

Die Lüftungs- und Klimatechnik in der wieder aufgebauten Semperoper Dresden

Ing. Christian NEFF
VEB Lufttechnische Anlagen Dresden



Die wieder aufgebaute Semperoper – Ansicht vom Theaterplatz aus



Am 13. Februar 1985, genau 40 Jahre nach ihrer sinnlosen Zerstörung im zweiten Weltkrieg, wurde die Dresdner Semperoper mit der Aufführung „Der Freischütz“ von C. Maria von Weber feierlich wiedereröffnet. Mit dem Aufbau dieser berühmten und traditionsreichen Kulturstätte entstand ein weiteres kulturhistorisches Bauwerk des weltbekannten Architekturensembles im Stadtzentrum Dresdens in neuer alter Schönheit. Gleichzeitig wurden den Theaterschaffenden der Staatsoper Dresden moderne und großzügige Arbeitsbedingungen geschaffen. Im folgenden werden die Lüftungs- und Klimaanlagen der Semperoper beschrieben, dabei wird auf Lösungen und Ergebnisse bei den wichtigsten Anlagen näher eingegangen.

Das Objekt ist gegliedert in die Teilobjekte (Bild 1)

- Vorstellungshaus (Semperoper) (1)
- Funktionsgebäude mit gesonderter Probebühne (2) (3)
- Operncafé und Betriebsgaststätte (4)
- Theaterwerkstätten.

Die Projektierung, Lieferung und Montage der lüftungstechnischen Anlagen einschließlich der zugehörigen Kälte-, Regelungs- und Schallschutztechnik erfolgten durch den VEB Lufttechnische Anlagen Dresden als Hauptauftragnehmer.

Der moderne Gesellschaftsbau stellt in zunehmendem Maße hohe Anforderungen an raumklimatische Bedingungen. Diese ergeben sich einerseits aus den physiologischen Behaglichkeitskriterien für Personen bei unterschiedlichen Belastungen und andererseits aus den zu erfüllenden Bedingungen für immer umfangreichere technische und technologische Einrichtungen.

Die Vielfältigkeit von Anforderungen an die Lüftungstechnik im Gesellschaftsbau wird bei einem Theaterbau mit allen seinen funktionsbedingten Teilkomplexen besonders augenfällig. Dabei erstreckt sich das lüftungstechnische Anlagenprofil von einfachen Absauganlagen bis zu variationsreichen modernen Klimaanlagen.

Vorstellungshaus

Die frühere Semperoper war bereits mit einer Belüftungsanlage für Zuschauerraum und Foyer ausgestattet. Diese alte Anlage – nach der Zerstörung des Hauses im Keller noch zu sehen –, stellte ein interessantes historisches Zeugnis der Lüftungstechnik dar.

Sie bestand in ihrer ursprünglichen Konzeption aus einem Lüfter mit Dampfmaschinenantrieb und Flachriementransmission. Das Lüftergehäuse war aus Ziegelsteinen gemauert, die Innenfläche mit Putz höchster Güte geglättet. Über wenige vertikale Schächte wurde die Luft in die genannten Bereiche geleitet.

Der Wiederaufbau der Semperoper war wegen der Notwendigkeit, ihren historischen Charakter zu wahren und gleichzeitig modernste Technik einzubeziehen, für das Fachgebiet Lüftungs- und Klimatechnik eine komplizierte aber interessante Aufgabe. Die Lüftungstechnik hatte sich in vielen Bereichen des Hauses sowohl den architektonisch und künstlerisch historischen Wiederaufbaukriterien als auch den theatertechnischen Bedingungen unter- bzw. einzuordnen. Das trifft für die Anordnung von Außenluft-Ansaug- und Fortluftöffnungen in der historischen Fassade genauso zu, wie für die Luftein- und -austritte in den innenarchitektonisch und künstlerisch reich gestalteten Öffentlichkeitsbereichen sowie für die mit umfangreicher und variabler Technik ausgestattete Bühne. Solch eine große Aufgabe war nur in engster Zusammenarbeit mit den Architekten und den anderen Fachgewerken, von der Projektierung über die Realisierung bis hin zur Einregulierung und Übergabe der lüftungstechnischen Anlagen lösbar.

Im Vorstellungshaus der Semperoper wurden 27 lüftungstechnische Anlagen (davon sechs Klimaanlagen) und sechs Rauchgasanlagen installiert. Von diesen Anlagen (außer den Rauchgasanlagen) wird stündlich eine Luftmenge von etwa 220 000 m³ aufbereitet und gefördert.

Die Anlagenaggregate sind in fünf Lüfterzentralen untergebracht. Die Außenluftansaugung erfolgt im obersten Bereich der Nord- und Nord-Ost-Fassade. Der Hauptanteil der Fortluft wird in etwa symmetrischer Anordnung zur Außenluftansaugung an der Süd- und West-Fassade ins Freie geblasen.

Kernpunkt der Lüftungstechnik im Vorstellungshaus sind die Klimaanlagen für Zuschauerraum und Hauptbühne. Des Weiteren werden Orchester-Probenraum, Foyer und Vestibül, Ton- und Lichtregierräume, Schalt- und Technikräume, Instrumentenräume, Zentralgarderobe, Pausenversorgungseinrichtungen, Lager- und Werkstatträume sowie sanitäre Bereiche lüftungstechnisch versorgt.

Zuschauerraum

Für den Zuschauerraum wurde das in einigen Objekten bereits erfolgreich verwirklichte Prinzip der Mikro-Klimatisierung über die Stuhl-Rückenlehnens als optimale Lösung aufenthaltsorientierter Klimatisierung mit minimalem Energieaufwand realisiert. Dabei wurden in einer weiterentwickelten Form die tragenden Elemente der Stühle für die Luftführung genutzt (Bild 2).

Die Schaffung der hierfür notwendigen Voraussetzungen, wie ein etwas größerer Abstand der Stuhleinheiten, die Ausbildung der Druckräume für Parkett und Ränge sowie der Anschluß der Rang-Druckräume an die vertikalen Zuluftkanäle, war wegen vieler Zwangspunkte des Wiederaufbauobjekts problematisch und fand nicht sofort die Zustimmung des Auf-



1 Modell des Gesamtkomplexes Semperoper Dresden

traggebers und der Architekten. Erst die überzeugende Darlegung der entscheidenden Vorteile dieser Lösung führte zum Einverständnis und aktivierte die Zusammenarbeit zwischen Bau- und Lüftungsprojektanten. So konnte im gesamten Zuschauerraum die Mikro-Klimagestaltung mit Zuflaufaustritt über die Stuhl-Rückenlehnen realisiert werden.

Erstmals sind in diesem Objekt auch die Rangbrüstungen durch ein analoges Prinzip mit einbezogen worden. Das war notwendig, weil die Ränge nur eine bis maximal drei Stuhlreihen haben und der Anteil von Plätzen in den ersten Reihen mehr als 50 Prozent beträgt. Würden die Brüstungen nicht einbezogen, wäre für etwa 300 Plätze keine direkte lüftungstechnische Versorgung möglich.

Der Zuschauerraum mit insgesamt 1284 Plätzen wird durch zwei getrennte Primär luftanlagen, eine für das Parkett und eine für die Ränge, versorgt. Diese Trennung hat sich vor allem aus Regelungstechnischer Sicht bewährt. Außerdem gestaltet sie dem Nutzer eine wirtschaftlichere Betriebsweise (z. B. bei Proben). Durch optimale Auslegung des Druckraums ist eine gute Gleichmäßigkeit des Luftaustritts im Parkett erreicht worden.

Im Gegensatz dazu sind in den Rängen wegen baulicher Zwangspunkte je vier getrennte Druckräume vorhanden. Durch ihre gesonderten Einspeisungen mit Regulierungsmöglichkeiten ist ebenfalls eine relativ gute Luftverteilung gewährleistet.

Die Abluft wird zu etwa 70 Prozent unmittelbar über den Beleuchterplätzen im 5. Rang (Beleuchterrang), die Beleuchterlogen (Prosenium) beiderseitig des Bühnenportals und die Kronleuchteröffnung in der Saaldecke erfaßt. Damit wird die in diesen Bereichen konzentriert anfallende Wärme auf kürzestem Wege abgeleitet, und die Auswirkungen auf die Zuschauerbereiche werden so gering wie möglich gehalten. Dies hat sich im Zusammenhang mit der Mikro-Klimatisierung des Raums als recht wirkungsvoll erwiesen. Die restlichen 30 Prozent Abluft werden im oberen Rückwandbereich der Ränge 1 bis 3 erfaßt.

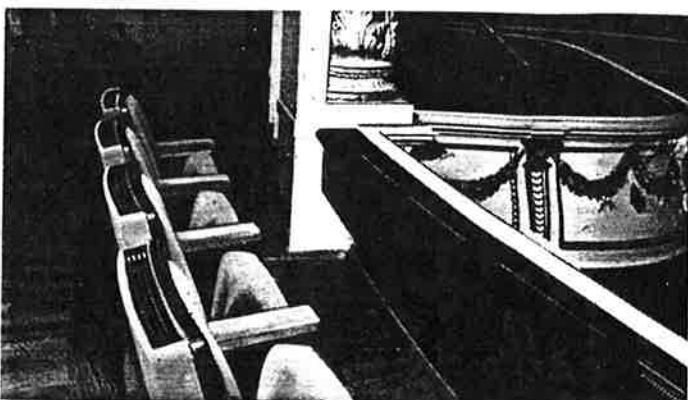
Mit dieser Anlage sind für den gesamten Zuschauerraum eine gleichmäßige Luftverteilung und ein optimales Klima im Aufenthaltsbereich gewährleistet.

Nachteilig ist, daß im Zuschauerraum ein Unterdruck herrscht, der an geöffneten Eingangstüren durch spürbare Luftbewegung von außen nach innen wahrnehmbar ist. Umfangreiche Untersuchungen mit und ohne Lüftungsanlagen haben bestätigt, daß diese Erscheinung durch natürlichen Auftrieb in hohen Räumen bei größerem Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Außenluft und unkontrollierbare Luft-Abström möglichkeiten im Decken- und Dachbereich hervorgerufen wird. Dementsprechend war der Unterdruck im Winter am größten und sank mit ansteigenden Außenlufttemperaturen bis auf Null.

Daraus ist abzuleiten, daß besonders bei hohen Räumen eine maximal mögliche Raumdichtheit von Baukonstruktion und Bauausführung zu sichern ist.

Hauptbühne

Wie vielleicht bekannt sein dürfte, ist bisher auch international die lüftungstechnische Versorgung (Klimatisierung) von Theaterbühnen im Gegensatz zu den Zuschauerräumen vernachlässigt worden. Bei den modernen Theaterbühnen dominiert eine umfangreiche Bühnen- und Beleuchtungstechnik mit großer Variabilität von Bühnengröße und Bühnenaufbauten, die nur in sehr begrenztem Maße Platz für spezielle Lüftungstechnik bietet. Hinzu kommen stark schwankende Lastverhältnisse durch Beleuchtung und Personen.



2 Luftaustritte in Stuhllehnen und Rangbrüstung

Unter Beachtung der dadurch gesetzten Grenzen – bei Gewährleistung eines geräuscharmen und zugfreien Lufteintritts –, wurde für die Hauptbühne der Semperoper eine Klimaanlage mit maximal möglicher Leistung und Anpassungsfähigkeit realisiert.

Beiderseitig des Bühnenportals sind in jeweils drei Ebenen Wurflüftungsauslässe mit unterschiedlichen Luft-Austrittswinkeln vorgesehen, die bestimmten Bühnenbereichen zugeordnet sind. Durch zentrale Schaltung sind eine vierstufige Luftpengenregulierung der Anlage und eine separate Regelung aller sechs Luft-Austrittsöffnungen möglich (Bild 3).

Die Kombination der beiden Regelungen bietet eine Vielzahl von Betriebsvarianten zur Anpassung an unterschiedlichste Bühnenaufbauten und Lastverhältnisse.

Durch Schaltverriegelungen wird eine fehlerhafte Betriebsweise, die zu einer Überschreitung der zulässigen Luft-Austrittsgeschwindigkeiten und damit auch des zulässigen Schallpegels führen kann, ausgeschlossen. Bei voller Leistung der Anlage (mit $\Delta t = 8 \text{ K}$) wird eine Wärmelast von 65 kW kompensiert, dabei kann die thermische Belastung der Bühne im Extremfall kurzzeitig bis 90 kW betragen.

Die Erfassung der Abluft erfolgt auf Ebene + 22 m des Bühnenturms. Teilweise Abluft erfassung im Fußbodenbereich der Bühne wäre aus raumluftströmungstechnischer Sicht zwar günstig, ist aber aus theatertechnischen Gründen nicht zu verwirklichen.

Um eine störungsfreie und optimale Nutzung der Klimaanlage für die Bühne zu gewährleisten, wird bei jeder Inszenierung, ähnlich wie für die Beleuchtungstechnik, die für jedes Bühnenbild günstigste Anlageneinstellung erprobt und in Form eines „Bühnenbelüftungsfahrplans“ festgelegt.

Dies ist für das Personal eine neue, ungewohnte Aufgabe.

Als wesentlicher Vorteil der Klimatisierung von Zuschauerraum und Bühne ist zu werten, daß dadurch ein in Theatern nach dem Öffnen des Bühnenvorhangs oft unangenehm spürbarer Luftaustausch zwischen beiden Räumen weitgehend unterbunden ist.

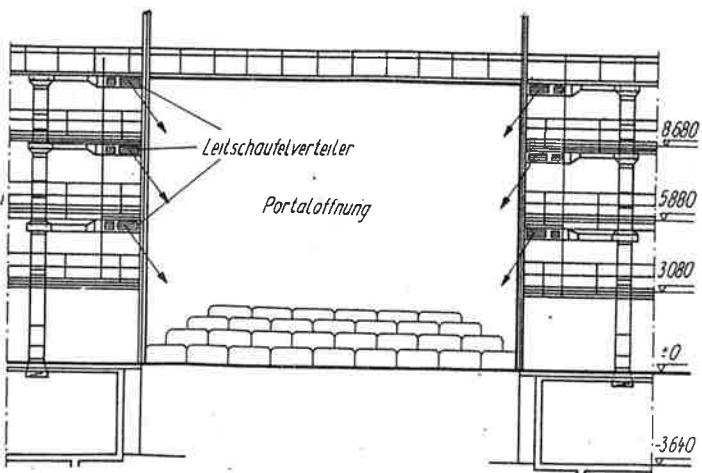
Eine erste Auswertung nach etwa einjähriger Nutzung belegt, daß die Bühnen-Klimaanlage einen erfreulichen Fortschritt auf diesem Gebiet darstellt, für die Künstler auf der Bühne damit bessere Arbeitsbedingungen herrschen und daß sich somit der Einbau der Klimaanlage selbst unter komplizierten Randbedingungen gelohnt hat.

Funktionsgebäude und Probenbühne

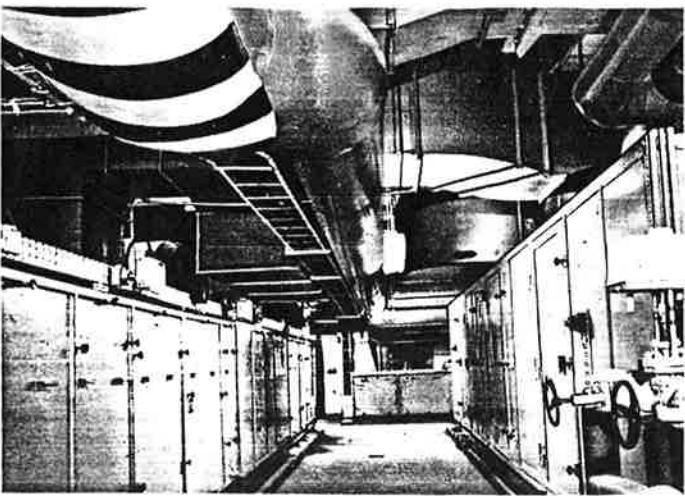
Das Funktionsgebäude und die Probenbühne sind der Semperoper architektonisch angepaßte Neubauten.

Die im Funktionsgebäude untergebrachten Chor- und Ballett-Probensäle, die kleine Probenbühne, Probenräume und Tonstudio, Lager- und Sanitärräume, die Heiz- und Kältezentrale, Schalt- und Technikräume sowie die gesonderte Probenbühne werden über 12 lüftungstechnische Anlagen, davon vier Klimaanlagen, versorgt (Bild 4).

Die in einer Lüfterzentrale im Keller untergebrachten Anlagen saugen die Außenluft über zwei zentrale Außenluftschächte im Dachbereich an. Ein zentrales Rekuperativ-Wärmerückgewinnungssystem im Dachgeschoss heizt die Außenluft im Winter vor. Von den 12 Anlagen wird stündlich eine Luftmenge von etwa 135 000 m³ aufbereitet und gefördert. Klimatisiert werden hauptsächlich die separate Probenbühne und die im Kernbereich des Gebäudes angeordneten Probenräume für Chor und Ballett, die kleine Probenbühne und das Tonstudio.



3 Rückansicht Bühnenportalöffnung – Anordnung der Luftaustritte



4 Klimazentrale im Funktionsgebäude



5 Chor-Probensaal



6 Zentrale Schaltwarte im Funktionsgebäude

Als Luft-Austrittselemente in den klimatisierten Probenräumen wurden vorwiegend Linearauflässe eingebaut.

Die Erfassung der Abluft im Chor-Probenraum erfolgt über Ansaugöffnungen in den Stufenparkettwangen und in den Ballett-Probensälen hinter den vorgesetzten Spiegelwänden unmittelbar über dem Fußboden (Bild 5).

Beschwerden seitens der Sänger und Tänzer über Zugerscheinungen im Fußbodenbereich waren Anlaß, die Anlagen zu überprüfen. Dabei konnten sowohl die einwandfreie Funktion der Anlagen als auch die Einhaltung der in TGL 32603 vorgeschriebenen Raumluftparameter nachgewiesen werden. Die Luftgeschwindigkeit in den Aufenthaltsbereichen liegt unter den zulässigen Werten.

Die „Zugerscheinungen“ führten nach Aussage der Künstler zu Unbehaglichkeit und Ausfällen infolge Krankheit. Das deutet darauf hin, daß die in den einschlägigen Vorschriften festgelegten Werte nicht in jedem Falle mit dem Empfinden physisch und psychisch stark belasteter Personen übereinstimmen. Deshalb ist es gegebenenfalls ratsam, spezielle Wünsche differenziert zu berücksichtigen. Dabei sollte jedoch eine individuelle Einflußnahme auf die Betriebsweise der Anlagen gesichert sein.

Beim Funktionsgebäude konnte, da es sich um einen Neubau handelt, wesentlicher Einfluß auf die Energieoptimierung genommen werden.

Eine klimagerechte Bauweise mit viel Verschattung, gute Raumanordnung, Wärmedämmung und Wärmespeicherung bildeten dafür günstige Voraussetzungen. Dadurch war eine lüftungstechnische Versorgung der in den Außenzonen gelegenen Garderoben- und Büroräume nicht erforderlich.

Weiterhin sind im Funktionsgebäude die zentrale MSR-Warte und die zentrale Kälteanlage für den Gesamtkomplex Oper (außer Theaterwerkstätten) untergebracht (Bild 6).

Von der Zentralen MSR-Warte aus werden alle lüftungstechnischen Anlagen für das Vorstellungshaus, das Funktionsgebäude und den Gaststättenkomplex einschließlich Kälteanlage bedient und überwacht.

Die zentrale Kälteanlage besteht aus vier Kältemaschinen KWS-560-2h mit einer gesamten Kälteleistung von rund 1560 kW. Über ein System der Kälte-Wärme-Kopplung wird die bei der Kälteerzeugung anfallende Wärme für die Nachheizung in den lufttechnischen Anlagen und die Erwärmung von Brauchwasser genutzt.

Dieses System, auch im reinen Wärmepumpenbetrieb anwendbar, bringt eine maximale Wärmeleistung bis zu 2000 kW und führt zu einer beachtlichen Einsparung von Energiekosten.

Operncafé und Betriebsgaststätte

Das zum Gesamtensemble Staatsoper Dresden gehörende dreigeschossige Teilobjekt Operncafé/Betriebsgaststätte befindet sich z. Z. noch im Bau. Für die lüftungstechnische Versorgung mehrerer gastronomischer Einrichtungen einschließlich zugehöriger Küchen-, Kühl-, Technik-, Sanitär- und Lagerräume werden in diesem Objekt zehn Be- und Entlüftungsanlagen mit einer Luftmenge von insgesamt etwa 67 000 m³/h installiert.

Die Lüftungsaggregate sind in zwei Zentralen im Kellergeschoß und im 2. Obergeschoß untergebracht. Über ein gesondertes Außenbauwerk, etwa 9 Meter vor der Nord-West-Fassade des Gebäudes, wird die Außenluft über einen bauseitigen Unterflurkanal angesaugt, die Fortluft wird im Dachbereich der Nord-Ost-Fassade ins Freie geblasen. Rekuperative oder regenerative Wärmerückgewinnungseinrichtungen gewährleisten den energieökonomischen Betrieb der Anlagen. Die für die lüftungstechnischen Anlagen erforderliche Nachheizenergie wird von der Wärmepumpenanlage im Funktionsgebäude zur Verfügung gestellt.

Theaterwerkstätten

Nur etwa 200 Meter von der Oper entfernt wurde ein separater Werkstättenkomplex mit großzügig und modern ausgestatteten Werkstatträumen errichtet.

Die lüftungstechnischen Anlagen für den großen Maisaal, die Tischlerei, Schlosserei, Schuhmacherei, einen Maschinensaal sowie für allgemeine Werkstatträume, für technische Betriebsräume, Lager- und Sanitärräume reichen von zentralen Be- und Entlüftungsanlagen bis zu dezentral an Ort und Stelle installierten Wand- und Deckenluftheizern, Klimatrühen und Einzelabsaugungen.

Auslegungskriterien hierfür waren technologische und arbeitsschutztechnische Gesichtspunkte und Forderungen.

Zusammenfassend noch einige Fakten, die für das gesamte Objekt zutreffen.

- Alle lüftungstechnischen Anlagen werden durch ein einheitliches elektrisches Regelungssystem gesteuert. Die Bedienung und Überwachung (außer für die Theaterwerkstätten) erfolgen von der zentralen MSR-Schaltwarte im Funktionsgebäude aus.
- Mehrere Anlagen sind schaltungstechnisch mit sicherheitstechnischen Einrichtungen gekoppelt, z. B. mit Brandwarn- oder Raumluft-Überwachungsanlagen.
- Eine Vielzahl von Anlagen ist mit polumschaltbaren Antriebsmotoren zwecks luftmengenseitiger Lastanpassung und damit wirtschaftlicher Betriebsweise ausgestattet.
- Um die maximal zulässigen Schallpegel in den einzelnen Wirkbereichen einzuhalten, sind umfangreiche Schalldämm-Maßnahmen realisiert worden. Die zulässigen Schalldruckpegel betragen z. B. für das Tonstudio 25 dB(A), für den Zuschauerraum 30 dB(A) und für Bühne, Orchester- und Chorprobenräume 35 dB(A).

Solche Maßnahmen sind:

- Berücksichtigung strömungsaustischer Gesichtspunkte bei der Auslegung der Luftleitungssysteme
- schallgedämpfte Hängungen für Kanalleitungen
- schallgedämpfte Aufstellung der Geräte
- Einbau von Schalldämpfungskammern und -kanälen
- Nachschalldämpfer vor Ort
- bauseitig schalldämpfende Auskleidung von Lüfterzentralen.