

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 70 (1952)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Allgemeines über die Elektrifikation Indiens  
**Autor:** Bolens, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-59547>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

- c) Elektrizität in der Wohnung  
 d) Elektrizität und Klein - Industrie beim landwirtschaftlichen Anbau  
 e) Elektrizität und Kunstdünger

2. Thema: Die Gleichschaltung der Entwicklung der Industrie mit derjenigen der Ausbeute der Energiequellen:

- a) Energie u. Heim-Industrie  
 b) Energie u. Klein-Industrie  
 c) Energie u. Schwer-Industrie  
 d) Energie u. Verkehrsmittel (Eisenbahnen u. andere Transportmittel)  
 e) Energie u. Bergwerke

Die 44 vorgelegten Berichte wurden in sechs Sitzungen diskutiert. Schlussfolgerungen wurden keine gefasst, weil dies bei den Tagungen der Weltkraftkonferenz nicht üblich ist.

Gleichzeitig wurde in Neu-Delhi auch der erste Kongress für Bewässerung und Entwässerung abgehalten. An diesem nahmen Vertreter aus 18 Mitgliedstaaten und Beobachter aus sechs weiteren Staaten teil. Das Arbeitsprogramm umfasste als erste Frage: «Eigenart und Zustand der Bewässerung in den Mitgliedstaaten» und als zweite Frage: «Gegenwartsaufgaben der Bewässerung und Entwässerung». Es wurden 22 Berichte eingereicht, die in der Mehrzahl aus Indien, Jugoslawien und Japan stammten.

Nach den Diskussionssitzungen, die am Sonntag, den 14. Januar 1951 durch eine Exkursion nach Agra unterbrochen wurden, verliessen am 16. Januar 1951 etwa 300 Teilnehmer in zwei Extrazügen die Hauptstadt, um eine Studienreise durch ganz Indien zu unternehmen. Bild 1 zeigt die Reiseroute und die besichtigten Baustellen. Diese führte zunächst nach dem Norden, durch Amritsar und Pathankot, dann nach Südosten, durch Hardwar und Benares bis Calcutta. Hierauf wurde die indische Halbinsel nach Westen, durch Tatanagar und Nagpur bis Poona bereist, worauf schliesslich über Guntakal die Villenstadt Bangalore und das Ziel Mysore am 1. Februar 1951 erreicht wurde. Die Kongressisten verbrachten insgesamt 16 Nächte in der Eisenbahn, zuletzt noch in Schmalspurschlafwagen. Die Schluss-sitzung in Mysore war von einem märchenhaften Glanz erleuchtet. In Anwesenheit Seiner Hoheit des Maharadja von Mysore verlief sie in einem Rahmen von orientalischer Pracht, wie er an solchen Kongressen noch nie zur Schau getragen worden war.

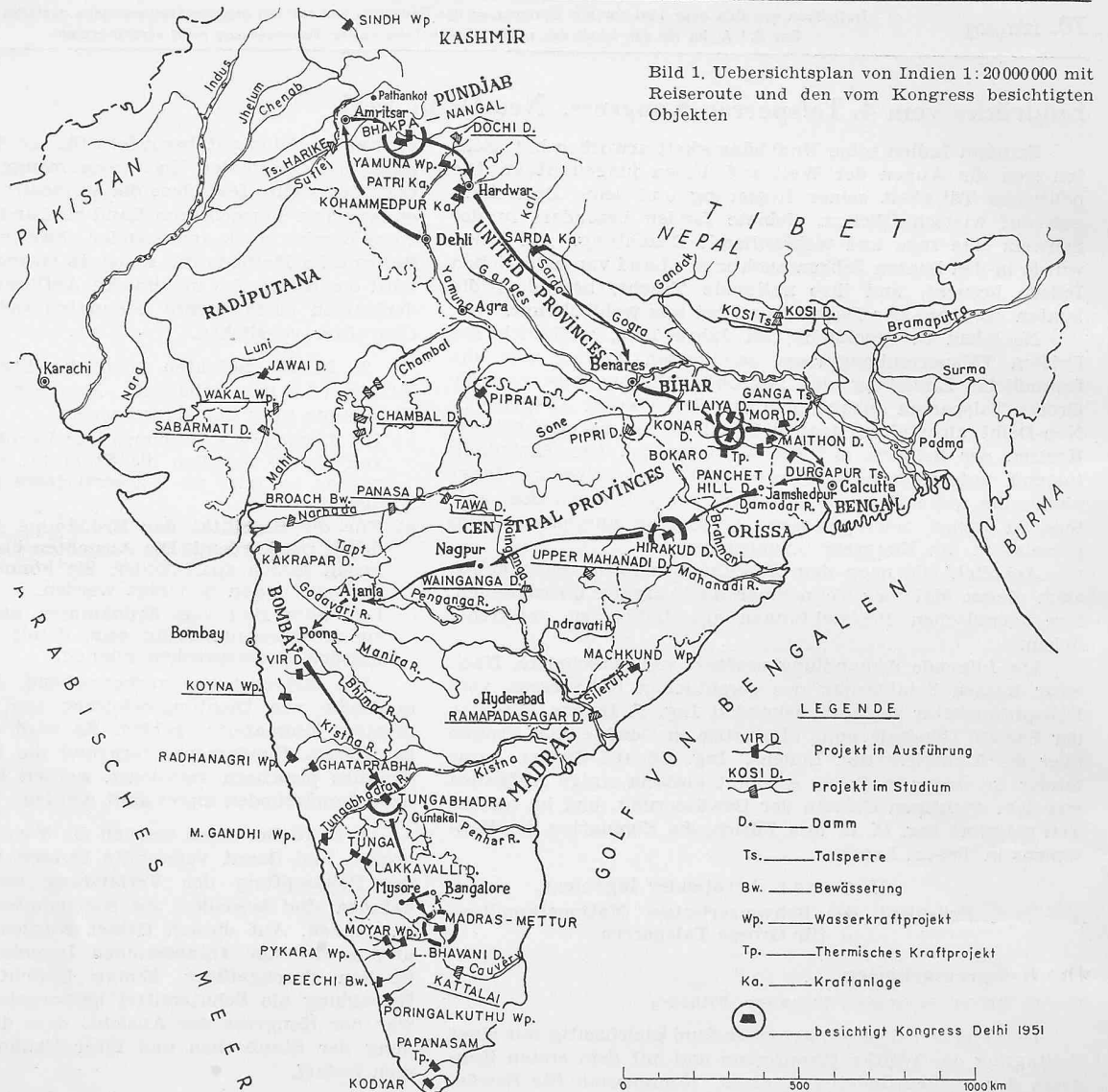


Bild 1. Uebersichtsplan von Indien 1:20000000 mit Reiseroute und den vom Kongress besichtigten Objekten

seiten der schweizerischen Gesandtschaft in Indien und der Erfahrung der Firma Gebrüder Volkart zu verdanken, dass er rechtzeitig eröffnet werden konnte. Er fand grosse Beachtung. Das Ausstellungsgut war im Herbst 1950 in den Technischen Hochschulen in Lausanne und Zürich gesammelt und probeweise aufgestellt worden.

Die gewaltige Arbeit, die vom indischen Nationalkomitee mit der Unterstützung der indischen Regierung für die Organisation dieser vier Ingenieur-Kongresse, der Studienreise und der technischen Schau geleistet wurde, führte zu einem vollen Erfolg, der allgemein nur Lob und Anerkennung fand.

Die Kongresssteilnehmer waren tief beeindruckt von der gewaltigen Anstrengung der indischen Regierung um die technische Erschliessung ihrer Energiequellen, wodurch Trockenheit sowie Hungersnot gebannt und die Volkswirtschaft gehoben werden sollen.

Der Kongress hat bewiesen, dass es auch in unserer Zeit des kalten Krieges und des gegenseitigen Misstrauens möglich ist, unter Fachleuten aus allen Ländern friedliche Diskussionen zu pflegen, die einer Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschheit dienen.

### Allgemeines über die Elektrifikation Indiens

Von Ing. F. Bolens, Direktor der Société Générale pour l'Industrie, Genf

In diesem Aufsatz kann es sich nicht darum handeln, die Verhältnisse der Elektrifikation Indiens im Einzelnen zu erörtern. In Anbetracht der gewaltigen Entwicklung, die in Indien vor sich geht, würde dies weit über den Rahmen eines solchen Abrisses hinausgehen. Es genügt wohl schon, daran zu erinnern, dass Indien eine Fläche von 3 Mio km<sup>2</sup> bedeckt, was ungefähr dem Gebiet sämtlicher Staaten Europas westlich des Eisernen Vorhangs entspricht. Nicht nur als Folge des riesigen Umfanges der Probleme, sondern auch wegen den

\*

Anlässlich des Kongresses hatte die Zentrale Bewässerungsbehörde in Neu-Delhi eine internationale Ausstellung über die Technik des Wasserbaues veranstaltet. Der Erfolg war gross. Die Ausstellung, die bis zum 18. März 1951 geöffnet blieb, wurde von 1 500 000 Personen besucht. Ein schweizerisches Interessentenkomitee organisierte einen Schweizerpavillon (Bild 2). Es ist der aufopfernden Hilfe von

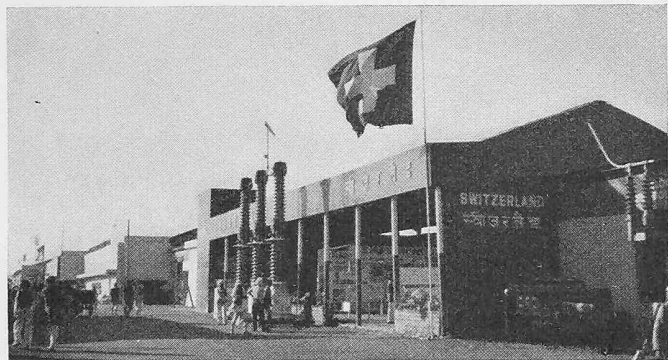


Bild 2. Schweizerpavillon an der von der CWINC anlässlich des Kongresses veranstalteten Ausstellung in Neu-Delhi

besonderen Verhältnissen in Indien sind die bereits gefundenen und projektierten Lösungen ziemlich verschieden von den herkömmlichen, wie sie auf unserem Kontinent verwirklicht werden.

**Kurzer geschichtlicher Rückblick**

Im Jahre 1897 wurde die erste hydro-elektrische Anlage in Indien erstellt, ein kleines Kraftwerk von 200 kW für die Beleuchtung von Darjeeling, einer Stadt im Nordzipfel West-Bengalens (vgl. Bild 10 des Aufsatzes «Indiens Bewässerung im Querschnitt» in der nächsten Nummer). Ein zweites Kraftwerk wurde im Jahre 1902 am Cauvery im Staat Mysore mit 4500 kW (heute 59 200 kWh) in Betrieb genommen; es belieferte die Goldminen von Kolar, die 250 km davon entfernt liegen.

Die Entwicklung der Wasserkraftanlagen vollzog sich in Indien während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts äusserst langsam, denn Ende 1949 betrug die gesamte installierte Leistung erst ungefähr 560 000 kW. Indien, das 75 mal grösser ist als die Schweiz, baute also in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts nur ungefähr einen Viertel dessen aus, was in unserem Lande im gleichen Zeitabschnitt an Wasserkraften ausgebaut wurde.

Natürlich bestehen ausser diesen hydraulischen Anlagen noch eine ganze Anzahl von thermischen Kraftwerken; ihre Gesamtleistung beläuft sich Ende 1949 auf rund 980 000 kW.

Bild 3 veranschaulicht die Entwicklung der installierten Leistung sowohl der hydraulischen wie der thermischen Kraftwerke.

**Gegenwärtiger Stand der Elektrizitätswirtschaft Indiens**

Nach den Statistiken, die die Zentrale Elektrifikationskommission veröffentlichte, ergeben sich die Zahlen der mit Elektrizität versorgten Städte und Dörfer gemäss Tabelle 1, in welcher bedeuten: A = Einteilung der Städte und Dörfer nach Einwohnerzahl; B = Gesamtzahl der Städte und Dörfer; C = Zahl derjenigen, welche über Elektrizität verfügen; D = C/B in %.

Tabelle 1. Elektrizitätsversorgung der Städte

	A	B	C	D
Ueber 100 000		49	49	100,00
Zwischen 50 000 und 100 000		87	86	98,85
Zwischen 20 000 und 50 000		277	233	84,12
Zwischen 10 000 und 20 000		607	231	38,02
Zwischen 5 000 und 10 000		2 367	221	9,34
Unter 5000		559 062	2 118	0,38
Total		562 449	2 938	0,52

Es zeigt sich also, dass nur 0,52 % aller Ortschaften Indiens elektrifiziert sind. Insbesondere lässt sich feststellen, dass die Landbevölkerung, mit Ausnahme der Bewohner einiger Dörfer der Südstaaten (Madras, Mysore, Travancore), die Vorteile und Annehmlichkeiten, die die Elektrizität bringt, überhaupt nicht kennt. Dies geht vor allem daraus hervor, dass 1464 der 2118 Ortschaften mit weniger als 5000 Einwohnern, welche über Elektrizität verfügen, allein im Staate Madras liegen.

Rechnen wir die Jahresproduktion von 1949, die 4877 Mio kWh beträgt, auf den Kopf der 337 Mio Einwohner zählenden

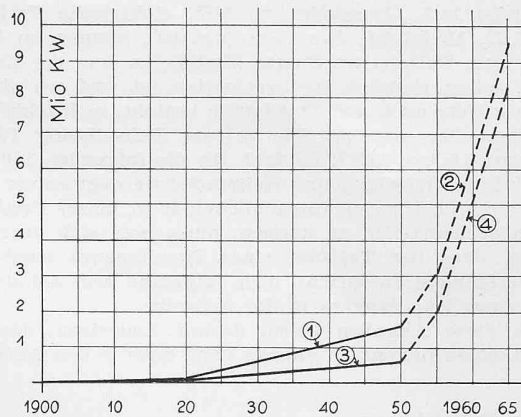


Bild 3. Ungefähre Entwicklung der in indischen Kraftwerken installierten Leistung

1 gegenwärtiger Stand der hydraulischen und thermischen Anlagen zusammen, 2 projektierte hydraulische und thermische Anlagen, 3 gegenwärtiger Stand der Wasserkraftwerke, 4 Wasserkraftwerkprojekte

Bevölkerung Indiens, so ergeben sich 12,6 kWh pro Kopf. Aber diese Produktion ist bei weitem nicht gleichmässig über ganz Indien verteilt, wie Tabelle 2 zeigt.

Tabelle 2. Spezifische Versorgung grosser Städte

Gebiet	Installierte Leistung kW	Jahresproduktion Mio kWh	Einwohnerzahl
A Gross Bombay	284 000	1 357	
B Ahmedabad	67 500	211	
C Calcutta	324 750	852	
D Kanpur	64 500	177	
E Delhi	35 036	114	
F Stadt Madras	48 000	104	
G Total A bis F	823 786	2 815	10 Mio
H Total Indien	1 540 000	4 877	337 Mio
G/H in %	53	58	3

Danach beträgt in den angeführten grossen Städten, welche 3 % der gesamten Bevölkerung Indiens beherbergen, die jährliche Energieerzeugung 58 % der Gesamtproduktion des Landes, was für diese sechs Städte eine spezifische Produktion von 281 kWh pro Einwohner ausmacht, während diese für das übrige Land auf nur 6,1 kWh pro Einwohner sinkt.

Betrachten wir die Aufteilung der Energie auf die verschiedenen Verwendungsgebiete, so ergeben sich, nach der Statistik des Jahres 1948, für ganz Indien folgende Zahlen in %: Haushaltungen 17,3, Kleinindustrien 13, Landwirtschaft 3,3, öffentliche Beleuchtung 1,4, Grossindustrie und Verkehr 65,0. Im letzten Posten ist der Anteil der Verkehrsmittel sehr gering, denn von den 55 000 km des Netzes der indischen Bahnen sind nur 380 km elektrifiziert, und nur die ganz grossen Städte, wie Bombay und Calcutta, besitzen elektrische Strassenbahnen. Von den 65 %, die von der Grossindustrie beansprucht werden, entfallen 22,6 % der Gesamtproduktion auf die Textilbetriebe, welche ungefähr die Hälfte aller Industrien Indiens darstellen.

Wie gering der Anteil der Landbevölkerung an der Elektrifikation ist, zeigt auch die Verteilung des in den Haushaltungen verbrauchten Stroms. Für ganz Indien lässt sich im Jahre 1949 pro Einwohner eine Haushaltungsenergie von 1,48 kWh errechnen. In Wirklichkeit beträgt dieser Wert aber in Bombay 3,66, in Calcutta 7,23 und in der Regierungsstadt Delhi sogar 20,82 kWh pro Einwohner. Somit sinkt dieser Wert für das übrige Indien praktisch auf Null herab. — Die allgemeinen Verluste bei der Verteilung des Stromes liegen bei etwa 20 %, was einen Begriff der Charakteristik und des Zustandes der elektrischen Netze vermittelt.

Auch die Verkaufstarife zeigen je nach den Gebieten starke Schwankungen. Nach den Angaben der zentralen Elektrifikationskommission können für ganz Indien im Jahre 1949 folgende mittlere Erträge in Rp./kWh<sup>2)</sup> aus dem Verkauf elektrischer Energie angenommen werden: Hausgebrauch und

<sup>2)</sup> Alle Preise, die in Schweizerfranken angegeben sind, werden zum Kurs 1 Rupie = sFr. —,92 umgerechnet.

Kleinhandel 14,3, Grossindustrie 3,75, elektrische Verkehrsmittel 3,22, Mittel 5,5. Die Verkaufstarife können im Süden Indiens, zum Beispiel im Staate Madras, in dem die Elektrifikation schon ziemlich fortgeschritten ist und wo ein ansehnliches Netz auch auf dem Lande besteht, in Rp./kWh wie folgt angegeben werden: Für private Beleuchtung für die ersten monatlichen 120 kWh 24,2, für die folgenden 180 kWh 20,7, für Landwirtschaft und Heimindustrie degressiver Tarif von 5,7 bis 4,75. Um den tatsächlichen Wert dieser Preise für einen Inder beurteilen zu können, muss man sich vergegenwärtigen, dass der Taglohn eines Handlangers rund zwei Schweizerfranken entspricht, d. h. ungefähr dem Zehntel des Lohnes eines Handlangers in der Schweiz.

Alle diese Angaben sollen darauf hinweisen, dass die Elektrifikation Indiens im ganzen Land noch in den Anfängen steckt.

### Geplante Entwicklung

Seit einigen Jahren widmet die indische Regierung der Entwicklung der Elektrifikation des Landes ihre ganze Aufmerksamkeit. Sie studiert diese Probleme im Zusammenhang mit der Bewässerung, um so den Ertrag der Bebauung zu steigern und damit die Ernährungslage der Bevölkerung zu verbessern. In dieser Absicht hat die Regierung die Zentrale Kommission für Wasserkraft, Bewässerung und Schiffahrt, kurz «CWINC» genannt, geschaffen, die in New Delhi über einen bedeutenden Stab von Ingenieuren und Technikern verfügt.

Diese Kommission studiert und verwirklicht auch selbst alle Projekte in den der Zentralverwaltung unterstehenden Staaten und überwacht und kontrolliert auch die der unabhängigen Staaten. Sie hat bereits den Bau einer Anzahl sehr grosser Anlagen begonnen und hat Projekte für zahlreiche elektrische Ausbauten und Verteilungsnetze ausgearbeitet, die in 15 oder 20 Jahren die zur Verfügung stehende Leistung der hydroelektrischen Kraftwerke ganz beträchtlich erhöhen werden.

Ohne näher auf die Einzelheiten dieser ausgedehnten Planung einzutreten, seien einige Zahlen angegeben. Die Schätzung der Ausgaben für den Bau der bereits begonnenen und noch geplanten Anlagen beläuft sich auf ungefähr 17,5 Mrd. Schweizerfranken. Alle diese Arbeiten werden zu den jetzigen 200 000 km<sup>2</sup> bewässerten Landes weitere 170 000 km<sup>2</sup> beifügen und die bisher installierte Leistung der Wasserkraftanlagen von 0,55 Mio kW um 11 Mio kW erhöhen. Die gesamte ausnutzbare Leistung der Wasserkräfte Indiens wird übrigens auf 30 bis 40 Mio kW geschätzt. Im Jahre 1970 wird also die ausgebaute Wasserkraft einen Drittel der gesamthaft verfügbaren ausmachen.

Gegenwärtig sind in Indien viele grosse Arbeiten in Ausführung: Acht grosse Bauwerke zu mehrfachem Nutzen, eine sehr bedeutende Bewässerungsanlage, drei Wasserkraftanlagen mit Bausummen von je über 90 Mio sFr., 24 Anlagen mit Bausummen zwischen 20 und 90 Mio und weitere 99 Anlagen, deren Baukosten unter 20 Mio sFr. liegen.

Um sich Rechenschaft über die Auswirkungen eines derartigen Bauprogrammes auf die Wirtschaft des Landes geben zu können, genügt es, Bild 3 zu betrachten. Die dort eingetragene Kurve 4 zeigt die Entwicklung der installierten Leistung infolge des oben erwähnten Programmes für das Jahr 1960 und die folgenden. Es ist augenfällig, dass der Anstieg dieser Kurve, also die Geschwindigkeit der Entwicklung, nichts mehr mit der Kurve 3 der ersten Jahrhunderthälfte gemein hat. Die Verwirklichung dieser Aufgaben erfordert ganz gewaltige Anstrengungen. In erster Linie muss man bedenken, dass die Gesamtanlagen 17,5 Mrd Schweizerfranken betragen; was das für Indien heisst, lässt sich daran ermesen, dass das jährliche Volkseinkommen 245 sFr. pro Einwohner beträgt, während der entsprechende Wert in der Schweiz mit 3400 sFr. angegeben werden kann.

Es darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass Indien fast das gesamte Material für die Ausrüstung der Zentralen im Ausland beziehen muss. Um daher die Verwirklichung der Planung zu erleichtern, wird es nötig sein, eigene Industrien aufzubauen, die einen Teil des erforderlichen Materials selbst herstellen, damit die gewaltigen Importe, die der Finanzhaushalt schwer ertragen könnte, vermindert werden können. Dies benötigt aber wiederum Kapital. Weiter muss gleichzeitig mit der Erstellung der Kraftwerke die Verwendung der produzierten Energie studiert werden, die sich auf ungefähr 40 Mrd kWh belaufen wird. Dazu braucht es grosse Indu-



Bild 4. Betonherstellung von Hand beim Bau des Nangal-Stauwehres, 18. Jan. 1951

strien, also nochmals grosse Kapitalinvestitionen und Materiallieferungen.

Diese kurzen Betrachtungen werden genügen, um die Tragweite der zu lösenden Probleme zu zeigen und um den Mut derjenigen ins richtige Licht zu setzen, die ein derartiges Programm aufgestellt haben und bereits seit einigen Jahren begonnen haben, es zu verwirklichen.

Aus den bisherigen Angaben geht hervor, dass die meisten dieser Anlagen verschiedenen Zwecken dienen müssen. Deren wichtigster ist aber fast immer die Bewässerung. Die Regulierung der Hochwasser ist häufig eine der weiteren Aufgaben, die angestrebt werden, so dass die Erzeugung elektrischer Energie nur als Nebenzweck betrachtet wird.

Man kann die Lage verstehen, wenn man bedenkt, dass die dringendste Aufgabe der indischen Regierung darin besteht, die Ernährung des Landes sicherzustellen. Dieses Problem ist aber noch schwieriger geworden, seit Pakistan und Indien getrennt sind, denn Pakistan war eine der Kornkammern der indischen Halbinsel. Zudem sind die sich immer wiederholenden Hochwasserkatastrophen während den Regenzeiten zu bekannt, als dass noch besonders auf die Notwendigkeit hingewiesen werden müsste, grosse Ausgleichbecken in den Flüssen anzulegen. Während die Abflussmenge der Flüsse in den Trockenperioden nahezu Null ist, kann sie in den Regenzeiten mehrere tausend m<sup>3</sup>/s erreichen.

Die Topographie des Landes erfordert in vielen Fällen Talsperren von mittlerer Höhe, 40 bis 70 m, aber meistens von mehreren km Länge. Diese Gegebenheiten legen die Ausführung der Sperren als Erddämme nahe, eine Lösung, die zudem noch den Vorteil hat, den in Indien ziemlich seltenen Baustoff Zement zu sparen.

Sperren aus Beton oder Bruchsteinmauerwerk bleiben für einige besondere Fälle vorbehalten oder werden in den Erddämmen an den Stellen verwendet, wo Ueberläufe notwendig sind. Häufig müssen Hochwasserentlastungen vorgesehen werden, die Wassermengen von über 10 000 m<sup>3</sup>/s abführen können. Die indischen Ingenieure verwenden manchmal Siphons, um das schwierige Problem zu lösen; sie studieren diese Verhältnisse mit besonderer Sorgfalt in den verschiedenen Laboratorien durch Modellversuche.

Die Bodenbeschaffenheit und die Erosions-Erscheinungen, die in den Regenzei-

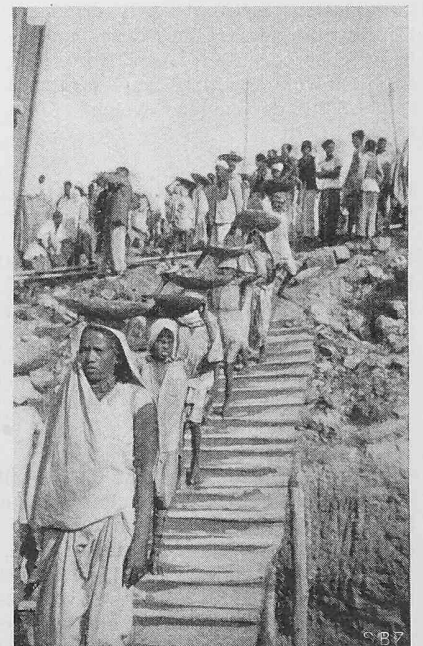


Bild 5. Primitiver Betontransport beim Bau der Tilaija-Staumauer (Damodar Valley Corp.), 21. Jan. 1951

ten auftreten, erfordern ebenfalls besondere Vorkehrungen, um die Versandung der Ausgleichbecken zu verhindern und um das Material entfernen zu können, das sich infolge der Hochwasser dort ansammelt.

Schon allein die Installationen der gegenwärtigen grossen Bauplätze würden genügend Stoff für einen interessanten Aufsatz liefern. Häufig trifft man tatsächlich auf der gleichen Baustelle modernste amerikanische Baumaschinen neben weitgehender Anwendung von Handarbeit (Bilder 4 und 5). Wenn man aber bedenkt, dass die Löhne ausserordentlich tief sind und dass oft der gesamten Bevölkerung einer Gegend Arbeitsgelegenheiten geschaffen werden

müssen, so muss man anerkennen, dass die vorwiegende Verwendung der menschlichen Arbeitskraft der Wirtschaft des gesamten Landes am besten gerecht wird.

Einige Beispiele aus den bestehenden und im Bau begriffenen Anlagen, die wir besuchen konnten, mögen einen Begriff von der Grösse und der besonderen Organisation dieser Werke vermitteln.

#### Anlage von Bhakra-Nangal

Diese Anlage liegt im Punjab, im Nordwesten Indiens am Fluss Sutlej, einem Nebenfluss des Indus. Sie besteht aus drei Hauptteilen: 1. einer oberen Stufe mit der Talsperre Bhakra und zwei Kraftwerken an ihrem Fuss; 2. einer unteren Stufe, etwa 13 km talabwärts von der ersten, mit der Talsperre Nangal und einem Umleitungskanal, an dem zwei Kraftwerke vorgesehen sind und der ungefähr 60 km weiter unten wieder in den Sutlej mündet; 3. aus einem ausgedehnten Netz von Bewässerungskanälen.

#### Obere Stufe

Die Sperre von Bhakra wird eines der bedeutendsten Bauwerke der ganzen Welt sein. Für ihren Bau werden 3 900 000 m<sup>3</sup> Beton benötigt. Das geschaffene Staubecken wird auf 515 m über Meer 9,1 Mrd m<sup>3</sup> Wasser speichern können, von welchem ungefähr 7 Mrd nutzbar sind. Die Länge des Sees wird 90 km betragen und seine Oberfläche 154 km<sup>2</sup> bedecken.

Das Projekt sieht eine Schwergewichtsmauer als Talsperre vor. Die Wasserseite ist vertikal, die Talseite erhält einen Anzug von 0,8. Im untern Drittel erhält die Wasserseite eine Verstärkung durch einen Anzug von 0,35, bedingt durch die ungünstigen Bodenverhältnisse. Die grösste Höhe der Mauer über der Fundamentsohle beträgt 207 m. Davon liegen 25 bis 30 m unter der bestehenden Bodenoberfläche. Die Kronenbreite ist 9,20 m und die Stärke am Fuss 176 m.

Infolge der Mächtigkeit der Hochwasser des Sutlej wurden die Hochwasserentlastungsanlagen mit ganz besonderer Sorgfalt studiert. Sie ermöglichen einen Abfluss von 11 300 m<sup>3</sup>/s durch folgende Bauwerke: a) einen Ueberlauf an der Krone mit zwei Schützen von 33,60 × 8,55 m für 4600 m<sup>3</sup>/s, b) einen geneigten Tunnel, der an seinem Eingang mit zwei Sektorschützen von 15,20 × 15,20 m versehen ist, für 3400 m<sup>3</sup>/s, c) 24 Entleerungsrohre mit einem Durchmesser von 2,40 m, die ungefähr auf halber Höhe der Mauer angebracht sind und 2900 m<sup>3</sup>/s entleeren können. Während des Baues wird der Abfluss des Sutlej durch je einen Tunnel auf jeder Seite des Tales ermöglicht. Jeder hat eine Länge von 700 bis 800 m und einen Durchmesser von ungefähr 15 m.

Die beiden Zentralen am Fusse der Mauer arbeiten unter einem Nettogefälle von 82 bis 156 m. Die eine wird im Freien erstellt und mit vier Einheiten von 93 000 kVA ausgerüstet. Die andere wird als Kaverne in der linken Flanke erbaut und mit acht Einheiten von 93 000 kVA versehen. Die Kaverne ist rd. 15 m lang, 24 m breit und 42 m hoch vorgesehen.

#### Untere Stufe

Die Mauer Nangal ist an der höchsten Stelle von der Sohle aus gerechnet 27 m hoch und staut einen Tagesausgleichspeicher. Sie weist 26 Öffnungen von 9,15 m Breite auf, die durch 2,15 m breite Pfeiler voneinander getrennt sind (Bilder 6 und 8). Das Einlaufbauwerk des Kanals (Bild 7) liegt auf der linken Talseite und besteht aus acht Öffnungen von je 7,30 m Breite, die einen Durchfluss von rd. 380 m<sup>3</sup>/s ermöglichen. Besonders interessant ist die Anordnung der Entsandungseinrichtung in zwei Stockwerken, die zu zahlreichen Modellversuchen in den Flussbaulaboratorien Anlass gegeben hat. Der Umleitungskanal besitzt eine Wassertiefe von 6,30 m und eine Spiegelbreite von 28 m. Es sind zwei Zentralen vorgesehen, die 20 bzw. 30 km unterhalb der Sperre Nangal liegen

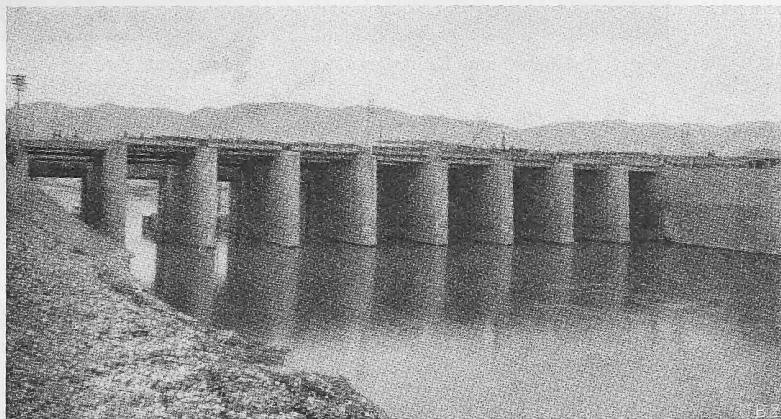


Bild 6. Nangal-Stauwehr, fertiggestellter Teil auf dem linken Ufer (18. Jan. 1951)



Bild 7. Einlaufbauwerk für den Umleitungskanal am Nangal-Stauwehr

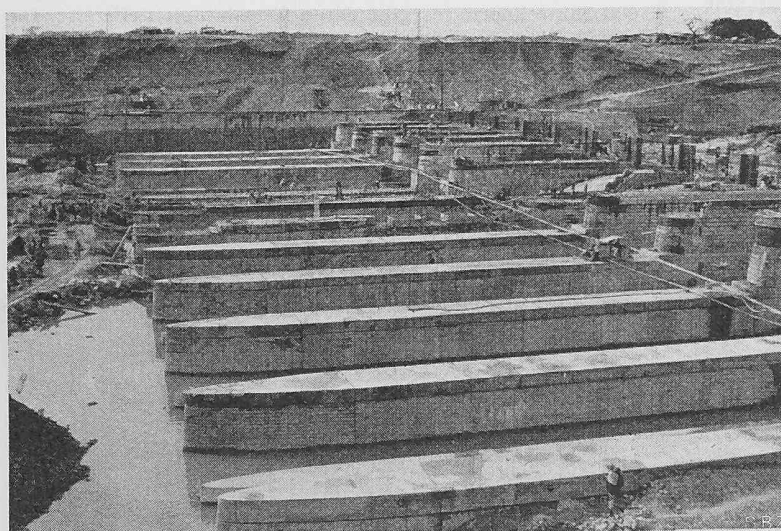


Bild 8. Nangal-Stauwehr im Bau

und die beide mit je drei Einheiten von 24 000 kW ein Gefälle von rd. 30 m ausnützen.

#### Bewässerungsnetz

Die Gesamtlänge des Hauptkanals und der Nebenkanäle erreicht 870 km und die der eigentlichen Bewässerungskanäle rd. 3400 km. Die ganze Anlage ermöglicht die Bewässerung eines Gebietes von nahezu 27 000 km<sup>2</sup>. Die Gesamtkosten des ganzen Bauvorhabens belaufen sich auf ungefähr 12 Mrd sFr.

Die Ausarbeitung dieses Projektes, das übrigens nicht weniger als 25 Varianten umfasste, wurde durch das Departement für öffentliche Arbeiten der Provinz Punjab durchgeführt, das auch die Bauleitung innehat, während die CWINC die gesamten Arbeiten überwacht.

Im Januar 1951 wurden die beiden Tunnel für die Umleitung des Sutlej bei der Sperre Bhakra durchgebrochen und ein Teil der Bauplatzeinrichtungen erstellt. In Nangal waren das Einlaufwerk und die Staumauer beinahe fertig. Der Kanal war im Bau und für die beiden Zentralen wurden die erforderlichen Erdbewegungen ausgeführt. Das Bauprogramm sieht vor, dass der Kanal von Nangal und das erste Wasserkraftwerk an diesem 1953 erstellt sein werden, und dass die Mauer von Bhakra 1956 fertig betoniert ist, während sich die übrigen Arbeiten gestaffelt auf spätere Termine verteilen werden.

#### Sperre und Zentrale von Hirakud (Orissa)

Der Staat Orissa liegt am Golf von Bengalen. Er ist verhältnismässig schwach besiedelt, wohnen doch auf einer Oberfläche von 155 000 km<sup>2</sup> nur 15 Mio Menschen. Aber seine Bodenschätze und seine Entwicklungsmöglichkeiten sind gross, und nur durch das Fehlen einer Gesamtplanung ist es zu erklären, dass dieses Gebiet noch ganz unvollständig bebaut und schwach industrialisiert ist. Allerdings litt es auch wiederholt unter grossen Ueberschwemmungen und schrecklichen Hungersnöten.

Vor einigen Jahren wurde eine ausgedehnte Planung für dieses Gebiet aufgestellt. Vor allem befasst sie sich mit dem Ausbau des Gebietes des Mahanadi, eines der drei grossen Flüsse, die diesen Staat durchqueren. Der Mahanadi führt eine jährliche Wassermenge von 90 Mrd m<sup>3</sup>, d. h. mehr als der Tennessee in den USA. Die Planung verfolgt mehrfache Ziele: Regulierung der Hochwasser, Bewässerung, Energieproduktion und Schifffahrt. Sie umfasst drei Talsperren. In der Flussrichtung von oben nach unten sind dies: Hirakud, Tikarpara und Naraj-Cuttack. Alle zusammen ermöglichen, ein doppelt so grosses Gebiet wie die Schweiz zu bewässern, eine sehr beträchtliche Energie zu produzieren, die der Belieferung neuer Industrien dienen kann, und 600 km schiffbare Kanäle zu schaffen, die eine Tiefe von 2,70 m haben.

Die wichtigsten Daten der Anlage von Hirakud, der einzigen dieser drei, die jetzt schon gebaut wird, sind folgende:

Die Hauptsperre schliesst das breite Tal des Mahanadi ungefähr 15 km oberhalb von Sambalpur. Sie wird als Erdamm mit einer Länge von 4700 m und einer grössten Höhe von 55 m ausgeführt. Einzig die Mittelpartie wird auf eine Länge von rd. 1000 m als Schwergewichtsmauer mit vorgefabrizierten Betonblöcken erstellt. Die Erddämme haben wasserseitig eine Böschung von 1:3 und talseitig eine solche von 1:2; die Böschungen des Dichtungskernes sind auf der Wasserseite 1:2 und auf der Luftseite 1:1. Derjenige Teil der Sperre, der als Ueberlauf ausgebildet ist, wird mit 84 Ueberlaufschützen und mit 84 Grundablassschützen von 6,40 m Breite ausgerüstet, durch welche insgesamt 37 000 m<sup>3</sup>/s abgeleitet werden können.

Der aufgestaute See wird bei einer Oberfläche von rd. 600 km<sup>2</sup> einen Gesamtinhalt von 7,4 Mrd m<sup>3</sup> aufweisen, von welchen 2,8 Mrd m<sup>3</sup> nicht ausgenützt werden können und vorläufig die Verlandung aufnehmen sollen. Die ausnützbareren 4,6 Mrd m<sup>3</sup> werden als genügend erachtet, um die Hochwasser des Flusses aufzufangen, grosse Gebiete zu bewässern, elektrische Energie zu erzeugen und die Schifffahrtskanäle zu speisen.

Die Zentrale ist am Fusse des Dammes vorgesehen. Sie beherbergt sechs Einheiten, die unter einem Gefälle zwischen 24 und 34 m arbeiten und je eine Leistung von 52 000 PS bzw. 37 500 kW aufweisen. Eine zweite Zentrale, bestehend aus vier Einheiten von 24 000 kW bei einem Gefälle von 23 m,

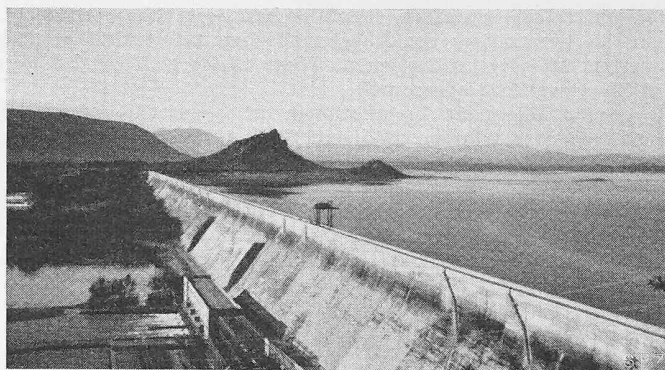


Bild 9. Talsperre und Kraftwerk Mettur, 30. Jan. 1951

ist 23 km flussabwärts der Sperre am Einfluss des Schifffahrtskanals in den natürlichen Lauf des Mahanadi geplant. Die erzeugte Energie wird durch ein Netz verteilt (1300 km zu 132 kV, 500 km zu 66 kV), das die Zentralen von Hirakud mit den Zentralen der Anlagen im Norden (Damodar Valley Corporation) und im Süden (Mashkun) verbindet.

Die Gesamtplanung sieht auch die Bewässerung eines Gebietes von 4400 km<sup>2</sup> vor. Diese soll durch zwei Kanäle mit natürlichem Abfluss auf den beiden Ufern des Flusses und durch vier weitere Kanäle mit Pumpstationen erreicht werden. Die gesamte Länge dieser Kanäle wird 1100 km betragen. Im weiteren wird der Mahanadi in Zukunft in den Trockenperioden durch die Regulierung statt wie vorher 30 m<sup>3</sup>/s zwischen 250 und 400 m<sup>3</sup>/s Wasser führen. Dies wird eine merkliche Verbesserung der Bewässerungsverhältnisse im Mündungsgebiet des Mahanadi bewirken.

Mit den Bauarbeiten für diese Anlage wurde 1948 begonnen. Im Jahre 1951 waren 15 000 Arbeiter beschäftigt. Ihre Tagelöhne (acht Stunden Arbeit) in Schweizerfranken zum Kurse von 1 Rupie = 0,92 Schweizerfranken ausgedrückt, waren die folgenden: Frauen —70, Handlanger 1.30, Spezialisten 2.30 bis 3.70. Einige Erddämme werden mit schwerem amerikanischem Material gebaut (Erdbobel, Walzen, Schaufelwalzen, Bulldozer, Transportkipper, Spritzenwagen usw.), andere werden aber nur in den ortsüblichen Baumethoden ausgeführt. Die Gesamtplanung sieht die Fertigstellung dieser Bauten für das Jahr 1962 vor. Die Gesamtkosten werden auf rund 450 Mio sFr. geschätzt.

#### Anlage von Mettur (Madras)

Wie schon erwähnt, ist im Staat Madras, in welchem das Kraftwerk Mettur liegt, die Elektrifikation über das ganze Land am meisten fortgeschritten. Gleichzeitig mit der Beschreibung dieser Wasserkraftanlage sollen deshalb die wichtigsten Zahlen der Elektrifikation dieses Staates zur Veranschaulichung der Verhältnisse angegeben werden. Der Staat Madras bedeckt eine Fläche von 331 000 km<sup>2</sup>. 80 % seiner 57 Mio Einwohner leben auf dem Lande. Madras ist also achtmal so gross wie die Schweiz und beherbergt zwölfmal so viele Einwohner wie unser Land. Alle Städte mit über 50 000 Einwohnern (es gibt deren 27) sind elektrifiziert. Dagegen verfügen von den 393 kleineren Ortschaften (zwischen 5000 und 50 000 Einwohnern) nur 178 über Elektrizität. Nur 1464 der 35 932 Dörfer mit einer Einwohnerzahl unter 5000 sind elektrifiziert. Für das ganze Staatsgebiet lässt sich die «elektrifizierte Bevölkerung» mit 15 % aller Einwohner angeben.

Der Staat Madras wird von einem Netz von rd. 7250 km Hochspannungsleitungen durchzogen (11, 33, 66, 110 und

Tabelle 3. Kraftwerke im Staate Madras, installierte Leistung

Wasserkraftanlagen:			
Pykara	43 000 kW		
Mettur	39 000 kW		
Papanasam	28 000 kW		110 000 kW
Thermische Anlagen:			
Madras (1900)	48 000 kW		
Vijayawada	6 000 kW		
Vishakapatnam	3 750 kW		
verschied. kleine Dieselanlagen	10 350 kW		68 100 kW
Gesamte installierte Leistung			178 100 kW

132 kV), neben denen ungefähr 5150 km Leitungen niedriger Spannungen bestehen. Diese werden von den Kraftwerken gespiesen, die in Tabelle 3 genannt sind.

Die Energieerzeugung dieser Kraftwerke belief sich für das Jahr 1949/50 auf 612 Mio kWh, was eine spezifische Produktion pro Kopf der Bevölkerung von 11,3 kWh pro Jahr ergibt. Die prozentuale Verteilung ergibt folgendes Bild: Industrie 69, Bewässerung und Landwirtschaft 11, Hausbeleuchtung und handwerkliche Betriebe 11, öffentliche Beleuchtung 3, Verkehr 4, Verschiedenes 2 %.

Der Cauvery, an welchem die Sperre und das Kraftwerk Mettur erstellt werden, ist ein bedeutender Fluss, der in der Bergkette an der Westküste Indiens entspringt, die Spitze der indischen Halbinsel durchquert und südlich von Pondichéry in den Golf von Bengalen mündet.

Die Talsperre Mettur ist ebenfalls eine Schwergewichtsmauer mit einer Kronenlänge von 1600 m und einer grössten Höhe von 65 m. Ihr Querschnitt ist stark. Die Wasserseite hat einen Anzug, der schrittweise bis auf 1:6 ansteigt, während der Anzug der Talseite allmählich bis 1:1 zunimmt. Ihr Bau erfordert 1 530 000 m<sup>3</sup> Mauerwerk. Die Sperre speichert 3,65 Mrd m<sup>3</sup> nutzbare Wassermenge, die für die Bewässerung und für die Energieproduktion in der am Fuss gelegenen Zentrale verwendet werden können. Dieses Kraftwerk ist mit vier Einheiten ausgerüstet, von welchen jede eine Turbine mit 16 000 PS umfasst, die unter einem Gefälle von 18 bis 49 m arbeitet (Bild 9).

Die erste Etappe dieser Anlage wurde 1937, die zweite 1946 beendet. Jährlich werden zwischen 300 und 350 Mio kWh erzeugt. Der Bau ermöglicht im weiteren, ungefähr 1200 km<sup>2</sup> Land unterhalb der Sperre zu bewässern. Diese Staumauer interessiert vor allem wegen ihren Abmessungen. Sie zeigt keine besonders interessanten Lösungen, es sei denn die der Hochwasserentlastung, welche für eine Abflussmenge von 15 000 m<sup>3</sup>/s dimensioniert ist.

\*

Es wäre leicht, mehrere Dutzend solcher Anlagen von den vielen geplanten und schon im Bau begriffenen zu beschreiben, die ähnlich oder noch bemerkenswerter sind als die zuvor angeführten.

Um die Bedeutung der Anlagen in bezug auf Indien und den Einfluss dieser vorgesehenen Elektrifikation auf das Land richtig erfassen zu können, genügt es, nochmals festzustellen, dass die jährliche Energieproduktion nach der Erfüllung des ganzen Programmes, das heisst in zwanzig bis dreissig Jahren, ungefähr 40 Mrd kWh erreichen wird, was pro Kopf der Bevölkerung umgerechnet etwas mehr als 100 kWh im Jahr ausmachen wird. Diese Zahl weist auf eine bedeutende Zunahme hin, wenn man sie mit der von 12,8 kWh pro Kopf des Jahres 1950 vergleicht. Sie zeigt, welcher Fortschritt noch erreicht werden muss, damit die Elektrifikation Indiens den zahlreichen Möglichkeiten entsprechen kann, die dieses ausgedehnte Land bietet. Fortsetzung folgt

#### Literaturverzeichnis

1. Load Planning in India (The Central Electricity Commission), Bericht Nr. 14, Frage 2, Sitzung WPC, New Delhi, 1951.
2. The use of electrical power by small scale industries in India (The Central Electricity Commission), Bericht Nr. 13, Frage 2, Sitzung WPC, New Delhi, 1951.
3. Rural electrification in Madras State. Department of Electricity, Government of Madras, Bericht Nr. 17, Frage 2, Sitzung WPC, New Delhi 1951.
4. Hydro-electric development in India (The Central Board of Irrigation) Leaflet Nr. 5.
5. New projects for irrigation and power in India, 1950 (The Central Board of Irrigation). Leaflet Nr. 3.
6. Bhakra-Nangal Project (Public Works Department, Punjab).
7. Hirakud Dam Project. Descriptive Note Nr. 3 (The Central Water Power Irrigation and Navigation Commission), New Delhi.
8. Inauguration of the Cauvery-Mettur System (R. Narasimha Ayyangar, Chief Engineer for irrigation).
9. Power Supply in Madras State (Published by the Director of information and Publicity, Government of Madras).

## Schmiermittel-Untersuchungen mit dem Vierkugel-Apparat

DK 621.892.0014

P.-D. Dr. M. Brunner, Sektionschef EMPA Zürich, schilderte anlässlich der Generalversammlung der Schweizerischen Gesellschaft für das Studium der Motorbrennstoffe vom 23. Nov. 1951 in Luzern einleitend die Vorgänge bei Voll- und besonders bei Teilschmierung sowie die Faktoren, die zur Abnützung führen. Die Notwendigkeit, spezielle, bei Teilschmierungsbedingungen nicht versagende Schmiermittel mit ausgesprochenen Hochdruckeigenschaften anzuwenden, ergab sich vor allem mit der Entwicklung der Hypoidantriebe für Automobile. Die lokal herrschenden hohen Temperaturen und Drucke, denen das Schmiermittel ausgesetzt ist, sind hier wesentlich höher als üblich, so dass gewöhnliche Mineralöle, selbst solche mit milden Zusätzen zur Erhöhung der Schmierfähigkeit, wie Fettsäuren, kolloidaler Graphit usw., völlig versagen. Auch bei andern, scheinbar unter leichteren Bedingungen arbeitenden Schmierstellen können, wenn auch nur vorübergehend und ausnahmsweise, Verhältnisse eintreten, wo zur Verminderung des Verschleisses die Anwendung von Schmiermitteln höherer Schmierfähigkeit geboten erscheint.

Unter den verschiedenen Prüfgeräten zur Ermittlung der Schmierfähigkeit und insbesondere der eigentlichen Hochdruckeigenschaften ist der seinerzeit von den Motoren-Laboratorien der BPM in Delft ausgearbeitete und heute von zahlreichen Prüf-Laboratorien angewandte Vierkugelapparat, mit dem auch die vorliegenden Versuche durchgeführt wurden, besonders geeignet. Dieser Apparat arbeitet ausschliesslich bei Hochdruckbedingungen, wo die Viskosität des Schmiermittels keine Rolle mehr spielt und nur durch rasche chemische Reaktion der Hochdruckzusätze mit dem Metall (chromlegierter Kugellagerstahl) ein Schutz vor Anfrassen und Verschweissen herbeigeführt werden kann. Der Vierkugelapparat gestattet, das Ausmass dieses Schutzes zahlenmässig zu erfassen. Dabei ist verständlich, dass die Wirksamkeit schwacher, lediglich am Metall nur leicht adsorbierter schmierfähigkeitsverbessernder Zusätze mit diesem schon von Versuchsbeginn an unter sehr scharfen lokalen Temperatur- und Druckbeanspruchungen arbeitenden Apparat weniger deutlich zum Ausdruck kommt.

Zur Bewertung der Schmiermittel wird eine Reihe von Einzelversuchen bei steigender Vertikalbelastung durchge-

führt und die mittlere Abnützung der drei eigentlichen Prüfkugeln in Abhängigkeit der Belastung graphisch aufgetragen. Gleichzeitig wird mit Hilfe einer Registriervorrichtung während des Versuches der Verlauf des Reibungskoeffizienten aufgezeichnet. Die so bestimmten Daten lassen folgendes erkennen: Bei sehr geringer Belastung verläuft die Kurve Abnützung/Belastung ungefähr in der Nähe der Hertzkurve für elastische Deformation. Die Abnützung ist dabei praktisch null. Beim Ueberschreiten einer bestimmten Belastung tritt Anfrassen und starke Abnützung ein, die mit zunehmender weiterer Belastung stark ansteigt. Nachher verflacht sich die Kurve wieder, bis bei einer bestimmten Belastung, meist sofort, alle vier Kugeln verschweissen («Verschweissbelastung»). Die aus dem Reibungskoeffizientendiagramm ermittelte Zeit bis zum Anfrassen gibt ein Mass für den Schutz des Schmiermittels gegen Anfrassen, der Gradient und die Ausdehnung des steilen Anstieges der Abnützungskurve ein Mass für die Intensität des Anfrassens. Umgekehrt kann auch nach einem Vorschlag von H. Blok diejenige Belastung als Mass für den Schutz gegen Anfrassen beigezogen werden, bei der die Anfrassverzögerung 2,5 Sekunden beträgt. Ferner kann aus dem RK-Diagramm auch die Zeitdauer des Anfrassens bzw. der darauffolgende Moment des Erholens (starker Rückgang der RK) ersehen werden. Endlich gibt auch die zum sofortigen Verschweissen der Prüfkugeln führende kritische Belastung ein unmittelbares Mass für die Hochdruckeigenschaften («Verschweissbelastung»).

Um eine Grundlage für die Versuche zu gewinnen, wurden vorerst Motoren- und Maschinenöle bekannter Marken geprüft. Hierbei kommen die Unterschiede zwischen über raffinierten und normalen Schmierölen sehr deutlich zum Ausdruck, ebenso auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Motorenölen selbst, frischen und gealterten, ferner solchen, die zur Erhöhung der Schmierfähigkeit bestimmte Zusätze enthalten, wie Rennmotorenöle usw. Eine erhöhte Schmierfähigkeit gegenüber dem Vergleichsöl zeigt sich darin, dass das Anfrassen bei etwas höherer Belastung und weniger rasch erfolgt, ferner dass der Anstieg der Kurve weniger steil und dabei kürzer ist. Typisch für milde Schmierfähigkeitsverbesserer, wie sie z. B. in Rennmotorenölen vor-