

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 19

Artikel: 50 000 kW-Oerlikon-Dampfturbine der Zentrale St. Denis der Société d'Électricité, Paris
Autor: Karrer, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49144>

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: 09.01.2026

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

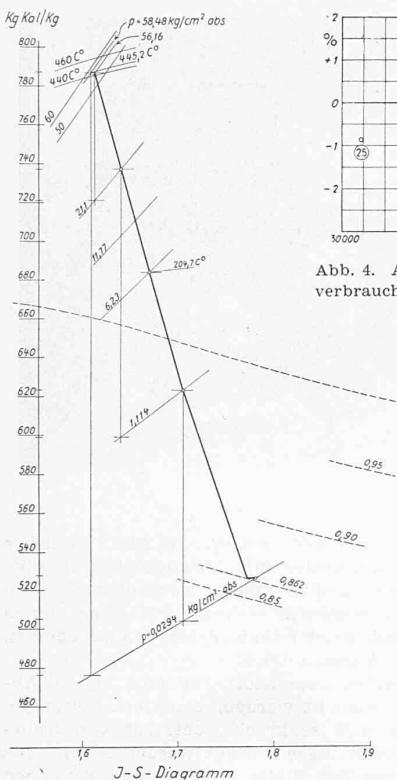


Abb. 4. Abweichung des Wärmeverbrauchs von der Garantie

Abb. 5. Entropiediagramm für Versuch 31

Jahresrechnung keine Dividende zu entrichten.

Auf den Beginn des neuen Betriebsjahres, d. h. auf 1. April 1937 wurden, nachdem das bezügliche eidg. Verbot betreffend Erhöhung der Preise in Restaurants und Pensionen weggefallen war, die Preise für die festen Menus je um 10 Rappen hinaufgesetzt; die Tagesplatte kostet somit jetzt 70 Rappen und die beiden andern Menus Fr. 1.20 und 1.60. Aehnliche Preisaufschläge wurden auch für die Getränke und Speisen nach der Karte eingeführt. Das Studentenheim steht mit dieser Massnahme nicht vereinzelt da.

Die trotz des kleinen Frequenzerückganges immer noch sehr grosse Besucherzahl des Studentenheimes — im Berichtsjahr 1936/37 waren es rund 478000 Gäste — zeigt, dass es eine notwendige Funktion erfüllt und dass die Studierenden beider Hochschulen Zürichs den besondern Wert und die Vorteile dieses für sie geschaffenen Heimes zu schätzen wissen. Bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Fragen ist immer zu berücksichtigen, dass im Studentenheim kein während des ganzen Jahres mehr oder weniger ausgeglichenen Restaurationsbetrieb geführt werden kann, indem vom ganzen Jahre nur drei Monate als volle Betriebsmonate in Frage kommen; während zwei Monaten ist das Studentenheim geschlossen; die verbleibenden sieben Monate werfen infolge der Hochschulferien zum Teil keine Gewinne ab, bezw. sie weisen sogar Verluste auf.

Die Studentenzimmer waren, wie bisher, alle vermietet. Auch die das Studentenheim wirtschaftlich ziemlich belastenden Gesellschafts-, Arbeits- und Bibliotheksräume des ersten Stockes — durch die der Heim-Charakter besonders betont wird — erfreuen sich mit ihren über hundert Zeitungen und Zeitschriften stets eines guten Besuches.

Zahlentafel I a

Versuch Nr.	25	28	24	33	23	27	31	29	26	39
Leistung kW	31785	37528	39724	42085	43648	43789	45839	47309	51166	51793
Dampftemperatur °C	446,0	446,7	449,2	451	436,4	450,3	445,2	448,9	450,7	449,2
Dampfdruck vor Turbine ata	59,8	59	59,0	59	58,4	59,04	58,48	58,6	58,3	58,0
Dampfdruck vor der zweiten Düsengruppe ata	44,54	50,5	52,7	57	55,1	56	56,5	55,3	55,6	55,1
Dampfdruck vor der dritten Düsengruppe ata	32,1	39,3	42,5	42,2	53,3	53,1	55,8	52,9	52,5	54,4
Dampfdruck vor der vierten Düsengruppe ata	32,7	38,5	40,5	42,2	43,6	44,6	45,2	39,8	47,9	53,4
Vakuum ata	0,0322	0,0319	0,0328	0,0318	0,032	0,0403	0,0294	0,0319	0,0449	0,0303
Ventilstellungen: zweites Teillast-Ventil zu	t. o.	t. o.	zu	t. o.	t. o.	offen	offen	offen	offen	offen
erstes Überlast-Ventil zu	zu	zu	zu	zu	zu	zu	zu	t. o.	t. o.	offen
zweites Überlast-Ventil zu	zu	zu	zu	zu	zu	zu	zu	offen	offen	offen

t. o. = teilweise offen.

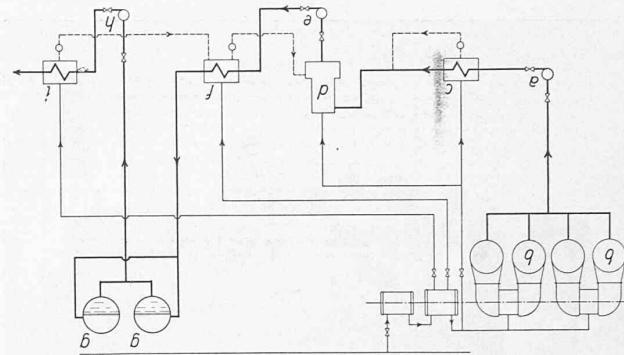


Abb. 3. Schema der Speisewasser-Vorwärmung

50 000 kW-Oerlikon-Dampfturbine der Zentrale St. Denis II der Société d'Electricité, Paris

Von Obering. J. KARRER, Maschinenfabrik Oerlikon

Die Maschinenfabrik Oerlikon hatte der Société d'Electricité de Paris beim Bau ihrer Zentrale St. Denis II vorgeschlagen, für die 50 000 kW Einheiten 3000 U/min zu wählen, da bei annähernd gleichem Wirkungsgrad die Erstellungskosten wesentlich kleiner würden als bei Maschinen mit 1500 Umdrehungen. Die Bestellung erfolgte 1929 auf drei Gruppen mit 3000 U/min, wovon eine Dampfturbine der Maschinenfabrik Oerlikon bestellt wurde.

Die Oerlikon-Turbine wurde im Herbst 1933 in Betrieb gesetzt. Die neuen Erfahrungen mit der hohen Temperatur erforderten seither einige Änderungen, der allgemeine Aufbau hat sich aber als richtig erwiesen, die Garantien wurden übertroffen und der erhoffte thermische Wirkungsgrad voll erreicht.

Da die Turbine bei der Bestellung als Basisgruppe vorge sehen war mit Betrieb zwischen 40000 und 50000 kW Belastung wurde versucht, bei dieser Belastung einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen, was insbesondere durch drei Massnahmen erzielt werden sollte. Erstens wurde zur Ausnutzung des hohen Vakuums der Niederdruckteil vierflutig gebaut, wodurch die Turbine viergehäusig wurde, mit einer Hochdruckturbine, einer Mitteldruckturbine und zwei zweiflutigen Niederdruckturbinen (Abb. 1). Die Unterteilung des Dampfes im Niederdruck in vier parallele Ströme ermöglichte die Herabsetzung der Umfangsgeschwindigkeit der letzten Stufe, die Herabsetzung der Austrittsgeschwindigkeit aus dem Laufrad und damit eine Verringerung der Auslassverluste.

Zur weiteren Erhöhung des Wirkungsgrades wurden auch die Hochdruckstufen als reine Druckstufen gebaut. Um auch bei 50000 kW günstig zu arbeiten, wird der Überlastdampf gemäß der bekannten Oerlikon-Dampfführung in die erste und hierauf in die vierte Hochdruckstufe geleitet (Abb. 2, schematisch), sodass auch das Überlastgefälle mit hohem Wirkungsgrad verarbeitet wird. Bei Überlast steigt der Druck nach der vierten Stufe ungefähr proportional der Überlastung, das Hochdruckgefälle wird dementsprechend kleiner, sodass es in den Stufen 1 und 4 gut ausgenutzt wird. Durch Zuschalten der Kanäle 2 in Stufe 4 kann der Druck in der ersten Stufe auch bei Überlast annähernd auf dem Wert von Vollast gehalten werden, was für die Hochdruckwellendichtung von Vorteil ist.

Als dritte Massnahme zur Erhöhung des Wirkungsgrades arbeiten die letzten drei Stufen zunehmend mit Reaktion, während alle andern Stufen als Gleichdruckstufen gebaut sind.

Die Hochdruckturbine besitzt sechs, die Mitteldruckturbine zehn und die Niederdruckturbinen vier mal fünf Stufen, die ersten vier Stufen der Hochdruckturbine sind partiell beauf-

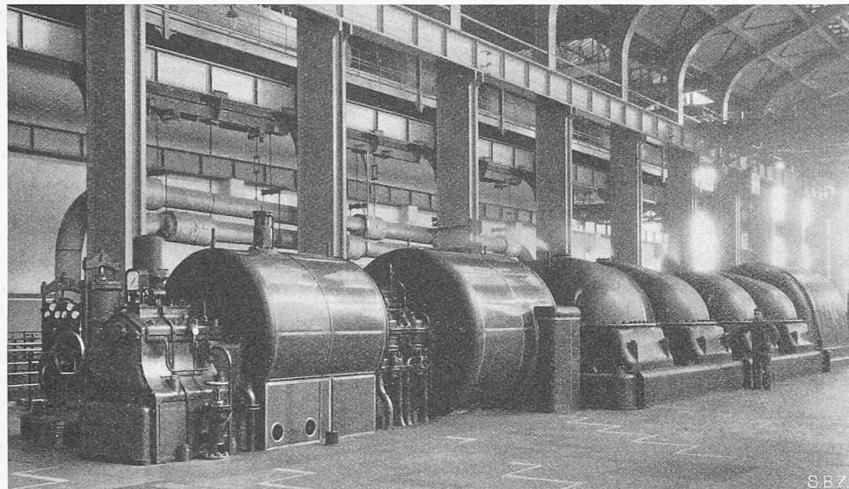


Abb. 1. Zentrale St. Denis II mit 50 000 kW Oerlikon-Dampfturbine

schlagt. Der Dampf strömt durch vier Düsengruppen in die Turbine. Wie aus Abb. 1 zu ersehen ist, sind die Regulierventile seitlich von der Hochdruckturbine angeordnet; sie sind durch nachgiebige Rohre mit dem Gehäuse verbunden. Sämtliche Frischdampf führenden Teile, sowie das ganze Hochdruckgehäuse wurden aus Molybdän-Stahlguss hergestellt, die Schaufelung aus Chromstahl. Die Rotoren der einzelnen Turbinen sind durch Klauenkupplungen miteinander verbunden. Die Ueberströmrohre zwischen den Turbinen sind unter dem Maschinenhausboden angeordnet, was der ganzen Gruppe ein gefälligeres Aussehen gibt.

Der Dampf wird nach dem Austritt aus der Turbine in vier Delas-Kondensatoren niedergeschlagen und das Kondensat in einer Vorwärmieranlage mittelst Anzapfdampf aus der Turbine erwärmt; die Turbine besitzt drei Entnahmestellen. Abb. 3 zeigt das Schema der Vorwärmung des Speisewassers. Die Kondensat-Pumpe a fördert das Kondensat aus den vier Kondensatoren b durch den Niederdruckvorwärmer c zum Entgaser d; eine zweite Pumpe e saugt aus dem Entgaser an und drückt das Kondensat durch den Mitteldruckvorwärmer f zu den Speisebehältern g, von wo es den Kesselspeisepumpen h zuströmt und durch den Hochdruckvorwärmer i zu den Kesseln gefördert wird.

Garantie-Versuche. Die Versuche wurden durch die Versuchsstation der «Union des Centrales» in Paris durchgeführt. Die Turbine wurde bestellt für eine Normalleistung von 40 000 kW bei 55 ata Dampfdruck, 450 °C Temperatur, ein Vakuum von 96,5 %, eine Vorwärmung des Speisewassers auf 170 °C; maximale Dauerleistung 50 000 kW.

Bei den Versuchen arbeitete die Gruppe auf das Netz. Der Dampfdruck betrug je nach der Belastung 58 bis 60 ata; die Dampftemperatur wichen nur wenige Grade von der normalen ab, ebenso die Vorwärmtemperatur des Speisewassers. Die Kühlwassertemperatur schwankte zwischen 10 und 12 °C. Das Kühlwasser ist Seinewasser, das die Kondensationsrohre rasch verschmutzt, sodass das vertragliche Vakuum bei den Versuchen nur unmittelbar nach der Reinigung der Röhre erreicht wurde. Trotz der niedrigen Kühlwassertemperatur von 10 bis 12 °C war daher bei den Versuchen das Vakuum im allgemeinen schlechter als das der normalen Temperatur von 15 °C entsprechende. Bringt man an den Versuchswerten die vertraglichen Korrekturen an, die durch die den gemessenen Vakuum entsprechenden Kühlwassertemperaturen festgelegt sind, so zeigt Abb. 4 die prozentuale Abweichung der auf die Vertragsdaten umgerechneten Versuchswerte von der Garantie. Alle Ergebnisse liegen innerhalb der

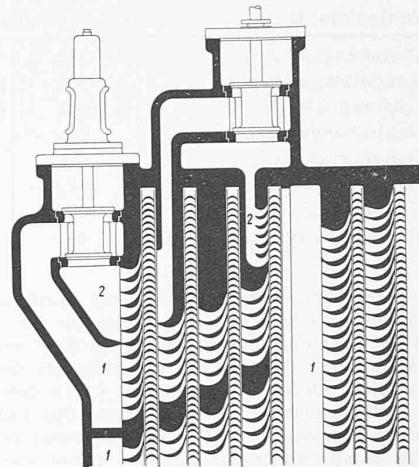


Abb. 2. Schema der Oerlikon Ueberlast-Dampfführung

Garantie bzw. innerhalb der Toleranz von 2 %. Über die Abweichungen zwischen 30 000 und 50 000 kW gibt Zahlentafel Ia Auskunft. Sie röhren z. T. von der verschiedenen Einstellung und verschiedenen Öffnung der Teil- und Ueberlastventile her.

Bei Versuch 25 war das zweite Teillastventil noch geschlossen; es war aber so eingestellt, dass es sich öffnete, bevor der volle Druck in der zweiten Düsengruppe erreicht war. Die Versuche 24 und 28 entsprechen einer teilweisen Öffnung des so eingestellten Ventiles; bei Versuch 28 war das Teillastventil nur wenig offen, während bei Versuch 24 bereits eine grösse Dampfmenge in die Düsengruppe 3 strömte, in der sie in der ersten Stufe zufolge des zu kleinen Druckgefälles keine nützliche Arbeit leistete, wodurch der Wärmeverbrauch gegenüber Versuch 28 erhöht wurde. Versuch 31 entspricht dem besten Resultat; alle Normalkanäle 1 (Abb. 2) (Düsengruppen 1 bis 3, Zahlentafel Ia), arbeiteten mit vollem Druck, die Ueberlastventile waren geschlossen (Düsengruppe 4, Zahlentafel Ia und Kanäle 2, Abb. 2, abgesperrt). Der Druck der Düsengruppe 4 entspricht dem Druck im ersten Laufrad, gegen welchen Druck die Welle auf der Hochdruckseite abgedichtet wird. Versuch 29 gibt einen Messpunkt unmittelbar nach Öffnen der Ueberlastventile.

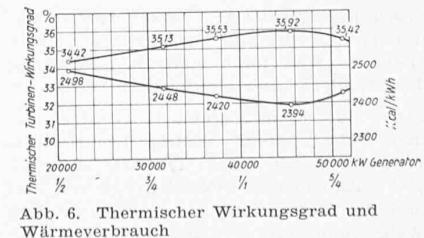
Versuch 39 fällt im Vergleich zu Versuch 26 ungünstig aus trotz fast voller Öffnung aller Ventile; dies kommt zum Teil daher, dass die letzte Stufe bei Versuch 26 das Vakuum, 0,0449 ata, mit gutem Wirkungsgrad verarbeitet, während bei Versuch 39 das höhere Vakuum, 0,0303 ata, nur schlecht ausgenutzt wird.

Abb. 5 gibt das Entropiediagramm für den günstigsten Versuch No. 31; es wurde gezeichnet auf Grund der Berechnungsgrundlagen der Maschinenfabrik Oerlikon und der Druck- und Temperaturmessungen in St. Denis. Die Drücke an den drei Anzapfstellen sind 11,77 bzw. 6,23 bzw. 1,114 ata. Gemäß diesem Diagramm arbeitet die Hochdruckturbine mit einem inneren Wirkungsgrad von 75,8 %, die Mitteldruckturbine mit 82,6 % und die Niederdruckturbinen mit 81,2 %. Der innere Wirkungsgrad der ganzen Turbine erreicht den Wert von 83,2 % und der thermodynamische Wirkungsgrad, bezogen auf den Zustand vor der Turbine und das Vakuum am Kondensatoreneintritt, ungefähr 82 %, bei dem der Berechnung zu Grunde gelegten Werte ungefähr 83 %. Zahlentafel I b sowie Abb. 6 zeigen den Verlauf des erreichten thermischen Wirkungsgrades der Turbine ohne Hilfsbetriebe und den erreichten Wärmeverbrauch pro kWh an der Kupplung gemessen, abhängig von der Belastung.

Bei 45 000 kW und 32 000 kW wurde der Einfluss des Vakuums auf den Wärmeverbrauch bestimmt, indem bei gleichbleibenden Dampfverhältnissen das Vakuum verändert wurde. Abb. 7 zeigt die ungefähre Zunahme des Wärmeverbrauches mit zunehmender Kühlwassertemperatur bei obigen Belastungen. Die erreichten thermischen Wirkungsgrade bis nahezu 36 % dürften zu den besten zählen, die je ohne Zwischenüberhitzung gemessen worden sind.

Zahlentafel I b Wärmeverbrauch und Thermischer Wirkungsgrad

Versuch Nr.	32	25	28	31	26
Leistung an Klemmen kW	21380	31785	37528	45839	51166
$\cos \varphi$	0,9	0,895	0,914	0,942	0,897
Turbinenleistung kW	22525	32996	38756	47095	52513
Dampfmenge kg/h	88236	129774	152769	184960	210749
Aussere Labyrinthverluste kg/h	310	404	209	315	291
Totale Dampfmenge kg/h	88546	130178	152978	185275	211040
Vorwärmtemperatur °C	155,2	166,1	172,7	176,5	183,6
Wärmeverbrauch kcal/kW/h	2498	2448	2420	2394	2428
Thermischer Turbinenwirkungsgrad %	34,42	35,13	35,53	35,92	35,42



Zahlentafel II

	Thermodynamischer Wirkungsgrad		
Erstellungsjahr	1908	1913	1928
Aufstellungsort	Stockholm	Kristiania	Ville s/Haine
Leistung kW	5815	6028	6516
Umdrehungen pro min	750	1500	3000
Dampfdruck ata	12,6	11,1	15,18
Dampftemperatur °C	287,5	238	355
Vakuum ata	0,061	0,054	0,053
Thermodyn. Wirkungsgrad %	66	71,7	80,3

Der thermische Wirkungsgrad ist abhängig vom thermodynamischen Wirkungsgrad, der hier für den hohen Druck und das hohe Vakuum einen ansehnlichen Wert erreicht. Der thermische Wirkungsgrad steigt mit der Zunahme des verfügbaren Wärmegefälles; dieses wird bestimmt durch den Zustand des Dampfes am Ein- und Austritt der Turbine. Das Vakuum kann nun kaum höher getrieben werden als bei Versuch No. 31; hingegen könnte die Dampftemperatur mit den heute zur Verfügung stehenden Materialien auf 475 bis 500 °C gesteigert werden und damit bei gleicher Dampffeuchtigkeit am Austritt der Dampfdruck auf 75 bis 90 ata, wodurch das verfügbare Wärmegefälle und damit der thermische Wirkungsgrad erhöht würden.

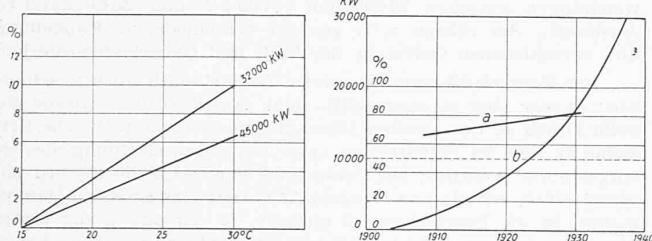


Abb. 7 (links). Zunahme des Wärmeverbrauches mit steigender Kühlwassertemperatur

Abb. 8 (rechts). Steigerung des thermodynamischen Wirkungsgrades (Kurve a); Steigerung der Leistung einflutiger Turbinen bei 3000 U/min (Kurve b)

Es dürfte hier am Platze sein, einen Rückblick zu werfen auf die Entwicklung der Oerlikon-Dampfturbine im Laufe der letzten 30 Jahre. Zahlentafel II und Kurve a Abb. 8 zeigen z. B. die Steigerung des thermodynamischen Wirkungsgrades von 6000 kW Oerlikon-Turbinen.

Aus Zahlentafel III kann die Steigerung des thermischen Wirkungsgrades an grösseren Oerlikon-Turbinen ersehen werden, die alle mit einem thermodynamischen Wirkungsgrad von über 82 % arbeiten; die Zunahme des Wirkungsgrades ist deutlich abhängig von der Steigerung des Wärmegefälles und der Vorwärmung des Speisewassers.

Zahlentafel II zeigt die Steigerung der Drehzahl bei 6000 kW Einheiten im Laufe der Jahre. Aus Abb. 8 Kurve b ist die Steigerung der Leistung einflutiger Eingehäuseturbinen mit 3000 U pro min zu entnehmen, besonders die rasche Steigerung in den letzten Jahren; gegenwärtig ist eine 30000 kW Turbine für 96 % Vakuum im Bau, während man im Jahre 1913 (Zahlentafel II) 6000 kW Turbinen noch mit 1500 Umdrehungen baute.

Auf Grund der vorliegenden Erfahrungen liesse sich heute die Turbine St. Denis zweiegehäusig und zweiflutig bauen, aber es würde unter gleichen Verhältnissen der thermische Wirkungsgrad von 36 % nicht erreicht. Hingegen lässt sich heute eine 100000 kW Turbine viergehäusig und vierflutig mit 75 ata Dampfdruck und 475 °C Temperatur bauen mit einem Wirkungsgrad, der höher ist als 36 %.

MITTEILUNGEN

Elektrizität und Nervensystem. Einer ausführlichen Studie von A. M. Monnier im «Bulletin SFE» vom Juli 1937, die das über die Innervierungsvorgänge gebreitete Dunkel durch elektrische Analogien aufzuhellen unternimmt, entnehmen wir einige bemerkenswerte Tatsachen: 1. Man kann sich die Reizleitung längs eines Nervs als das Wandern einer elektrischen Welle vom wohlbekannten Typus $C(e^{-at} - e^{-bt})$ (in folgendem «Grundtypus» genannt) veranschaulichen: relativ steiler Anstieg von Null bis auf ein Maximum während der «Anstiegzeit» T, sanfterer Abfall gegen Null. Mit Hilfe von Kathodenstrahl-Oszilloskop und Verstärkeröhren kann heute die Form einer einem Nerv entlang geschickten Spannungswelle photographiert und ihre Fortpflan-

Zahlentafel III

	Thermischer Wirkungsgrad		
Erstellungsjahr	1926	1929	1930
Aufstellungsort	Leicester	Groningen	St. Denis
Leistung kW	16040	14905	45839
Dampfdruck ata	19,07	31,7	58,48
Dampftemperatur °C	372	393,5	445,2
Vakuum ata	0,0675	0,0203	0,0294
Kondensatvorgewärmt auf °C	38	124,2	176,5
Wärmegefälle kcal/kg	239	290	311
Thermischer Wirkungsgrad %	25,8	32,4	35,92

zungsgeschwindigkeit gemessen werden. Diese beträgt bei den Säugetieren gegen 100 m/sec. 2. Auf Grund gewisser Beobachtungen nimmt Monnier an, dass der zeitliche Verlauf der «Erregbarkeit» eines einem Gleichstrom ausgesetzten Organs gleichfalls durch eine Kurve vom Grundtypus darstellbar sei. Von diesem Typus ist aber auch die Klemmenspannung einer aus zwei Kapazitäten und drei Widerständen geeignet zusammengestellten Wheatstone'schen Messbrücke, wenn deren Diagonalwiderstand mit einem Gleichstrom beschickt wird. Um den durch einen Strom von beliebiger Form in einem Gewebe hervorgerufenen Erregungszustand in seinem zeitlichen Verlaufe kennen zu lernen, braucht man daher nach Monnier blos durch den Diagonalwiderstand dieser Brücke einen Strom («Diagonalstrom») von der fraglichen Form zu schicken und den bewirkten «Erregungszustand» an den Brückenklemmen abzugreifen. 3. Ist der Diagonalstrom insbesondere vom Grundtypus, so weist diese Klemmenspannung eine je nach der Anstiegzeit T mehr oder weniger ausgeprägte Spitze von der Höhe E auf. Die Kurve E (T) hat zunächst steigenden, dann fallenden Charakter; für ein bestimmtes T* ist E maximal. Dies bei konstanter Amplitude A des Diagonalstroms. Zur Erreichung einer konstanten Klemmenspannung hat man daher A in Funktion von T gemäss einer Kurve A (T) zu verändern, die bei T* ein Minimum hat. 4. Beschickt man wie sub 1 einen Nerv mit Spannungswellen vom Grundtypus und stellt für verschiedene Anstiegzeiten T die Amplituden A der Welle immer so ein, dass die Welle zur Erregung des Nervs gerade hinreicht, so erhält man eine Kurve A (T) von einem ähnlichen Verlauf wie unter 3. Ein jeder Nerv trifft unter den Reizwellen eine Auswahl: Mit ausgeprägter Empfindlichkeit reagiert er auf Wellen von einer bestimmten für ihn charakteristischen Anstiegzeit (Phänomen der «Para-Resonanz»). Vielleicht liegt hierin eine Erklärung für die wunderbare Sicherheit, mit der die Reize in dem Nerven-Gewirre des Rückenmarks fortgeleitet werden.

Bodenmessgeräte für den Flugwetterdienst. Mit der Ausbildung und den teilweise noch unvollkommen gelösten Aufgaben der, ungleich den in Ballonen, Drachen oder Flugzeugen eingebauten Höhenmessgeräten, auf fester Erde zu bedienenden Hilfsmittel der Flugberatung befasst sich ein Aufsatz von J. Grunow in «Z. VDI» 1937, Nr. 17. Diese Geräte sind aus einer Notwendigkeit des modernen Flugverkehrs, der genauen Kennzeichnung des Witterungszustandes für Abflug und Landung erwachsen. Die Hervorhebung der noch bestehenden Unzulänglichkeiten wird vielleicht diesen oder jenen messtechnisch interessierten Leser zu Verbesserungsvorschlägen anregen. Als Sichtmesser dient allgemein ein geeichtes Filterglas von stetig steigender Trübung, das vor dem Auge verschoben wird, bis das durch den Filter visierte Ziel verschwindet. Fehlerquellen: Unterschiedliche Sehschärfe verschiedener Beobachter, Einfluss von Grösse, Form, Farbe und Beleuchtung des Ziels. Ein brauchbares *objektives*, das Auge durch eine Photozelle ersetzendes Gerät gibt es noch nicht. Die Bestimmung niedriger Wolkenhöhen ist bei Dunkelheit leicht zu bewerkstelligen: Vom einen Endpunkt einer ausgemessenen Strecke wirft ein lotrechter Scheinwerfer einen Lichtfleck auf die Wolke, der vom andern Endpunkt aus mit einem Winkelmesser anvisiert wird. Ein analoges, mit Photozelle und speziellem (polarisiertem oder einwelligem) Licht arbeitendes Verfahren für Tageslicht steht noch aus; an seiner Statt kann ein stereoskopischer Entfernungsmesser dienen. Zur Messung der Wolkengeschwindigkeit verwendet man Hohlspiegel, in deren Brennebene sich das wandernde Wolkenbild bequem verfolgen lässt. Zum fortlaufenden Messen der Richtung, Geschwindigkeit und Böigkeit des Bodenwindes existieren drei Gruppen von Geräten: a) Umlaufende Schalenwindmesser. Es sind die bekannten, neuerdings dreischalig und in Leichtmetall ausgeführten Windturbinchen, die einen Zwergegenerator antreiben, dessen Klemmenspannung nach der Windgeschwindigkeit geeicht ist. Hauptfehlerquelle ist die Massenträgheit des Geräts. Deren Einfluss suchen b) die gebremsten Schalenwindmesser auszuschalten, bei denen elastische Bewegungswiderstände das Rotieren verhindern und