

Die Brown Boveri-Verbrennungsturbine an der LA

Autor(en): **Stodola, A. / Meyer, Ad.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **115/116 (1940)**

Heft 2

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-51122>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

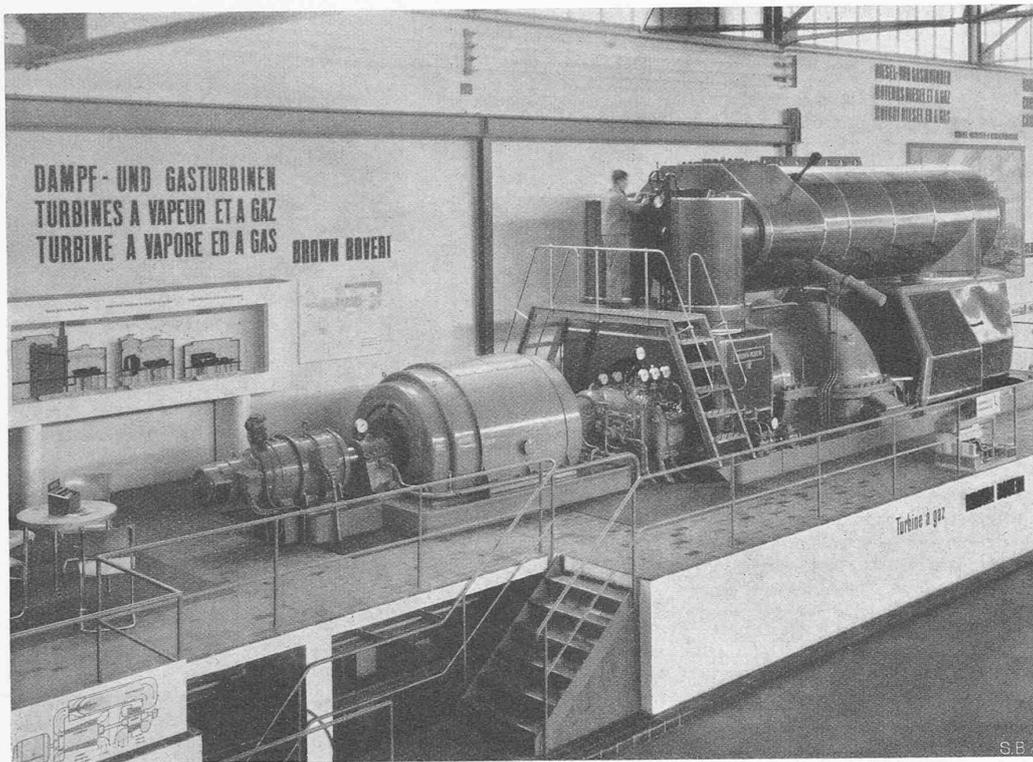


Abb. 1. Gasturbinengruppe für 4000 kW von Brown Boveri für das EW Neuenburg, im Betrieb an der LA

Brennöl, der verschwindend kleine Schmierölbedarf und der geringe Verschleiss.

Weitere Anwendungsfälle z. B. für Schiffe liegen auf der Hand; hervorzuheben sind aber nun die Möglichkeiten der Wirkungsgraderhöhung.

1. *Luftvorwärmung* nach dem Verlassen des Kompressors durch die heissen Abgase, wobei der Gewinn durch die Grösse der Vorwärmerheizfläche bedingt ist. Abb. 5 zeigt den Verlauf der Wirkungsgradkurven für verschiedene Vorwärmerheizflächen. Die Temperatur der Aussenluft ist 20 °C, die der Gase vor Turbine 550 °C, die Verdichtung geht ohne Zwischenkühlung vor sich.

2. Die «*fraktionierte*» Verbrennung, die in einer Teilung der Turbine besteht, wobei in einer Zwischenbrennkammer durch frische Brennstoffeinspritzung eine Temperaturerhöhung für die nächste Stufe bewirkt wird.

3. Verbesserung des Wirkungsgrades bei Teilbelastungen, indem man die Turbine in zwei Einheiten teilt, wobei die eine nur den Kompressor antreibt und dabei die zweckmässigste Drehzahl annehmen kann.

4. Vor allem wird wirksam sein: die Erhöhung der Verbrennungstemperatur, die der erhöhten Wärmefestigkeit neuer Baustoffe, wie sie zu erwarten ist, folgen wird und grosse Fortschritte verheisst, wie Abb. 6 veranschaulicht. Wenn man bedenkt, dass durch Studien der besten Schaufelformen der Wirkungsgrad ferner steigen, und für je 1 % Erhöhung an der Turbine oder am Kompressor der Totalprozess um 4 % verbessert wird, so erkennt man, dass die Gasturbine eine Fülle von Anregungen in sich birgt, die sie dem Dampfturbinen-Ingenieur und der Industrie sehr wertvoll machen muss.

Die Brown Boveri-Verbrennungsturbine an der LA

Um den Ingenieuren, denen das Problem der Gasturbine noch neu ist, die Materie näher zu bringen, hat uns Dir. Dr. Ad. Meyer von BBC folgende Einführung zur Veröffentlichung überlassen. Red.



Für viele Ingenieure und selbst für Thermodynamiker dürfte das Erscheinen und der Betrieb einer Gasturbine von 4000 kW an der Schweizerischen Landesausstellung 1939 eine Ueberraschung gewesen sein, obschon, oder vielleicht gerade weil man schon seit vielen Dezennien von ihr als der kommenden Kraftmaschine sprach, ohne dass sie je praktisch in Erscheinung getreten wäre. Seit 1791 in Patenten bekannt, wurde namentlich anfangs dieses Jahrhunderts von den verschiedensten Seiten an ihrer Verwirklichung gearbeitet und nicht nur viel Tinte und Druckerschwärze verspritzt, sondern auch Stahl und Gusseisen in Bewegung gesetzt.

Alle diese Versuche waren zum Scheitern verdammt, weil die beiden für die Realisierung der Verbrennungsturbine wichtigsten Elemente, die Turbine selbst und der zugehörige Kompressor, einen viel zu schlechten Wirkungsgrad hatten, als dass man mit den zulässigen Gastemperaturen eine Nutzleistung erhalten hätte. Die Turbinenleistung reichte gerade aus, um den Kompressor zu treiben. Dies geht am besten aus Abb. 6 des vorgängigen Aufsatzes von Prof. Dr. A. Stodola hervor. Man kann daraus ersehen, dass ohne Anwendung eines Wärmeaustauschers zwischen Abgasen und komprimierter Luft selbst bei einem Totalwirkungsgrad der Gebläsegruppe von 53 % entsprechend einem Turbinenwirkungsgrad von 78 % und einem solchen des Gebläses von 68 %, wie sie damals kaum erreichbar waren, der Wirkungsgrad des Gasturbinen-Prozesses bei 550 °C Gastemperatur vor der Turbine gleich

Null ist und selbst bei einer auch heute noch unzulässigen Temperatur von 800 °C 5 % nicht überschritten hätte.

Der Grund dieses kläglichen Ergebnisses ist die grosse Menge von rd. 1800 °C durch Mischung auf die für die Gasturbinenbeschauflung zulässige Temperatur herunterzubringen.

In der BBC-Gasturbine wird das Gas durch stetige Verbrennung irgendeines Brennstoffes in verdichteter Luft erzeugt, wobei das Gas (das Verbrennungsprodukt) sich auf hohe Temperatur erhitzt. Je nach Art des verwendeten Brennstoffes unterscheidet man unter den Verbrennungs-Gasturbinen wieder Oelturbinen, Naturgasturbinen, Hochofengasturbinen, Kohlenstaubturbinen usw.

Bei all diesen Brennstoffen ist die Verbrennungstemperatur so hoch, dass sie nach der Verbrennung auf einen Wert erniedrigt werden muss, der der Kriechfestigkeit der Beschauflung der Gasturbine angemessen ist, was durch Zusatz grösserer Luftmengen, durch Wassereinspritzung, Wasseroberflächenkühlung oder dergleichen geschehen kann. Von den beiden genannten scheidet die Wassereinspritzung wegen des Verlustes der latenten Wärme praktisch aus. In der schematischen Anordnung nach Abb. 1 des vorgängigen Aufsatzes ist als Brennstoff Oel und als Kühlmittel Ueberschussluft gewählt.

Die gesamte Luftmenge, Verbrennungsluft plus Kühlluft, wird durch das Axialgebläse aus der Atmosphäre angesaugt, auf den Druck der Verbrennung, etwa 4 bis 5 kg/cm² abs verdichtet und in die Brennkammer gedrückt. Ein Teil der Luft dient daselbst zur Verbrennung des Oeles, während der Rest derselben in einem Ringraum zwischen dem äusseren Brennkammermantel und dem Mantel des Brennräume durchgeschickt wird, um so die von der Brennerwand ausströmende Wärme aufzunehmen und um die Temperatur der Verbrennungs-Produkte durch Mischung am Ende des Brenners auf den für die Gasturbinenbeschauflung zulässigen Wert herabzusetzen. Aus der Gasturbine treten die Gase bei dieser einfachsten Form der Anlage direkt ins Kamin aus. Die Regulierung der Gasturbine geschieht durch Steuerung der Brennstoffmenge und durch ein Bypassventil zur Umgehung der Turbinenschauflung als Sicherheitsventil. Die Gasturbine treibt ausser dem erwähnten Kompressor den Generator direkt oder über ein Getriebe an. Die einzigen Hilfsmaschinen der Anlage sind: ein Anwurfmotor der die ganze Gruppe auf eine Drehzahl bringt, bei der der Kompressor genügend Luft für die Zündung an die Brennkammer liefert, sowie die Oelpumpen für Steuer- und Brennöl.

Man sieht hieraus die Vereinfachung gegenüber einer Dampf- anlage, indem sowohl der Kessel mit seinen Hilfsmaschinen, wie

Speisepumpen, Wasseraufbereitung usw., als auch die Kondensationsanlage mit ihren Hilfsmaschinen: Kühlwasserpumpe, Luftpumpe, Kondensatpumpe sowie Wasserfassungen oder allfälligen Kühltürmen in Wegfall kommen. An Stelle des Kessels tritt eine einfache Verbrennungskammer; dafür muss man jedoch die Anwendung eines Kompressors in Kauf nehmen, der wesentlich grösser und teurer ist als die bei Kesseln üblichen Gebläse.

Die Erkenntnis der Notwendigkeit aussergewöhnlich hoher Wirkungsgrade oder ungewöhnlich hoher Temperaturen oder deren Kombination hat denn auch bis in die neueste Zeit keine Verbrennungsturbine aufkommen lassen. (Die mit grosser Zähigkeit und Opferwilligkeit während 30 Jahren von Dr. Holzwarth verfolgte Gleichraum- oder Explosionsturbine gehört!) nicht zu der gleichen Klasse). Erst in den Jahren 1933/34 entstand bei Brown Boveri als eine Hilfsmaschine des von ihr entwickelten Veloxkessels eine Gasturbinen-Gebläsegruppe, die später zur eigentlichen Gasturbine führte.

Der Velox-Dampferzeuger, den wohl die meisten Ingenieure kennen, ist ein druckgefeuerter Kessel, in dem der Druck durch eine Gebläsegruppe mit Gasturbine erzeugt wird, deren Antriebsenergie den Abgasen des Kessels entstammt.²⁾ Ein Teil des im Gebläse erzeugten Druckes dient zur Aufrechterhaltung hoher Gasgeschwindigkeiten in den wärmeübertragenden Teilen des Kessels, die ihrerseits hohe Wärmeübergänge ergeben. Der Rest des Druckes wird für den Antrieb der Gasturbine gebraucht. Hier ergab sich nun die Notwendigkeit, eine Gebläsegruppe mit hohem Wirkungsgrad zu schaffen, da sonst die Abgasturbine nicht in der Lage wäre, die Leistung des Kompressors aufzubringen und somit eine Zusatzleistung irgendwelcher Art aufgewendet werden müsste, die den Wirkungsgrad des Kessels wesentlich beeinträchtigen würde. Die Lösung dieser Aufgabe ergab sich in einer 4- bis 5-stufigen Reaktionsturbine und einem 10- bis 12-stufigen Axialkompressor, bei dessen Entwurf alle neuzeitlichen Erkenntnisse der Aerodynamik berücksichtigt wurden, sodass in den meisten Fällen bei Vollast nicht nur keine Zusatzleistung gebraucht, sondern Ueberschuss-Energie erzeugt wird.

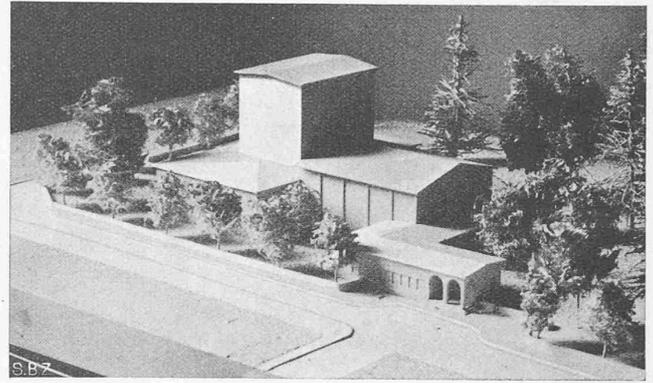
Nachdem sich für grössere Gruppen dieser Art Gesamtwirkungsgrade von über 70% ergaben, war es an der Zeit, sich darüber Rechenschaft zu geben, was sich ohne den Umweg über den Dampf unmittelbar mit der Verbrennungsturbine erzielen liesse. Aus der erwähnten Abb. 6 des Aufsatzes von Prof. A. Stodola geht hervor, dass mit Gruppenwirkungsgraden von 70 bis 75% sich für verschiedene Temperaturen vor Gasturbine folgende Kupplungswirkungsgrade des Gasturbinenprozesses erreichen lassen:

Gastemperatur am Turbineneintritt	Thermischer Kupplungswirkungsgrad in %
für 550° C	15 bis 18%
für 650° C	19 bis 23%
für 800° C	22 bis 26%

Ausser dem Wirkungsgrad war nun vor allem die Frage massgebend, was für Temperaturen mit Rücksicht auf die Gasturbinenbeschauflung zulässig seien. Auf Grund der an Velox-Kesseln gewonnenen Erfahrungen sowohl als auch besonders auf Grund der Resultate von Hunderten von Abgasturbinen für die Aufladung von Dieselmotoren konnte man mit den heute zur Verfügung stehenden Schaufelmaterialien für ungekühlte Schaufeln die Temperatur von 550° C als absolut betriebsicher bezeichnen, unter voller Berücksichtigung der bei Reguliervorgängen unvermeidlichen Temperaturschwankungen. Mit dieser Temperatur vor Gasturbine und dem für Leistungen von 2000 kW bis 8000 kW erreichbaren Wirkungsgrad von 73 bis 75% könnte ein Wirkungsgrad der Gasturbine von etwa 17 bis 18%, bezogen auf die im Brennstoff eingeführte Wärme und die an der Kupplung abgegebene Leistung erwartet werden.

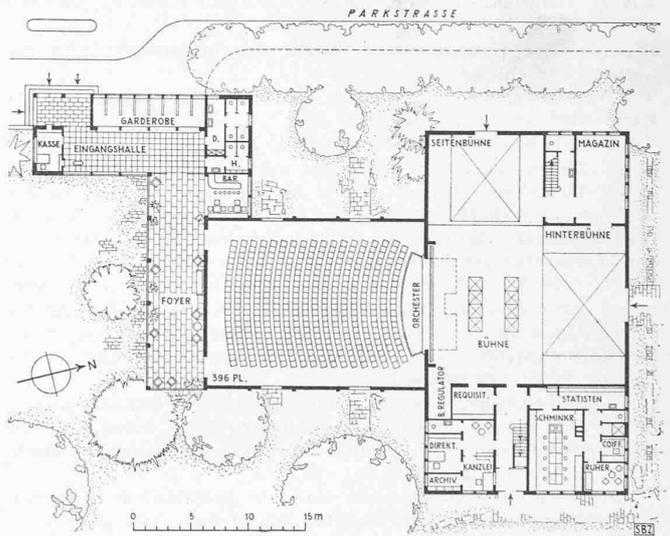
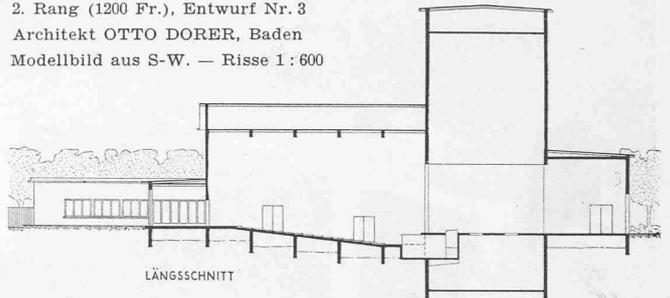
Ein erstes interessantes Anwendungsgebiet ergab sich für die Gasturbine aus einem Bedürfnis nach heisser Druckluft bei der Raffination von Rohölen nach dem Houdry-Prozess. Es wird bei diesem Verfahren heisse Druckluft zur Regeneration des Katalysators durch Verbrennung von auf der Oberfläche gebildeter Kohle gebraucht, wobei Verbrennungsgase hoher Temperatur entstehen, die einer Gebläsegruppe mit Abgasturbine zugeführt werden. Auf diese Weise wird nicht nur der Bedarf an Druckluft durch die Leistung der Abgase in der Gasturbine gedeckt, sondern es entsteht noch ein Leistungsüberschuss, der durch ein Getriebe auf einen Wechselstrom-Generator und eine Gleichstrom-Dynamo übertragen wird. Wenn auch wegen der Druckverluste in der Apparatur des Raffinationsprozesses die erzielte elektrische Energie wesentlich kleiner ist als bei einer

¹⁾ Vgl. z. B. die Ausführung von 1911 in «SBZ» Bd. 59, S. 176*.
²⁾ Vgl. Bd. 101, S. 151* ; Bd. 102, S. 61* ; Bd. 107, S. 255*.



Wettbewerb für ein Kurpark-Theater in Baden

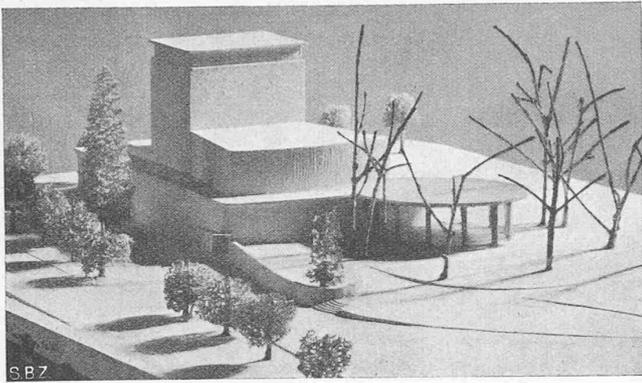
2. Rang (1200 Fr.), Entwurf Nr. 3
 Architekt OTTO DORER, Baden
 Modellbild aus S.-W. — Risse 1 : 600



Gasturbinenanlage, die nur der Energieerzeugung dient, so reicht sie doch aus, um die Bedürfnisse des Raffinationsprozesses an elektrischer Energie zu decken, während ein Veloxkessel den erforderlichen Dampf liefert. Eine solche Anlage, von denen heute drei im Betrieb und zwölf bestellt sind, lief schon über ein Jahr in den Etablissements der Sun Oil Co., Philadelphia, als die Stadt Neuenburg eine bombensichere Anlage zu schaffen beschloss, bei der, der Natur der Sache nach, vor allem Einfachheit, Betriebsicherheit, Herstellungspreis und Platzbedarf ausschlaggebend waren, während der Oelkonsum wegen der kleinen Betriebstundenzahl nur eine nebensächliche Rolle spielte. Hier kam also die Anwendung einer Gasturbinenanlage in Frage, umsomehr, als man dadurch auch die Schaffung einer kostspieligen Wasserfassung ersparte, da die Gasturbine keiner Wasserkühlung, Kondensation oder dergleichen bedarf.

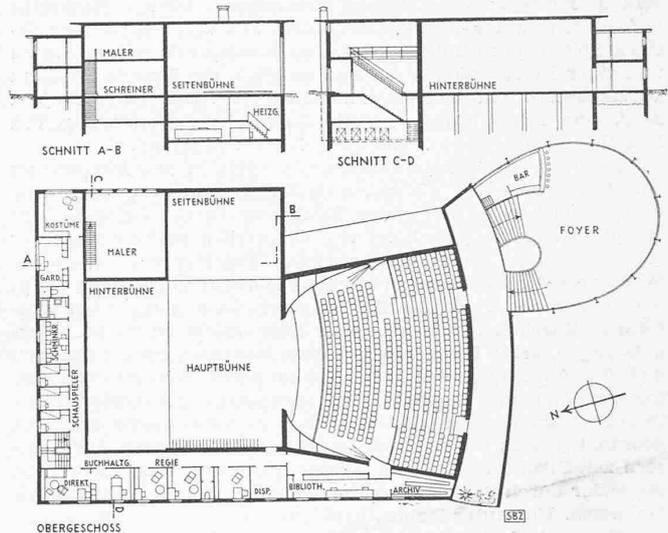
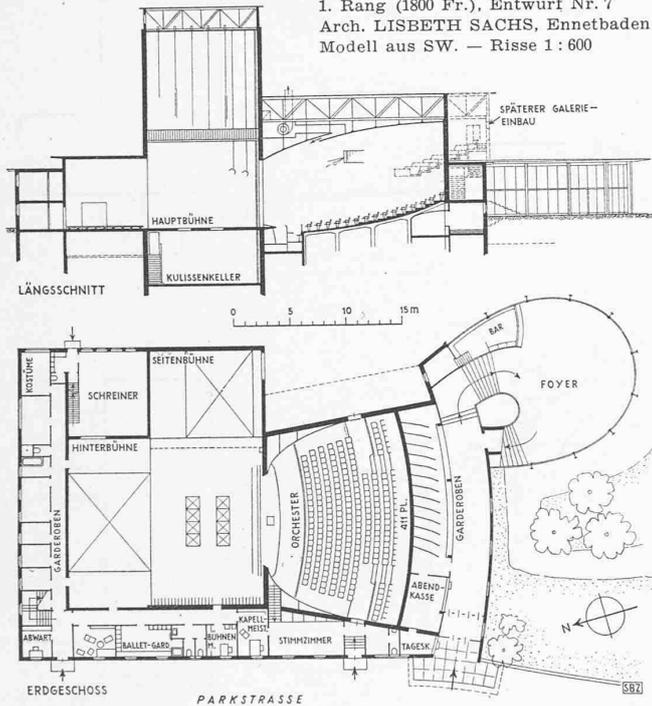
Die Behörden, die die Wahl zwischen einer Diesel-, Dampf- oder Gasturbinen-Anlage zu treffen hatten, entschieden sich für die Gasturbinen-Anlage und gaben gleichzeitig die anerkanntswerte Erlaubnis zur Ausstellung der Gruppe an der Schweiz. Landesausstellung (Maschinenhalle).

Abb. 1 zeigt die Gruppe an der Landesausstellung. Im Vordergrund sieht man den Generator mit angebaute Erreger und Anwurfmotor, die in einer Maschine kombiniert sind. Hierauf

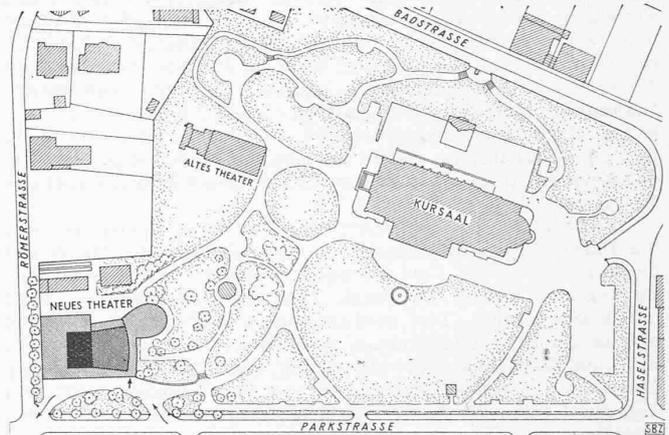


Wettbewerb für ein Kurpark-Theater in Baden

1. Rang (1800 Fr.), Entwurf Nr. 7
Arch. LISBETH SACHS, Ennetbaden
Modell aus SW. — Risse 1:600



NB. Die Pläne zu Nr. 7 sind umgekehrt orientiert wie Nr. 3!



Lageplan des Kurparks Baden mit Theater-Entwurf Nr.7. — 1:3000
Behördlich bewilligt am 5. Januar 1940 gemäss BRB vom 3. Okt. 1939

folgt auf gleicher Welle der Axialkompressor, der durch die oben sichtbaren zwei Zuführungsrohre seine Luft an die über Kompressor und Gasturbine liegende Brennkammer liefert. Aus dieser gehen die heissen Gase direkt in die unter ihrem rechten Ende liegende Gasturbine und von dieser durch einen nach abwärts gerichteten Stutzen in das hinter der Wand liegende Kamin. Die ganze Steuerung der Maschine geschieht von einem auf dem Bilde nicht sichtbaren Schaltpult aus.

Die Gruppe wurde von Herrn Prof. Dr. A. Stodola unter Beihilfe des Kesselvereins für die thermischen Messungen und des Elektrotechnischen Vereins für die elektrischen Messungen auf dem Versuchstand in Baden geprüft. Das Ergebnis bildet den Inhalt der Veröffentlichung von Herrn Prof. Dr. A. Stodola, die an erster Stelle dieser Nummer erscheint.

Wettbewerb für ein Kurpark-Theater in Baden

Der Wettbewerb war beschränkt auf Badener Architekten. Als Standort des Neubaus war die Nordwestecke des Kurparks, wie aus dem Lageplan zum erstprämiierten Entwurf ersichtlich, und Anfahrt von der Parkstrasse her, vorgeschrieben. Neben 400 festen Saalplätzen war eine spätere Erweiterung des Zuschauer- raumes zu berücksichtigen; für das Bühnenhaus lag eine verbindliche Planskizze vor. Die Abendkasse sollte mit der Tages- kasse in einem kleinen Bureau zusammengelegt werden, das den Tagesverkauf von Billetten ohne Betreten des Vestibuls gestattet. Weitere Einführung ins Problem der Kleinbühne erübrigt sich im Hinblick auf die Bemerkungen von Arch. E. F. Burckhardt, im Anschluss an das Preisgerichtsurteil. Red.

Aus dem Bericht des Preisgerichtes

Das Preisgericht tagte vollzählig am 11. und 12. Oktober 1939 im «Hinterhof» in Baden, wo die sieben eingereichten Projekte zur Beurteilung aufgehängt waren. Die Vorprüfung der Pläne und Berechnungen wurde vorgängig vom Bauamt Baden durchgeführt. Das Preisgericht nimmt Kenntnis von dieser Vorprüfung und stellt fest, dass vorgekommene Programmverstösse so unerheblich sind, dass sämtliche Entwürfe zur Beurteilung gelangen können.

Nach einer individuellen Besichtigung der Pläne wurden in einem ersten Rundgang alle Projekte eingehend besprochen. Daran schloss sich die Besichtigung des Bauplatzes im Kurpark. In einem zweiten Rundgang werden zwei Projekte wegen offensichtlichen Mängeln im Grundriss und Aufbau ausgeschieden. Nachfolgend werden in einem dritten Rundgang die verbleibenden Projekte wie folgt beurteilt.

Entwurf Nr. 7. Das Gebäude ist prinzipiell richtig gegen den Park hin orientiert und tritt auch durch seine Grundrissform in enge Beziehung mit diesem. Es liegt jedoch zu nahe an der Römerstrasse. Durch das Abrücken des Baues von der Parkstrasse wird einerseits der Baumbestand erhalten, andererseits eine flüssige Vorfahrt geschaffen. Der Eingang ist jedoch zu klein bemessen und in der äusseren Gestaltung zu unbedeutend. Ungünstig ist ferner die Lage des inneren Kassenschalters, vor dem die Anstehenden den Eintritt behindern. An der gut gelegenen Garderobe vorbei gelangt der Besucher in das ringsum verglaste Foyer, das einen reizvollen und aus der Park-Situation gewonnenen Vorschlag darstellt. Die hier gelegene Bar tritt etwas zu stark in Erscheinung; der gemeinsame Zugang zu den WC im Untergeschoss ist unbefriedigend. Der Zuschauerraum hat schöne Verhältnisse und seine geringe Tiefe erleichtert den Kontakt zwischen Publikum und Bühne; die rückwärtigen seitlichen Wandplätze erscheinen nicht vollwertig. Der an sich befriedigende Erweiterungsvorschlag beeinträchtigt die parkseitige Fassadengestaltung. Die vom Verfasser vorgeschlagene Ausdehnung des