

# Escher Wyss-Dampfturbinen grosser Leistung

Autor(en): **Flatt, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **70 (1952)**

Heft 2

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59538>

## **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.

## Escher Wyss-Dampfturbinen grosser Leistung

Von Dipl. Ing. F. FLATT, Zürich

DK 621.165

### A. Einleitung

Nach dem zweiten Weltkrieg sind in Westeuropa eine grössere Zahl von Dampfkraftwerken grosser Leistung gebaut worden, die mit Einheiten von 50 000 kW ausgerüstet wurden. Unter ihnen nehmen die Kraftwerke Monceau s. Sambres (Belgien) und Dieppedalle bei Rouen insofern eine besondere Stellung ein, als beide als Grundlastwerke betrieben werden, weshalb auf möglichst hohe Ausbeute der im Brennstoff eingeführten Wärme Wert gelegt wurde; beide Werke arbeiten mit Flusswasser von niedriger Temperatur, also mit sehr hohem Vakuum. Die Dampfturbinen sind von der Firma Escher Wyss AG., Zürich, die Kessel von der Firma Gebrüder Sulzer AG., Winterthur, geliefert worden.

Die Kraftzentrale Monceau liegt im westlichen Teil Belgiens und dient der Elektrizitätsversorgung dieses industriereichen Gebietes; sie gehört der Société Intercommunale Belge d'Electricité und wurde von der Cie. Générale d'Entreprise Electrique et d'Entreprises Industrielles (Electrobel) projektiert, gebaut und in Betrieb gesetzt. Als Brennstoff dient Abfallkohle der dortigen Gruben, die 30 bis 50 % unverbrennbare Bestandteile enthält. Mit Rücksicht auf den beschränkten verfügbaren Raum wurden hier nur zwei Kesseleinheiten aufgestellt, von denen jede mit einer Turbogruppe zusammenarbeitet. Die beiden Dampfturbinen mit den zugehörigen Generatoren von 62 500 kVA der Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi sind zu beiden Seiten des Maschinensaales angeordnet (Bild 3), während die Vorwärmer- und Verdampferanlagen zwischen den Maschinensätzen Platz fanden. Bild 2 zeigt die Zentrale von aussen; in Bildmitte erkennt man das Kesselhaus; im Hochhaus links sind die Hilfseinrichtungen für die Aufbereitung des Kohlenstaubs untergebracht; im Maschinenhaus rechts stehen die beiden Turbogruppen mit den Achsen parallel zur Längsaxe des Gebäudeblocks, die Dampfturbinen auf der Seite des Kesselhauses, die Generatoren rechts aussen.

Im Interesse einer Vereinfachung der Einrichtungen und der Bedienung wurde die Blockschaltung gewählt, bei der je eine Kesseleinheit und ein Turbinenaggregat zu einem für sich abgeschlossenen Block zusammengefasst und dampfseitig auf jegliche Querverbindung zwischen den Blöcken verzichtet wurde. Diese Vereinfachung ergibt nicht nur eine Erhöhung der Betriebssicherheit, sondern auch eine beträchtliche Raumersparnis. Für die Totalleistung von 100 000 kW einschliesslich Kohlenbunker und Mahlanlage wird in der Tat eine Grundfläche von nur 74 m × 42 bzw. 47 m, insgesamt 3300 m<sup>2</sup> benötigt. Jeder Kessel liefert 210 t/h Dampf von 85 bis 90 at und 520 °C mit einem Wirkungsgrad von 90 %. Der thermische Gesamtwirkungsgrad der Zentrale einschliesslich aller Hilfsmaschinen beträgt dabei 32 %. Das Speisewasser wird bei Normallast bis auf 210 °C vorgewärmt.

Die Dampfzentrale Dieppedalle, die der Elektrizitätsversorgung der Stadt Rouen und der umliegenden Industriegebiete dient, ist Eigentum der Electricité de France. Als Brennstoff wird zur Zeit Mazout verfeuert, doch ist eine Umstellung auf Kohlenstaub ohne weiteres möglich. Wie aus Bild 4 ersichtlich, ist der verfügbare Raum zwischen der Seine und dem Berghang verhältnismässig schmal. Man hat daher vier Kesseleinheiten von je 105 t/h Dampferzeugung gewählt und das Maschinenhaus lang und schmal gebaut, so dass es sich über die ganze Länge des Kesselhauses erstreckt. Die beiden Maschinensätze liegen in der Längsaxe des Maschinensaals (Bild 5). Je zwei Kessel sind mit je einer Turbine zu einem

Block vereinigt, dampfseitige Querverbindungen wurden auch hier wie in Monceau vermieden. Der Zustand des Frischdampfes und die Kühlwassertemperatur sind gleich wie bei Monceau, so dass die Turbinen in ihren wesentlichen Teilen gleich gebaut werden konnten und auch gleiche Wirkungsgrade ergeben. Nur die Regulierungen der Turbinen von Dieppedalle mussten mit gewissen zusätzlichen Einrichtungen versehen werden, um den besonderen Bedingungen zu entsprechen, die dort gestellt wurden. Die Generatoren lieferte die Maschinenfabrik Oerlikon.

### B. Grundgedanken für die Turbinenkonstruktion

#### 1. Gesichtspunkte für die Ausbildung des Hochdruckteils

Die Betriebssicherheit verlangt das strikte Vermeiden jeder Berührung zwischen rotierenden und feststehenden Teilen. Diese Forderung verlangt bei den angewendeten hohen Dampftemperaturen eine sehr sorgfältige Berücksichtigung der Wärmedehnungen. Vor allem im Hochdruckteil sind die Spiele zwischen Leit- und Laufschaufeln reichlich zu bemessen. Hier macht sich die Ueberlegenheit der Aktionsschaufelung geltend, trotzdem die Strömungsverhältnisse im Aktionsschaufelkanal selbst etwas ungünstiger sind als im Kanal der Reaktionsschaufelung. Während nämlich bei Reaktionsstufen das Radialspiel an den Schaufelenden wegen der Wärmedehnung gross gemacht werden muss und dadurch bei den sehr geringen Schaufelhöhen beträchtliche Undichtheitsverluste in Kauf genommen werden müssen, bewegt sich das Aktionsrad in einem Raum von überall gleichem Druck. Die Laufschaufelung kann deshalb auf Laufscheiben befestigt werden, ohne dass ein nennenswerter Axial Schub auf diese Scheiben und damit auf das Spurlager ausgeübt wird, wie das bei Ueberdruckschaufelung der Fall wäre. Bei Reaktionsturbinen müssen daher die Schaufeln mindestens im Hochdruckgebiet auf Trommeln befestigt werden, und die Abdichtung hat dabei am grossen Umfang der Schaufelung selber zu erfolgen, wo die Spaltfläche wesentlich grösser ist als in der Labyrinthdichtung zwischen den Laufscheiben der Gleichdruckturbinen. Die Escher Wyss-Turbinen laufen überkritisch; ihre Wellen sind daher verhältnismässig dünn, was die Abdichtung gegen aussen und von Stufe zu Stufe noch mehr erleichtert. Dieser Umstand gestattet die Anwendung eines hohen Dampfdruckes

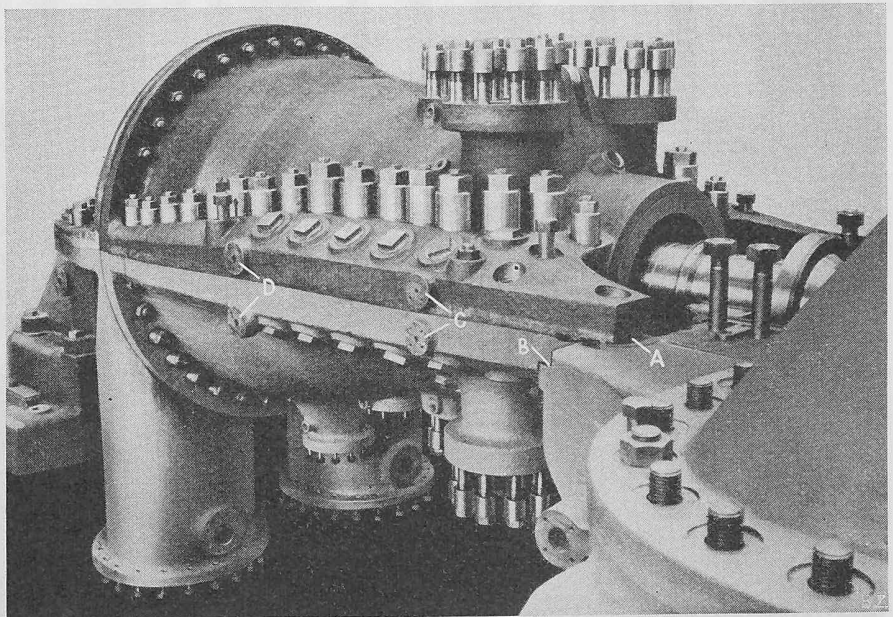


Bild 1. Hochdruckgehäuse einer 50 000 kW-Escher Wyss-Dampfturbine mit Abstützung auf der Höhe des Wellenmittels (Punkt A) auf durch Ölstrahl gekühlte Konsolen am Niederdruckgehäuse und mit Heizkanälen im Gehäuseflansch. Vor dem Lösen der Flanschen wird der Gehäuse-Unterteil durch Einlegen von Keilen bei B gestützt. Der Heizdampf zum Vorwärmen der Flanschen tritt bei C ein und bei D aus.

vor der Stopfbüchse auf der Hochdruckseite, also vor der zweiten Stufe. Es ist demzufolge auch bei hohen Frischdampfdrücken nicht notwendig, in der ersten Stufe ein grosses Gefälle zu verarbeiten, was im allgemeinen ein Aktionsrad mit zwei Geschwindigkeitsstufen (Curtisrad) erfordert und einen ungünstigen Stufenwirkungsgrad ergibt. Vielmehr kann man das Gefälle gleichmässig auf alle Stufen verteilen, so dass jede Stufe mit bestem Wirkungsgrad arbeitet.

## 2. Zur Ausbildung des Niederdruckteils

Im Niederdruckteil, wo ein Spaltverlust am Schaufelende prozentual nur noch gering bleibt, wird auch von Escher Wyss bei den Laufschauflern grosser Länge etwas Reaktion angewendet, immerhin nur in solchem Masse, dass sich im Nassdampfgebiet eine genügend starke Umlenkung des Dampfes im Laufschauflerkanal und damit eine wirkungsvolle Ausscheidung der Wassertröpfchen ergibt, die bei den nur wenig gekrümmten Reaktionsschauflern ungenügend bleibt.

Bei der letzten Niederdruckstufe ist der Spaltverlust ohne Bedeutung und die Wasserausscheidung durch die Schaufelkrümmung bleibt ohne Belang, weil die Wassertropfen direkt zum Kondensator strömen. Dagegen übt dort der Auslassverlust einen massgeblichen Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad aus. Möglichst genau axiale Richtung der absoluten Austrittsgeschwindigkeit längs der ganzen Schaufellänge ist deshalb eine Notwendigkeit. Dies ist bei der nach aussen zunehmenden Umfangsgeschwindigkeit nur möglich, wenn der Reaktionsgrad von innen nach aussen zunimmt.

## 3. Die doppelflutige Bauart des Niederdruckteils

Es ist kein Zweifel, dass bei Turbinen grosser Leistung die Anordnung der Stufen in zwei Gehäusen mit doppelflutiger Bauart des Niederdruckteiles, wie sie auf den Bildern 6 und 7 gezeigt wird, die grössten Vorteile bietet. Bei der

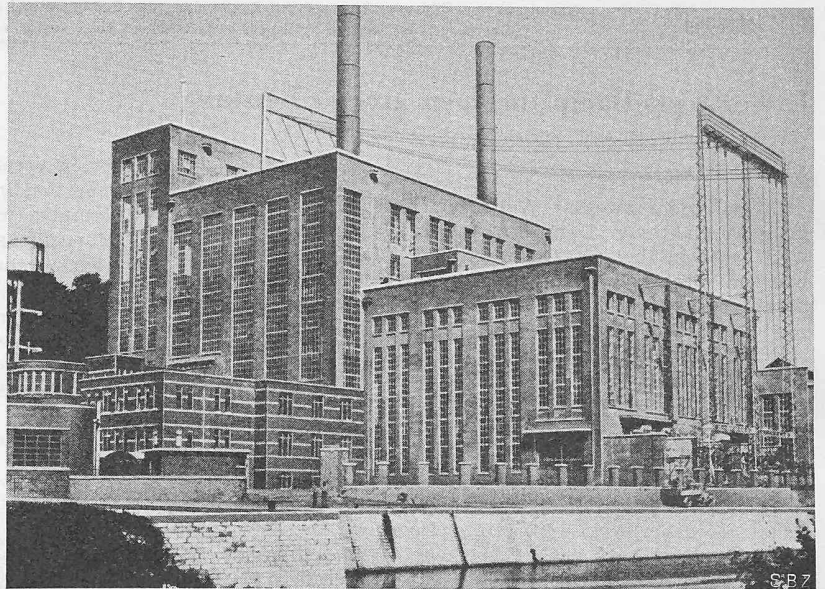


Bild 2. Das Dampfkraftwerk Monceau (Belgien) mit zwei Einheiten in Blockschaltung zu je 50 000 kW. In der Mitte das Kesselhaus für zwei Einheiten, links das Hochhaus für die Kohlenstaub-Aufbereitung, rechts das Maschinenhaus.

durch den Generator gegebenen Drehzahl von 3000 U/min und dem durch die Kühlwassertemperatur bestimmten Vakuum im Kondensator wird die Turbinenleistung durch den grössten Austrittsquerschnitt aus dem letzten Niederdrucklaufwerk begrenzt, der seinerseits durch dessen grösste Schaufellänge und die Fliehkraft dieser Schaufeln eine obere Grenze nicht überschreiten kann. So ergeben sich bei Leistungen von 35 000 bis 40 000 kW grösste Schaufellängen von etwa 450 mm und Fliehkraft pro Schaufel von etwa 12 t. Die zugehörige Austrittsfläche beträgt etwa  $2 \times 2,5$  m<sup>2</sup>. Die Schaufelbefestigung und die Beherrschung der Schwingungsprobleme stellt hierbei schon interessante theoretische und konstruktive Aufgaben. Bei noch grösseren Leistungen sind verschiedene Konstrukteure zur Anwendung von drei- oder

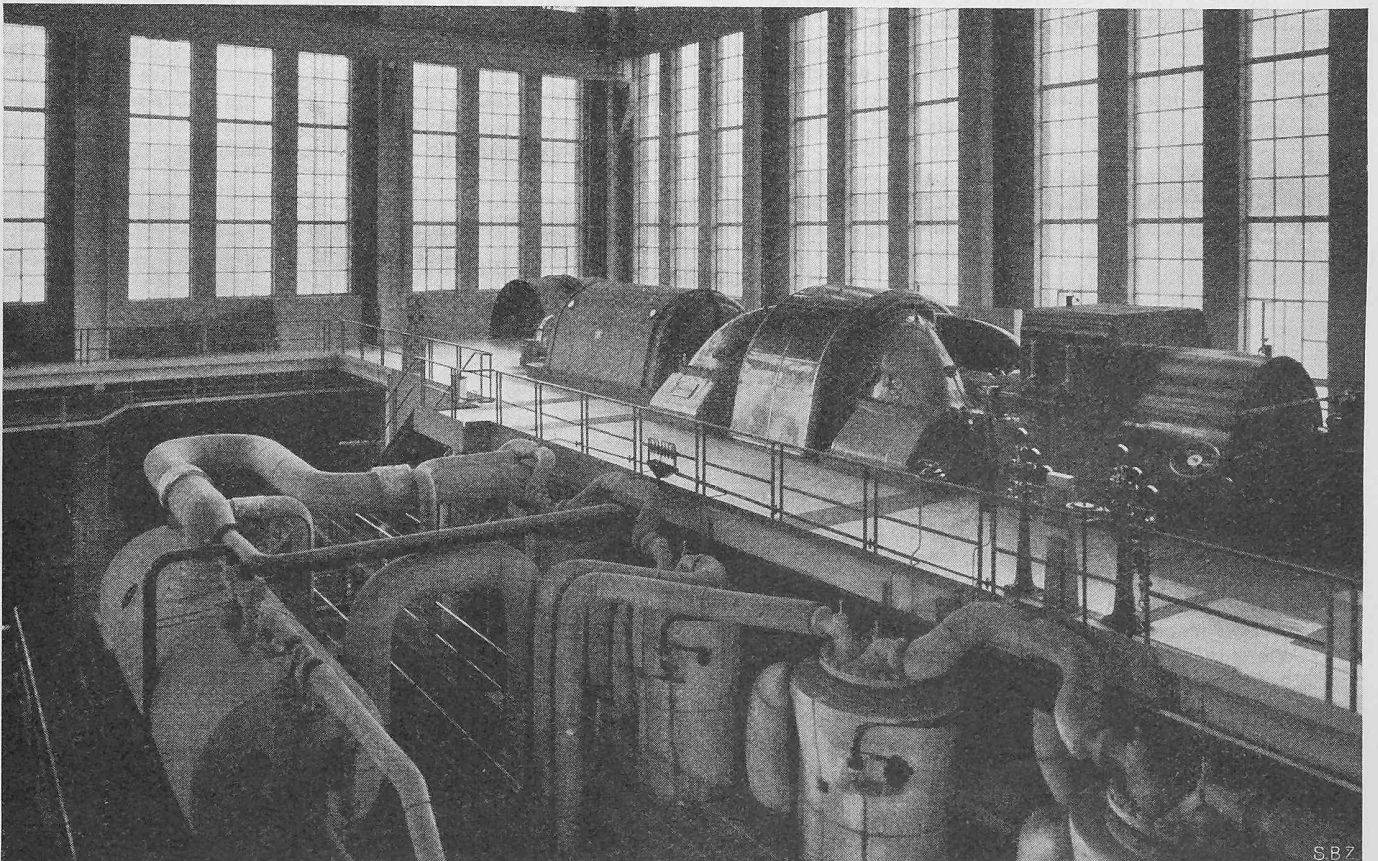


Bild 3. Inneres des Maschinensaals der Zentrale Monceau mit einer der beiden 50 000 kW-Turbogruppen. Im Vordergrund links der Zusatzwasser-Verdampfer, rechts davon die Vorwärmer für das Speisewasser.

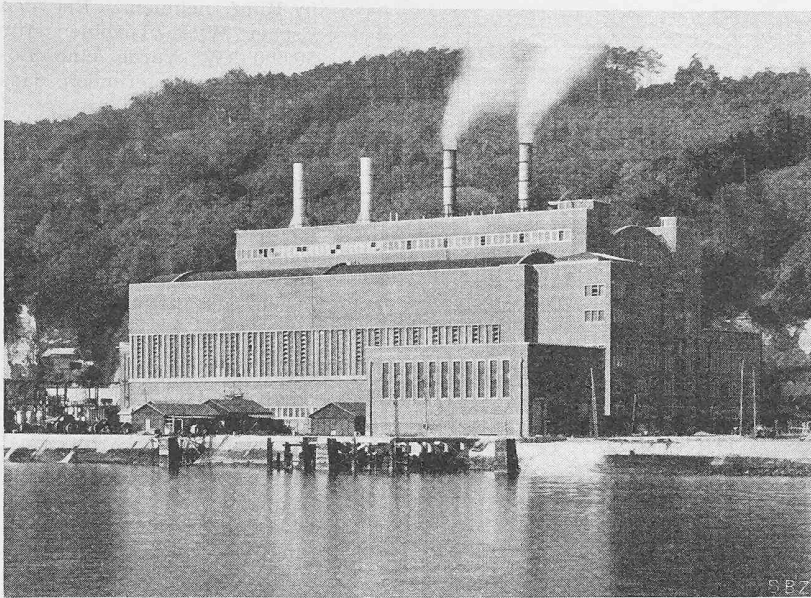


Bild 4. Das Dampfkraftwerk Dieppedalle (Nordfrankreich), mit vier Kesseleinheiten, von denen je zwei mit je einer 50 000 kW-Turbogruppe zu einem Block vereinigt sind. Im Vordergrund die Seine, längs dem Ufer das Maschinenhaus, dahinter das Kesselhaus.

vierflutigen Niederdruckturbinen übergegangen, wodurch sich naturgemäss ein komplizierterer Aufbau und ein grösserer Raumbedarf ergaben.

Dank eingehenden Studien und Versuchen ist es Escher Wyss gelungen, eine Laufschaufel mit 572 mm Austrittslänge zu bauen, die bei 16 t Zentrifugalkraft in allen Teilen die gleiche Sicherheit gegenüber der Streckgrenze aufweist wie die frühere wohlerprobte Schaufel von 450 mm Länge. Damit ist es möglich geworden, auch für die Leistung von 50 000 kW bei hohem Vakuum und mässigem Auslassverlust das zweiflutige Gehäuse beizubehalten.

#### 4. Die Aufteilung der Stufen

Bei den hohen Drücken und hohen Temperaturen moder-

ner Grossdampfturbinen werden die Hochdruckgehäuse besonders hoch beansprucht. Die Beherrschung dieser Beanspruchungen erfordert einerseits mässige Gehäusedurchmesser und andererseits möglichst einfache Formen, die der Berechnung zugänglich sind. Einige Konstrukteure haben Doppelgehäuse entwickelt, bei denen konzentrisch um ein inneres Gehäuse ein äusseres angeordnet und der Zwischenraum mit Dampf von geeignet gewähltem Zwischendruck erfüllt ist. Auf diese Weise gelingt es, die den höchsten Drücken und Temperaturen ausgesetzten Teile mit etwas geringeren Wandstärken und leichteren Flanschen auszuführen. Nachteilig ist dabei allerdings die erschwerte Zugänglichkeit der Schaufelung, vor allem infolge der Mehrarbeit, die das Lösen der im Dampfraum liegenden Teilflanschschrauben des Innengehäuses verursacht. Auch die Durchführung der Frischdampfleitung durch den Zwischenraum stellt wegen den ungleichen Wärmedehnungen Probleme, die sich nicht mit einfachen Mitteln lösen lassen.

Escher Wyss hat bei den hier beschriebenen Turbinen, die mit Frischdampfdrücken von 80 bis 85 at arbeiten, auf die Anwendung solcher Komplikationen verzichtet und die Durchmesser der ersten Hochdruckstufen so klein gehalten, dass das Gehäuse einfache Formen erhalten konnte und Bolzen von nur etwa 80 mm Kerndurchmesser genügen. Vorteilhaft sind dabei die verhältnismässig grossen Schaufellängen der ersten Stufen, die günstige Schaufelwirkungsgrade ergeben. Diese kleinen Durchmesser der Hochdruckstufen bieten dabei den weiteren Vorteil geringer Umfangs- und Dampfgeschwindigkeiten. Daraus folgen bei den gegebenen Durchsatzvolumen wiederum grössere Schaufellängen, also bessere Wirkungsgrade. Allerdings muss dieser Vorteil mit geringeren Wärmegefällen für die einzelnen Hochdruckstufen, also mit einer grösseren Stufenzahl erkauft werden. Nun ist aber die in einem Gehäuse unterzubringende Stufenzahl aus konstruktiven Gründen beschränkt. Man steht somit wiederum vor der Entscheidung, die Stufenzahl auf

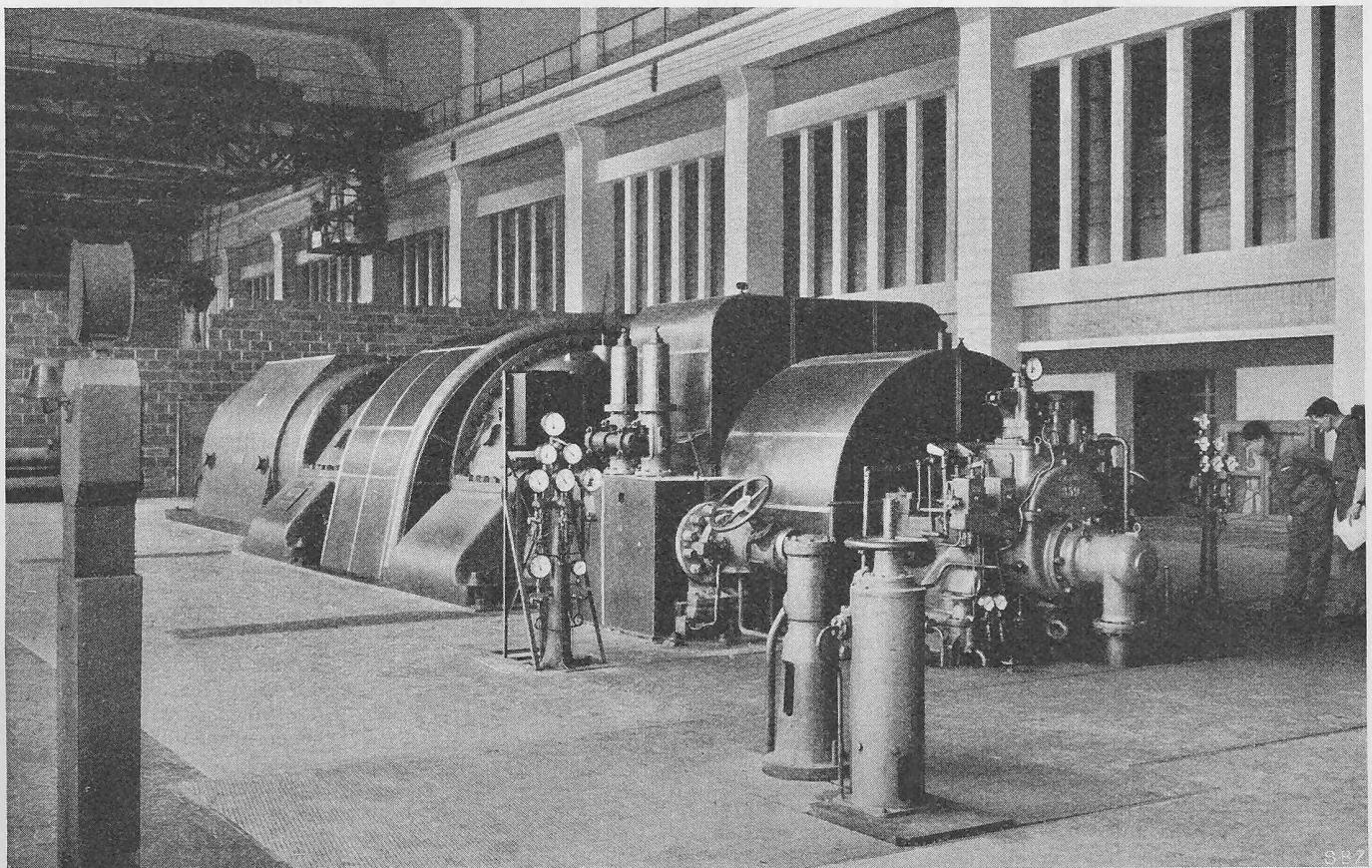


Bild 5. Zweigehäusige Dampfturbinengruppe von 50 000 kW in der Zentrale Dieppedalle mit Generator der Maschinenfabrik Oerlikon, rechts hinten die Abschlusswand gegen das Kesselhaus

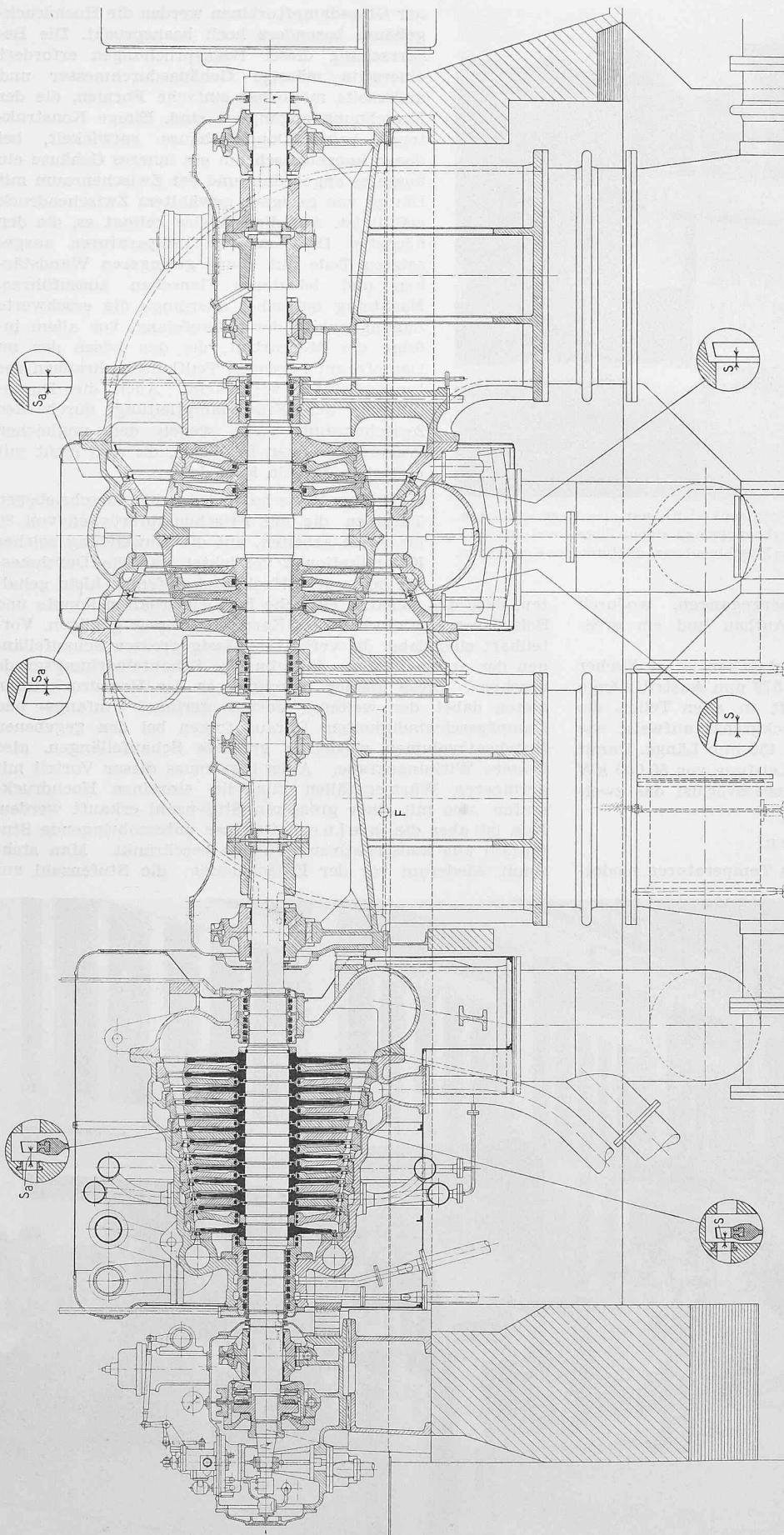


Bild 6. Längsschnitt 1:45 durch eine zweigehäusige Dampfturbine für mittlere Drücke und Temperaturen mit doppelflutigem Niederdruckteil und Anordnung des Spurlagers am hochdruckseitigen Wellenende. F = Fixpunkt der Gehäuse; oben Schauffelspiele bei raschem Anfahren; unten Schauffelspiele bei Beharrungszustand.

diesen Grenzwert zu beschränken oder den Hochdruckteil auf ein Hochdruck- und ein Mitteldruckgehäuse zu verteilen. Im zweiten Fall muss man die Nachteile grösserer Baulänge der ganzen Turbine, grösserer Undichtheitsverluste in den Stopfbüchsen und grösserer Reibungsverluste in den Lagern

## 2. Spurlager-Anordnung

Bei den hohen Temperaturen des Frischdampfes hat der Dampfturbinen-Konstrukteur besonders auf die Wärmedehnungen von Gehäuse und Rotor Rücksicht zu nehmen, und zwar nicht nur für den Beharrungszustand, sondern auch

in Kauf nehmen. Bei den Escher Wyss - Turbinen für 50 000 kW wurde eine Lösung dadurch gefunden, dass die früher meist mit  $2 \times 3$  Druckstufen ausgerüsteten Niederdruckturbinen (Bild 6) nun mit  $2 \times 5$  Druckstufen (Bild 7) versehen wurden. So ergab sich bei einem Zwischendruck von etwa 3 ata die Möglichkeit, in sämtlichen Stufen optimale Wirkungsgrade zu erzielen.

Bild 6 zeigt eine zweigehäusige Dampfturbine für mittlere Drücke und Temperaturen und doppelflutigem Niederdruckteil von je drei Stufen in der bisher üblichen Bauweise. Der Hochdruckteil wird vom Dampf in der Richtung von links nach rechts durchströmt. Dementsprechend befindet sich die Hochdruckstopfbüchse auf der Seite des freien Wellenendes, auf der auch das Spurlager angeordnet ist. Bild 7 gibt einen Längsschnitt durch eine der hier beschriebenen 50 000 kW - Dampfturbinen für einen Frischdampfzustand von 80 bis 85 at und  $500^{\circ}$  C wieder, bei der der doppelflutige Niederdruckteil je fünf Stufen aufweist. Das Spurlager befindet sich hier zwischen Hochdruck- und Niederdruckteil. Dementsprechend wird der Hochdruckteil in der Richtung von rechts nach links durchströmt.

## C. Konstruktive Einzelheiten

### 1. Teilflanschen

Die horizontalen Teilflanschen, die die beiden Gehäusehälften zusammenhalten, sind sehr kräftig ausgebildet (Bilder 1 u. 8). Spannungsmessungen während der Druckproben ermöglichten eine Kontrolle der Festigkeitsberechnung, und photoelastische Versuche an Flanschmodellen aus Bakelit lieferten wertvolle Grundlagen für die Berechnung der Flanschbeanspruchungen.

Um ein rasches Anfahren der Turbinen aus kaltem Zustande zu ermöglichen, sind in den aussenliegenden Teilen der schweren Flanschen Heizkanäle eingegossen, die beim Anfahren von einer kleinen Menge Frischdampf durchströmt werden, so dass die Flanschen nicht nur von der Innenseite des Gehäuses, sondern auch von der Aussenseite her erwärmt werden.

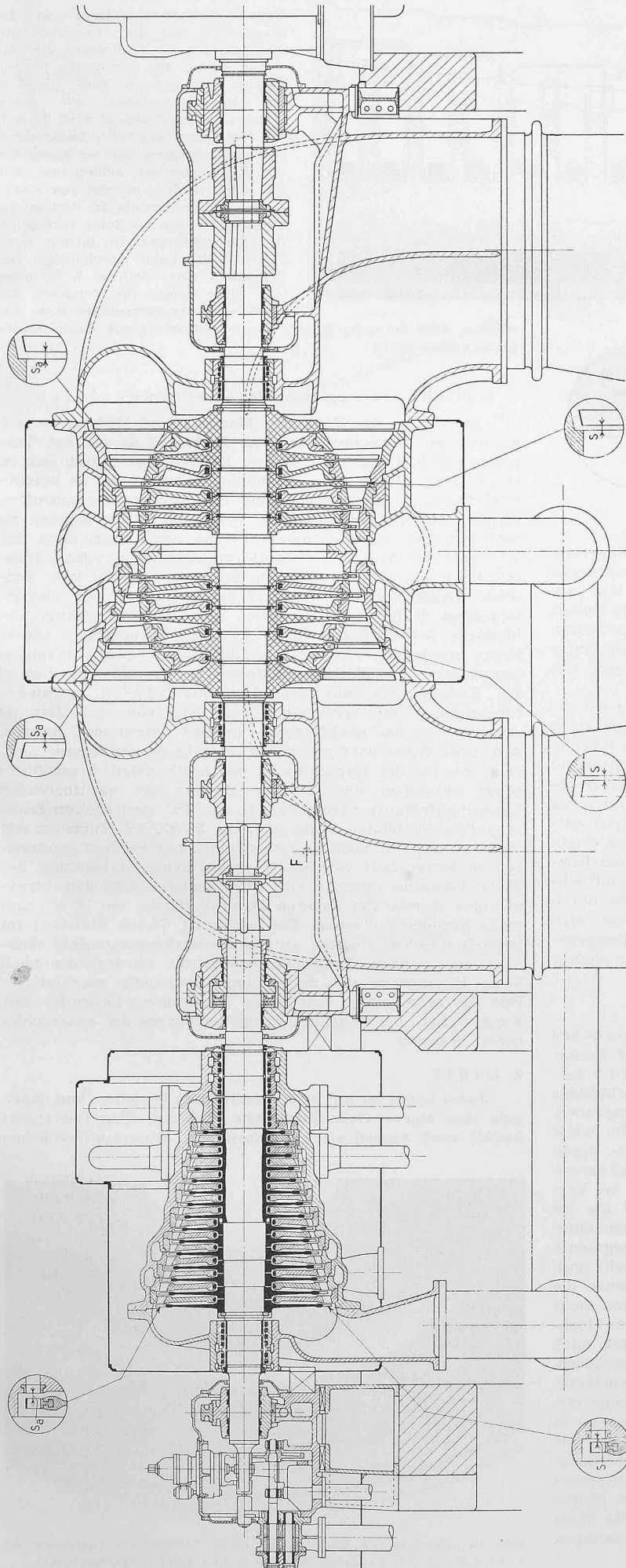


Bild 7. Längsschnitt 1:45 durch eine zweigehäusige Dampfturbine für hohe Drücke und hohe Temperaturen von 50 000 kW mit doppelflütigem Niederdruckteil; die Anordnung des Spurlagers zwischen Hoch- und Niederdruckgehäuse ergibt eine günstige Verteilung des axialen Schaufelspiels und vermeidet auch bei raschem Anfahren ein Anstreifen der Laufschaufelung.

während der Periode der Inbetriebsetzung. Erfahrungsgemäss dehnt sich der Rotor beim Anwärmen schneller als das Gehäuse. Bei der Anordnung des Spurlagers auf der Dampfeintrittsseite, wie dies allgemein üblich ist, vergrössert sich durch die raschere Rotordrehung das axiale Spiel zwischen Leitrad und Laufschaufeleintritt der Hochdruckturbine, wodurch sich die Gefahr des Anstreifens vermindert. An der Laufschaufel-Austrittsseite tritt zwar eine Spielverminderung ein, die jedoch infolge des an sich sehr grossen Abstandes bis zum nächstfolgenden Leitrad ganz ungefährlich ist.

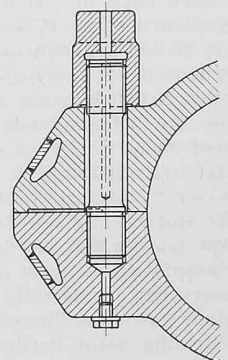
Bei zweigehäusigen Dampfturbinen, die mit 30 bis 40 at und 400 bis 450 ° arbeiten, ist die Anordnung des Spurlagers am hochdruckseitigen Wellenende der Turbo-Gruppe üblich (Bild 6). Verwendet man zwischen Hochdruck- und Niederdruckwelle eine starre Kupplung, was aus verschiedenen Gründen vorteilhaft ist, so bewirkt die raschere Dehnung der Hochdruckwelle auch eine Verschiebung des Niederdruckrotors gegen den Generator zu, durch welche bei doppelflütigen Niederdruckturbinen die Hälfte der Niederdruck-Lafräder, die auf der Seite gegen die Hochdruckturbine zu angeordnet sind, gegen die zugehörigen Leitapparate verschoben werden und bei zu raschem Anfahren dort zum Streifen kommen können. Diese Gefahr wächst mit der Erhöhung von Druck und Temperatur und der dadurch bedingten Vergrösserung der Stufenzahl und der Wärmedehnung.

Um diese Gefahr zu vermeiden, ist bei den in Frage stehenden Turbinen das Spurlager zwischen Hoch- und Niederdruckturbine angeordnet worden, und dementsprechend kommt auch die Dampfeintrittsseite des Hochdruckgehäuses direkt neben das Niederdruckgehäuse zu liegen (Bild 7). Diese Massnahme gewährt den Rotoren und Statorn der Hoch- und der Niederdruckturbine freie Dehnungsmöglichkeit ohne gefährliche Spielverminderung und ermöglicht damit ein rasches Anfahren. So können die 50 000 kW-Turbinen in 30 Minuten aus dem kalten Zustand auf volle Drehzahl gebracht und in weiteren 40 Minuten voll belastet werden. In der Zentrale Monceau wurde eine Turbine sogar in nur 15 Minuten vom Stillstand auf volle Drehzahl gebracht.

### 3. Gehäuseabstützung

Um kleine radiale Spiele in den Labyrinthn der Stopfbüchsen und Leiträder einhalten zu können, ist es notwendig, das heisse Hochdruckgehäuse genau auf Höhe der Wellenmitte abzustützen. Wie aus Bild 1 ersichtlich, sind zu diesem Zweck

Bild 8. Horizontaler Teilflansch eines Hochdruckgehäuses mit Heizkanälen und eingeschraubtem Bolzen. Der gute Wärmeübergang im Gewinde ergibt nur geringe Temperaturdifferenzen zwischen Bolzen und oberer Flanschhälfte, somit nur geringe zusätzliche Beanspruchungen beim Anfahren



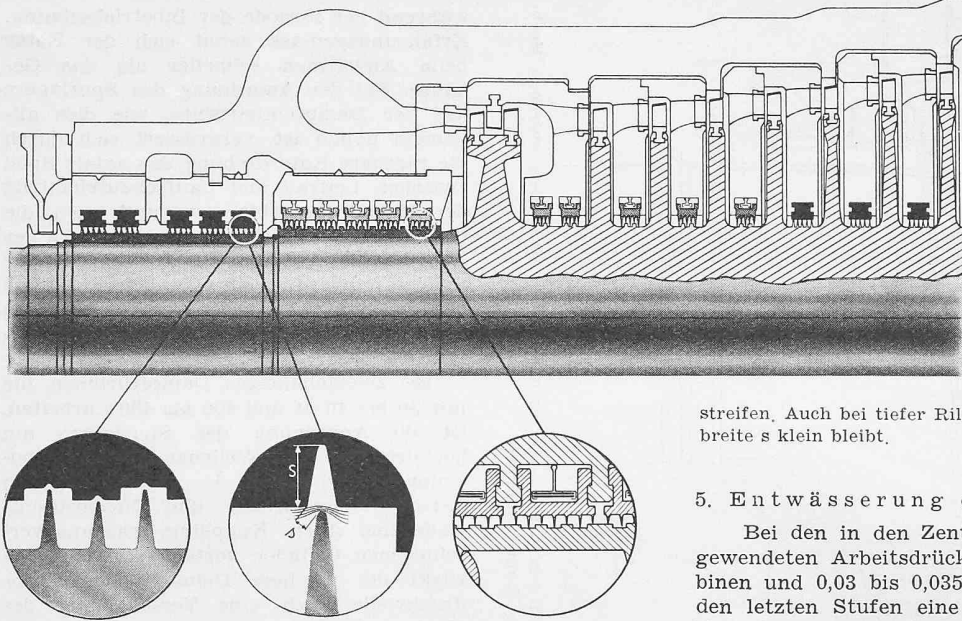


Bild 9. Labyrinthdichtungen für die Stopfbüchse auf der Hochdruckseite und zwischen den Laufrädern der einzelnen Stufen. Die sehr hohen Temperaturen ausgesetzten Teile bestehen aus Metall-Segmenten, wie unten rechts vergrössert gezeigt wird, die sich auf Blattfedern von hoher Dauerstandfestigkeit abstützen und bei Anstreifen der Welle elastisch ausweichen. Für alle übrigen Teile werden fest eingebaute Kohlensegmente in Verbindung mit Stahlkämme am Rotor verwendet, die bei allfälliger Berührung feine Rillen in die Kohle einschneiden. Daher nur geringe örtliche Erwärmung und keine Gefahr für Verziehen der Welle oder Erschütterungen beim Anstreifen. Auch bei tiefer Rille S ist die Abdichtung gut, da die Spaltbreite s klein bleibt.

#### 5. Entwässerung der Niederdruckstufen

Bei den in den Zentralen Monceau und Dieppedalle angewendeten Arbeitsdrücken von 80 bis 85 at vor den Turbinen und 0,03 bis 0,035 ata im Kondensator ergibt sich in den letzten Stufen eine erhebliche Dampfmasse; es müssen Vorkehrungen zur Ausscheidung des Kondensates getroffen werden, um die nachfolgenden Schaufeln gegen Erosion zu schützen. Bei der Aktionsschaufelung ergibt sich dank der starken Umlenkung der Dampfströmung eine wirksame Wasserausscheidung von selber. In Ergänzung hierzu wird zwischen Laufschaufelaustritt und Leitradeneintritt der nächstfolgenden Stufe ein grosser, von der Laufschaufellänge abhängiger Zwischenraum in Axrichtung vorgesehen. Dieser Raum ermöglicht den von den Laufschaufel-Austrittskanten tangential abgeschleuderten Wassertropfen, die Aussenwand der Radkammern mit den dort angeordneten Entwässerungsnischen zu erreichen, bevor sie von der Dampfströmung in das nachfolgende Leitrad mitgerissen werden. Auf diese Weise wird nur durch die sehr feinen Wassertröpfchen, die bei der Expansion in den Leitkanälen dieser Stufe selbst entstehen, eine geringe Erosion der nachfolgenden Laufschaufelkante verursacht. In der Tat sind an den Laufschaufeln der letzten Stufe einer der 50 000 kW-Turbinen von Monceau nach rd. 9000 Betriebsstunden nur geringe Erosionspuren festgestellt worden, trotzdem keinerlei Härtung der Eintrittskanten durch Stellite oder andere Methoden vorgenommen wurde. Bei anderen Dampfturbinen, die 50 000 und mehr Stunden (in einem Fall sogar rd. 78 000 Stunden) im Betrieb standen, konnten an den Niederdruckschaufeln ebenfalls nur geringe Erosionen beobachtet werden, die noch keine Erneuerung der Schaufelung notwendig machten. — Bild 10 zeigt einen Teil eines Niederdruck-Leitrades mit Fangtaschen und Bohrungen zum Wegführen des ausgeschiedenen Wassers.

#### 6. Lager

Jedes Lager ist mit zwei Laufflächen versehen, von denen jede ihre eigene Oelzufusstasche aufweist. Das Oel fliesst sowohl nach aussen als auch durch den Ringraum zwischen

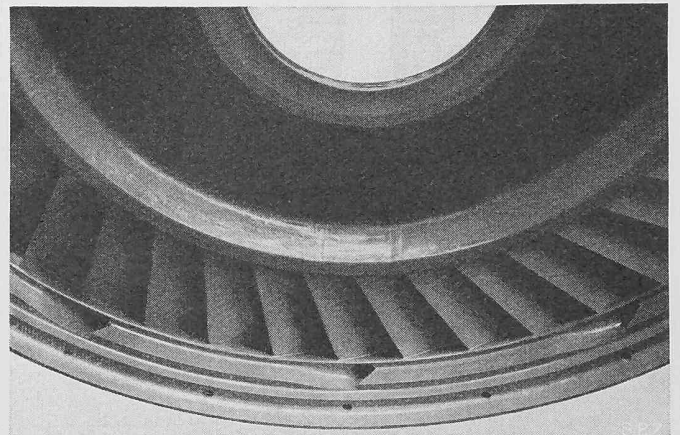


Bild 10. Fangtaschen am Umfang eines Niederdruck-Leitrades zur Ableitung der von den Laufschaufeln wegfliegenden Wassertropfen

an der oberen Gehäusehälfte gerade Pratzten als Verlängerung der Teilflanschen angegossen, die sich auf entsprechende Konsolen am Abdampfstützen der Niederdruckturbinen abstützen. Die untere Hälfte des Hochdruckgehäuses hängt demnach an den Teilflanschbolzen; beim Lösen dieser Bolzen zwecks Kontrolle des Turbineninnern werden deshalb unter die Stützflächen B der kurzen Tragpratzten der unteren Gehäusehälfte besondere Montagekeile eingeschoben.

Da die Pratzten am Eintrittsende der Turbine sehr heiss sind, besteht Gefahr, dass sich die am kalten Abdampfstützen der Niederdruckturbinen angegossenen Konsolen durch Wärmeleitung übermässig erhitzen. Dies hätte eine Wärmedehnung nach oben, also ein unerwünschtes Anheben des ganzen Hochdruckgehäuses zur Folge, und ausserdem könnten im sonst kalten Abdampfstützen gefährliche Wärmespannungen entstehen. Um diese Nachteile zu beheben, wird gemäss einem patentrechtlich geschützten Vorschlag die Innenseite der Konsolen an der Stelle, an der die heissen Pratzten des Hochdruckgehäuses aufliegen, durch einen Oelstrahl gekühlt. Die durch Wärmeleitung in die Konsolen eingedrungene Wärme wird auf diese Weise unmittelbar abgeführt, so dass die Temperaturen der Gusswandungen auch an diesen Stellen sehr niedrig bleiben, wie dies durch Messungen bestätigt wurde.

#### 4. Labyrinthdichtungen

Für die Abdichtung in den Stopfbüchsen und zwischen Welle und Laufrädern der einzelnen Stufen verwendet Escher Wyss seit 1932 meistens Kohlenlabyrinth. Wie in Bild 9 dargestellt, werden durch die Kämme des Rotors bei allfälliger Berührung feine Rillen in die Kohlensegmente eingegraben, so dass nur wenig Reibungswärme entstehen und die Welle somit keinen Schaden erleiden kann. Auch bleiben die durch die Reibung in den Labyrinth verursachten Erschütterungen der Welle und damit auch der Laufschaufelung bei Verwendung der Kohlenlabyrinth wesentlich geringer als bei Metalllabyrinth, was für die Haltbarkeit der Laufschaufelung sehr wichtig ist. Bei guter Qualität der Kohlensegmente und mässigen Temperaturen ist ihre Haltbarkeit sehr gut, stehen doch in vielen der seit 1932 gelieferten Turbinen die Kohlenringe im Mitteldruck- und Niederdruckteil schon mehr als 80 000 Stunden ohne Auswechslung in Betrieb. Im Hochdruckteil ist normalerweise ihre Auswechslung erst nach etwa 30 000 Stunden notwendig. Für sehr hohe Temperaturen, für die befriedigende Qualitäten der Spezialkohle vorläufig noch nicht erhältlich sind, verwendet Escher Wyss einige Metalllabyrinth-Ringe in ähnlicher Ausführung, wie sie auch von anderen Konstrukteuren benützt werden. Die Baustoffe für die Herstellung der Labyrinth müssen mit besonderer Sorgfalt ausgewählt werden; sie haben einerseits den sehr hohen Dampftemperaturen standzuhalten, die in den ersten Stufen herrschen; andererseits dürfen die elastischen Teile, die unter einer gewissen Vorspannung eingebaut werden, ihre federnde Wirkung nicht verlieren.

den beiden Laufflächen ab. Dieser vierfache Oelabfluss ergibt eine sehr reichliche Durchspülung und damit eine wirksame Kühlung des Lagers und der Wellenauflfläche, was bei hohen Dampftemperaturen besonders wertvoll ist. Die verhältnismässig grosse Gesamtlänge der beiden Laufflächen bewirkt eine gewisse Einspannung der Welle, so dass bei den

gut ausgewuchteten Rotoren der Escher Wyss-Turbinen die kritische Drehzahl ohne spürbare Erschütterungen durchlaufen wird. Das auf der Einlassseite der Hochdruckturbine angeordnete Traglager ist zugleich als Spurlager ausgebildet, wobei sich der Wellenkamm zwischen den beiden Tragflächen befindet. Schluss folgt

### Luftporenbeton

Von Dr. ALFONS AMMANN, Dipl. Ing.-Chem., Zürich-Höngg

DK 666.974.191

Schluss von Seite 11

#### Weitere Einflüsse auf die Luftporeneinführung

Die Luftporeneinführung nimmt mit Zunahme der Temperatur der Betonmischung ab, wie Bild 10 zeigt. Während bei drei Zusätzen die Abnahme für Beton gleicher Konsistenz pro 10° C Temperaturzunahme nur etwa 0,5 bis 1 % der eingeführten Luftporenmenge beträgt, macht sie bei einem Zusatz im Mittel etwa 2,5 % aus.

Auch der Mischmaschinentyp beeinflusst die Luftporeneinführung. Luftporenbeton soll grundsätzlich immer mit der Maschine hergestellt werden, denn die Misch-Intensität bei Handmischung ist viel zu gering, als dass eine befriedigende Luftporenentwicklung stattfindet. Die Mischzeit soll im Minimum eine, besser zwei Minuten betragen.

Die Konsistenz hat insofern Bedeutung, als Luftporenbeton nur in plastischer Form herstellbar ist, wobei aber auch hier ein weiter Spielraum von schwach bis stark plastisch vorhanden ist. Die maximale Luftfeinführung erfolgt im normal plastischen Beton, d. h. man erzielt dort mit der kleinsten Zusatzmenge einen gewünschten Luftporengehalt. Im trockenen Beton kann keine Luftporenentwicklung stattfinden, und in sehr nassem Beton entweicht die Luft.

worden, die einerseits Luftporen einführen und andererseits die Dispergierung der Beton-Feinanteile (Zement und Feinsand) bewirken. Diese Dispergatoren sind meist polare, organische Stoffe, die vom Zement oder Zuschlagspartikel adsorbiert werden und dadurch die Adhäsionskräfte der Teilchen erniedrigen oder sogar aufheben, wodurch eine bessere gegenseitige Verschiebbarkeit zustande kommt.

Von diesen dispergierend-plastifizierend wirkenden Stoffen, welche eben die grosse Oberfläche des Zementes und des Feinsandes beeinflussen müssen, sind rd. zehnmal grössere Zusatzmengen notwendig als von den luftporenerzeugenden Stoffen, nämlich Mengen von einigen ‰ bis zu 1 %.

In den Bildern 11 und 12 sind die Wasserverminderungsmöglichkeiten an Beton mit einer für die Luftfeinführung günstigen, zwischen EMPA und Fuller liegenden Granulation für verschiedene Dosierungen und für gleiche Verarbeitbarkeit des Betons mit einem Setzmass von 2 bis 4 cm dargestellt. Die Zusammensetzung war für Beton ohne und mit Zusatz unverändert, d. h. es erfolgte keine Herabsetzung des Sandgehaltes für Betone mit Zusätzen.

Die nur Luftporen einführenden Produkte erlauben eine Anmachwasserverminderung von 5 bis 12 %, während die plastifizierend-luftporeneinführenden Zusätze eine solche von 12 bis 18 % ermöglichen. Eine Anmachwasserverminderung von 8 bis 12 % reicht bei den mageren Dosierungen (unter 250) meist noch aus, um unveränderte oder sogar etwas höhere Festigkeiten zu erhalten, während bei den Dosierungen über 250 infolge geringerer Wasserverminderung unvermeidlich Festigkeitsabfälle eintreten. Es ist dies auch nicht verwunderlich, wenn man sich überlegt, dass durch die Wassereinsparung von 5 bis 8 % 6 bis 12 l Anmachwasser pro m<sup>3</sup> eingespart, dafür aber 20 bis 30 l Luftporen eingeführt werden.

Bild 12 zeigt die mögliche Anmachwasserverminderung, bezogen auf die Luftporeneinführung. Für 1 % eingeführte Luft beträgt die Anmachwasserverminderung bei den nur Luftporen einführenden Zusätzen rd. 1,8 bis 2,8 % und für die plastifizierend Luftporen einführenden Zusätze 3 bis 5,2 %.

Bild 13 zeigt die mögliche Anmachwasserverminderung, bezogen auf die eingeführte Luftporenmenge in Mörtel 1:4 in Abhängigkeit vom Zement, Bild 14 das selbe mit dem gleichen Zement an Mörteln verschiedener Dosierung. Nur luftporeneinführende Mittel geben zum Unterschied von den plastifizierend-luftporeneinführenden Zusätzen in Purzementmörtel 1:0 praktisch keine Anmachwasserverminderung.

#### Einfluss der Luftporeneinführung auf die mögliche Anmachwasser-Verminderung

Wie schon ausgeführt, ist die Verbesserung der Verarbeitbarkeit durch Luftporen am grössten bei Beton mit schwieriger Verarbeitbarkeit (Sandmangel, ungeeignete Granulation) sowie bei mageren Betonen, wo die schmierende Wirkung des Zementes fehlt. Sie ist weniger ausgesprochen bei Betonen mit Dosierungen von über 250 kg, bei guter Zuschlagsgranulation oder bei nur schwach erdfeuchter oder giessbarer Konsistenz. Mit den normalen luftporeneinführenden Produkten können bei gut dosierten Betonen auch bei Modifikation der Betonzusammensetzung durch Zuschlagsverminderung Festigkeitsabfälle bis zu 20 % eintreten. Um die Luftporenbetone allgemein zu verbessern, d. h. um eine grössere oder überhaupt eine Anmachwasser - Verminderung in allen Fällen zu ermöglichen, sind seit einigen Jahren Produkte (zum Beispiel Plastocrete, Frioplast, Pozzolith) geschaffen

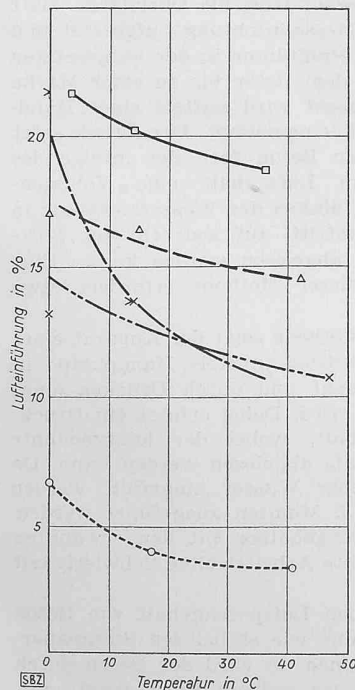


Bild 10. Luftporeneinführung in Mörtel 1:4 bei Temperaturen von 0° bis 40° C ohne Zusatz und mit vier verschiedenen Zusätzen

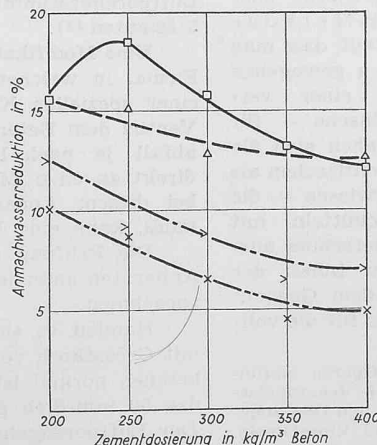


Bild 11. Verminderung des Anmachwassers in % bzw. in % pro % eingeführte Luftporenmenge in Betone verschiedener Dosierung. Zeichenerklärung siehe Bild 8 in Nr. 1, S. 11

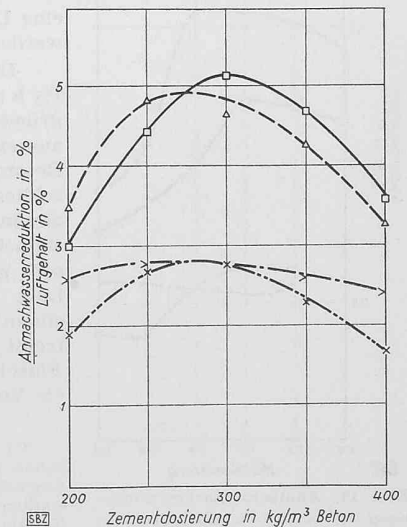


Bild 12.