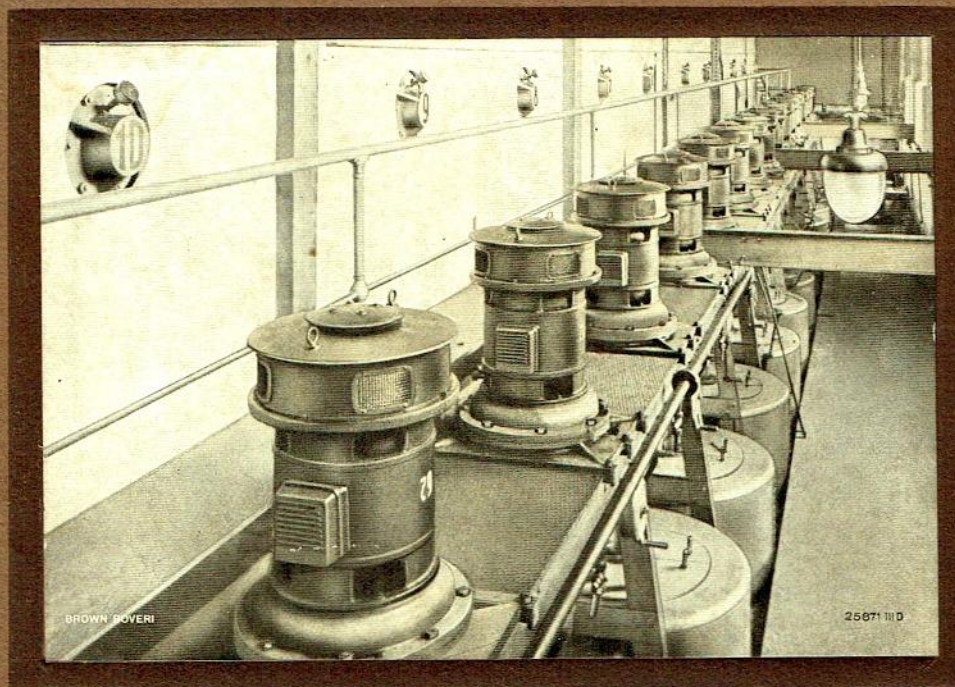


DER ELEKTRISCHE BETRIEB IN ZUCKERFABRIKEN



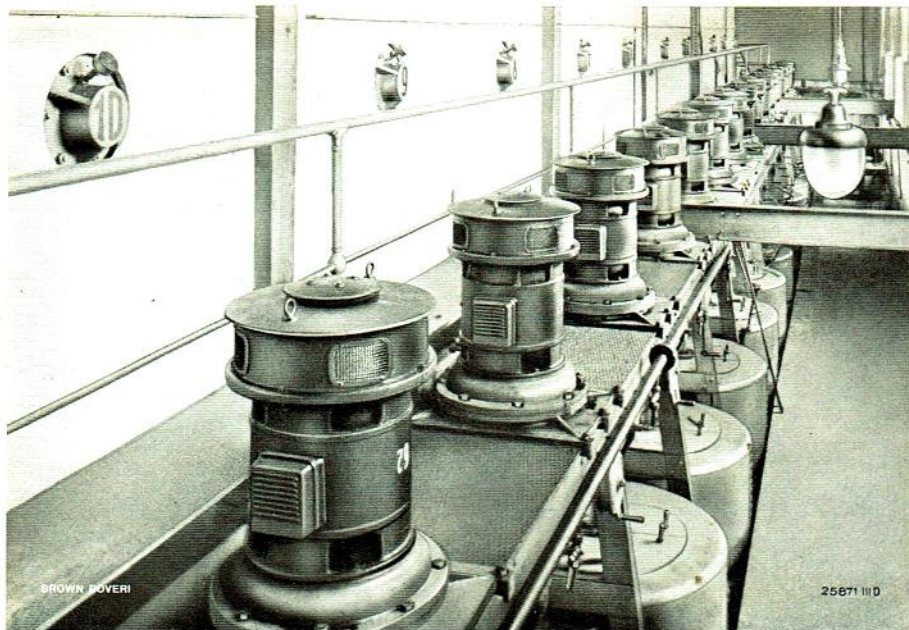
AKTIENGESELLSCHAFT
BROWN, BOVERI & C^{IE}
BADEN (SCHWEIZ)

LINDETEVES-STOKVIS

1109 D — VII. 13
(2244)

August 1929

DER ELEKTRISCHE BETRIEB IN ZUCKERFABRIKEN



AKTIENGESELLSCHAFT
BROWN, BOVERI & C^{IE}
BADEN (SCHWEIZ)

DER ELEKTRISCHE BETRIEB IN ZUCKERFABRIKEN

Für den Betrieb jeder Rohzuckerfabrik sind zwei Hauptmomente zu beachten:

1. der grosse Wärmebedarf und
2. die Forderung, das Rohmaterial — Zuckerrüben oder Zuckerrohr — so rasch als möglich zu verarbeiten, damit es nicht an Zuckergehalt einbüsst oder sonst Schaden nimmt.

Sparsamste Dampfwirtschaft und unbedingte Betriebssicherheit sind daher in erster Linie anzustreben.

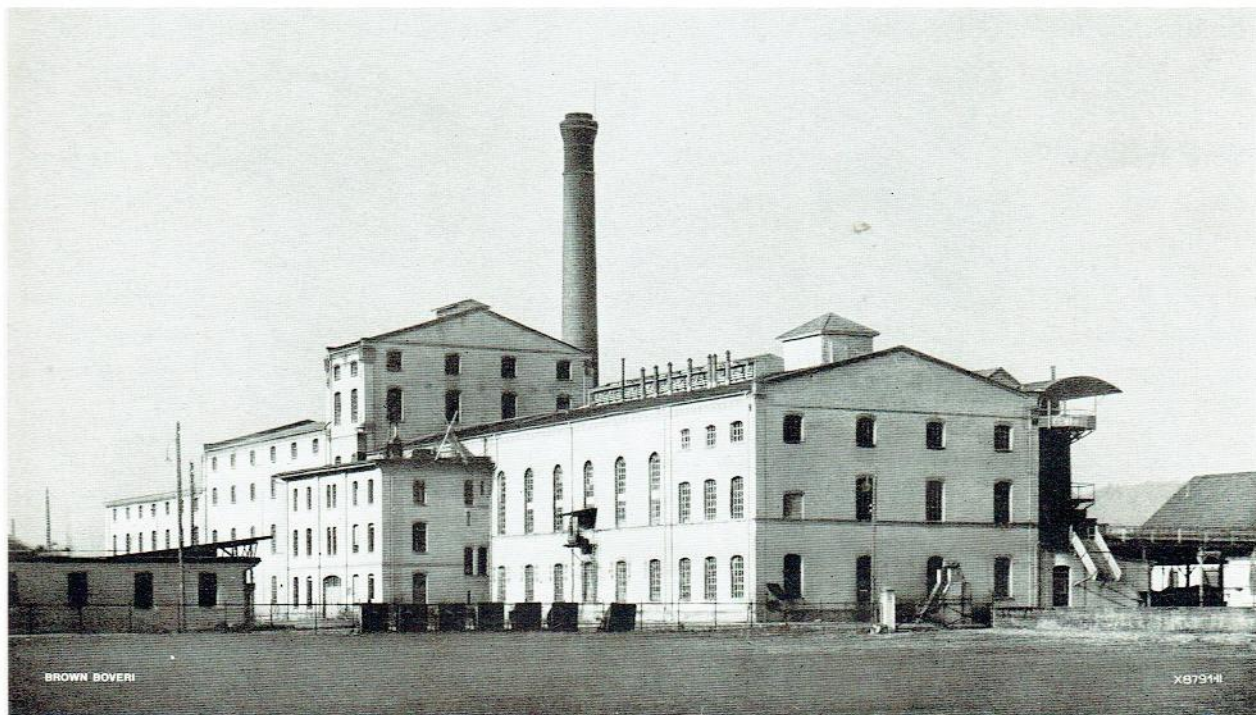


Abb. 1. Hauptgebäude einer Rübenzuckerfabrik.

Von den für den Betrieb insgesamt erforderlichen Kalorien ist zwar nur ein kleiner Teil in mechanische Energie für den Antrieb der verschiedenen Arbeitsmaschinen umzuformen. Gleichwohl hat dieser Teil der Anlage einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des gesamten Fabrikbetriebes. Dabei kommt es keineswegs auf die grösste Wirtschaftlichkeit der elektrischen Antriebe selbst an; es muss vielmehr darnach getrachtet werden, dass die Gesamtanordnung, Kupplung von Wärme- und Kraftbetrieb, den besten Wirkungsgrad sichert.

In älteren Anlagen hat man die Kraftstation auf mehrere, an verschiedenen Stellen der Fabrik aufgestellte Einheiten verteilt, um welche die anzutreibenden Maschinen

gruppiert und durch Transmission angetrieben wurden. Heute treibt man die Maschinen, elektrisch an, baut sie mit ihrem Motor so innig als möglich zusammen und macht sie dadurch voneinander unabhängig; dagegen zentralisiert man die Kraftanlage, verringert dadurch nicht nur die Verluste, sondern auch den Aufwand für die Bedienung und Ueberwachung des Betriebes, erhöht die Betriebsicherheit und gewährleistet somit einen ungestörten Gang der Fabrikation.

Die A.-G. Brown, Boveri & Cie. hat den Bedürfnissen der Zuckerindustrie seit jeher besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Sie hat nicht nur die Dampfturbine in die Zuckerindustrie eingeführt, sondern auch Bauarten von Maschinen und Apparaten entwickelt, die den in dieser Industrie gegebenen Verhältnissen angepasst sind. Dies gilt insbe-

sondere in Bezug auf die Forderung nach unbedingter Zuverlässigkeit und Betriebsicherheit, der Tatsache Rechnung tragend, dass eine auch nur kurzzeitige Störung eines Teiles der Anlage schwere Betriebsverluste verursachen könnte u. dass nur das Beste geeignet sein kann, dem angestrengten Betrieb einer Zuckerfabrik, den man mit aller Berechtigung als «Kampagne» bezeichnet hat, standzuhalten.

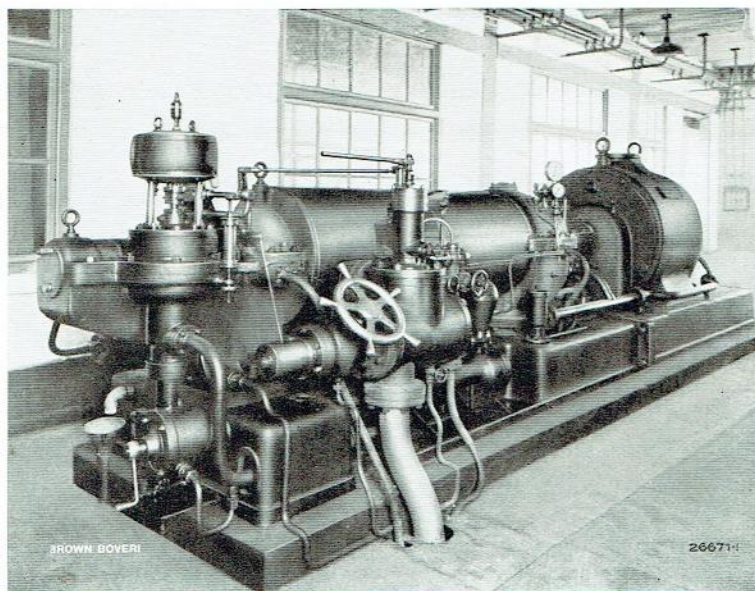


Abb. 2. Die erste in der Zuckerindustrie verwendete Dampfturbine : 200-kW-Gegendruck-Turbogenerator Bauart Brown Boveri, in der Zuckerfabrik und Raffinerie A. Bouchon in Nassandres (Frankreich).

I. ALLGEMEINES

Das Zusammentreffen von Kraft- und Wärmebetrieb führte in der Zuckerindustrie frühzeitig dazu, die sich dabei bietenden Vorteile auszunutzen. Man stellte an den verschiedenen Stellen der Fabrik für den Antrieb der Arbeitsmaschinen Dampfmaschinen auf, deren Abdampf der eigentlichen Fabrikation zugeführt wurde. Der Gedanke des Heizkraftwerkes fand hier seine Verwirklichung lange bevor er zu seiner heutigen umfassenden Bedeutung gestaltet wurde.

Diese ursprüngliche Art der Vereinigung von Kraft- und Heizbetrieb genügt den gesteigerten modernen Anforderungen sowohl hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit als auch

vom betriebs- und fabrikationstechnischen Standpunkt aus nicht mehr. An Stelle der Zersplitterung der Krafterzeugung tritt ihre Zentralisierung in Form des Turbogenerators, der neben dem Kesselhaus aufgestellt wird und von dem aus elektrische Energie in einfacher Weise und praktisch verlustlos zu den einzelnen Arbeitsmaschinen geführt wird. Ein Vergleich zwischen den Betriebsverhältnissen einer voll elektrifizierten Anlage mit zentraler Krafterzeugung und Einzelantrieb aller Arbeitsmaschinen einerseits und dem veralteten Dampfmaschinen- und Transmissionsantrieb andererseits, lässt die Ueberlegenheit der modernen Anlage am besten erkennen.

A. VOLL ELEKTRIFIZIERTE ANLAGE

a) Wirkungsgrad:

Zu Grunde gelegt ist eine Anlage mit 500 kW gesamtem Kraftbedarf.

Der Wirkungsgrad der Motoren soll im Mittel zu etwa 90 % angenommen werden, die Verluste in den Leitungen zu etwa 5 %, der Wirkungsgrad des Generators zu 94 %. Erforderliche Leistung an der Turbinenwelle demnach

$\frac{500}{0,9 \times 0,95 \times 0,94} = 622 \text{ kW}$. Die Verluste betragen also 122 kW.

Angenommen, dass 10 % vom gesamten Wärmeinhalt des Frischdampfes in der Gegendruckturbine in effektive Arbeit umgesetzt werden, so hat der für die Erzeugung von 622 kW erforderliche Dampf ein Arbeitsvermögen von $\frac{622}{0,1} = 6220 \text{ kW}$.

Der mechanische Wirkungsgrad beträgt etwa 98 %, die reinen Verluste der Dampfturbine also rd. 13 kW. Die gesamten Verluste der Uebertragung $122 + 13 = 135 \text{ kW}$.

Die im Abdampf enthaltene, für Heiz- und Kochzwecke verbleibende Energie beträgt demnach $6220 - (500 + 135) = 5585 \text{ kW}$.

B. ANLAGE MIT DAMPFMASCHINEN- UND TRANSMISSIONSANTRIEB

Gesamter Kraftbedarf 500 kW. Wirkungsgrad der Uebertragung bis auf die Transmissionswelle, einschliesslich deren Verluste, höchstens 85 %, Leistung an den Wellen der Dampfmaschinen also $\frac{500}{0,85} = 588 \text{ kW}$. Die Verluste betragen demnach 88 kW.

Bei der Dampfmaschine sollen unter Voraussetzung derselben Frischdampf- und Gegendruck-Verhältnisse und unter Annahme eines besseren thermo-dynamischen Wirkungsgrades 12 % vom gesamten Wärmeinhalt in Arbeit umgesetzt werden. Der zugeführte Dampf hat demnach ein Arbeitsvermögen von $\frac{588}{0,12} = 4900 \text{ kW}$.

Der mechanische Wirkungsgrad beträgt etwa 88 %, die reinen Verluste der Dampfmaschinen also etwa 82 kW.

Von entscheidendem Einfluss sind aber die höheren Dampfverluste in den Leitungen der dezentralisierten Krafterzeugung. Nimmt man diese Verluste nur zu 4 % an, so bedeutet dies, dass dem Dampfverteilnetz $\frac{4900}{0,96} = \text{rund } 5100 \text{ kW}$

Dampf zugeführt werden müssen. Die gesamten Verluste betragen demnach $88 + 82 + 200 = 370 \text{ kW}$. Die im Abdampf für Heiz- und Kochzwecke verbleibende Energie ist: $5100 \text{ kW} - (500 + 370) = 4230 \text{ kW}$.

Die Mehrverluste gegenüber dem Betrieb mit zentralisierter Kraftanlage betragen 235 kW, d. h. 47 % des gesamten Kraftbedarfes.

b) Betriebsmittel (Oel, Dichtungsmaterial usw.).

Der Oelverbrauch eines modernen Turbogenerators mit Druckölschmierung ist geringfügig. Die Lager eines Brown Boveri-Motors sind so durchgebildet, dass sie während einer Kampagne praktisch weder einer Kontrolle noch einer Erneuerung des Oeles bedürfen.

c) Bedienung und Wartung.

Mit Ausnahme der Ueberwachung der Zentrale ist für die Bedienung der elektrischen Anlage kein geschultes Personal nötig. Anlassen und Abstellen der Motoren kann bei zweckmässiger Bauart von jedem ungeschulten Arbeiter ausgeführt werden. Die Motoren, besonders in Ausführung als Dreiphasenmotoren, benötigen sozusagen keiner Wartung. Die Leitungen erfordern nur eine Kontrolle in grossen Zeitabständen.

d) Gebäude und Betriebsräume.

Die Elektromotoren erfordern infolge ihres geringen Gewichtes und ruhigen Ganges nur leichte Fundamente.

Die Betriebsräume werden heller und reiner, die Maschinen zugänglicher. Diese können nach dem Fabrikationsgang aufgestellt werden, der Platzbedarf ist geringer.

e) Betriebsführung.

Der ölfreie Abdampf der Turbinen ist nicht nur für die Wärmeabgabe an die Heizflächen von Vorteil, sondern er ermöglicht auch direkte Berührung mit Zucker, wie z. B. beim Decken während des Schleuderns.

Die Möglichkeit, den Gang jeder Maschine, einzelner Gruppen und der Gesamtanlage durch Mess- und Registrierinstrumente beständig genauestens überwachen und regeln zu können, ist eines der wertvollsten Hilfsmittel für eine rationelle Betriebsführung.

Die zentrale Steuerung der Motoren gewährleistet gleichmässiges Arbeiten der ganzen Fabrikanlage.

f) Betriebssicherheit.

Ein gut gebauter und gegen Feuchtigkeit richtig geschützter Elektromotor ist unbedingt betriebssicher. Seine Schutzeinrichtungen schützen nicht nur ihn selbst, sondern auch das elektrische Verteilungsnetz und die anzutreibenden Maschinen.

Der Oelverbrauch von Kolbendampfmaschinen ist bekanntlich sehr hoch. Nach Claassen betragen die Ausgaben für Oel und Talg etwa $2\frac{1}{2}\%$ der eigentlichen Betriebskosten, von welchem Prozentsatz wohl die Hälfte auf die Dampfmaschinen gerechnet werden darf.

Die Bedienung einer Dampfmaschine erfordert geschultes Personal. Der Anlassvorgang ist umständlich (Vorwärmen, Kontrolle der Entwässerungshähne und der zahlreichen Schmierstellen) und kann Saisonarbeitern nicht anvertraut werden. Transmissionen und Riemen erfordern in den feuchten Betriebsräumen beständige Wartung und Erneuerung. Die Instandhaltung der langen Dampfleitungen verlangt beständige Ueberwachung.

Dampfmaschinen erfordern schwere Fundamente. Für die Transmissionen sind verstärkte Wandkonstruktionen notwendig.

Transmissionen und Riemen machen die Betriebsräume unübersichtlich, die Aufstellung der Maschinen ist an die Lage der Transmissionen gebunden.

Der Abdampf der Kolbenmaschinen ist stark mit Oel verunreinigt und erfordert die Verwendung von Oelabscheidern, die nur bei sorgfältigster Wartung auf die Dauer wirksam bleiben.

Eine Ueberwachung der Arbeitsweise der Maschinen durch Instrumente ist praktisch unmöglich.

Eine Dampfmaschine ist wohl an sich auch betriebssicher, sie schützt aber die anzutreibenden Maschinen nicht vor betriebsmässigen Ueberlastungen.

Die bequeme Lagerhaltung von Ersatzteilen oder ganzen Ersatzmotoren ermöglicht, allfällige Störungen sofort zu beheben. Im Notfalle sind Ersatzmotoren heute fast überall sofort erhältlich.

Eine Lagerhaltung ist nur in beschränkter Masse möglich, der Ersatz einer beschädigten Maschine in der Regel nur langfristig beschaffbar.

Die Arbeitsmaschinen einer Zuckerfabrik erfordern in ihrer Mehrzahl Betrieb mit nur einer Drehzahl. Eine Ausnahme machen die Zuckerrohrwalzwerke in Rohrzuckerfabriken und gewisse Hilfseinrichtungen, wie z. B. Krane. Von diesen Einrichtungen abgesehen, wird daher für neu zu erstellende Anlagen heute ausschliesslich Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom) als Stromart gewählt. Der im Aufbau einfache und im Betrieb unempfindliche Dreiphasenmotor ist nicht nur in betriebstechnischer Hinsicht dem Gleichstrommotor überlegen, sondern auch billiger und wirtschaftlicher. Gleichstromverteilung findet man, von Sonderfällen abgesehen, nur in älteren Fabriken.

Die elektrische Einrichtung hat die Aufgabe, die Maschinenanlage so zu betreiben, dass sie die höchstmögliche Erzeugung bei geringstem Aufwand an Betriebskosten gewährleistet. Da die elektrische Anlage weder Selbstzweck ist, noch einen wesentlichen Teil der gesamten für den Betrieb erforderlichen Energie verarbeitet, kann ihr Nutzen nur daran ermessen werden, ob sie die beste Ausnutzung der Maschinenanlage ermöglicht oder nicht. Nur die Antwort auf diese Frage liefert den Maßstab für die Wirtschaftlichkeit der Motorenanlage, nicht aber die elektrischen Garantien oder die Höhe der für Verzinsung und Tilgung erforderlichen Aufwendung. *Wirtschaftlich im weitesten Sinne ist für Zuckerfabriken jene Motorenanlage, die sich der Arbeitsweise der Fabrikationsmaschinen in jeder Beziehung anpasst und einen störungslosen Betrieb gewährleistet, d. h. betriebsicher ist.*

Das Rohmaterial muss in kürzest möglicher Kampagne verarbeitet werden. Jede unnütze Verlängerung, verursacht durch eine wenn auch noch so kurze Störung im Betrieb der Motorenanlage, kann zu Verlusten führen, die in keinem Vergleich stehen zu den Kosten der Motorenanlage. Es wird sich daher nicht trotz, sondern eben wegen der kurzen Betriebsdauer die teurere Anlage, sofern sie betriebsicherer ist, besser rentieren als die billigere, weniger zuverlässigere.

Die warmfeuchte Atmosphäre einer Zuckerfabrik erfordert vor allem eine dem Einfluss der Feuchtigkeit widerstandsfähige Isolation. Brown Boveri wendet für tropische und tropenähnliche Klimate ein besonderes Imprägnierungsverfahren (Tropenisolation) an. Geschlossene Bauart schützt nicht gegen Feuchtigkeit. Es ist empfehlenswerter, die Motoren, um sie auch gegen Tropfwasser zu sichern, in geschützter und ventilierter Ausführung (Ausführung mit Tropfwasserschutz) zu wählen. Die Erfahrung lehrt, dass gerade in feuchten Räumen die beständige Erneuerung der Luft im Motor für die Lebensdauer der Isolation von Vorteil ist. Die ganz geschlossene Bauart gewährleistet an sich diesen Schutz nicht, da der Motor beim Erkalten Luft ansaugt und die in ihr enthaltene Feuchtigkeit sich an den erkalteten Motorwandungen niederschlägt. Ganz geschlossene Motoren, die wegen der schlechteren Wärmeabfuhr auch nur eine geringere Ausnutzung des Motors zulassen und daher gross und teuer werden, sollte man nur bei Gefahr von Spritzwasser und ähnlichen Verhältnissen anwenden.



Abb. 3. Dreiphasenmotor Type MQp mit Kurzschlussrotor.



Abb. 4. Dreiphasenmotor Type MW mit Kurzschlussrotor, geschlossene Bauart, mit Fuss.

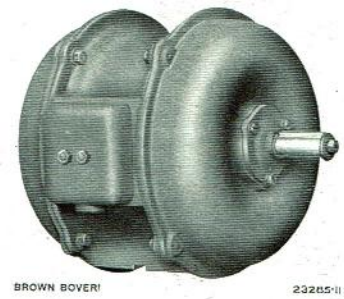


Abb. 5. Dreiphasenmotor Type MW mit Kurzschlussrotor, geschlossene Bauart, ohne Fuss.



Abb. 6. Dreiphasen-Getriebemotor Type MWZO mit Kurzschlussrotor.

Von grosser Wichtigkeit ist einfachste Bedienung der Motoren. Das Personal in Zuckerfabriken besteht aus Saisonarbeitern, denen eine besondere Schulung in der Behandlung elektrischen Materials nicht zugemutet werden kann. Obwohl die meisten Arbeitsmaschinen, mit Ausnahme der Zentrifugen, nur selten angelassen werden, ist es für den Betrieb doch vorteilhaft, wenn die In- und Ausserbetriebnahme der Maschinen jedem Arbeiter unbedenklich anvertraut werden kann. Es ist daher wichtig, dass mit einem einfachen Handgriff angelassen und abgestellt werden kann.

Der einfachste und billigste Motor ist der *Dreiphasenmotor mit Kurzschlussrotor*. Wegen des grossen Stromstosses beim Einschalten bleibt seine Verwendung im allgemeinen auf Antriebe mit kleinerem Kraftbedarf beschränkt. Gleichwohl findet er in Zuckerfabriken vielfache Anwendungsmöglichkeiten.

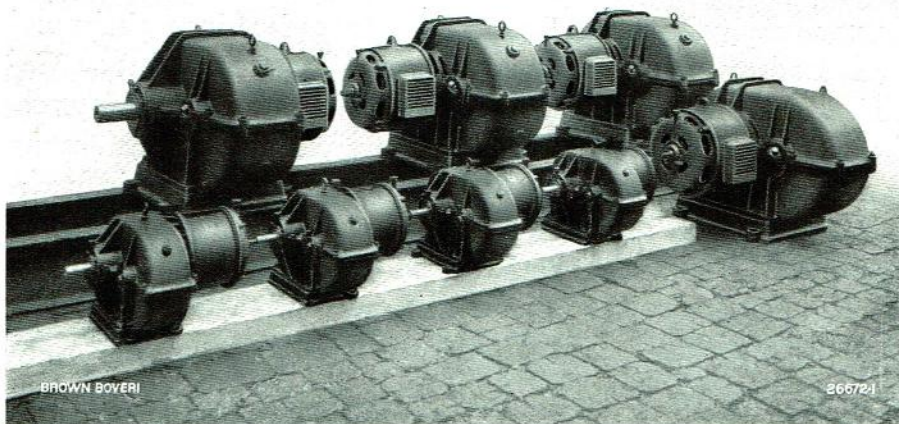


Abb. 7. Zahnradgetriebe mit angeflanschten Dreiphasenmotoren.



Abb. 8. Dreiphasenmotor Type MAP mit Zentrifugalanlasser, offene Bauart.

Motoren mit Kurzschlussrotor werden in mehreren Ausführungen gebaut. Der normale Motor in geschützter Bauart (Abb. 3) hat kurze Bronze-Lagerbüchsen und unbedingt öldichte Lager mit geringstem Ölverbrauch. Die Schmierung ist so zuverlässig, dass sie im Verlauf einer Kampagne nicht nachgesehen zu werden braucht.



Abb. 9. Dreiphasenmotor Type MARp mit Zentrifugalanlasser, tropfwassergeschützte Bauart.

Die Motoren nach Abb. 4 und 5 werden sowohl in offener als auch in geschlossener Bauart ausgeführt. Sie haben Kugellager mit Fettschmierung und können in jeder beliebigen Lage der Welle arbeiten. Auch bei diesen Lagern ist eine Kontrolle gewöhnlich nur alle ein bis zwei Jahre nötig.

Für gewisse Fälle, sei es für Riemenantrieb, wenn sehr niedrige Drehzahlen verlangt werden, oder für direkte Kupplung, wenn eine mit den üblichen Frequenzen und Polzahlen nicht erzielbare Drehzahl gefordert wird, sind Motoren mit im Lagerschild eingebautem, in Öl laufendem Zahnradgetriebe zweckmässig (Abb. 6). Diese Motoren beanspruchen sehr wenig Platz und gewährleisten infolge der hohen Genauigkeit der Räder Betriebsicherheit und ruhigen Gang.



Abb. 10. Vertikaler Dreiphasenmotor Type MVR mit Zentrifugalanlasser.

In warmfeuchten Räumen leiden Treibriemen meistens sehr. Man geht heute mehr und mehr dazu über, sie durch Zahnräder zu ersetzen. Die vorerwähnten Kurzschlussankermotoren lassen sich in Ausführung als Flanschmotoren sehr gefällig an Getriebe anbauen, wie Abb. 7 zeigt.

Für grössere Leistungen ist, sofern nicht besonders erschwerende Bedingungen gestellt werden, der Motor mit Zentrifugalanlasser



Abb. 11. Dreiphasen-Zentrifugenmotor Type MZ mit Zentrifugalanlasser.



Abb. 12. Dreiphasenmotor Type MSp mit Schleifringrotor, offene Bauart.

(Abb. 8, 9, 10, 11) am Platze, der ebenso einfach zu bedienen ist wie ein Kurzschlussanker-motor und ein kräftiges Anlaufmoment entwickelt, dagegen nur einen verhältnismässig kleinen Anlaufstrom aufnimmt. Er ist elektrisch gleich gebaut wie ein Motor mit Schleifringanker, trägt aber an Stelle der Schleifringe



Abb. 13. Dreiphasenmotor Type MSRp mit Schleifringrotor, tropfwassergeschützte Bauart (Schutzkapsel gedreht).

den Zentrifugalanlasser, der sich mit der Welle dreht. Das stufenweise Abschalten der Widerstände während des Anlaufens erfolgt durch einfache, sehr kräftige Kontakte, die sich selbsttätig unter der Einwirkung der Fliehkraft schliessen. Zum Anlassen und Abstellen eines solchen Motors ist lediglich der Motorschalter zu bedienen.

Eine besonders für die Anwendung in Zuckerfabriken durchgebildete Ausführung ist der *Zentrifugenmotor* (Abb. 11). Auch dieser Motor hat einen Zentrifugalanlasser, der es ermöglicht, die Zentrifuge unmittelbar ohne Benutzung einer Schleifkupplung anzutreiben und so einfach wie eine Glühlampe in und ausser Betrieb zu setzen. Selbstverständlich ist der Anlasser entsprechend den bei diesen Antrieben geforderten Anlaufverhältnissen bemessen (vergl. Seite 18—25).

Für Antriebe mit grossem Kraftbedarf und für gewisse Sonderfälle, beispielsweise regulierbare Antriebe, verwendet man *Motoren mit Schleifringanker* (Abb. 12-14). Ein solcher Motor benötigt zu seiner Bedienung ausser dem Motorschalter auch einen eigenen Anlasser. Die beiden Apparate werden bei Niederspannung zweckmässigerweise zu einem einzigen vereinigt und am Motor angebaut. Dabei wird die Welle des Anlassers mit der Kurzschluss-und Bürstenabhebevorrichtung des Motors verbunden, sodass alle für das Anlassen und Abstellen erforderlichen Schaltvorgänge zwangsläufig in der richtigen Reihenfolge ausgeführt werden. Bedienungsfehler werden dadurch ausgeschlossen.

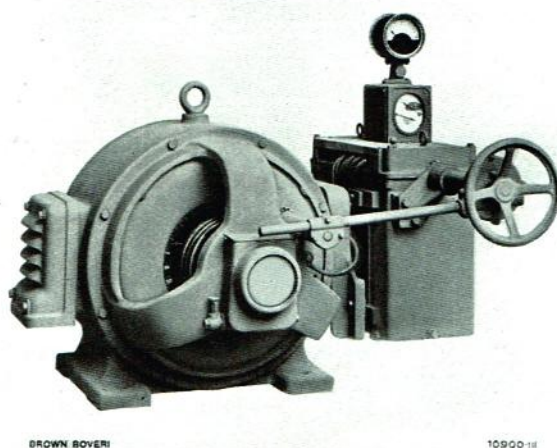


Abb. 14. Dreiphasenmotor mit angebautem Anlasser.

Eine bequeme und praktisch verlustlose Drehzahlregelung, lediglich durch Verschieben der Bürsten, gestattet der *Einphasen- oder Dreiphasen-Kommutatormotor* Bauart Brown Boveri (Abb. 15).



Abb. 15. Einphasen-Kommutatormotor Type ERHM.

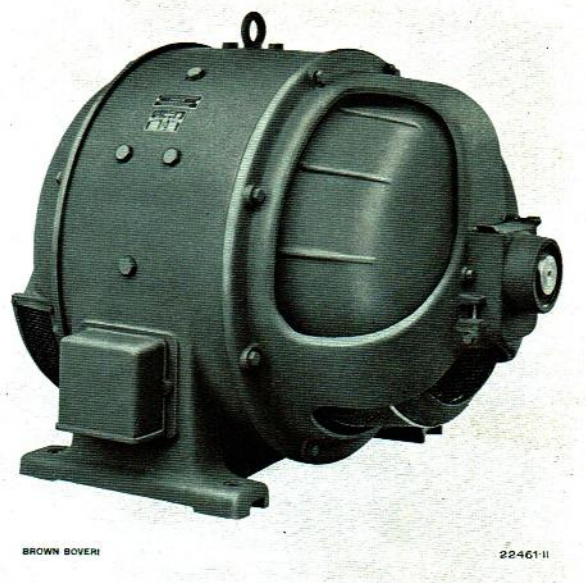


Abb. 16. Gleichstrommotor Type GR, tropfwwassergeschützte Bauart.

Derartige Motoren werden in Zuckerfabriken hauptsächlich für Transportvorrichtungen und Hebezeuge verwendet.

Gleichstrommotoren (Abb. 16) werden, zumal in modernen Rübenzuckerfabriken, nur selten angewendet und empfehlen sich im allgemeinen nur dort, wo eine Regulierung in grösserem Bereich mit von der Belastung unabhängiger Drehzahl verlangt wird. Die meist verhältnismässig geringen Gleichstromenergien werden gewöhnlich durch einen kleinen Motorgenerator geliefert (Abb. 17).

Zum Ein- und Ausschalten des Motors dient der *Schaltkasten*, der auch die zum Schutze des Motors gegen unzulässige Belastungen erforderlichen Organe enthält. Die Abb. 18 bis 25 zeigen einige Ausführungsformen solcher Apparate.

Schmelzsicherungen schützen den Motor in der Regel nur sehr unvollkommen, weil sie mit Rücksicht auf den grösseren Anlaufstrom oder auf die im Betrieb sich ergebenden Ueber-

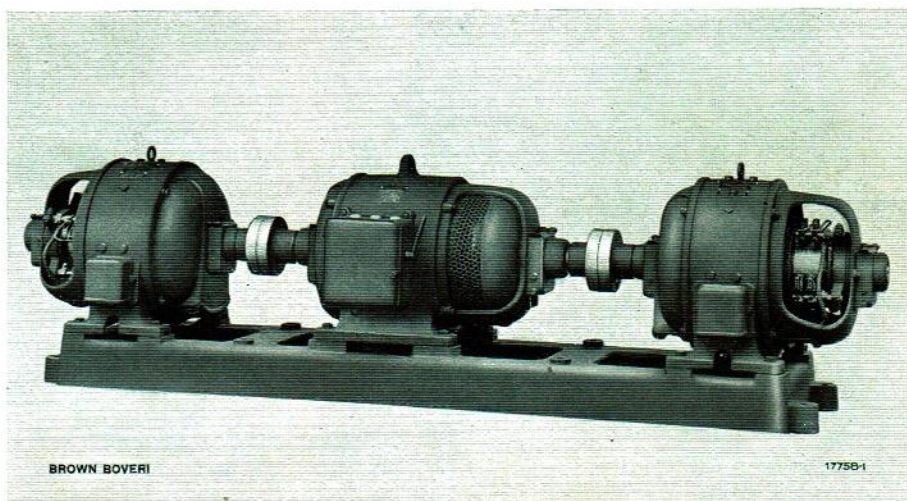


Abb. 17. Motorgenerator-Gruppe.



Abb. 18. Schaltkasten Type FC mit Sicherungen
(geschlossen).



Abb. 20. Schaltkasten Type LC 2e mit
Paketwärmeauslöser.

lastungen für einen höheren Strom, als der Nennleistung des Motors entspricht, bemessen werden müssen. Kleinere Stromerhöhungen, die den Motor, wenn sie längere Zeit andauern, ebenfalls stark gefährden, werden also nicht verhütet. Einen idealen Schutz gegen die durch Ueberlastungen hervorgerufene schädliche Erwärmung des Motors

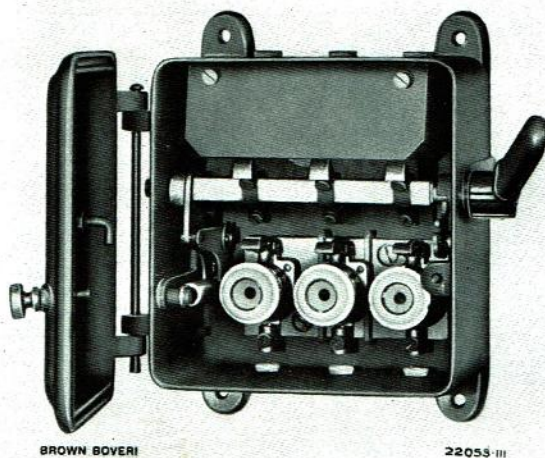


Abb. 19. Schaltkasten Type FC mit Sicherungen (geöffnet).

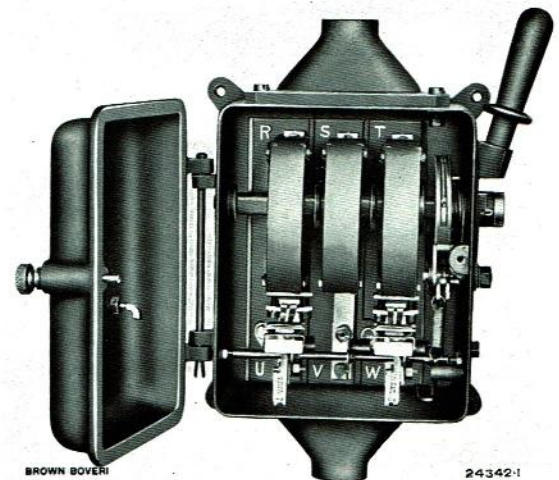


Abb. 21. Schaltkasten Type LC 2e mit Paketwärmeauslöser
(geöffnet).

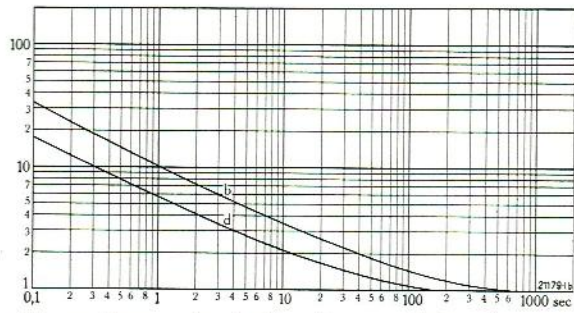


Abb. 22. Kurven der Auslösezeiten von Paketwärmeauslösern in Abhängigkeit von dem auf der Skala der Einstellvorrichtung eingestellten Auslösestrom.

b = Vom kalten Zustand aus. d = Vom betriebswarmen Zustand aus.
Abszisse: Auslösezeit in Sekunden. Ordinate: Vielfaches des Auslösestromes.

gewähren die Schaltkasten mit Wärmeauslösung (Abb. 20 und 21). Die Auslöser bestehen hier aus Bimetallblechen, die sich unter dem Einfluss des Stromes, ähnlich wie der Motor selbst, erwärmen. Dank des gleichartigen Temperaturverlaufes schützen sie die Motoren auch bei ganz extremen Belastungsverhältnissen richtig, d. h. sie lassen auch kurzzeitige Ueberlastungen, die dem Motor nicht schaden, zu und ermöglichen somit, die gute Ueberlastungsfähigkeit des Elektromotors auszunutzen, ohne seine Betriebsicherheit zu gefährden.

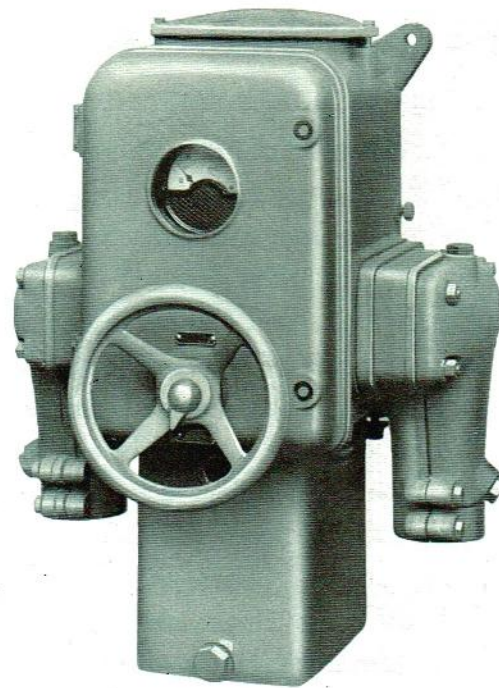
Mit den gleichen Wärmeschutzelementen werden auch die Oelschaltkasten für Ströme bis zu 640 ausgeführt (Abb. 24 und 25).



BROWN BOVERI

25705-1

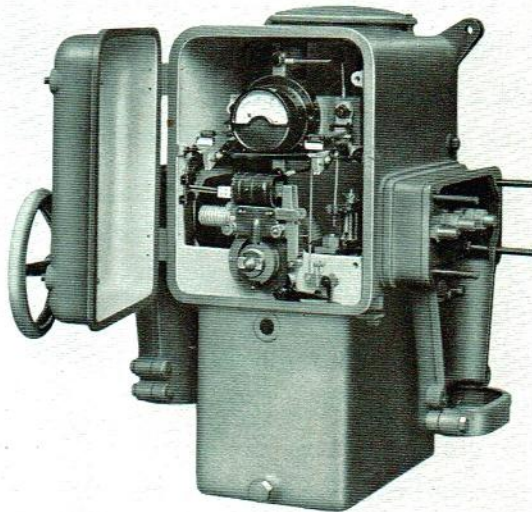
Abb. 23. Dreiphasenmotor mit angebaute Schaltkasten.



BROWN BOVERI

22826-11

Abb. 24. Schaltkasten Type M mit Oelschalter und Paketwärmeauslösern.



BROWN BOVERI

22833-111

Abb. 25. Schaltkasten Type M mit Oelschalter und Paketwärmeauslösern (geöffnet).

II. RÜBENZUCKERFABRIKEN

A. DIE ELEKTRISCHEN ANTRIEBE

Das Verfahren zur Herstellung von Rübenzucker (vergl. Tafel Abb. 27) ist vorwiegend ein chemisches und erfordert grosse Energiemengen in Form von Wärme, aber verhältnismässig geringe mechanische Energien. Eigentliche elektrisch betriebene Fabrikationsmaschinen werden fast nur für die Aufbereitung der Rüben und die Fertigverarbeitung zum Roh- und Gebrauchszucker verwendet. Dagegen werden elektrische Antriebe für die zahlreichen Hilfsmaschinen, in erster Linie Pumpen, benötigt. Wie bereits eingangs erwähnt, treibt man die Arbeitsmaschinen heute einzeln elektrisch an und setzt den Motor so nahe an die anzutreibende Welle als dies möglich ist. Dieses Bestreben entspringt durchaus nicht allein dem Wunsche, unnötige Energieverluste zu vermeiden. Die Anlage wird übersichtlicher, die Maschinen zugänglicher, der Fortfall der Riemen, die unter der feuchtwarmen Atmosphäre besonders stark leiden, vermindert den Aufwand für Unterhalt und den Ersatz abgenützter Uebertragungsmittel.

Die aus den Rübenlagern durch die Schwemmrinne zugebrachten Rüben werden vielfach durch ein *Rübenhubrad* der höher liegenden *Waschmaschine* zugeführt, wo sie von Schmutz und Sand gereinigt und mitgeführte Steine abgesondert werden. Die Waschmaschine besteht aus einem schmiedeeisernen Trog mit einem Rührwerk, dessen schneckenförmig angeordneten gusseisernen Arme die Rüben kräftig im Wasserstrom bewegen und gleichzeitig stetig an die Anwurfseite der Wäsche fördern. Ein Becherwerk oder eine Hubschnecke führt die gereinigten Rüben der Rübenwage zu, von wo sie in die *Schnitzelmaschine* gelangen. Hier werden die Rüben durch rasch rotierende Messer fein zerschnitten, um sie für die Diffusion brauchbar zu machen. Die Maschine besteht aus einem zylindrischen Kasten, in dem die lotrechte Welle mit den ringförmig angeordneten Messern gelagert ist. Der Antrieb erfolgt über ein Kegelvorgelege. Die in der Dif-

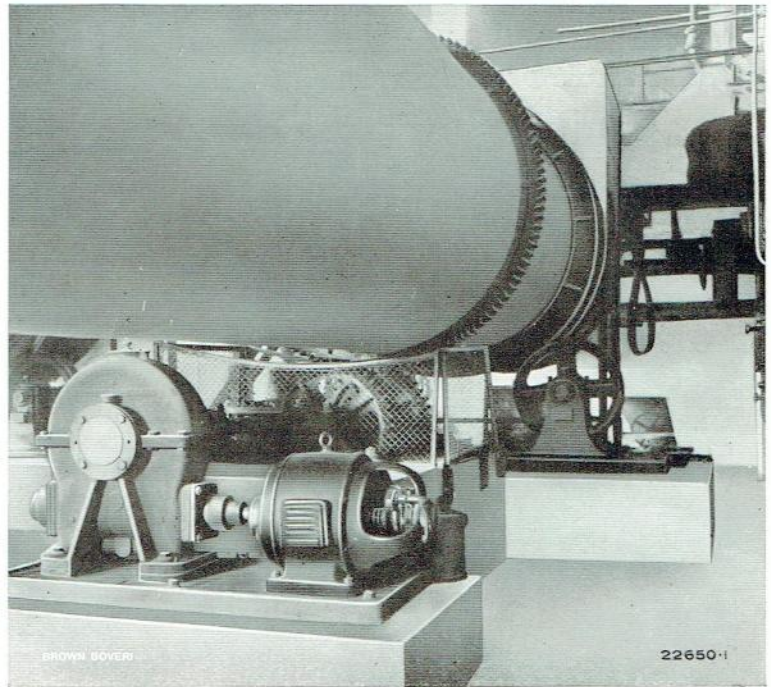


Abb. 26. Antrieb einer Trockentrommel.

Abb. 27. DER FABRIKATIONSVORGANG IN RÜBENZUCKERFABRIKEN

<i>Zugeführte Stoffe</i>	<i>Arbeitsvorgang</i>	<i>Abgeführte Stoffe</i>
Rüben und Wasser	Waschen der Rüben	Schmutzwasser
	Wiegen der Rüben	
	Zerkleinern der Rüben zu Schnitzeln	
Wasser	Die Rüben werden in den Diffusionsbatterien ausgelaugt, d. h. der Zucker der Rüben in den Rohsaft überführt. Die ausgelaugten Schnitzel werden gepresst. Die verbleibenden Nass-Schnitzel entweder direkt abgegeben oder getrocknet.	Wasser, Pülpe Wasser Viehfutter Trockenschnitzel
Kalk (Kalkmilch)	Scheidung des Rohsaftes in der Scheidepfanne, d. h. Behandlung mit Kalk, um die Nichtzuckerstoffe auszufällen.	
Kohlensäure (aus dem Kalkofen gewonnen), u. U. auch noch schweflige Säure	Zwei- oder dreifache Saturation des geschiedenen Schlammsaftes entweder ebenfalls in der Scheidepfanne oder in eigenen Saturationspfannen, bestehend in Behandlung mit Kohlensäure, um den im Saft gelösten oder verteilten Kalk zu fällen. Förderung des Saftes durch Schlammumpfen.	Saturations-Schlamm (Düngemittel)
	Filtration des Schlammsaftes.	Absüßwasser (das abermals d. Scheidung u. Saturation zugeführt wird).
	Der gewonnene <i>Dünnsaft</i> wird im <i>Verdampfer</i> zu <i>Dicksaft</i> eingedampft.	
	Nach nochmaliger Filtration wird der Dicksaft in <i>Vakuum-Kochapparaten</i> zu Füllmasse verkocht.	
	Vollständige Kristallisation in Sudmaisichen (Kristallisatoren).	
	In der Rohzuckerzentrifuge wird der Rohzucker vom <i>Grünsirup</i> getrennt.	Rohzucker 1. Produkt
	Verkochen und Kristallisieren des Grünsirups zum sogenannten zweiten Produkt.	
	Schleudern des zweiten Produktes in <i>Nachprodukt-Zentrifugen</i> .	Rohzucker 2. Produkt (Nachproduktzucker) und Melasse.

fusionsbatterie zur Gewinnung des Rohsaftes ausgelaugten Schnitzel werden in der *Schnitzelpresse* trocken gepresst und dann entweder unmittelbar als Viehfutter abgegeben oder vorher noch getrocknet. Hierzu dienen gemauerte, mit einem Rührwerk versehene Mulden oder Trommeln (Abb. 26 und 28), die langsam gedreht werden.

Die Arbeitswellen aller dieser Maschinen drehen sich verhältnismässig langsam, sodass meistens an den Maschinen selbst Vorgelege angebracht sind, um eine brauchbare Antriebsdrehzahl zu erhalten. Der Kraftbedarf ist gering und erreicht nur bei den Schnitzelmaschinen 20 bis 50 PS. Der Antrieb erfolgt entweder über Riemen oder, wenn man Platz sparen will, über Zahnradvorgelege. Die Drehzahl bleibt stets unverändert.

Auch die Geräte für die Verarbeitung des Saftes bieten im Zusammenhang mit der Frage des elektrischen Antriebes kein besonderes Interesse. Die verschiedenen Pfannen für die Scheidung, Auflösung, das Sudmaischen usw. sind mit Rührwerken ausgerüstet, die am besten einzeln, und zwar über Schneckenvorgelege angetrieben werden. Der Kraftbedarf ist im allgemeinen gering.

Die für die Saturation erforderliche Kohlensäure, die man aus einem eigenen Kalkofen gewinnt, wird nach erfolgter Reinigung durch ein *Kohlensäuregebläse* der Surationspfanne zugeführt. Während man dafür früher ausschliesslich Kolbengebläse (Abb. 29) be-

nutzte, verwendet man heute mehr und mehr Turbogebläse. Sie erfordern nicht nur viel weniger Platz (Abb. 30) und wegen ihres geringen Gewichtes leichtere Fundamente als Kolbengebläse, sondern sind auch einfacher im Aufbau, haben ruhigen, erschütterungsfreien Lauf, fördern stetig und ohne Stoss, benötigen wenig Oel und arbeiten beim geringsten Aufwand an Unterhalt und Bedienung zuverlässig und betriebsicher.

Brown Boveri baut die Kohlensäuregebläse sowohl für Antrieb durch Dampfturbinen als auch für elektromotorischen Antrieb (Abb. 31 und 32). Für Zuckerfabriken wird heutzutage der elektrische Antrieb in erster Linie in Betracht kommen. Da die für das Gebläse erforderliche hohe Drehzahl mit Asynchronmotoren bei den üblichen Frequenzen nicht erzielt werden kann, es sei denn, man greife zu einer ver-

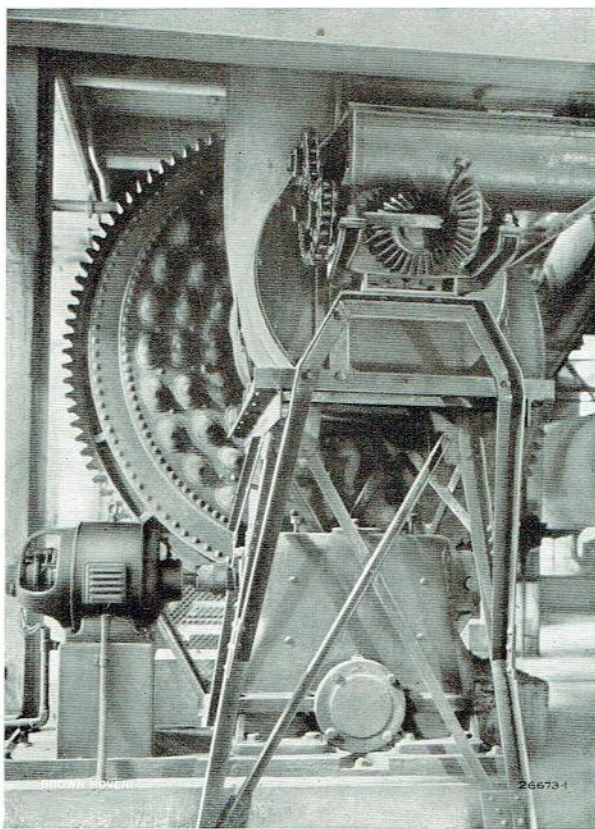


Abb. 28. Antrieb einer Trockentrommel.

hältnismässig hohen Anzahl von Rädern, was aber die Anlage verteuert, wird beim elektrischen Antrieb stets noch ein Präzisions-Zahnradgetriebe zwischengeschaltet. Der Anlasser, der auch den Statorschalter, das Ueberstromrelais und den Strommesser enthält, wird an den Motor angebaut, sodass zu seiner In- und Ausserbetriebnahme nur ein Handrad nach rechts oder links gedreht zu werden braucht. Noch etwas einfacher wird die Bedienung bei Verwendung eines Motors mit Zentrifugalanlasser, in welchem Falle lediglich der Motorschalter zu schliessen oder zu öffnen ist.

Das Turbogebläse passt sich dank seiner Eigenart selbsttätig den jeweiligen Betriebsverhältnissen an, sodass eine Drehzahlregulierung im allgemeinen nicht erforderlich ist. Es ist

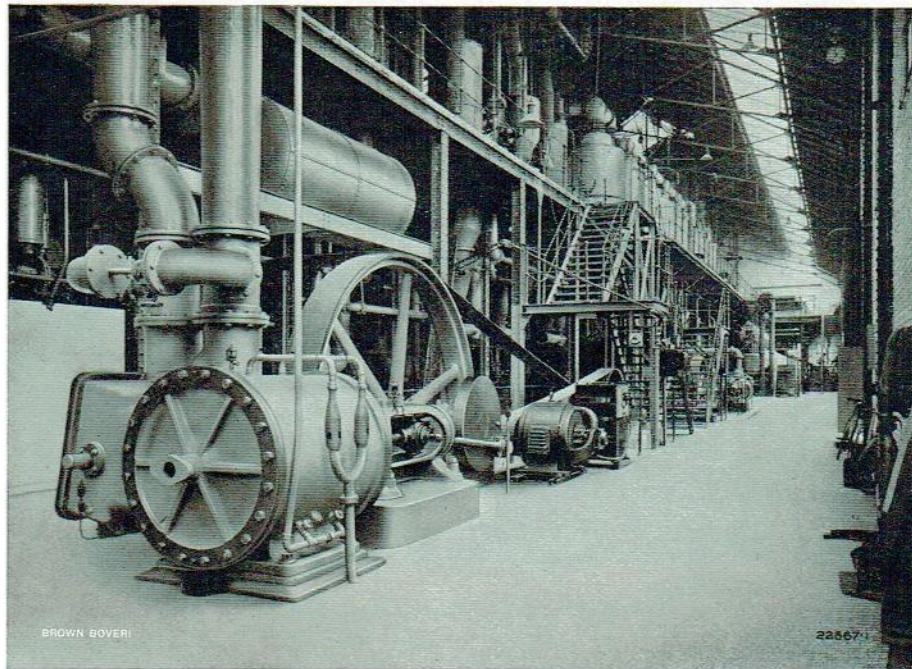


Abb. 29. Riemenantrieb eines Kolbenkompressors.

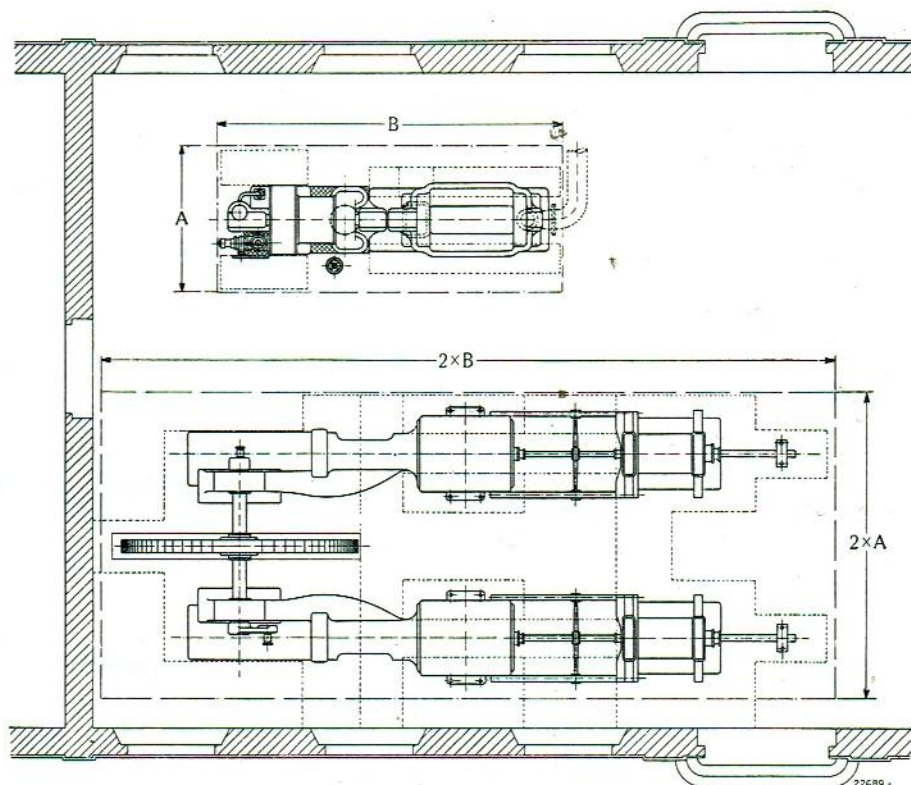


Abb. 30. Vergleich des Raumbedarfs eines Turboverdichters mit demjenigen eines Kolbenverdichters gleicher Leistung.

nicht nur in dieser Beziehung dem Kolbengebläse überlegen, sondern auch durch den Umstand, dass das Gas vollständig ölfrei bleibt und der Enddruck keinen gefährlichen Wert annehmen kann.

Der Möglichkeit einer Verschmutzung der Gaswege durch mitgerissene Flugasche begegnet man in einfacher Weise

durch periodisches Einspritzen von Wasser, das an der tiefsten Stelle des Gebläses durch Entwässerungshähne wieder abgelassen wird. Dieses Verfahren hat sich aufs beste bewährt. In der Tat ist der A.-G. Brown, Boveri & Cie. während ihrer mehr als zwanzigjährigen Tätigkeit im Bau von Gebläsen noch nie der Fall vorgekommen, dass die Gaswege infolge Verschmutzung in unzulässiger Weise verengt oder gar die inneren Teile des Gebläses durch mitgerissene Aschenteilchen anormal abgenutzt worden wären. Da manchmal in dieser Hinsicht gegen die Verwendung von Turbogebläsen Bedenken geäußert werden, trotzdem Kolbengebläse gegen Verschmutzung naturgemäss viel empfindlicher sind, sei auf diese Tatsache noch besonders hingewiesen.

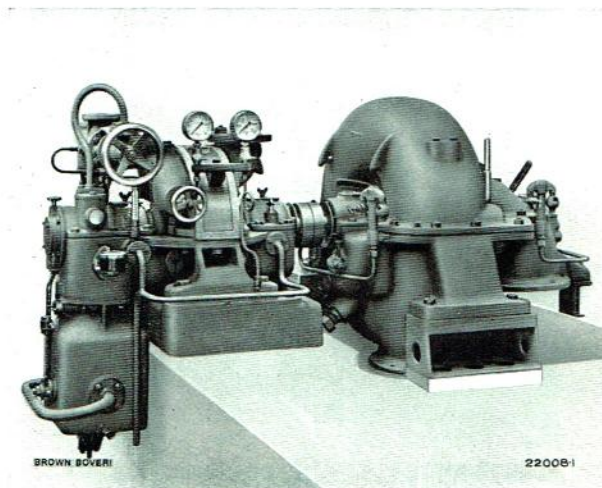


Abb. 32. Turbogebläse, gebaut für $135 \text{ m}^3/\text{min}$, $1,3 \text{ kg/cm}^2$ abs, bei Drehzahl 5000, angetrieben durch eine Gegendruck-Aktionsturbine.

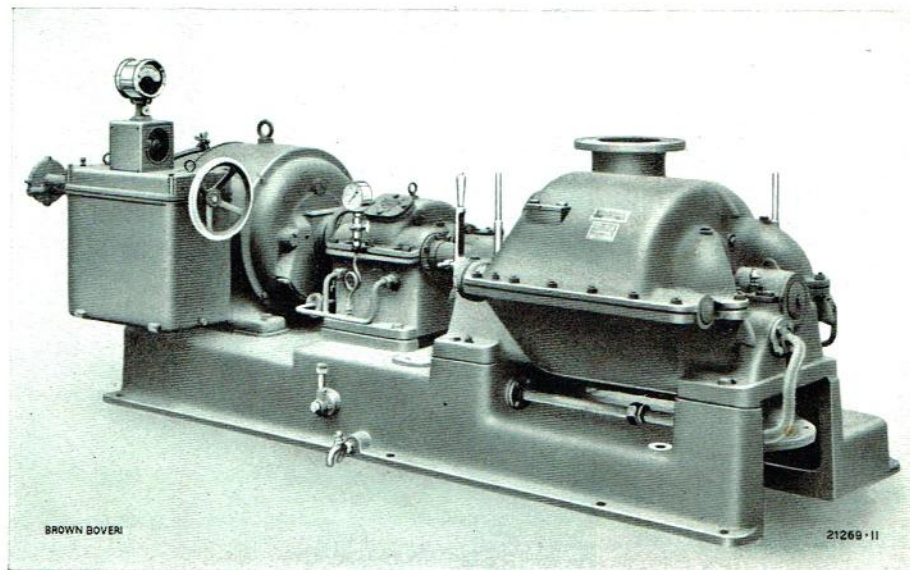


Abb. 31. Turbogebläse, gebaut für $80 \text{ m}^3/\text{min}$, $1,5 \text{ kg/cm}^2$ abs, bei Drehzahl 5000, angetrieben durch Dreiphasenmotor mit Zahnradvorlege.

Die Zentrifugen oder Schleudern werden sowohl zur Herstellung des Rohzuckers als auch der verschiedenen Arten von Gebrauchszucker verwendet. Mit Ausnahme der Adant- und Brode-Zentrifugen, die als stehende Zentrifugen gebaut werden, benutzt man in Zuckerfabriken heute wohl ausnahmslos Pendelzentrifugen (Weston-Zentrifugen).

Für die eigenartige Betriebsweise der Zentrifugen, die jede Stunde 8 bis 15 und selbst mehr Spiele auszuführen haben, er-

wies sich der ursprünglich angewendete Riemenantrieb von einer für die ganze Zentrifugenbatterie gemeinsamen Transmission aus als nicht brauchbar. Die Riemen leiden nicht nur infolge des Gleitens während der langen Anlaufdauer, sondern auch wegen der feuchtwarmen Atmosphäre überhaupt. Die Anlaufdauer wird mit der Zeit länger und länger, die Qualität des Zuckers dadurch schlechter und die beständigen Schwierigkeiten mit dem

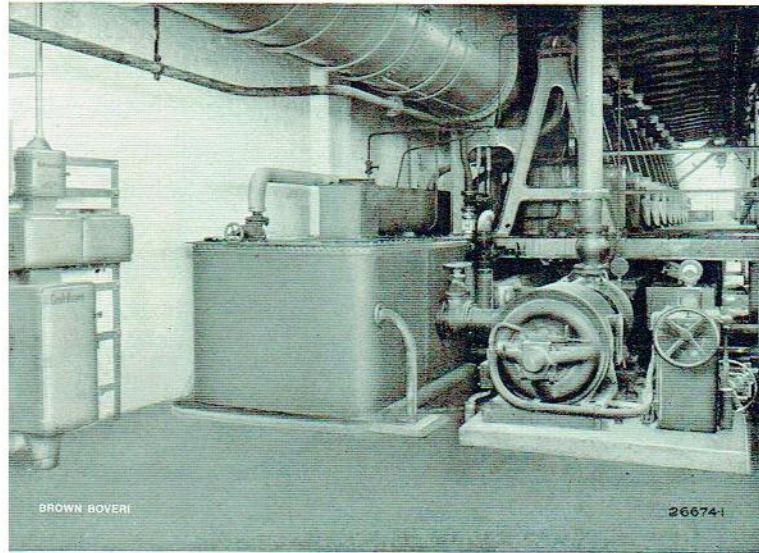


Abb. 33. Zentrifugenstation mit Druckwasserantrieb.
Zentrifugal-Druckwasserpumpe, angetrieben durch direkt gekuppelten Dreiphasenmotor von 100 kW Leistung, Drehzahl 1500.

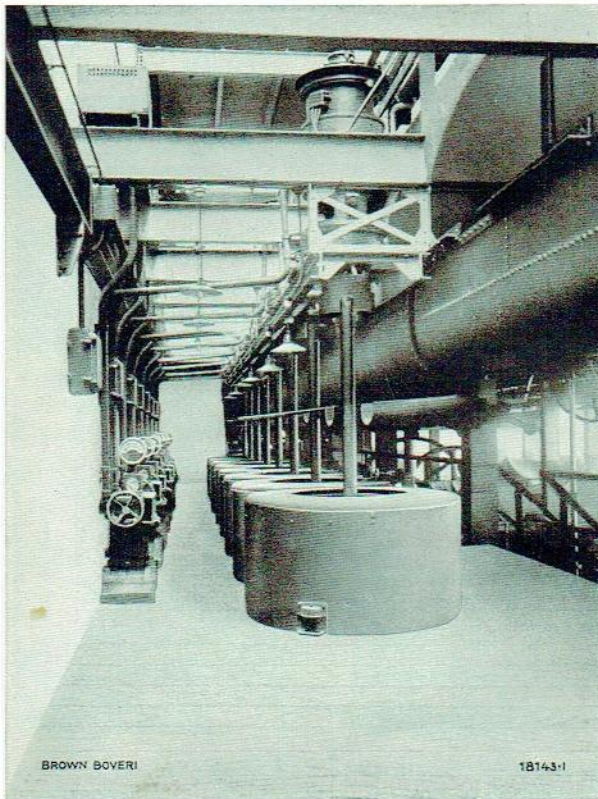


Abb. 34. Westonzentrifugen, angetrieben durch vertikale Dreiphasenmotoren mit Schleifringrotor und getrennten Rotoranlassern.

Riemen lassen trotz angestrengter Wartung Betriebsstörungen nicht vermeiden.

Offenbar war es die Erkenntnis, dass sich der Betrieb der Zentrifugen durch den Einzelantrieb wesentlich verbessern lasse, die zur Einführung des Wasserturbinenantriebes führte (Abb. 33). In der Tat hat dieser Antrieb Vorzüge, die sich dadurch ergeben, dass praktisch in keinem seiner Teile eine Abnutzung auftritt. Dagegen braucht er ausserordentlich viel Wasser, besonders dann, wenn eine kurze Anlaufzeit eingehalten werden soll. Er ist also sehr unwirtschaftlich. Störungen sind möglich, wenn gleichzeitig mehrere Zentrifugen anlaufen und die verfügbare Wassermenge dafür nicht ausreicht. Nicht unbedenklich ist die Eigenschaft der Wasserturbine, dass ihre Drehzahl einerseits von Wasserdruck und -Menge, andererseits von der Belastung stark abhängt. Es ist deswegen nicht nur schwierig, die Drehzahl genau auf den richtigen Wert einzustellen,

sondern es ist ausserdem möglich, dass, wenn durch Versagen des Regulators das Anlassventil nicht rechtzeitig schliesst, der Zentrifuge eine unzulässig hohe Drehzahl erteilt wird und sie, was schon vorkam, durch übermässige Fliehkraft zertrümmert wird.

Die Durchbildung eines brauchbaren elektrischen Zentrifugenantriebes hat lange Zeit Schwierigkeiten bereitet. Der Motor mit Schleifringanker (Abb. 34), der sich diesen Arbeitsbedingungen sehr gut anpassen lässt, erwies sich wegen der umständlichen Bedienung des Anlassers, die den Arbeiter zu sehr von der Bedienung der Zentrifuge ablenkt, als ungeeignet. Der Motor mit Kurzschlussrotor dagegen, den man an seiner Stelle verwendet, ist bei den Zentrifugen der in Zuckerfabriken üblichen Grössen nicht imstande, die Hauptaufgabe des Antriebes, nämlich die immer wiederkehrende Beschleunigung der Trommel auf die Schleuderdrehzahl, von sich allein aus zu bewältigen, sondern benötigt die Verwendung einer Schleifkupplung. Dies hat darin seinen Grund, dass der Kurzschlussankermotor beim Einschalten den dreieinhalb- bis fünffachen Strom aufnimmt, der erst während des Anlaufens allmählich auf seinen normalen Wert fällt. Da die Erwärmung des Motors mit dem Quadrat des Stromes ansteigt, würde durch die

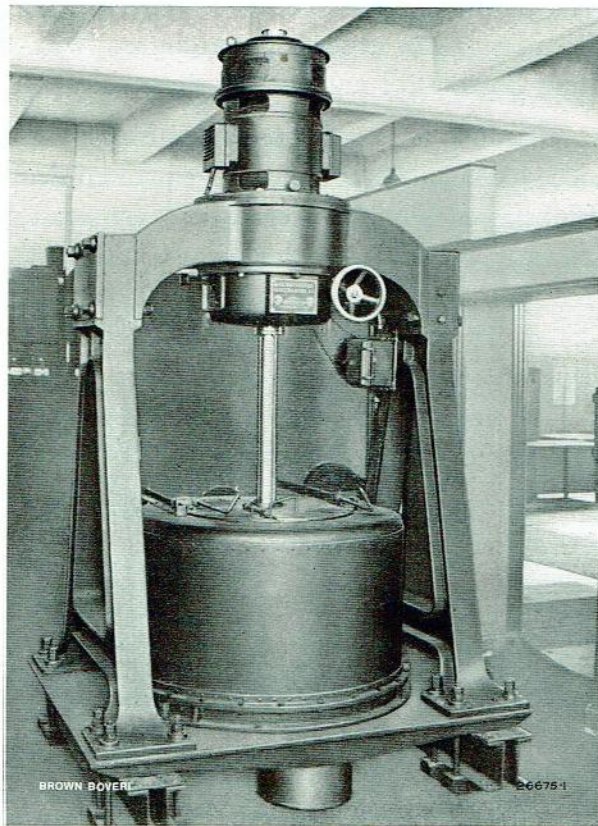


Abb. 35. Westonzentrifuge mit angebaurem, über direkt mitnehmende Kupplung treibenden Dreiphasenmotor mit Zentrifugalanlasser.

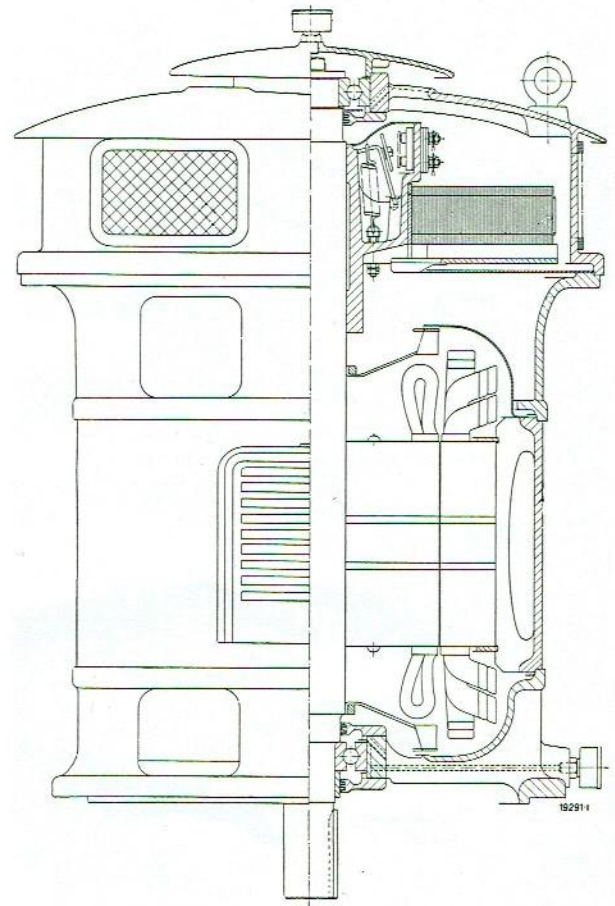


Abb. 36. Vertikaler Dreiphasenmotor mit Zentrifugalanlasser Type MZ, für den Antrieb von Zentrifugen.



Abb. 37. Kontaktbolzen und Teller eines Motors mit Zentrifugalanlasser für Zentrifugenantriebe nach etwa 100 000 Schaltungen.

häufigen, minutenlang dauernden Anläufe der Motor unzulässig heiss werden. Die Schleifkupplung gestattet aber dem Motor, zunächst allein anzulaufen, während die Zentrifuge selbst nach und nach durch die Reibung der Schleifbacken an der getriebenen Kuppelungshälfte mitgenommen wird. Selbstverständlich wird die Kupplung durch diese grosse Reibungsarbeit hoch beansprucht und nutzt sich dementsprechend ab. Wenn man im Interesse eines ungestörten Betriebes die Schleifbacken nicht in ganz kurzen

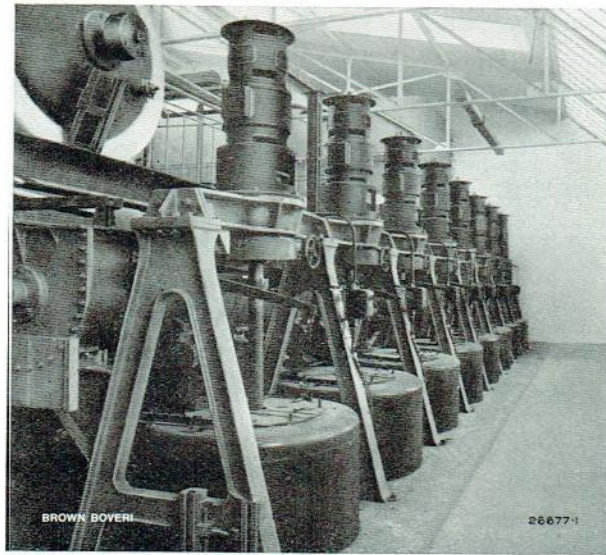


Abb. 39. Zentrifugenstation mit Einzelantrieben durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser (ältere, höhere Bauart).

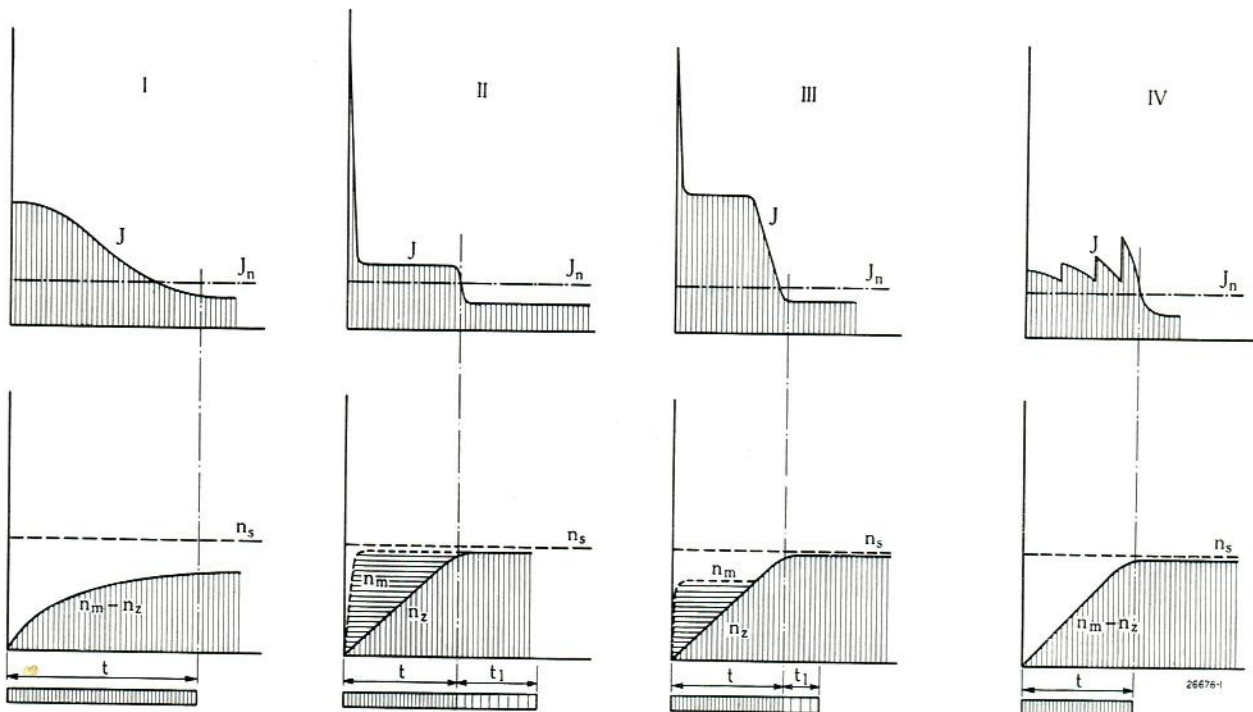


Abb. 38. Vergleich der Anlaufkurven bei verschiedenen Arten des elektrischen Antriebes von Zentrifugen.

J = Vom Motor aufgenommener Strom. n_m = Drehzahl des Motors. n_s = Synchrone Drehzahl des Motors. t_1 = Verlängerung der Anlaufdauer bei Verschleiss der Kupplung.
 J_n = Nennstrom des Motors. n_z = Drehzahl der Zentrifuge. t = Anlaufdauer.
 I = Schleifringankermotor mit festem Schlupfwiderstand, ohne Schleifkupplung.
 II = Kurzschlussankermotor mit Schleifkupplung, eingestellt auf Mitnahme der Zentrifuge bei voller Drehzahl.
 III = Kurzschlussankermotor mit Schleifkupplung, eingestellt auf Mitnahme der Zentrifuge bei rund 70 % Motordrehzahl.
 IV = Zentrifugenmotor Type MZ mit Zentrifugalanlasser, ohne Schleifkupplung.

Zeitabständen auswechseln will, so muss man damit rechnen, dass die Anlaufdauer in wenigen Betriebswochen ganz erheblich verlängert wird. Was das für den Betrieb bedeutet, weiss jeder Zuckerfachmann. Nicht nur wird die Ausnützung der Zentrifugenanlage stark vermindert, sondern auch die Qualität des Zuckers wird unter Umständen durch den langen Anlauf verschlechtert, weil die Masse zum Teil verkrustet, bevor sie sich richtig an der Wandung der Zentrifuge verteilt hat. Dazu kommt, dass, wenn die Schleifstücke der Kupplung nicht gleich schwer sind, die ungleichmässige Mitnahme ein Pendeln der Zentrifuge hervorrufen kann, wodurch nicht nur der Betrieb empfindlich gestört, sondern auch das Personal gefährdet wird.

Um die Stromaufnahme beim Anlauf zu vermindern und somit die Zentrifuge über eine direkt wirkende Kupplung antreiben zu können, trotzdem aber die Bedienung einfach zu gestalten, hat man auch Motoren mit erhöhtem Widerstand im Rotorkreis, und

zwar sowohl Kurzschlussanker- als Schleifringankermotoren, angewendet. Da mit der Vergrösserung dieses Widerstandes wohl der Strom kleiner wird, aber auch das Drehmoment im oberen Drehzahlbereich stark abfällt, wird die Anlaufdauer wesentlich länger. Infolge des dauernd eingeschalteten Widerstandes kann die volle Schleuderdrehzahl nicht erreicht und somit auch die volle Schleuderwirkung nicht erzielt werden. Ein befriedigendes Arbeiten lässt sich

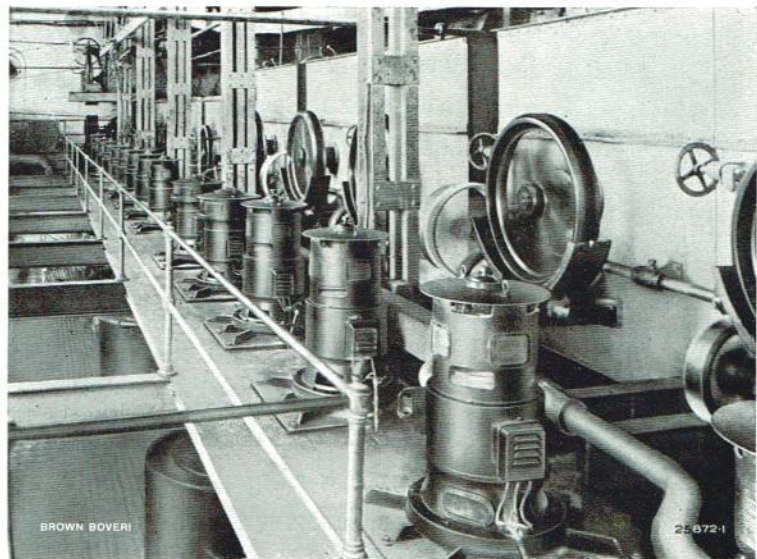


Abb. 40. Zentrifugenstation mit Einzelantrieben durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.

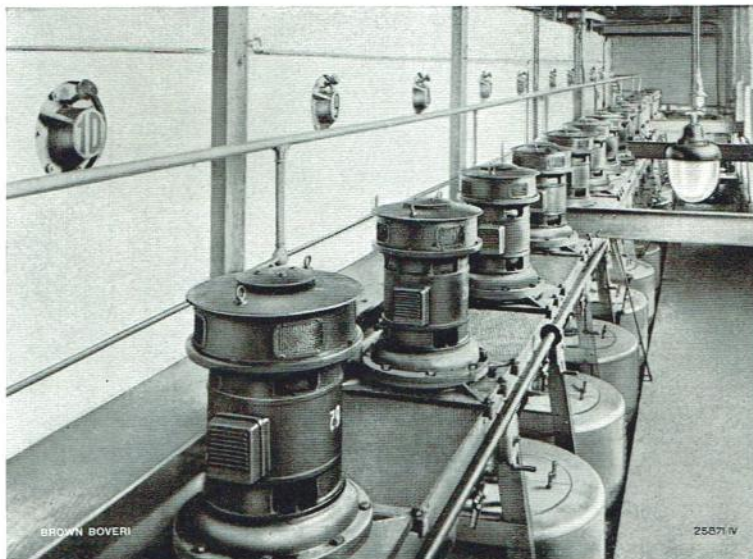


Abb. 41. Zentrifugenstation mit Einzelantrieben durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.

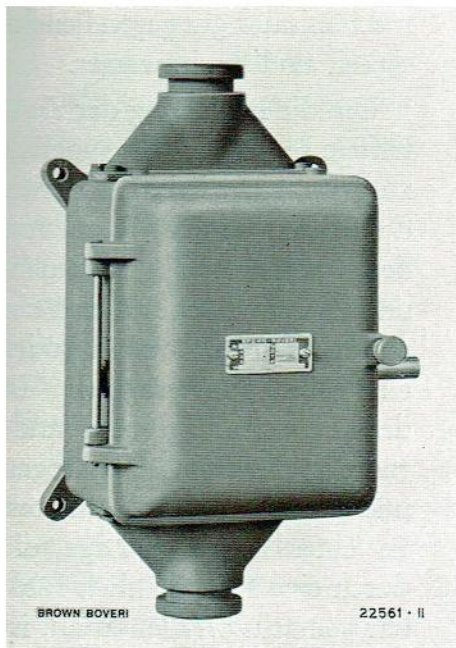


Abb. 42. Zentrifugenschalter mit Hammerkontakten für hohe Schaltfrequenz.

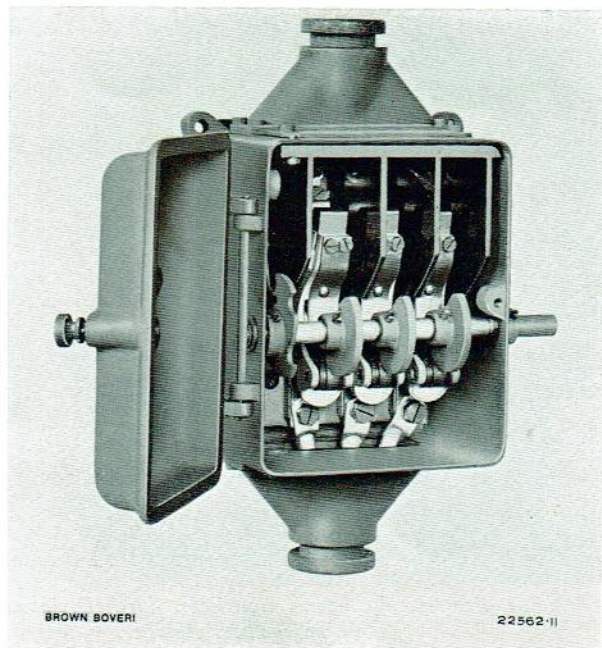


Abb. 43. Zentrifugenschalter mit Hammerkontakten für hohe Schaltfrequenz (geöffnet).

also auch mit diesem Antrieb nicht erreichen. — Brown Boveri hat nach langen und sorgfältigen Versuchen den Motor mit Zentrifugalanlasser (vergl. S. 9) auch für Zentrifugenantrieb durchgebildet und damit einen Antrieb geschaffen, der tatsächlich die Bedingungen, die hier gestellt werden, voll und ganz erfüllt. Der Motor wird, so einfach wie man etwa eine Glühlampe bedient, durch blosses Schliessen des Schalters angelassen. Der auf der Welle befestigte Anlasswiderstand wird durch die kräftigen Fliehkraftschalter selbsttätig in dem Masse kurz geschlossen, als die Drehzahl ansteigt. Der Anlaufstrom beträgt im Mittel nur etwa das 1,6-fache des der Nennleistung entsprechenden Wertes. Er belastet weder die Zentrale ungünstig, noch ist er dem Motor selbst schädlich. Der Motor entwickelt ein kräftiges Drehmoment bereits vom Stillstand aus und beschleunigt die Zentrifuge auch ohne Verwendung einer Schleifkupplung in kürzester Zeit auf die volle Schleuderdrehzahl. Die überschüssige Anlaufenergie wird im Anlasswiderstand elektrisch, somit ohne Abnutzung, in Wärme umgesetzt, sodass die Anlaufdauer Spiel für Spiel gleich bleibt. Die Zentrifuge arbeitet daher immer gleichmässig mit ihrer grösstmöglichen Leistungsfähigkeit, und die Güte ihres Produktes wird ebenfalls stets dieselbe bleiben (Abb. 34 bis 41).

Der für die Zentrifugenantriebe verwendete Manövrierschalter ist mit Hammerkontakten versehen, da sich diese Kontakte für grosse Schaltfrequenzen am besten bewährt haben (Abb. 42-43). Sie werden durch unrunde Scheiben der Schalterwelle abgehoben und durch kräftigen Federdruck aufgelegt. Das gusseiserne Gehäuse schützt die Schalt-

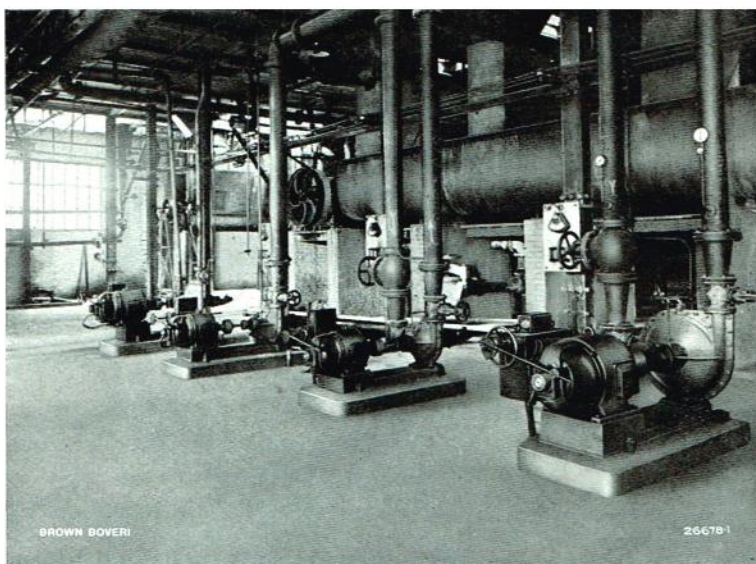


Abb. 44. Zentrifugalpumpen, angetrieben durch Dreiphasenmotoren mit angebautem Anlasser.

aber noch ausgeschaltet. Die Zentrifuge kann also von der Hand gefahrlos gedreht werden. In der rechten Endlage wird der Schalter eingelegt und der Motor in Betrieb gesetzt. Zum Abstellen ist lediglich das Handrad ganz nach links zurückzudrehen und die Zentrifuge wird durch die Bandbremse rasch stillgesetzt.

Derartige Antriebe sind bereits in grosser Zahl in Betrieb und haben sich, zum Teil bereits seit Jahren, bestens bewährt. Eine Zuckerfabrik, die mehrere solcher Antriebe besitzt, urteilt hierüber folgendermassen:

«... Die Motoren besitzen folgende Vorzüge: einen kleinen Stromverbrauch bei sehr grosser Beschleunigung, einfache Bedienung und vollständig ruhigen Lauf ohne nennenswerte Erwärmung des Motors.

«Trotz der Anwendung von Motoren mit einer verhältnismässig sehr kleinen Leistung sind wir imstande, den Schleuderprozess bedeutend zu beschleunigen, da die Dauer einer Charge bei gutem Rohzucker

mechanismen gut gegen Feuchtigkeit und Spritzwasser.

Um die Bedienung der Zentrifuge so bequem als möglich zu gestalten, wird der Antrieb des Schalters in der Regel von der Bremswelle abgenommen, und zwar entweder durch ein einfaches Hebelsystem oder eine Kettenübertragung. In der linken Endlage des Handrades ist die Bremse angezogen und der Schalter ausgeschaltet. In einer mittleren Lage, die durch eine Rast deutlich fühlbar gemacht werden kann, ist die Bremse gelöst, der Motor

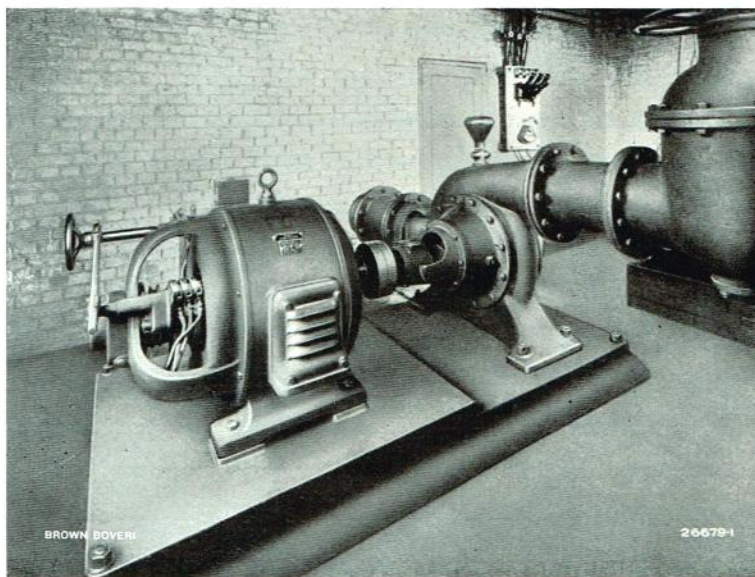


Abb. 45. Pülpepumpe, angetrieben durch Dreiphasenmotor mit angebautem Anlasser.

im ganzen vier Minuten beträgt. Oefters sind wir sogar bis auf 16 Chargen pro Stunde gelangt. Da wir sehr grosse Zentrifugen mit 52" Durchmesser besitzen, ermöglichte uns dies, die Ausbeute der Zentrifugen bedeutend zu erhöhen, ohne dass die Tourenzahl der Zentrifugen dabei erhöht wurde.

«Wir betonen, dass wir keine künstliche Kühlung der Motoren durch zusätzliche Ventilatoren verwenden.»

In Raffinerien verwendet man Weston-Zentrifugen zur Herstellung des reinweissen und gebrauchsfertigen Pilé-Zuckers. Pilé-Zucker kommt entweder so, wie er aus der Zentrifuge herausgebrochen wird, d. h. in unregelmässigen Stücken, in den Handel oder er wird zu Würfelzucker, Zuckerhüten (Broden) oder verschieden feinem Griesszucker oder Staubzucker weiter verarbeitet. Zur Erzeugung des Würfelzuckers wird Pilé-Zucker nochmals gelöst und in den Adantzentrifugen, welche radial angeordnete plattenartige

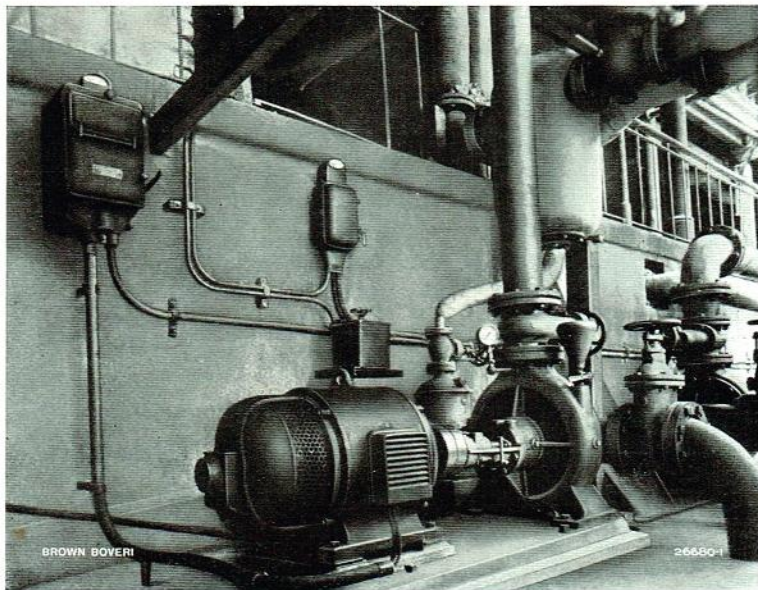


Abb. 47. Zentrifugalpumpe, angetrieben durch einen Dreiphasenmotor mit Zentrifugalanlasser.

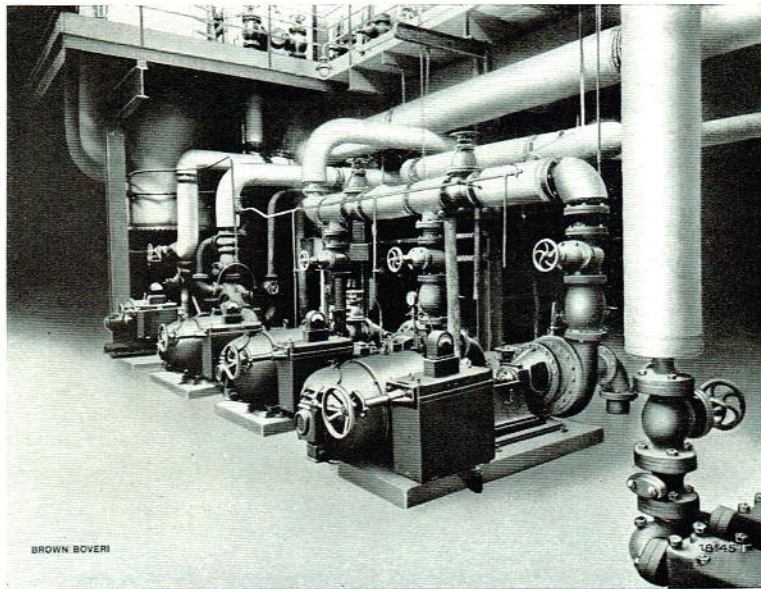


Abb. 46. Pumpenstation mit Antrieb durch tropfwassergeschützte Dreiphasenmotoren mit angebauten Anlassern.

Formen enthalten, geschleudert. Die Scheiben werden nachher mit Sägen in Stangen oder Würfel geschnitten. Zur Herstellung der Zuckerhüte wird der gelöste Weisszucker in entsprechende Formen eingegossen, die in den Brode-Zentrifugen geschleudert werden. Die Brode werden nachher getrocknet und auf Fräsmaschinen sauber bearbeitet.

Adant- und Brodezentrifugen werden, wie schon erwähnt, meistens in stehender Bauart ausgeführt. Der Antrieb erfolgt dabei von unten und

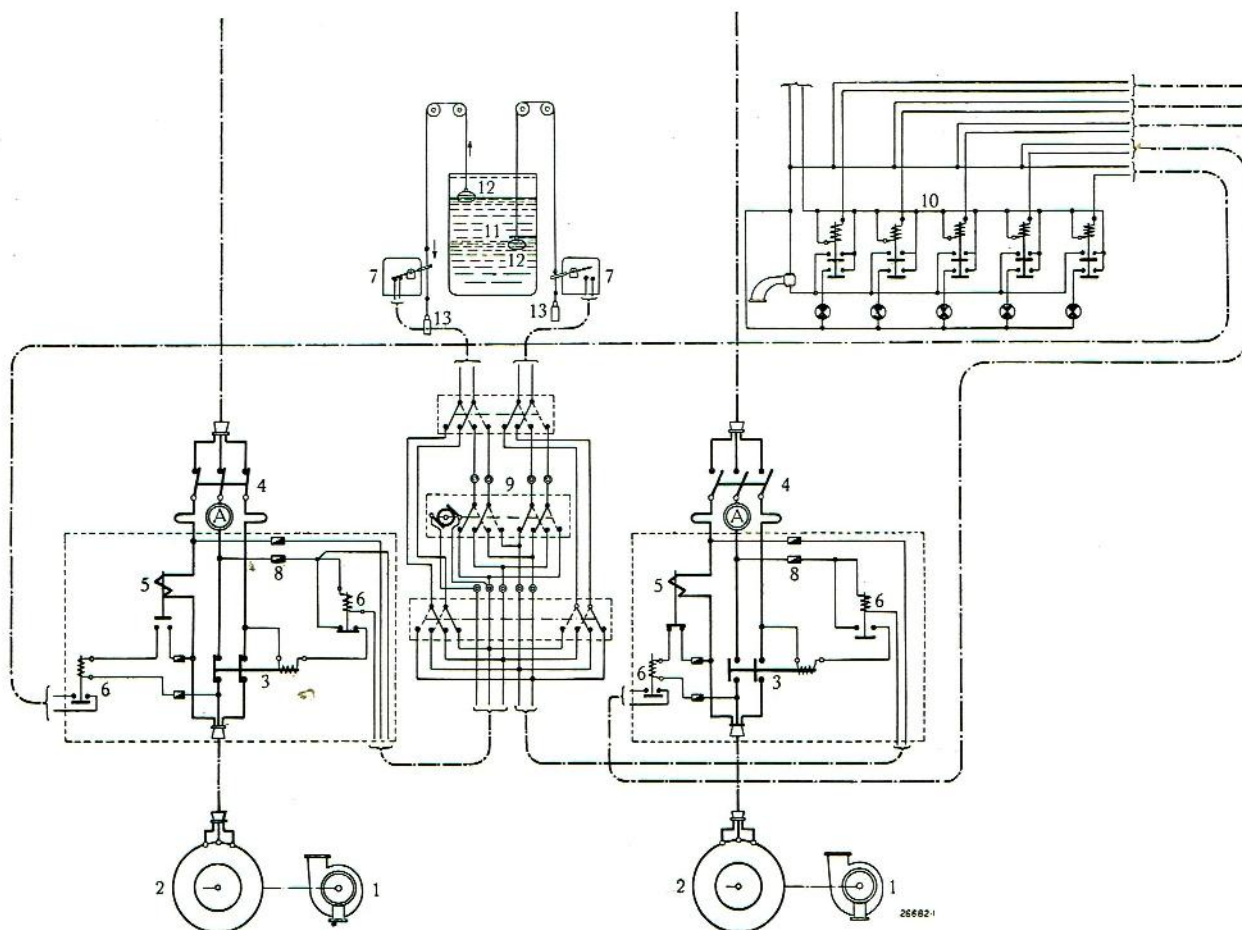


Abb. 48. Pumpenanlage mit zwei selbsttätig gesteuerten Pumpen für verschiedene Niveauhöhen, Zeitumschaltung und Alarmvorrichtung.

1 = Pumpen.
2 = Dreiphasenmotoren mit Kurzschlussanker oder Zentrifugalanlasser.
3 = Schütze.

4 = Schaltkasten mit Paketwärmeauslöser und Stromzeiger.
5 = Minimalstromrelais.
6 = Kontaktrelais.

7 = Kippschalter.
8 = Sicherungen.
9 = Umschalter mit einstellbarer selbsttätiger Uhrwerks- sowie Handbetätigung.

10 = Alarmvorrichtung mit Licht- und Hupensignal.
11 = Wasserbehälter.
12 = Schwimmer.
13 = Gegengewichte.

zwar in der Regel durch Schleifringankermotoren. Die etwas umständlichere Bedienung spielt hierbei keine Rolle, weil die Spieldauer bei diesen Zentrifugen wesentlich länger ist. Sie dauert bei grossen Brode-Zentrifugen bis zu 30 Minuten und noch mehr.

Pumpen werden in Zuckerfabriken in grosser Zahl verwendet. Mehr als die Hälfte der gesamten, für die Antriebe aufgewendeten Energie entfällt auf Pumpen. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, dass die Menge der Abwässer je täglich verarbeiteter Tonne Rüben bis zu zehn Kubikmeter betragen kann.

Die Kolbenpumpe ist bis auf wenige Ausnahmen vollständig von der Kreiselpumpe verdrängt worden. Auch hier vollzog sich die Umstellung unabhängig von der rein zahlenmässigen, als das Verhältnis der Nutzarbeit zur zugeführten Arbeit errechneten Wirtschaftlichkeit. Wohl haben Kreiselpumpen einen geringeren Wirkungsgrad, aber sie brauchen wenig Unterhalt, lassen sich mit den Motoren zu gefälligen, verhältnismässig kleinen Gruppen zusammenbauen und sind ausserdem wesentlich billiger als Kolbenpumpen.

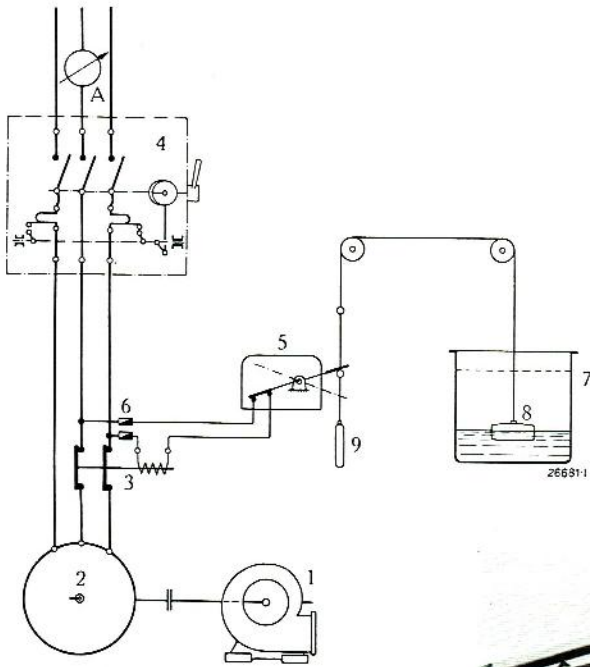


Abb. 49. Schaltungsschema für die selbsttätige Steuerung eines Pumpenantriebes.

- 1 = Pumpe.
- 2 = Dreiphasenmotor mit Kurzschlussrotor oder Zentrifugalanlasser.
- 3 = Schütz.
- 4 = Schaltkasten mit Paketwärmeauslöser u. Stromzeiger.
- 5 = Kippschalter.
- 6 = Sicherungen.
- 7 = Wasserbehälter.
- 8 = Schwimmer.
- 9 = Gegengewicht.

Für die Wasserhaltung ist für gewöhnlich eine eigene, selbsttätig wirkende Pumpstation nötig. Hierfür eignen sich Motoren mit Kurzschlussanker oder Zentrifugalanlasser besonders gut, weil in diesem Fall die für die selbsttätige Steuerung benötigten Schaltapparate sehr einfach werden. Das grundsätzliche Schema einer derartigen Anlage zeigt Abb. 49. Ein Schwimmer, eingesetzt in den von der Pumpe aufzufüllenden Druckbehälter, schliesst bei tiefstem Wasserstand einen Kippschalter, durch den ein Schütz, das in

Im eigentlichen Fabrikationsbereich verwendet man Pumpen hauptsächlich für die Förderung der Säfte. Die Motoren werden mit den Kreispumpen gekuppelt und auf gemeinsamer Grundplatte zusammengebaut. Der Motor erhält, sofern er mit Schleifringanker ausgeführt ist, angebauten Anlasser, sodass er sehr einfach zu bedienen ist. In neuerer Zeit verwendet man für die hier vorkommenden Leistungen Motoren mit Zentrifugalanlasser, die noch einfacher zu bedienen und zudem auch billiger sind. (Abb. 44 bis 50.)

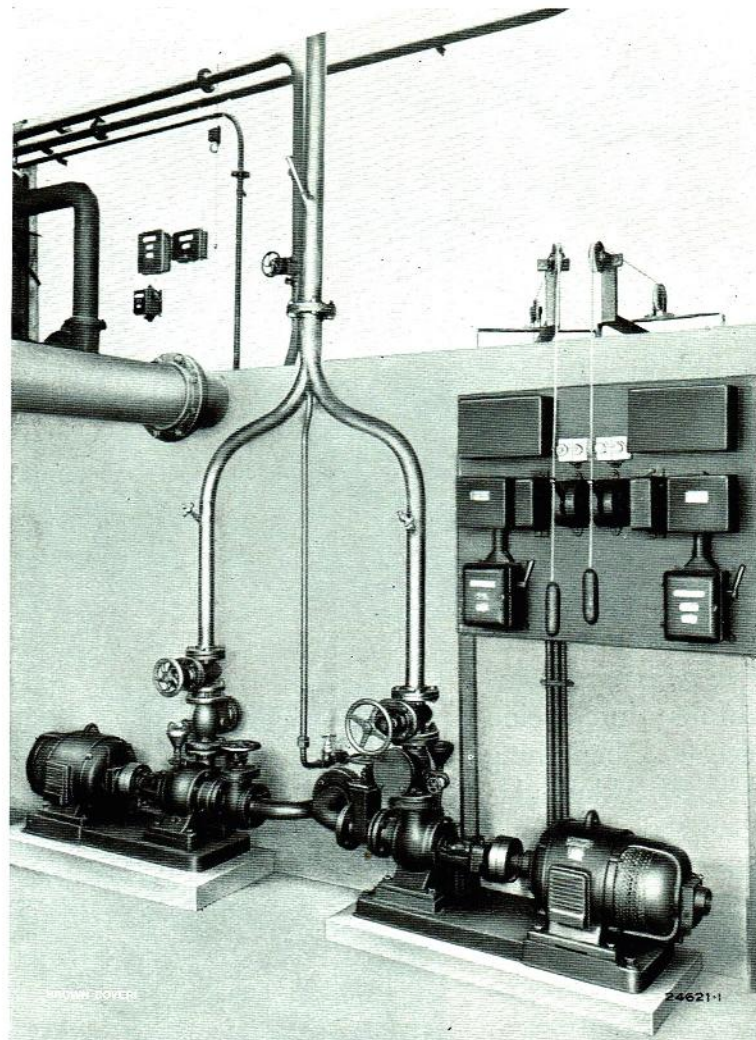


Abb. 50. Selbsttätige Wasserhaltungsanlage mit zwei Zentrifugalpumpen, angetrieben durch Motoren mit Zentrifugalanlasser.

der Zuleitung zum Motor liegt, eingeschaltet wird; der Motor läuft an und die Pumpe fördert Wasser in den Behälter. Ist der obere Wasserspiegel erreicht, so wird der Hauptschalter geöffnet, das Schütz schaltet aus und die Pumpe wird abgestellt. Sobald der tiefste Wasserstand wieder erreicht ist, wiederholt sich das Spiel von neuem.

In grossen Wasserhaltungsanlagen, wo es auf unbedingte Zuverlässigkeit ankommt, wie es eben für Zuckerfabriken zutrifft, wird man besser zwei Pumpengruppen nebeneinander schalten. Stellt man die selbsttätige Steuerung der Antriebsmotoren auf verschiedenen Wasserstand ein, so wird gewöhnlich nur die eine Pumpe arbeiten und die zweite nur dann, wenn infolge einer übergrossen Wasserentnahme auch der eingestellte untere Wasserstand unterschritten wird. Damit beide Gruppen trotzdem möglichst gleichmässig benutzt werden, kann man mit einem Zeitemschalter in gewissen regelmässigen Zeitabständen von einer Gruppe auf die andere selbsttätig umschalten. Diese Umschaltung kann auch von Hand vorgenommen werden. Zweckmässigerweise wird man auch eine Alarmvorrichtung vorsehen, um anzuzeigen, wenn die Pumpe nicht ansaugt; diese Einrichtung besteht aus einem Minimalstrom- oder Minimalleistungsrelais, das bei leerlaufendem Motor den Stromkreis der Einschaltspule eines Spannungsrelais schliesst, wodurch das Signal ausgelöst wird. Ein Schema einer derartigen industriellen Wasserhaltung zeigt Abb. 48. Auf diese Weise lässt sich der Betrieb der Wasserhaltung fast vollständig automatisieren.

Transportanlagen. Für die An- und Abfuhr der Güter kommen je nach der jeweils gestellten Aufgabe die verschiedenartigsten Betriebsmittel in Frage. Werden die Rüben und Kohlen per Bahn angeliefert, so wird in vielen Fällen die Verwendung einer kleinen elektrischen Lokomotive angebracht sein. Derartige Lokomotiven kann man mit Drehstrombetreiben, doch

zieht man wegen der einfacheren Oberleitung Gleichstrom oder Einphasenstrom vor. Die Verwendung einer Gleichstromlokomotive, sei es mit Stromzufuhr durch eine eigene Oberleitung oder mit Akkumulatorenbetrieb, bedingt meistens die Aufstellung eines eigenen Umformers, da in den wenigsten

Zuckerfabriken Gleichstrom als Primärstromquelle zur

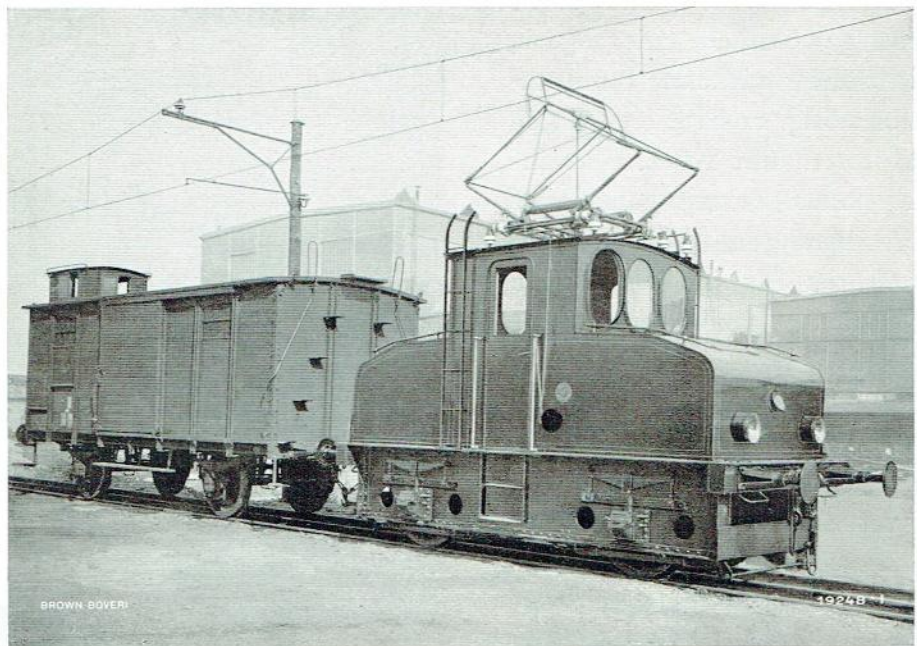


Abb. 51. Industrielokomotive für Einphasen-Wechselstrom.



Abb. 52. Kohlenentladeanlage einer Zuckerfabrik.

Bei kürzerer Geleiseanlage begnügt man sich mit einer Rangierwinde, die, von einem Dreiphasenmotor mit Schleifringanker betrieben, einfach zu installieren und zu bedienen ist.

Verladeanlagen (Abb. 52

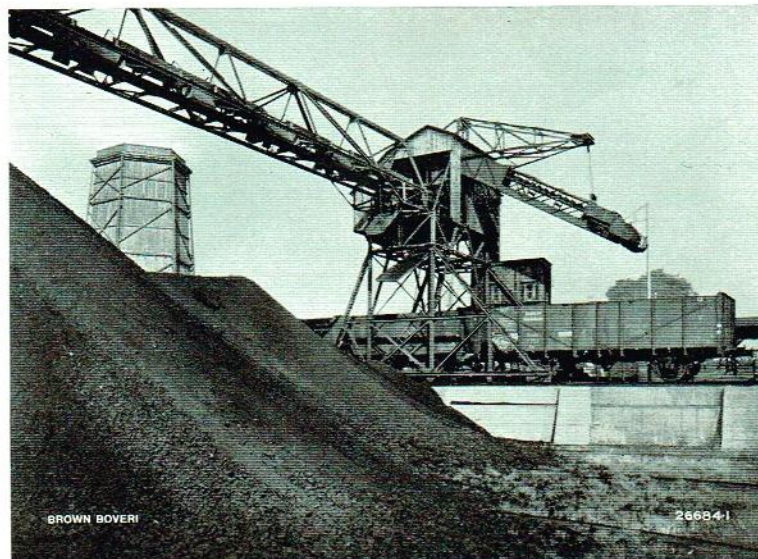


Abb. 53. Kohlenentladeanlage einer Zuckerfabrik.

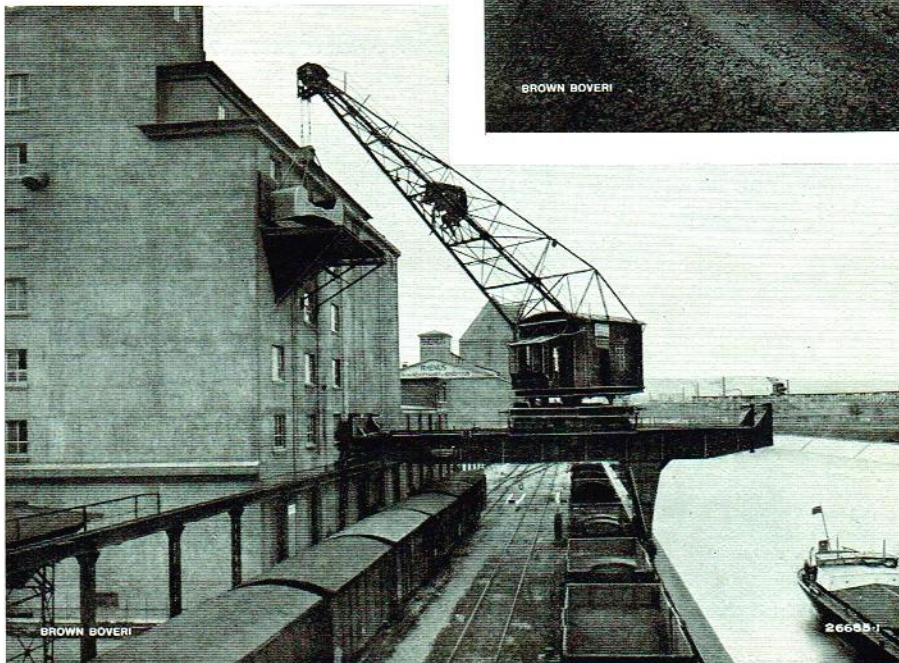


Abb. 54. Schiffs-Verladeanlage.



Abb. 55. Gesamtansicht eines Elfa-Turmes.

Melasse usw. dienen, wie bereits erwähnt, Pumpen als Fördermittel. Bekannt ist auch die mechanische Beschickung und Entleerung von Rübenlagern durch einen Wasserstrahl in der «Elfa-Anlage» (Abb. 55 und 56). Ausserdem kommen im eigentlichen Fabrikationsbetrieb noch verschiedene andere Transportmittel vor, wie Becherwerke, Schüttelrinnen, Schnecken, Transportbänder und dergleichen. Alle diese Vorrichtungen stellen an den elektrischen Antrieb keine besonderen Anforderungen.

bis 54) stellen besondere Ansprüche an die elektrische Einrichtung. Der Einphasen-Kommutatormotor (Abb. 15, S. 11), der wegen seiner Seriecharakteristik ein ausgesprochener Hebezeugmotor ist, hat sich, gesteuert in der Brown Boveri geschützten Sicherheits-Nutsenkbremsschaltung, für derartige Anwendungen am besten bewährt. Hohes Anzugmoment, vollkommen stossfreier Anlauf, grosser Regulierbereich und zuverlässige elektrische Bremsung beim Senken der Last sind Eigenschaften, die die Eignung dieses Motors für den Hebezeugbetrieb deutlich kennzeichnen. Auch für andere Vorrichtungen zur Förderung von Kohle und Zucker wird der Einphasen-Kommutatormotor mit Vorteil verwendet.

Für die Zufuhr der Rüben durch die Rübenschwemmanlage sowie für den Transport der Zuckersäfte, der Kalkmilch, der

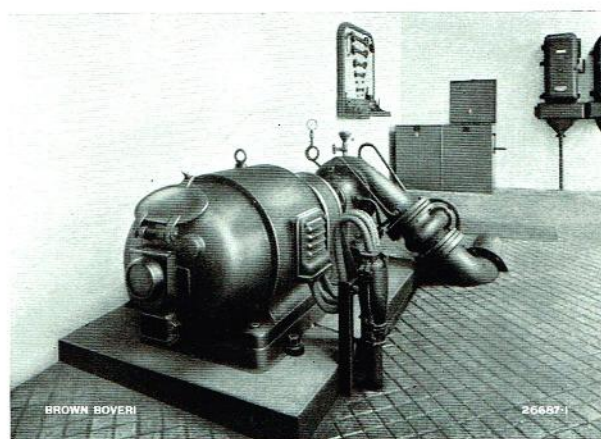


Abb. 56. Elfa-Pumpe, angetrieben durch Dreiphasenmotor mit Zentrifugalanlasser.

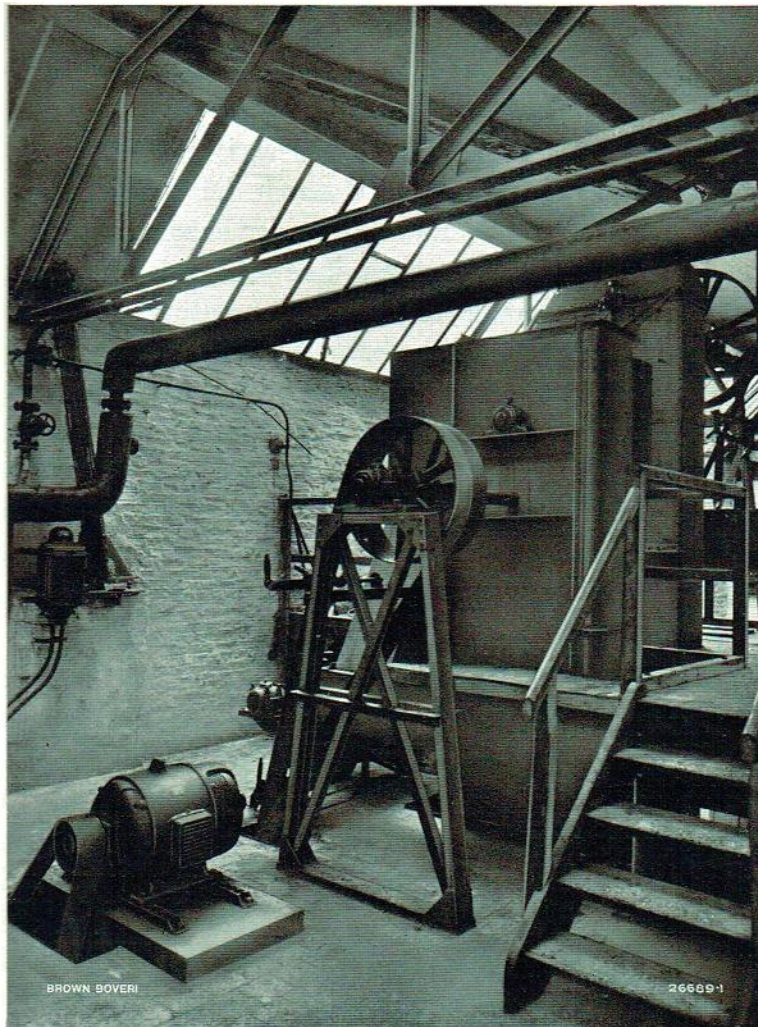


Abb. 57. Becherwerke mit Einzelantrieb durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.

Sie haben selten anzulaufen und arbeiten fast dauernd mit voller Last. Kupplung des Motors mit der anzutreibenden Welle, nötigenfalls unter Zwischenschaltung eines Zahnradgetriebes, ist anzustreben, um Platz zu sparen und die Sicherheit des Personals nicht zu gefährden. Soweit nicht Kurzschlussankermotoren anwendbar sind, können in vielen Fällen Motoren mit Zentrifugalanlasser vorgesehen werden.

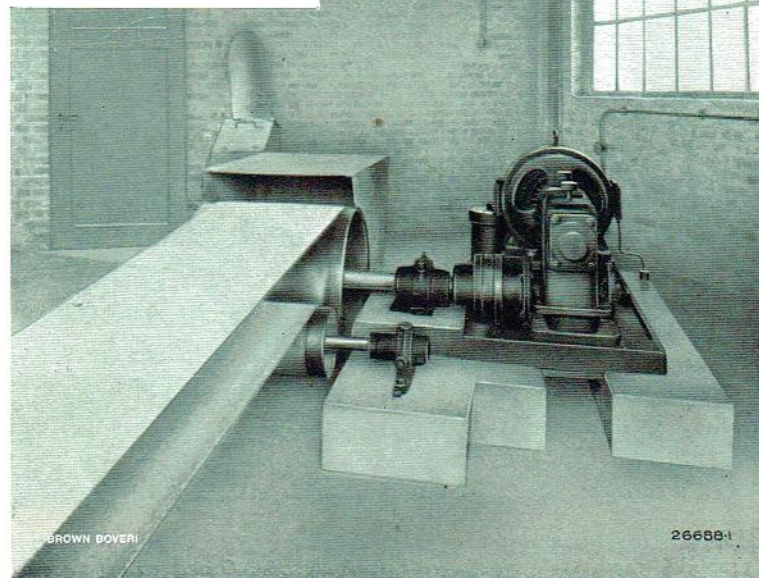


Abb. 58. Transportband, über Schneckengetriebe angetrieben durch Dreiphasenmotor mit Schleifringanker.

B. DIE WÄRMEWIRTSCHAFT UND DIE ELEKTRISCHE ZENTRALE

Der grosse Wärmebedarf einer Zuckerfabrik ermöglicht es, die elektrische Energie als Abfallenergie zu erzeugen. Frischdampf höherer Spannung wird durch die Turbinen geleitet und expandiert dort auf den für die Wärmeanwendungen in der Fabrik erforderlichen Druck. Dabei wird ihm nur ein Bruchteil der gesamten innewohnenden Energie entzogen und nahezu verlustlos in mechanische Energie, die dem Generator zugeführt wird, umgesetzt. Da der ganze Turbinenabdampf im Fabrikationsprozess Verwendung findet, spielt es keine Rolle, in welchem Verhältnis die gewonnene mechanische Energie zu der im Abdampf verbleibenden steht. Diese Art der Krafterzeugung ist daher die denkbar wirtschaftlichste. Die Erzeugungskosten der Kilowattstunde werden auf Beträge herabgesetzt, die mit den sonst üblichen Kondensationsturbinen-Anlagen auch nicht annähernd erzielt werden können.

Bestimmend für die Projektierung der Kesselanlage und Kraftzentrale einer Zuckerfabrik sind der Wärme- und Kraftbedarf der Anlage und die Eigenschaften, die für den Heizdampf gefordert werden. Der Wärmebedarf einer Rübenzuckerfabrik hängt in hohem Masse von den verwendeten Betriebseinrichtungen ab und lässt sich auf Grund der Erzeugungsziffern allein nur annähernd angeben. Während man heute vielfach noch mit einem gesamten Dampfverbrauch von 64 kg je 100 kg Rübenverarbeitung rechnet, ist es in neueren Anlagen gelungen, den Verbrauch bis auf etwa zwei Drittel dieses Wertes herabzusetzen. Die Mittel, die zu einer so starken Ersparnis führen, liegen einestils in

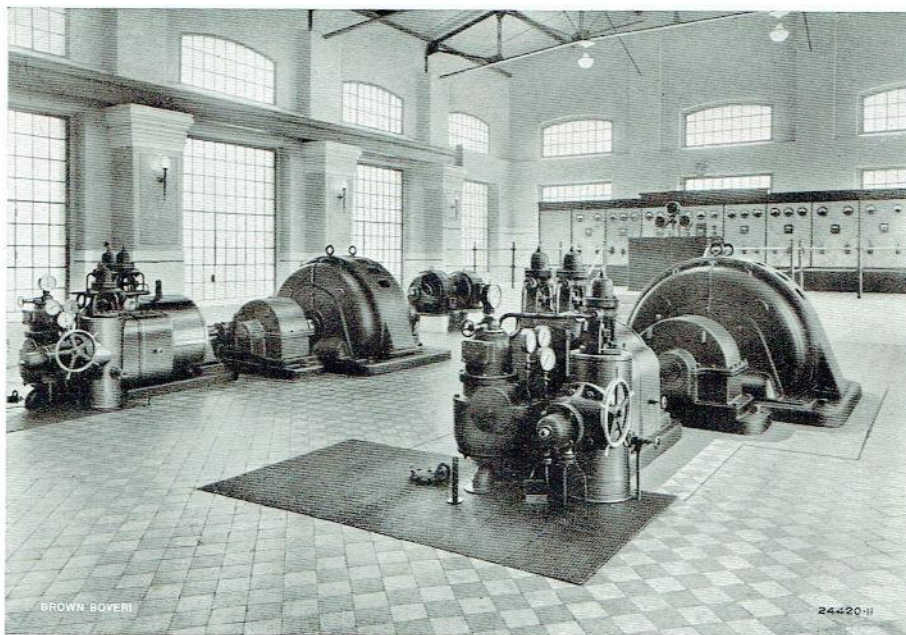


Abb. 59. Kraftstation einer Zuckerfabrik mit zwei Gegendruck-Turbogeneratoren von je 1100 kW, 525 V, 50 Perioden, 16 kg/cm² abs, 280° C und 3,2 kg/cm² eff. Gegendruck.

der Verbesserung der Fabrikationseinrichtungen und in der Anwendung reiner Druckverdampfung in der Verdampferstation, andernteils in der Verminderung der Dampfverluste in den Apparaten und Leitungen. Von grossem Einfluss war die Verminderung der Leitungsverluste, die, abgesehen von der Anwendung besserer Wärmeschutzmittel, auf die Vereinfachung

des Dampfrohrnetzes und die Verkürzung der Dampfwege infolge der Zentralisierung der Kraftanlage zurückzuführen ist. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, dass in älteren Anlagen bis zu 25 Dampfmaschinen und auch mehr, an verschiedenen Stellen der Fabrik verteilt, aufgestellt sind, denen gegenüber eine moderne Anlage nur eine oder wenige grosse Turbineneinheiten in der nächsten Nähe des Kesselhauses enthält. (Abb. 59 und 60.)

Von der gesamten, in Form von Dampf verfügbaren Energiemenge wird der weitaus überwiegende Teil für den Wärmebedarf der Fabrik aufgebraucht. Für den Antrieb der Maschinen rechnet man je 100 kg Rübenverarbeitung mit etwa 1,2 bis 1,6 kWh, was etwa 3—5 % der gesamten Energie ausmacht. Die dieser Krafterzeugung entsprechende Abdampfmenge ist weitaus kleiner als die für den Betrieb der Fabrik benötigte Niederdruckdampfmenge. Der thermische Wirkungsgrad der Krafterzeugung ist daher, zunächst ganz allgemein gesprochen, belanglos, da auch ein verhältnismässig grosser Wärmeinhalt des Abdampfes keinen Verlust bedeutet, sondern zur Gänze in der Fabrikation ausgenutzt wird und nur zur Folge hat, dass weniger Niederdruckdampf gesondert zu erzeugen ist.

Es ist bekannt, dass die Verwendung höher gespannten Dampfes, besonders für Anlagen mit Gegendruckbetrieb, günstig ist, weil das in der Turbine ausnutzbare Wärmegefälle im Verhältnis viel mehr gesteigert werden kann als der für die Erzeugung des Frischdampfes erforderliche Wärmebedarf wächst. Zum Beispiel lässt sich aus Dampf von 01 kg/cm² abs bei 240° Ueberhitzung, entsprechend einem Wärmeinhalt von etwa 697 Cal/kg, bei Expansion auf 3 kg/cm² abs und 140° C, ein Wärmegefälle von 43 Cal effektiv ausnutzen. Wird aber Frischdampf von 20 kg/cm² abs bei 310° C gewählt, entsprechend einer

Erzeugungswärme von 727 Cal/kg, so wird bei Expansion auf den gleichen Zustand, wie vorher erwähnt, ein Wärmegefälle von 73 Cal effektiv ausgenutzt werden können.

Die 30 Cal Mehrgewinn entsprechen einer Steigerung des Kraftbedarfs um 70⁰/₀, der ein Mehraufwand in der Erzeugung von, absolut betrachtet, nur etwa 4,5⁰/₀

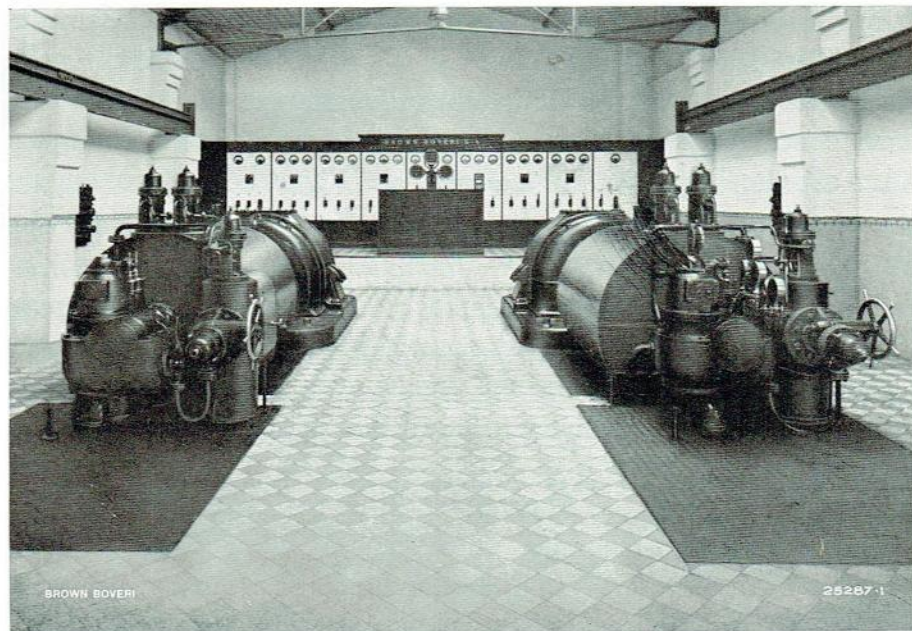


Abb. 60. Kraftstation einer Zuckerfabrik mit zwei Gegendruck-Turbogeneratoren von je 1060 kW, 400 V, 50 Perioden, 19,5 kg/cm² abs, 280° C und 4 kg/cm² eff. Gegendruck.

gegenübersteht. Wollte man aber die gleiche mechanische Energie bei 10 kg/cm^2 abs erzeugen, so müsste die Dampfmenge der Steigerung von 70% entsprechend erhöht werden, d. h. es wären statt 697 Cal für die Frischdampfherzeugung rd. 1185 Cal , bezogen auf je 73 Cal ausgenutztes Wärmegefälle, aufzuwenden (Abb. 61). Allerdings würde sich die Abdampfmenge im gleichen Masse erhöhen. Selbst wenn aber auch dafür durch Verminderung der gesondert erzeugten Niederdruckdampfmenge ein Ausgleich geschaffen werden kann, so bleibt doch die Tatsache bestehen, dass die für die Bewältigung der grösseren Dampfmenge erforderliche Turbine erheblich teurer sein wird als die für gleiche mechanische Leistung und höheren Frischdampfdruck gebaute Maschine.

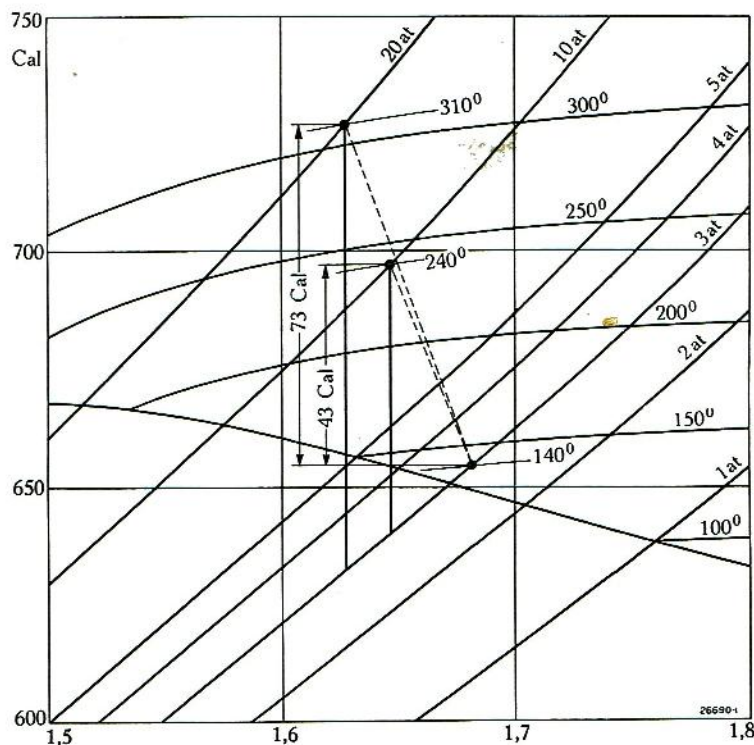


Abb. 61. Entropiediagramm.

Rein zahlenmässig bewertet, werden die Verhältnisse noch günstiger, wenn der Frischdampfdruck in dem Bereich des eigentlichen Hochdruckdampfes gesteigert wird. Auf diese Weise lässt sich in der Tat die Wirtschaftlichkeit der Krafterzeugung noch weiter verbessern (Abb. 62). So lange aber die erzeugte mechanische Energie nur wenige Prozente der gesamten, in Form von Dampf verfügbaren Energie ausmacht, wird eine dabei erzielte Ersparnis auf die gesamte Wärmebilanz wohl nicht von grossem Einfluss sein und das gesteigerte Risiko, das der Betrieb mit so hohen Spannungen immerhin mit sich bringt, auch kaum rechtfertigen.

Wesentlich andere Gesichtspunkte sind massgebend, wenn entweder für den Turbinenabdampf nicht volle Verwendungsmöglichkeit besteht oder wenn Ueberschussenergie für Abgabe an andere Konsumenten erzeugt werden soll. Der erste Fall wird in Zuckerfabriken bei den gegenwärtigen Fabrikationseinrichtungen wohl kaum in Frage kommen. Der zweite Fall dagegen ist bereits in einigen Anlagen verwirklicht und bietet deshalb Interesse, weil durch die Abgabe von billig erzeugter elektrischer Energie zu lohnenden Preisen die Betriebsrechnung selbstverständlich günstig beeinflusst werden kann. Die Aussichten, Energie z. B. an Ueberlandnetze abzusetzen, sind allerdings für Rohzuckerfabriken infolge der kurzen Betriebszeiten gering. Sie können sich eher Raffinerien bieten, bei denen die fast über das ganze Jahr erstreckte Betriebsdauer eine nahezu durchgehende Energielieferung ermöglicht.

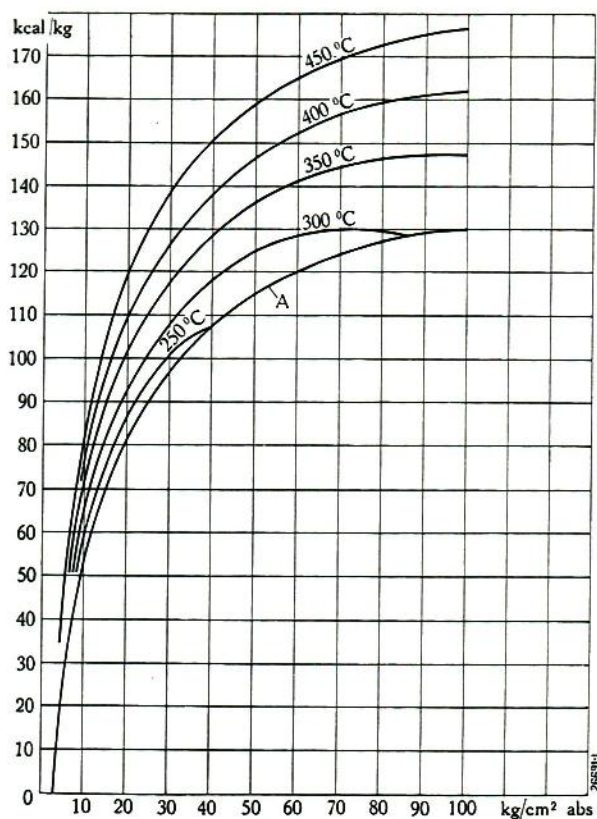


Abb. 62. Gefälle bei adiabatischer Entspannung auf 3 kg/cm² abs.

Wie schon erwähnt, sind für die Projektierung der Kessel- und Kraftanlage nicht nur die Mengen, sondern auch die Eigenschaften des Niederdruckdampfes bestimmend. In der Regel verwendet man Dampf von 2 bis 3 kg/cm² Ueberdruck und, wenigstens heute noch, von geringer Ueberhitzung, da man an der Meinung festhält, dass die Wärmeübertragung bei überhitztem Dampf schlecht ist. Mit den Dampftemperaturen in der Verdampferstation geht man jedenfalls im allgemeinen nicht über 130° C und nur in Ausnahmefällen, wenn ein Vorkocher vorhanden ist, bis auf 145° C. Für den Maschinenabdampf dagegen ist eine etwas grössere Ueberhitzung durchaus am Platze, um die in den Leitungen auftretenden Wärmeverluste zu decken.

Sowohl der Betrieb der Heiz- und Kochanlage als auch jener der elektrischen Anlage ist kein gleichmässiger, sondern unterliegt manchmal recht beträchtlichen Schwankungen.

Die Dampfspannung und -Temperatur lassen sich gleichwohl durch Verwendung entsprechender Regelvorrichtungen gleich halten, dagegen leidet die Wirtschaftlichkeit des Kesselbetriebes sehr durch die dadurch verursachte Unruhe. Die Verwendung von Wärmespeichern hat sich in einigen Fällen als sehr zweckmässig erwiesen, weil diese als Puffer wirkenden Vorrichtungen die Verbrauchsschwankungen ausgleichen. In Anlagen mit Grosswasserraum-Niederdruckkesseln kann man gesonderte Speicher entbehren, da diese Kessel selbst die Aufgabe von Dampfspeichern übernehmen. Man baut aber heute auch Kesselfeuerungen, die plötzlichen und groben Belastungsschwankungen im Dampfverbrauch zu folgen vermögen und sich den Betriebsverhältnissen in Zuckerfabriken gut anpassen lassen. Solche Anlagen sind, besonders wenn es sich um Kohlenstaubfeuerungen mit eigener Kohlenmahlanlage handelt, naturgemäss etwas teurer, ein Umstand, der ihre vermehrte Anwendung in Zuckerfabriken, wo wegen der kurzen Betriebsdauer auf eine billige Anlage Wert gelegt wird, sehr erschwert. Gleichwohl wird man auch bei der Beschaffung der Kessel in Zukunft mehr auf die ökonomische Arbeitsweise sehen müssen. Man hat sich daran gewöhnt, stets nur von der *Dampfwirtschaft* der Fabrikanlage zu sprechen und alle Massnahmen, die auf die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Be-

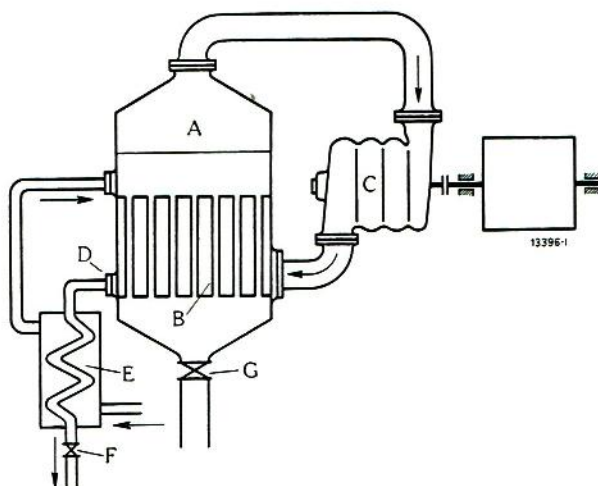


Abb. 63. Schematische Darstellung einer Eindampfungsanlage mit Wärmerückgewinnung durch Verwendung der Wärmepumpe.

- | | |
|---|---------------------------------------|
| A = Verdampfer. | E = Vorwärmer. |
| B = Heizkörper. | F = Drosselventil nach dem Vorwärmer. |
| C = Kompressor. | G = Ablasshahn des Verdampfers. |
| D = Abfluss des Kondensates aus dem Heizkörper. | |

triebes abzielen, nach der Ersparnis an Dampf zu bewerten. Abgesehen davon, dass die Dampfmenge an sich ohne Angabe der Spannung und der Zustandsform nur ein sehr ungenaues Energiemass ist, kommt es letzten Endes nicht auf den Wärmeverbrauch in der Fabrik, sondern auf den Kohlenverbrauch der Kesselanlage, oder noch genauer, auf die Ausgaben für den Brennstoff an. So lange man sich damit abfindet, dass 30 % der durch die Verbrennung der Kohle frei werdenden Wärmemenge, manchmal auch noch mehr, unausgenutzt durch den Kamin abziehen, wie es in alten Anlagen vorkommt, ist an einen wirklich wirtschaftlichen Betrieb auch bei weitgehender Verbesserung der Dampfwirtschaft nicht zu denken. Da eine

Ausnützung der Kesselabgase für die Vorwärmung des Speisewassers, welches bereits als heisses Kondensat angeliefert wird, nur in beschränktem Masse möglich ist, wird man für andere Verwendungsmöglichkeiten sorgen müssen. Sie bieten sich ausser in der Vorwärmung der Verbrennungsluft in der Schnitzeltrocknung oder in der Errichtung von Abhitze-Kesseln zur Erzeugung von niedergespanntem Zusatz-Heizdampf. Eine möglichst verlustlose Verwertung der Heizgase in der eigenen Kesselanlage dürfte aber doch am vorteilhaftesten sein.

In der Zuckerindustrie hat man für das Eindicken des Dünnsaftes allgemein die mehrstufige Verdampfung eingeführt, bei welcher die Brüendämpfe des einen Körpers zur Beheizung des nächsten verwendet werden. Auf diese Weise lässt sich die in den Prozess eingeführte Wärmemenge nahezu vollständig nutzbar machen. Statt eine Reihe von Verdampferkörpern aufzustellen, lässt sich eine ebenso vollkommene Ausnützung der Wärme in nur einem einzigen Körper durch Anwendung der Kompressionsverdampfung in der Wärmepumpe erzielen. Das Verfahren besteht darin, dass die Brüendämpfe von einem Kompressor angesogen und verdichtet werden, sodass neuerdings ein Wärmegefälle für die abzugebende Verdampfungswärme geschaffen wird. Die einfachste Anordnung einer Wärmepumpenanlage (Abb. 63) besteht aus einem Verdampfer A, einem Heizkörper B und einem Kompressor C. Die dem Verdampfer entweichenden Brüden werden von dem Kompressor angesogen, verdichtet und in den Heizkörper gedrückt, wo sie kondensieren und ihre Verdampfungswärme an die Flüssigkeit abgeben. Das Wärmekondensat fliesst bei D in einen Vorwärmer E, durch den im Gegenstrom frischer Dünnsaft zugeleitet und vorgewärmt wird. Bei F ist ein Drosselventil, das den verlangten Druck im Heizsystem aufrecht hält. Der eingedampfte Saft wird bei G entnommen.

Lediglich nach den direkten Betriebskosten beurteilt, wird die Wärmepumpe erst dann wirtschaftlicher als die mehrstufige Verdampfung, wenn die Kosten der für den Antrieb des Kompressors erforderlichen Energie geringer sind als die Kosten des Dampfes, der für die gleich leistungsfähige mehrstufige Verdampfung aufgebracht werden muss. So verglichen, wird bei den heute üblichen Betriebs-einrichtungen und -Verfahren die Wärme-

pumpe zweifellos im Nachteil sein. Es ist aber nicht ausser acht zu lassen, dass eine nur einstufige Verdampfung die Anlage erheblich vereinfacht und verbilligt, sodass selbst dann, wenn die reinen Energiekosten höher sind, ein wirtschaftlicher Vorteil für die Wärmepumpe errechnet werden kann. Von besonderem Interesse wird aber die Kraftverdampfung durch die Wärmepumpe, sobald billige Wasserkraft verfügbar ist oder überhaupt Brennstoff knapp ist und Energie in anderer Form günstiger bezogen werden kann, ein Fall, der z. B. in Rohrzuckerfabriken, deren Bagasse ungenügende Heizkraft hat, denkbar wäre.

Für die Kraftstation moderner Zuckerfabriken kommt heute wohl nur noch die Gegendruckturbine in Frage. Die Ursachen, die dazu geführt haben, die früher üblich gewesenen Kolbendampfmaschinen zu verdrängen, sind sowohl wärmewirtschaftlicher als betriebstechnischer Natur. Man hatte früher stets auf den höheren thermodynamischen Wirkungsgrad der Kolbenmaschine gegenüber der Turbine hingewiesen, d. h. auf den Umstand, dass die zur Erzeugung einer gewissen mechanischen Energie erforderliche Dampfmenge bei Verwendung von Kolbenmaschinen geringer sei. Dieser Standpunkt hätte wohl eine gewisse Berechtigung in solchen Anlagen, wo die Anordnung der Verdampferanlage nur eine bestimmte Höchstmenge von Maschinenabdampf ausnützen lässt. Aber abgesehen davon, dass Brown Boveri mit ihren modernen Gegendruckturbinen grösserer Leistung thermische Wirkungsgrade erzielt, die selbst die besten je mit Kolbenmaschinen erzielten Werte übertreffen, ist es möglich, die Verdampferstation auch so anzulegen, dass eine weit höhere Abdampfmenge ausgenutzt werden kann. Dies geschieht durch Anwendung der Ueberdruckverdampfung, bei der der gesamte Niederdruckdampf von höherer Spannung als vordem üblich war, nämlich mit 1,75 bis 2 kg/cm² Ueberdruck, dem ersten Körper zugeführt und der Brüdendampf des letzten Körpers nicht in den Kondensator abgeht, sondern restlos zum Saftanwärmen verwendet wird (Abb. 64). Der dadurch erzielte Nutzen ist ein mehrfacher. Durch den Fortfall der Kondensationsverluste wird nicht nur die Wärmewirtschaft ganz erheblich verbessert, sondern auch die Verdampferanlage wird einfacher und die Möglichkeit, grosse Abdampfmengen restlos ausnützen zu können, gestattet die Verwendung von Turbinen einfachster Bauart, die selbstverständlich billiger sind als sogenannte hochwertige Turbinen. In der Tat hat sich diese letzte Stufe in der Entwicklung solcher Anlagen mit bestem Erfolg in der Zuckerindustrie eingeführt.

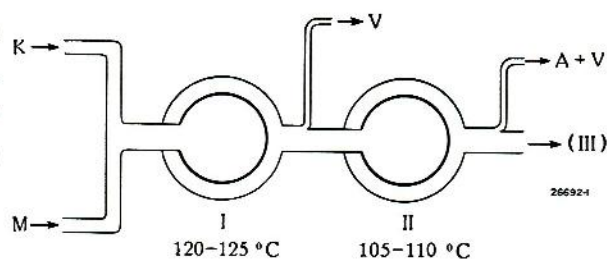


Abb. 64. Schaltung der Verdampfer bei Ueberdruck-Verdampfung.

I, II, III = Verdampfer.
K = Kesseldampf.
M = Maschinendampf.
V = Zum Vorkocher.
A + V = Zum Abwärmen und Vorkochen.

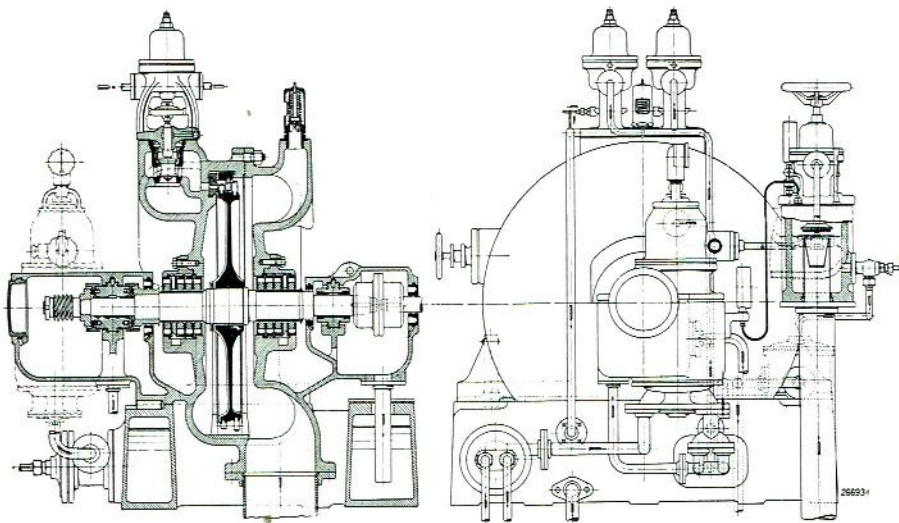


Abb. 65. Zweistufige Aktionsturbine Bauart Brown Boveri.

massgebend, die bei der Kolbenmaschine naturgemäss viel höher sind als bei der gleich starken Turbine. Nimmt man sie für die Kolbenmaschine zu 10 %, für die Turbine zu 2 % an, so ergeben sich die Mehrverluste für die Krafterzeugung in einer Fabrik für etwa 1000 Tonnen tägliche Rübenverarbeitung bei 750 kW Energie für die mechanischen Antriebe zu ungefähr 8 % von 750 kW = 60 kW. Dieser Wert macht, wenn die 750 kW 4 % des gesamten Energieaufwandes entsprechen, immerhin rund $\frac{1}{3}$ % des Gesamtverbrauches aus.

Die Ueberlegenheit der Dampfturbine zeigt sich betriebstechnisch hauptsächlich in dem ölfreien Abdampf, ein Vorzug, der bei der Verwendung des Abdampfes zu Heizzwecken

sehr zur Geltung kommen muss. Der mit Oel verunreinigte Abdampf der Kolbenmaschine verlegt die Dampfwege, was den Wärmeaustausch erschwert. Eine nur 0,5 mm starke Oelschicht kommt in ihrer isolierenden Wirkung ungefähr einer 5 mm starken Kesselsteinschicht gleich. Es werden daher bereits geringe Oelansätze unangenehm bemerkbar werden. Die Reinheit des Turbindampfes dagegen sichert einen dauernd guten Wärmeüber-

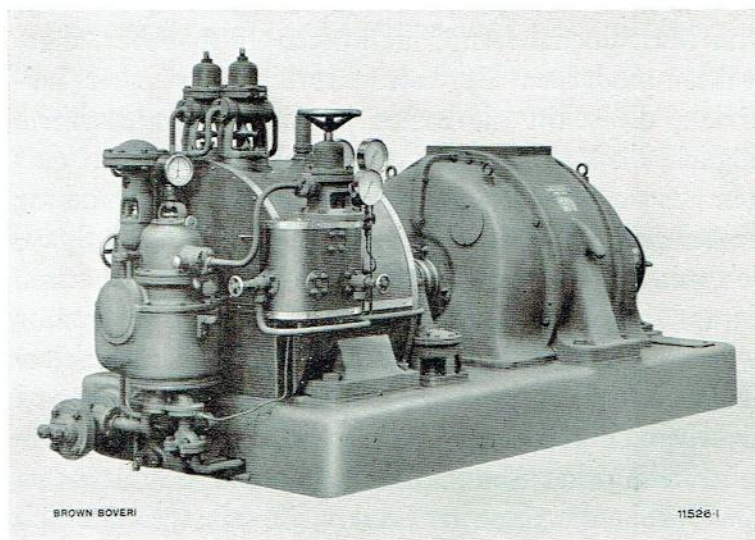


Abb. 66. Aktionsturbine mit Dreiphasengenerator, 153 kW, Drehzahl 3000, 18 kg/cm² abs, 300° C, 1,5 kg/cm² eff. Gegendruck.

gang und ermöglicht zudem ein direktes Zusammenbringen mit dem Fabrikationsgut selbst, wie z. B. beim Dampfdecken der Weisszuckerzentrifugen. Auch der einfache Aufbau, die bequeme Bedienung, der geringe Verbrauch an Schmiermitteln, der viel kleinere Platzbedarf und schliesslich die Verbilligung der Kraftanlage selbst sind Vorteile, die sich sowohl in der Betriebsrechnung als auch im Kapitalsdienst als namhafte Ersparnis auswirken.

In ihrer einfachsten Ausführung wird die Gegendruckturbine gebaut als ein- oder zweistufige Aktionsturbine für Leistungen bis etwa 800 kW (Abb. 65 u. 66). Der Läufer besteht aus einem ein- oder zweikränzigen Curtisrad. Die aus Nickelstahl verfertigten Laufschaufeln sitzen in rillenförmigen Eindrehungen des Radkranzes und sind unter sich durch kräftige Deckbleche verbunden. Die Austrittsstellen der Wellen aus dem Gehäuse werden mit Kohlenstopfbüchsen gedichtet. Das vordere der beiden Lager ist als kombiniertes Trag- und Drucklager ausgeführt.

Die einfachste Turbogeneratorgruppe ergibt sich durch direkte Kupplung beider Maschinen, bei der gewöhnlich die Forderung nach geringem Dampfverbrauch gegenüber dem Verlangen nach einer einfachen und billigen Gruppe zurückgestellt wird. Durch die Wahl einer entsprechend hohen Drehzahl und Zwischenschaltung eines Zahnradvorgeleges ist man jedoch in der Lage, den Dampfverbrauch meist bedeutend zu verringern.

Für höhere Leistungen kommt die kombinierte Turbine in Frage, bestehend aus einem ein- oder zweikränzigen Aktionsrad und dahinter geschalteter Trommel mit Reaktionsbeschaukelung. Diese Turbine lässt sich in weiten Grenzen den besonderen Anforderungen des Fabrikbetriebes anpassen und wird

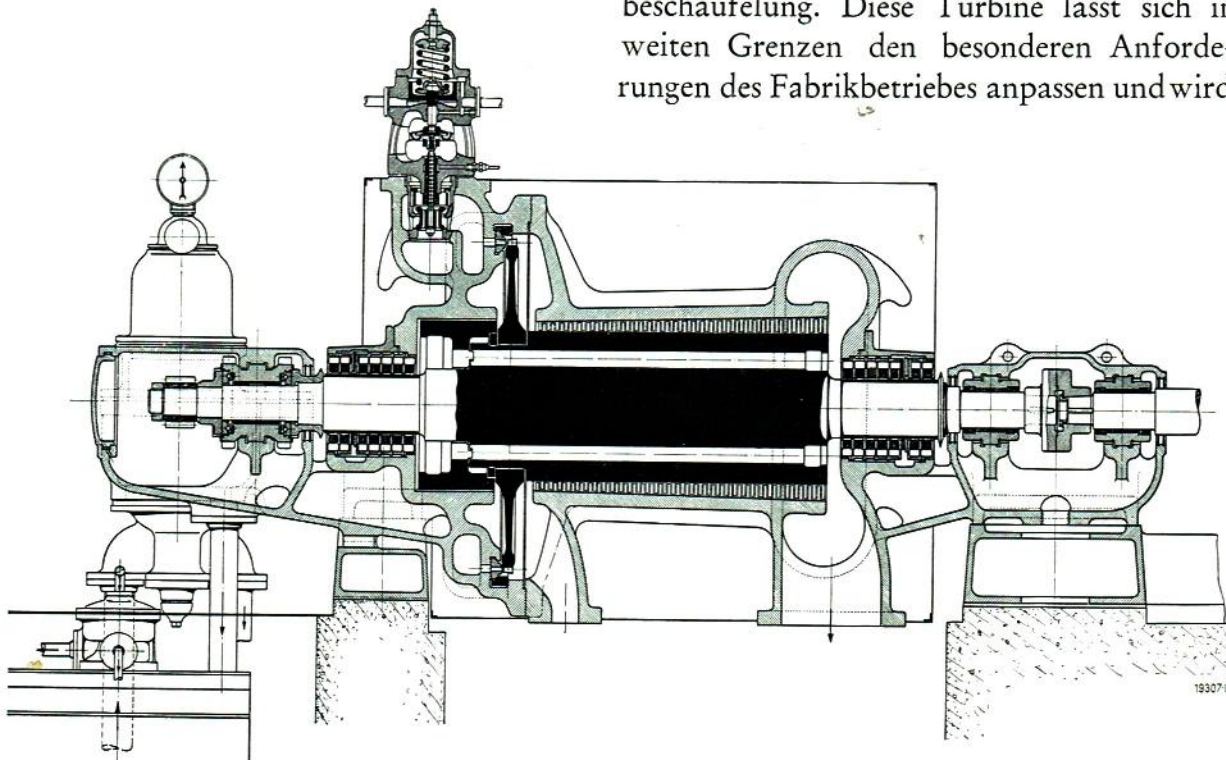


Abb. 67. Längsschnitt durch eine kombinierte Gegendruckturbine Bauart Brown Boveri.

heute mit einem thermischen Wirkungsgrad gebaut, der auch mit den besten Kolbenmaschinen nicht erreicht werden kann. Abb. 67 lässt den Aufbau einer solchen Turbine erkennen. Das Aktionsrad ist auf die Trommel aufgeschraubt. Das Gehäuseober-
teil ist mit Rücksicht auf die Herstellung und leichte Zugänglichkeit der Düsen in einen vorderen (kleineren) und hinteren (grösseren) Teil zerlegt. Dies bietet auch noch den besonderen Vorteil, dass das vordere Stück, der Ringkanal, welcher die Düsen enthält und durch den der Frischdampf in die Turbine eingeführt wird, aus Stahlguss hergestellt werden kann, wenn dies bei hohen Frischdampfdrücken und -temperaturen zweckmässig erscheint.

Der Läufer besteht aus einer Trommel von hochwertigem Stahl, die auf ihrem Umfang entsprechend den Druckstufen eine grosse Anzahl Schaufelkränze trägt. Das Trommelende auf der Zudampfseite ist als Druckausgleichkolben ausgebildet. Längsbohrungen ermöglichen dem Dampf, die Trommel auch von innen zu erwärmen, was die Gefahr von Wärmespannungen und Veränderungen der Schaufelspiele ausschaltet. Die Laufschaufeln werden je nach Druck und Temperatur aus rostfreiem Stahl oder Spezialbronze hergestellt und sind so bemessen, dass sie eine mehr als zehnfache Sicherheit gegen die Einwirkung der Zentrifugalkraft aufweisen. Die Schaufeln zeigen selbst nach jahrelangem

Betrieb keine wesentliche Abnutzung, da die geringen Dampfgeschwindigkeiten als Folge der grossen Stufenzahl die korrodierende

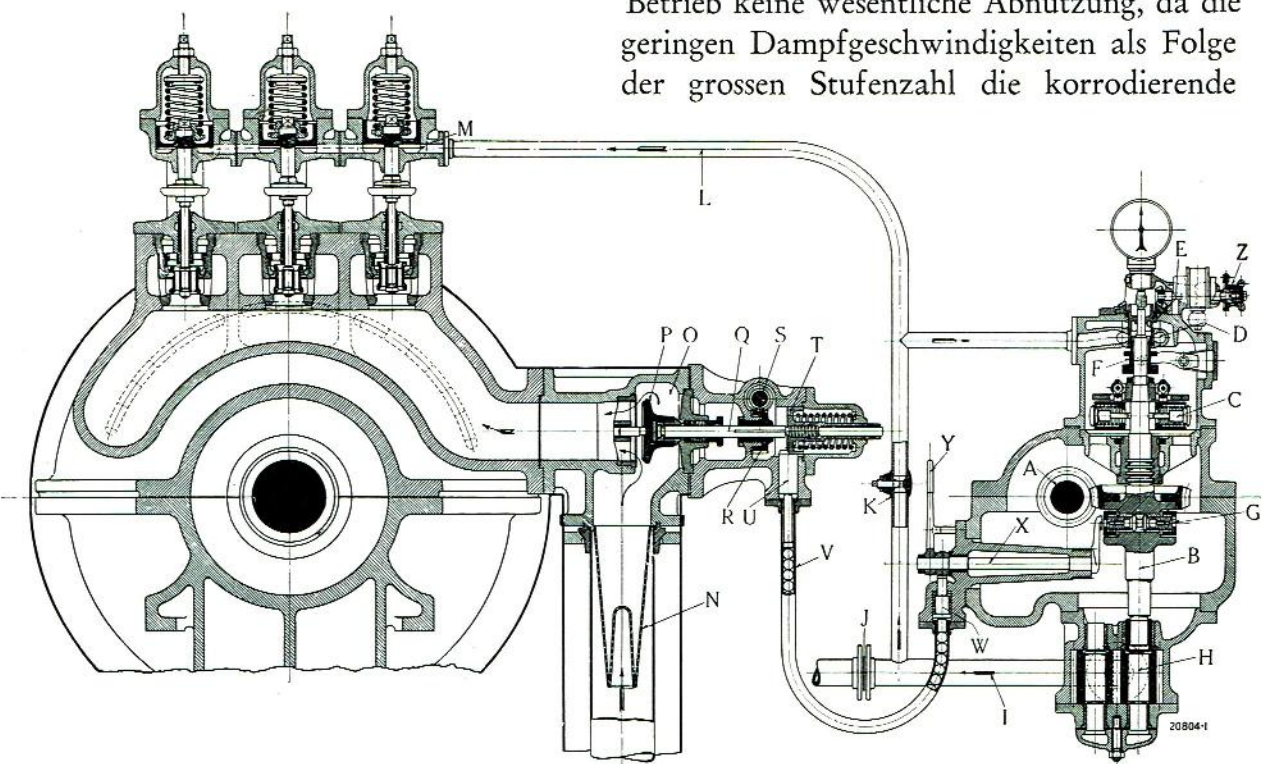


Abb. 68. Schnitt durch die gestängelte Oeldrucksteuerung und die Dampfverteilungsorgane der Brown Boveri-Turbine.

- | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|--|---|
| A = Hauptwelle. | H = Zahnradpumpe. | O = Hauptabschliessung. | U = Auslösendstück an der Hauptabschliessung. |
| B = Reglerwelle. | I = Gemeinsame Druckkölleitung. | P = Tellerventil der Hauptabschliessung. | V = Kugeln. |
| C = Hauptregler. | J = Blende für das Schmieröl. | Q = Spindel der Hauptabschliessung. | W = Auslösendstück an der Hauptabschliessung. |
| D = Ringraum. | K = Regulierventil. | R = Schneckenrad. | X = Auslösewelle. |
| E = Regulierbüchse. | L = Druckleitung der Regulierung. | S = Schnecke. | Y = Auslösehebel. |
| F = Reglermuffe. | M = Düsenventil. | T = Auslösemutter. | Z = Drehzahlversteller. |
| G = Sicherheitsregler. | N = Dampfsieb. | | |

Wirkung des Dampfes auf ein Mindestmass beschränken. Der Austritt der Welle aus dem Zylinder wird durch bewährte Labyrinth- oder Kohlenstopfbüchsen gedichtet.

Die Turbine hat Düsenregulierung. Da einzelne Düsengruppen ganz ausgeschaltet werden können, wird auch bei Teillasten das Druckgefälle besser ausgenutzt, wodurch die bei geringen Belastungen auftretenden Drosselverluste wesentlich eingeschränkt werden. Die Regulierung erfolgt selbst-

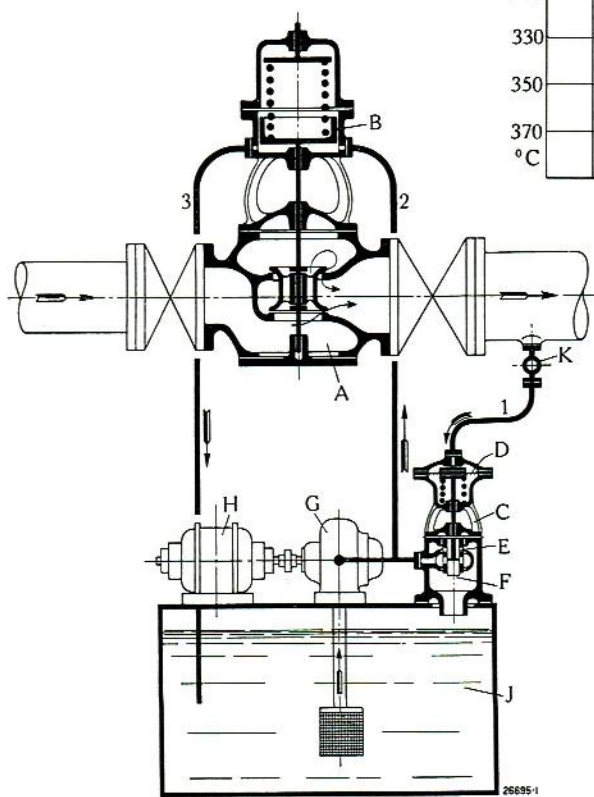


Abb. 69. Regelung eines selbsttätigen Frischdampf-Zusatzventils.

A = Frischdampf-Zusatzventil. E = Regulierbüchse. J = Ölbehälter.
B = Kraftkolben zu A. F = Schieber. K = Absperrventil.
C = Druckregler. G = Zahnradölpumpe. 1 = Dampfleitung zu A.
D = Membrane zu C. H = Motor. 2 = Öldruckleitung zu A.
3 = Ölrücklaufleitung von A.

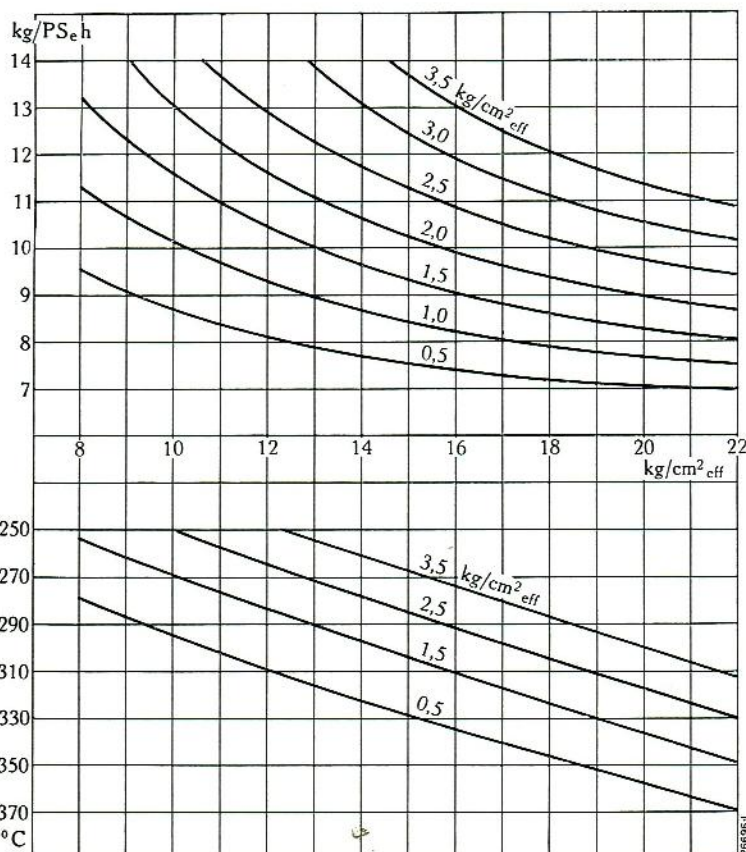


Abb. 70. Dampfverbrauch und Frischdampftemperaturen in Abhängigkeit von Eintrittsspannung und Gegendruck für Turbinen kombinierter Bauart von rd. 1000 kW, an der Kupplung gemessen, Drehzahl 3000.

Abszisse: Eintritts-Dampfspannung in kg/cm^2 Ueberdruck.
Oberes Linienfeld: Ordinate = Dampfverbrauch in $\text{kg/je PS}\cdot\text{h}$. Schräge Linien = Linien verschiedenen Gegendruckes in kg/cm^2 Ueberdruck.
Unteres Linienfeld: Ordinate = Frischdampftemperatur in $^{\circ}\text{C}$. Schräge Linien = Linien verschiedenen Gegendruckes in kg/cm^2 Ueberdruck.

tätig durch die gestängelte Oeldrucksteuerung nach Abb. 68.

Auch diese Turbine wird entweder für die Drehzahl gebaut, die jener des anzutreibenden Generators angepasst ist, oder für höhere Drehzahlen, in welchem Falle der Generator über ein Zahnradvorgelege mit Präzisionsverzahnung angetrieben wird.

Der Dampfverbrauch von Turbinen kombinierter Bauart von 1000 kW Leistung und 3000 Umdrehungen ist in den Kurven Abb. 70 dargestellt, wobei als Abszisse die Frischdampfspannung in kg/cm^2 abs und im oberen

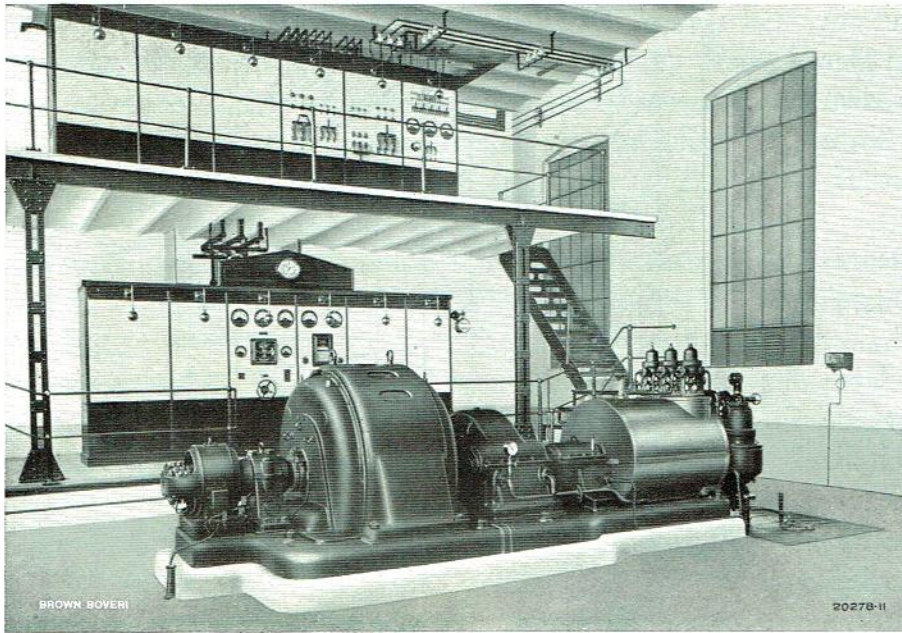


Abb. 71. Gegendruck-Zahnrad-Turbogruppe in einer Zuckerfabrik, 650 kW, 230 V, 50 Perioden, Drehzahl 6000/1500, 17 kg/cm² abs, 325° C, 3 oder 7 kg/cm² eff. Gegendruck.

Quadranten kann man leicht für jeden in Zuckerfabriken vorkommenden Frischdampf- und Gegendruck den Dampfverbrauch, und mit jenem des unteren Quadranten die den verlangten Gegendrücken entsprechenden Frischdampftemperaturen der Turbine ermitteln.

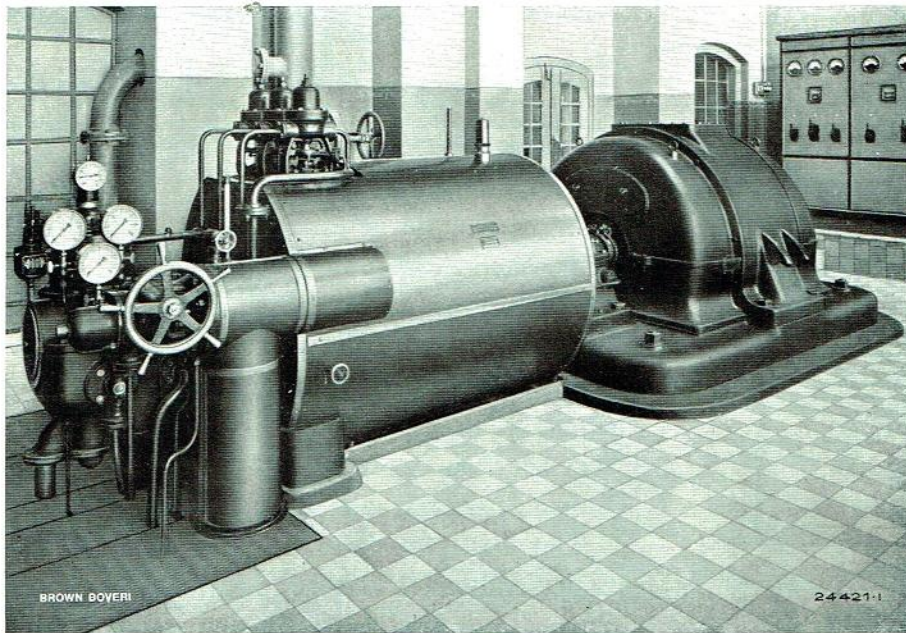


Abb. 72. Gegendruck-Turbogruppe in einer Zuckerfabrik, 1060 kW, 400 V, 50 Perioden, Drehzahl 3000, 19,5 kg/cm² abs, 280° C, 4 kg/cm² eff. Gegendruck.

Quadranten als Ordinaten die Dampfverbrauchsfiguren in kg/PS-Stunden aufgetragen sind. Nach unten sind die Temperaturen des Eintrittsdampfes angegeben, die so gewählt sind, dass der Abdampf bei gegebenem Eintritts- und Gegendruck nach Verlassen der Turbine um etwa 10° C über die Sättigungstemperatur überhitzt ist. Mit den Linien des oberen

Brown Boveri darf für sich das Verdienst in Anspruch nehmen, auch für die Verwendung der Dampfturbine in der Zuckerindustrie bahnbrechend gewirkt zu haben. Die erste Dampfturbine, die in einer Zuckerfabrik Verwendung fand, ist die, welche die A.-G. Brown, Boveri & Cie. im Jahre 1903 an die Zuckerfabrik und Raffinerie A. Bou-

chon in Nassandres (Frankreich) geliefert hat. Einige nähere Angaben über diese Pionieranlage dürften von Interesse sein.

Die Zuckerfabrik hatte bereits im Jahre 1898 mit der

Anwendung der elektrischen Kraftübertragung begonnen. Man entschloss sich damals zu einem ersten Versuch und

stellte zunächst einen Brown-Boveri-Dreiphasengenera-

tor von 65 kW, 200 V, 40 Perioden auf, angetrieben von der Haupttransmission. Auf Grund der erreichten Vorteile wurde im folgenden Jahre ein weiterer Brown Boveri-Generator aufgestellt, angetrieben von einer Corliss-Weyher-Richemond-Dampfmaschine

von 250—300 PS Leistung. Im Jahre 1903 entschloss man sich, die elektrische Kraftanlage durch Aufstellung eines Brown Boveri-Gegendruck-Turbogenerators von 200 kW Leistung zu vervollständigen. Diese Turbine wird mit trockengesättigtem Dampf v. $6,5 \text{ kg/cm}^2$ abs beschickt und arbeitet mit einem Gegendruck von

$1,5 \text{ kg/cm}^2$ abs. Der Maschinenab-

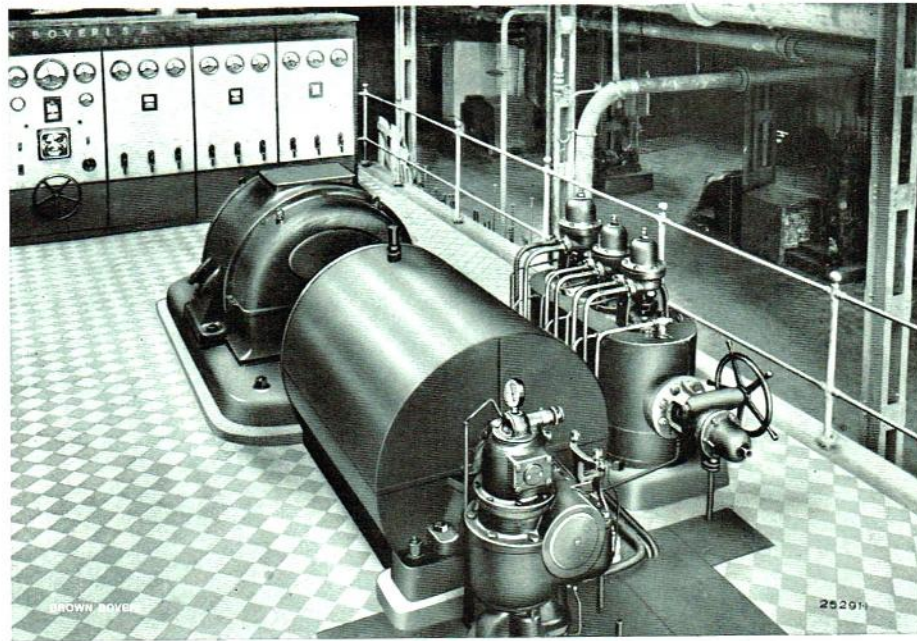


Abb. 73. Gegendruck-Turbogruppe in einer Zuckerfabrik, 1060 kW, 400 V, 50 Perioden, Drehzahl 3000, $15,5 \text{ kg/cm}^2$ abs, 270° C , 3 kg/cm^2 eff. Gegendruck.

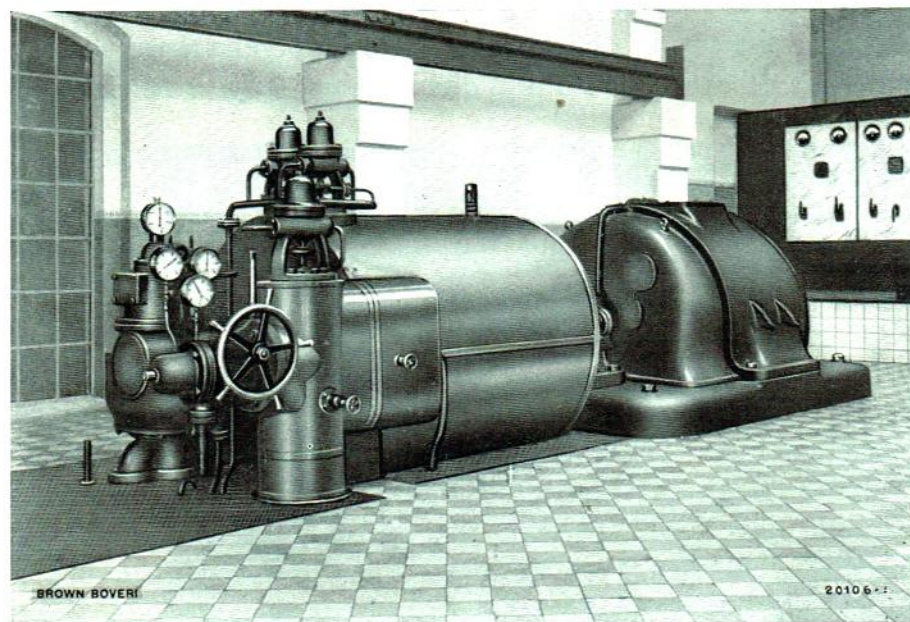


Abb. 74. Gegendruck-Turbogruppe in einer Zuckerfabrik, 1400 kW, 400 V, 50 Perioden, Drehzahl 3000, $19,5 \text{ kg/cm}^2$ abs, 280° C , 4 kg/cm^2 eff. Gegendruck.

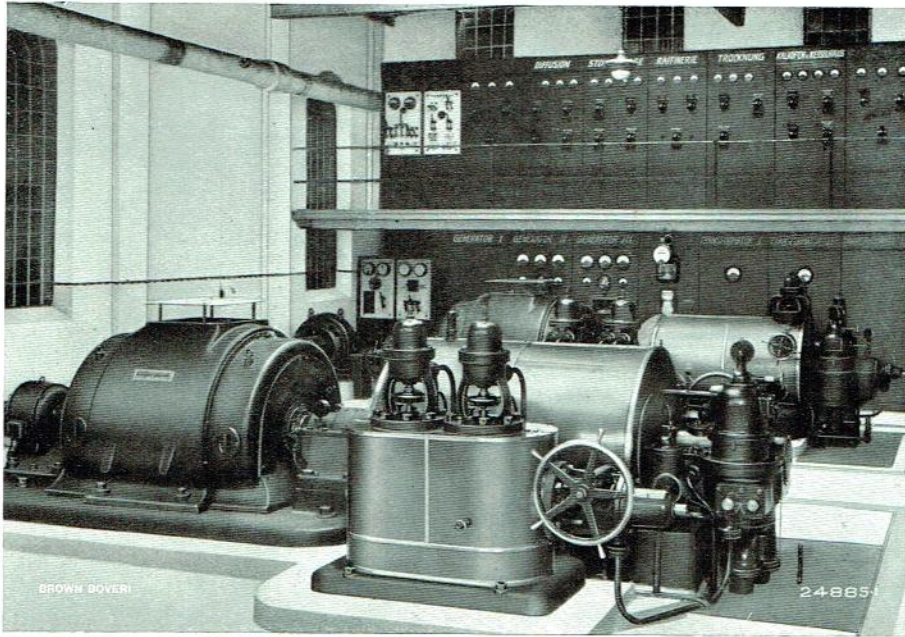


Abb. 75. Kraftstation einer Zuckerfabrik mit Gegendruck-Turbogenerator, 1250 kW, 410 V, 50 Perioden, Drehzahl 3000, 13 kg/cm² abs, 350° C, 2 kg/cm² eff. Gegendruck.

dampf wird für den Betrieb in der Zuckerfabrik benutzt. Die Turbine ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Zuckerfabrik, die später noch einen zweiten Brown Boveri - Turbogenerator bestellte, äusserte sich in einem Schreiben über ihre elektrische Anlage folgendermassen:

«Wir bestätigen Ihnen, dass diese Brown Boveri-Gruppensich stets vorzüglich be-

währten, und zwar sowohl die erste, seit 25 Jahren im Betrieb befindliche, als auch die zweite, vor fünf Jahren in Betrieb genommene.

«Seit 1898 haben Sie uns zu verschiedenen Malen Dreiphasenmotoren geliefert, deren Zahl, mit jeder Erweiterung unserer Anlage zunehmend, gegenwärtig 300 überschreitet, für alle Leistungen von 85—0,25 PS. Ihre Motoren sind ausserordentlich robust, denn es ist erst in diesem Jahre einmal vorgekommen, dass wir einen davon ausser Betrieb nehmen mussten und dies nach 30jährigem Betrieb.»

C. WAHL DER SPANNUNG UND DIE ENERGIEVERTEILUNG

Bei den verhältnismässig geringen Leistungen der Kraftanlage einer Zuckerfabrik und der einzelnen Motoren kommt als Uebertragungsspannung im allgemeinen nur Niederspannung von 380 bis höchstens 500 V in Frage. Auch mit Rücksicht auf die sehr feuchte Atmosphäre der Anlage zieht man es aus Sicherheitsgründen vor, mit der Spannung nicht hoch zu gehen. Für das Lichtnetz wählt man in der Regel 110 oder 220 V. Für tragbare Lampen sind in manchen Ländern noch niedrigere Spannungen vorgeschrieben, um bei dem feuchten Betrieb das Personal nicht zu gefährden.

Höhere Kraftübertragungsspannungen finden in der Zuckerfabrik selten Anwendung, es sei denn, dass es sich um eine sehr ausgedehnte Anlage mit grosser Zentralenleistung handelt, in welchem Falle die Wahl einer niedrigen Spannung zu sehr grossen Stromstärken und verhältnismässig hohen Uebertragungsverlusten führt. Man speist dann die einzelnen Motorgruppen durch eine Hochspannungsverteilung und erniedrigt die Spannung für den Betrieb durch entsprechend aufgestellte Transformatorenstationen

auf 380 bis 500 V (Abb. 76). Wenn die Fabrik die Möglichkeit hat, Energie an fremde Abnehmer abzugeben, wird man ebenfalls die Spannung für die Fernleitungen erhöhen oder den Generator selbst für Hochspannung vorsehen und die Spannung für den eigenen Betrieb durch Transformatoren herabsetzen.

Eine übersichtliche Hauptschalttafel (Abb. 77) ist für einen geordneten Betrieb von grosser Wichtigkeit. Sie hat nicht nur die für den Betrieb der Generatoren und der abgehenden Motorspeiseleitungen nötigen Apparate zu enthalten, sondern soll auch gestatten, in jedem Augenblick ein Urteil zu gewinnen über den jeweiligen Betriebszustand und wie der Betrieb der einzelnen Abteilungen im Verlaufe eines Tages oder der ganzen Kampagne sich gestaltete. Der Einbau direkter zeigender und registrierender Messinstrumente ist demnach für die genaue Kontrolle der Anlage sehr zweckmässig. Darin, dass man mit diesen einfachen Mitteln den Betrieb jederzeit überblicken kann, liegt ja einer der wesentlichen Vorzüge des elektrischen Betriebes.

Von der Hauptschalttafel führen Hauptspeiseleitungen zu einzelnen grösseren Mo-

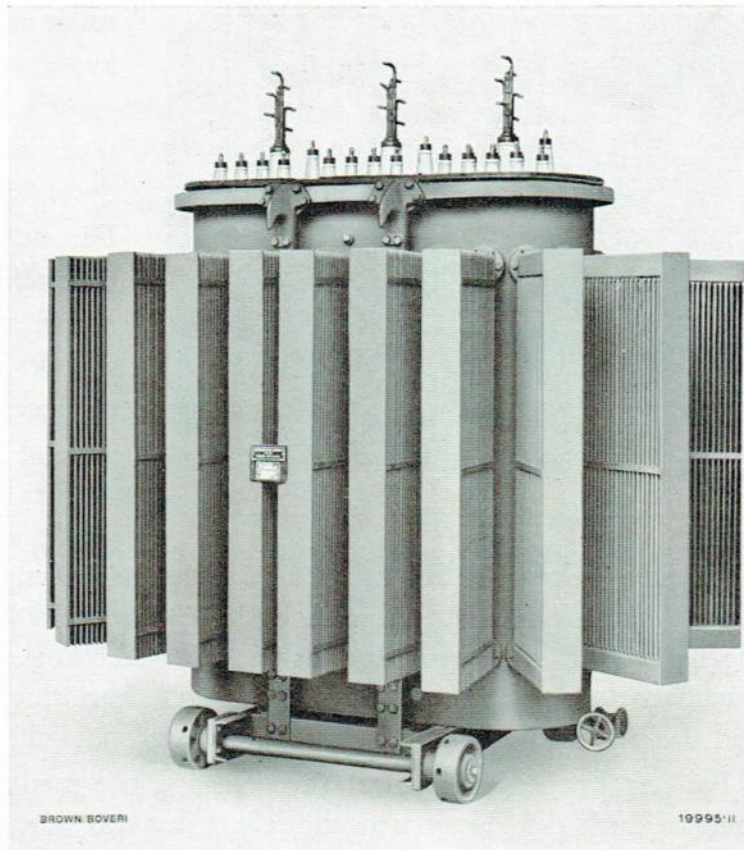


Abb. 76. Dreiphasentransformator mit natürlicher Kühlung.

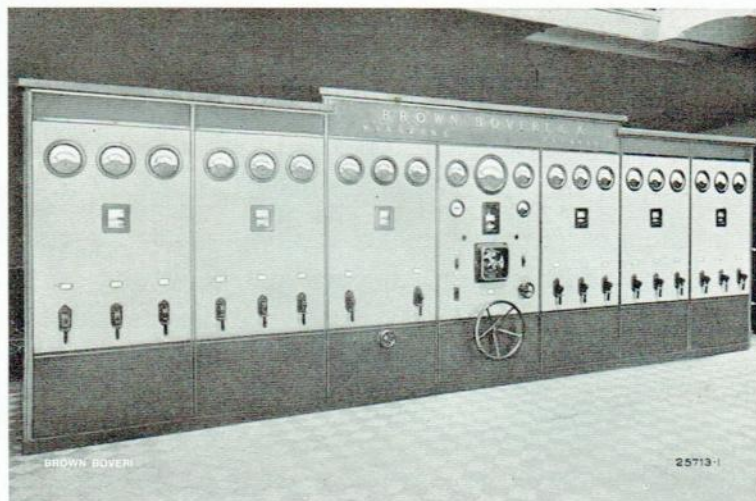


Abb. 77. Hauptschalttafel in einer Zuckerfabrik.

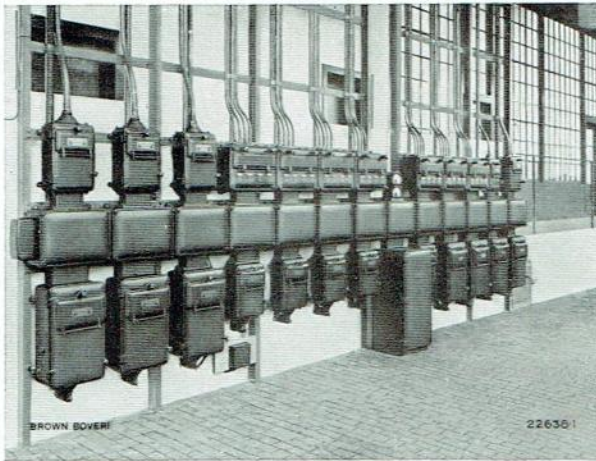


Abb. 78. Gusseisengekapselte Schalt- und Verteilbatterie.

gusseiserne, gekapselte Schaltkasten, die sich leicht und gefällig zu Schaltbatterien vereinigen lassen (Abb. 78). Alle Abschlussflächen und Kabeleinführungen sind sorgfältig gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Staub abgedichtet. Das Bedienungspersonal ist geschützt durch sichere Verriegelungen und Auslösungen, sodass gefahrlos Kontrollen und das Auswechseln von Sicherungen vorgenommen werden können.

Bei der Projektierung der Verteilanlage hat man nicht nur die Lage der Motoren, sondern auch die Zusammengehörigkeit der von ihnen angetriebenen Maschinen zu berücksichtigen, um von der Hauptschalttafel aus im Bedarfsfalle gewisse Gruppen von Arbeitsmaschinen vom Netz abtrennen zu können.

D. DER LEISTUNGSFAKTOR ($\cos \varphi$)

In Anlagen mit eigener Kraftstation spielt der $\cos \varphi$ in der Regel eine untergeordnete Rolle, da es am einfachsten und billigsten ist, den Generator für den $\cos \varphi$, der sich in der Anlage ergibt, zu bauen und auf weitere Mittel zur Verbesserung der Phasenverschiebung zu verzichten. Ein geringerer Wert des $\cos \varphi$ hat für den Betrieb selbst weiter keinen Nachteil und die durch den grösseren Strom verursachten erhöhten Leitungsverluste spielen für die Wirtschaftlichkeit der Anlage gar keine Rolle. Wenn man die Leitungsverluste bei $\cos \varphi = 0,8$ zu etwa 5 % annimmt, so machen sie für z. B. 1000 kW zu übertragende Leistung 50 kW aus. Wäre der $\cos \varphi = 0,7$, so würde der Strom im umgekehrten Verhältnis grösser und die Leitungsverluste, die dem Quadrat des Stromes proportional sind, stiegen im Verhältnis $\left(\frac{0,8}{0,7}\right)^2$ d. i. von 50 kW auf ungefähr 65 kW. Da die Mittel, welche zur Verbesserung des Leistungsfaktors angewendet werden könnten, ihrerseits auch Energie verbrauchen, würde die effektiv erzielbare Ersparnis bei künstlicher Verbesserung des $\cos \varphi$ so gering, dass sich deswegen besondere Aufwendungen nicht verlohnen.

toren und den Verteilbatterien, von denen aus die verschiedenen kleineren Motoren gespeist werden. Als Hauptspeisekabel, sofern sie durchwegs geschützt verlegt werden können, dient asphaltiertes Bleikabel. Für jene Motoren hingegen, die an besonders gefährdeten Stellen der Fabrik auf Gerüsten usw. aufgestellt sind, werden besser eisenbandarmierte Bleikabel verlegt, um sie gegen allfällige mechanische Beschädigungen nach Möglichkeit zu schützen.

Für die Energieverteilung an den Speisepunkten verwendet man heute allgemein

Anders liegen dagegen die Dinge, wenn infolge Vergrößerung der Anlage der Generator für den an die Motoren abzugehenden Strom nicht mehr ausreichen sollte, während die Turbine die erforderliche Mehrleistung herzugeben vermöchte.

In einem solchen Falle ermöglicht die Verbesserung des $\cos \varphi$ die Mehrleistung ohne Veränderung der Zentrale zu bewältigen. Ist z. B. ein Generator für 1000 kW bei 380 V und $\cos \varphi = 0,7$ gebaut, so reicht er für einen Strom von

$$\frac{1000}{380 \times \sqrt{3} \times 0,7} = 2180 \text{ A}$$
 aus. Soll die Leistung auf 1200 kW gesteigert werden, ohne dass der Strom erhöht wird, so muss der $\cos \varphi$ im Verhältnis 1200 : 1000, d. i. auf 0,84 verbessert werden. Der Strom ist dann nachher wieder

$$\frac{1200}{380 \times \sqrt{3} \times 0,84} = 2180 \text{ A.}$$

Das bequemste Mittel zur Verbesserung des $\cos \varphi$ der Anlage besteht darin, den $\cos \varphi$ einzelner grosser Motoren zu verbessern. Hierzu können, in Verbindung mit Asynchronmotoren, Phasenkompensatoren verwendet werden, oder es werden an Stelle von Asynchronmotoren Synchron-Induktionsmotoren aufgestellt.

Der Phasenkompensator Bauart Brown Boveri (Abb. 79) wird nach erfolgtem Anlauf des zu kompensierenden Motors in dessen Rotorstromkreis eingeschaltet. Er kann entweder vom Hauptmotor aus oder durch einen eigenen kleinen Hilfsmotor angetrieben werden. Sein Kraftbedarf ist gering, da nur Reibungs- und Ventilationsverluste auftreten. Er kann auch nachträglich zu schon vorhandenen Motoren hinzugefügt und, wenn nötig, auch in einiger Entfernung vom Motor, etwa in einem gesonderten Raum, aufgestellt werden.

Da die in Zuckerfabriken vorkommenden Motorleistungen 100 PS selten übersteigen, lässt sich durch Verbesserung des $\cos \varphi$ eines solchen Motors auf 1 oder etwas voreilend, der $\cos \varphi$ der Anlage selbst nur wenig beeinflussen. Aus diesem Grunde wird die Verwendung von Phasenkompensatoren wohl nur selten in Frage kommen.

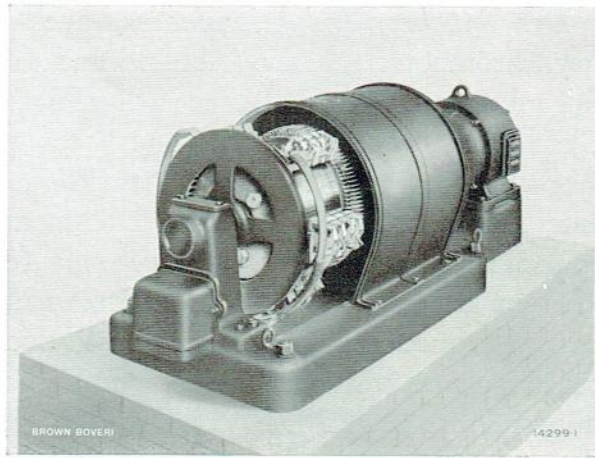


Abb. 79. Phasenkompensator Bauart Brown Boveri.

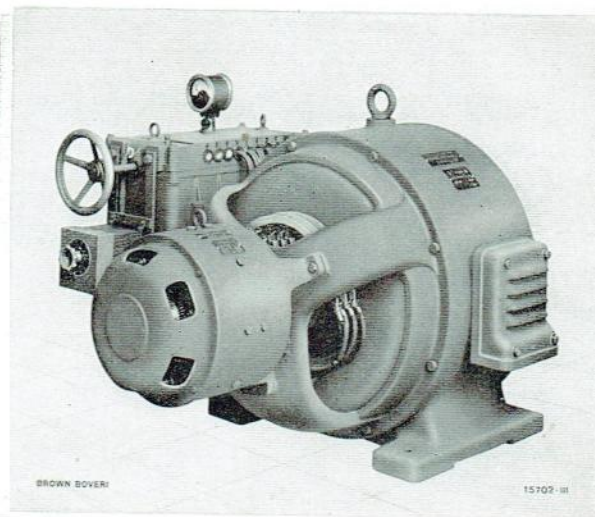


Abb. 80. Dreiphasen-Synchron-Induktionsmotor.

Der *Synchron-Induktionsmotor*, auch synchronisierter Asynchronmotor genannt (Abb. 80 und 81) ist ein Schleifringankermotor, dessen Läufer nach erfolgtem Anlauf durch Gleichstrom, den eine angebaute Erregermaschine liefert, magnetisiert wird. Der Motor läuft wie ein Asynchronmotor unter Entwicklung eines grossen Drehmomentes an, sodass er auch für den Antrieb von schwer anlaufenden Maschinen sehr gut geeignet ist. Er kann so bemessen werden, dass er ausser der mechanischen Leistung auch noch eine praktisch beliebig grosse wattlose Leistung zur Verbesserung des Leistungsfaktors abgibt. Die Verwendung solcher Motoren ist also ein bequemes Mittel, den $\cos \varphi$ einer Anlage zu verbessern.

Ein drittes Mittel ist die Aufstellung eines leerlaufenden Phasenschiebers, der keine mechanische Leistung, sondern lediglich Blindleistung liefert. Auch hierfür können Synchron-Induktionsmotoren oder gewöhnliche Synchronmaschinen verwendet werden. Der Synchron-Induktionsmotor (Abb. 82) ist etwas einfacher in den für den Anlauf erforderlichen Apparaten und bequemer in der Bedienung. Wenn aber für den Betrieb während der Nachkampagne ein eigener kleiner Generator vorhanden ist, so kann man auch diesen als Phasenschieber während der Hauptkampagne benutzen, indem man ihn leer, aber mit voller Erregung mitlaufen lässt. Er gibt dann ungefähr drei Viertel seiner

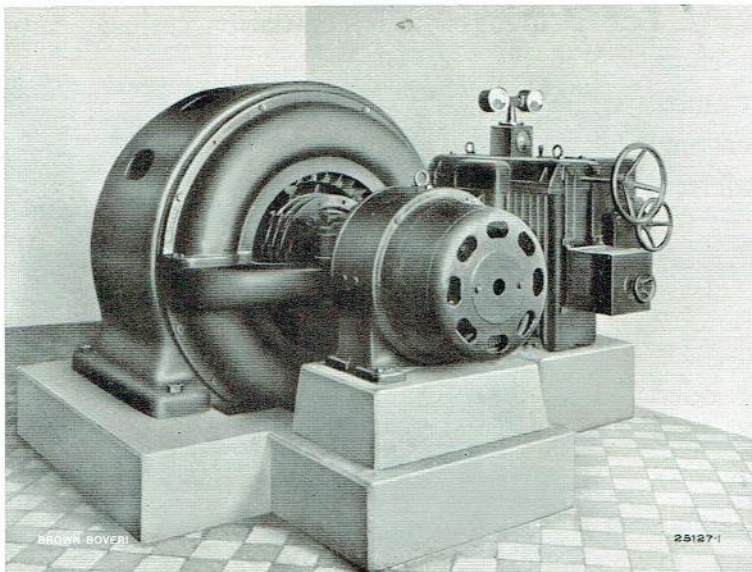


Abb. 82. Leerlaufender Synchron-Induktionsmotor, als Phasenschieber dienend.

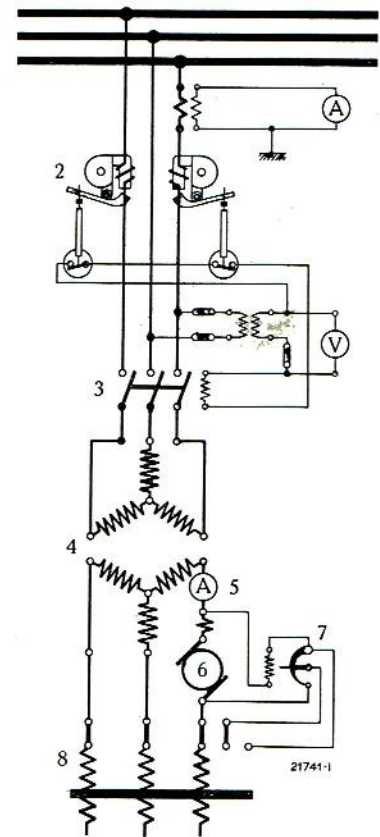


Abb. 81. Schaltungsschema eines Synchron-Induktionsmotors.

- 1 = Netz.
- 2 = Hauptstrom-Zeitrelais.
- 3 = Statorschalter mit Minimalspannungsauslösung.
- 4 = Synchron-Induktionsmotor.
- 5 = Erregerstromzeiger.
- 6 = Erreger.
- 7 = Magnetregler.
- 8 = Läufcranlasser mit Einschaltkontakt für das Erregerfeld und Ueberbrückungskontakt für den Magnetregler.

kVA - Leistung als Blindleistung ab und entlastet dadurch den Generator von der Lieferung wattlosen Stromes.

Die Schaulinien Abb. 83 gestatten, die zur Verbesserung des Leistungsfaktors eines Motors oder einer Anlage erforderliche Blindleistung und erzielbare Verbesserung des Leistungsfaktors unmittelbar abzulesen. Ausserdem kann da-

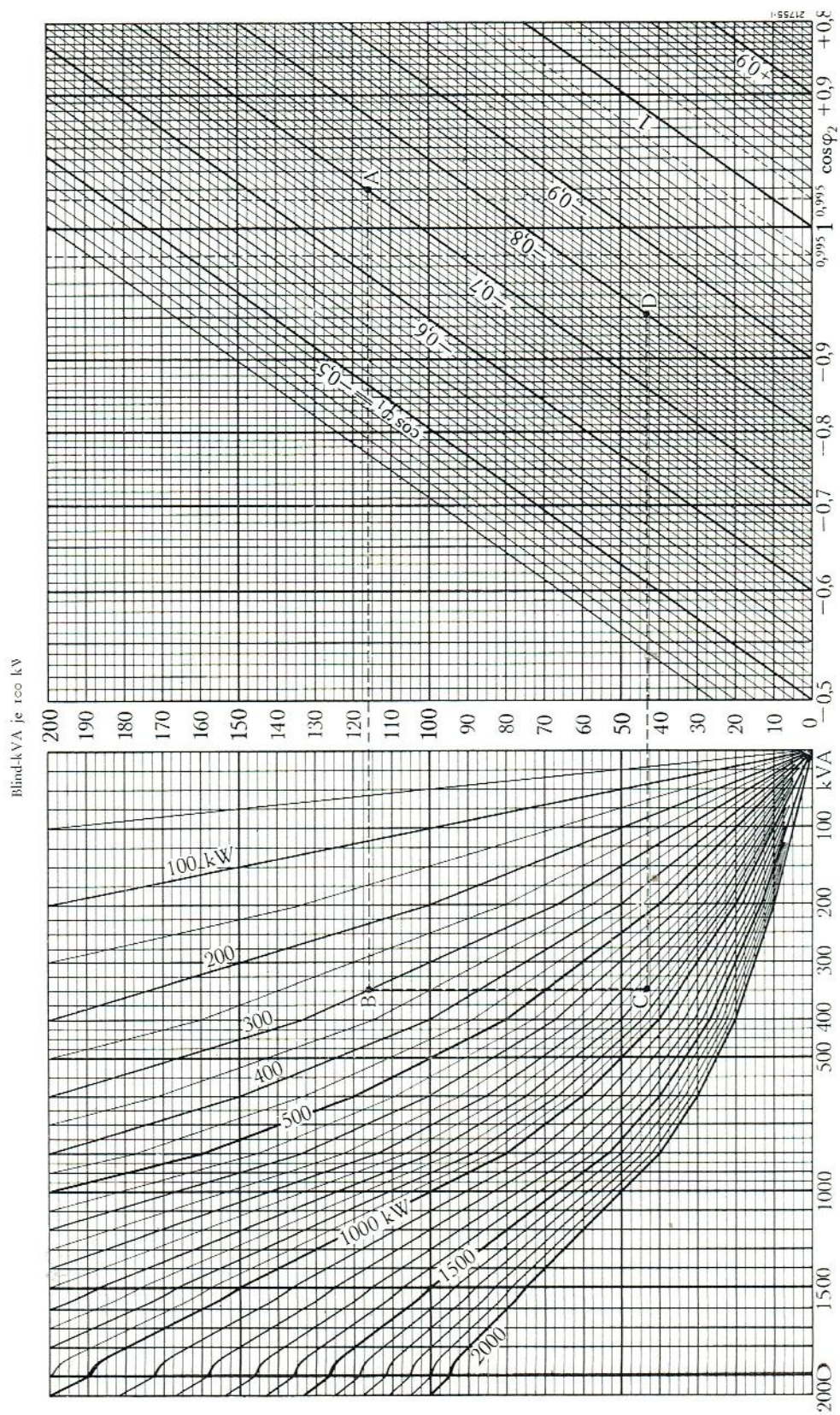


Abb. 83. Schaulinien zur Ermittlung der Blindleistung und der $\cos \varphi$ -Verbesserung.

mit auf einfache Weise ermittelt werden, um wieviel der Leistungsfaktor eines Netzes durch die Kompensierung eines Motors verbessert wird oder auch, wie weit ein Motor kompensiert werden muss, um eine bestimmte Verbesserung des Netzleistungsfaktors zu erzielen.

Rechtes Linienfeld: Um den zwischen zwei verschiedenen $\cos\varphi$ -Werten bestehenden Unterschied der Blindleistung (BkVA), bezogen auf je 100 kW Effektivleistung, zu ermitteln, ist die Ordinate des Schnittpunktes der schrägen Linien für $\cos\varphi_1$ (= unkompensiert) und der lotrechten für $\cos\varphi_2$ (= kompensiert) abzulesen. Es bedeutet: $-\cos\varphi$ = nachteilend, $+\cos\varphi$ = vorteilend.

Linkes Linienfeld: Mit Hilfe der schrägen Linien für die gesamte kW-Leistung können zu den als Ordinate aufgetragenen Blind-kVA je 100 kW auf der Abszisse die gesamten Blind-kVA abgelesen werden.

Beispiel: Der Leistungsfaktor eines Motors von 300 kW Aufnahme werde z. B. durch Anschluss eines Phasenkompensators von $\cos\varphi_1 = -0,7$ auf $\cos\varphi_2 = +0,99$ verbessert.

Ersparte BkVA je 100 kW Aufnahme = etwa 116 kVA (Punkt A), für die gesamte Aufnahme von 300 kW also = etwa 350 kVA (Punkt B). Ist die gesamte Netzleistung, d. h. einschliesslich der Leistungsaufnahme des erwähnten Motors = 800 kW, so beträgt je 100 kW Netzleistung die ersparte Blindleistung rund 43,5 BkVA (Punkt C).

Mit Hilfe dieses Wertes lässt sich die Verbesserung des Netzleistungsfaktors ablesen. Ist er unkompensiert $\cos\varphi_1 = -0,8$, so wird sich durch die angegebene Kompensierung des Motors eine Verbesserung auf $\cos\varphi_2 = -0,95$ (Punkt D) ergeben.

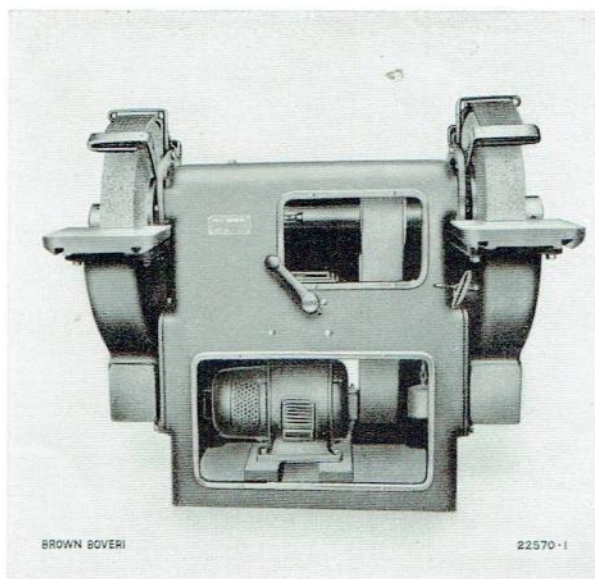


Abb. 84. Doppelschleifmaschine mit eingebautem Dreiphasenmotor mit Zentrifugalanlasser. Verschalung abgenommen.

E. NEBENBETRIEBE

Eine gut eingerichtete *Reparaturwerkstätte* ist für eine Zuckerfabrik unerlässlich. Die darin aufgestellten Werkzeugmaschinen treibt man entweder einzeln oder in Gruppen von einer gemeinsamen Transmission aus an. Der Einzelantrieb wird auch hier mehr und mehr bevorzugt, weil dadurch die Maschinen vollkommen unabhängig voneinander, die Werkstätte übersichtlicher und heller und die Uebertragungsverluste vermindert werden (Abbildung 84 und 85).

Als sehr vorteilhaft hat sich in industriellen Anlagen, und im besonderen auch in Zuckerfabriken, die Anschaffung einer elektrischen Lichtbogen - Schweissgruppe

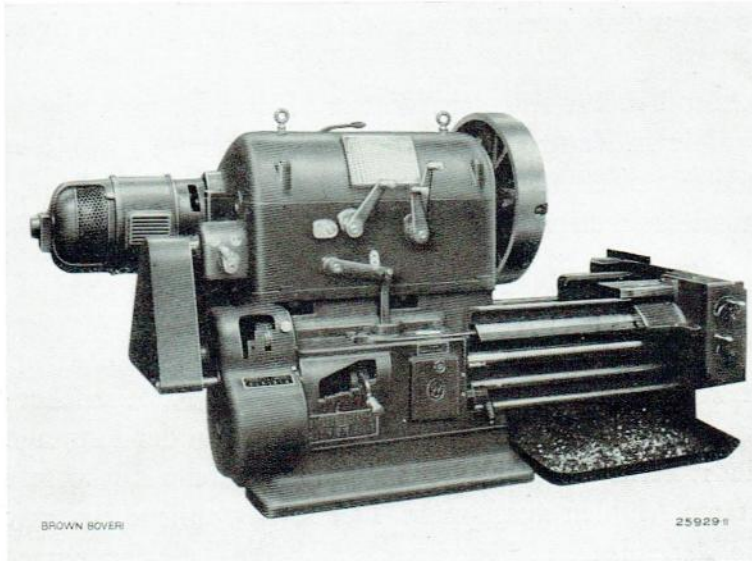


Abb. 85. Drehbank mit angebautem Zentrifugalanlassermotor.

liefert ein Gleichstromgenerator von ungefähr 10 kW Leistung, der mit seinem Antriebsmotor und den erforderlichen Apparaten auf einem Fahrgestell untergebracht ist, sodass an beliebigen Stellen der Anlage geschweisst werden kann. Lichtbogenschweisssgruppen können zu Eisen-,

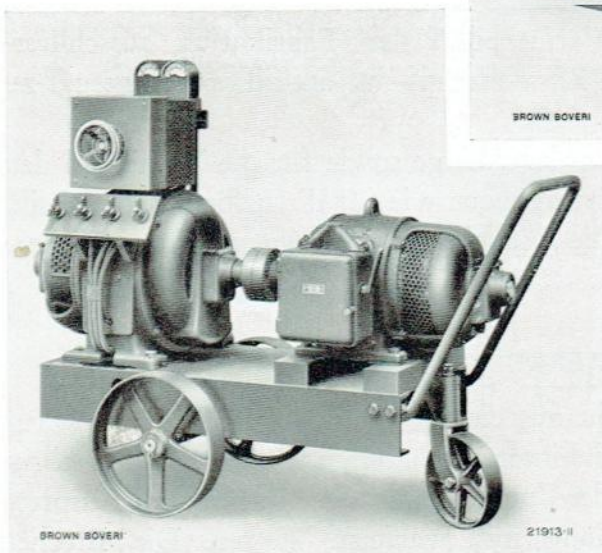


Abb. 87. Fahrbarer Schweissumformer.

erwiesen (Abb. 87). Das Prinzip der elektrischen Lichtbogenschweissung besteht darin, dass zwischen den zu verbindenden, abgeschrägten Metallstücken und einer in den meisten Fällen umhüllten Metallelektrode von geeignetem Durchmesser ein Lichtbogen gezogen wird, der die Metallstücke an engbegrenzter Stelle bis zum Schmelzpunkt erhitzt und das flüssige Metall mit dem ebenfalls abschmelzenden der Elektrode innig vereinigt. Den Schweiss-Strom von im Höchsthalle etwa 250 A

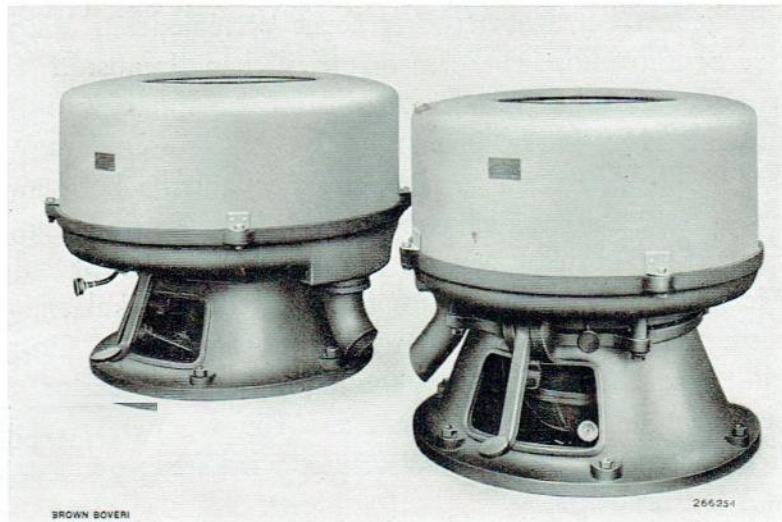


Abb. 86. Wäschezentrifugen mit im Fuss eingehängtem und nachgiebig befestigtem Antriebsmotor.

Stahl-, Stahlguss- und Graugussreparaturen aller Art, z. B. Aufschweissen von Zähnen auf Zahnrädern, Schweissen gebrochener Gussgehäuse, Auftragungen auf Wellen usw. verwendet werden. Die Schweissgruppen Bauart Brown Boveri sind einfach bedienbar und sehr wirtschaftlich im Betriebe. Ihre Anschaffung macht sich in kürzester Zeit bezahlt, da sich Reparaturen an Maschinenteilen, deren Er-

satz unter Umständen erhebliche Kosten und Zeitverluste verursachen würde, in wenigen Stunden ausführen lassen.

Zum Reinigen der Säcke durch Abspülen mit warmem Wasser verwendet man eigene Waschmaschinen. Nachher gibt man sie in Zentrifugen (Abb. 86), die zum Entnässen der gewaschenen Säcke dienen. Auch für diese Maschinen verfügt die A.-G. Brown, Boveri & Cie. über erprobte Sonderausführungen von Motoren.*

III. ROHRZUCKERFABRIKEN

Der wesentliche Unterschied der Rohrzuckerfabrikation gegenüber der Rübenzuckerfabrikation besteht in der Aufbereitung des Rohmaterials. Das gereifte, von der Plantage eingebrachte Zuckerrohr wird zunächst zerkleinert und der in ihm enthaltene Zuckersaft in mehreren hintereinander geschalteten Mühlen ausgepresst. Der so gewonnene Rohsaft wird der weiteren Behandlung, die derjenigen in Rübenzuckerfabriken gleicht, zugeführt, während das ausgepresste Rohr, die Bagasse, den Brennstoff für die Kessel liefert.

Wärmewirtschaftlich ist der Betrieb einer Rohrzuckerfabrik in zweifacher Hinsicht von jenem der Rübenzuckerfabrik verschieden: erstens durch den Umstand, dass sich der Betrieb selbst mit dem erforderlichen Brennstoff versorgt und somit, im Idealfalle, von der Zufuhr fremder Brennstoffe unabhängig ist; zweitens durch den erhöhten mechanischen Energiebedarf infolge des grossen Kraftbedarfes der Mühlen. Die durch die Mühlen ungefähr verdoppelte mechanische Leistung der Anlage wird bei sonst gleichen Verhältnissen auch ungefähr die doppelte Abdampfmenge verursachen. Ist in Rübenzuckerfabriken eine gewisse Sorglosigkeit in Bezug auf die Verwendung auch grosser Mengen von Maschinendampf im allgemeinen zulässig, so zwingen dagegen die Verhältnisse in Rohrzuckerfabriken zu einer sorgfältigen Prüfung der Abdampfmengen, weil ein Ueberschuss keine Verwendung findet und nutzlos abgeblasen werden müsste. Es lässt sich aber anderseits erreichen, dass für den Wärmebedarf der Fabrikation ausschliesslich Maschinenabdampf verwendet wird und Zusatzdampf nur aushilfsweise erzeugt zu werden braucht.

Im übrigen gelten für die Wärmewirtschaft der Anlage sowie für die Wahl und den Betrieb der elektrischen Anlage die gleichen Erwägungen wie für die Rübenzuckerfabrik. Wesentlich neue Gesichtspunkte sind aber für die Durchbildung des Antriebes der Zuckerrohr-Walzwerke massgebend.

A. DER ANTRIEB DER ZUCKERROHR-WALZWERKE

Ein Zuckerrohr-Walzwerk (Abb. 88) besteht aus einem oder zwei Vorbrechern (Crushers) und einer Anzahl, meist drei bis sechs, dahinter geschalteten Mühlen. Die Vorbrecher dienen hauptsächlich zum Aufbrechen des Zuckerrohres, die Mühlen zum Auspressen des Rohres unter gleichzeitiger Berieselung mit warmem Wasser. Die Brecher

* Vergleiche Druckschrift 1101 D: Elektro-Zentrifugen.

bestehen aus zwei oder drei, die Mühlen stets aus je drei Walzen, von denen die unteren verstellt werden können, um die je nach der Beschaffenheit des Rohres erforderliche Pressung einzustellen. Angetrieben wird die obere Walze.

Die Leistungsfähigkeit einer Mühlenanlage hängt, abgesehen von der zu verarbeitenden Rohrsorte selbst, noch von verschiedenen Umständen ab. Für die Menge des gewinnbaren Zuckergehaltes ist in erster Linie die Anzahl der Brecher und Mühlen selbst massgebend. Nach Q. A. D. Emmen* hat man die Zuckerausbeute in Anlagen mit nur drei Mühlen zu 91,7 % des gesamten Zuckergehaltes ermittelt, bei einem Vorbrecher und fünf Mühlen jedoch zu 97,3 %. Selbstverständlich spielt die Beschaffenheit und der Zustand der Walzen sowie der eingestellte Druck (der sich wieder nach dem Fasergehalt richtet) eine wichtige Rolle. Für die Kapazität der Mühlenanlage sind die Abmessungen der Walzen, für ihre dauernde Leistungsfähigkeit die Konstruktion der Ständer und Lager bestimmend. Um die Anlage aber mit ihrer vollen Leistungsfähigkeit betreiben zu können, sind zwei Faktoren ausschlaggebend: regelmässige Rohrzufuhr und die Anwendung eines Antriebes, der nicht nur dem Kraftbedarf, sondern auch der besonderen Arbeitsweise des Walzwerkes gut angepasst ist.

Bei der überragenden Bedeutung, die der Zuckerrohr-Walzwerkanlage für die ganze Fabrik zukommt, ist es verständlich, dass man zögerte, den althergebrachten Antrieb durch Kolbendampfmaschine zu verlassen. Das Personal hat sich an die Kolbenma-

schine gewöhnt und findet sich mit ihren Eigenschaften ab, auch mit solchen, die nicht als Vorteile angesprochen werden können.

Die Elektrifizierung der Rohrzuckerfabrik hat sich daher bis jetzt, von wenigen Fällen abgesehen, nur auf die Hinterfabrik, d. i.

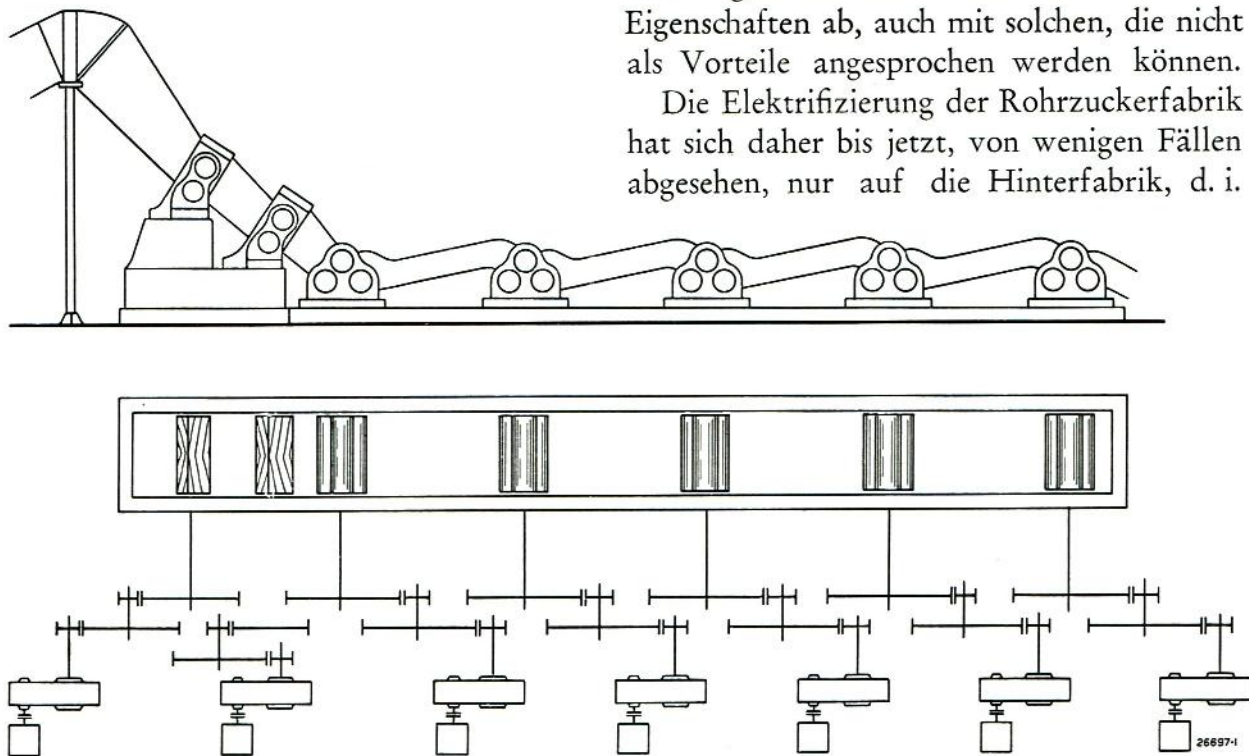


Abb. 88. Zuckerrohr-Walzwerk, schematisch dargestellt.

* Rietsuikerfabrieken op Java en hare Machinerien.

die Anlage hinter den Zuckerrohr-Walzwerken, erstreckt. Die Einwände, die man aber noch vor ein oder zwei Jahrzehnten gegen den elektrischen Betrieb auch der Zuckerrohr-Walzwerke erheben konnte, lassen sich heute nicht mehr aufrechterhalten. Der Elektromotor hat seither seine Zuverlässigkeit und Anpassungsfähigkeit in Betrieben erwiesen, in denen die Anforderungen kaum hinter jenen zurückbleiben, die beim Antrieb von Zuckerrohr-Walzwerken gestellt werden. Auch die Zuckerfabriken selbst konnten sich in den mannigfachen Anwendungen des Elektromotors im eigenen Betrieb ein Urteil über seine fast universelle Eignung bilden und verschliessen sich daher nicht mehr der Erwägung, auf den voll elektrifizierten Betrieb der ganzen Fabrikanlage einschliesslich der Walzwerke überzugehen.

Die Zweckmässigkeit des elektrischen Antriebes liegt aber nicht nur in seiner Zuverlässigkeit und Anpassungsfähigkeit begründet, sondern in den mannigfachen Vorzügen, die sich durch seine Verwendung für den Betrieb ergeben.

Wirtschaftlich zeigt sich die Ueberlegenheit des elektrischen Antriebes in einer fühlbaren Ersparnis an Energie und Betriebsmitteln. Die Energieersparnis ergibt sich aus der rationellen Dampfwirtschaft infolge der Zentralisierung der Krafterzeugung. Die zweimalige Umformung der Energie in Generator und Motor ist trotz den in den Maschinen und Leitungen auftretenden Verlusten ökonomischer als der direkte Antrieb durch Kolbendampfmaschine. Dies erklärt sich nicht nur durch die hohen effektiven Verluste der Kolbenmaschinen, sondern auch durch die Verluste in den viel längeren Dampfleitungen. Da dem Dampf ein Mehrfaches der Energie innewohnt, die durch die Maschine in mechanische Energie umgesetzt wird, sind die absoluten Verluste durch die Dampfleitungen weitaus höher als z. B. jene einer elektrischen Leitung, die Motoren gleicher Leistung speist (vergl. Seite 5 und 6).

Kolbendampfmaschinen erfordern ausserdem einen grossen Aufwand an Schmieröl, Verkleidungs- und Dichtungsmaterial, während beim elektrischen Betrieb derartige Kosten nur in ganz geringem Masse auftreten.

Fabrikationstechnisch ist bei Verwendung von Kolbendampfmaschinen der Oelgehalt des Abdampfes von Nachteil (vergl. Seite 6). Die Dampfturbine dagegen liefert ölfreien Abdampf.

Betriebstechnisch zeichnet sich der elektrische Antrieb vor allem durch die stete Betriebsbereitschaft und die ausserordentlich einfache Bedienung aus, die besonders geschultes Personal entbehrlich macht. Wenn der Antrieb so durchdacht ist, dass sich das gesamte Manöver auf die Bedienung einiger Druckknöpfe beschränkt, sind Fehler infolge unrichtiger Behandlung der Steuereinrichtungen praktisch vollkommen ausgeschlossen. Die Messinstrumente gestatten eine beständige Kontrolle der Leistung und der Arbeitsweise. Die Anlage ist übersichtlich, sauber und erfordert fast keine Wartung, erspart also auch Personal. Dazu kommt, dass die elektrische Installation billig ist, wenig Platz und infolge der geringeren Gewichte der Motoren auch leichtere Fundamente zulässt, sodass auch die Kosten der Gebäudeanlage selbst erheblich kleiner werden.

In älteren Anlagen, wo man entweder den ganzen Mühlensatz oder je zwei bis drei Mühlen durch eine gemeinsame Dampfmaschine antreibt, begnügt man sich entweder mit einer unveränderlichen Drehzahl oder einer für alle Mühlen gemeinsamen Allgemeinregulierung, während das Drehzahlverhältnis der einzelnen Vorbrecher und Mühlen zueinander gleich bleibt. Der Umstand aber, dass die Vorbrecher bereits bis zu 60 % des Zuckersaftes dem Rohr entziehen, macht die Arbeitsweise der dahinter geschalteten Mühlen im wesentlichen vom Fasergehalt des Rohres abhängig. Der Fasergehalt des an ein und dieselbe Fabrik angelieferten Rohres ist nun innerhalb einer Kampagne, je nach Ernte und Boden, von dem er stammt, verschieden und darum wird es als ein Vorteil angesehen, auch die Drehzahl der einzelnen Brecher und Mühlen gegeneinander einstellen zu können. Der Standpunkt, der zu der Frage des zweckmässigsten Regelbereiches von Zuckerrohr-Walzwerken eingenommen wird, ist heute noch recht verschieden. Tatsache ist, dass das Bedürfnis nach einer bequemen Einstellbarkeit der Drehzahl mehr und mehr empfunden wird und dass ihm in vollkommener Weise nur durch Anwendung des *elektrischen Mehrmotorenantriebes* entsprochen werden kann. Ob man sich mit einer allgemeinen Regulierung für alle Motoren etwa im Bereiche von 10—15 % begnügt, eine

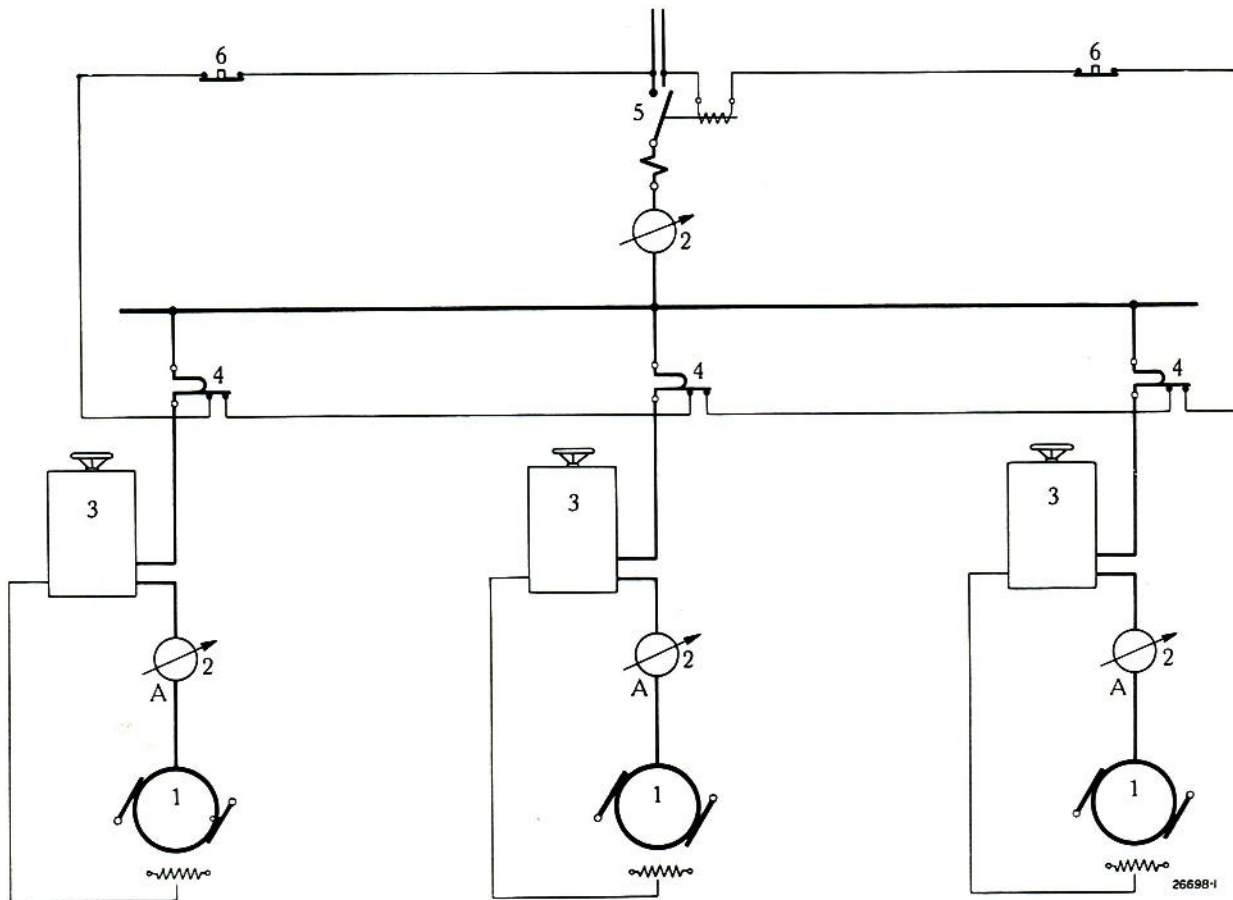


Abb. 89. Antrieb eines Zuckerrohr-Walzwerkes durch Gleichstrommotoren mit Nebenschlussregulierung (Prinzipschema).

- | | | |
|------------------|-------------------------------------|--|
| 1 = Motoren. | 3 = Umkehr- und Regulierkontroller. | 5 = Hauptschalter mit Ueberstrom- und Minimalspannungsauslösung. |
| 2 = Amperemeter. | 4 = Wärmerelais. | 6 = Halt-Druckknöpfe. |

unabhängige Regulierung der einzelnen Teile des Walzwerkes oder eine allgemeine Regulierung um etwa $\pm 15-20\%$ und eine Einzelregulierung um etwa 10% verlangt, in keinem Falle bestehen für die Durchbildung eines geeigneten, leicht bedienbaren Antriebes irgendwelche grundsätzliche Schwierigkeiten. Nur die zu verwendenden Mittel sind je nach den gegebenen Voraussetzungen verschieden.

Der elektrische Antrieb erfolgt stets in der Weise, dass für jeden Brecher und jede Mühle ein eigener Motor vorgesehen wird. Wenn irgend möglich, wählt man lauter Motoren gleicher Leistung und Drehzahl, um die Reservehaltung zu vereinfachen. In der einfachsten Form liesse sich die Ausrüstung so denken, dass für jeden Motor ein Umkehr- und Regulierkontroller aufgestellt wird. Ein Schaltbild eines derartigen Antriebes mit Gleichstrommotoren zeigt Abb. 89. Gleichstrommotoren bieten den Vorteil, dass sie sich innerhalb der hier verlangten Grenzen bequem und praktisch verlustlos durch Aenderung ihrer Erregung regulieren lassen. Bei normaler, voller Erregung laufen die Motoren mit ihrer untersten Drehzahl; durch Schwächen der Erregung steigt die Drehzahl, die Regelung erfolgt also nach oben. Ein gewisser Nachteil ergibt sich daraus, dass die Motoren im ganzen Regelbereich gleichbleibende Leistung abgeben, während der Kraftbedarf der Walze mit steigender Drehzahl ebenfalls ansteigt. Es ist daher nötig, die Motoren so zu wählen, dass sie bereits bei der unteren Drehzahl die grösste verlangte

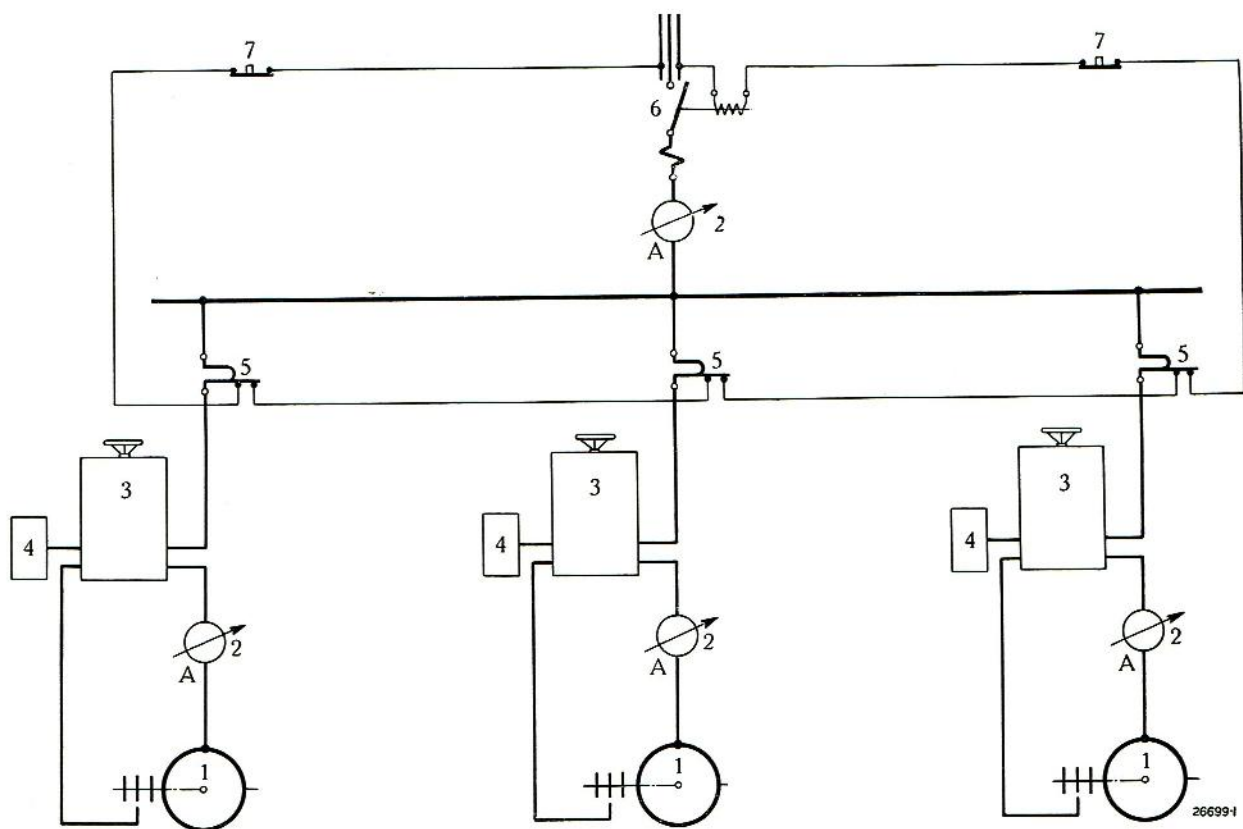


Abb. 90. Antrieb eines Zuckerrohr-Walzwerkes durch Dreiphasenmotoren mit Widerstandsregulierung (Prinzipschema).

1 = Dreiphasenmotoren mit Schleifringanker.
2 = Amperemeter.

3 = Umkehr- und Regulierkontroller.
4 = Anlass- und Regulierwiderstände.

5 = Wärmelais.
6 = Hauptschalter mit Ueberstrom- und Minimalspannungsauslösung.
7 = Halt-Druckknöpfe.

Leistung abgeben können, wodurch sich verhältnismässig grosse, also teure Motoren ergeben.

Die Motoren werden durch Wärmerelais gegen betriebsmässige Ueberlastung geschützt, deren Aufbau und Wirkungsweise gleich ist jenen Relais, welche in den auf Seite 13 beschriebenen Motorschaltkasten eingebaut sind. Wenn das Relais eines Motors anspricht, so wird der Hauptschalter ausgelöst und somit der ganze Antrieb stillgesetzt. Ein willkürliches, augenblickliches Abstellen der Maschine ist durch an beliebigen Stellen angebrachte Druckknöpfe möglich.

Eine grundsätzlich gleiche Schaltung zeigt Abb. 90 für Drehstrom. Der wesentliche Unterschied der Regulierung dieser Motoren gegenüber Gleichstrom besteht darin, dass sie durch Einschalten von Widerstand in den Rotorstromkreis erfolgt, in dem ein Teil der dem Stator zugeführten Energie vernichtet und somit für die mechanische Abgabe an der Welle verloren geht. Die Regulierung erfolgt also, von der normalen Drehzahl ausgehend, nach abwärts und unter entsprechenden Energieverlusten. Da das Drehmoment, das die Motoren abgeben können, bei allen Drehzahlen ungefähr gleich bleibt, was den bei Zuckerrohr-Walzwerken auftretenden Verhältnissen im allgemeinen entspricht, so lassen sich die Motoren also wenigstens in ihrer Grösse richtig bemessen.

Die Verwendung von Kontrollern mit Handbedienung lässt die Vorteile der elektrischen Ausrüstung nur zum Teil zur Geltung kommen. Abgesehen von der etwas umständlichen Bedienung ist es, streng genommen, auch nicht richtig, mehrteilige Arbeitsmaschinen, die nur als einheitliches Ganzes betrieben werden, in dieser Weise wie ein loses Gefüge nebeneinander aufgestellter Maschinen zu behandeln. Die Möglichkeit, durch Unterteilung des Antriebes die einzelnen Partien der Arbeitsmaschine mit der Drehzahl zu betreiben, die dem jeweiligen Arbeitsvorgang am besten entspricht, soll gleichwohl nicht dazu führen, den Zusammenhang dieser einzelnen Partien untereinander zu lösen. Die A.-G. Brown, Boveri & Cie. hat daher ein anderes System für derartige Arbeitsmaschinen durchgebildet, bei dem die Steuerung des gesamten Antriebes bequem von einer einzigen Kommandostelle aus durch Druckknopfbetätigung erfolgt in der Weise, dass ein einziger gemeinsamer Anlasser zwangsläufig von Maschine zu Maschine geschaltet wird und sie in Betrieb setzt. Das Einstellen der Drehzahl erfolgt gesondert durch die Regler der einzelnen Motoren.

Abb. 91 zeigt schematisch die Schaltung für Drehstrom. Wird auf den Druckknopf B_1 «Vorwärts» gedrückt, so fällt das Schütz S_1 ein und gleichzeitig werden die Schleifringe durch das Schütz S_3 an den Anlasser gelegt, der Motor läuft im Sinne «Vorwärts» an. Der Anlasswiderstand wird durch die von den Stromwächtern gesteuerten Anlassschütze stufenweise kurzgeschlossen, bis auf der letzten Stufe das Schütz S_4 einfällt und den Rotor auf den Regulierwiderstand des Motors schaltet. Der Motor läuft sodann mit der durch die Stellung des Regulierhebels bestimmten Drehzahl. Gleichzeitig aber fallen die Schützen S_1 und S_3 des nächsten Motors ein, und es wird nun dieser Motor in derselben Weise angelassen. So werden nacheinander zwangsläufig alle Motoren angelassen. Durch einfache Sperrschalter kann im Bedarfsfalle der Anlauf auf einzelne Motoren be-

schränkt werden. Durch Drücken auf Druckknopf B_3 «Halt» fallen die Schütze S_1 in der gleichen Reihenfolge wieder aus.

Wenn ein Motor plötzlich reversiert werden soll, so braucht nur der zugehörige Druckknopf B_2 «Rücklauf» gedrückt zu werden. Es fallen alle Schütze aus, dagegen die Schütze S_2 und S_3 des zu reversierenden Motors ein. Der Motor wird mit vertauschten Zuleitungen an das Netz gelegt, durch Gegenstrom abgebremst und im entgegengesetzten Sinne wieder angelassen. Da das Schwungmoment der rotierenden Teile gering, das entwickelte Drehmoment aber sehr kräftig ist, geht das Umkehren ausserordentlich rasch vor sich.

Im Falle einer betriebsmässigen Ueberlastung eines Motors unterbricht das vorgeschaltete Bimetallrelais den Spulenstromkreis der Schütze, die nacheinander herausfallen und die Motoren vom Netz abtrennen. Strom- und Drehzahlanzeiger, gegebenenfalls

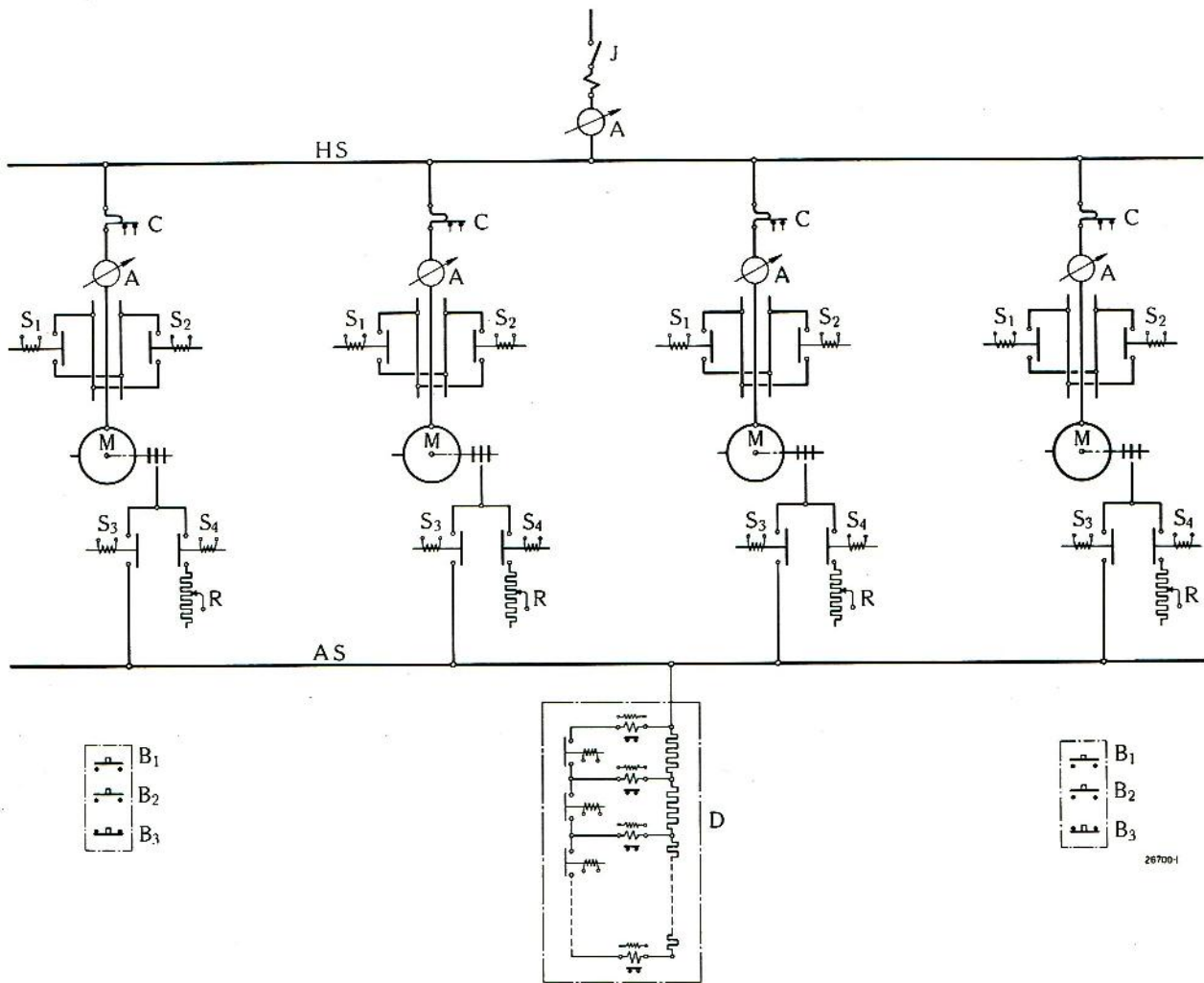


Abb. 91. Antrieb eines Zuckerrohr-Walzwerkes durch Dreiphasenmotoren mit Widerstandsregulierung und Druckknopf-Fernsteuerung.

M = Dreiphasenmotoren mit Schleifringanker.

S 1-4 = Schütze.

D = Schützenanlasser mit Widerstand und Beschleunigungsrelais.

R = Regulierwiderstand.

B 1-3 = Druckknöpfe.

A = Amperemeter.

C = Wärmerelais.

HS = Hauptschienen.

AS = Anlaßschienen.

J = Hauptschalter.

auch weitere Messinstrumente, gestatten eine beständige Ueberwachung der Arbeitsweise jedes einzelnen Motors.

Auf diese Weise wird nicht nur die Bedienung auf das überhaupt mögliche

Mindestmass beschränkt, sondern auch die Gefahr eines Schaltfehlers ganz ausgeschlossen. Ohne Zweifel ist dies gerade in Anlagen, wo man auf

wenig geschultes Personal angewiesen ist, von grossem Vorteil. Die grundsätzlich gleiche Schaltung ist auch für Gleichstrom durchgebildet, mit dem Unterschied, dass die Regulierung der Drehzahl im Nebenschluss erfolgt.

In vielen Fällen begnügt man sich aber nicht mit dieser einfachen Steuerung jedes einzelnen Motors, sondern verlangt entweder eine gemeinsame Regulierung aller Motoren

oder eine doppelte Reguliermöglichkeit in der Weise, dass sowohl alle Motoren gemeinsam als auch jeder Motor für sich allein reguliert werden kann. Eine derartige Regulierfähigkeit ist nicht an eine bestimmte Stromart gebunden, sondern lässt sich ebensogut mit Gleichstrom wie mit Dreiphasenmotoren erzielen.

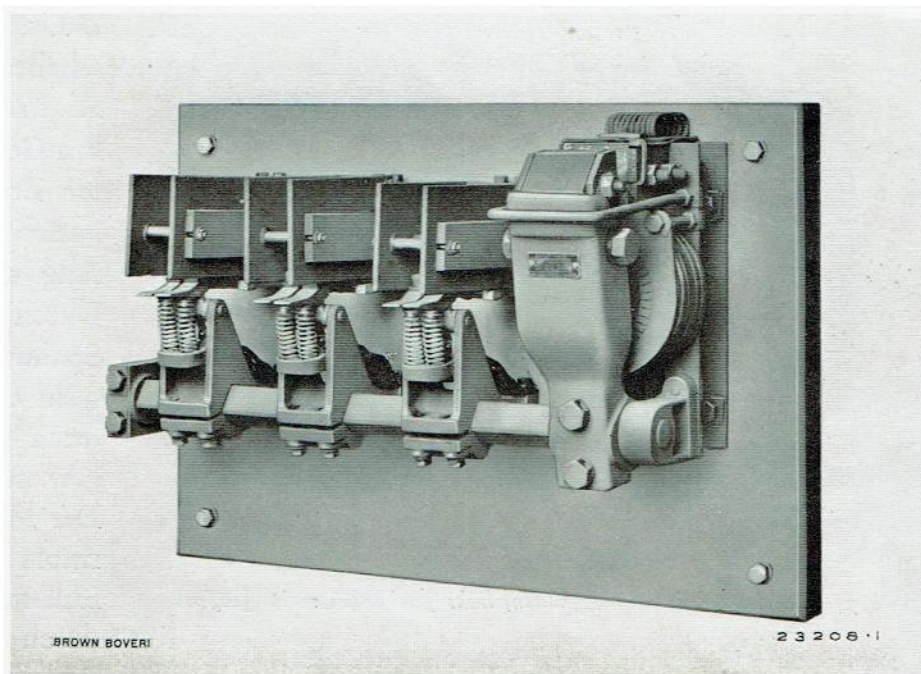


Abb. 92. Dreipoliges Wechselstromschütz für 400 A, 660 V.

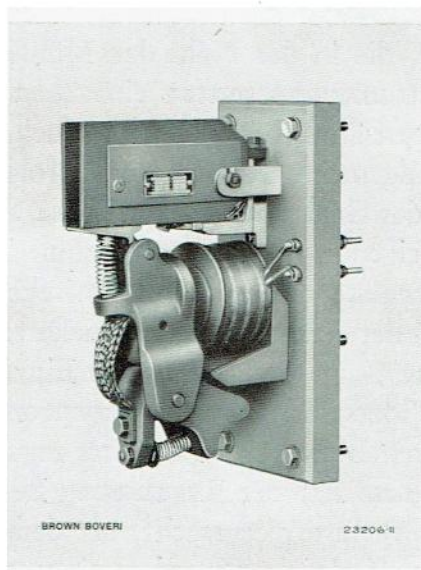
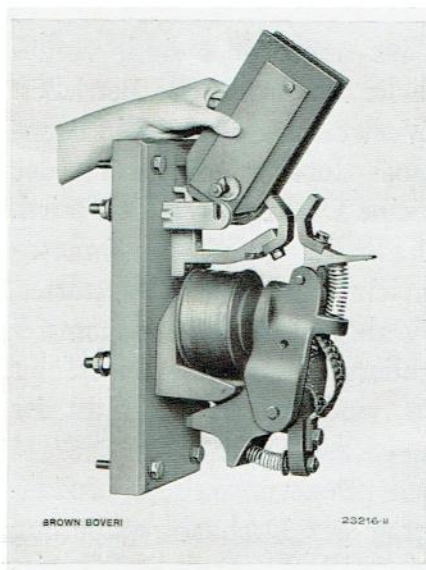


Abb. 93. Einpöliges Gleichstromschütz für 250 A, 660 V.

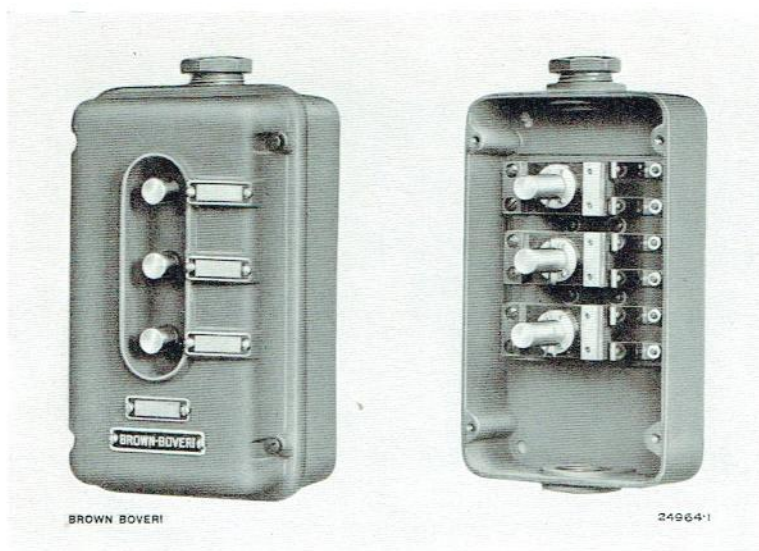


Abb. 94. Gusseiserner Druckknopfkasten, links geschlossen, rechts geöffnet.

Eine durch ihre Einfachheit sehr bemerkenswerte Schaltung zeigt Abb. 95 für Gleichstrom. Ein Generator 2 mit getrennter Erregermaschine 5 dient ausschliesslich für die Speisung der Mühlenmotoren 7. Durch Veränderung der Spannung des Generators wird die Drehzahl aller Motoren gleichmässig innerhalb gewisser Grenzen geregelt. Der Magnetregler des Generators wird von einem kleinen Hilfsmotor angetrieben, der durch zwei Druckknöpfe von

dem auf der Steuerbühne des Zuckerrohr-Walzwerkes angeordneten Schaltpult aus manövriert wird. Die Drehzahl jedes einzelnen Motors kann ausserdem noch durch Veränderung seiner Erregung eingestellt werden.

Auch hier werden alle Manöver durch Betätigung von Druckknöpfen eingeleitet. Gewöhnlich werden alle Motoren gleichzeitig durch Drücken des Anlassdruckknopfes angelassen; es kann aber auch jeder Motor für sich betrieben werden. Abstellen und Umkehren eines Motors erfolgt ähnlich, wie für die vorerwähnte Schaltung nach Abb. 91 beschrieben. Damit während des Anlassens und Umkehrens die Motoren ein kräftiges Drehmoment entwickeln können, wird während dieser Vorgänge die Erregung selbsttätig verstärkt. Selbstverständlich kann ein plötzliches Abstellen oder Umkehren eines Motors auch durch Druckknöpfe, die in der Nähe der Mühlen selbst angeordnet sind, vorgenommen werden. Messinstrumente gestatten eine übersichtliche Kontrolle des Betriebes.

Ein in seinen Hauptzügen ähnliches System ist auch bei Verwendung von Dreiphasenstrom ausführbar. Die allgemeine Regulierung erfolgt dabei durch Veränderung der Spannung und Frequenz des Generators in der Weise, dass seine Drehzahl reguliert wird. Es ist also nötig, einen eigenen Turbogenerator nur für die Speisung der Mühlenmotoren aufzustellen. Eine ferngesteuerte elektromotorische Vorrichtung (Abb. 96) gestattet, die Turbinendrehzahl von der Steuerbühne des Zuckerrohr-Walzwerkes aus in bequemster Weise um etwa $\pm 15-20\%$ zu verändern. Die Einzelregulierung der Motoren erfolgt durch Einschalten der Widerstände in den Rotorstromkreis, wodurch die Drehzahl der Motoren um einen weiteren Betrag nach abwärts reguliert werden kann.

Häufig werden gegen diese Art der Regulierung Bedenken geäussert, weil sie prozentual ebenso grosse Energieverluste verursacht, als dem Betrag der Drehzahlregulierung entspricht. Man befürchtet dadurch einen derartig ungünstigen Einfluss auf die Energiewirtschaft der Anlage, dass die verfügbare Bagasse zur Feuerung der Kessel nicht mehr

ausreicht und anderes Brennmaterial zugesetzt werden müsse. Eine einfache Ueberlegung gestattet aber, den geringen Einfluss dieser Verluste auf die gesamte Energiewirtschaft festzustellen.

Im allgemeinen begnügt man sich mit einer Einzelregulierung bis zu etwa 15 %. Da natürlich nicht alle Motoren um denselben Betrag reguliert werden, sondern von der eingestellten Grunddrehzahl aus der Reihe nach um 0—15 %, beträgt der mittlere Energieverlust $7\frac{1}{2}\%$ der gesamten Leistung der Mühlenmotoren. Rechnet man den mechanischen Kraftbedarf der Mühlenstation und der Hinterfabrik je zu 4 % des gesamten Energieaufwandes der Fabrik, so betragen die durch die Widerstandsregulierung verursachten Verluste

$0,075 \times 4 = 0,3\%$ der gesamten in den Kesseln in Form von Dampf erzeugten Energie. So unerwünscht dieser Verlust auch sein mag, so vermag er offenbar doch die Wärmebilanz der Anlage nicht zu erschüttern.

Auch der Umstand, dass die Drehzahl der durch Widerstände regulierten Motoren von der Belastung abhängt,

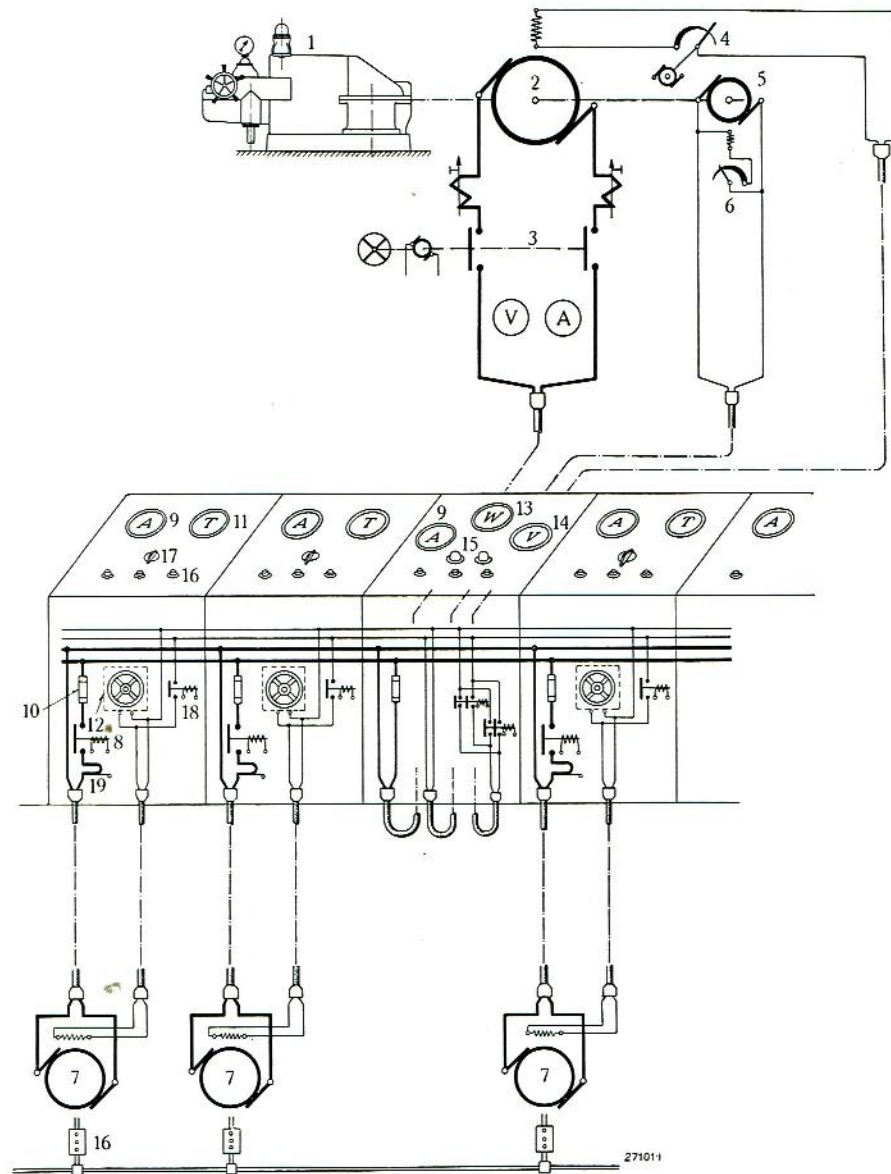


Abb. 95. Gleichstrom-Mehrmotorenantrieb eines Zuckerrohr-Walzwerkes mit Allgemein- und Einzelregulierung sowie Druckknopf-Fernsteuerung.

In der Zentrale aufgestellt:

- | | |
|---|---|
| 1 = Dampfturbine. | 4 = Magnetregler mit Motorferntrieb für Allgemeinregulierung. |
| 2 = Gleichstromgenerator mit veränderlicher Spannung. | 5 = Erregermaschine. |
| 3 = Hauptschalter mit Ueberstromrelais. | 6 = Magnetregler. |

Im Walzwerkraum und in der Bedienungstafel:

- | | | |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 7 = Antriebmotoren. | 12 = Magnetregler für Einzelregelung. | 16 = Druckknopfschalter. |
| 8 = Hauptstromschütze. | 13 = Wattmeter. | 17 = Sperrschalter. |
| 9 = Amperemeter. | 14 = Voltmeter. | 18 = Erregerschütze. |
| 10 = Shunt. | 15 = Signallampen. | 19 = Bimetallrelais. |
| 11 = Drehzahlanzeiger. | | |

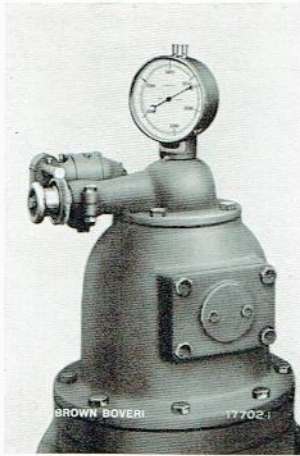


Abb. 96. Elektromotorische Vorrichtung für die Verstellung der Drehzahl von Dampfturbinen.

ist praktisch ohne Belang. Im allgemeinen wird die Belastung der Mühlen sich wenig ändern, da gleichmässige Materialzufuhr, wie schon erwähnt, eine der wichtigsten Vorbedingungen für eine gute Ausnutzung des Zucker-

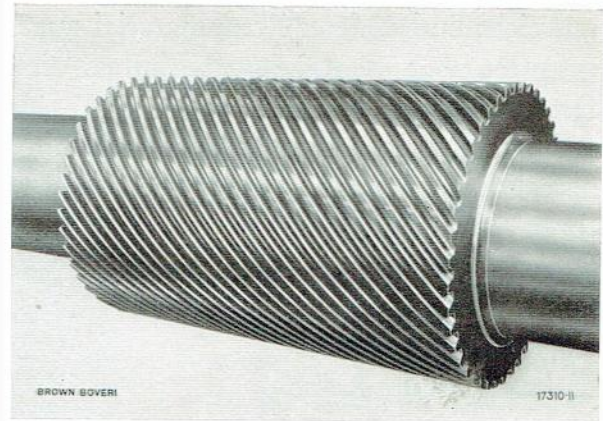


Abb. 97. Ritzel eines Brown Boveri-Zahnradgetriebes.

rohr-Walzwerkes ist und darauf also besonders geachtet werden muss. Aber selbst wenn die Belastung ausnahmsweise auf die Hälfte des normalen Drehmomentes sinkt, wird die Drehzahl,

wenn sie z. B. auf 85% der Grunddrehzahl eingestellt war, nur auf 92 bis 93% steigen.

Da derartige Belastungsschwankungen, ordnungsgemässen Betrieb vorausgesetzt, nur vorübergehend vorkommen können, wird die Arbeitsweise des Walzwerkes durch die so verursachten Drehzahlschwankungen praktisch nicht beeinflusst.

Zum Antrieb der Mühlen werden sowohl Motoren in offener als auch geschützter Ausführung verwendet. Wo man mit einer besonders hohen

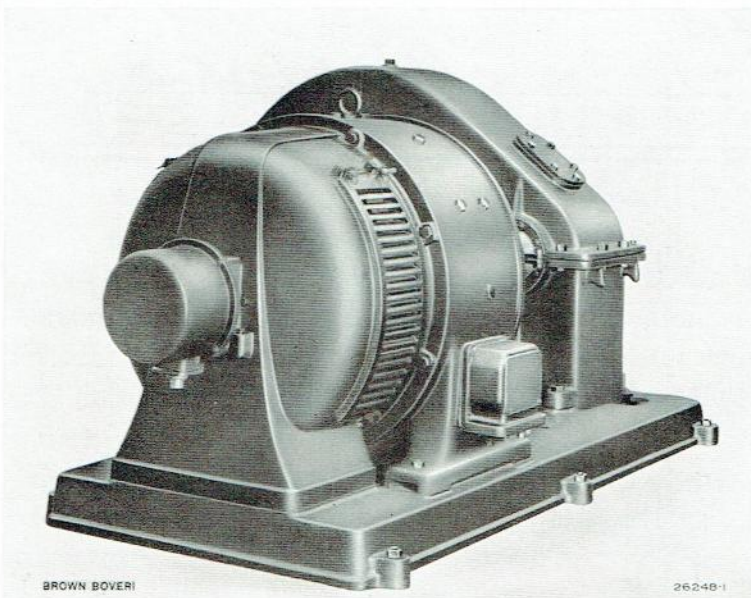


Abb. 98. Brown Boveri-Getriebegruppe mit Gleichstrommotor in geschützter Ausführung.

Temperatur der Betriebsräume rechnen muss, kann auch die Verwendung von Motoren mit Durchzugventilation, denen die erforderliche Kühlluft in eigenen Luftkanälen zugeführt wird, zweckmässig sein. Zuverlässiger Schutz gegen die Einwirkung der warmfeuchten Atmosphäre ist selbstverständlich unerlässlich und zwar ebenso wie für die Motoren auch für die Apparate. Die A.-G. Brown, Boveri & Cie. sieht dafür eine besondere Tropenisolation vor, die den atmosphärischen Bedingungen der Tropen Rechnung trägt.

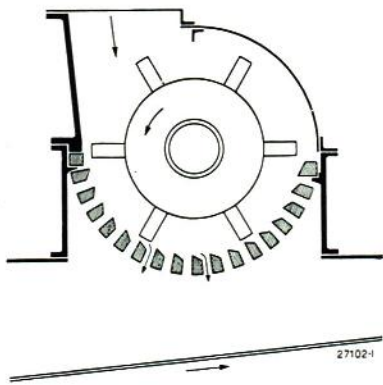


Abb. 99. Rohr-Schnittmaschine mit darunterliegendem Förderband.

Die üblichen Motorleistungen für Vorbrecher und Mühlen liegen etwa zwischen 100 bis 250 PS. Wenngleich die Vorbrecher meist einen etwas grösseren Kraftverbrauch haben, so ist es doch zweckmässig, alle Motoren des Zuckerrohr-Walzwerkes gleich zu wählen, um mit einem einzigen Ersatzmotor für die ganze Anlage auszukommen.

Die angetriebenen Walzen laufen mit sehr niedriger Drehzahl, etwa 1,5 bis 3 U/min. Der Antrieb erfolgt deshalb stets über mehrere Zahnradgetriebe. Für die unteren Geschwindigkeiten benützt man einfache Stirnräder. Für die erste Uebersetzung der Motordrehzahl empfiehlt sich dagegen die Verwendung eines hochwertigen Getriebes, nicht nur

weil es wirtschaftlicher ist, sondern auch weil es viel ruhiger läuft. Das Präzisionsgetriebe Bauart Brown Boveri (Abb. 97 und 98) ist für diese Antriebe sehr gut geeignet. Es hat einfache Schraubenverzahnung und ist dadurch besonders bemerkenswert, dass der durch die Schrägverzahnung verursachte axiale Schub durch einen am Ritzel angeordneten Druckkamm aufgenommen wird, der gegen eine entsprechend ausgebildete Fläche am Radkranz drückt, sodass weder auf die Welle noch auf Lager und Gehäuse ein Schub ausgeübt wird. Auf die Verwendung in Industrieanlagen ist bei der Konstruktion besonders Rücksicht genommen worden. Das gusseiserne Gehäuse, das gleichzeitig als Oelbehälter dient, ist vollkommen staub- und spritzwasserdicht. Das mit der Welle aus einem Stück geschmiedete Ritzel wird aus hochwertiger Stahllegierung hergestellt.

Der Radkörper ist aus Guss-eisen, Radkranz und Radwelle aus bestem SM - Stahl. Die Wellen laufen in Kugel- oder Rollenlagern. Die hohe Präzision der Verzahnung gewährleistet ruhigen Gang und geringe Uebertragungsverluste, praktisch keinerlei Verschleiss der Zähne und sozusagen unbegrenzte Gebrauchsdauer. Der Wirkungsgrad beträgt mit Einrechnung der Lagerreibungsverluste mindestens 99 %, jener der Verzahnung allein etwa 99,7 %. Von besonderer Bedeutung ist die selbsttätige Schmierung ohne Verwendung einer Oelpumpe,

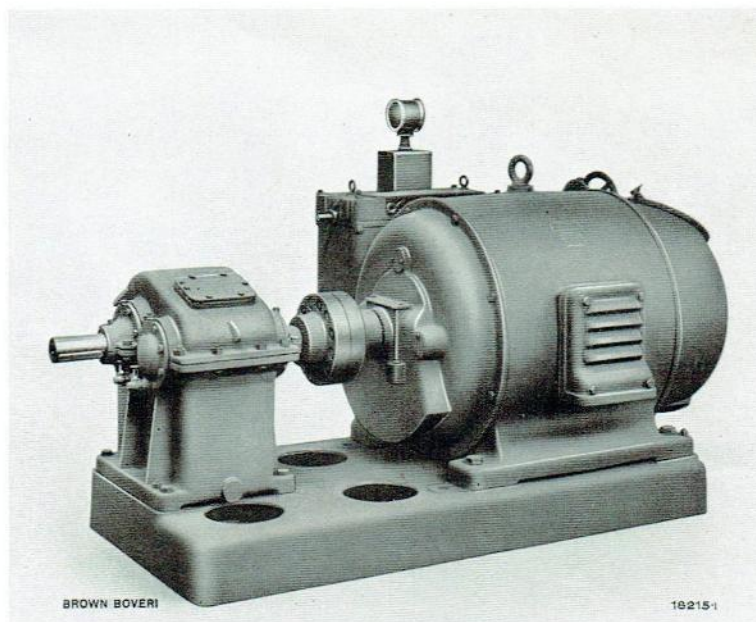


Abb. 100. Brown Boveri-Getriebegruppe mit Dreiphasen-Schleifringanker-motor in geschützter Ausführung geliefert für Shredder-Antriebe.

lediglich durch Eintauchen des grossen Getriebrades in das Oelbad. Dadurch wird die Arbeitsweise des Getriebes von der Zuverlässigkeit irgendwelcher Hilfsapparate unabhängig und die Wartung auf die gelegentliche Kontrolle des Oeles beschränkt.

An Stelle eines Vorbrechers oder auch hinter ihm wird manchmal eine *Rohrschnitzmaschine* (Shredder, Abb. 99) verwendet. Sie besteht aus einer mit stählernen Armen versehenen Trommel, die in einem Gehäuse läuft und die das Rohr gegen einen mit scharfen Schneiden versehenen Rost presst, wodurch es gebrochen und fein zerschnitten wird. Die Trommel läuft mit hoher Drehzahl und wird durch einen direkt gekuppelten Asynchronmotor von gleichbleibender Drehzahl angetrieben. Der amerikanischen Praxis entsprechend beträgt die Drehzahl häufig etwa 1200, entsprechend einem Betrieb mit Wechselstrom von 60 Perioden. In Anlagen mit 50 Perioden ist daher die Zwischenschaltung eines Getriebes notwendig. Auch hiefür haben sich Brown Boveri-Zahnradgetriebe bestens bewährt. Abb. 100 zeigt eine der für derartige Antriebe gelieferten Getriebegruppen.

B. DIE HINTERFABRIK UND DIE ELEKTRISCHE ZENTRALE

Wie bereits erwähnt, ist die Erzeugung des Zuckers aus dem im Zuckerrohr-Walzwerk gewonnenen Rohsaft ähnlich jener in Rübenzuckerfabriken. Demgemäss sind auch die verwendeten Betriebseinrichtungen im wesentlichen dieselben. Die Ausführungen des Abschnittes über Rübenzuckerfabriken haben daher sinngemäss auch für Rohrzuckerfabriken Geltung.

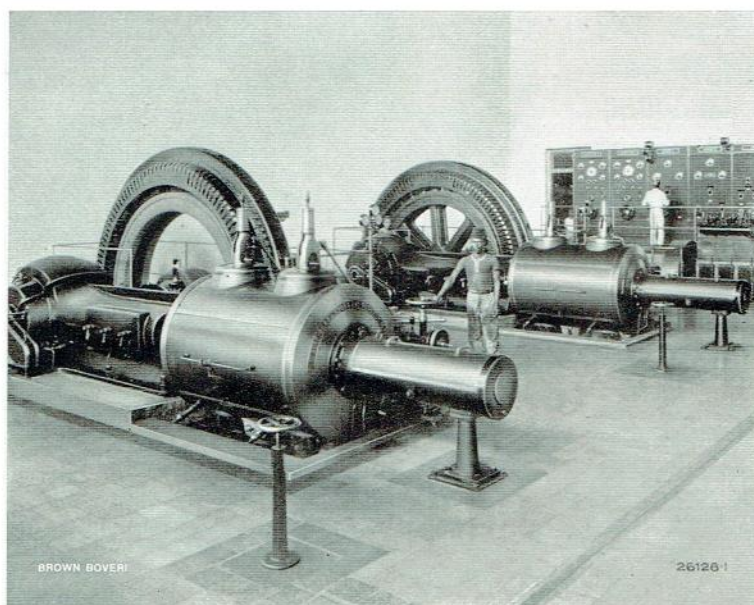


Abb. 101. Kraftzentrale einer Rohrzuckerfabrik (Java) mit Dreiphasengeneratoren, 550 kVA, Drehzahl 187, 400/230 V, 50 Perioden.

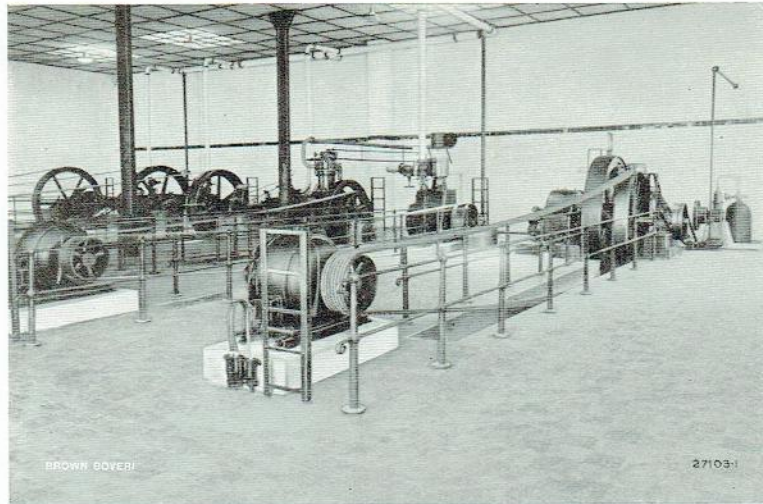


Abb. 102. Maschinenraum einer Rohrzuckerfabrik (Java) mit riemengetriebenen Gleichstromgeneratoren je 40 kW, 230 V.

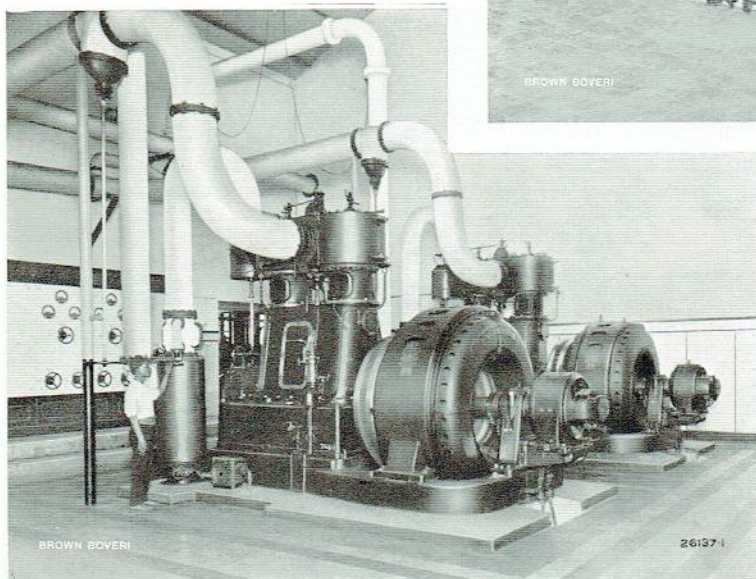


Abb. 103. Kraftzentrale einer Rohrzuckerfabrik (Java) mit Dreiphasengeneratoren, 375 kVA, Drehzahl 431, 390/225 V, 57,5 Perioden.

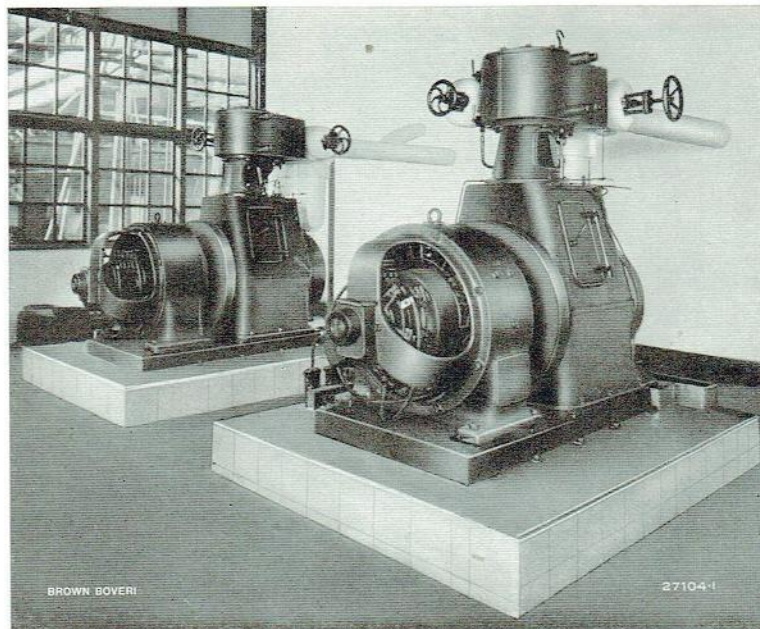


Abb. 104. Maschinenraum einer Rohrzuckerfabrik (Java) mit Gleichstromgeneratoren je 55 kW, Drehzahl 540.

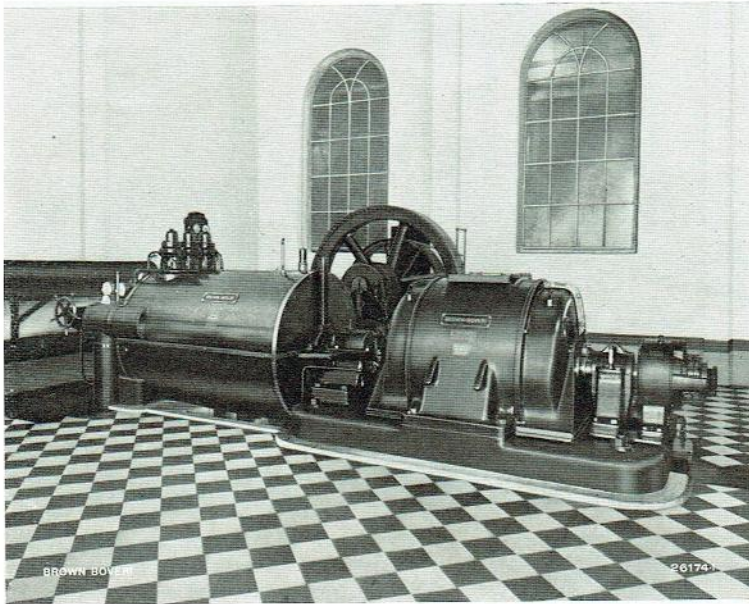


Abb. 105. Kraftzentrale einer Rohrzuckerfabrik (Java) mit Gegendruck-Turbogenerator, 370 kW, Drehzahl 3000.

Abb. 106. Hauptschalttafel in einer Rohrzuckerfabrik (Java).

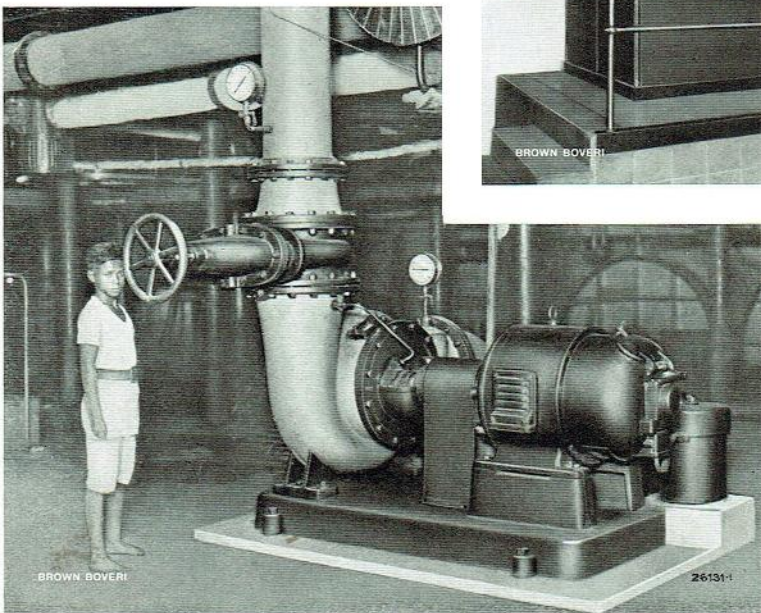
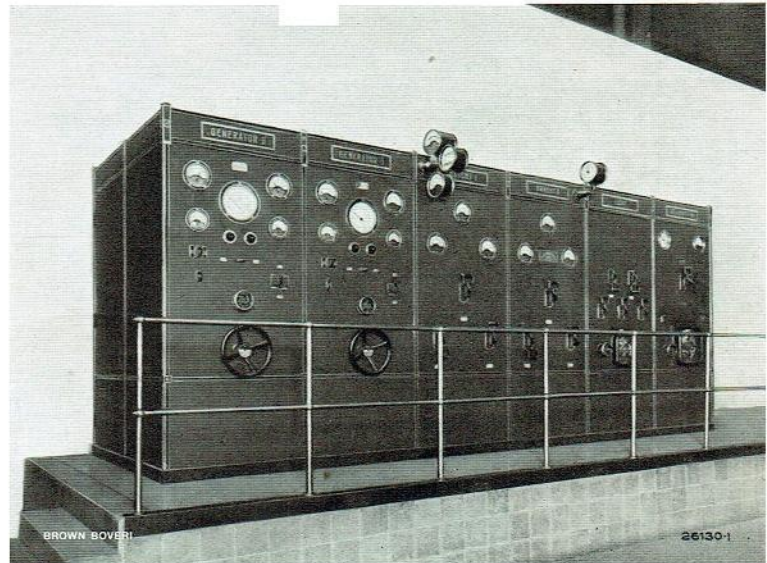


Abb. 107. Kondenswasserpumpe mit Antrieb durch Dreiphasenmotor von 65 PS, Drehzahl 985, aufgestellt in einer Rohrzuckerfabrik (Java).

Abb. 108. Antrieb der Drahtseilbahn zur Förderung der Zuckerrohrwagen durch Dreiphasenmotor 100 PS, Drehzahl 485 (Java).

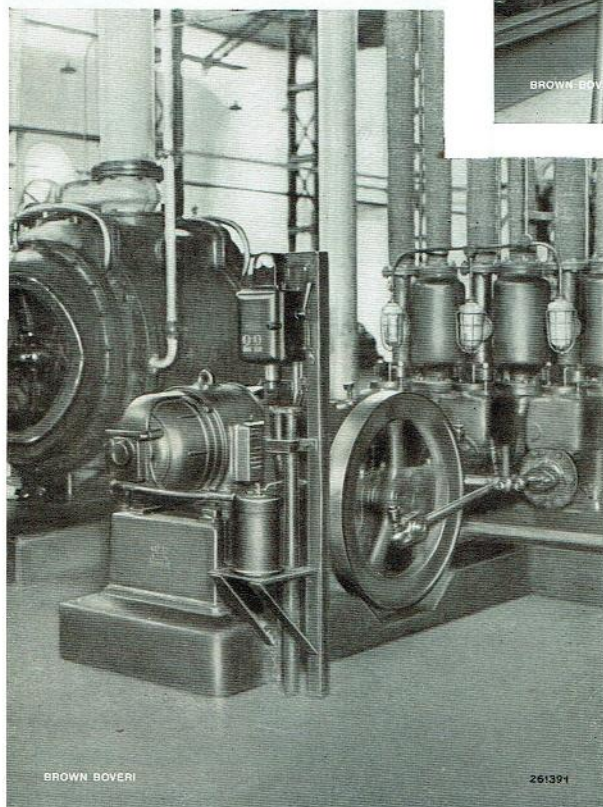
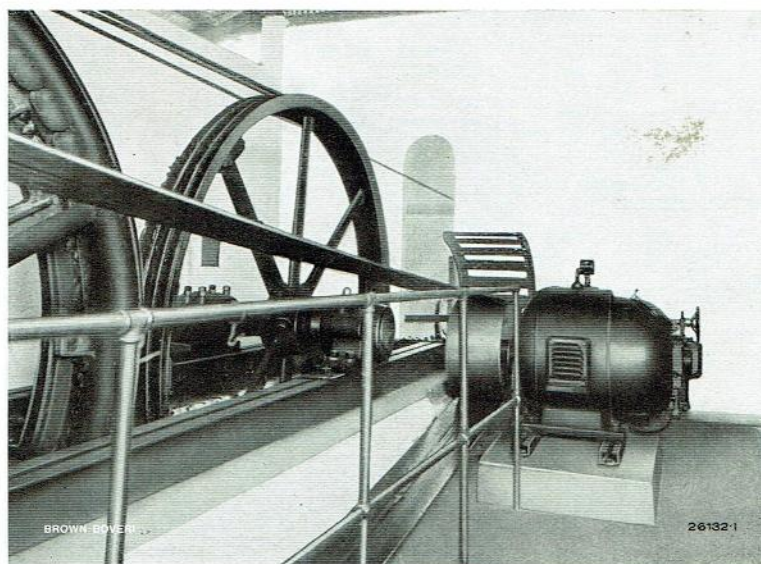


Abb. 109. Brüdenpumpe, über Schnecke angetrieben durch Dreiphasenmotor von 8,5 PS, Drehzahl 860, aufgestellt in einer Rohrzuckerfabrik (Java).

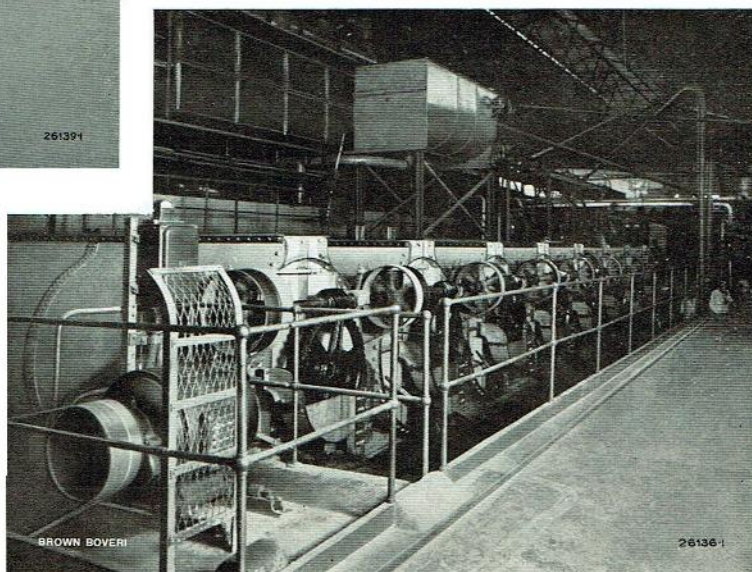


Abb. 110. Gruppenantrieb der Sudmaischen durch Dreiphasenmotor von 38 PS, Drehzahl 720, in einer Rohrzuckerfabrik (Java).

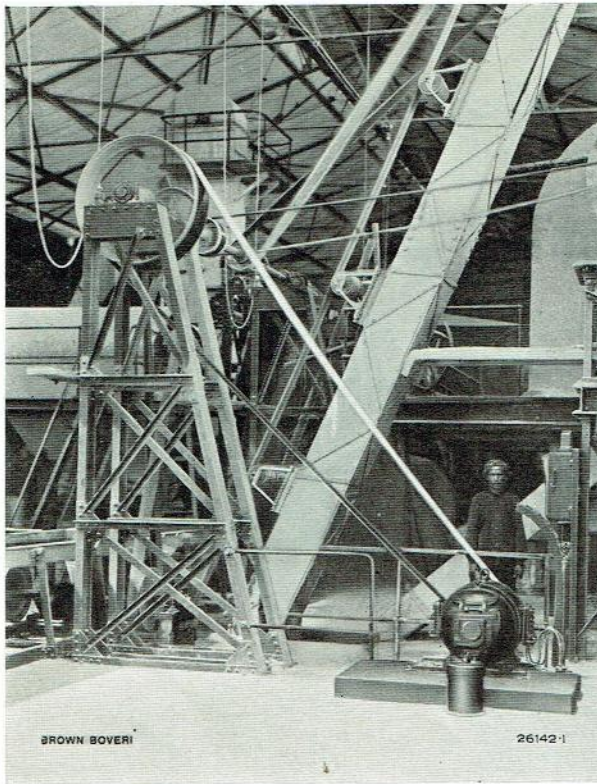


Abb. 111. Gruppenantrieb des Zuckertrockners, Schüttel-siebes und eines Elevators einer Rohrzuckerfabrik (Java) durch Dreiphasenmotor von 27 PS, Drehzahl 715.

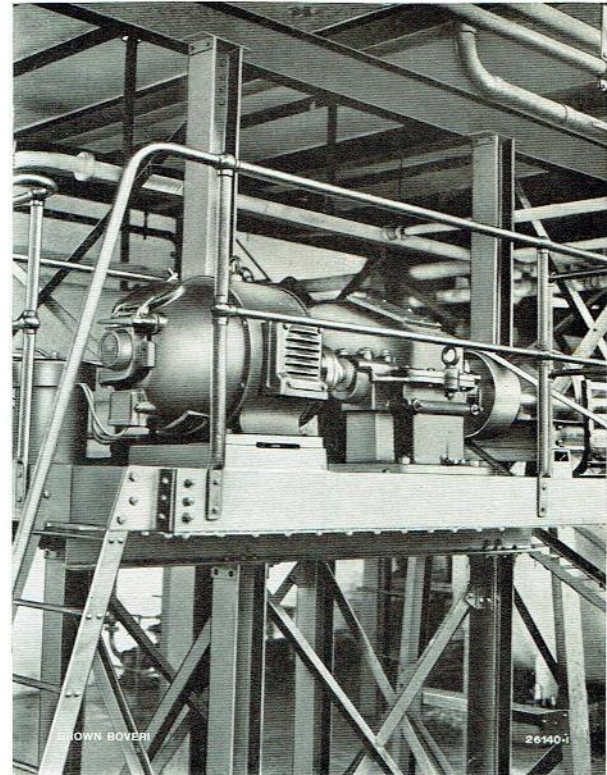


Abb. 112. Antrieb der Sudmaischen durch Dreiphasenmotor, 66 PS, Drehzahl 830, mit Zahnradgetriebe 830/116 Umdrehungen.

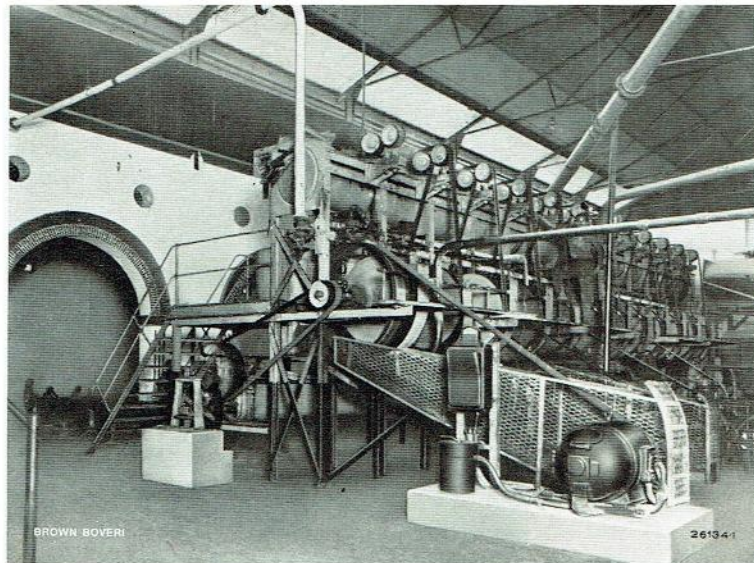


Abb. 113. Riemenantrieb der Zentrifugenbatterie einer Rohrzuckerfabrik (Java) durch Dreiphasenmotor von 65 PS, Drehzahl 985.

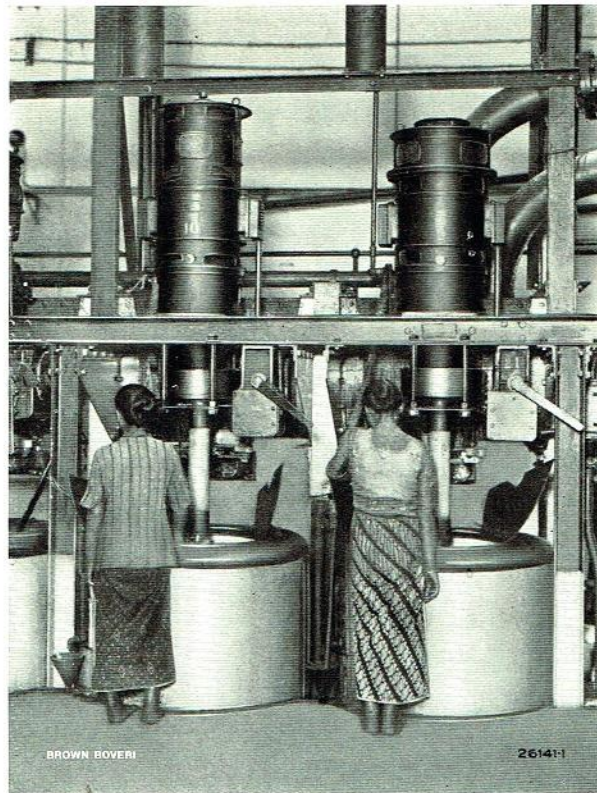


Abb. 114. Zentrifugen einer Rohrzuckerfabrik (Java) mit Einzelantrieb über direkt mitnehmende Kupplung durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser von 13,5 PS, Drehzahl 1150, 57,5 Perioden.

Dasselbe gilt für die elektrische Zentrale mit der Einschränkung, dass wegen der besonderen Arbeitsweise der Zuckerrohr-Walzwerke für die Speisung dieser Motoren meist ein eigener Generator mit veränderlicher Spannung (Gleichstrom) oder ein eigener Turbogenerator mit veränderlicher Drehzahl (Drehstrom) aufgestellt wird. Bei Verwendung von Gleichstrom lässt sich ein besonderer Generator aber auch vermeiden, wenn für die Speisung der Walzwerkmotoren z. B. ein rotierender Umformer aufgestellt wird. Man hat in diesem Falle den Vorteil, dass die Zentrale nur für eine Stromart, und zwar Drehstrom mit einheitlicher Spannung, vorgesehen werden kann. Dagegen verursacht die Umformung von Drehstrom in Gleichstrom Verluste, die ebenso hoch sein werden wie die, welche bei Verwendung von Drehstrommotoren mit Widerstandsregulierung auftreten. Von einer höheren Wirtschaftlichkeit des Gleichstromantriebes kann dann natürlich nicht mehr gesprochen werden.

(MS 1109)

S. Hopferwieser.

