnen galt. Dazu mußte eine Annahme über die Außenlufttemperatur gemacht werden, bei der der gewünschte Luftaustausch noch eintreten sollte. Für Klassenräume wurden 10 °C gewählt. (Zum Vergleich für Krankenhäuser und Parlamentsgebäude 25 °C). Weiterhin mußte die tiefste Außentemperatur für die Bestimmung der Heizlast gewählt werden – für Schulen – 10 °C. Dann ließen sich mit der Lufttemperatur hinter dem Heizapparat die Auftriebskräfte mit den senkrechten Kanalabschnitten und die Widerstände für die einzelnen Kanalabschnitte berechnen, insbesondere für die Zuluftleitung bis in den Raum. Der Druck im Raum wurde gleich dem Umgebungsdruck gesetzt, sodaß die Berechnung des Abluftkanales erneut mit der Temperaturdifferenz Abluft zur Außenluft auszulegen war.

Ergebnisse

Als charakteristische Ergebnisse sind die *Bilder 5* und *6* zu betrachten. Für den gleichen Klassenraum des *Friedrich-Wilhelm*-Gymnasiums wurden die CO_2-Konzentrationen mit und ohne Belüftung für einen Vormittag ermittelt und aufgetragen. Man erkennt auf *Bild 6*, daß am Ende des Vormittags ohne Belüftungsanlage Konzentrationen bis 8000 ppm erreicht wurden. Das Lüften in den Pausen führte zwar zu einer Reduktion um jeweils etwa 1500 ppm, aber die Außenluftpegel wurden beim Lüften nicht erreicht, weil die Pausen zu kurz waren. *Bild 5* zeigt den Erfolg einer Belüftungsanlage, die neben dem Auftrieb auch einen Wasserstrahlventilator zur Luftförderung benutzte. *Rietschel* stellt fest, daß die Anlage

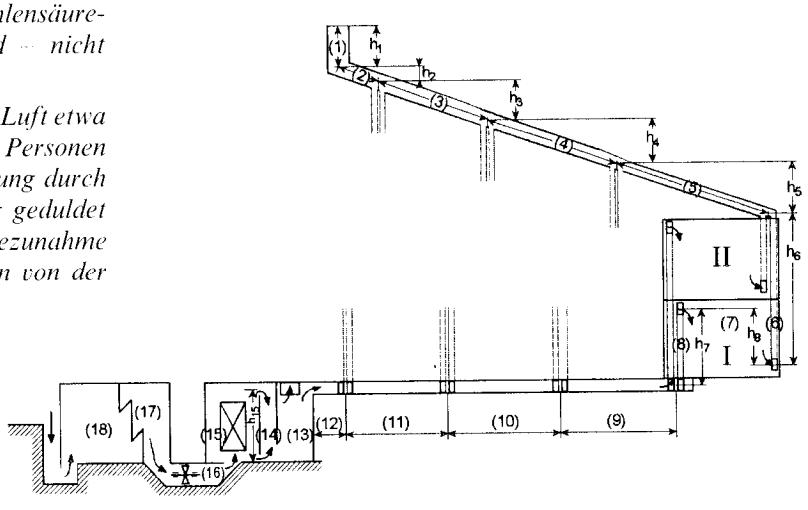

Bild 4. Raum-Kanal-System für die Widerstandsberechnung.

Tabelle 2. Übersicht über die CO_2-Konzentrationen in den untersuchten Räumen.

Lehr-Anstalt	Beobachteter auf 50 Schüler und einen Klassenraum von 200 cbm reducirter Kohlensäuregehalt			Anzahl der am Ende einer Stunde angestellten Kohlensäure-Ermittelungen
	Niedrigster am Ende einer	Höchster Stunde	Durchschnittl.	
Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin (Klassen ohne Lüftungseinrichtungen)	2,712‰	18,184‰	9,075‰	52
Königl. Taubstummen-Anstalt zu Berlin	2,209	13,007	7,558	8
Königl. Blinden-Anstalt zu Steglitz	3,614	9,818	7,174	13
Vorschule des Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasiums zu Berlin (Klassen ohne Lüftungseinrichtungen)	2,853	5,991	5,802	8
Königl. Französisches Gymnasium zu Berlin	3,260	6,641	4,452	14
Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin (Klassen mit Lüftungseinrichtung)	2,139	9,997	4,252	20
Königl. Wilhelms-Gymnasium zu Berlin (frühere Lüftungsanlage)	1,870	6,037	3,566	43
Königl. Elisabeth-Schule zu Berlin	1,224	4,612	2,818	23
Königl. Stadtschullehrer-Seminar zu Berlin	1,510	4,971	2,757	24
Vorschule des Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasiums zu Berlin (Klassen mit Lüftungseinrichtung)	1,739	3,542	2,468	15
Städtisches Leibniz-Gymnasium zu Berlin	1,531	4,403	2,314	26
Königl. Joachimsthalsches Gymnasium zu Berlin	0,730	4,725	2,057	31
Königl. Luisen-Gymnasium zu Berlin	0,934	2,857	1,624	17
Königl. Wilhelms-Gymnasium zu Berlin (Drucklüftungsanlage)	1,055	1,698	1,385	10

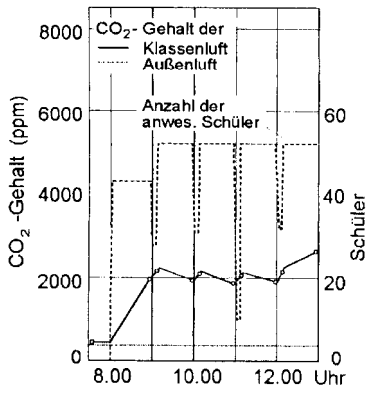

Bild 5. CO_2-Konzentrationen mit Belüftung.

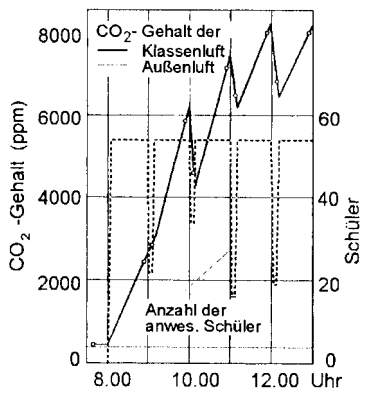

Bild 6. CO_2-Konzentrationen ohne Belüftung.

zwar zu einer Verbesserung führt, daß aber wegen der zu gering bemessenen Luftleitungen der Zuluftaustausch zu gering ist. *Tab. 2* gibt eine tabellarische Zusammenstellung aller gemessenen Werte wieder, die auf die Sollschülerzahl umgerechnet wurden. Man erkennt, daß die angestrebte Konzentration von 1000 ppm oder 1‰ in keinem der untersuchten Räume erreicht wird. *Rietschel* macht sich deshalb auch Gedanken, wieweit von der ursprünglichen Forderung abgewichen werden kann, eine CO_2-Konzentration von 1‰ nicht zu überschreiten. Er hält einen „Kohlensäuregehalt", den eine „Commission für die Untersuchung der Heizungs- und Ventilationsanlagen in den städtischen Schulgebäuden" zu Berlin mit 2,14‰ als das „praktisch Erreichbare" hielt, für zu hoch. Er meint schließlich:

„Wenn der Kohlensäuregehalt nicht mehr als 1,5 ‰ betrug, konnte bei Betreten eines Klassenraumes durch den Geruchssinn eine schlechte Luft nicht wahrgenommen werden und wenn auch dieser Umstand nicht allein ausschlaggebend sein kann, so wird er unter Berücksichtigung der Bedingung ausführbarer Verhältnisse und zugfreier Ein- und Ableitung der benöthigten Luftmenge doch Beachtung verdienen. Selbst bei einem zulässigen Kohlensäuregehalt von 1,5‰ werden bei geringen Baumitteln die erforderlichen Raumverhältnisse der Klassen für die älteren Schüler häufig noch als zu bedeutende erscheinen. Rathsam ist es stets, sowohl in Anbetracht der Kosten, als des Lüftungseffektes den nöthigen Rauminhalt der Klassen bei gegebener Schülerzahl möglichst durch Vergrößerung der Höhe, statt

durch Vergrößerung der Fussbodenfläche zu erzielen. Bei der Verschiedenartigkeit, mit welcher die Behörden die Wirksamkeit der Lüftungsanlagen für Schulen behandeln, scheint die Regelung der Frage des nöthigen Luftwechsels und diesbezügliche überall gleichmässig von allen Behörden zu befolgende Vorschriften ein dringendes Bedürfnis zu sein."

Als Empfehlung für die Auslegung der Lüftungsanlagen werden schließlich Tabellen mit den erforderlichen Zuluftströmen angegeben, die das Raumluftvolumen und sogar das Alter der Schüler, sowie die Länge der Unterrichtsstunden und der Pausen berücksichtigen.

Auf die weiteren interessanten Ergebnisse vor allem der Gebäudedurchströmung soll hier im einzelnen nicht eingegangen werden. Sehr interessant ist aber eine Aussage über die Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich. *Rietschel* schreibt:

„Auf die Luftbewegung bezw. auf Zugerscheinungen in den Klassenräumen wurde bei den Untersuchungen besonderer Werth gelegt. Zunächst wurde festgestellt, dass bewegte Luft bei einer Temperatur von + 18 bis 20 °C noch als Zug empfunden werden kann, wenn die Geschwindigkeit sich der Messung durch die gebräuchlichen Anemometer entzieht. Durch die Apparate, welche für die Untersuchung zur Verfügung standen, konnte eine geringere Luftgeschwindigkeit als 0,16 m in der Secunde nicht mehr gemessen werden und wurden zur Auffindung der Bewegungsrichtung brennende Kerzen und Pulverdampf benutzt."

Rietschel hat also immerhin schon gewußt, daß die Luftgeschwindigkeit in Räumen kleiner als 16 cm/s sein muß bei Temperaturen zwischen 18 und 20 °C. Etwa 50 Jahre später entwickelte *Gröber* eine ganz andere Vorstellung. Heute sind wir etwa wieder bei *Rietschels* Vorschlägen angekommmen.

Eine besondere Schwierigkeit bestand in der Einhaltung der richtigen Temperaturen im Klassenraum. Die Konstanz der Zulufttemperatur hing weitgehend von der Geschicklichkeit der Heizer ab. Immerhin wird zur Verbesserung empfohlen, elektrische Fernthermometer anzubringen. *„Behufs Kontrolle und Regelung der Temperatur in den Klassenräumen und der Aula sind Fern-Thermometer, welche für jeden Klassenraum das Unter- und Überschreiten von 17, 18 und 19 °C. am jeweiligen Regelungsstand auf elektrischem Wege anzeigen, vorzusehen. Dieselben sind mit sogenanntem Ruhestrom zu konstruiren, d.h. es ist der elektrische Strom durch besondere Vorrichtung bei jedesmaliger Kontrolle einzuschalten."*

Es wird zwar nicht ausdrücklich gesagt, aber eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung über der Höhe wird offenbar für die bessere Lösung gehalten. Der Temperaturanstieg im Raum hing bei der Luftheizung sehr stark von der Zulufttemperatur ab und, wenn die Gasbeleuchtung benutzt wurde, gab es einen weiteren starken Temperaturanstieg unter der Decke. Als ganz unzureichend wird bemängelt, daß die Zulufttemperatur im Mittel bei 66,5 °C lag, teilweise 112 °C erreichte. *Rietschel* beobachtete, daß der Temperaturanstieg bei besetzten Räumen geringer ist, und erklärte das richtig mit der Auftriebsströmung der Personen. Ähnliches wurde für die Räume mit Warmwasserheizung gefunden. (Von Quellüftung wird zwar noch nicht gesprochen, aber das Verständnis des qualitativen Verhaltens dieser Strömung ist schon erkennbar!).

Es gibt noch einen Bereich, über den unser heutiges Wissen praktisch kaum weiter ist als zu *Rietschels* Zeiten, das ist die Feuchtigkeit. *Rietschel* schreibt:

„Die Ansichten über den der Gesundheit zuträglichen Feuchtigkeitsgehalt der Luft sind noch nicht geklärt, theils wird nur Wert auf einen bestimmten Sättigungsgrad der Luft unabhängig von der Temperatur gelegt, theils wird gefordert, dass eine bestimmte Gewichtsmenge Wasserdampf in der Luft enthalten sein müsse, der Sättigungsgrad hingegen je nach der Temperatur ein verschiedener sein könne. In Folge des Mangels von sicheren Grundlagen wird gewöhnlich ohne die Temperatur zu berücksichtigen, ein jeweiliger Feuchtigkeitsgehalt von 40 bis 60% der absoluten Sättigung gefordert, ein Begehren, welches sich, soweit wenigstens die untere Grenze in Frage kommt, ohne Schwierigkeit erfülllen läßt."

Rietschel weist schon darauf hin, daß Lehrer vor allem in Räumen mit Luftheizungen auch bei relativen Feuchten über 60% häufig über zu trockene Luft klagen. Er hält das für vollkommen natürlich, weil einerseits die *„Athmungswerkzeuge durch anhaltendes Sprechen angegriffen werden"*, andererseits aber durch Einatmen von Staub ein Trockenheitsgefühl und besonders, wenn der Staub mit überhitzten Flächen in Berührung kommt, durch dessen Verbrennungsprodukte eine zusätzliche Reizung entsteht. *„Es ist als wahrscheinlich zu bezeichnen, dass viele Klagen über Trockenheit auf das Vorhandensein größerer Mengen von Staubteilchen in der Luft zurückzuführen sind."* Diese Vorstellung ist auch heute noch eine von den plausibelsten, wenn auch nicht endgültig bewiesenen, Erklärungen für die als zu trocken empfundene Luft in klimatisierten Räumen.

Es gab auch damals schon einige Schwierigkeiten mit den Luftbefeuchtungsapparaten. Und *Rietschel* empfiehlt deshalb, den Luftbefeuchtungsvorrichtungen besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, *„da dieselben, wie die vorgenommenen Messungen ergeben haben, oftmals sehr mangelhaft und ungleichmässig ihren Zweck erfüllen."*

Er berichtet über einen Fall, bei dem mit dem gleichen Befeuchter in einem verzweigten Kanalsystem im einen Raum eine relative Feuchtigkeit von 20, im anderen von 81% mit Kondensation an den Wänden erzielt wurde, weil die gewünschte Verteilung der Feuchtigkeit auf die Zuluftkanäle durch falsche Anordnung nicht eintrat.

Rietschel weist im Zusammenhang mit der Feuchtigkeit auch auf einen weiteren sehr wichtigen bis heute nicht endgültig geklärten Punkt hin. *„Die Luft, welche in unmittelbarer Berührung mit den Gegenständen und Personen sich befindet, wird meist die gesättigtere im Raume sein und je langsamer dieselbe durch andere weniger gesättigte ersetzt wird, um so geringer wird die Entziehung von Feuchtigkeit sein. Je lebhaftere Luftbewegeung in einem Klassenraum herrscht, desto rascheren Luftwechsel wird auch die die Schüler und Lehrer unmittelbar umgebende Luftschicht erfahren ..."*

Er hat im Prinzip damals schon vorgeschlagen, nicht separat Luftgeschwindigkeit und Temperatur, sondern die Umströmung der Person mit zu berücksichtigen. Diese Untersuchung steht bis heute aus. Bei einer in unserem Institut zum Thema Quellüftung durchgeführten Untersuchung wurde dieser Teil der Experimente Opfer der letzten Sparrunde vor Genehmigung des Vorhabens.

Empfehlung für den Anlagenbauer

Auf einen sehr kurzen Nenner gebracht wird empfohlen, Lüftung und Heizung möglichst getrennt vorzunehmen. Für die Heizung wird Warmwasserniederdruckheizung als die beste Lösung empfohlen, wenngleich es sich dabei um eine kostspielige Lösung handele. Von Dampf- und Heißwasserheizung wird abgeraten. Die Lüftung soll mit auf Zimmertemperatur vorgewärmter Luft geschehen, damit nicht die Belüftung von der Heizlast abhängig wird.

Die ganze Untersuchung ist im Zusammenhang mit der Frage zu sehen, wie Schulen damals beheizt und belüftet werden sollten, vor dem Hintergrund der Änderungen, die dadurch entstanden, daß man von der Ofenheizung zu zentralen Systemen überging. Die Fensterlüftung wurde abgelehnt, und es wurde gar nicht erst in Frage gestellt, ob mit einer Zuluftanlage belüftet werden sollte.

Der Zustand heute

Der damalige Vorschlag *Rietschels* hat sich in den späteren Jahren nur zur Hälfte durchgesetzt: Die Warmwasserheizung wird heute fast überall angewendet. Zusätzliche Lüftung ist aber die Ausnahme. Die Einhaltung der richtigen Temperaturen im Raum ist damit einigermaßen gelöst, wenn man von kalten Wintertagen absieht. Der heiße Sommertag ist kein Problem, weil es „hitzefrei" gibt.

Es hat sich aber nicht viel geändert, was die Luftqualität und insbesondere den Kohlendioxidgehalt der Luft in Schulen betrifft. Es gibt zahlreiche Untersuchungen, die belegen, daß vor allem an kalten Wintertagen in Klassenräumen sehr hohe CO_2-Konzentrationen erreicht werden [6, 7, 8]. *Bild 7* zeigt ein solches Meßergebnis nach [7].

Es werden Konzentrationen von fast 5000 ppm erreicht. Das entspricht der „Maximalen Arbeitsplatz-Konzentration" (MAK-Wert), eines in Betrieben zulässigen Wertes, in denen produktionsbedingt CO_2 anfällt! Es ist bis heute nicht sicher, ob bei diesen Konzentrationen die geistige Leistungsfähigkeit bereits nachläßt. Sicher ist allerdings, daß die Luftqualität bei so hohen CO_2-Konzentrationen sehr schlecht ist, vollkommen in Übereinstimmung mit den Feststellungen *Rietschels*.

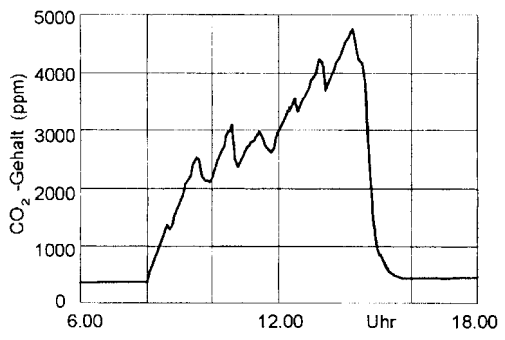

Bild 7. CO_2-Konzentration in einem Klassenzimmer nach [7].

Die CO_2-Konzentrationen fallen heute etwas niedriger aus als zu *Rietschels* Zeiten, weil die Zahl der Schüler je Klasse heute bei etwa 30 liegt, während man damals mit 50 bis 60 Schülern rechnen mußte, während Fläche und Volumen der Klassen ungefähr gleich groß blieben. Statt 10000 werden nur noch 5000 ppm erreicht.

Es gab im Zusammenhang mit dem Bau von Gesamtschulen Bestrebungen, die Luftqualität in Schulen zu verbessern. Und tatsächlich gelang es auch, durch Einbau von Lüftungsanlagen die CO_2-Konzentrationen in Klassenräumen zu senken, wie Messungen aus dem Jahre 1978 belegen [9]. Die Anlagen selbst müssen aber nicht besonders gut ausgeführt gewesen sein, denn obwohl Temperatur, Luftfeuchten, Luftgeschwindigkeiten und die CO_2-Konzentrationen (< 650 ppm) im Bereich der gewünschten Werte lagen, wird berichtet: *„Im Gegensatz dazu stehen offenbar berechtigte Beschwerden über die schlechte Luftbeschaffenheit (Gerüche!). Dies ist auf zahlreiche bei den Untersuchungen erkannte Undichtigkeiten in der Verbindung Aufenthaltsraum/Zwischendecke, auf nachgewiesene undichte Kanalanschlüsse, z. B. an den Abluftleuchten, sowie auf den nennenswerten Umluftbetrieb und die unzulängliche Reinigung der Luft zurückzuführen."*

Daß die Luftqualität in Schulen nicht nur in Deutschland heute immer noch recht schlecht ist, selbst wenn Lüftungsanlagen vorhanden sind, belegen Messungen aus 10 Schulen in Kopenhagen [10], von denen acht mit Lüftungsanlagen ausgeführt sind. Die höchsten CO_2-Konzentrationen stellten sich, wie zu erwarten, bei den Schulen mit freier Lüftung ein. Allerdings bestätigen die Ergebnisse auch hier, daß Lüftungsanlagen allein noch nicht eine Garantie für gute Luftqualität sind. Die Untersuchungen dieser Arbeit gehen aber erstmals über die Messung der CO_2-Konzentrationenen hinaus und ermöglichen so, die Ursachen der schlechten Luftqualität zu lokalisieren. Und das ist der eigentliche Fortschritt gegenüber *Rietschels* Untersuchungen. *Bild 8* zeigt die Beschwerderate der Schüler in den verschiedenen Schulen. Dabei werden die Schleimhautreizungen (Augen, Nase, Hals) und die allgemeinen Symptome (Kopfschmerzen, abnormale Müdigkeit und Krankheit) der Schüler angegeben. Die Schulen G und H haben keine RLT-Anlagen, die Schule F hat eine RLT-Anlage, die als einzige mit Umluft arbeitet. Bei diesen drei Schulen ist die Beschwerderate am höchsten.

Die Luftverschmutzungen in den untersuchten Schulen mit RLT-Anlage stammen zu 40 % von den Personen, zu 40 % aus der RLT-Anlage und zu 20 % von den Materialien im Raum. Wie Beispiel A zeigt, sind gute Lösungen mit RLT-Anlagen möglich.

In der gleichen Untersuchung wird auch ein Zusammenhang zwischen den CO_2-Konzentrationen, den Schleimhautreizungen und den generellen Beschwerden und der Empfundenen Luftqualität in Dezipol in den Räumen festgestellt. Die Ergebnisse sind in den *Bildern 8* bis *11* dargestellt. Es ergibt sich ein erkennbarer Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern. Die Empfundene Luftqualität wird in Abhängigkeit von der CO_2-Konzentration (hier über dem Umgebungspegel) deutlich schlechter. Falls eine Extrapolation der Werte erlaubt ist, lassen sich auch Rückschlüsse auf die Luftqualität in den Schulen zur Zeit *Rietschels* ziehen. Die Verunreinigungen durch die RLT-Anlage dürften nach den Schilderungen *Rietschels* eher noch höher gewesen sein.

Die Schlußfolgerung aus der dänischen Untersuchung lautet, daß RLT-Anlagen selbst sehr sauber ausgeführt werden müssen und daß alle Luftverschmutzungen im Raum auf ein Minimum reduziert werden müssen. Man muß einen Außenluftstrom von 25 $m^3/h \cdot olf$ in die Räume einbringen, wenn eine Zufriedenheitsrate von 80 % erreicht werden soll.

Ein Beispiel, wie mit RLT-Anlagen bei relativ geringem Aufwand die Forderung nach geringer CO_2-Konzentration verwirklicht werden kann, wird in [11] gegeben. Es handelt sich um eine Grundschule in der Nähe von Stockholm. Sie hat eine bedarfgeregelte Variabelvolumenstromanlage mit Bewegungsmeldern. Ein Raum mit Quelluftdurchlässen führt zu einem Zuluftbedarf von knapp 30 m^3/h/Schüler. In der Untersuchung wurden allerdings leider keine Messungen zur Empfundenen Luftqualität gemacht.

Weitere Literatur, Vorschriften, Richtlinien

Als richtungsweisend, wie RLT-Anlagen in Schulen und anderswo in Zukunft geplant und gebaut werden sollten, kann eine neue finnische Richtlinie betrachtet werden [12]. Auf sie soll wegen ihrer großen Bedeutung kurz eingegangen werden. Es werden nicht nur Vorschriften für die RLT-Anlagen gemacht, sondern auch für die Baumaterialien im Gebäude, die Montage, die Reinheit der verwendeten Komponenten. Dafür werden jeweils verschiedene Kategorien vorgegeben. Als anzustrebende Zielwerte für das Innenraumklima werden 3 Kategorien S1 bis S3 beschrieben. *Tab. 3* gibt einen Auszug aus den vorgeschlagenen Daten wieder.

Betrachtet man die heutige deutsche Literatur und die Richtlinien zum Thema Schullüftung, so ergibt sich ein eher betrüblicher Ausblick. In [5] wird auf eine zurückgezogene DIN-Norm DIN 1946 Blatt 5 hingewiesen. Bilder zur Luftführung weisen auf recht überholte Formen der Mischlüftung hin. Lediglich bei Gesamtschulen sind danach RLT-Anlagen erforderlich. Leider sind viele dieser Anlagen in so schlechtem Ruf, daß man sie kaum als vorbildlich bezeichnen kann [9]. Da es sich in der Anfangsphase dieser Schulen auch um Experimente mit fensterlosen Räumen und sehr leichter Bauart handelte, waren die RLT-Anlagen nur erforderlich, um Fehler des

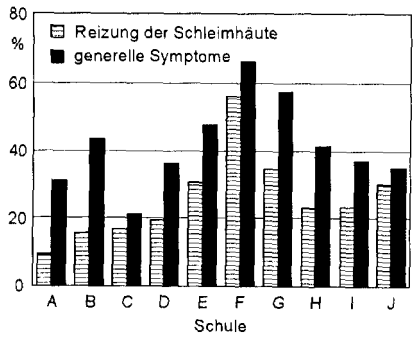

Bild 8. Schleimhautreizungen und generelle Beschwerden in verschiedenen Schulen in Kopenhagen [10].

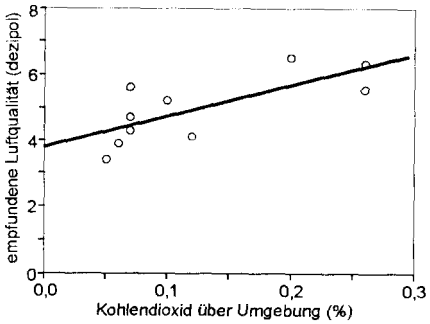

Bild 9. Empfundene Luftqualität abhängig von den CO_2-Konzentrationen [10].

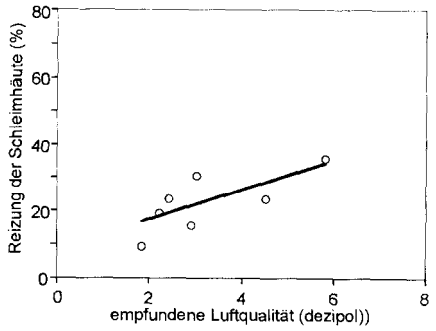

Bild 10. Reizungen der Schleimhäute.

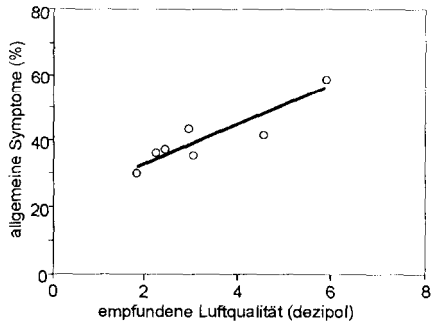

Bild 11. Allgemeine Symptome in Abhängigkeit von der Empfundenen Luftqualität [10].

Gebäudekonzeptes zu korrigieren. Dazu sollte sich eine seriöse Branche möglichst nicht bereitfinden.

So ist auch nicht verwunderlich, daß in einer AMEV-Richtlinie [14] vorgeschlagen wird, in Schulen nur unter ganz bestimmten Bedingungen RLT-Anlagen einzubauen (hoher Lärmpegel der Umgebung, Räume mit Verdunkelungseinrichtungen und dgl.).

Tabelle 3. Anzustrebende Werte für Innenräume [12].

Bezeichnung	Einheit	Kategorie					
		S1		S2		S3	
Raumlufttemp. Winter	°C	21 22		21 23		20–24	
Sommer	°C	22 25		22–27		22–27 (35)*	
Fußbodentemperatur	°C	19–29		19–29		17–31	
Vertikale Temperat.diff.	°C	< 2		< 3		< 4	
Luftgeschwindigkeit Winter 21 °C	m/s	< 0,10		< 0,15		< 0,15	
Sommer 24 °C	m/s	< 0,15		< 0,20		< 0,25	
27 °C	m/s	< 0,20		< 0,25		< 0,30	
Relative Feuchtigkeit Winter	%	25 45		...		–	
Sommer	%	30–60		–		–	
Schalldruckpegel, Büros	dB(A)	< 30		< 35		< 35	
Wohn-, Schlafzimmer	dB(A)	< 25		< 25		< 28	
Luftwechsel in Wohnungen	1/h	> 0,8		> 0,6		> 0,4	
Ammoniak (NH_3)	mg/m³	< 0,02		< 0,03		< 0,05	
Formaldehyd (H_2CO)	mg/m³	< 0,03		< 0,05		< 0,15	
Gesamte flüchtige Substanzen (TVOC)	mg/m³	< 0,2		< 0,3		< 0,6	
Empfundene Luftqualität	dezipol	< 2		< 4		< 5,5	
Kohlendioxid (CO_2)	ppm	< 1000		< 1250		< 1500	
	mg/m³	< 1800		< 2250		< 2700	
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m³	< 2		< 5		< 8	
Ozon (O_3)	mg/m³	< 0,05		< 0,07		< 0,10	
Gesamtstaub	mg/m³	< 0,06		< 0,06		< 0,06	
Radon	Bq/m³	< 200		< 200		< 200	
Luftstrom		l/s, P	l/s/m²	l/s, P	l/s/m²	l/s, P	l/s/m²
Schulen		12	6	9	4,5	6	3

Schlußbemerkung

Rietschel hat für seine Zeit wegweisende und sehr ausführliche Messungen zum Innenraumklima in Schulen gemacht. Die Luftqualität stand dabei im Vordergrund. Sie stellte sich in vielen Schulen als sehr schlecht heraus.

Im Hinblick auf die Luftqualität, die man heute in Schulen weitgehend vorfindet, hat sich von *Rietschel* bis heute leider nicht viel geändert. Die beklagenswerten Zustände mit CO_2-Konzentrationen bis zu 5000 ppm, die zu Kopfschmerzen und Müdigkeit führen, werden wohl besonders zu Zeiten knapper Kassen noch einige Zeit andauern.

Trotzdem gibt es Anlaß zu Optimismus, daß in weiteren 100 Jahren sehr viel bessere Luftqualität in Schulen vorgefunden werden wird. Denn die Methoden, die Luftqualität zu bestimmen und die Quellen der Verunreinigung einzugrenzen, sind heute bereits sehr viel besser geworden. Sie müssen nur noch angewendet werden! Hier ergibt sich für die RLT-Anlagenbauer eine sehr große Aufgabe und Chance, die allerdings zunächst einen Lernprozeß und einiges Umdenken voraussetzt.

Literatur

[1] Vortrag des Herrn *H. Rietschel* über Schulheizung, aus Verhandlungen des ersten Verbandstages Deutscher Ingenieure für Heiz- und gesundheitstechnische Anlagen am 11. und 12. Januar 1880 zu Dresden, Der Rohrleger und Gesundheits-Ingenieur 3 (1880) Nr. 3 und 4.

[2] Versammlung von Heizungs- und Lüftungsfachmännern, Berlin 1896. Gesundheits-Ingenieur 19 (1896) No. 17, 18.

[3] *Rietschel, H.:* Lüftung und Heizung von Schulen. Berlin: Verlag Julius Springer, 1886.

[4] *Rietschel, H.:* Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungsanlagen. Berlin: Verlag Julius Springer, 1894.

[5] *Recknagel-Sprenger-Schramek:* Taschenbuch für Heizungs- und Klimatechnik, 94/95. 67. Auflage, Oldenbourg Verlag, 1995, S. 1490ff.

[6] *Wanner, H. U.:* Belastung der Raumluft durch den Menschen (Kohlendioxid, Gerüche), Luftqualität in Innenräumen. Schriftenreihe Wasser-, Boden-, und Lufthygiene 53, G. Fischer Verlag 1982.

[7] *Rigos, E.:* CO_2-Konzentration im Klassenzimmer. Umschau 81 (1981), S. 172 174.

[8] *Schumann, M.:* Kohlendioxid in Innenräumen. VDI-Berichte Nr. 1122 (1994).

[9] *Wegner, J.* und *Schlüter, G.:* Studie über raumklimatische Umgebungsbedingungen in ausgewählten Räumen eines Berliner Mittelstufenzentrums. GI 100 (1979) Nr. 7, S. 202–205.

[10] *Thorstensen, E., Hansen, Ch., Peitersen, J., Clausen, G. H.* and *Fanger, P. O.:* Air Pollution and Indoor Air Quality in Schools. Proc. of INDOOR AIR '90, Toronto 1990, Vol. 1, S. 531–536.

[11] *Norell, L.:* Demand Controlled Ventilation in a School. Proc. 12th AIVC Conference, Ottawa, Canada, 1991.

[12] Classification of Indoor Climate, Construction, and Finishing Materials. Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate, FiSIAQ, Espoo 1995, Publication 5E, ISBN 951-97186-3-X.

[13] DIN 1946 Blatt 5 Lüftungstechnische Anlagen, Lüftung von Schulen (8.67) (zurückgezogen).

[14] AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen): Hinweise zur Planung und Ausführung von RLT-Anlagen für öffentliche Gebäude, Korrekturexemplar 2/92.