

Dokumentation

Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie Energieeinsparung durch Volumenstromregelung

Städtische Bühnen, Frankfurt

Durchführung Mai - August 2000

■ **Studie**

TECTROL

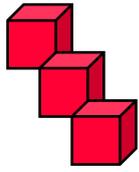
Ingenieurbüro für MSR-Technologie mbH

Krützpoort 16

47804 Krefeld

 0 21 51 / 72 80 70

Fax 0 21 51 / 72 80 99

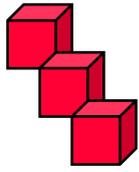


Studie

Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie **Energieeinsparung durch Volumenstromregelung**

Städtische Bühnen, Frankfurt

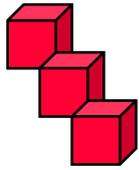
Durchführung Mai - August 2000



Inhalt 1

Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie Energieeinsparung durch Volumenstromregelung

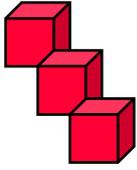
	Seite
☰ Aufgabenstellung _____	
6	
☰ Auswahl der Anlagen _____	7
– Technische Daten _____	8+9
☰ Durchführung _____	10
☰ Zusammenfassung _____	11
- Gegenüberstellung der Optimierungsmaßnahmen _____	12
☰ Beschreibung der Anlagen _____	13
☰ Zentrale Lüftungsanlage 20 und 21	
– Beschreibung Zentrale _____	14
– Übersichtsplan Zentrale _____	15
☰ Lüftungsanlage 20 <u>Schauspiel Zuschauer + Bühne</u>	
– Durchführung der Messungen Zuluft _____	16
– Anordnung der Messpunkte Zuluft _____	17
– Mengengerechnung Zuluft _____	18
– Resümee Zuluft _____	19
– Durchführung der Messungen Abluft _____	20
– Fotografische Darstellung Abluft _____	21
– Anordnung der Messpunkte Abluft _____	22
– Mengengerechnung Abluft _____	23
– Mengenverteilung Ist- und Sollwerte / Abluft nur Zuschauerraum _____	24 + 25
– Mengenverteilung Ist- und Sollwerte / Abluft Zuschauerraum + Bühne _____	26 + 27
– Resümee Abluft _____	28
– Empfehlungen Zuluft und Abluft _____	29
– Empfehlung Abluft _____	30
– Amortisationsbetrachtung Zuluft und Abluft _____	31



Inhalt 2

Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie Energieeinsparung durch Volumenstromregelung

	Seite
☰ Lüftungsanlage 21 <u>Wandelgang , Raucherfoyer, Opernfoyer, Chagallsaal</u>	
– Durchführung der Messungen Zentrale _____	32
– Anordnung der Messpunkte Zentrale _____	33
– Mengenermittlung Zentrale _____	34
– Mengerverteilung Zentrale _____	35
– Durchführung der Messungen _____	36
– Übersichtsplan Auslassgitter Foyer Oper _____	37
– Fotografische Darstellung der Auslassgitter Foyer Oper _____	38
– Anordnung der Messpunkte Foyer Oper _____	39
– Mengenermittlung - Mengerverteilung bei 450 Pa Foyer Oper _____	40/41
– Mengenermittlung - Mengerverteilung bei 650 Pa Foyer Oper _____	42/43
– Vergleichsbetrachtung Auslassgitter Foyer Oper _____	44
– Resümee _____	45/46/47
– Amortisationsbetrachtung Zuluft und Abluft _____	48
☰ Zentrale Lüftungsanlage 43 <u>Oper Zuschauerraum</u>	
– Beschreibung Zentrale Oper Zuschauerraum _____	49
– Fotografische Darstellung Zentrale Oper Zuschauerraum _____	50
– Durchführung der Messung Zentrale Oper Zuschauerraum _____	51
– Anordnung der Messpunkte Zentrale Oper Zuschauerraum _____	52
– Mengenermittlung Zentrale Oper Zuschauerraum _____	53
– Resümee Oper Zuschauerraum _____	54
– Amortisationsbetrachtung Zuluft und Abluft _____	55



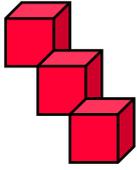
Inhalt 3

Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie Energieeinsparung durch Volumenstromregelung

 Zentrale Lüftungsanlagen 44 / 51 / 55	Seite
<u>Bühne Oper incl. Orchestergraben / Probebühne I+II Oper V. OG / Orchesterproberaum VII. OG</u>	
– Beschreibung Zentrale _____	56
– Anordnung der Messpunkte Zentrale _____	57
– Durchführung der Messung Zentrale _____	58
– Mengenberechnung Zentrale _____	59
– Resümee / Empfehlungen _____	60
– Amortisationsbetrachtung Zuluft und Abluft _____	61

Anlagen

- **Auszug aus den technischen Daten der Fa. Gebhardt Ventilatoren**
- **Aufstellung der Lüftungsanlagen gemäß Tabelle HBA-Energiemanagement.**
- **Funktionsschemata**
- **Luftmengenmessungen - Messprotokolle**



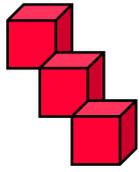
Aufgabenstellung

Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie Energieeinsparung durch Volumenstromregelung

Städtische Bühnen, Frankfurt

Durchführung Mai - August 2000

- Fehlerhafte Auslegung von Umwälzpumpen führen oft zu Problemen im Betrieb von Heiz- und Kühlanlagen sowie zu deutlich überhöhten Energieverbräuchen. Ähnliche Mängel sind oft auch in RLT-Anlagen zu finden. Bei der Inbetriebnahme wird ein Betriebspunkt eingestellt, der dem Anlagenbauer die Abnahme gewährleistet. Ein hydraulischer Abgleich oder eine Optimierung der Regelparameter wird nicht durchgeführt. Bei Instandhaltungsmaßnahmen werden dann oft geregelte Pumpen und Gebläse mit gleichen Leistungen eingesetzt. Die Probleme werden dadurch meist nicht gelöst.
- Um die neusten Entwicklungen in der Mess- und Regeltechnik optimal einsetzen zu können, ist jedoch die Kenntnis der jeweils vorhandenen hydraulischen bzw. pneumatischen Verhältnisse erforderlich. Diese schließen auch die Kenntnisse über das Nutzerverhalten mit ein.
- Mit Hilfe von modernen Untersuchungsmethoden können in bestehenden Anlagen die Auslegungs- und Betriebsbedingungen von außen ohne Eingriff in das System ermittelt werden. Damit eröffnen sich bei Instandhaltungsmaßnahmen oder bei der Modernisierung vorhandener Antriebe an Pumpen und Gebläsen große, wirtschaftlich erschließbare Einsparpotentiale. Durch die lastabhängige Regelung der Antriebe kann das Betriebsverhalten verbessert und der Verschleiß und der Energieverbrauch deutlich verringert werden.
- Am Beispiel „Städtische Bühnen, Frankfurt“ wird praxisbezogen demonstriert, wie durch Volumenstrommessungen hydraulische und pneumatische Schwachstellen ermittelt werden können. Es werden konkrete Maßnahmen empfohlen, die zu Verbesserungen in der Hydraulik und/oder in der Regelung führen. Die Maßnahmen sind so gewählt, dass Energie eingespart werden kann. Die einzelnen Empfehlungen werden über Amortisationsbetrachtungen verifiziert.



Auswahl der Anlagen

■ Für die Untersuchung lag bereits eine detaillierte Aufstellung der Lüftungs- und Klimaanlage vor (siehe Anlage). Sie wurde von der Abteilung Energiemanagement des Hochbauamt Frankfurt angefertigt und dem Ingenieurbüro TECTROL zur Verfügung gestellt. Die Aufstellung beinhaltet für jede Anlage u.a. die geforderten Luftleistungen, die Antriebsleistungen der Motoren sowie den Stromverbrauch in MWh/a. Ergänzt wurde diese Aufstellung durch Tabellen und Diagramme, die die Stromkosten für das Gebäude aufzeigen.

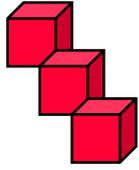
Unter Berücksichtigung dieser Informationen wurde eine Besichtigung vor Ort durchgeführt mit dem Ziel, geeignete Anlagen für eine Analyse festzulegen. In Gesprächen mit dem Dezernat Technik der Städtischen Bühnen wurde das Verhalten der Nutzer und die Betriebsweisen der Anlagen erfragt. Aufgrund der Größe und der komplexen Struktur des Gebäudes war es im Rahmen der Untersuchung nicht möglich, alle Anlagenbereiche durchzumessen. Somit wurden Anlagen ausgewählt, die hohe Motorleistungen und/oder hohe Betriebsstundenzahlen aufweisen. Im einzelnen handelt es sich um:

■ Lüftungsanlagen 20 / 21 / 43 / 44 + 51 + 55:

Mit einem summierten Stromverbrauch von 1.210 MWh/a benötigen diese Anlagen ca. 60% des jährlichen Strombedarfs. Die größeren Anlagen werden bereits mit Frequenzumformern über den Differenzdruck geregelt. Zu Beginn der Untersuchungen waren die Betriebspunkte der Anlagen und die Luftmengenverteilungen nicht bekannt. In Teilbereichen kam es zu erhöhten Geräuschentwicklungen in der Abluft (Anlage 20). Seitens des Betreibers wurde auf eine zu geringe Heizleistung für das Foyer sowie auf eine Unterversorgung bei der Belüftung der Oper hingewiesen (Anlagen 21 und 43). Für die Anlage 43 „Oper“ sollte zusätzlich geklärt werden, ob eine Nachrüstung der Anlage mit Frequenzumformern wirtschaftlich sinnvoll ist.

Auf intensive Untersuchungen in den Bereichen Heizung und Kälteerzeugung wurde verzichtet, um im Rahmen der angebotenen Leistungen gezielt auf die vorstehend beschriebenen Problemstellungen vor Ort eingehen zu können.

Beide Bereiche wurden jedoch begutachtet. Hydraulische oder anlagentechnische Mängel waren „auf den ersten Blick“ nicht zu erkennen. Die Verbrauchsdaten der eingesetzten Pumpen sind im Vergleich zu den Ventilatoren gering. Die gezielten Untersuchungen an den Klimaanlage führen damit zu einem größeren Nutzen für den Betreiber (Problemlösung) und bieten größere Potentiale für Energieeinsparungen.



Auswahl der Anlagen

Technische Daten

Nachfolgend sind die technischen Daten der ausgewählten Lüftungsanlagen aufgelistet.

■ Anlage 20:

Motoren 2x30kW über dP geregelt (Zuluft)

Motoren 2x18,5kW über dP geregelt (Abluft)

°V soll Zuluft = 70.000 m³/h

°V soll Abluft = 70.000 m³/h

Angaben gemäß Typenschild

Typ RZ 21/38

Luftleistung 35.000 m³/h (pro Ventilator)

Gesamtdruck 1438Pa / Ex-Druck 700Pa

Motordrehzahl 1470 ¹/_{min}

■ Anlage 21:

Motoren 2x30kW über dP geregelt (Zuluft)

Motoren 2x22kW über dP geregelt (Abluft)

°V soll Zuluft = 75.000 m³/h

°V soll Abluft = 75.000 m³/h

Angaben gemäß Typenschild

Typ RZ 21/38

Luftleistung 37.500 m³/h (pro Ventilator)

Gesamtdruck 1475Pa / Ex-Druck 700Pa

Motordrehzahl 1430 ¹/_{min}

■ Anlage 43:

Motoren 2x18,5kW über dP geregelt (Zuluft)

Motoren 2x11kW über dP geregelt (Abluft)

°V soll Zuluft = 50.000 m³/h

°V soll Abluft = 50.000 m³/h

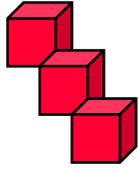
Angaben gemäß Typenschild

Typ RZ 21/38

Luftleistung 25.000 m³/h (pro Ventilator)

Gesamtdruck 1475Pa / Ex-Druck 700Pa

Motordrehzahl 1430 ¹/_{min}



Auswahl der Anlagen

Technische Daten

Nachfolgend sind die technischen Daten der ausgewählten Lüftungsanlagen aufgelistet.

■ Anlage 44 / 51 / 55

Motoren 1x30kW über dP geregelt (Zuluft)

Motoren 1x22kW über dP geregelt (Abluft)

°V soll Zuluft = 42.000 m³/h

°V soll Abluft = 42.000 m³/h

Motoren 1x15kW über dP geregelt (Zuluft)

Motoren 1x11kW über dP geregelt (Abluft)

°V soll Zuluft = 18.800 m³/h

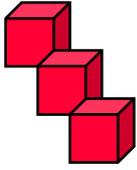
°V soll Abluft = 18.800 m³/h

Motoren 1x15kW über dP geregelt (Zuluft)

Motoren 1x11kW über dP geregelt (Abluft)

°V soll Zuluft = 16.000 m³/h

°V soll Abluft = 16.000 m³/h



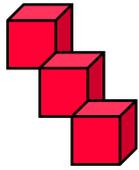
Durchführung

Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- Messen der Gesamtvolumenströme.
- Soll – Istwertvergleiche.
- Zusätzliche Messungen in den Versorgungskanälen zur Ermittlung der Luftverteilungen.
- Soll – Istwertvergleiche.
- Darstellung des Förder- und Regelungsverhalten der Anlagen in unterschiedlichen Betriebszuständen.
- Gezielte Untersuchungen von bekannten Problematiken wie z.B. die Unterversorgung im Foyer Oper (Anlage 21).
- Gesonderte Betrachtung der Anlage 43 – Oper Zuschauerraum – bezüglich eines möglichen Einbau von Frequenzumformern.
- Darstellung und Dokumentation durch Skizzen, Fotos und Grafiken.
- Ausarbeitung von Vorschlägen für die Beseitigung von hydraulischen Mängeln und/oder für eine energieeinsparende Regelung.
- Verifikation der Vorschläge über Amortisationsbetrachtungen.
- Gegenüberstellung der Optimierungsmaßnahmen.

In der nachfolgenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchungen in einer Kurzform wiedergegeben und durch eine Gegenüberstellung der Optimierungsmaßnahmen ergänzt.

Die ausführlichen Beschreibungen zu den einzelnen Anlagen schließen sich an.



Zusammenfassung

Stand 25.10.2001

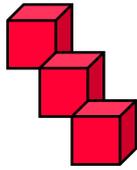
■ Auf Seite 12 werden die einzelne Optimierungsmaßnahmen zusammengefasst. Auf den Seiten 12/A und 12/B werden die Berechnungen der Einsparpotentiale dargestellt. Dabei werden die Ergebnisse der Nachmessungen an den Klimaanlage 20; 21; und 44 berücksichtigt. Die Nachmessungen wurden im August 2001 durchgeführt und waren erforderlich, weil sich Unklarheiten über die aktuellen Luftwechselzahlen und Leistungsaufnahmen der Motoren ergeben hatten. Ferner wird dargestellt, welche Kosten durch die Reduzierung der Druckwertvorgabe bei der Anlage 21 bereits eingespart wurden. Diese Maßnahme wurde bereits innerhalb des Projektes durchgeführt und in der Praxis erprobt. Es wurden keine Mängel bei den Komfortbedingungen bekannt.

■ Im Rahmen der Messungen wurde deutlich, dass alle untersuchten Anlagen zu groß ausgelegt sind. Die Anlagen 20, 21 und 43 sind mit zwei parallel betriebenen Ventilatoren ausgerüstet. Theoretisch reicht ein Ventilator für die Förderung der projektierten Luftmengen aus. Da die Querschnitte der Klimaanlage sehr groß sind, herrschen nur geringe Druckverluste in den Geräten. Teilweise fördern die Abluftventilatoren in die Saugseiten der Zuluftventilatoren. Es reduziert sich der Druckverlust auf der Saugseite der Zuluftventilatoren. Bei einer konstanten Druckwertvorgabe erhöht sich dadurch automatisch der Volumenstrom.

■ Einsparpotentiale sind bei den Anlagen 21 und 44 vorhanden. Teilweise können diese mit den vorhandenen Mitteln aktiviert werden. Der Einbau von Frequenzumformern für die Anlage 43 ist aufgrund der kurzen Betriebszeiten, aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen. Eine Reduzierung der Luftmengen ist in der Anlage 20 nicht möglich, da hier die Sollluftmengen unterschritten werden (siehe Nachmessungen). Da es bei diesen Anlagen zu keinen Beschwerden kommt empfehlen wir, diese nicht zu erhöhen und das „niedrigere“ Niveau beizubehalten.

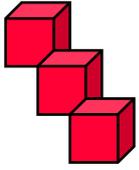
■ Mängel bestehen bei der Dichtigkeit der Kanäle. Über den Kanal „Foyer Oper“ der Anlage 21 werden erhebliche Mengen aufbereiteter Luft verschwendet. Diese Verluste erzeugen Kosten sowohl bei der Luftförderung als auch bei der Luftaufbereitung (heizen, kühlen, befeuchten). Ähnliche Mängel treten auch bei der Anlage 43 auf. Es besteht eine Unterversorgung bei der Belüftung des Zuschauerraums Oper und bei der Beheizung des Foyer Oper. Zur Behebung dieser Mängel ist eine Sanierung der Kanalsysteme erforderlich. Hierzu haben erste Gespräche stattgefunden.

Durch interne Berechnungen der Fa. TECTROL wurde ermittelt, dass die Kosten pro 100 m³/h aufbereiteter Luft zwischen 120,- und 500,- DM im Jahr betragen. Bei einem Verlust von 50.000 m³/h bedeuten dies Kosten zwischen 60.000,- und 250.000,- DM im Jahr. Diese Kosten wurden bei den Amortisationsbetrachtungen nicht berücksichtigt, da bereits über die Einsparungen bei der elektrischen Energie (siehe vorgeschlagene Maßnahmen) sehr kurze Amortisationszeiten erreicht werden. Verbrauchseinsparungen bei den Heiz- und Kühlsystemen verkürzen die Amortisationszeiten deutlich.



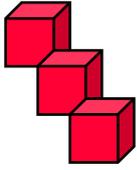
Zusammenfassung

Gegenüberstellung der Optimierungsmaßnahmen				Stand 29.08.2001
Anlagennummer	20.1/2	21	43	44 / 51 / 55
Anlagenbezeichnung	Schauspiel Zuschauerraum Bühne	Wandelgang, Foyer Opernfoyer, Chagallsaal	Oper Zuschauerraum	Bühne Oper / Probephöhne / Orchesterproberaum
Gesamtluftmengen				
Zuluft in m ³ /h	70.000	75.000	50.000	42.000 / 18.800 / 16.000
Abluft in m ³ /h	70.000	75.000	50.000	42.000 / 18.800 / 16.000
Antriebsleistungen				
Abluft in Anzahl x kW	2 x 30	2 x 30	2 x 18,5	1x 30 / 1 x 15 / 1 x 15
Zuluft in Anzahl x kW	2 x 18,5	2 x 22	2 x 11	1x 22 / 1 x 11 / 1 x 11
Gesamt in kW	97	104	59	104
Stromverbrauch				
in MWh/a (Hochbauamt)	199	532	132	347
Jahreskosten mit 160 DM/MWh	31.840	85.120	21.120	55.520
Maßnahmen siehe:	Seiten 28-30*	Seiten 45-47*	Seiten 53-54*	Seiten 58-60*
Betrieboptimiert	Keine zusätzlichen Maßnahmen	Kann mit den bestehenden Komponenten optimiert werden.		Kann mit den bestehenden Komponenten optimiert werden.
Regelungsoptimiert	Aufgrund der Unterschreitungen der Luftmengen, sind weitere Ansenkungen	Änderung der Fahrweise der Anlage.		Optimierung der dp-Regelung
<i>Erläuterung zu:</i> Optimierung der dp-Regelung	des Druckes und damit weitere Energieeinsparungen nicht möglich.	Schließen der Klappe Foyer (außer Heizbetrieb Winter)		Überprüfung der Luftmengen
<i>Senkung der Drucksollwertvorgabe so dass, wenn alle Zuluftklappen auf sind, 100% der erforderlichen Luftmenge gefördert wird (prüfen, dass keine Unterversorgung eintritt, Luftmengenmessungen)</i>		Optimierung der dp-Regelung, Senkung des Drucksollwertes für den Betriebszustand Übergangszeit & Sommer auf 450 Pa. Änderung der Ventilatorregelung auf Einzelbetrieb, wenn beim Schließen der Klappe Foyer das Ansteuerungssignal von 35% unterschritten wird.	Aufgrund der geringen Betriebszeiten, ist eine Optimierung mittels Frequenzumformer nicht wirtschaftlich.	Variable Druckwertsollvorgabe für den Teillastbetrieb
Sanierungsmaßnahmen		Am Promatkanal erforderlich!		
Geschätzte Kosten in DM	Seite 31*	Seite 48*	Seite 55*	Seite 61*
Betrieboptimiert			5.000	
Regelungsoptimiert		3.000	42.000	2.000
Sanierungsmaßnahmen		nicht erfaßt		keine
Gesamtkosten		3.000	47.000	2.000
Geschätzte Einsparungen im Jahr in DM		11000*	1.000*	2000*
Amortisationszeit		kleiner 1 Jahr	länger als 10 Jahre	ca. 1 Jahr
	Es sind keine weiteren Maßnahmen möglich.	Maßnahme wurde bereits durchgeführt		Maßnahme wurde bereits durchgeführt
* Die vorgeschlagenen Maßnahmen bezüglich der Optimierung der dp-Regelungen wurden bereits umgesetzt. Die sich neu einstellenden Betriebspunkte wurden durch Nachmessungen überprüft und in eine neue Bewertung der Umbaumaßnahmen und Einsparpotentiale einbezogen (siehe Seite 12/A; 12/B).				



Beschreibung der Anlagen

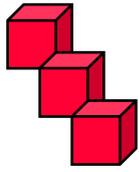
Lüftungsanlagen 20 / 21 / 43 / 44 + 51 + 55



Lüftungsanlagen

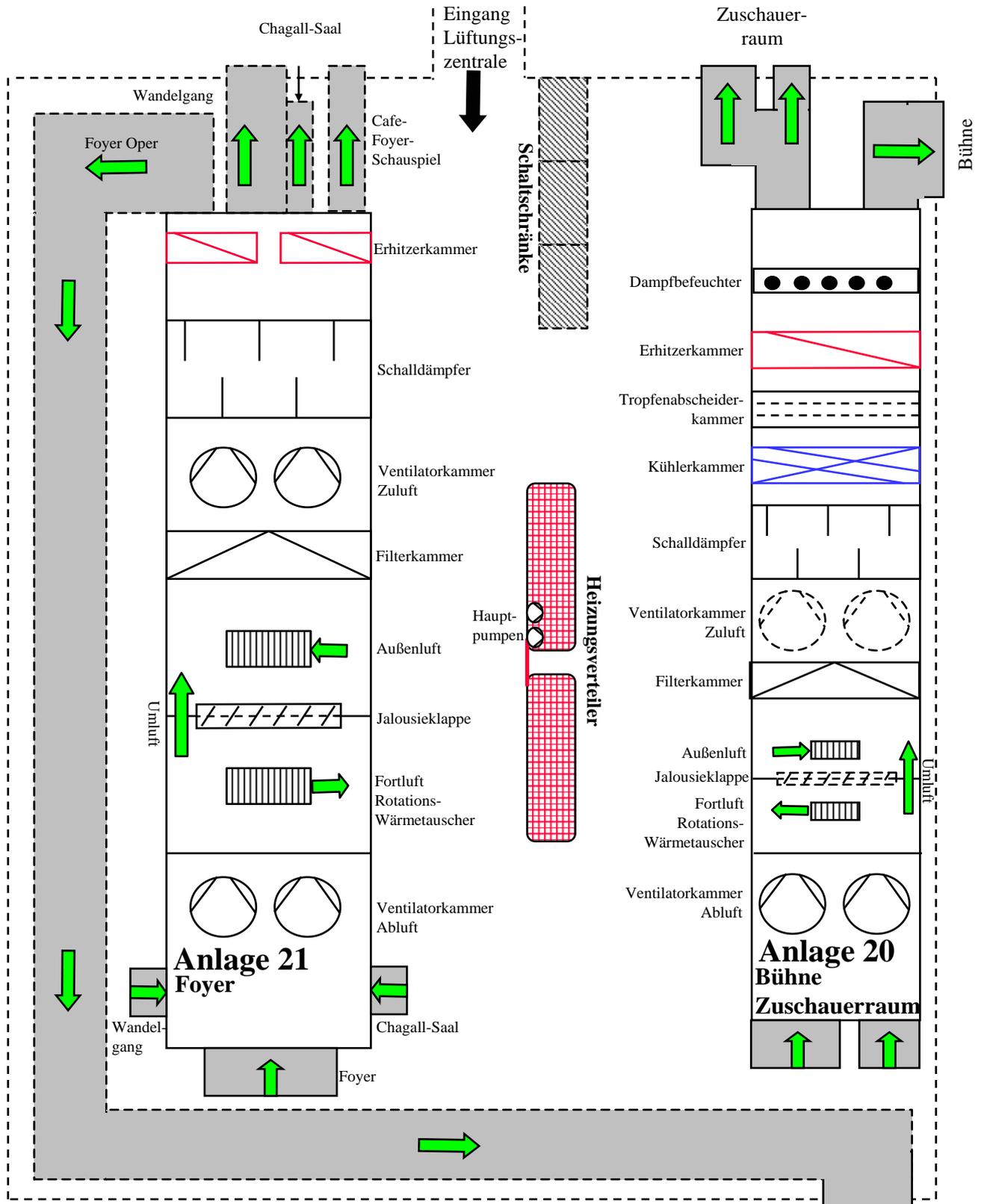
Zentrale Lüftungsanlage 20 und 21 - Beschreibung Zentrale -

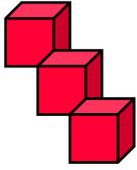
- Die Lüftungszentrale der Anlage 20 und 21 befindet sich im 3.OG des Gebäudes.
- Tritt man in den Raum hinein, befindet sich rechts die Lüftungsanlage 21. Zur Linken wurden die Schaltschränke der Lüftungsanlagen 20 und 21 aufgestellt. Die Lüftungsanlage 20 befindet sich im linken, seitlichen Teil der Lüftungszentrale.
- Die Anlagen 20 und 21 sind mit Rotationswärmeaustauschern ausgerüstet. Dadurch ist eine Konditionierung der Außenluft möglich. Über Jalousieklappen kann zusätzlich Abluft beigemischt werden (Umluft). Die Energie optimierte Regelung der Rotationswärmeaustauscher in Abhängigkeit von einer möglichen Beimischung der Abluft, erfolgt nach einem Regelungsprogramm der Fa. Kieback und Peter. Die Zu- und Abluftventilatoren werden parallel betrieben. Im Druck- bzw. Ansaugbereich der Ventilatoren sind keine Absperrklappen angeordnet. Dadurch ist zur Zeit kein Einzelbetrieb möglich. Es würde zu „Kurzschlüssen“ bei der Förderung kommen. Das heißt, ohne Absperrklappen würde im Einzelbetrieb ein Druckausgleich über die Öffnung des inaktiven Ventilators in der Ventilatorkammer stattfinden (Luft- Kurzschluss).
- Die nachfolgende Skizze stellt die Lüftungszentrale der Anlage 20 und 21 schematisch dar.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 und 21 - Übersichtsplan Zentrale -

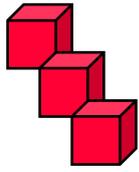




Lüftungsanlagen

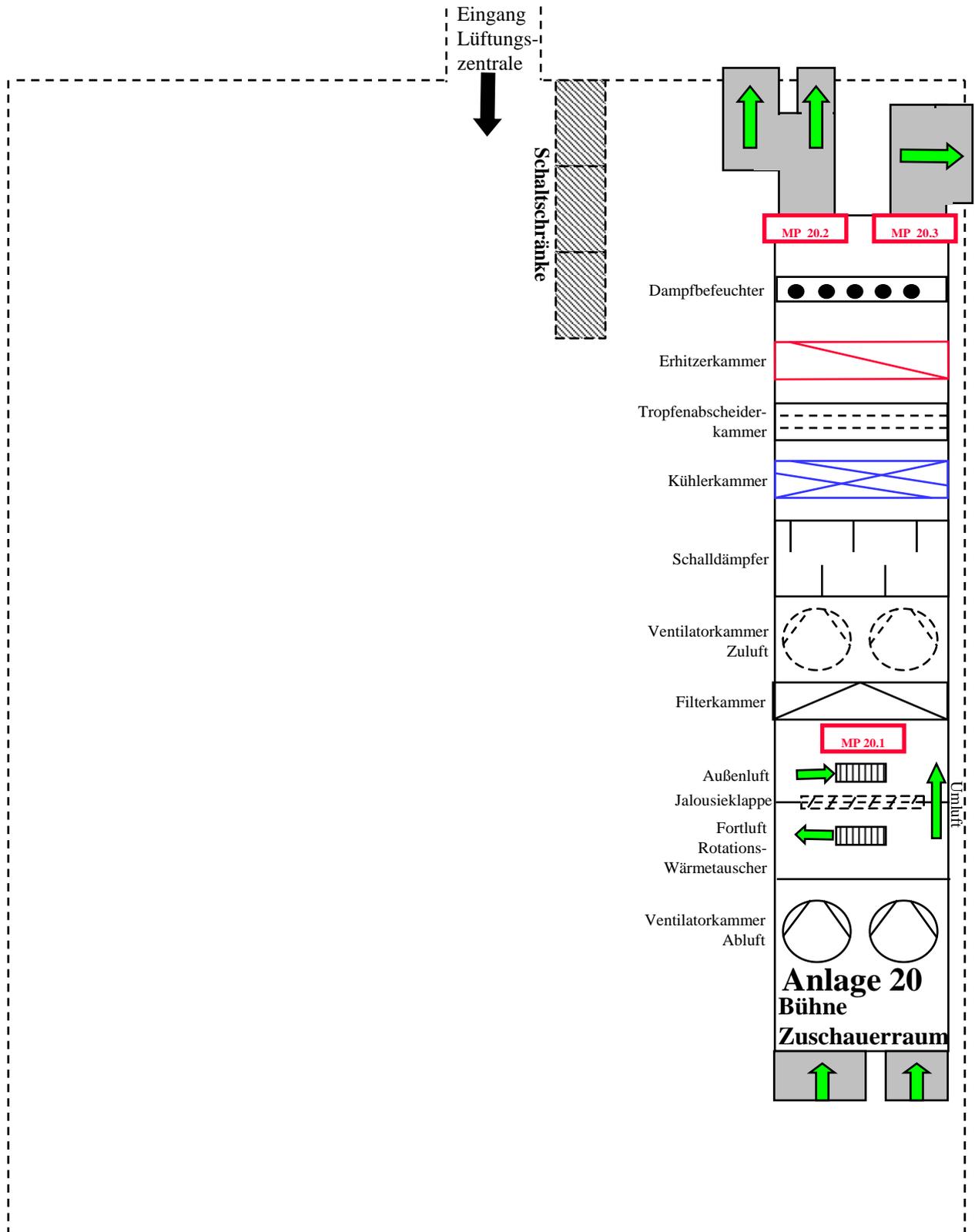
Lüftungsanlage 20 - Durchführung der Messungen Zuluft -

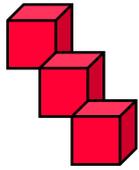
- Die Gesamtluftmenge wird am Messpunkt 20.1 gemessen. Die Anströmgeschwindigkeit auf die Filterwand wird als Mittelwert erfaßt und mit dem freien Querschnitt des Lüftungsgerät multipliziert. Es wird ein Korrekturfaktor von 0,8 angesetzt. Er berücksichtigt Querströmungen im Gerät sowie die Reduzierung des freien Querschnitts infolge der Rahmenkonstruktion für die Taschenfilter.
- In den Messpunkten 20.2 und 20.3 werden die Zuluftmengen für die Stränge „Zuschauerraum“ und „Bühne“ gemessen. In den Strängen sind je vier Absperrklappen mit den Abmessungen 950 x 950 mm bzw. 950 x 800 mm eingebaut. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden in den freien Querschnitten gemessen. Über die je vier Teilflächen wurde ein Mittelwert gebildet. Für die Berücksichtigung von Turbulenzen und der Verringerung der freien Fläche infolge der Rahmenkonstruktionen und der Lamellenstärke, wurde ein Korrekturfaktor von 0,85 eingesetzt.
- In der nachfolgenden Skizze sind die vorstehend aufgeführten Messpunkte eingetragen.
- Die ermittelten und berechneten Werte sind in der sich anschließenden Tabelle aufgeführt und in einem Balkendiagramm dargestellt.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Anordnung der Messpunkte Zuluft -

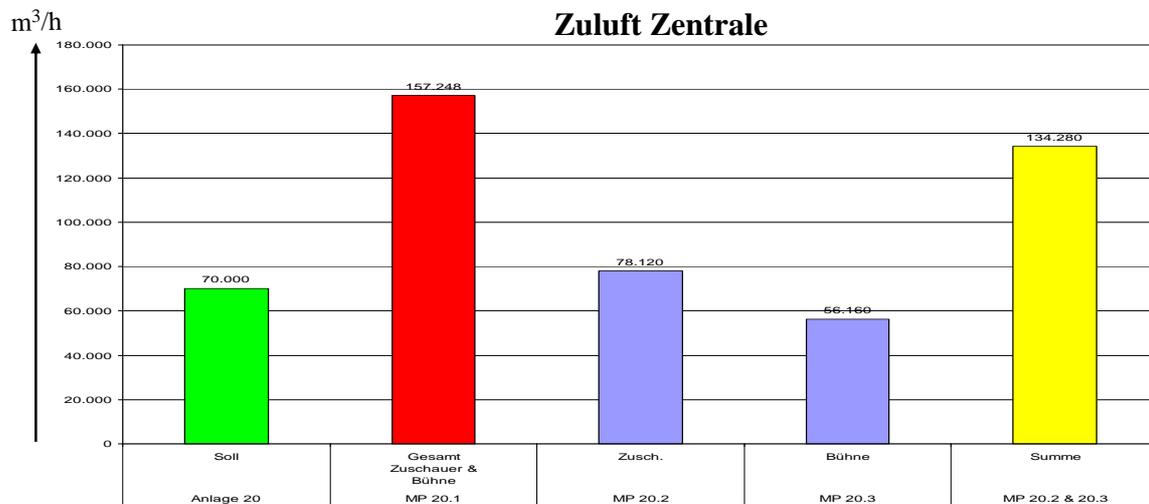


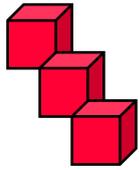


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Mengenermittlung Zuluft -

		MP 20.1	MP 20.2	MP 20.3
		Gesamt Zuschauer & Bühne	Zusch.	Bühne
V soll	m³/h	70.000		
Kanalquerschnitt B x H	m	3,9x2x0,8	950x950x4 x85%	950x800x 4x85%
Fläche	A eff. (m²)	6,24	3,1	2,6
Strömungs- geschwindigkeit	v (m/s)	7	7	6
Volumenstrom	m³/h	157.248	78.120	56.160
			134.280	

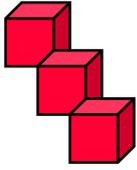




Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Resümee / Zuluft-

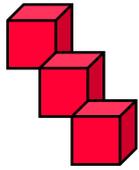
- Der Vergleich des Gesamtvolumenstroms am MP 20.1 mit der Summe der Volumenströme der Messpunkte MP 20.2 und MP 20.3 ergibt eine Differenz von ca. 15%. Aufgrund der hohen Turbulenzen in den Zuluftsträngen und Querströmungen in der Filterkammer ist eine höhere Genauigkeit bei den Messungen nicht möglich. Für die Festlegung des Betriebspunkt wird eine Gesamtluftmenge von ca. 130.000 m³/h angenommen. Der Sollwert liegt bei 70.000 m³/h (Stufe: Zuschauerraum mit Bühne). Er wird um ca. 85% überschritten.
- Die Überprüfung der Auslegung ergibt, dass bei einem Gesamtdruckverlust von 1.440 Pa und einem Volumenstrom von 35.000 m³/h pro Ventilator, eine Antriebsleistung an der Ventilatorwelle P_w von ca. 17 kW erforderlich ist (siehe Ventilatordiagramm Fa. Gebhardt). Die Fa. Gebhardt Ventilatoren empfiehlt bei P_w > 11 kW einen Korrekturfaktor von 1,1 als Sicherheitszuschlag für Riementriebsverluste und Drehzahlabweichungen. Damit ergibt sich eine Motor-Nennleistung von ca. 19 kW. Die Zuluftventilatoren sind mit 30 kW Motoren ausgerüstet. Die Anlage 20 wird zur Zeit auf einen Drucksollwert von 400 Pa geregelt. Als Druckverlust im Gerät wird ein Wert von 200 Pa angenommen. Der Unterdruck vor dem Filter wird mit 200 Pa berücksichtigt. Es ergibt sich somit für den praktischen Betrieb ein Gesamtdruck von ca. 800 Pa. Mit diesem Gesamtdruck und einer Luftmenge von 35.000 m³/h pro Ventilator weißt das Ventilatordiagramm eine Leistung an der Welle von P_w = 10 kW aus. Für diesen Leistungsbereich ist ein Korrekturfaktor von 1.15 anzusetzen. Eine Motorleistung von 15 kW je Ventilator ist ausreichend.
- In der Praxis wird häufig der Betriebszustand „*nur Zuschauerraum*“ gefahren. Es ist dann eine Luftmenge von 40.000 m³/h erforderlich. Diese Luftmenge kann von einem Ventilator erbracht werden. Die Druckverluste in dem Klimagerät verringern sich, da die gesamte Durchströmfläche (Filterwand, Vorerhitzer) nicht verkleinert wird. Unter der Annahme, dass ein Gesamtdruckverlust von 600 Pa ausreichend ist, ergibt sich eine Leistung an der Welle von P_w = 10 kW.
- Bei der Anlage 20 wurden zusätzlich Untersuchungen bei der Abluft durchgeführt. Wird die gesamte Luftmenge abgesaugt, kommt es zu Geräuschbelästigungen im Bühnenbereich. Die Messungen im Abluftkanal sollen Aufschlüsse über die Gesamtabluftluftmengen und die Verteilung innerhalb des Kanalsystems, bei den Betriebszuständen *Zuschauerraum* und *Zuschauerraum und Bühnen* darstellen. Im Anschluß an dieses Kapitel werden gemeinsame Empfehlungen für die Bereiche Zuluft und Abluft gegeben. Das Kapitel schließt mit Amortisationsbetrachtungen ab.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Durchführung der Messungen / Abluft -

- Die Abluftkanäle befinden sich im Nebenraum der Lüftungszentralen der Anlagen 20 und 21. Die Absaugung erfolgt über insgesamt 18 Brandschutzklappen. Diese sind über die Fläche verteilt angeordnet und über Stichkanäle mit einem Hauptkanal verbunden. Die Brandschutzklappe BSK 7 ist mit einem separaten Kanal direkt mit der zentralen Abluftansaugung verbunden. Im Hauptkanal und im Kanal der Brandschutzklappe BSK 7 sind Jalousieklappen eingebaut. Die Messungen MP A1 bis MP A6 wurden im Hauptansaugkanal durchgeführt. Die Messung MP A7 erfolgte im Kanal der Brandschutzklappe BSK 7. Durch die Anordnung der Messpunkte ist eine Bilanzierung der Luftmengen möglich.
- Auf der Seite 21 befinden sich zwei Fotos die die räumlichen Gegebenheiten darstellen.
- Die Skizze auf der Seite 22 beinhaltet die Anordnung der Messpunkte und stellt die Abluftführung schematisch dar.
- Auf der Seite 23 werden die Messergebnisse für die Betriebszustände *Abluft nur Zuschauerraum* und *Abluft Zuschauerraum und Bühne* in Tabellenform und grafisch dargestellt.
- Auf den Seiten 24 bis 27 ist ein Vergleich der gemessenen Luftmengen mit den theoretisch zu erwartenden Luftmengen dargestellt. Dabei wurde angenommen, dass pro Brandschutzklappe die gleiche Luftmenge angesaugt wird. Diese Annahme ist zulässig, da alle Brandschutzklappen gleich groß sind und eine gleichmäßige Absaugung bezogen auf die Gesamtfläche zu erwarten ist. Im Betriebszustand *Abluft nur Zuschauerraum* ist die Jalousieklappe im Kanal der Brandschutzklappe BSK 7 geschlossen. Die Jalousieklappe im Hauptkanal befindet sich in einer Regelstellung. Im Betriebszustand *Abluft Zuschauerraum und Bühne* ist die Jalousieklappe im Kanal der Brandschutzklappe BSK 7 geöffnet. Die Jalousieklappe im Hauptkanal wird weiter geöffnet.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Fotografische Darstellung / Abluft

Abluftkanal gesamt
nach MP A6

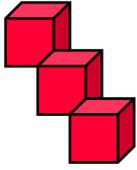


Stichkanal
Abluft



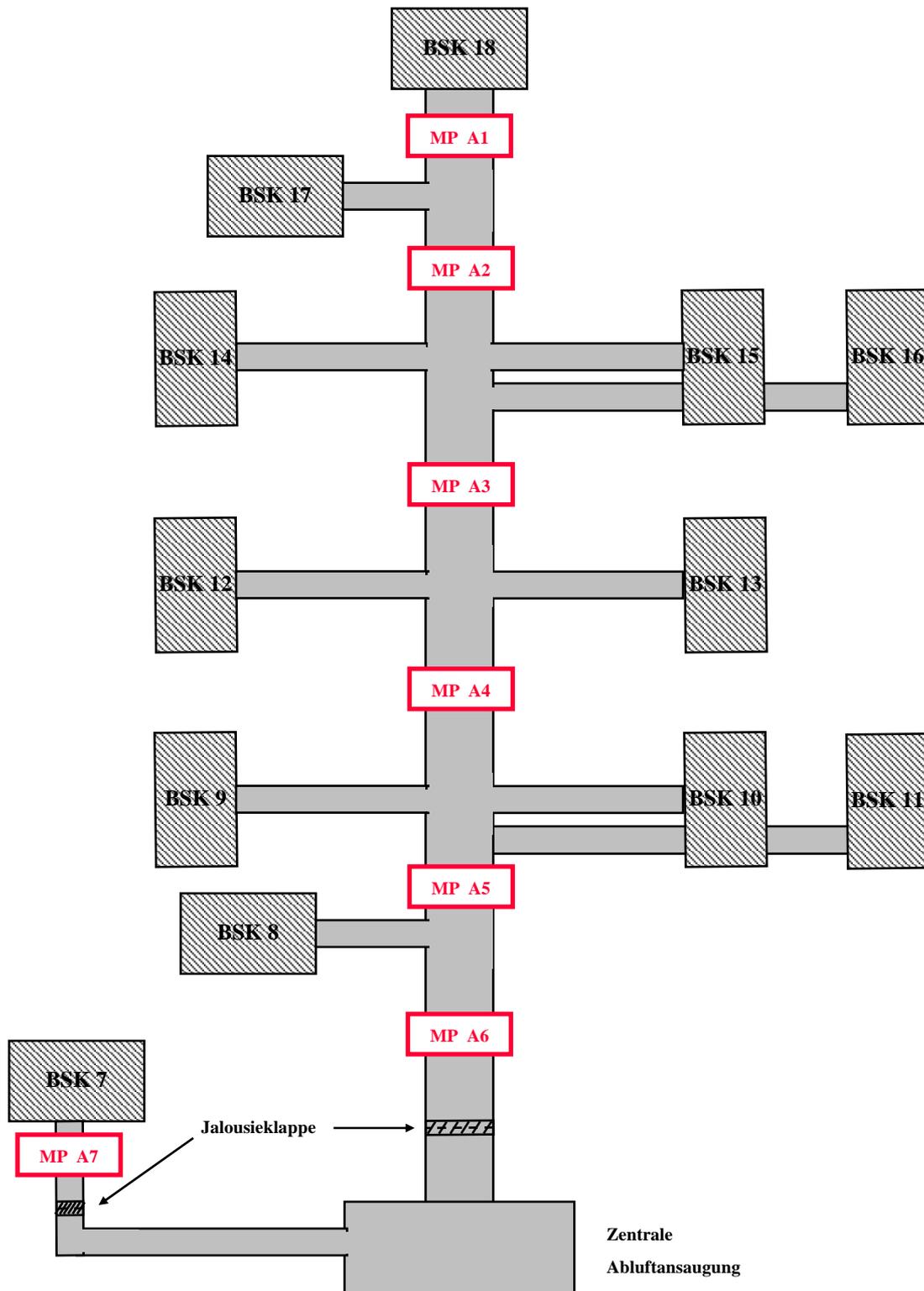
Brandschutz-
klappe

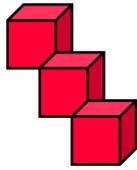




Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Anordnung der Messpunkte Abluft -



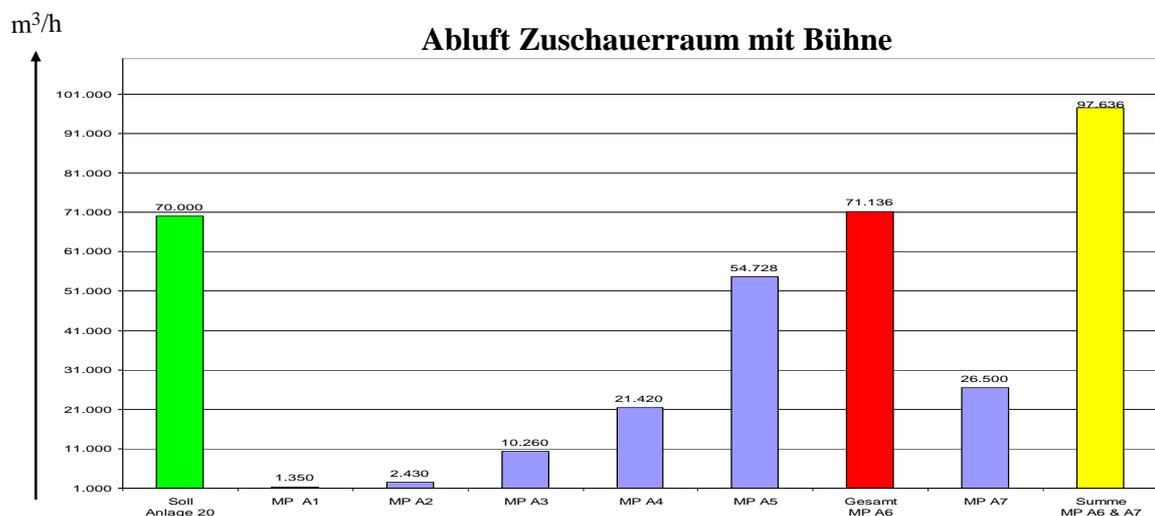
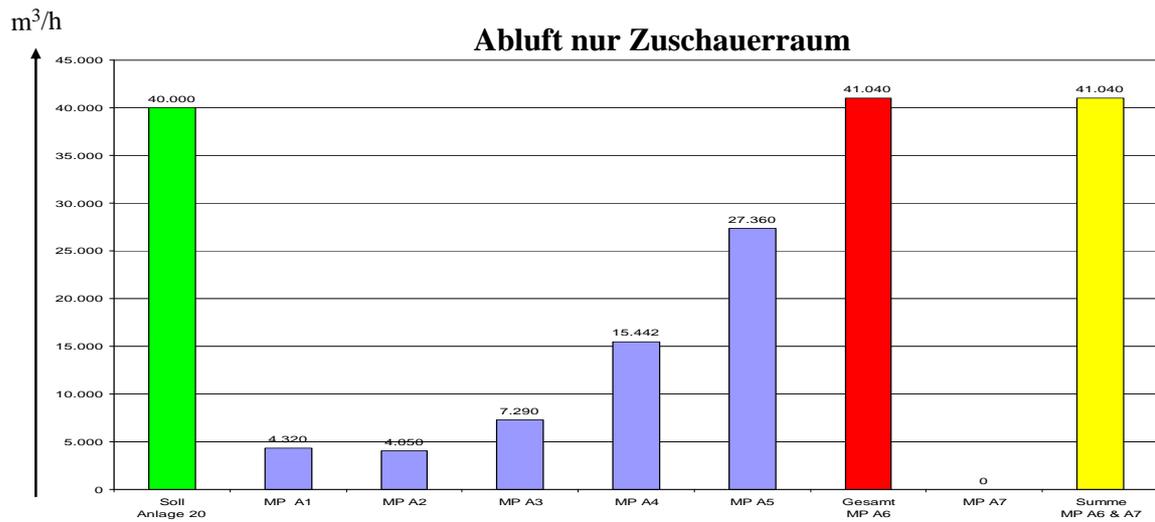


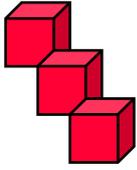
Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Mengenberechnungen Abluft -

		MP A1	MP A2	MP A3	MP A4	MP A5	MP A6	MP A7		
							Gesamt			
V soll	m³/h	40.000								
Kanalquerschnitt B x H	m	1,5 x 0,5	1,5 x 0,5	1,5 x 0,5	1,7 x 0,7	1,9 x 0,8	1,9 x 0,8	1,6 x 0,5		
Fläche	A eff. (m²)	0,75	0,75	0,75	1,19	1,52	1,52	0,8		
Strömungsgeschwindigkeit	v (m/s)	1,6	1,5	2,7	3,6	5,0	7,5	0	nur Zuschauer- raum	
Volumenstrom	m³/h	4.320	4.050	7.290	15.442	27.360	41.040	0		
V soll	m³/h	70.000								
Strömungsgeschwindigkeit	v (m/s)	0,5	0,9	3,8	5,0	10,0	13	2/3 = 11 1/3 = 6	mit Bühne	
Volumenstrom	m³/h	1.350	2.430	10.260	21.420	54.728	71.136	26.500		
							97.636			

Kanalquerschnitt B x H = Kanalquerschnitt im Hauptkanal.

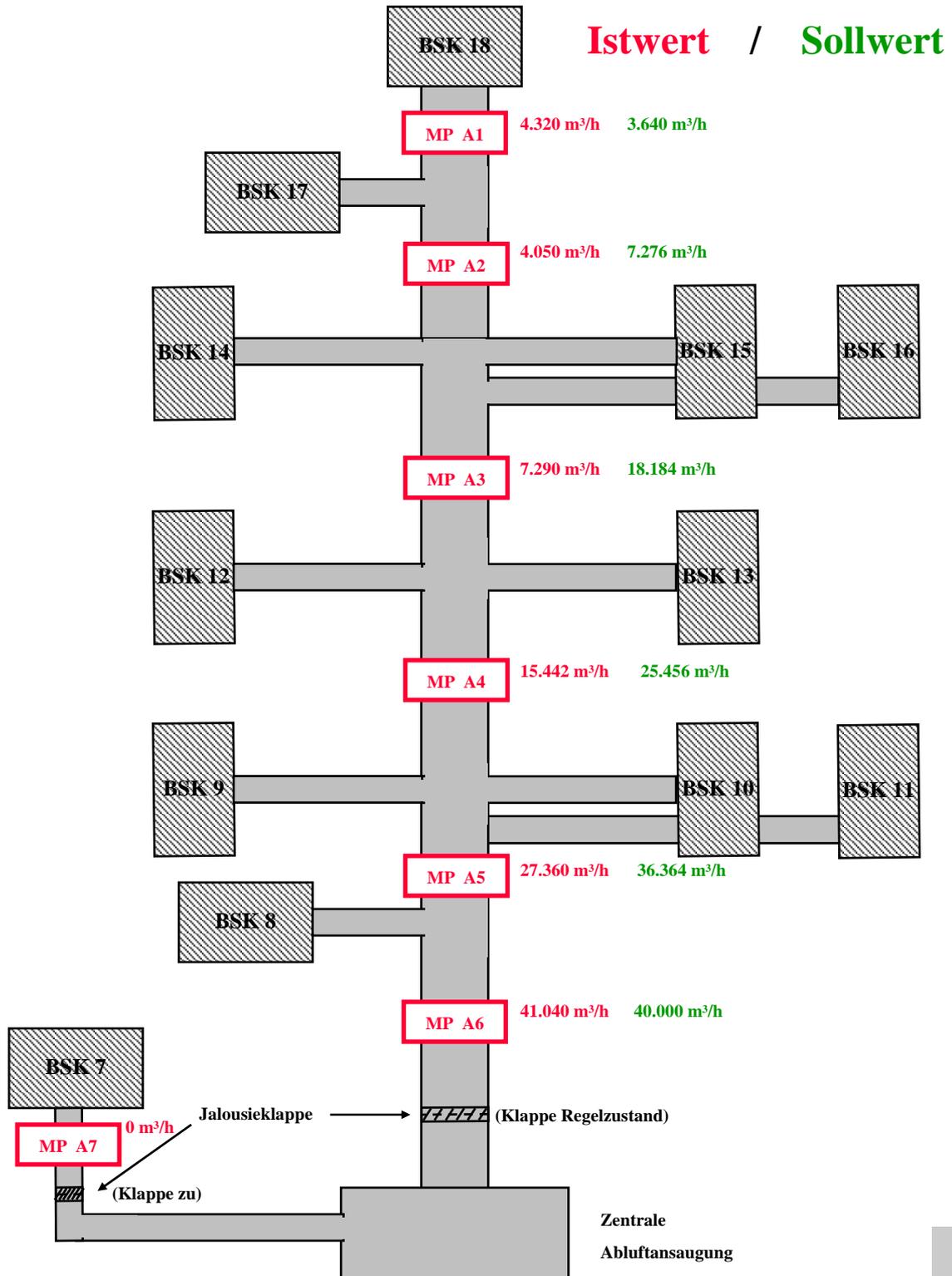


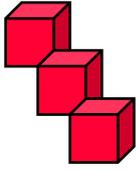


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Mengenverteilung Ist- und Sollwerte / Abluft -

Abluft nur Zuschauerraum

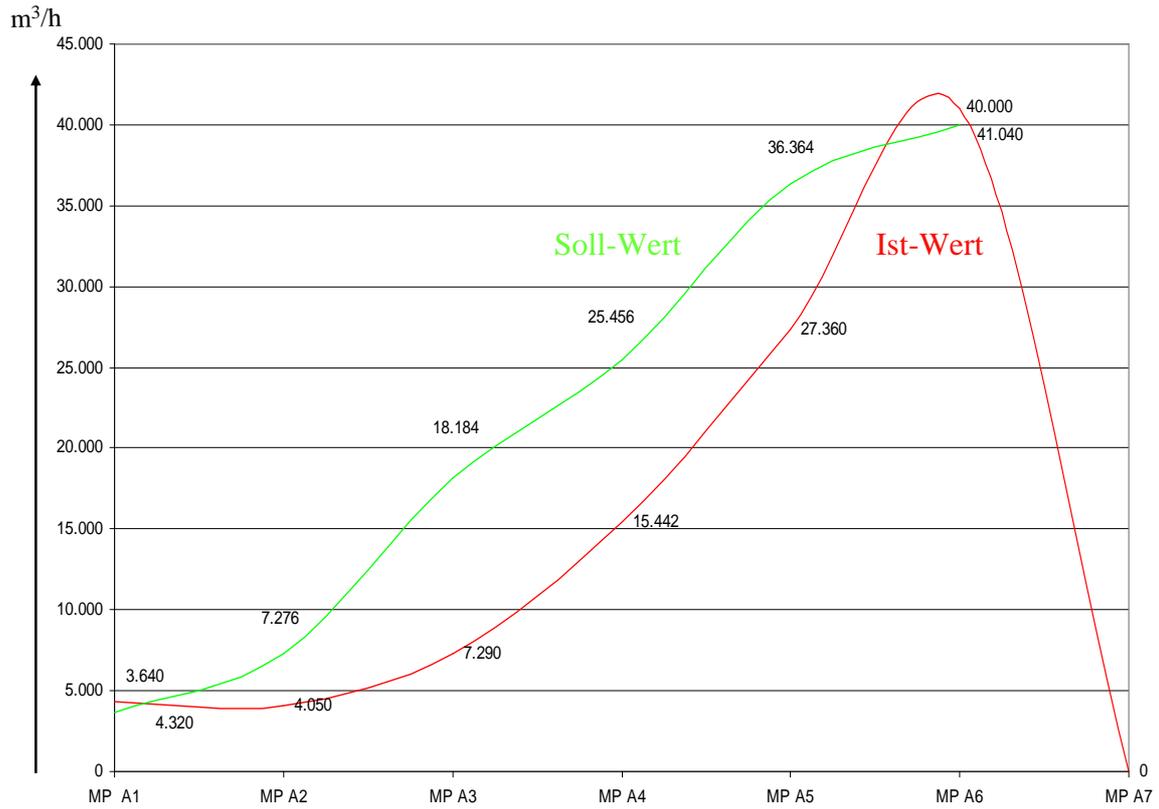


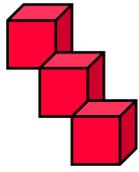


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Mengenverteilung Ist- und Sollwerte / Abluft -

Abluft nur Zuschauerraum

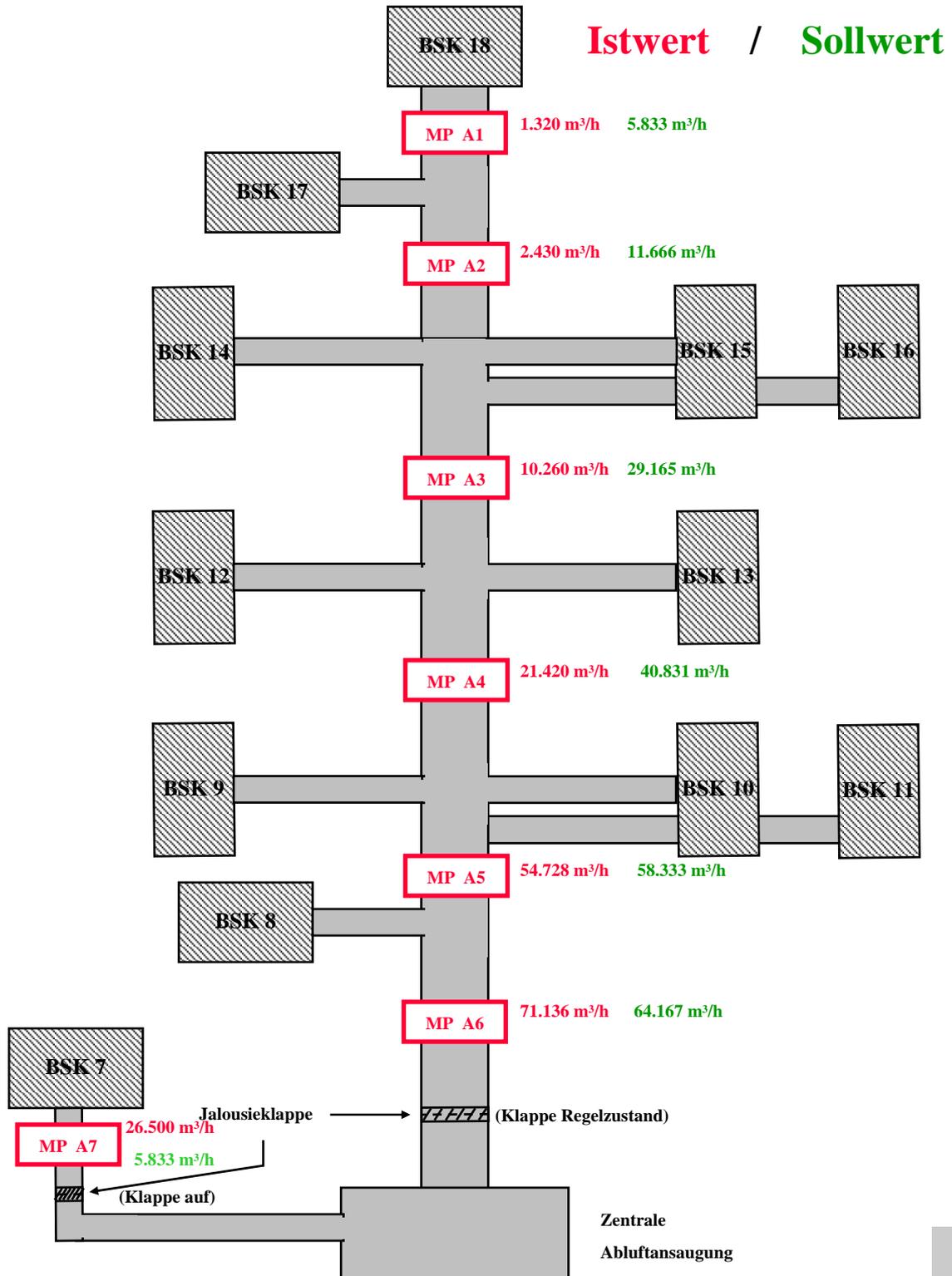


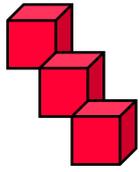


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Mengenverteilung Ist- und Sollwerte / Abluft -

Abluft Zuschauerraum und Bühne

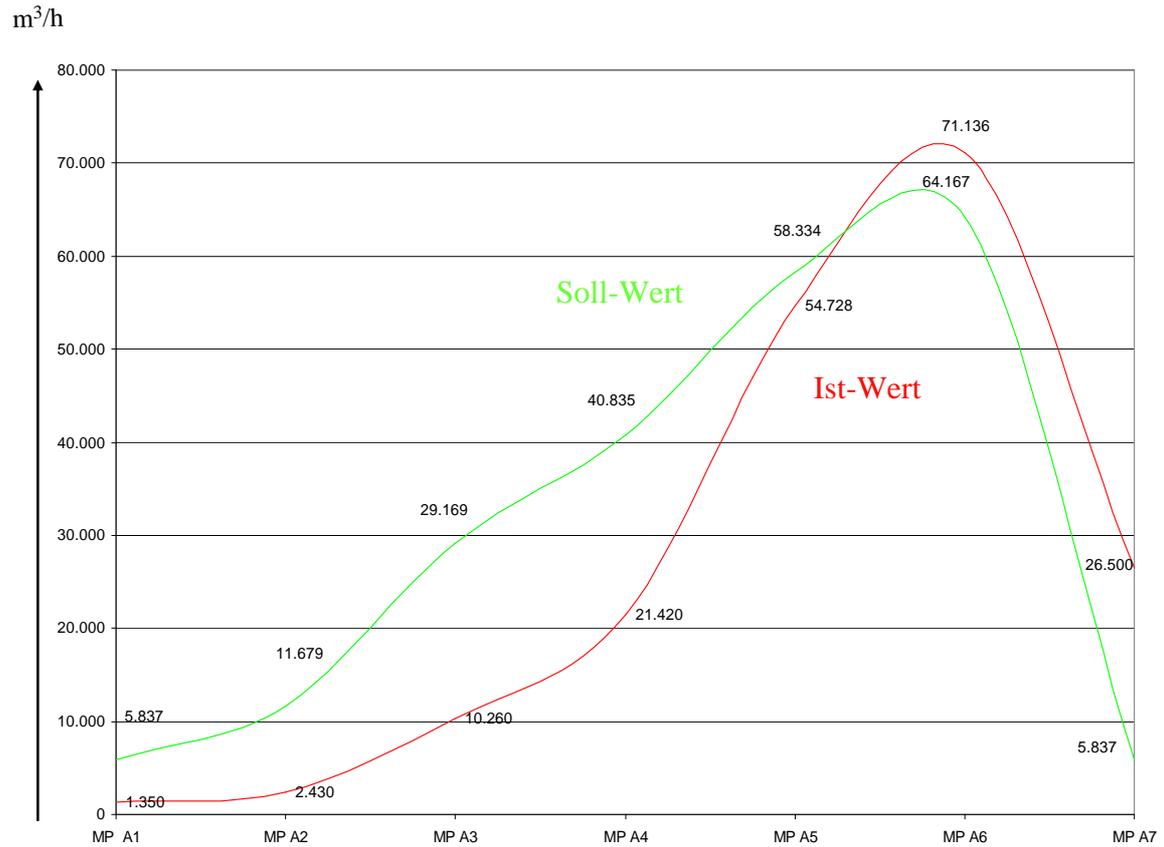


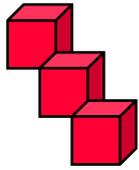


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Mengenverteilung Ist- und Sollwerte / Abluft -

Abluft Zuschauerraum und Bühne





Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Resümee / Abluft -

■ Für den Betriebszustand **Abluft nur Zuschauerraum** wird deutlich, dass die erforderliche Gesamtluftmenge von 40.000 m³/h erreicht wird. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Verteilungen der Luftmengen nicht gleichmäßig sind. So wird die erforderliche Luftmenge erst nach dem Messpunkt MP A5 erreicht, d.h. erst dadurch, dass durch die Brandschutzklappe BSK 8 ein Volumenstrom von ca. 13.000 m³/h gesaugt wird. Diese Luftmenge ist ca. 3,5 mal so hoch wie die theoretische Luftmenge. Im hinteren Bereich des Kanalsystems wird zu wenig Luft abgesaugt. Die Luftmenge im Messpunkt MP A3 entspricht nur 40% der Soll-Luftmenge. Im Diagramm auf der Seite 22 wird dies dadurch deutlich, dass die IST-Wert Kurve stets unterhalb der Soll-Wert-Kurve liegt und diese erst im letzten Messpunkt schneidet.

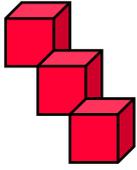
■ Im Betriebszustand **Abluft Zuschauerraum mit Bühne** erhöht sich die Abluftmenge auf über 97.000 m³/h. Auffällig ist, dass durch die Brandschutzklappe BSK 7 ca. 26.500 m³/h Luft angesaugt wird. Die Messungen bestätigen die vorstehend aufgeführten Beobachtungen, dass die Verteilungen der Luftmengen nicht gleichmäßig sind und dass im hinteren Bereich des Kanalsystems zu wenig Luft abgesaugt wird. Dieser Effekt wird in diesem Betriebszustand noch erhöht, da am Meßpunkt MP A3 nur noch 35% der Soll-Luftmenge gefördert wird. Der Vergleich der Kurven auf der Seite 24 verdeutlichen diese Situation. Ab dem Messpunkt MP A4 steigt die Kurve steil an. Im Messpunkt MP A5 wird der Sollwert (fast) erreicht .

■ Während der Untersuchung wurde nicht ermittelt, wie die Regelung der Brandschutzklappe BSK 7 mit der allgemeinen Regelung abgestimmt wurde. Es ist zu prüfen, wieviel Luft über diese Brandschutzklappe gesaugt werden soll und wie diese Luftmenge bei der Betrachtung der Gesamtluftmenge berücksichtigt werden muss. Für die Untersuchung wurde angenommen,

- dass die Gesamtluftmenge 70.000 m³/h betragen soll,
- dass alle Brandschutzklappen gleichmäßig mit ca. 5.833 m³/h beaufschlagt werden sollen.

Unter der Berücksichtigung dieser Annahmen wird die Gesamtluftmenge im Betriebszustand **Abluft Zuschauerraum mit Bühne** um ca. 35% überschritten. Die Brandschutzklappen BSK 7 und BSK 8 werden deutlich zu hoch beaufschlagt. Dadurch entstehen Geräusche bei der Absaugung.

In beiden Betriebszuständen besteht eine „Unterversorgung“ im hinteren Kanalsystem.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Empfehlungen Zuluft und Abluft -

Für die **Zuluft** empfehlen wir:

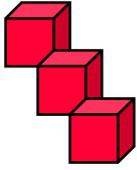
- Die Druckseite der Zuluftventilatoren mit Jalousieklappen auszurüsten.
- Die Ansteuerung und Regelung der Ventilatoren so zu ändern, dass ein Einzelbetrieb möglich ist.
- Den Betriebszustand **nur Zuschauerraum** mit einem Ventilator zu fahren. Der Betriebspunkt, mit einem Drucksollwert von zur Zeit 400 Pa, ist durch Luftmengenmessungen zu überprüfen und ggf. anzupassen.
- Für den Betriebszustand **Zuschauerraum mit Bühne** empfehlen wir, den Drucksollwert auf ca. 300 Pa zu senken. Der neue Betriebspunkt ist durch Luftmengenmessungen zu überprüfen. Sollte eine Ansteuerung der Frequenzumformer unterhalb von 35% erfolgen, sollte versucht werden, auch den Betriebszustand **Zuschauerraum mit Bühne** nur mit einem Ventilator zu fahren.

Für die **Abluft** empfehlen wir:

- Das Kanalsystem gemäß der Skizze auf Seite 27 zu ändern. Der hintere Bereich (BSK 12-18) des Hauptkanals ist vom vorderen Bereich (BSK 7-11) zu trennen. Durch eine zusätzliche Kanalführung ist der hintere Bereich direkt an die zentrale Abluftansaugung anzuschließen. Es ist eine zusätzliche Jalousieklappe zur Regelung einzubauen. Die Kanalführung der Brandschutzklappe BSK 7 sollte so geändert werden, dass eine Absaugung mit dem vorderen Bereich erfolgt.

Die Vergrößerung der Stichleitungen an den Brandschutzklappen oder eine Erweiterung im hinteren Kanalbereich halten wir für nicht geeignet, um das Kanalsystem abzugleichen. Durch den hohen Unterdruck an der zentralen Abluftansaugung bleibt die extreme Beaufschlagung der ersten Brandschutzklappen bestehen. Diese müssten durch Lochbleche eingedrosselt werden. Dadurch entstehen Geräusche. Energie kann nicht eingespart werden.

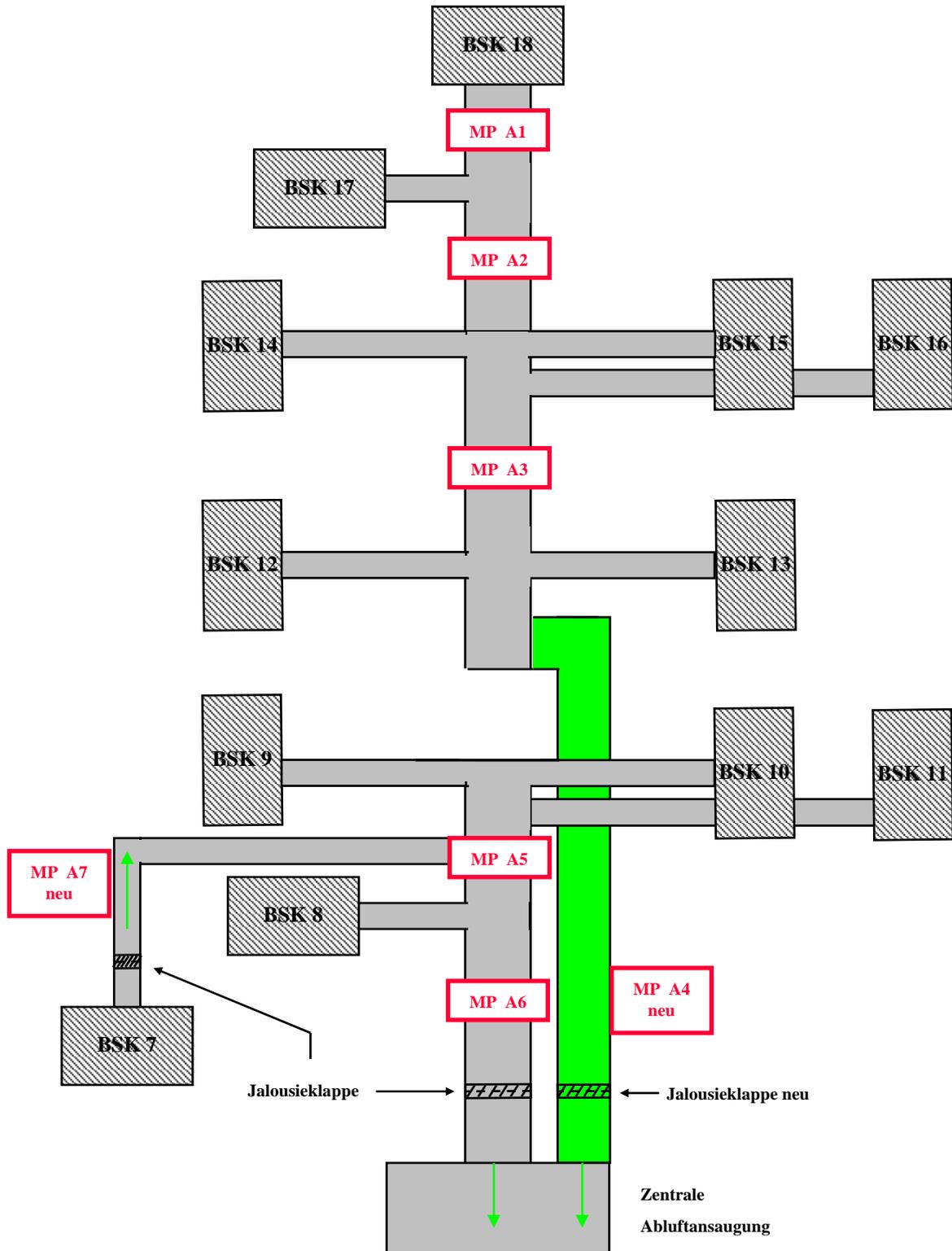
- Der Betriebszustand **nur Zuschauerraum** ist nach dem Umbau durch Luftmengenmessungen zu überprüfen.
- Für den Betriebszustand **Zuschauerraum mit Bühne** ist der Drucksollwert für die Abluft um ca. 20% zu senken. Der neue Betriebspunkt ist durch Luftmengenmessungen zu überprüfen.
- Für beide Betriebszustände sind die Ansteuerungen der 3 Jalousieklappen durch Luftmengenmessungen zu überprüfen und ggf. neu einzustellen.

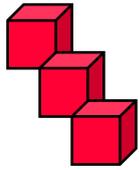


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 20 - Empfehlung / Abluft -

Abluft Zuschauererraum und Bühne





Amortisationsbetrachtung

Lüftungsanlage 20 – Zuluft und Abluft

■ Die Amortisationsbetrachtung basiert auf den Einbau von Jalousieklappen in den Druckseiten der Zuluftventilatoren, den Einzelbetrieb der Zuluftanlagen, den Umbau des Kanalsystems Abluft, Koppelung der Abluftventilatoren an das Ansteuerungssignal der Zuluftventilatoren und der Optimierung der Druckregelung.

■ Investitionen:

2 Jalousieklappen mit Stellmotor (Zuluftventilatoren)	
B x H = 1000 x 1000 mm	3 TDM
2 Übergangsstücke mit Montage	2 TDM
Verkabelung	3 TDM
Optimierung der Regelung	6 TDM
Messungen / Optimierung	
für Zu- und Abluft	6 TDM
Lüftungskanal liefern und montieren	12 TDM
Jalousieklappe mit Motor (Kanalsystem Abluft)	
liefern und montieren	2 TDM
Gesamt	34 TDM

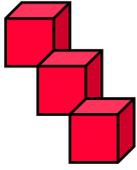
■ Einsparungen:

Stromkosten 0,16 DM/kWh	12 TDM
bei der Annahme, dass bei 2.500 Betriebsstunden	
Std. ca. 30 kW bei der Zuluft und der Abluft	
eingespart werden können.	

Die Amortisationszeit beträgt:

$$34 \text{ TDM} : 12 \text{ TDM} = 2,8 \text{ Jahre}$$

Die Optimierung ist durchzuführen!



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Durchführung der Messungen -

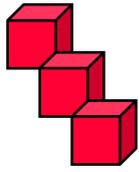
■ Die Gesamtluftmenge wird am Messpunkt 21.1 gemessen. Die Anströmgeschwindigkeit auf die Filterwand wird als Mittelwert erfasst und mit dem freien Querschnitt der Filterelemente (18 Stück) multipliziert. Es wird ein Korrekturfaktor von 0,8 angesetzt. Er berücksichtigt Querströmungen im Gerät sowie die Reduzierung des freien Querschnitts infolge der Rahmenkonstruktionen für die Taschenfilter.

In den Messpunkten 21.2; 21.3; 21.4 und 21.5 werden die Zuluftmengen für die Stränge „Cafe/Foyer/Schauspiel“; „Wandelgang“, „Chagall-Saal“ und „Foyer Oper“ gemessen. In den Strängen sind teilweise Leitbleche bzw. Abdeckbleche eingebaut. Die freien Querschnitte mussten somit korrigiert und teilweise abgeschätzt werden.

Durch die Messungen sollen die Luftmengen in den Einzelsträngen ermittelt werden. Über die Bilanzierung der Volumenströme werden die Messungen auf Plausibilität hin überprüft. Die Messungen sollen einen Aufschluss über den Betriebspunkt der Anlage geben. Abweichungen von bis zu 15% sind zulässig. Die Messungen wurden bei einer Druckwertvorgabe von 650 Pa und von 450 Pa durchgeführt.

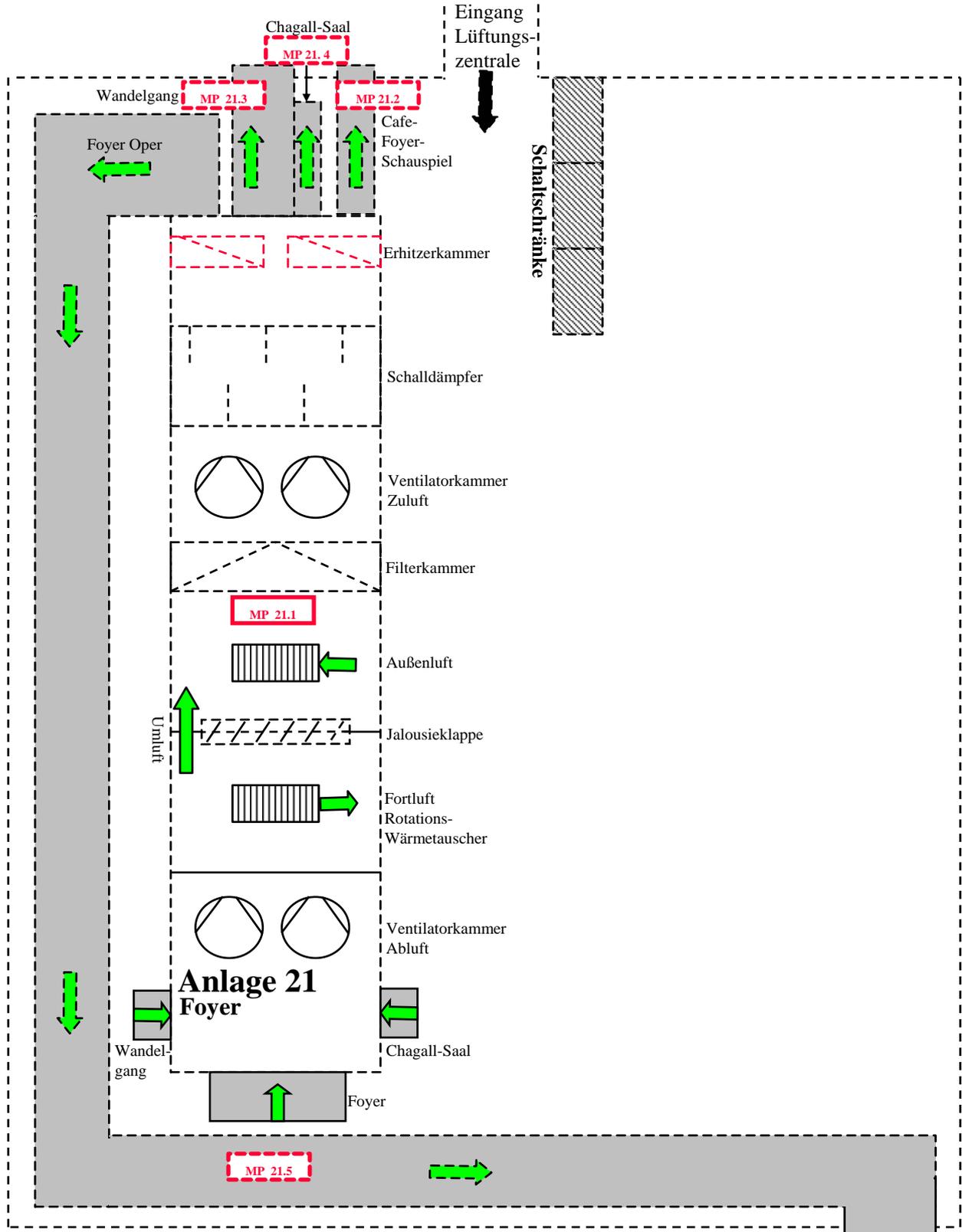
■ In der nachfolgenden Skizze sind die festgelegten Messpunkte eingetragen.

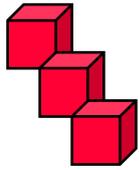
■ Die ermittelten und berechneten Werte sind in den anschließenden Tabellen aufgeführt und in Balkendiagrammen dargestellt.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Anordnung der Messpunkte Zentrale -

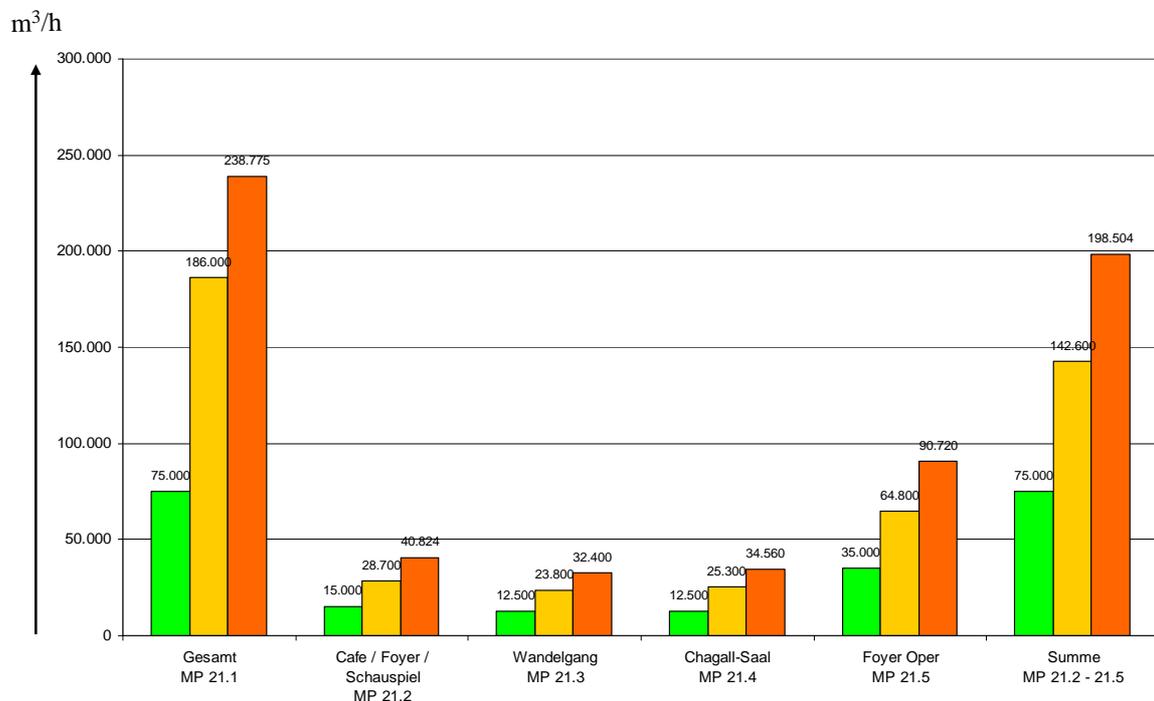




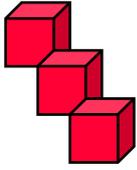
Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Mengenermittlung Zentrale -

		MP 21.1	MP 21.2	MP 21.3	MP 21.4	MP 21.5	Ampere
		Gesamt	Cafe / Foyer / Schauspiel	Wandelgang	Chagall-Saal	Foyer Oper	Fu %
V soll	m ³ /h	75.000	15.000	12.500	12.500	35.000	
Kanalquerschnitt B x H korrigiert	m	0,55x0,55x 80% Filterelemente	0,53 x 0,8 Leitblech	0,96 x 0,63	1,6 x 0,5 x 80% Leitblech	2,0 x 0,9	
Kanalquerschnitt B x H	A eff. (m ²)	5,45	0,42	0,6	0,64	1,8	
1. Messung Standart 450 Pa	v (m/s)	9,5	19	11	11	10	130 A
Volumenstrom	m ³ /h	186.000	28.700	23.800	25.300	64.800	64%
Summe			142.600				
2. Messung max 650 Pa	v (m/s)	12,17	27	15	15	14	140 A
Volumenstrom	m ³ /h	238.775	40.824	32.400	34.560	90.720	98%
Summe			198.504				

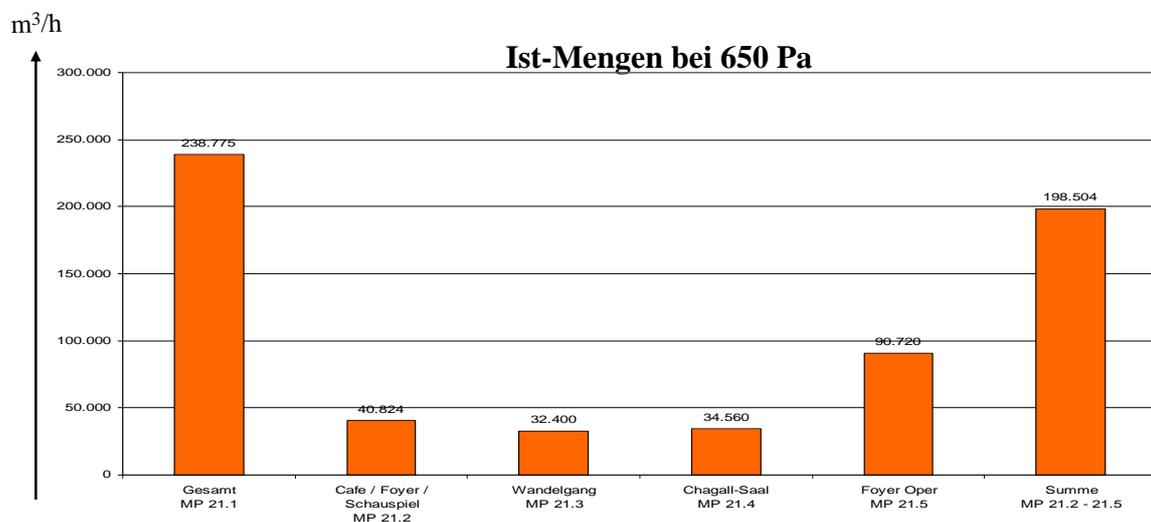
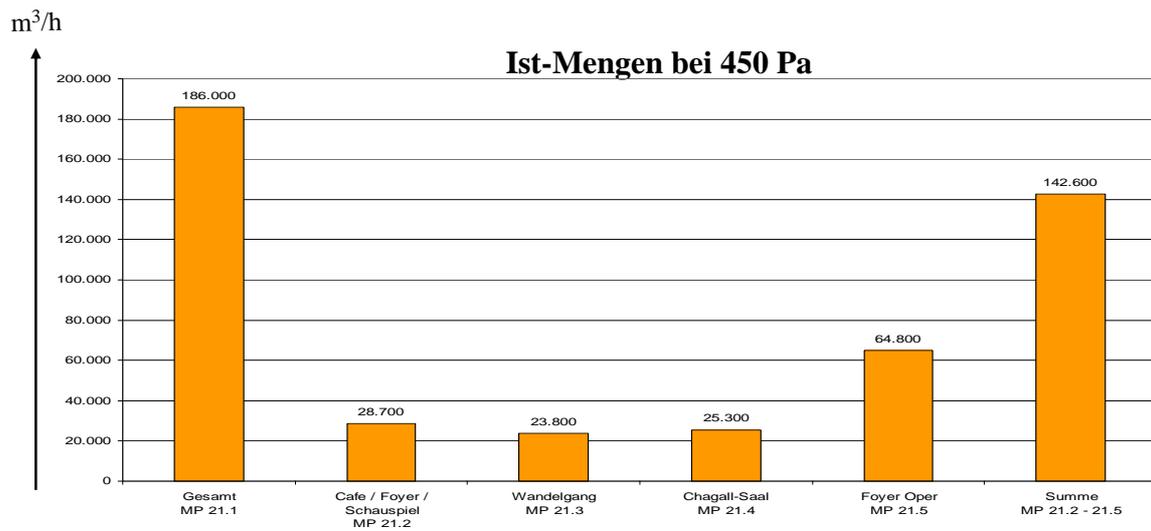
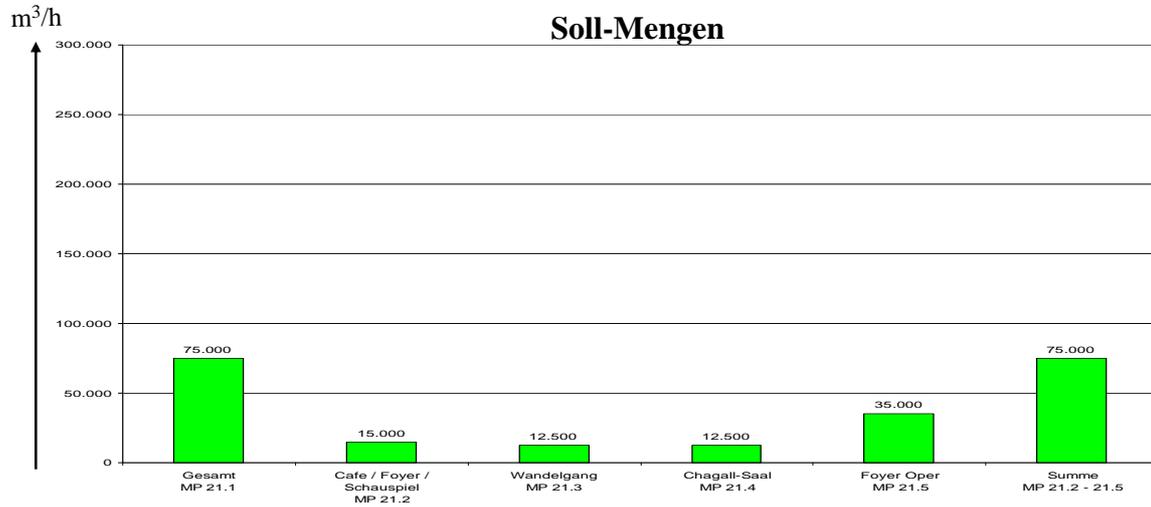


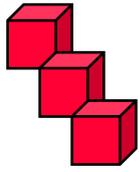
- █ Soll-Mengen
- █ Ist-Mengen bei 450 Pa (Delta-P Regelung, Druck Sollwert)
- █ Ist-Mengen bei 650 Pa (Delta-P Regelung, Druck Sollwert)



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Mengenverteilung Zentrale -





Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Durchführung der Messungen

■ Der Vergleich des Gesamtvolumenstroms am MP 21.1 mit der Summe der Volumenströme der Messpunkte MP 21.2 bis MP 21.5 ergibt eine Differenz von ca. 10% bei der Druckwertvorgabe von 650 Pa. Aufgrund der hohen Turbulenzen in den Zuluftsträngen und Querströmungen in der Filterkammer, ist eine höhere Genauigkeit bei den Messungen nicht erforderlich. Für die Festlegung der Betriebspunkte wird eine Gesamtluftmenge von ca. 140.000 m³/h bei 450 Pa und 180.000 bei 650 Pa angenommen. Beide gemessenen Luftmengen liegen deutlich über der erforderlichen Luftmenge von 75.000 m³/h.

■ Aus den Gesprächen mit dem Dezernat Technik der Städtischen Bühnen wurde deutlich, dass Probleme bei der Beheizung des Foyers auftreten. Die Versorgung erfolgt über den Kanal „Foyer Oper“. Im Messpunkt MP 21.5 wird die Luftmenge gemessen, die in das Kanalsystem eingebracht wird. Im Bereich der Lüftungszentrale erfolgt die Luftführung in Blechkanälen. Die Verbindungskanäle zwischen Lüftungszentrale und Foyer bestehen aus genagelten Promatplatten. Es besteht der Verdacht, dass diese Kanäle nicht dicht sind. Im Messpunkt MP 21.6 wird die Luftmenge gemessen, die nach der Kanalführung für die Beheizung des Foyers zur Verfügung steht. Diese Luftmenge wird über sternförmig angeordnete Kanäle zu den Ausblasgittern / Fußbodengittern geführt. Auch bei diesen Kanälen besteht der Verdacht, dass diese undicht sind.

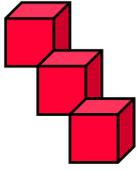
Durch die Messungen soll festgestellt werden, wieviel Luft an den einzelnen Messstellen zur Verfügung steht. Es soll die Abhängigkeit zwischen den unterschiedlichen Druckvorgaben am Klimagerät und den zur Verfügung stehenden Luftmengen dargestellt werden. Dazu wurden an den 38 Fußbodengittern im Foyer Messungen durchgeführt. Die hohe Anzahl der Messpunkte ermöglicht eine relativ genaue Darstellung der der Luftmengenverteilung über den Fußbodengittern.

■ Auf der Seite 37 befindet sich ein Übersichtsplan mit der Anordnung der Fußbodengitter und der Lage von Meßpunkt MP 21.6.

■ Auf der Seite 38 befinden sich drei Fotos die die räumlichen Gegebenheiten darstellen.

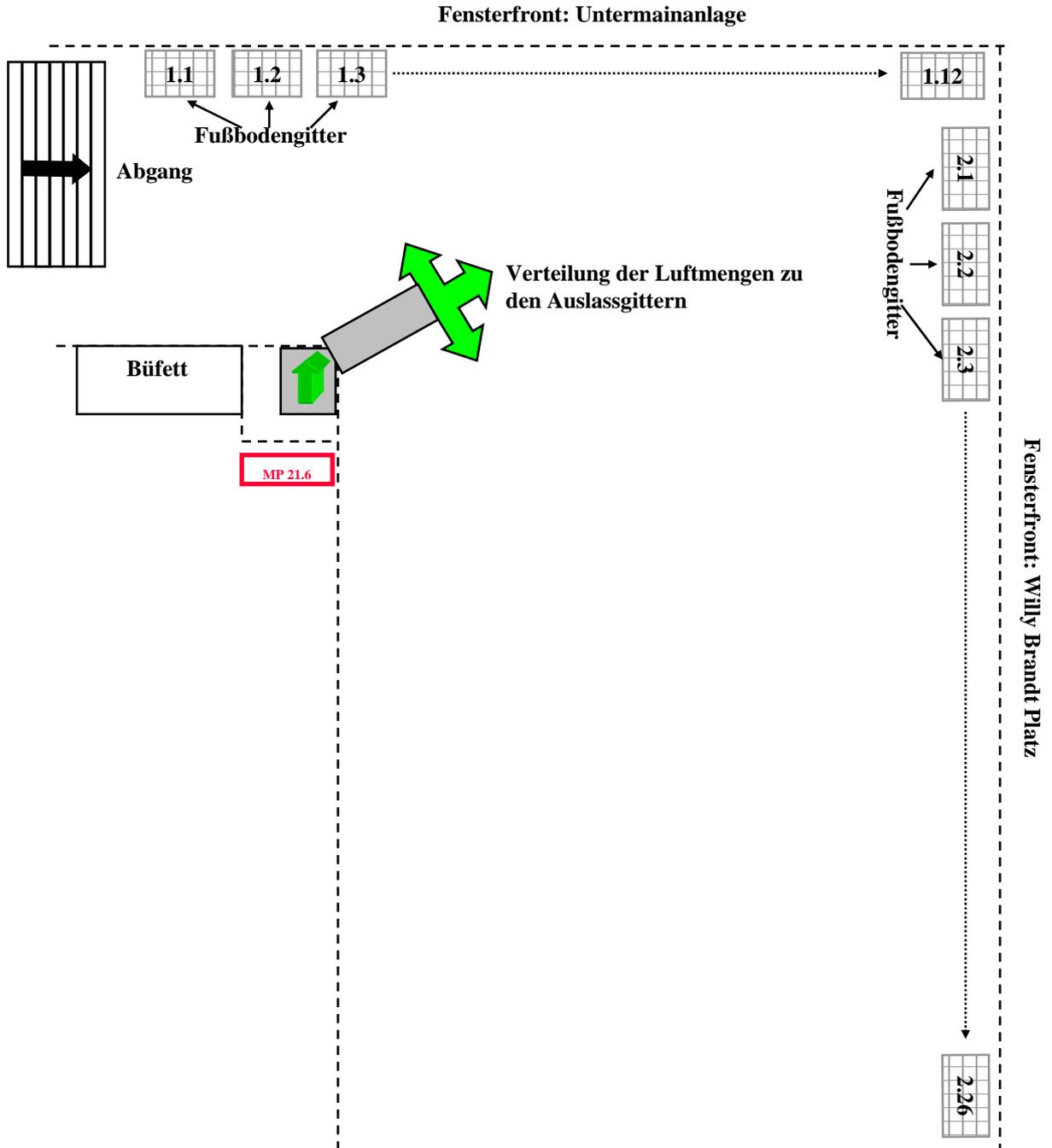
■ Seite 39 stellt die Vorgehensweise bei den Luftmengenmessungen an den Fußbodengittern dar.

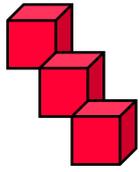
■ Die Grafik auf der Seite 44 zeigt die gemessenen Luftmengen an den Messpunkten MP 21.5; MP 21.6 und als Summe über die Fußbodengitter gemessen.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Übersichtsplan Auslassgitter Foyer Oper -



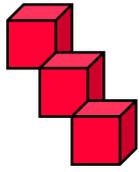


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Fotografische Darstellung der Auslassgitter Foyer Oper -

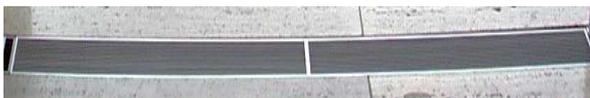
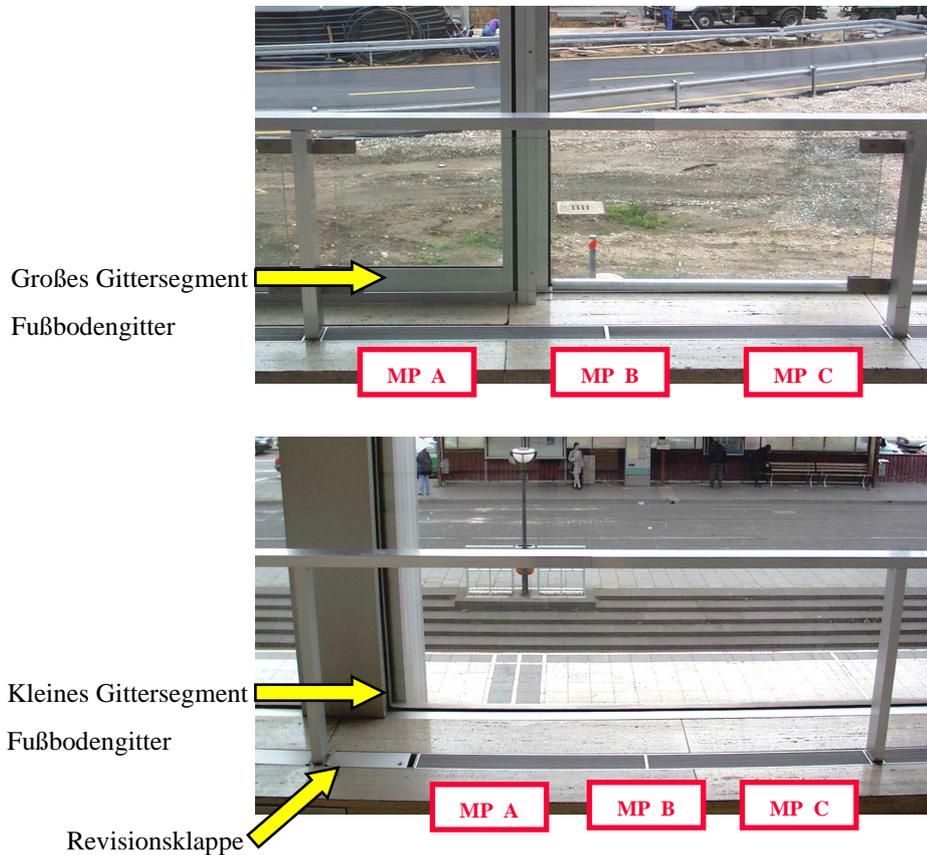


Verteilung der Luftmengen zu den Auslassgittern



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Anordnung der Messpunkte (Gittersegmente) Foyer Oper -

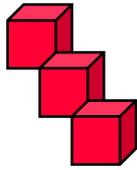


Beispiel effektive Gitterbreite:

$$(0,085\text{m} - 0,02\text{m}) \times 80\% = 0,052\text{m}$$

Bemerkung:

Aus den beiden oberen Bildern wird sichtbar, dass die Fußbodengitter unterschiedlich groß sind. In den nachfolgenden Diagrammen wurde die effektive Gittergröße (Gittermaß abzüglich Längs- und Querstege und Lamellen) als Grundlage zur Berechnung der Luftmengen festgelegt. Bei jedem Gitter wurden drei Messungen (A/B/C) bezogen auf die Gitterlänge durchgeführt. Der Mittelwert der Luftgeschwindigkeiten ist die Grundlage zur Berechnung der Luftmengen.



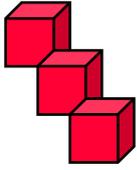
Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Mengenermittlung Auslassgitter Foyer Oper -

450 Pa

Bezeichnung Gitter Nr.	Geschwindigkeit			Mittelwert aus A / B / C	eff. Außen- länge	eff. Breite	eff. Fläche	Menge
	A	B	C					
1.1	4,5	3,0	8,0	5,2	1,27	0,052	0,07	1.228
1.2	5,0	3,0	2,8	3,6	1,27	0,052	0,07	856
1.3	2,5	2,2	1,4	2,0	1,61	0,052	0,08	613
1.4	2,0	0,9	0,8	1,2	1,61	0,052	0,08	372
1.5	0,8	0,1	0,3	0,4	1,61	0,052	0,08	121
1.6	4,0	0,6	1,1	1,9	1,68	0,052	0,09	598
1.7	3,7	2,1	2,9	2,9	1,35	0,052	0,07	733
1.8	1,5	5,2	5,2	4,0	1,35	0,052	0,07	1.002
1.9	0,5	0,3	3,4	1,4	1,68	0,052	0,09	440
1.10	0,6	0,4	0,2	0,4	1,68	0,052	0,09	126
1.11	1,4	1,2	2,0	1,5	1,68	0,052	0,09	482
1.12	0,5	0,9	1,9	1,1	1,68	0,052	0,09	346
Summe								6.916

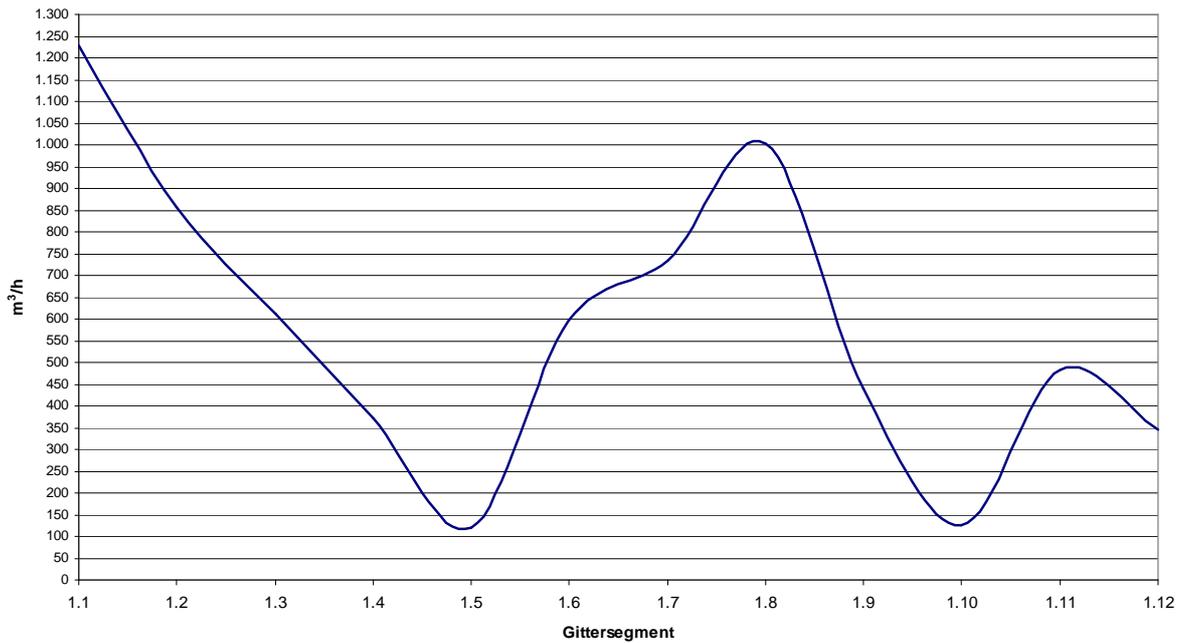
Bezeichnung Gitter Nr.	Geschwindigkeit			Mittelwert aus A / B / C	eff. Außen- länge	eff. Breite	eff. Fläche	Menge
	A	B	C					
2.1	0,2	0,2	2,1	0,8	1,44	0,052	0,07	225
2.2	0,1	2,5	2,7	1,8	1,16	0,052	0,06	384
2.3	3,8	2,2	4,5	3,5	1,44	0,052	0,07	943
2.4	0,5	5,5	0,5	2,2	1,78	0,052	0,09	722
2.5	0,2	3,5	2,3	2,0	1,78	0,052	0,09	666
2.6	1,4	2,4	0,5	1,4	1,78	0,052	0,09	478
2.7	0,8	4,5	0,9	2,1	1,78	0,052	0,09	689
2.8	4,0	0,8	0,5	1,8	1,45	0,052	0,08	480
2.9	0,2	0,2	0,3	0,2	1,68	0,052	0,09	73
2.10	3,8	3,7	0,5	2,7	2,05	0,052	0,11	1.023
2.11	3,1	0,8	3,0	2,3	2,05	0,052	0,11	883
2.12	0,4	0,7	3,0	1,4	2,00	0,052	0,10	512
2.13	0,5	1,4	5,0	2,3	2,05	0,052	0,11	883
2.14	1,0	0,7	0,6	0,8	1,70	0,052	0,09	244
2.15	0,3	1,3	0,3	0,6	1,70	0,052	0,09	202
2.16	1,6	0,4	0,1	0,7	2,05	0,052	0,11	269
2.17	0,6	0,3	0,3	0,4	2,05	0,052	0,11	154
2.18	1,2	1,8	1,4	1,5	2,05	0,052	0,11	563
2.19	0,4	0,9	1,5	0,9	2,05	0,052	0,11	358
2.20	0,3	0,2	0,2	0,2	1,70	0,052	0,09	74
2.21	0,3	0,6	0,4	0,4	1,70	0,052	0,09	138
2.22	0,1	0,3	0,2	0,2	2,05	0,052	0,11	77
2.23	0,3	1,1	0,2	0,5	2,05	0,052	0,11	205
2.24	0,2	0,7	1,1	0,7	2,00	0,052	0,10	250
2.25	0,2	0,2	0,7	0,4	2,00	0,052	0,10	137
2.26	0,3	1,2	1,1	0,9	1,70	0,052	0,09	276
Summe								10.905



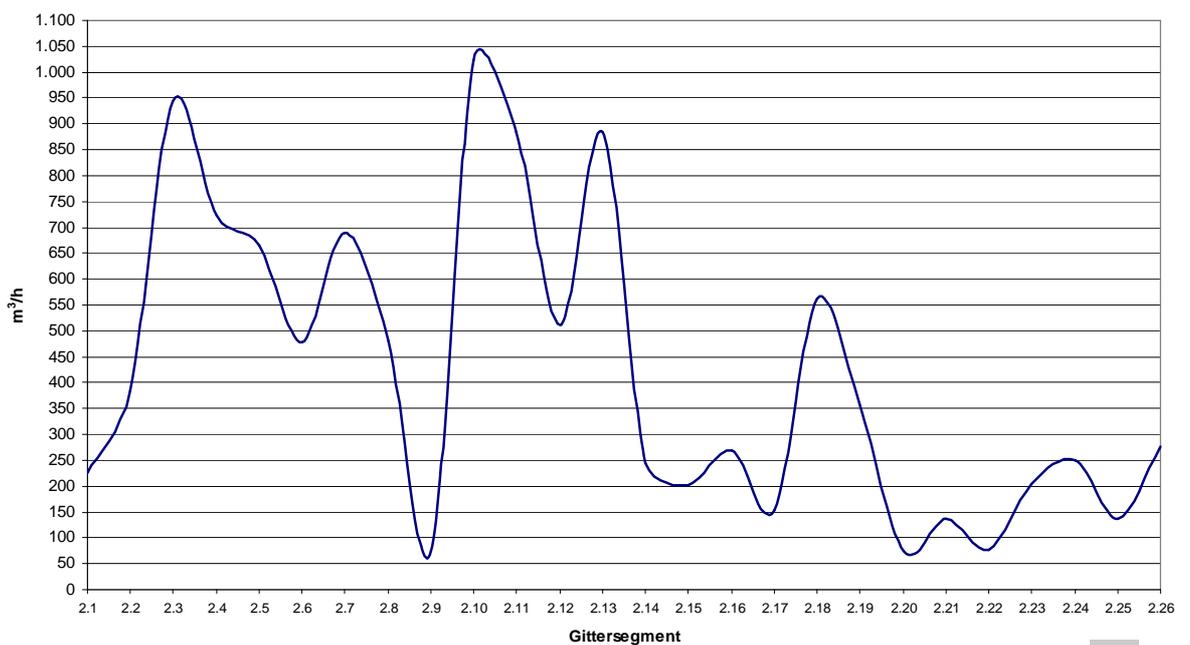
Lüftungsanlagen

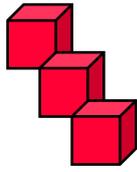
Lüftungsanlage 21 - Mengenverteilung Auslassgitter Foyer Oper -

Auslassgitter Untermainanlage bei 450 Pa



Auslassgitter Willy Brandt Platz bei 450 Pa





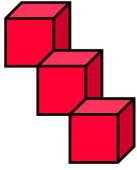
Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Mengenermittlung Auslassgitter Foyer Oper -

650 Pa

Bezeichnung Gitter Nr.	Geschwindigkeit			Mittelwert aus A / B / C m/s	eff. Außen- länge m	eff. Breite m	eff. Fläche m ²	Menge m ³ /h
	A	B	C					
1.1	11,5	8,5	8,0	9,3	1,27	0,052	0,07	2.219
1.2	8,0	4,5	3,0	5,2	1,27	0,052	0,07	1.228
1.3	3,0	2,2	1,7	2,3	1,61	0,052	0,08	693
1.4	1,8	2,7	1,2	1,9	1,61	0,052	0,08	573
1.5	0,7	0,2	0,3	0,4	1,61	0,052	0,08	121
1.6	4,5	0,7	1,5	2,2	1,68	0,052	0,09	702
1.7	4,6	2,4	5,3	4,1	1,35	0,052	0,07	1.036
1.8	1,9	6,5	6,2	4,9	1,35	0,052	0,07	1.230
1.9	0,3	0,3	4,0	1,5	1,68	0,052	0,09	482
1.10	0,7	0,6	0,2	0,5	1,68	0,052	0,09	157
1.11	1,8	1,4	2,4	1,9	1,68	0,052	0,09	587
1.12	0,5	1,7	2,5	1,6	1,68	0,052	0,09	493
Summe								9.521

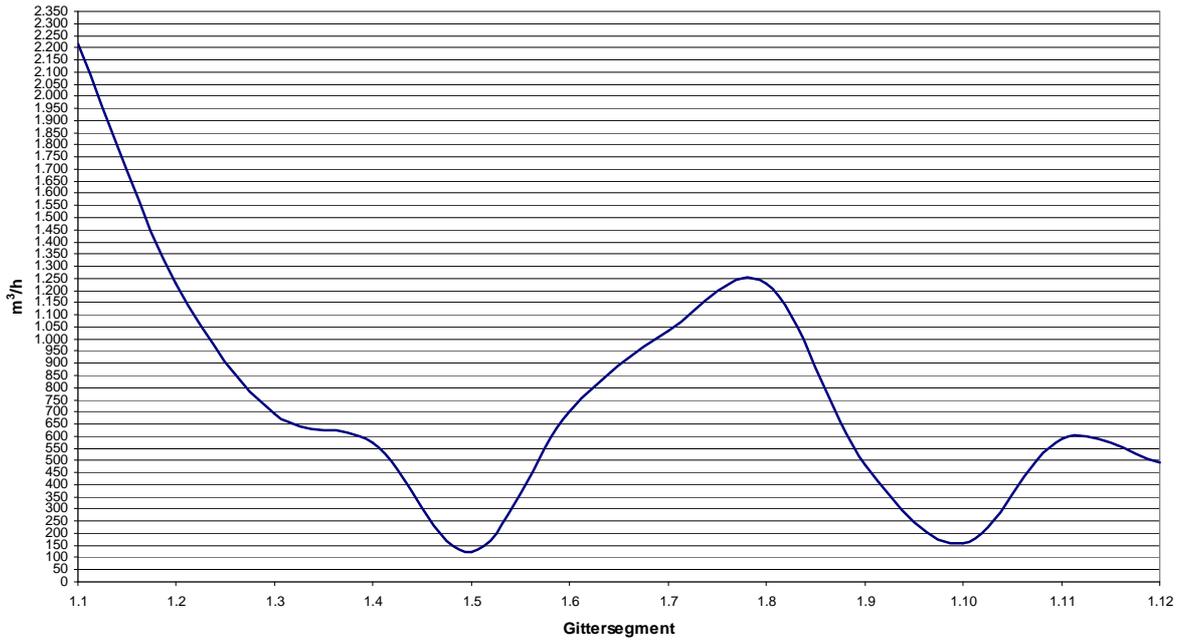
Bezeichnung Gitter Nr.	Geschwindigkeit			Mittelwert aus A / B / C m/s	eff. Außen- länge m	eff. Breite m	eff. Fläche m ²	Menge m ³ /h
	A	B	C					
2.1	0,4	0,3	2,5	1,1	1,44	0,052	0,07	288
2.2	0,6	2,4	4,8	2,6	1,16	0,052	0,06	565
2.3	4,3	4,8	6,0	5,0	1,44	0,052	0,07	1.357
2.4	0,6	5,4	0,6	2,2	1,78	0,052	0,09	733
2.5	0,3	4,3	3,0	2,5	1,78	0,052	0,09	844
2.6	1,3	3,5	0,5	1,8	1,78	0,052	0,09	589
2.7	0,7	5,0	0,8	2,2	1,78	0,052	0,09	722
2.8	5,4	0,7	0,7	2,3	1,45	0,052	0,08	615
2.9	0,3	0,6	0,3	0,4	1,68	0,052	0,09	126
2.10	4,6	4,0	0,5	3,0	2,05	0,052	0,11	1.164
2.11	3,5	0,6	3,7	2,6	2,05	0,052	0,11	998
2.12	0,4	0,6	4,2	1,7	2,00	0,052	0,10	649
2.13	0,3	0,8	5,3	2,1	2,05	0,052	0,11	819
2.14	1,0	0,7	0,5	0,7	1,70	0,052	0,09	233
2.15	0,1	0,1	0,5	0,2	1,70	0,052	0,09	74
2.16	1,8	0,4	0,2	0,8	2,05	0,052	0,11	307
2.17	0,7	0,4	0,4	0,5	2,05	0,052	0,11	192
2.18	2,0	2,6	1,5	2,0	2,05	0,052	0,11	780
2.19	0,5	1,2	1,7	1,1	2,05	0,052	0,11	435
2.20	0,3	1,7	0,2	0,7	1,70	0,052	0,09	233
2.21	0,3	0,5	0,1	0,3	1,70	0,052	0,09	95
2.22	0,2	0,4	0,1	0,2	2,05	0,052	0,11	90
2.23	1,0	1,2	0,2	0,8	2,05	0,052	0,11	307
2.24	0,2	1,5	1,3	1,0	2,00	0,052	0,10	374
2.25	0,4	0,5	0,6	0,5	2,00	0,052	0,10	187
2.26	0,3	1,2	1,0	0,8	1,70	0,052	0,09	265
Summe								13.041



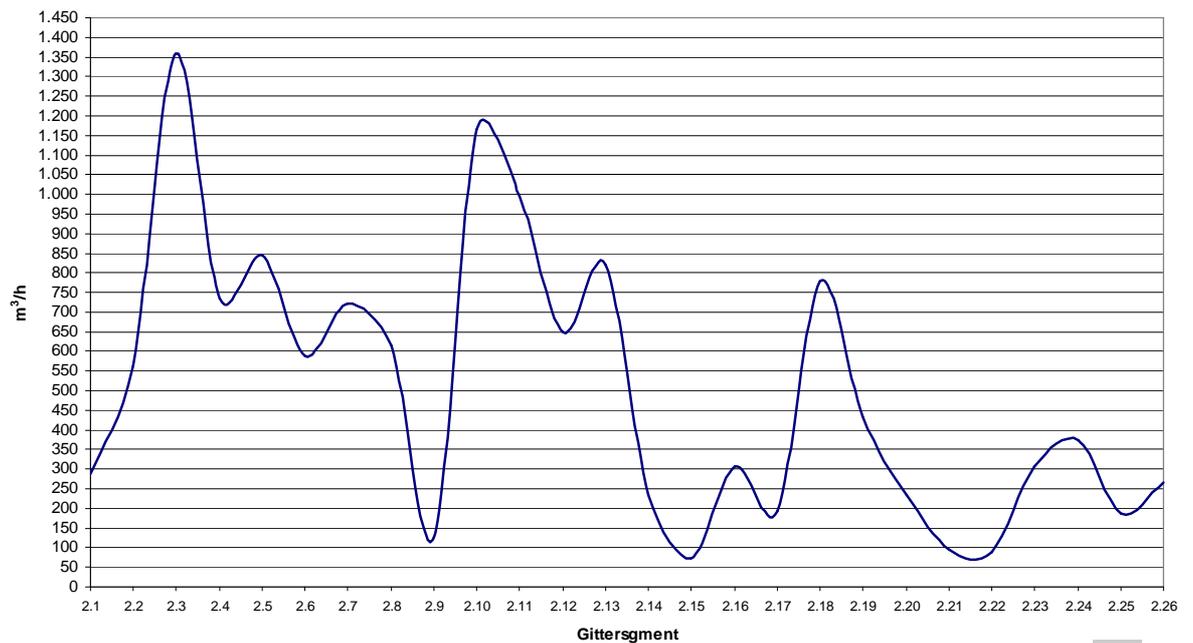
Lüftungsanlagen

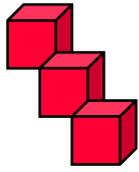
Lüftungsanlage 21 - Mengenverteilung Auslassgitter Foyer Oper -

Auslassgitter Untermananlage bei 650 Pa



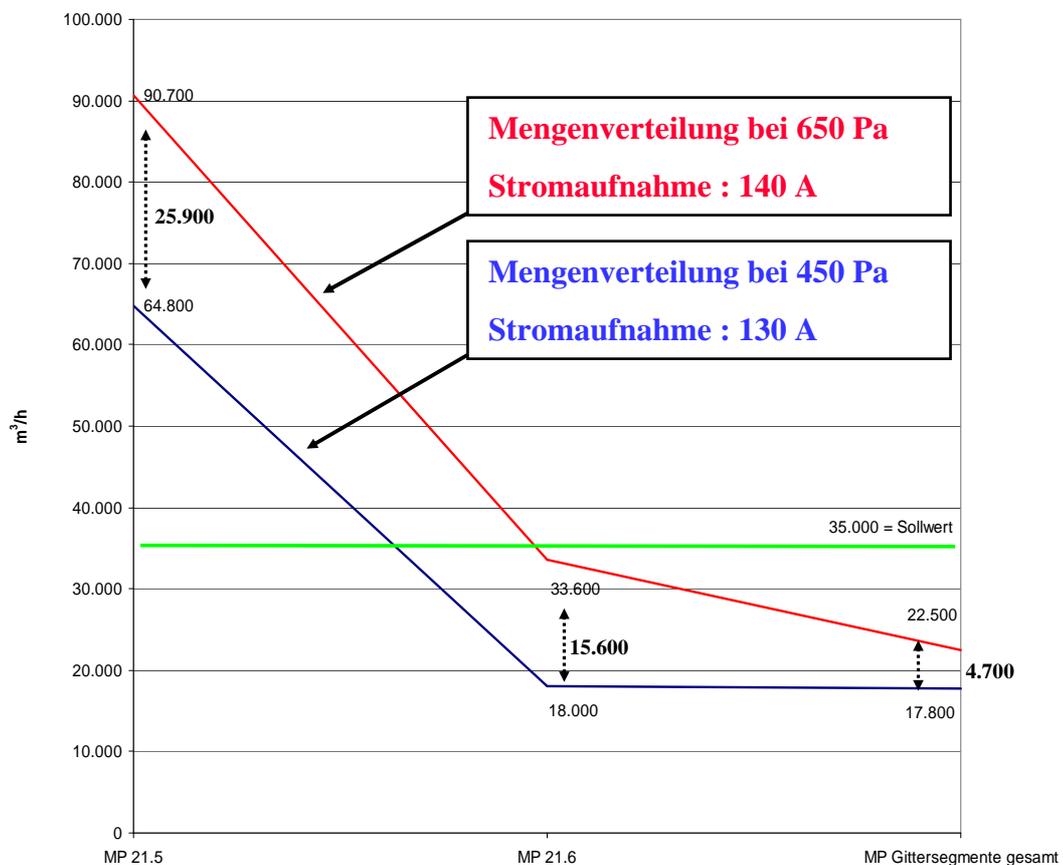
Auslassgitter Willy Brandt Platz bei 650 Pa





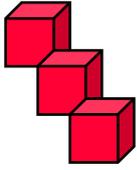
Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Vergleichsbetrachtung Auslassgitter Foyer Oper -



Bemerkung:

Durch die Druckabsenkung von 650 Pa (IST-Wert) auf 450 Pa verringert sich der Volumenstrom am Meßpunkt MP 21.5 von 90.700 m³/h auf 64.800 m³/h. Im Meßpunkt MP 6 werden 33.600 m³/h bzw. 18.000 m³/h gemessen. Dies entspricht einem Verlust von 63% bzw. 73%. Für beide Druckwertvorgaben werden über die Fußbodengitter ca. 25% der vom Klimagerät geförderten Luft ausgeblasen. Mit 22.500 m³/h bzw. 17.800 m³/h liegen diese Mengen deutlich unter der Soll-Luftmenge von 35.000 m³/h.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Resümee -

■ Betriebspunkt der Anlage:

Die gemessene Volumenströme sind doppelt bis dreifach so groß, wie die erforderlichen Soll-Luftmengen. Diese Verhältnisse spiegeln sich auch bei der Luftmengenverteilung innerhalb der einzelnen Kanalstränge wieder. Durch die Reduzierung der Druckwertvorgabe von 650 Pa auf 450 Pa. reduziert sich der Gesamtvolumenstrom von 180.000 m³/h auf ca. 140.000 m³/h. Die erforderliche Gesamtluftmenge beträgt 75.000 m³/h.

Für diese Anlage wurde der Ventilortyp nicht explizit überprüft. Die Größe und die Fördermengen der Anlage 21 entsprechen denen der Anlage 20. Auch die Motorleistungen der Zuluftventilatoren sind gleich groß. Im Wesentlichen können somit die Empfehlungen für die Anlage 20 übernommen werden. Zusätzlich ist das Zusammenspiel zwischen der Regelung der Zu- und Abluftventilatoren und die Verluste im Kanalstrang „Foyer Oper“ zu berücksichtigen.

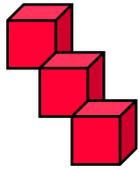
■ Regelung der Zu- und Abluftventilatoren

Die Regelung der Zu- und Abluftventilatoren erfolgen nach dem Druck. Für beide Systeme gibt es eine Druckwertvorgabe. Die Kammern für die Zu- und die Abluft sind durch eine Umluftklappe getrennt. Diese schließt nicht dicht. Druckunterschiede im Klimagerät machen sich bemerkbar. Während der Untersuchung wurde deutlich, dass bei einer Absenkung der Druckwertvorgabe auf 450 Pa bei der Zuluft, die Abluftventilatoren nachregelten. Die Leistungen der Abluftventilatoren erhöhten sich. Aufgrund, der in den Anlagen gemachten Erfahrungen, ist anzunehmen, dass die Abluftmenge bereits deutlich zu groß ist. Eine Erhöhung der Antriebsleistungen ist daher nicht erforderlich. **Durch eine Koppelung des Stellsignals für die Abluftventilatoren an das Ausgangssignal der Zuluftventilatoren z.B. Ausgangssignal x 0,9, kann das Heraufregeln der Abluftventilatoren vermieden werden.** Messungen in der Abluft wurden für diese Anlage nicht durchgeführt. Im Rahmen der Optimierungsarbeiten sollten diese nachgeholt werden.

■ Foyer Oper:

Um eine Unterversorgung im Bereich Foyer Oper auszugleichen wurde die Anlage mit einen Druck-Sollwert von 650 Pa betrieben. Die gewünschte Wirkung, dass der Foyerbereich ausreichend versorgt wird, wird dadurch nicht erreicht. Es werden ca. 25.000 m³/h Luft mehr von der Anlage in den Kanal Foyer Oper eingebracht, jedoch erreichen die Fußbodengitter nur noch 20% dieser Mehrleistung. Die Verlustleistung ist ungleich höher, als dass sich eine Verbesserung in diesem Bereich einstellt. Die eingebrachte Mehrleistung führt nur zu einer geringfügigen Erhöhung der Luftleistung im Foyer. Im Winter müssen zusätzliche Radiatoren angemietet werden, um bei Theatervorstellungen das Foyer ausreichend zu heizen.

Die Diagramme „Mengenverteilung Auslassgitter Foyer Oper“ zeigen bei den Druckwertvorgaben 650 und 450 Pa identische Kurvenverläufe. Lediglich die Höhen der Volumenströme sind unterschiedlich.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Resümee -

Es sind deutlich die Bereiche zu erkennen, in denen der Volumenstrom deutlich absinkt. Dies weist auf Mängel in der Verteilung und bei der Dichtigkeit der Kanäle hin. Im Bereich der Gitter 2.20 bis 2.26 besteht die Gefahr einer Unterversorgung.

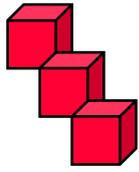
Um die Heizproblem für das Foyer zu lösen, ist das Abdichten der Kanäle erforderlich. Vorrang haben hier die Kanäle von der Klimazentrale zum Foyer (Nach MP 21.5 zu MP 21.6), da auf dieser Strecke die größten Verluste entstehen. Diese Verluste verursachen erhebliche Kosten, da die Zuluft aufbereitet ist. Neben der elektrischen Energie für die Antriebe gehen auch Kosten für die Erwärmung oder Kühlung der Luft oder bei der Verschmutzung der Filter mit ein. Da die Abluftregelung mit der Zuluftregelung gekoppelt ist, bedeutet dies auch eine Kostenerhöhung durch die Abluft.

Eine Kostenschätzung über eine komplette Sanierung der Kanäle übersteigt den Rahmen der Untersuchung. Nachfolgend wird eine Abschätzung der Einsparpotentiale aufgeführt. Vorab folgen noch einige Empfehlungen für Verbesserungen, die mit den vorhandenen Möglichkeiten durchgeführt werden können.

- Einbau von Absperrklappen auf den Druckseiten der Abluftventilatoren
 - Einbau von Absperrklappen auf den Druckseiten der Zuluftventilatoren
 - Trennen der Ansteuerung für die Zuluft- und Abluftventilatoren so, dass ein Einzelbetrieb möglich ist.
 - Kopplung Abluftventilator an Zuluftsignal
 - Änderung der Fahrweise der Anlage. Die Anlage, wird mit einem Ventilator und mit einer zeitlichen Vorgabe z.B. 10.00 bis 16.00 Uhr betrieben. Der Kanal „Foyer Oper“ wird durch die vorhandene Klappe geschlossen. Während des Sommerbetriebs ist eine Belüftung nur bedingt erforderlich. Die Gesamtluftmenge ist auf ca. 40.000 m³/h zu reduzieren. In der Übergangszeit wird die Klappe „Foyer Oper“ geöffnet. Der Ventilator erhöht über die Regelung den Volumenstrom. Eine hohe Druckwertvorgabe ist zu vermeiden. Wir empfehlen die Einstellung von 300 Pa. Die Luftmengen sind zu überprüfen. Bei extremen Temperaturen z.B. -5°C kann der Energieverlust in Kauf genommen werden um das Foyer zu temperieren. Die Anlage wird dann mit zwei Ventilatoren betrieben. Die Druckwertvorgabe von 450 Pa halten wir für ausreichend.
- Generell gilt: Möglichst eine Versorgung des Foyers zu vermeiden.**

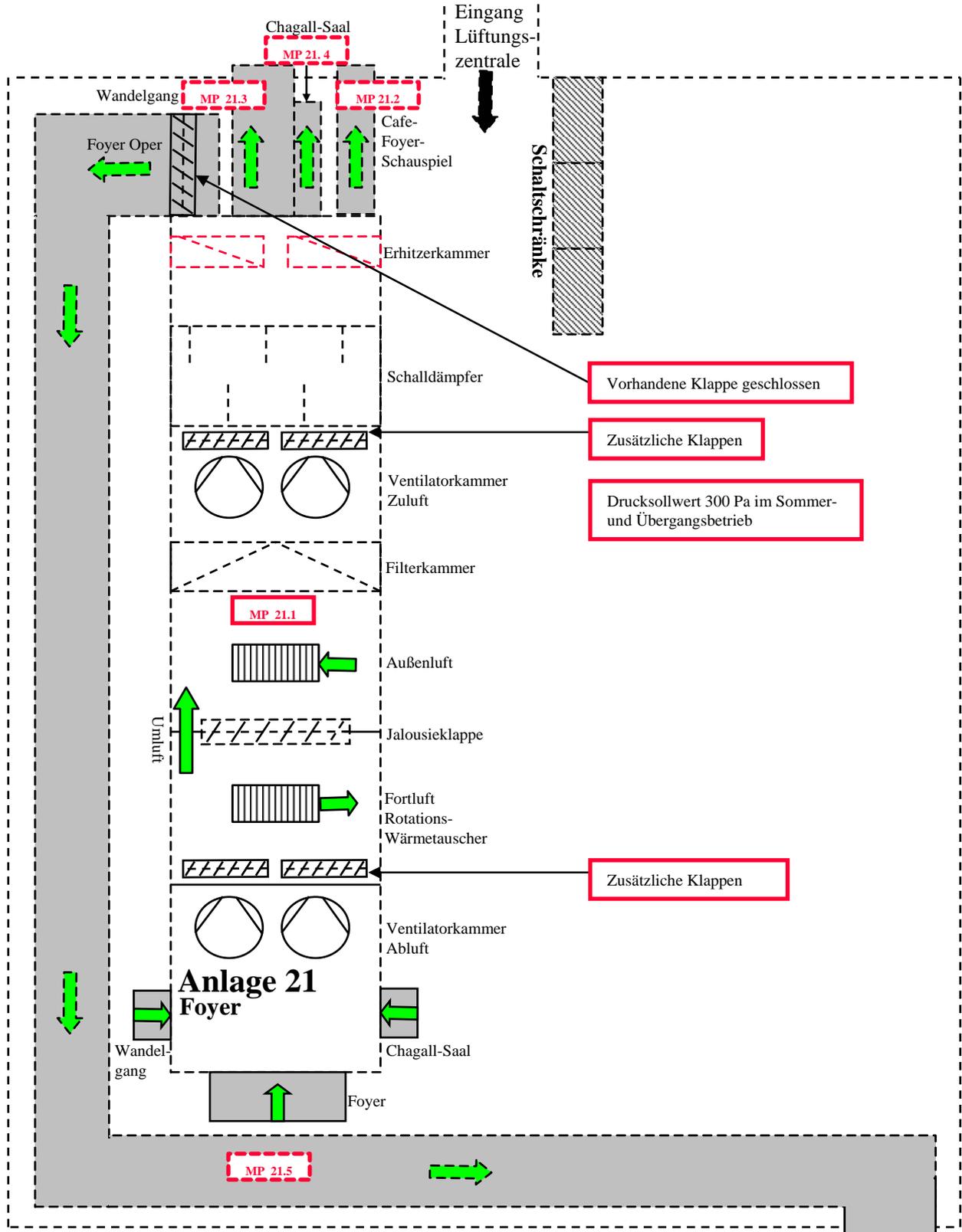
■ **Die vorstehend aufgeführten Optimierungen können nur als Übergangslösung betrachtet werden. Weitergehende Prüfungen und Optimierungen insbesondere im Bereich der Abluft sind erst nach der Sanierung der Kanäle und der Änderungen bei den Ansteuerungen für die Ventilatoren sinnvoll.**

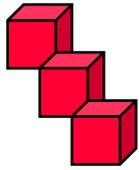
■ Nach der Durchführung der Maßnahmen muss die Regelung der Abluftventilatoren überprüft werden. Die Abluftmengen sind zu messen. Im Gebäude sollte im Prinzip ein geringer Überdruck gefahren werden, damit keine kalte Luft hineingezogen wird. Insbesondere bei der Betriebsweise mit zwei Zuluftventilatoren muss der Betriebspunkt für die Abluft ermittelt werden.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 21 - Resümee





Amortisationsbetrachtung

Lüftungsanlage 21 – Zuluft und Abluft

■ Die Amortisationsbetrachtung basiert auf den Einbau von Jalousieklappen in den Druckseiten der Zuluft- und Abluftventilatoren, einen möglichen Einzelbetrieb aller Ventilatoren im Sommer- und Übergangsbetrieb sowie der Optimierung der Druckregelung.

Eine Sanierung des Kanalsystems wurde nicht berücksichtigt, da dies die Aufgabenstellung der Studie überschreitet.

■ Investitionen:

4 Jalousieklappen mit Stellmotor	
B x H = 1000 x 1000 mm	6 TDM
4 Übergangsstücke mit Montage	5 TDM
Verkabelung	3 TDM
Optimierung der Regelung	6 TDM
Messungen / Optimierung für Zu- und Abluft	8 TDM
Gesamt	28 TDM

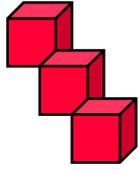
■ Einsparungen:

Stromkosten 0,16 DM/kWh	22 TDM
bei der Annahme, dass bei 1.800 Betriebsstunden ca. 40 kW bei der Zuluft und 20 kW bei der Abluft und bei 1000 Betriebsstunden. ca. 20 kW bei der Zuluft und 10 kW bei der Abluft eingespart werden können.	

Die Amortisationszeit beträgt:

$$28 \text{ TDM} : 22 \text{ TDM} = 1,3 \text{ Jahre}$$

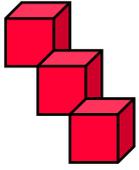
Die Optimierung ist durchzuführen!



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 43 - Beschreibung Zentrale Oper Zuschauerraum -

- Die Lüftungszentrale der Anlage 43 befindet sich im UG des Gebäudes. Man folgt den Hinweisen zur Technikzentrale.
- Tritt man in den Raum hinein, befinden sich rechts die Schaltschränke der Lüftungsanlage 43. Vom Eingangsbereich aus geht man direkt auf die Anlage 43 zu. In der rechten Hälfte des Raumes befinden sich die Anlagen 47 / 48 und 49.
- Die nachfolgende Seite zeigt Fotos vom Eingangsbereich und der Lüftungsanlage 43.

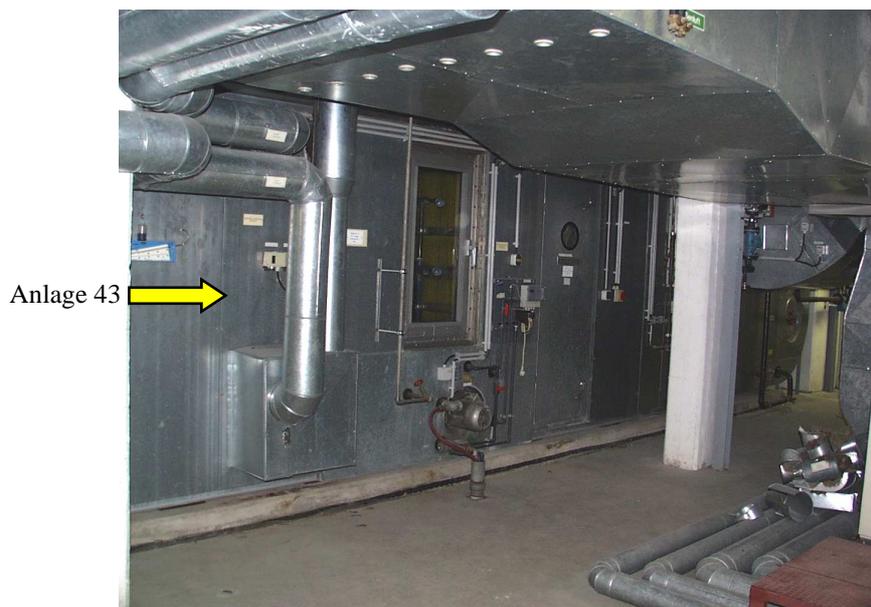


Lüftungsanlagen

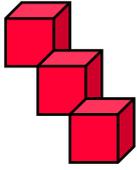
Lüftungsanlage 43 - Fotografische Darstellung Zentrale Oper Zuschauerraum -



Eingangsbereich zur
Anlage 43



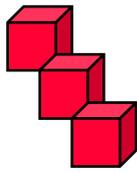
Anlage 43



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 43 - Durchführung der Messung / Oper Zuschauerraum -

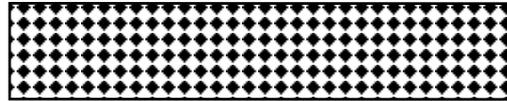
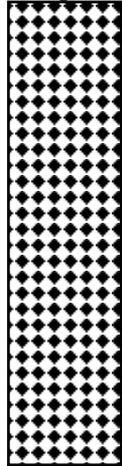
- Ziel der Messungen ist es, eine Aussage über den Betriebspunkt und über die Luftmengenverteilungen in die einzelnen Bereiche zu treffen. Die Erkenntnisse aus den bereits durchgeführten Untersuchungen fließen dabei in die Beurteilung mit ein. Mittels einer Amortisationsbetrachtung wird überprüft, ob der Einsatz von Frequenzumformern zur Regelung der Anlage wirtschaftlich sinnvoll ist.
- Die Gesamtleistung wurde im Ansaugbereich am Messpunkt 43.1 vor der Filterkammer gemessen. Weiterhin wurden als Vergleichsmessungen zum Messpunkt 43.1 Messungen an den Messpunkten 43.2 - 43.5 im Ansaugbereich durchgeführt.
- Im Zuluftbereich wurde die Gesamtleistung aus der Summe der Messpunkte 43.10 + 43.11 ermittelt. Vergleichsmessungen wurden zusätzlich vor den Kanalabgängen Rang rechts, Rang links und Parkett an den Messpunkten 43.6 - 43.9 durchgeführt.
- Die nachfolgenden Skizze zeigt den schematischen Aufbau der Lüftungsanlage mit den entsprechenden Messpunkten sowie die räumliche Einbindung der Anlage in die Lüftungszentrale.
- Auf der Seite 53 sind die Messergebnisse tabellarisch und grafisch dargestellt.



Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 43 - Anordnung der Messpunkte Zentrale Oper Zuschauerraum -

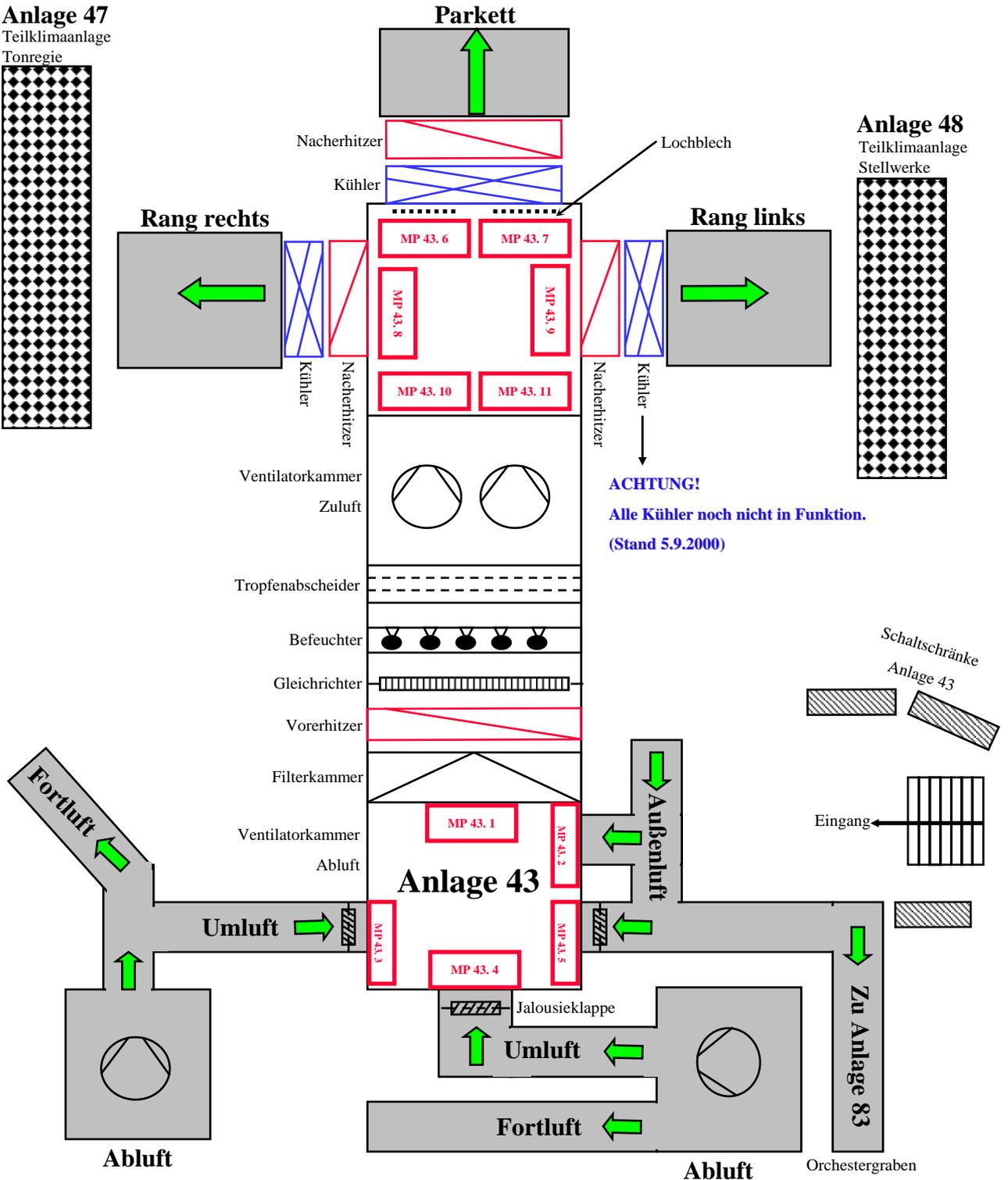
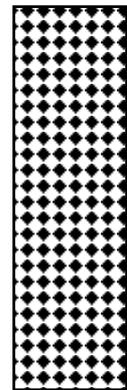
Anlage 47
 Teilklimaanlage
 Tonregie

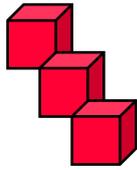


Anlage 49

Klimaanlage Rechn.- und Verstärkerraum

Anlage 48
 Teilklimaanlage
 Stellwerke

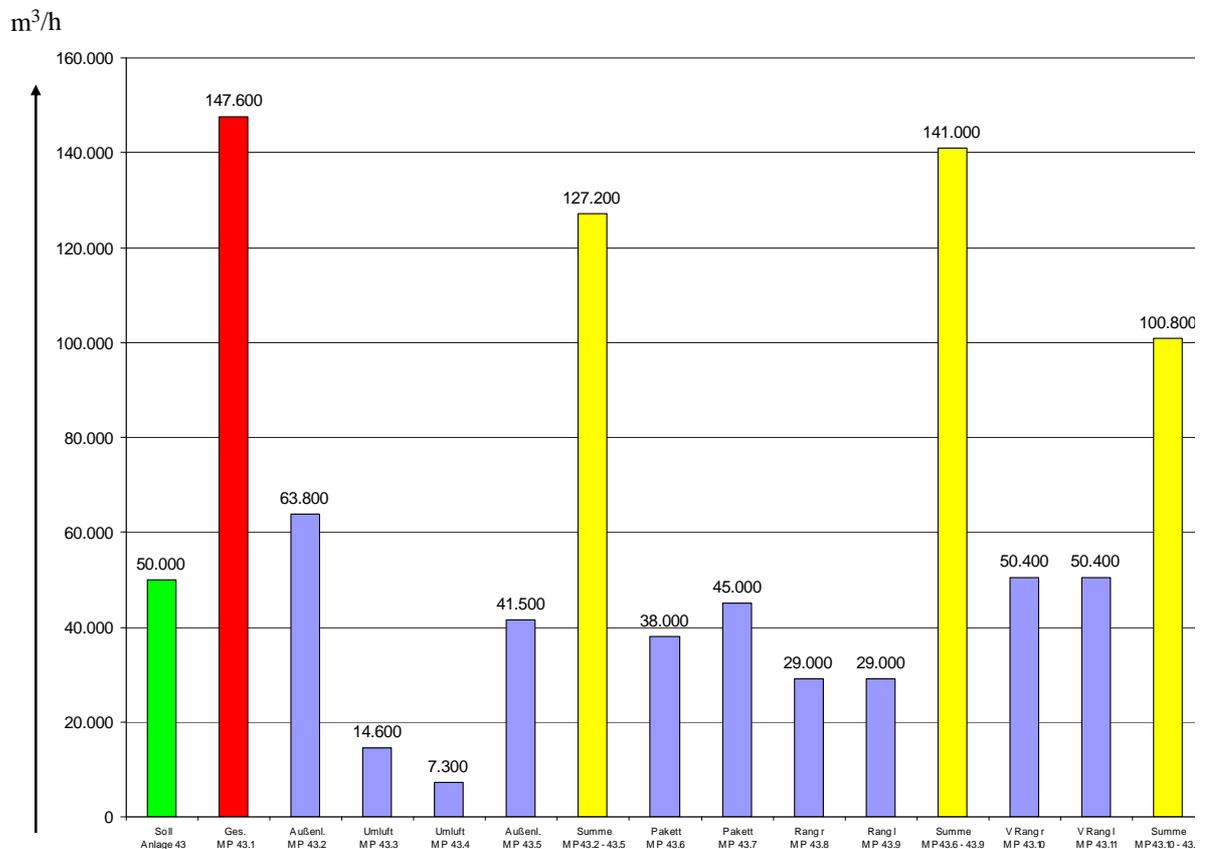


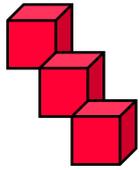


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 43 - Mengenermittlung Zentrale Oper Zuschauerraum -

	Ansaugebereich	Ansaugebereich				Zuluft				Zuluft	
	MP 43.1	MP 43.2	MP 43.3	MP 43.4	MP 43.5	MP 43.6	MP 43.7	MP 43.8	MP 43.9	MP 43.10	MP 43.11
	Ges.	Außenl.	Umluft	Umluft	Außenl.	Pakett	Pakett	Rang r	Rang l	V Rang r	V Rang l
m³/h	50.000										
m	1,9x2,7x80%	1,3x0,6 5	1,35x0,6	0,95x 0,03x5	1,35x0,6	0,8x1,1 Lochb. 65%frei	0,95x1,1 Lochb. 65%frei	1x0,85	1x0,85	0,7x0,5	0,7x0,5
A eff. (m²)	4,1	0,845	0,81	0,06	0,81	0,88	1,05	0,85	0,85	0,35	0,35
v (m/s)	10	21	5	34	5,0	14	12	9,5	9,5	40	40
m³/h	147.600	63.800	14.600	7.300	41.500	38.000	45.000	29.000	29.000	50.400	50.400
	147.600	127.200				141.000			100.800		





Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 43 - Resümee Oper Zuschauerraum -

■ Betriebspunkt der Anlage:

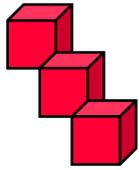
Der Vergleich der Summen der Volumenströme zeigt Abweichungen bis zu 40%. In den Messpunkten Zuluft MP 43.10 und 43.11 wurden die Luftgeschwindigkeiten in den Ausblasöffnungen der Zuluftventilatoren ermittelt. Bei Luftgeschwindigkeiten um die 40 m/s ist der Messfehler sehr groß. Die Messung wird bei der Beurteilung als „Sicherheit“ betrachtet um die Aussage zu bekräftigen, dass der Gesamtvolumenstrom größer als 100.000 m³/h ist. Die ermittelten Volumenströme an den verbleibend Messbereichen ergaben in den Summen Werte zwischen 147.600 m³/h und 127.200 m³/h. Als realistischer Wert wird für die Beurteilung eine Gesamtfördermenge von 130.000 m³/h angenommen.

Damit ergibt sich gegenüber dem Auslegungspunkt von 50.000 m³/h, eine Erhöhung der Luftmenge mit dem Faktor 2,6.

Für diese Anlage wurde der Ventilator typ nicht explizit überprüft. Die Größe und die Fördermengen der Anlage 43 entsprechen denen der Anlagen 20 und 21. Die Motorleistungen der Zuluftventilatoren sind mit 18,5 kW geringer. Ausgehend von dem Ventilatordiagramm „Gebhardtrotavent RZR .. - 0710“ (muss überprüft werden) liegt der Auslegungspunkt am Rand der zulässigen Ventilator kennlinie. Es ist damit zu rechnen, dass die Zuluftventilatoren mit der vollen Leistung fahren.

In den Gesprächen mit dem Dezernat Technik wurde deutlich, dass die Belüftung des Zuschauerraums nur mangelhaft erfolgt. Berücksichtigt man die extrem hohe Fördermenge, ist die Unterversorgung nicht auf die Klimaanlage zurückzuführen. Die Mängel bestehen im Kanalsystem (Undichtigkeiten, Verteilung). Durch Leckagen wird nicht genug Luft in den Zuschauerraum gefördert. Dadurch entsteht eine Unterversorgung durch Luftmangel. Die negativen Auswirkungen können nicht durch z.B die Erhöhung der Zulufttemperatur ausgeglichen werden.

Empfehlungen für die Regelung der Ventilatoren sind daher nur bedingt sinnvoll, da die Sanierung des Kanalsystems unbedingten Vorrang erhalten muss.



Amortisationsbetrachtung

Lüftungsanlage 43 – Zuluft und Abluft

■ Die Amortisationsbetrachtung basiert auf den Einbau von Jalousieklappen in den Druckseiten der Zuluftventilatoren, einen möglichen Einzelbetrieb aller Ventilatoren über Frequenzumformer und einer optimierten Druckregelung.

Eine Sanierung des Kanalsystems wurde nicht berücksichtigt, da dies die Aufgabenstellung der Studie überschreitet.

■ Investitionen:

2 Jalousieklappen mit Stellmotor	
B x H = 1000 x 1000 mm	3 TDM
2 Übergangsstücke mit Montage	2 TDM
Frequenzumformer für 2 x Zuluft	
18,5 kW und 2 x Abluft 11 kW	30 TDM
Verkabelung	4 TDM
Regelung und Einbindung in GLT	4 TDM
Messungen / Optimierung	
für Zu- und Abluft	4 TDM
Gesamt	47 TDM

■ Einsparungen:

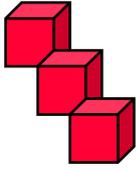
Stromkosten 0,16 DM/kWh	10 TDM
bei der Annahme, dass bei 2.500* Betriebsstunden ca. 15 kW bei der Zuluft und 10 kW bei der Abluft eingespart werden können.	

Die Amortisationszeit beträgt:

$$47 \text{ TDM} : 10 \text{ TDM} = 4,7 \text{ Jahre}$$

Die Anzahl der Betriebsstunden ist mit dem Dezernat Technik abzusprechen.

Die Optimierung sollte nach der Sanierung des Kanalsystems durchgeführt werden.



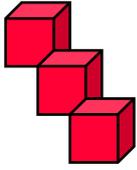
Lüftungsanlagen

Lüftungsanlagen 44 / 51 / 55 - Beschreibung Zentrale -

- Die Lüftungszentrale der Anlagen 44 / 51 und 55 befinden sich im Dachbereich der Städtischen Bühnen.

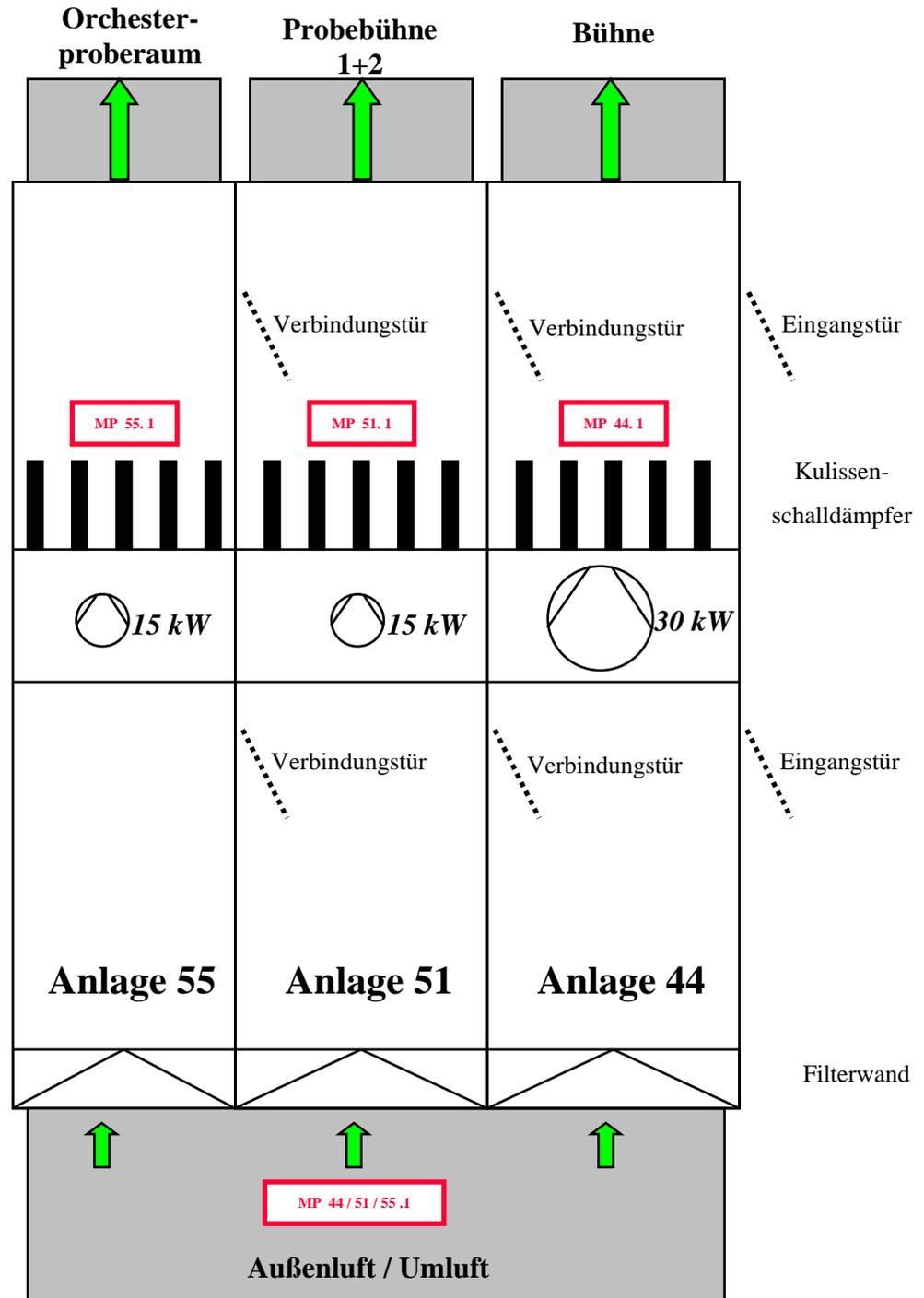
Die Anlagen sind nebeneinander angeordnet und haben eine gemeinsame Abluftansaugung. Über die Eingangstür der ersten Anlage erreicht man die Anlagen 51 und 55 über Verbindungstüren.

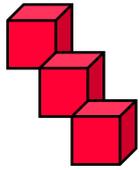
- Die nachfolgende Skizze stellt die Lüftungszentrale der Anlagen 44 / 51 und 55 und die Anordnung der Messpunkte schematisch dar.



Lüftungsanlagen

Zentrale Lüftungsanlagen 44 / 51 / 55 - Anordnung der Messpunkte Zentrale -

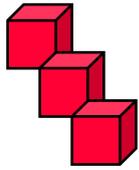




Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 44 / 51 / 55 - Durchführung der Messung Zentrale -

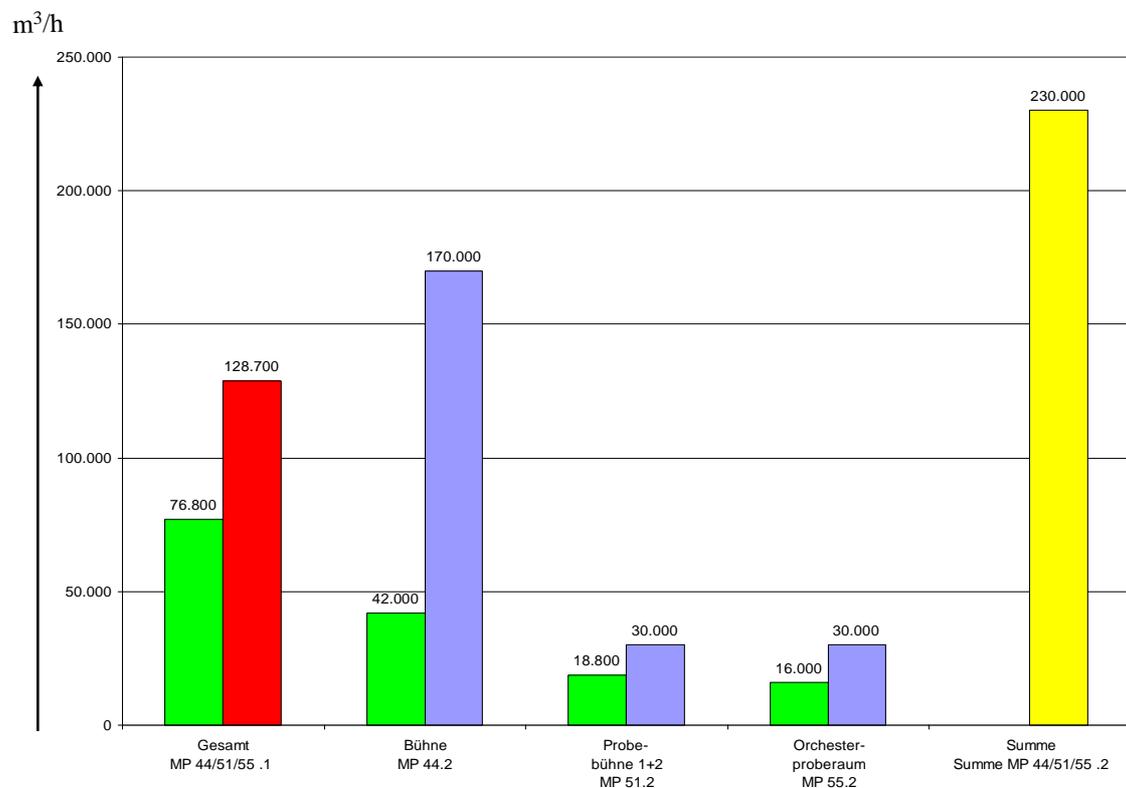
- Ziel der Messungen ist es, die Betriebspunkte der Anlagen zu bestimmen. Die Erkenntnisse aus den bereits durchgeführten Untersuchungen fließen dabei in die Beurteilung mit ein.
- Der Gesamtvolumenstrom wurde im gemeinsamen Ansaugbereich, am Messpunkt 44 / 51 / 55.1 gemessen.
- Im Zuluftbereich wurde in jeder Anlage eine Messung vor dem Austritt in den entsprechenden Lüftungskanal durchgeführt. Die Luftgeschwindigkeit wurde in den Spalten der Kulissenschalldämpfer gemessen und mit einem Korrekturfaktor von 0,9 multipliziert. Die Gesamtmenge aus der Summe der Messpunkte 44.1 / 51.1 / 55.1 wurde in der Filterkammer ermittelt. Hier wurde ein Korrekturfaktor von 0,8 berücksichtigt.
- Auf der nachfolgenden Seite sind die Messergebnisse tabellarisch und grafisch aufgeführt.

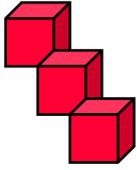


Lüftungsanlagen

Lüftungsanlage 44 / 51 / 55 - Mengenermittlung Zentrale -

		MP 44/51/55 .1	MP 44.2	MP 51.2	MP 55.2
		Gesamt	Bühne	Probe- bühne 1+2	Orchester- proberaum
V soll	m³/h	76.800	42.000	18.800	16.000
Kanalquerschnitt B x H	m	3,7x2,2x 80%	0,08x7x 2,3x0,9	(0,1+0,1+ 0,9+0,08) x2,3x0,9	0,1x2,3x4x 0,9
Fläche	A eff. (m²)	6,5	1,16	0,76	0,83
Strömungs- geschwindigkeit	v (m/s)	5,5	40	11	10
Volumenstrom	m³/h	128.700	170.000	30.000	30.000
Summe			230.000		





Lüftungsanlagen

Lüftungsanlagen 44, 51, 55 - Resümee / Empfehlungen -

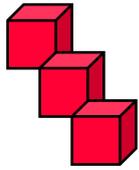
■ **Betriebspunkte der Anlagen:**

Die Ergebnisse bei der Bestimmung der Luftmengen bestätigen die Erfahrungen, die bereits bei den vorstehend aufgeführten Anlagen gemacht wurden. Auch bei diesen Anlagen sind die Förderleistungen deutlich zu hoch. Das Messergebnis von 170.000 m³/h für die Anlage 44 ist nicht realistisch. Aufgrund der hohen Geschwindigkeiten von über 40 m/s, ist mit einem größeren Fehler zu rechnen. Die Messungen der Luftgeschwindigkeiten erfolgte innerhalb der Geräte. In der Anlage 44 war die erhöhte Luftgeschwindigkeit deutlich spürbar. Es herrschten sehr große Turbulenzen in der Kammer. Es ist davon auszugehen, dass die maximale Förderleistung des Ventilators erreicht wird. Bei einer Leistung von 18 kW und einem Gesamtdruck von 300 Pa wären dies ca. 60.000 m³/h. Mit dieser Luftmenge und den gemessenen Teilluftmengen der Anlagen 51 und 55 ergibt sich eine Gesamtfördermenge von ca. 120.000 m³/h. Dieser Wert deckt sich mit der Messung an der Filterwand.

Die Überprüfung der Messergebnisse zeigt, dass die Luftmengen in allen Anlagen gesenkt werden kann. Der Schwerpunkt der Optimierungsmaßnahmen ist auf die Anlage 44 Bühne zu richten, da hier die größten Einsparpotentiale zur Verfügung stehen.

Wir empfehlen:

- Die Motorleistung des Zuluftventilators der Anlage 44 zu überprüfen
- Das Übersetzungsverhältnis zwischen Motorscheibe und Ventilatorscheibe zu überprüfen
- Die Druckwertvorgaben um ca. 15% zu senken. Für die Anlage 44 sollte zunächst eine Halbierung des Wertes vorgesehen werden.
- Die Luftmengen bei der Abluft zu überprüfen und ggf. ebenfalls die Druckwertvorgaben zu senken.



Amortisationsbetrachtung

Lüftungsanlagen – 44, 51&55 / Zuluft und Abluft

- Die Amortisationsbetrachtung basiert auf der Optimierung der Druckregelung bei der Zu- und Abluft.

Investitionen:

Optimierung der Regelung	2 TDM
Messungen / Optimierung für Zu- und Abluft	6 TDM
Gesamt	8 TDM

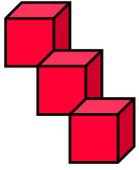
- Einsparungen:

Stromkosten 0,16 DM/kWh bei der Annahme, dass bei 2.500 Betriebsstunden ca. 25 kW bei der Zuluft und 5 kW bei der Abluft eingespart werden können.	19 TDM
---	--------

Die Amortisationszeit beträgt:

$$8 \text{ TDM} : 19 \text{ TDM} = 0,4 \text{ Jahre}$$

Die Optimierung ist durchzuführen!



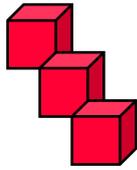
Anlagen

- Auszug aus den technischen Daten der Fa. Gebhardt Ventilatoren.

- Aufstellung der Lüftungsanlagen gemäß Tabelle HBA-Energiemanagement.

- Funktionsschemata

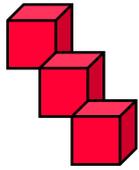
- Luftmengenmessungen - Messprotokolle



Zusammenfassung

Ungültig siehe Stand 29.08.2001

Anlagennummer	20.1/2	21	43	44 / 51 / 55
Anlagenbezeichnung	Schauspiel Zuschauerraum Bühne	Wandelgang, Foyer Opernfoyer, Chagallsaal	Oper Zuschauerraum	Bühne Oper / Probebühne / Orchesterproberaum
Gesamtluftmengen				
Zuluft in m ³ /h	70.000	75.000	50.000	42.000 / 18.800 / 16.000
Abluft in m ³ /h	70.000	75.000	50.000	42.000 / 18.800 / 16.000
Antriebsleistungen				
Abluft in Anzahl x kW	2 x 30	2 x 30	2 x 18,5	1x 30 / 1 x 15 / 1 x 15
Zuluft in Anzahl x kW	2 x 18,5	2 x 22	2 x 11	1x 22 / 1 x 11 / 1 x 11
Gesamt in kW	97	104	59	104
Stromverbrauch in MWh/a (Hochbauamt)	199	532	132	347
Jahreskosten mit 160 DM/MWh	31.840	85.120	21.120	55.520
Maßnahmen siehe:	Seiten 28-30	Seiten 45-47	Seiten 53-54	Seiten 58-60
Betrieboptimiert	2 x Jalousieklappen für Druckseite Zuluft Ventilator Einzelbetrieb bei "nur Zuschauerraum"	4 x Jalousieklappen für Zu- und Abluft Änderung der Fahrweise der Anlage auf Einzelbetrieb Schließen der Klappe Foyer (außer Heizbetrieb Winter)	2 x Jalousieklappen 4 x Frequenzumformer für Zu- und Abluft	Kann mit den bestehenden Komponenten optimiert werden.
Regelungsoptimiert	Optimierung der dp-Regelung Senkung des Drucksollwertes für den Betriebszustand Optimierung der dp- Regelung Zuschauer mit Bühne auf 300 Pa (2 Ventilatoren) Senkung der Drucksoll- wertvorgabe so dass, wenn alle Zuluftklappen auf sind, 100% der er- forderlichen Luftmenge gefördert wird (prüfen, dass keine Unterver- sorgung eintritt, Luft- mengenmessungen)	Optimierung der dp-Regelung Senkung des Drucksollwertes für den Betriebszustand Übergangszeit & Sommer auf 300 Pa (1 Ventilator) Änderung der Ventilatorrege- lung auf Einzelbetrieb.	Optimierung der dp-Regelung Einbau von Frequenzum- formern	Optimierung der dp-Regelung Überprüfung des Übersetz- ungsverhältnisses zwischen Motor- und Ventilatorscheibe Senkung der Druckwertsoll- vorgabe um 15% für Zu- und Abluft Anlagen 51 & 55) Senkung der Druckwertsoll- vorgabe um 50% für Zu- und Abluft (Anlage 44)
Sanierungsmaßnahmen	Umbau Kanalsystem Abluft	Am Promatkanal erforderlich!	Vorrangig ist das Kanalsys- tem zu sanieren bevor rege- lungstechnische Optimier- ungen vorgenommen wer- den!	
Geschätzte Kosten in DM	Seite 31	Seite 48	Seite 55	Seite 61
Betrieboptimiert	8.000	14.000	5.000	
Regelungsoptimiert	12.000	14.000	42.000	8.000
Sanierungsmaßnahmen	14.000	nicht erfaßt	nicht erfaßt	keine
Gesamtkosten	34.000	28.000	47.000	8.000
Geschätzte Einsparungen im Jahr in DM	12.000	22.000	10.000	19.000
(durch Sanierung)			(nicht erfaßt)	
Amortisationszeit	2,8	1,3	4,7	0,4



Zusammenfassung

Stand 08.11.2001

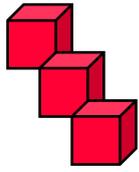
- Die nachträglich durchgeführten Luftmengen und Leistungsmessungen führten nicht in allen Bereichen zu eindeutigen Ergebnisse. Die Anlage 21 wird in der Praxis bereits mit einem neuen Vordruck von 450 Pa gefahren. Beeinträchtigungen im Komfort haben sich nicht ergeben. Die Ansteuerungssignale für die *Anlage 20 Schauspiel* entsprachen nicht den Regelsignalen die während der ursprünglichen Messungen aufgezeichnet wurden. Eine Überprüfung der Luftmengen hat jedoch eine Luftmengenförderung unterhalb des Auslegungspunktes ergeben. Die Klappenansteuerungen in der Abluft wurden geändert. Mängel bei der Abluftführung wurden nachträglich nicht bestätigt. Die Optimierung der Abluftkanäle wurde daher aus der neuerlichen Betrachtung ausgeklammert. Die Luftmengenmessungen an der *Anlage 44 Bühne Oper* bestätigten die Förderung der Sollluftmenge. Einsparungen können daher nur dann erreicht werden, wenn diese variabel z.B. im Teillastbetrieb geregelt wird.
- Die Berechnungen der Energieeinsparungspotentiale, die sich aus den neuen Betriebszuständen der Anlagen ergeben wurden wie folgt vorgenommen:

Anlage 43 Oper Zuschauerraum

In Projektgesprächen wurde deutlich, dass die Betriebszeiten stark verkürzt werden müssen. In der Anlage ist eine gesamte Antriebsleistung für die Zu- und die Abluft von 59 kW installiert. Bei einer maximalen Luftförderung wird der tatsächliche Leistungsbedarf auf 75% geschätzt. Mit dem Einsatz von Frequenzumformern kann durch die Optimierung des Betriebspunktes zusätzlich ca. 15% an Leistung eingespart werden. Eine weitere Ersparnis ist nicht zu erwarten, da die Anlage 43 nur dann betrieben wird, wenn der Zuschauerraum besetzt ist. In diesem Fall, ist auch die maximale Luftleistung erforderlich. Vor- bzw. Nachlaufzeiten für das „Spülen“ des Zuschauerraums werden in die Betriebsstunden eingerechnet. Als Betriebsstundenzahl wurden maximal 1.000 Std. im Jahr angegeben. Mit einem Strompreis von 0,16 DM/kWh ergibt sich eine Ersparnis von ca. 1.000,- DM im Jahr. Der Einbau von Frequenzumformern ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen, da die voraussichtlichen Investitionskosten ca. 42 TDM betragen werden.

Anlage 44 Bühne Oper

Die nachträglich durchgeführten Luftmengenmessungen ergaben eine Zuluftmenge von 42.800 m³/h und eine Abluftmenge von 32.800 m³/h. Damit liegen die Luftmengen im Auslegungspunkt. Die geringere Abluftmenge kann akzeptiert werden, da es in der Praxis zu keinen Beanstandungen kommt. Bei einer angenommenen Gesamtdruckerhöhung für die Zuluft von 1000 Pa und für die Abluft von 700 Pa ergibt sich rechnerisch eine Gesamtantriebsleistung von 21,5 kW. Die installierte Gesamtleistung beträgt 52 kW. Unter der Annahme, dass die Anlage vermehrt im Teillastbetrieb gefahren wird, können bei einer geschätzten Betriebsstundenzahl von 2.500 Stunden, für diesen Zeitrahmen Einsparungen von ca. 12.500 kWa erreicht werden. Dies entspricht ca. 2.000,- DM / Jahr. Umbaumaßnahmen sind nicht erforderlich.



Zusammenfassung

Stand 08.11.2001

Anlage 20 Schauspiel Zuschauerraum / Bühne

Die installierten Antriebsleistungen betragen in der Summe 97 kW. Für den Betriebszustand *Zuschauerraum & Bühne* werden für die Zuluft eine Gesamtdruck-erhöhung von 800 Pa und für die Abluft von 600 Pa angenommen. Die Luftmengen betragen bei der Zuluft 56.000 m³/h und bei der Abluft 39.000 m³/h. Aus dem Ventilator-*diagramm* ergibt sich eine Gesamtantriebsleistung an den Wellen von 27 kW (Wirkungsgrad ca. 80%). Da die Anlagen deutlich unterhalb den projizierten Luftmengen arbeiten, ist ein weiteres Absenken der Druckvorgaben nicht möglich. Zusätzliche Einsparungen sind nicht zu erreichen. Im Betrieb sollte überprüft werden, ob der Betriebszustand „Zuschauerraum“ mit einem Ventilator betrieben werden kann. Wir empfehlen keine Erhöhungen bei den Druckvorgaben vorzunehmen, da es in der Praxis zu keinen Beeinträchtigungen kommt.

Anlage 21 Wandelgang, Foyer, Opernfoyer, Chagallsaal

Die installierten Antriebsleistungen betragen in der Summe 104 kW. Die Einstellung des Vordruckes in der Anlage betrug ursprünglich 650 Pa. Für die Zuluft wird eine ursprüngliche Gesamtdruckerhöhung von 1200 Pa und für die Abluft von 1000 Pa angenommen. Die korrigierten Gesamtluftmengen bezogen auf die TECTROL Messungen werden bei der Zuluft mit 90.000 m³/h und bei der Abluft mit 70.000 m³/h angesetzt. Gemäß dem Ventilator-*diagramm* ergibt sich an den Wellen eine Gesamtantriebsleistung von 66 kW mit Wirkungsgraden von 70 – 75 % .

Im Rahmen der TECTROL Studie wurde der Vordruck in der Anlage auf 450 Pa gesenkt. Die Nachmessungen der Luftmengen ergaben für die Zuluft 75.600 m³/h und für die Abluft 61.800 m³/h. Für eine überschlägige Berechnung der bereits erfolgten Einsparungen wird die neue Gesamtdruckerhöhung für die Zuluft mit 900 Pa und die Abluft mit 800 Pa angenommen. Aus dem Ventilator-*diagramm* ergibt sich für die Zuluft eine Wellenantriebsleistung von ca. 2 x 14 kW und für die Abluft von ca. 2 x 9 kW. In der Summe bedeutet dies eine Leistungsreduzierung von 20 kW gegenüber der ursprünglichen Sollwerteneinstellung. Mit der Annahme von 3.000 Betriebsstunden und einem Strompreis von 0,16 DM/kWh ergibt sich eine Ersparnis von ca. 9.500,- DM im Jahr. Durch das Schließen der Zuluftklappe Foyer kann die Zuluftmenge auf 40.000 m³/h gesenkt werden. Unter der Berücksichtigung, dass die Abluftmenge ebenfalls auf 40.000 m³/h abgesenkt wird und mit einer geschätzten Gesamtdruckerhöhung für die Zu- und die Abluft von je 800 Pa, besteht eine theoretische Leistungsanforderung von ca. 24 kW an den Wellen. Dies bedeutet eine weitere Reduzierung der Antriebsleistung von 46 kW auf 24 kW gleich 22 kW. Wenn dieser Betriebszustand über 50% der Laufzeit eingestellt wird, ergibt sich eine zusätzliche Kostenersparnis von ca. 4.100,- DM. In der Summe sind dies jährlich ca. 13.600,- DM. Für die Amortisationsbetrachtung wird eine jährliche Einsparung von 11.000,- DM angesetzt. Im Betrieb sollte überprüft werden, ob der Betriebszustand „Klappe Foyer geschlossen“ mit einem Ventilator betrieben werden kann.