

Ein neues Hochspannungslaboratorium in Thailand

Autor(en): **Staub, B.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **59 (1968)**

Heft 15

PDF erstellt am: **17.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916064>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Ein neues Hochspannungslaboratorium in Thailand

Von B. Staub, Bangkok

621.317.2.027.3(593)

Nach einigen Bemerkungen zur gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung von Energiewirtschaft und Elektroindustrie in Thailand werden die Einrichtungen des Hochspannungslaboratoriums an der Chulalongkorn-Universität beschrieben. Der Bau des Laboratoriums wurde durch bilaterale Zusammenarbeit zwischen Thailand und der Schweiz ermöglicht.

A la suite de quelques remarques au sujet du développement actuel et futur de l'économie énergétique et de l'industrie électrique en Thaïlande, on décrit les installations du laboratoire à haute tension de l'université de Chulalongkorn. La construction de ce laboratoire fut rendue possible grâce à une collaboration bilatérale entre la Thaïlande et la Suisse.

1. Planung und Planungsgrundlagen

1.1 Allgemeines

Am Vorabend des schweizerischen Nationalfeiertages 1967 konnte der schweizerische Botschafter in Thailand, Dr. R. Aman, der Chulalongkorn-Universität das neue Hochspannungslaboratorium übergeben. Das Hochspannungslaboratorium untersteht der Abteilung für Elektrotechnik, welche ihrerseits zur Ingenieur fakultät der Chulalongkorn-Universität gehört. Die Chulalongkorn-Universität wurde 1917 auf einem grossen, vom König zur Verfügung gestellten Gelände gegründet und umfasst heute 13 Fakultäten mit zusammen mehr als 8000 Studenten. Nebst den in der Schweiz üblichen Fakultäten bestehen solche für Buchhaltung, Hotelbetrieb und Statistik.

Die ersten Kontaktnahmen zwischen den Behörden Thailands und der Schweiz gehen auf das Jahr 1961 zurück. Im Herbst 1962 beauftragte der Delegierte für technische Zusammenarbeit, eine selbständige Stelle des Eidgenössischen Politischen Departementes, Prof. Dr. K. Berger mit einer Expertenmission, um an Ort und Stelle das Projekt eines Hochspannungslaboratoriums einer Prüfung zu unterziehen. Prof. Berger begutachtete das Projekt in empfehlendem Sinne und arbeitete zugleich ein detailliertes Programm für die Verwirklichung der Aktion aus. Ein Jahr später erteilte der schweizerische Bundesrat sein Einverständnis für den Bau des Laboratoriums, indem er aus dem Rahmenkredit für technische Zusammenarbeit den notwendigen Betrag für die Anschaffung der Hochspannungsausrüstung bewilligte. Der Bundesrat stützte sich dabei auf verschiedene positiv lautende Prognosen über die Entwicklung der Elektrowirtschaft in Südostasien (Mekong-Becken) im allgemeinen und in Thailand im besonderen. Einige Aspekte der Entwicklung von Energiewirtschaft und Elektroindustrie in Thailand seien im folgenden etwas näher betrachtet.

1.2 Mekong-Projekt

Im Jahre 1957 wurde auf Empfehlung der ECAFE ¹⁾ das Komitee für Koordination von Untersuchungen des unteren

Mekong-Beckens ²⁾, kurz Mekong-Komitee, gegründet. Dem Komitee gehören Vertreter von Kambodscha, Laos, Thailand und (Süd)-Vietnam an. Das von diesem Komitee ausgearbeitete Mehrzweckprojekt sieht die Nutzbarmachung der im Mekong und seinen Zuflüssen vorhandenen Energie vor und zwar hauptsächlich in Bezug auf Schifffahrt, Wasserkraft, Bewässerung und damit verwandte Projekte, zum Wohle aller Staaten, welche vom Mekong durchflossen werden oder deren Grenzen er bildet. Dieses Ziel soll primär durch die Errichtung einer Kette von Staudämmen, kombiniert mit Kraftwerken, erreicht werden. Die Wichtigkeit, welcher der Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft beigemessen werden muss, geht aus einer Untersuchung eines Ingenieurbüros [1] ³⁾ hervor, welches für die Länder des unteren Mekong-Beckens mit einer jährlichen Bedarfszunahme an elektrischer Energie von 10...16 % rechnet. 1983 beträgt der minimal erwartete Energiebedarf aller vier Länder zusammen 14 TWh, wobei Thailand $\frac{2}{3}$ für sich beanspruchen wird.

Trotz der unfreundlichen politischen Lage wurden in den letzten Jahren bereits einige der Nebenprojekte verwirklicht, so wurden in Thailand zwei Mehrzweckanlagen für Bewässerung und Energieumwandlung geschaffen, welche zusammen eine Produktionskapazität an elektrischer Energie von ca. 85 GWh aufweisen und eine Fläche von 770 km² bewässern [2]. Im Bau ist ein weiterer Mehrzweckdamm in Laos (installierte Leistung 120 MW, Bewässerung 320 km²), dessen Bau auf Grund einer japanischen Projektstudie von 10 Ländern ⁴⁾ sowie der Entwicklungsbank ⁵⁾ finanziert wird. Thailand hat sich dabei bereit erklärt, den für den Bau des Dammes notwendigen Zement zu liefern und die Baustromversorgung zu übernehmen. Den Gegenwert dieser Dienstleistung wird Laos nach Fertigstellung der Anlage als elektrische Energie an Thailand zurückliefern [2]. Damit wird dies der erste internationale Energieaustausch in Südostasien und unseres Wissens in Asien überhaupt sein.

²⁾ Committee for Coordination of Investigations of the lower Mekong Basin.

³⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

⁴⁾ Australien, Kanada, Dänemark, Frankreich, Japan, Laos, Niederlande, Neuseeland, Thailand, USA.

⁵⁾ International Bank for Reconstruction and Development.

¹⁾ United Nations Economic Commission for Asia and the Far East.

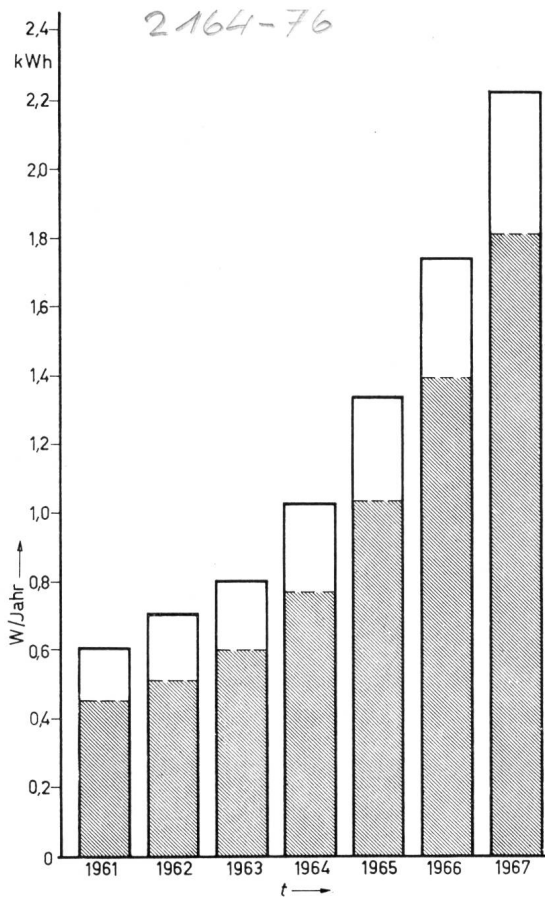


Fig. 1

Jährliche Energieerzeugung

■ Yanhee Electricity Authority (YEA); □ Übrige staatliche Gesellschaften und Private mit Verkauf an Drittpersonen
t Zeit; *W/Jahr* jährlich erzeugte Energie

1.3 Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie in Thailand

Der Stand der Elektrowirtschaft Thailands und deren stürmische Entwicklung in den letzten Jahren wird besonders augenfällig durch einen Blick auf die Darstellungen der jährlichen Energieerzeugung [3; 4] (Fig. 1) und der in den letzten sieben Jahren aufgetretenen Höchstleistung [4] (Fig. 2). Der Anteil der elektrischen Energie am totalen Rohenergieverbrauch Thailands betrug im betrachteten Zeitintervall ca. 4 %, was 5...15mal weniger ist, als in weiter entwickelten Staaten Europas. Der Verbrauch wird zum grössten Teil durch Kleinabnehmer (Haushalt und Gewerbe) bestimmt. Erwähnenswerte Grossverbraucher sind Zementfabriken sowie Stahlwerke mit Lichtbogenschmelzöfen bis 30 t Stundenleistung. Der Belastungsverlauf ist von demjenigen der Schweiz stark verschieden [4; 5] (Fig. 3). Während in der Schweiz die Spitzenleistung aus der Überlagerung von Industrie- und Kochlast kurz vor 12 Uhr entsteht, tritt die Spitzenleistung in Thailand abends um 20 Uhr auf. Diese Abendspitze setzt sich aus Lichtlast, Kühllast (Klimaanlagen) und Fernsehlast (in Thailand gab es Ende 1967 schätzungsweise 400 000 Fernsehapparate) zusammen. Die Lichtlast ist besonders gross, weil nach immer noch sehr lebendigen vorbuddhistischen Vorstellungen böse Geister Licht meiden. Das gänzliche Fehlen der Mittagsspitze ist darauf zurückzuführen, dass elektrische Energie überhaupt nicht für Kochzwecke verwendet wird. Ohne weiter auf die Energieversorgung Thailands einzugehen, soll noch erwähnt werden, dass die Übertragung und Verteilung der Energie mit 220 kV (teilweise 110 kV), 60 kV, 10kV und $3 \times 220/380$ V, 50 Hz, erfolgt.

Die zukünftige Deckung des Energieverbrauches, welcher um das Jahr 1980 nach der einen Schätzung [1] ca. 8 TWh, nach anderen Schätzungen [3] aber bis 20 TWh betragen mag, kann mit ca. 4 TWh aus eigenen Wasserkraften erfolgen. Es ist geplant, die Differenz zum effektiven Bedarf mit Energie aus thermischen Kraftwerken mit konventionellen Brennstoffen (Erdölprodukte, Braunkohle), sowie einem Atomkraftwerk, dessen erste Gruppe 1975 in Betrieb genommen werden soll, zu decken. Der Bau thermischer Werke wird zurückgestellt werden, sobald die Verwirklichung der grossen Mekong-Projekte politisch gesichert ist.

1.4 Elektroindustrie

Die Elektroindustrie Thailands steht erst in ihren Anfängen und beschränkt sich hauptsächlich auf die Herstellung von Niederspannungsmaterial, isolierten Drähten, Kabeln, Transformatoren, Kleinmotoren, Schaltern u. ä. sowie elektronischen Geräten der Unterhaltungsindustrie. Auf dem Gebiet der Hochspannung besteht eine Transformatorenfabrik, welche serienmässig Verteiltransformatoren der Reihe 10 herstellt. An Rohstoffen besitzt Thailand grosse Lager an Kaolinerde und Glimmer, was die Herstellung von Isolierporzellan und Micanit-Isolationen nahelegt.

1.5 Klima

Thailand liegt in der tropischen Zone und sein Klima wird durch die Monsunwinde bestimmt. Von Mitte Juni bis September bläst der Südwestmonsun, welcher die heisse Jahreszeit ablöst und Regen bringt. Oktober ist eine Übergangszeit zum Nordostmonsun. Während der Zeit des Nordostmonsuns, November bis März, ist die Temperatur am tiefsten und der Regenfall sehr gering. Während der «heissen» Monate, April und Mai, vollzieht sich wiederum der Übergang zum

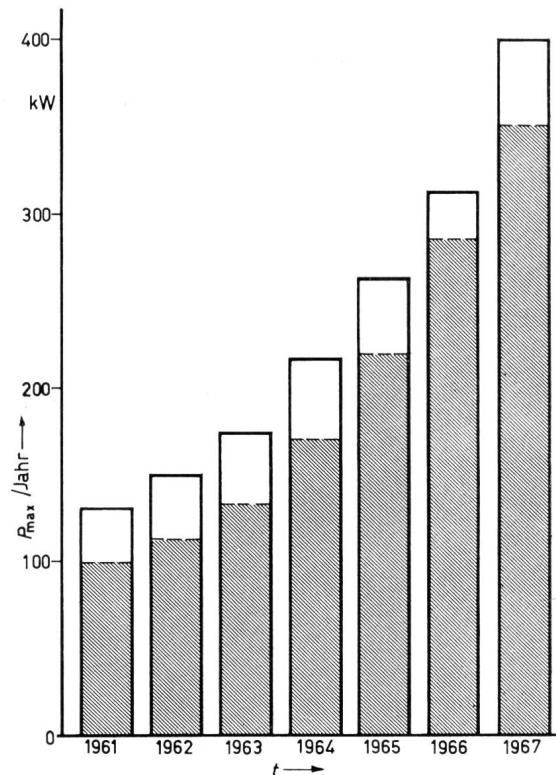


Fig. 2

Jährlich aufgetretene Höchstleistung P_{max}

■ Yanhee Electricity Authority (YEA); □ Übrige staatliche Gesellschaften und Private mit Verkauf an Drittpersonen
 P_{max} jährlich aufgetretene Höchstleistung; *t* Zeit

Sommermonsun. Diese Besonderheit des Klimas musste bei der Bestellung des Materials berücksichtigt werden.

Vergleicht man den Jahresgang der Temperatur in Bangkok [6] mit demjenigen von Zürich oder Lugano [7] (Fig. 4), so fällt sofort auf, dass der Verlauf der Monatsdurchschnittstemperatur in Bangkok viel ausgeglichener ist als in der Schweiz. Der Unterschied zwischen Maximal- und Minimaltemperatur beträgt in der Schweiz ca. 18 °C, während es in Bangkok nur 4 °C sind.

Die absolute Feuchtigkeit ist in Thailand relativ hoch und beträgt in Bangkok, dessen meteorologische Station ca. 30 km vom Meer entfernt liegt, während 6 Monaten mehr als 22 g/m³. Dies bedeutet, dass sich während dieser Zeit Tau bildet, sobald die Temperatur unter ca. 25 °C fällt. Ein Blick auf den Tagesgang der Temperatur (Fig. 5) zeigt, dass Tau das ganze Jahr hindurch in den frühen Morgenstunden und besonders kurz vor Sonnenaufgang möglich ist. Die durchschnittliche Regenmenge in Zentral- und Nordthailand beträgt ca. 125 cm. In der schmalen Landzunge, welche Zentralthailand mit Malaya verbindet, kann die Regenmenge jedoch mehr als das doppelte betragen.

Ein Vergleich der Durchschnittstemperatur am 1. Januar in Bangkok (kälteste Jahreszeit) mit derjenigen des Monats Juli in Zürich zeigt, dass der Unterschied zwischen Tages-Maximal- und Tages-Minimaltemperatur ungefähr gleich ist und ca. 10 °C beträgt, wobei der Temperaturverlauf in Bangkok um ca. 8 °C über demjenigen von Zürich liegt.

1.6 Vorbereitung

Gleichzeitig mit der Bestellung der Ausrüstung des Laboratoriums durch die Schweiz begann die Universität im Sinne einer Arbeits- und Kostenteilung an einer bereits bestehenden Halle ⁶⁾ Änderungen und Anbauten entsprechend den Anregungen von Prof. Berger vorzunehmen. Etwas später trafen zwei Lektoren in der Schweiz ein, um sich an der ETH in Hochspannungstechnik auszubilden.

Den beiden Lektoren wurde auch Gelegenheit gegeben, sich bei den Herstellern über Aufbau und Funktionsweise der bestellten Geräte zu orientieren. Der Schreibende, damals Assistent am Hochspannungslaboratorium der ETH, wurde

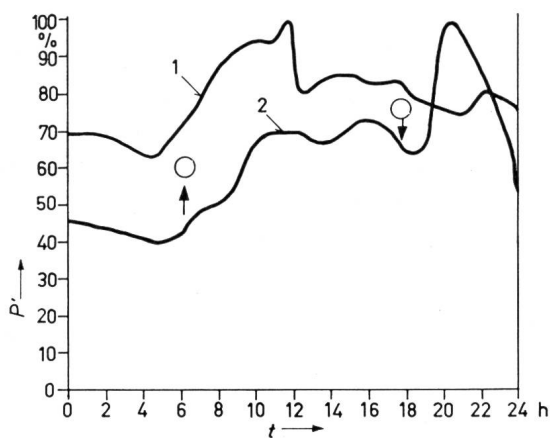


Fig. 3
Aufgetretene Leistung bezogen auf die Tagesspitze

○ Sonnenaufgang bzw. -untergang

1 Thailand 14. September 1965, Dienstag; 2 Schweiz 19. Juli 1967, Mittwoch

P' auf Tagesspitze bezogene Leistung

⁶⁾ Die Halle wurde aus Geldern der Staatslotterie bezahlt.

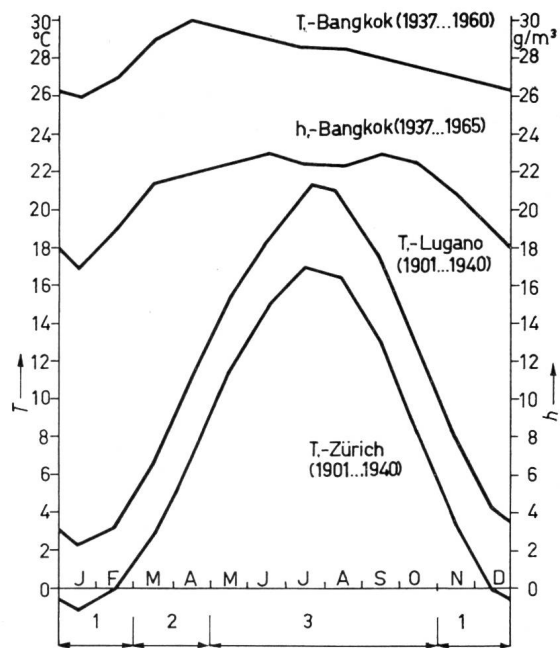


Fig. 4

Jahresgang von Temperatur *T* und Wassergehalt der Luft *h*

1 kalte Jahreszeit (kühl und relativ trocken); 2 heisse Jahreszeit (warm und relativ trocken); 3 Regenzeit (warm und feucht)

beauftragt, zusammen mit der Direktion der Eidg. Bauten, Sektion für elektrische Anlagen, die Niederspannungs-Versorgungsanlage des Laboratoriums zu projektieren. Ein halbes Jahr vor der Ablieferung der ersten Geräte entsandte die Universität noch einen Techniker in die Schweiz, welcher sich beim Generalunternehmer über den Zusammenbau der Geräte orientierte. Dadurch war es später möglich, die ganze Montage ohne schweizerisches Personal durchzuführen. Ende 1965 begab sich der Schreibende, zusammen mit seinen drei Thai-Freunden nach Thailand, um den Bau des Laboratoriums an die Hand zu nehmen.

2. Hochspannungslaboratorium

2.1 Allgemeines

Eine Ansicht des Laboratoriums von Norden zeigt Fig. 6. Man erkennt von links nach rechts, die Freiluftanlage, die Halle, den Anbau mit Büros, Werkstatt und Vorlesungsraum. Die Halle ist ein Stahlskelettbau, welcher mit gewellten Asbestzementplatten verkleidet ist. Das Dach, ebenfalls mit Asbestzementplatten bedeckt, wurde mit einer hängenden Decke aus Teakholzplatten unterzogen. Die Halle ist 25 m lang, 17 m breit und 12 m hoch.

Auf der Längsseite der Hochspannungshalle wurde ein zweistöckiger Anbau erstellt, welcher im Erdgeschoss diverse Hilfsräume wie Mess- und Steuerraum, Werkstatt, Kabelprüfraum, den elektrolytischen Trog und einen Raum enthält, der später als Ölprüflaboratorium eingerichtet werden soll. Im Obergeschoss befindet sich ein Vorlesungssaal mit 50 Sitzplätzen. Dieser Saal nimmt die ganze Breite des Anbaus ein und öffnet sich seitlich zur Hochspannungshalle. Im Obergeschoss befinden sich überdies zwei Büros für den Leiter des Laboratoriums und seine Assistenten, sowie ein klimatisierter Instrumentenraum und eine Dunkelkammer.

Besonders vorteilhaft wirkt sich die Bauweise der Halle als Stahlskelett mit Wandverkleidung aus Asbestzementplatten auf den Betrieb des Laboratoriums aus. Die Stahlskelettkonstruktion erlaubt, beliebige Stellen als Aufhänge- oder

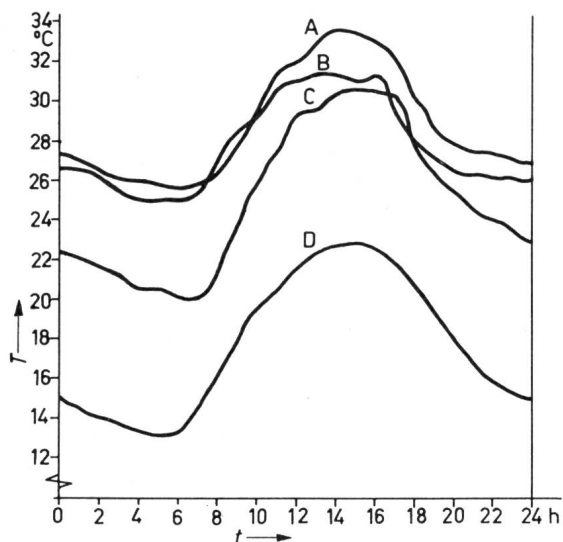


Fig. 5
Tagesgang der Temperatur

A Bangkok, 1. April (heisse Jahreszeit); B Bangkok, 1. August (Regenzeit); C Bangkok, 1. Januar (kalte Jahreszeit); D Zürich, Juli
t Zeit; T Temperatur

Abspannpunkte zu benützen. Einzelne Arbeitsfelder können jederzeit entsprechend veränderter Organisation oder neuen Aufgabenstellungen des Laboratoriums umdisponiert werden, ein Umstand, welcher einem dynamischen Vorlesungs- und Versuchsbetrieb besonders förderlich ist. Durchbrüche oder Einführungen in den Wänden können auf einfachste Art vom Laborteam selbst ausgeführt werden und zukünftige Erweiterungen oder Anbauten lassen sich mit minimalen Kosten durchführen.

Die Halle ist in der Längsrichtung in 5 m breite Felder geteilt. Diese Einteilung hat sich durch den Abstand der Stahlgitterrahmen ergeben. Die einzelnen Stahlgitterrahmen sind unter sich durch Gitterträger verbunden. Die Fusspunkte der Gitterrahmen sind an Kabelkanälen angeschlossen. Die Kabelkanäle bilden ein rechtwinkliges Netz mit einer Maschenweite von 5×5 m. Von Norden nach Süden dienen die Felder folgenden Aufgaben (siehe Grundriss Fig. 7) [8]:

- Feld 1: Lagerplatz für Testobjekte und mobile Geräte;
- Feld 2: Wechselspannungsprüffeld;
- Feld 3: Messfeld (Kugelfunkenstrecke);
- Feld 4 und 5: Stoßspannungsfelder.

In der Ostwand, auf 8 m Höhe, befinden sich in den Feldern 2 und 4 je eine Durchführung (7 und 8) ⁷⁾, welche die Halle mit der auf der Ostseite des Gebäudes liegenden Freiluftanlage verbinden. Auf der Westseite der Halle wurden die Felder 3, 4 und 5 mit Studentengalerien versehen. Der Zugang zu diesen 3 Galerien erfolgt vom Vorlesungssaal. Die Galerie, welche Platz für 50 Studenten bietet und mit einer Schreibfläche versehen ist, konnte in einfacher Weise auf die bereits bestehenden Stahlgitterträger aufgebaut werden. Als Material wurde Holz der Transportkisten verwendet. So war es möglich, dass zwei Werkstudenten, unter gelegentlicher Anleitung eines Schreiners, die ganze Galerie während der Sommerferien in 8 Wochen fertig einbauen konnten. Bei Bedarf können später weitere Gitterträger, ohne nennenswerte Schwierigkeiten in Studentengalerien umgebaut werden.

⁷⁾ Diese Zahlen beziehen sich auf Fig. 7.

Auf der Unterseite der Decke wurden unterhalb der Stahlgitterrahmen Doppel-T-Eisen angeschweisst. In Abständen von 5 m bestehen so 4 zusätzliche Reihen von Aufhängepunkten für Hängeisolatoren und Seilzüge. Die Beleuchtung der Halle erfolgt durch zwei Decken-Lichtbänder, was den Anforderungen an Blendungsfreiheit und an die Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke am besten gerecht wird. Dank der Verwendung von starterlosen Niederspannungs-Leuchtstofflampen 380 V, 215 W, konnte mit nur 40 Lampen und bei einem Anschlusswert von 10 kW, trotz schlechtem Reflexionsgrad der Wände eine Beleuchtungsstärke von 250 lx auf Arbeitshöhe erreicht werden. Während der Experimentalvorlesung, wo die Beleuchtung mehrmals während des Vortrages ein- und ausgeschaltet werden muss, wird besonders angenehm empfunden, dass alle Leuchten gleichzeitig zünden.

2.2 Energieversorgung und Erdung

Die Energieversorgung und Erdung des Laboratoriums ist aus Fig. 8 ersichtlich. Die Energie wird über zwei Transformatoren bezogen. Der eine Transformator speist den Impulsgenerator und allgemeine Laboranschlüsse, der andere speist die Wechselspannungsprüfanlage. Für den Anschluss der Praktikumsplätze wurden 6 Wandanschlusskasten an verschiedenen Stellen des Laboratoriums montiert. Die eigentlichen Anschlusspulte für die Praktikumsplätze sind mit Handhubwagen verstellbar und werden über flexible Kabel mit den Wandanschlusskasten verbunden. Über ein ferngesteuertes Schütz in der Haupttafel (34 in Fig. 7) lässt sich das gesamte Anschlusspult ein- und ausschalten. Den Anschluss eines Praktikumsplatzes zeigt Fig. 9. Für die elektrische Installation wurde Nullung nach Schema II gewählt. In Thailand ist sonst eine etwas vereinfachte Art der Nullung nach Schema III üblich.

Die Netz- und Steuerkabel haben einen Aufbau entsprechend Tdcva-CuT, d. h. sie sind mit verstärkter Isolation für 4000 V ausgeführt und weisen einen Mantel aus Kupferband für fest verlegte Kabel oder einen solchen aus Kupfergeflecht für bewegliche Verlegung auf. Der Kupfermantel wird als Schutzleiter verwendet und an geeigneten Stellen mit dem Stahlskelett der Halle und der Erdung verbunden. Die Erfah-



Fig. 6
Ansicht des Laboratoriums von Norden

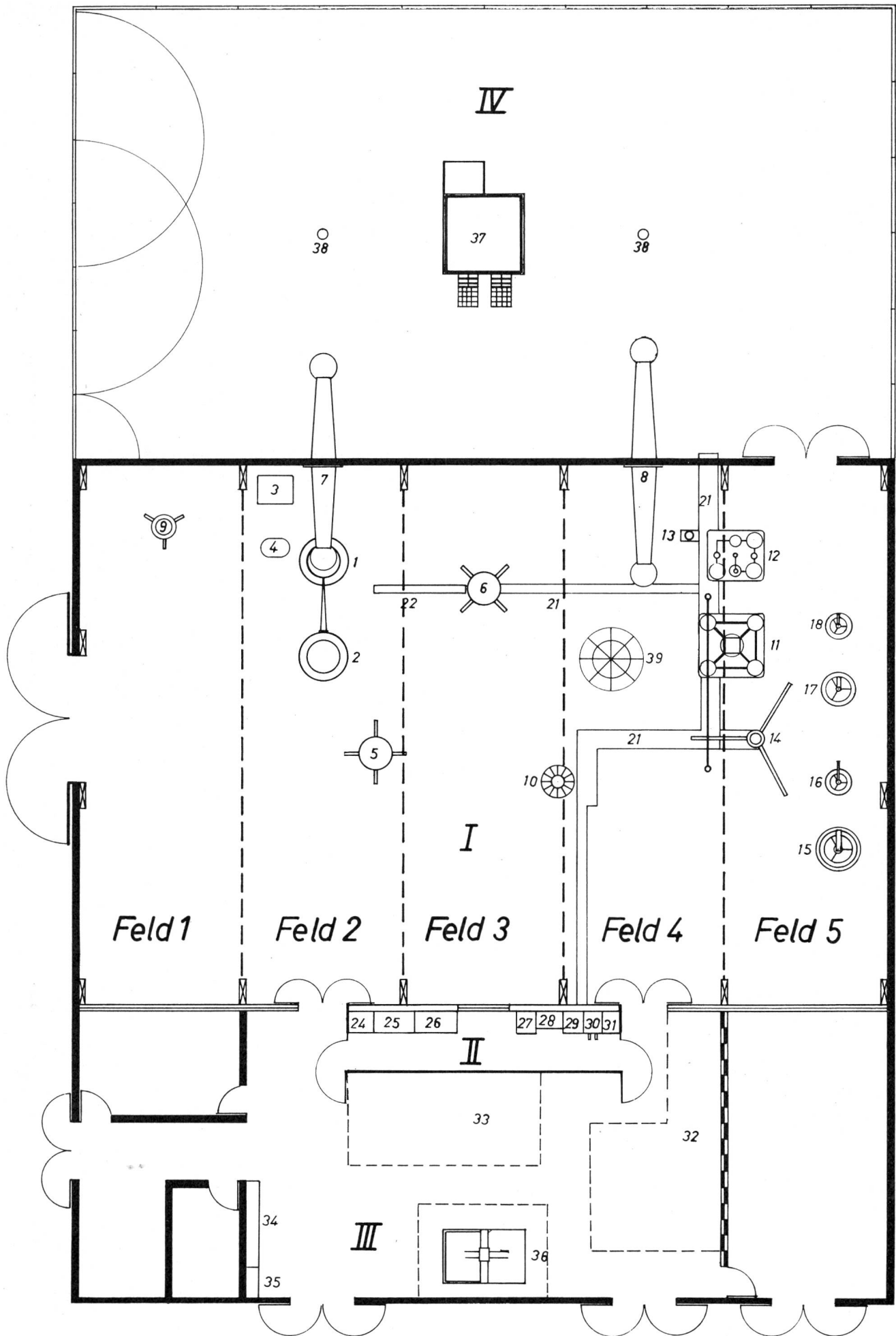


Fig. 7
Grundriss des Laboratoriums
 I Halle; II Steuer- und Messraum; III Hilfsraum; IV Freiluftanlage
 Weitere Bezeichnungen siehe im Text

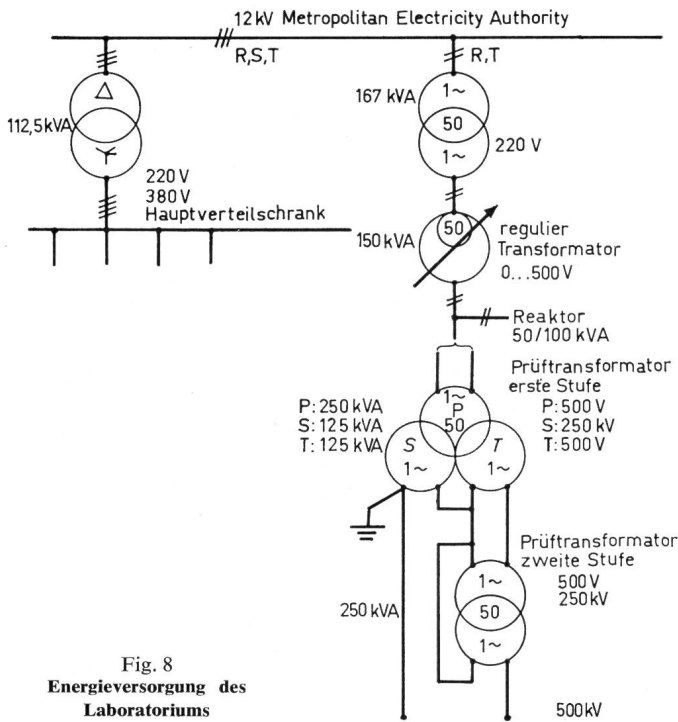


Fig. 8
Energieversorgung des
Laboratoriums

rungen, welche bis jetzt vorliegen, bestätigen die Zweckmäßigkeit des gewählten Kabelaufbaues.

Die Erdung besteht aus einem feuerverzinkten Stahlband, welches in ca. 1 m Abstand vom Gebäude und der metallischen Abschrankung der Freiluftanlage im Boden verlegt ist. Da der Grundwasserspiegel selten tiefer als 40 cm unter dem Boden des Laboratoriums verläuft, ist der Erdungswiderstand sehr tief und beträgt auch in der Trockenzeit nicht mehr als $R_e = 0,3 \Omega$. Im Innern der Halle wurden in den Kabelkanälen Winkeleisen von $3 \times 3''$ verlegt und in den Knotenpunkten verschweisst. Parallel dazu wurde noch ein Kupferleiter von 6 mm ϕ gezogen und in den Knotenpunkten mit dem Winkeleisen verbunden. Die Erdung bildet da-

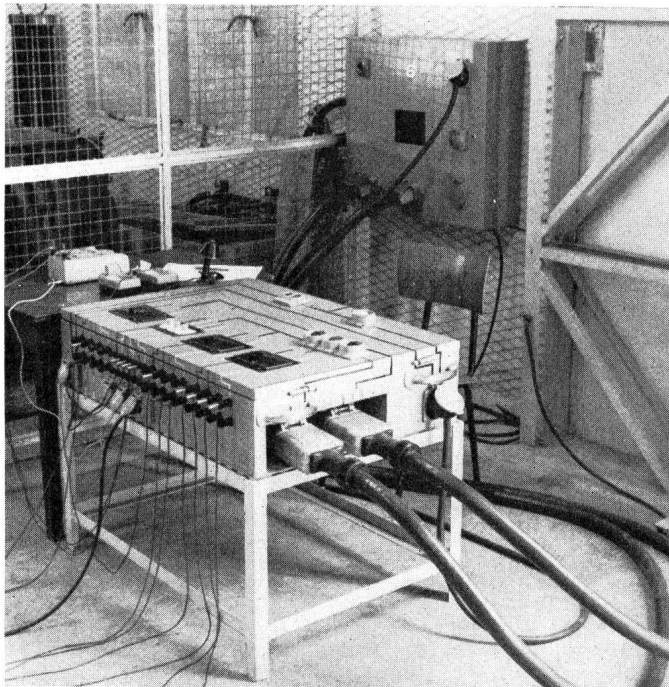


Fig. 9
Wandanschlusskasten mit Anschlusspult

durch auf dem Boden der Halle ein Netz von 5×5 m Maschenweite.

2.3 Einrichtungen der Halle

Die räumliche Aufstellung der einzelnen Geräte ist aus dem Grundriss in Fig. 7 ersichtlich.

2.3.1 Wechselspannungsprüfanlage

Für die Erzeugung von Wechselspannungen bis 500 kV wurde eine zweistufige Prüfkaskade (1 und 2 in Fig. 7) von 250 kVA Leistung eingebaut. Wie aus Fig. 10 erkenntlich ist, wurde eine Bauweise der Transformatoren gewählt, bei welcher der Aktivteil in einem geerdeten Eisenkessel mit Kühlröhren untergebracht ist. Die Hochspannung wird über eine Durchführung herausgebracht. Der Eisenkessel der oberen Stufe befindet sich bei Kaskadenschaltung auf halber Spannung gegen Erde und steht deshalb auf einem Isolierzy-

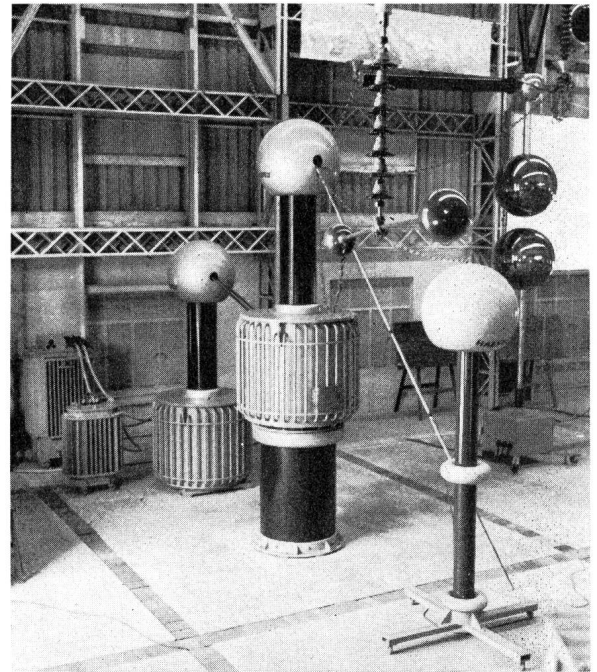


Fig. 10
Prüfkaskade, Scheitelwertvoltmeter und Messfunkenstrecke
Im Vordergrund ein Prüfobjekt (Isolatorenkette mit Leitungsnachbildung)

linder aus Hartpapier. Die Speisung der Prüfkaskade erfolgt über einen stufenlosen Regulatortransformator (3 in Fig. 7), der als Thomaregler konstruiert ist. Parallel zur Prüfkaskade kann eine Drosselspule (4 in Fig. 7) für die Kompensation der Blindleistung zugeschaltet werden.

Die Steuerung der Wechselspannungsprüfanlage geschieht vom Mess- und Steuerraum aus (25 in Fig. 7). Für die Messung der Spannung steht ein kapazitiver Teiler mit Messeinheit zur Verfügung (5). Über den beiden Transformatoren ist eine Durchführung vorhanden, welche die Prüfkaskade mit der Freiluftanlage verbindet. Ergänzt wird die Wechselspannungsprüfanlage durch einen pressgasgefüllten Normalcondensator (9) für Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen. Die Nenndaten der Durchführung und des Normalcondensators entsprechen denjenigen der Prüfkaskade.

2.3.2 Stossanlage

Der achtstufige Stossgenerator (11, 12, 13 in Fig. 7) ist für eine Summenladespannung von 1,4 MV bei einem Ener-

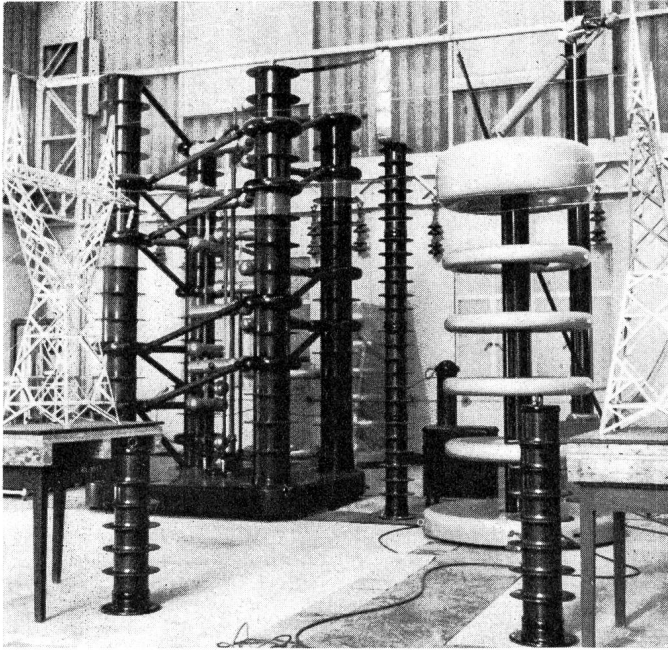


Fig. 11

Stossgenerator mit geschirmtem Widerstandsteiler und kapazitivem Teiler
Im Vordergrund Demonstrationsobjekt (Modell einer bestehenden
220-kV-Leitung)

geinhalt von 16 kW ausgelegt. Durch einen einfach zu bedienenden, in der Grundplatte des Stossgenerators eingebauten Schaltmechanismus, lassen sich verschiedene Serie-Parallelschaltungen der Kondensatoren einstellen. Bei 1400, 700, 350 und 175 kV Summenladespannung kann deshalb die volle Energie von 16 kW ausgenutzt werden.

Die Stosskondensatoren sind in vier Säulen angeordnet (Fig. 11) und in Form einer Schraubenlinie miteinander verbunden. Dies wirkt sich günstig auf die Höhe des Stossgenerators aus. In der Stellung für 175 kV (Parallelschaltung aller Kondensatoren) kann der Generator zur Erzeugung von Stoßströmen verwendet werden. Bei der Stoßform 4|10 kann ein Scheitelwert von 23 kA erreicht werden.

Die Stosswellen können mit verschiedenen Teilern bzw. Shunts gemessen werden. Für die Verwendung mit dem Generator als Stoßspannungserzeuger besitzt das Laboratorium je einen kapazitiven Teiler (14 in Fig. 7) und einen kapazitiv gesteuerten Widerstandsteiler (15 in Fig. 7) für die volle Summenladespannung. Weitere geschirmte Widerstandsteiler von 600, 300 und 100 kV sind vorhanden (16, 17 und 18 in Fig. 7).

Über dem Stossgenerator ist in die Ostwand der Halle eine weitere Durchführung (8 in Fig. 7) eingebaut. Sie stellt die Verbindung des Stossgenerators mit der Freiluftanlage her und ist für Stoßspannungen 1|50 mit einem Scheitelwert von 1200 kV ausgelegt.

2.3.3 Kugelfunkenstrecke

Zwischen den Feldern der Wechselspannungsprüfanlage und der Stossanlage befindet sich das Feld für die Messung mit der Kugelfunkenstrecke (6 in Fig. 7). Der Durchmesser der Kugeln beträgt 1 m. Die obere Kugel wurde an der Decke aufgehängt. Mit Hilfe eines Seilzuges kann die Funkenstrecke über einen Dämpfungswiderstand (22 in Fig. 7) mit der Prüfkaskade verbunden werden. Die Verbindung mit dem Stossgenerator muss im Bedarfsfall besonders hergestellt werden.

2.3.4 Übrige Halleneinrichtungen

Ungefähr in der Mitte der Halle auf der Höhe der Studentengalerie ist über einen Seilzug die selbstgebaute Vorlesungselektrode (10 in Fig. 7) (Fig. 12) aufgehängt. Diese Elektrode dient als Hochspannungsspeisepunkt für Versuchs- und Demonstrationsobjekte der Experimentalvorlesung. Die geerdete Gegenelektrode ist eine quadratische Kupferplatte von 1,2 m Seitenlänge. Die Vorlesungselektrode wird je nach Bedarf mit der Prüfkaskade, dem Stossgenerator oder für Gleichspannungsversuche mit dem Ladegleichrichter der Stossanlage verbunden. Der Abstand der Versuchselektrode von der Studentengalerie wurde so gewählt, dass von der ganzen Galerie aus ein unbehinderter Ausblick auf Elektrode und vorgeführte Experimente möglich ist, und dass auch bei der höchstmöglichen positiven Stoßspannung von ca. 1,2 MV absolut keine Gefahr des Überschlagens auf die Galerie besteht.

Für Arbeiten wie Aufhängen von Isolatoren und Seilzügen, Aufhängen von Verbindungen, Reinigen der Kugelfunkenstrecke oder Auswechseln von Deckenlampen wurde aus vorgelochten Winkeleisen ein fahrbarer Montageturm (37 in Fig. 7) von 10,5 m Höhe gebaut. An der Ostwand, in Feld 4, gegenüber der Studentengalerie, befindet sich weiter eine Projektionsleinwand von 5×4 m.

2.4 Mess- und Steuerraum

Dieser Raum ist als Faraday-Käfig ausgeführt. Als Abschirmung wurde Eisen-Streckmetall mit einer Maschenweite von 4×4 cm verwendet. Alle Endpunkte der Gittertafeln wurden mit dem tragenden Stahlskelett verschweisst. Der Mess- und Steuerraum ist mit dem Stossgenerator nebst den in den Kabelkanälen verlegten Erdleitern aus Winkeleisen und Rundkupfer sowie über die Kupfermäntel der Speise- und Steuerkabel zusätzlich mit einem Kupferband (21 in Fig. 7) von 30 bzw. 60 cm Breite und 1 mm Dicke verbunden. Dieses Kupferblech stellt auch die Verbindung zur Freiluft-

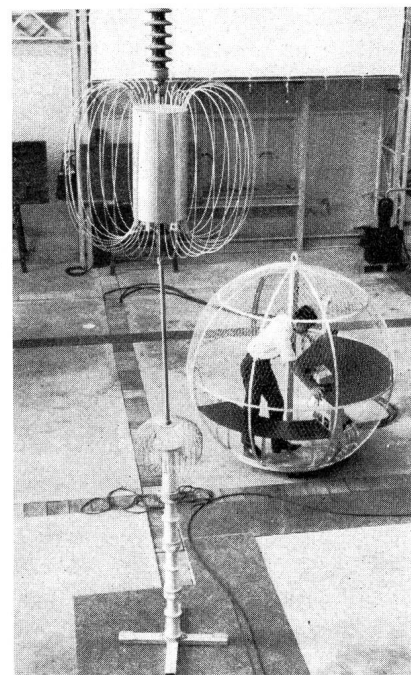


Fig. 12

Blick von der Studentengalerie auf Versuchselektrode mit Demonstrationsobjekt (Stützer mit Kopfelektrode)

Dahinter rechts die Faraday-Kugel für Mess- und Vortragszwecke

anlage und zur Kugelfunkenstrecke her. Damit sich vom Mess- und Steuerraum aus die Halle gut überblicken lässt, liegt dessen Boden ca. 40 cm höher als der Hallenboden.

Neben dem Steuerpult für die Wechselspannungsprüfanlage (25 in Fig. 7) liegt der Messplatz für die Scheringbrücke (24 in Fig. 7). Der Stoßspannungsmessplatz (27...31 in Fig. 7) ist mit Stossvoltmeter für die Anzeige des Scheitelwertes und Hochspannungsoszillographen mit Glühkathode zur Anzeige der Kurvenform ausgerüstet. Der Oszillograph hat zwei einstrahlige Röhren mit zwei Zeitablenkerngeneratoren, so dass zwei verschiedene Spannungen gleichzeitig aufgenommen werden können. Oszillograph und Trigatron-Zündfunkenstrecke können über ein Steuergerät unter einem wählbaren Phasenwinkel in Bezug auf eine Wechselspannung ausgelöst werden. Dies erlaubt kombinierte Versuche mit Wechsel- und Stoßspannung.

Daneben besitzt das Laboratorium noch einen gewöhnlichen zweistrahligem Oszillographen mit Verstärker, geeichter Skala und zwei unabhängigen Zeitablenk- und Auslösesystemen der herangezogen werden kann, so lange die notwendige Ablenkzeit bei Impulsmessungen nicht unter $2 \mu\text{s}/\text{cm}$ liegt.

Ebenfalls im Mess- und Steuerraum befindet sich das Verstärker- und Mischpult (26 in Fig. 7) für die Lautsprecheranlage. Diese Anlage wird für die Experimentalvorlesung benötigt. Damit der Vortragende Vorgänge bei Versuchen aus nächster Nähe kommentieren kann, wurde eine fahrbare Faradaysche Kugel [9] aus Streckmetall gebaut (Fig. 12). Die Kugel ist über abgeschirmte Kabel mit dem Messraum verbunden. Der Vortragende erteilt seine Befehle für die Bedienung der Steuerpulte über einen mehrbegriffigen Befehlsgeber. Für besondere Fälle steht ihm eine Gegensprechanlage zur Verfügung. Ebenfalls von der Gitterkugel aus erfolgt die Fernsteuerung des Dia-Projektionsapparates. Für besondere Untersuchungen, wo es notwendig ist, Messungen möglichst nahe beim Testobjekt auszuführen, kann die Faraday-Kugel als Kleinmessraum verwendet werden. Sie ist zu diesem Zweck mit einem Netzanschluss und einem Taster für die Fernsteuerung der Hallenbeleuchtung ausgerüstet. Ebenfalls eingebaut ist ein Not-Aus-Druckkontakt.

2.5 Hilfsraum

Dieser Raum wurde in drei Messzellen aufgeteilt.

In einer Zelle (36 in Fig. 7) wurde der elektrolytische Trog aufgestellt. Das Gerät, welches vorwiegend zur Bestimmung dreidimensionaler elektrostatischer Felder verwendet wird, ist mit einem Punkt-Schreibesystem ausgerüstet, welches erlaubt, halbautomatisch Feldlinien in Horizontalschnitten aufzunehmen.

In einer zweiten Zelle (32 in Fig. 7) steht die Kabelprüfanlage. Sie ist in Einzelteile zerlegbar und dadurch transportabel, so dass nebst Versuchen im Laboratorium auch solche an fertig verlegten Kabeln ausgeführt werden können. Die Gleichspannung beträgt 45 kV und der Nenn-Dauerstrom 5 mA. Die Anlage kann später bei Bedarf bis auf eine Gleichspannung von 150 kV ausgebaut werden.

Eine dritte Zelle (33 in Fig. 7) ist für Diplomarbeiten vorgesehen.

2.6 Freiluftanlage

Sie ist für Prüfungen an schweren Objekten vorgesehen. Mit Hilfe der bereits erwähnten Durchführungen (7 und 8 in

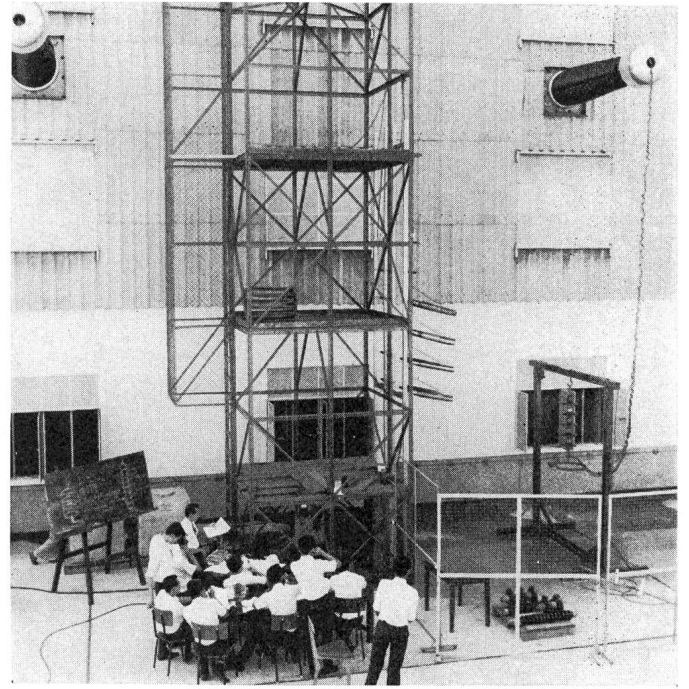


Fig. 13
Freiluftanlage, Versuche mit künstlichem Regen

Fig. 7) kann mit Wechsel- und Stoßspannung in der Freiluftanlage gearbeitet werden. Für Versuche unter Regen steht eine Anlage für künstliche Beregnung zur Verfügung. Es können Isolatoren bis zu einer Höhe von 2,7 m, bei einer Breite von 1 m, nach den CEI-Empfehlungen beregnet werden. Düsenaggregate, Pumpe und Leitwert-Anzeigegerät sind in den bereits erwähnten, fahrbaren Montageturm (37 in Fig. 7) eingebaut (siehe Fig. 6 und 13). Die Düsenaggregate können auf der ganzen Höhe des Turmes beliebig eingestellt werden. Für Arbeiten während der Nacht kann die Freiluftanlage durch 3 Jod-Flutlichtstrahler erhellt werden.

3. Baukosten

Die Kosten für Anschaffung und Transport der Hochspannungsgeräte und Niederspannungsanlage, Ausbildungsaufenthalte, Expertenonorar des schweizerischen Beraters und Löhne für thailändisches, hochschulfremdes Montagepersonal betragen sFr. 1 100 000.—. Dieser Betrag wurde von der schweizerischen Regierung im Sinne bilateraler technischer Zusammenarbeit übernommen. Die Kosten für die Erstellung der Halle, des Büro- und Vorlesungsanbaues, Anpassungsarbeiten und Löhne für hochschuleigenes Montagepersonal betragen sFr. 620 000.—. Dieser Betrag wurde vom Staate Thailand übernommen. Die Betriebskosten (Saläre, Material, Reparaturen, Neuanschaffungen) wurden ganz von Thailand getragen und sind im vorstehenden Betrag nicht eingeschlossen. Die Gesamtsumme für das ganze Laboratorium betrug demnach sFr. 1 720 000.—.

Dieser günstige Preis ist besonders auf zwei Faktoren zurückzuführen:

1. Einfache Bauart des Gebäudes (keine Wärmeisolation);
2. Niedrige Arbeitskosten (gelernte Arbeiter ca. sFr. 300.— pro Monat).

Für die Montage von Niederspannungsanlage und Hochspannungsgeräten wurden folgende Arbeitsstundenzahlen angewendet:

Berater, Techniker, gelernte Arbeiter	7 700 Stunden;
Hilfsarbeiter, Werkstudenten, Kulis	6 650 Stunden.

Um einen Vergleich über den relativen Aufwand zu ziehen, sei der von Thailand für das Hochspannungslaboratorium aufgebrauchte Betrag mit der Summe verglichen, welche vom Bundesrat für den Neubau des Hochspannungslaboratoriums an der ETH beantragt wurde [10] ⁸⁾. Bezieht man beide Beträge auf das reale Bruttosozialprodukt pro Kopf der ganzen Bevölkerung des betreffenden Landes ⁹⁾, so stellt man fest, dass Thailand für sein neues Hochspannungslaboratorium dasselbe Vielfache des Bruttosozialproduktes pro Einwohner ausgab, wie die Schweiz für das neue Laboratorium an der ETH auszugeben bereit ist.

4. Ausblick

Nach der Schaffung und Einführung der Experimentalvorlesung in den Lehrplan der Ingenieurabteilung wird als nächste, vordringlichste Aufgabe ein Praktikum zusammengestellt, in welchem die Studenten ihre in der Vorlesung erworbenen Kenntnisse durch gezielte praktische und theoretische Betätigung vertiefen und erweitern können. Parallel zur Vorbereitung des Praktikums ist vorgesehen, die Laboreinrichtung durch einen Ölprüfraum zu ergänzen. Erst nach Abschluss dieser Arbeiten kann daran gedacht werden, in grösserem Maßstab Aufträge von Personen, welche ausserhalb der Universität stehen, anzunehmen. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass die Halle während mindestens zwei Tagen pro Woche durch die Experimentalvorlesung belegt sein wird.

Das Laboratorium wird bereits jetzt von seiten der Elektrizitäts- und Kraftwerkgesellschaften in regelmässigem Abstand für Prüfungen angefragt. Prüfungen, die in der kurzen Zeit ausgeführt wurden seit das Laboratorium dem Betrieb übergeben wurde, betrafen hauptsächlich Kappen-Bolzen-Isolatoren und Stützisolatoren. Gelegentlich werden die Dienste des Laboratoriums bei der Abklärung von Betriebsstörungen wie Kurz- und Erdschlüssen oder auch für die Durchführung ergänzender Prüfungen bei Neuanschaffungen beigezogen.

Es darf mit Befriedigung festgestellt werden, dass das Laboratorium einem wirklichen Bedürfnis entspricht. Erfreulich sind auch die Studentenzahlen. Ungefähr die Hälfte aller Studierenden der Richtung Starkstromtechnik besuchen den als Freifachvorlesung angezeigten Kurs über Hochspannungstechnik.

⁸⁾ Ca. 8 Millionen sFr.

⁹⁾ Thailand: 570 sFr./Einwohner, Schweiz: 8000 sFr./Einwohner.

Um im Sinne des Mekong-Projektes nicht nur Ingenieuren aus Thailand als Ausbildungsstätte zu dienen, ist geplant, auch Studenten aus den drei anderen Mekong-Staaten, Laos, Kambodscha und (Süd)-Vietnam als Freifachhörer am Hochspannungslaboratorium aufzunehmen. Einer solchen Lösung stehen jedoch vorläufig noch Probleme sprachlicher Art entgegen, indem in Thailand Englisch, in den drei anderen Staaten jedoch Französisch als erste Fremdsprache gesprochen wird.

5. Dank

Der Schreibende möchte an dieser Stelle den schweizerischen Firmen und Kraftwerkgesellschaften danken, welche dem Laboratorium Demonstrationsmaterial in Form von Porzellanisolatoren und Leistungsarmaturen, Kabel- und Isolierstoffmustern, Schnittmodellen und Lichtbildern, welche die Funktionsweise ihrer Produkte erläutern, sowie Vorschriften zur Verfügung stellten.

Besonderer Dank gebührt auch der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH), aus deren reichhaltigem Material über das Phänomen des Blitzes eine gut dokumentierte Vorlesung über Blitz und Blitzschutz zusammengestellt werden durfte.

Letztlich, aber gerade deshalb besonders herzlich, sei Prof. Dr. K. Berger gedankt, dem wir dieses Jahr zu seinem 70. Geburtstag gratulieren dürfen. Trotz seiner grossen Arbeitslast an ETH, FKH, SEV und in internationalen Gremien hat er immer wieder Zeit gefunden, um uns bei der Lösung von Problemen zu helfen.

Literatur

- [1] *Etude du Marché de l'Energie pour les Usages Domestiques*: Commerciaux et Industriels dans le Bassin Inférieur du Mékong, 6 bols. Sofrelec, Paris, 1965.
- [2] *Committee for the Coordination of Investigations of the lower Mekong Basin*: Annual Report 1966, United Nations.
- [3] *Thailand Electric Power Study*: U. S. Agency for International Development, United States Operations Mission 1967.
- [4] Annual Reports of Yanhee Electricity Authority (YEA); Metropolitan Electricity Authority (MEA); Lignite Authority (LA); Provincial Electricity Authority (PEA); Northeast Electricity Authority (NEEA).
- [5] *Eidg. Amt für Energiewirtschaft*: Gesamte Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz, Bull. SEV 58(1967)20.
- [6] Mean annual and monthly temperatures over Thailand, Meteorological Department, Office of the Prime Minister, Bangkok 1966.
- [7] *M. Schüepp*: Die Temperaturverhältnisse der Schweiz, Bull. SEV 54(1963)13.
- [8] Einweihungsschrift: High Voltage Laboratory, Chulalongkorn University 1967.
- [9] *H. Prinz*: Feuer, Blitz und Funke, Zur Eröffnung des Institutes für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TH München, F. Brückmann KG, München 1965.
- [10] Botschaft des Bundesrates an die eidgenössischen Räte vom 5. Juni 1967.

Adresse des Autors:

B. Staub, High-Voltage Laboratory, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

Messung von Hochspannungsimpulsen mittels Kerrzellen

Von H. Schmied, Hamburg

621.317.326.027.3:621.383.6

Nach einer Diskussion der Schwierigkeiten bei der Messung von Hochspannungsimpulsen mit Spannungsteilern wird die Verwendung von Kerrzellen zur Spannungsmessung vorgeschlagen. Der elektrooptische Kerreffekt ist bis etwa 500 MHz frequenzlinear, Kerrzellen sind bis in die Gegend von mehreren 100 kV ausgezeichnet spannungsfest herzustellen, und die erreichbare Messgenauigkeit ist wesentlich besser als 1 %. Das Meßsignal wird mit Hilfe von Licht übertragen. Die Kerrzelle gibt daher die Möglichkeit, Hochspannungsimpulse mit wenigen Nanosekunden Anstiegszeit sehr genau, ohne Störungen und vor allem erdfrei zu messen. Einer kurzen Übersicht über die theoretischen Grundlagen des Kerreffektes folgt eine Beschreibung der Eichung des Meßsystems und ein Messbeispiel.

Après une discussion sur les difficultés soulevées par les mesures des impulsions de haute tension à l'aide de potentiomètres, on propose pour la mesure de la tension l'application de cellules de Kerr. L'effet électrooptique de Kerr demeure linéaire à la fréquence jusqu'à 500 MHz environ. On peut exécuter des cellules de Kerr d'excellentes rigidités diélectriques jusqu'à des tensions de plusieurs centaines de kV et la précision de mesure dépasse sensiblement 1 %. Le signal de mesure est transmis par lumière. La cellule de Kerr fournit de ce fait la possibilité de mesurer avec une grande précision, sans perturbations et surtout sans mise à la terre, des impulsions de haute tension d'un temps de montée de quelques nanosecondes seulement. Un aperçu sommaire des principes théoriques de l'effet de Kerr est suivi d'une description de l'étalonnage du système de mesure et d'un exemple de mesure.