Wirkungsgradmessungen im Kraftwerk Innertkirchen

Autor(en): **.A.O.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **125/126 (1945)**

Heft 1

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-83695

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ist der Leichteste seit zwei, der Schwerste seit 16 Jahren verheiratet! 93 % sind verheiratet, im Mittel seit 12,1 Jahren. Mittlere Kinderzahl nur 1,7, maximale fünf.

Militärisches: Diensttuend 35, davon Ortswehr, Luftschutz, HD acht, Soldaten zehn, Uof. drei, Subalternof. fünf, Hauptleute drei, Majore drei, Oberstlt. drei, dienstfrei neun; Diensttagzahl der 35 Diensttuenden: 7972, im Mittel 227, im Maximum 790.

Politisches: Täglicher Zeitaufwand für Zeitungslektüre 44 min (Maximum 150, Minimum 5!). Fünf von 44 bekleiden ein Amt oder Aemtchen, zwei sind eingeschriebene Mitglieder einer politischen Partei, einer erklärt politisch tätig zu sein. (Diese Armut an Hingabe für den Staat unter Akademikern gibt ernstlich zu denken!)

Freizeit: Im Laufe des Jahres besuchten 75 % Fachvorträge, 73 % Kino, 66 % Theater, 52 % Konzerte; Wanderungen, Berg-Touren und Skilauf werden als Sport bevorzugt; 50 % betätigen sich ausserberuflich publizistisch; 77 % rauchen, 84 % trinken Alkohol, 62 % fuhren Auto, 77 % fahren Velo, 66 % benutzten Flugzeuge.

Berufliches: Betriebsinhaber zwei, Direktoren sieben, Abteilungsleiter 18, Spezialisten zehn, technische Lehrer drei, freie Berufe vier, davon drei als Ingenieure; ein einziger hat umgesattelt (Zahnarzt). 39 waren im Ausland, davon neun auch Uebersee; ausserdem befinden sich weitere Kollegen, die nicht erreicht werden konnten, im Auslande. Man sieht, der Durchschnitts-Ingenieur hat beträchtlich dazu beigetragen, den Ruf der E. T. H.-Bildung und schweizerischer Technik ins Ausland zu tragen. Dabei ist er recht beständig: Im Laufe der 20 Jahre hat er nur 2,8 (im Maximum sieben) verschiedene Stellen bekleidet.

In geheimer Abstimmung am Abend selbst wurde ein durchschnittlicher Jahresverdienst von 17 600 Fr. (Maximum 50 000, Minimum 7000 Fr.) festgestellt.

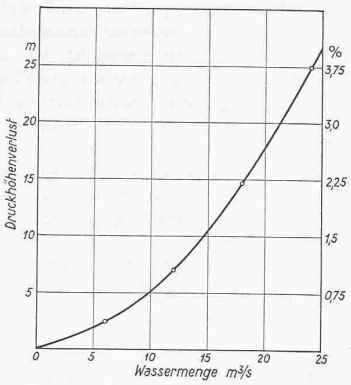


Abb. 1. Gemessener Druckhöhenverlust im Zuleitungstollen und Druckschacht in Abhängigkeit der Wassermenge, umgerechnet auf das Gesamtgefälle von 670 m

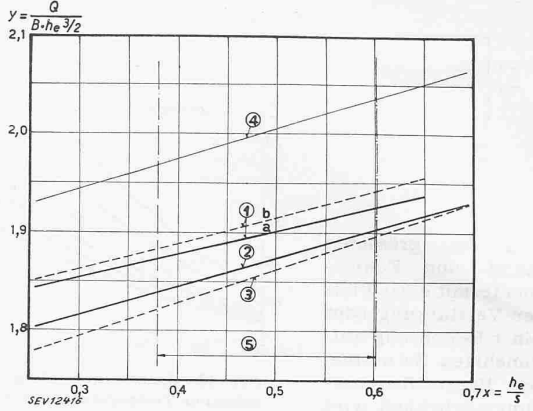


Abb. 3. Ergebnisse der verschiedenen Wassermessungen. 1a Ueberfall Rehbock 1929, 1b Ueberfall S. I. A. 1924, 2 Flügelmessung (Mittelwerte), 3 Turbinendüse, 4 Venturimeter, 5 Garantie-Bereich

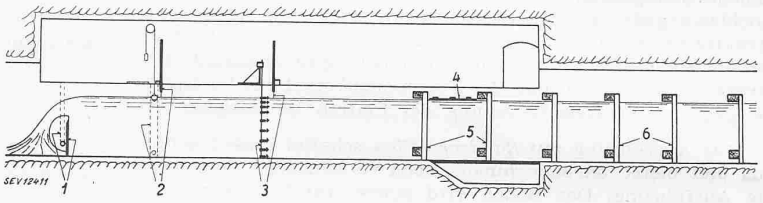


Abb. 2. Einrichtungen zur Bestimmung der Wassermenge im Unterwasserstollen 1 Ueberfall ohne Seitenkontraktion, 2 Stech- und Schwimmpegel, 3 Flügelmessquerschnitt, 4 Beruhigungsfloss, 5 Feinrechen, 6 Grobrechen

Wirkungsgradmessungen im Kraftwerk Innertkirchen

Nachdem Anfang 1943 drei Maschinensätze im Kraftwerk Innertkirchen [1]) dem Betrieb übergeben worden waren, sind im Sommer 1944 eingehende Messungen durchgeführt worden, die gestatten, den Gesamtwirkungsgrad der Energieumformung zwischen dem Auslauf aus dem Kraftwerk Handeck und den 150 kV-Klemmen der Freiluftstation Innertkirchen in Abhängigkeit der Belastung zu bestimmen. Ueber diese Messungen und ihre Auswertung berichten Ing. F. Aemmer der Kraftwerke Oberhasli A.-G. (KWO) und Ing. H. Gerber der Escher Wyss A.-G. (EW) im «Bulletin SEV» 1945, S. 1. Darnach wurde der *Druckverlust* im Zuleitungsstollen und Druckschacht vom Auslauf des Kraftwerkes Handeck bis zu den Turbineneinläufen in der Zentrale Innertkirchen mit Präzisionsmanometern gemessen. Aus der Differenz der Manometerablesungen bei abgestelltem und bei verschieden starkem Wasserdurchfluss ergaben sich bei einem Gesamtgefälle von 670 m und unter Berücksichtigung der entsprechenden Geschwindigkeitshöhen der absolute und der prozentuale Druckhöhenverlust nach Abb. 1. Die Wassermengen wurden dabei mit den Venturirohren bestimmt, die in jedem Turbineneinlauf zwischen die beiden Kugelschieber [2]) eingebaut sind.

Die für die Wirkungsgrad-Bestimmung der Turbinen massgebenden *Wassermengen* wurden für jeden der 13 Teilversuche bei festgehaltener Reguliernadel mit Flügel, mit Ueberfall (Abb. 2) und mit Venturirohr bestimmt. Massgebend waren dabei die Flügelmessungen; und zwar wurde jeder Punkt einmal mit einem dreischaufligen Ott-Speicherflügel und unmittelbar nachher mit einem Ott-Schrägkantflügel, beide von 12 cm Durchmesser, gemessen. Von jeder Flügelart wurden je neun Flügel, die alle vorher im Eidg. Amt für Wasserwirtschaft in Bern mit den zugehörigen Befestigungseinrichtungen geeicht worden waren, bei den Versuchen an einer vertikalen Stange auf der Höhe der Messpunkte befestigt und so elf Vertikalprofile ausgemessen; es wurden also 99 Punkte bestimmt, während die S. I. A.-Normen für das Profil von 3,7 m Breite und 2,8 m grösster Tiefe mindestens 45, höchstens 81 Punkte vorschreiben. Eine Wassermessung dauerte rd. 25 min, zum Auswechseln der Flügel brauchte man 13 min; jeder der 13 Teilversuche erforderte also 63 min. Die Auswertung ergab zwischen den beiden Flügelmessungen innerhalb des Garantiebereiches einen Unter-

[1]) Vgl. Bd. 120, S. 25*, S. 36*, S. 47*, S. 61*, S. 208* (1942).

[2]) Vgl. Bd. 120, S. 64* (1942); Abb. 41.

Tabelle 1: Einzelverluste in kW bei cos $\varphi = 1$

Turbinenleistung . .	10 300	20 600	30 900	41 200	48 600
Generatorleistung . .	9 630	19 880	30 100	40 300	47 600
Generator:					
Reibung und Ventilation	410	410	410	410	410
Eisen (13,5 kV) . . .	200	200	200	200	200
Kupfer (Stator) . . .	12	54	118	204	285
Erreger und Zusatzverl.	48	56	72	86	105
Gesamtverluste . . .	670	720	800	900	1 000
Wirkungsgrad % . .	93,5	96,5	97,4	97,8	97,95
Transformator:					
Eisen	80	80	80	80	80
Kupfer	9	45	103	184	257
Gesamtverluste . . .	89	125	183	264	337
Wirkungsgrad	99,08	99,37	99,39	99,36	99,29

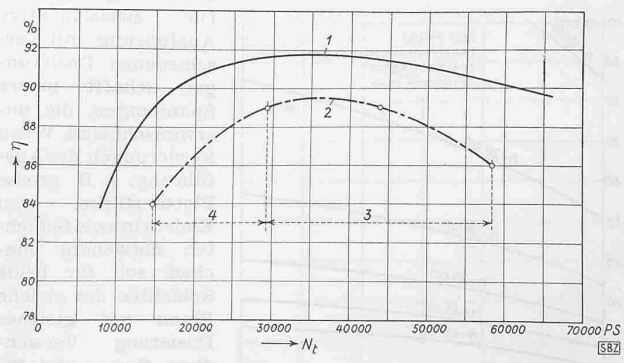


Abb. 6. Turbinenwirkungsgrad, umgerechnet auf ein Nutzgefälle von 670 m und $n = 428{,}6$ U/min. 1 Gemessener Wirkungsgrad, 2 Garantierter Wirkungsgrad, 3 Garantiebereich, 4 Zur Information angegebener Verlauf des Wirkungsgrades

schied von 0,6 bis 0,8 %; für die weiteren Berechnungen wurden jeweilen die Mittelwerte als massgebend angenommen.

Der Ueberfall entsprach den S. I. A.-Normen ohne Seitenkontraktion, wobei aber die zulässige höchste Wehrhöhe von 800 mm mit 1100 mm erheblich überschritten wurde. Die Ueberfallhöhe wurde mit drei Präzisionspegeln mit Nonius rd. 3,6 m vor der Ueberfallkante bestimmt. Zum Vergleich der Messergebnisse empfiehlt sich eine Darstellung nach Abb. 3, die sich aus der Ueberfallformel von Rehbock (1929) ergibt; diese Formel lautet für den vorliegenden Ueberfall ohne Seitenkontraktion

$$Q = \left[1{,}783 + 0{,}24\,\frac{h_e}{s}\right] B\, h_e \sqrt{h_e}$$

Hierin bedeuten:

Q die Wassermenge in m³/s

$h_e = h + 0{,}0011$; h die gemessene Ueberfallhöhe in m

s die Schwellenhöhe in m (Höhe der Ueberfallkante über dem Kanalgrund)

B die Ueberfallbreite = Kanalbreite in m

Dividiert man diese Gleichung durch $B\,h_e\sqrt{h_e}$, so erhält man die Gleichung einer Geraden:

$$y = \frac{Q}{B\,h_e\sqrt{h_e}} = 1{,}783 + 0{,}24\,\frac{h_e}{s}$$

Trägt man also über $\frac{h_e}{s}$ als Abszisse die Werte $Q/B\,h_e\sqrt{h_e}$ auf, so erhält man die in Abb. 3 dargestellten Geraden, aus denen man ersieht, dass die mit Ueberfall gemessenen und nach Rehbock 1929 bzw. S. I. A. 1924 berechneten Geraden im Garantiebereich 1,5 bis 2,5 % über der mittleren Flügelgeraden liegen. Das Venturirohr ergibt mit dem vom Lieferanten angegebenen Koeffizienten $\mu = 0{,}969$ um rd. 7 % zu hohe Werte; der richtige Koeffizient beträgt demnach $\mu = 0{,}90$. In Abb. 3 ist schliesslich noch die Gerade eingezeichnet, die sich aus der Düsenöffnung und dem Gefälle berechnen lässt[3]), und die, wie man sieht, sehr gut mit den Flügelmessungen übereinstimmt.

Der an der Turbine zur Verfügung stehende Druck wurde an jedem Düseneinlauf getrennt gemessen und zwar jeweils sowohl mit einem Präzisions-Federmanometer, als auch mit einem Gewichtsmanometer, dessen Stempelende von genau 1 cm² Fläche in der Höhe der Strahlaxe lag (Abb. 4). Die von der Turbine abgegebene mechanische Leistung N_t wurde aus der vom Generator abgegebenen elektrischen Leistung N_e durch Multiplikation mit dem bei den Abnahmeversuchen im Lieferwerk bestimmten Generatorwirkungsgrad berechnet. Die Generatorleistung wurde durch die technischen Prüfanstalten des SEV mit drei unabhängigen Instrumentensätzen (je ein Satz Präzisions-Messinstrumente des SEV und der KWO, sowie ein Präzisions-Eichzähler des SEV) bestimmt, die höchstens 0,2 % von einander abwichen. Abb. 5 zeigt die gemessenen Versuchswerte in Abhängigkeit des Nadelhubes, Abb. 6 den auf ein unveränderliches Gefälle von 670 m umgerechneten Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Turbinenleistung, sowie den garantierten

[3]) Vgl. SBZ Bd. 117, S. 149* (1941).

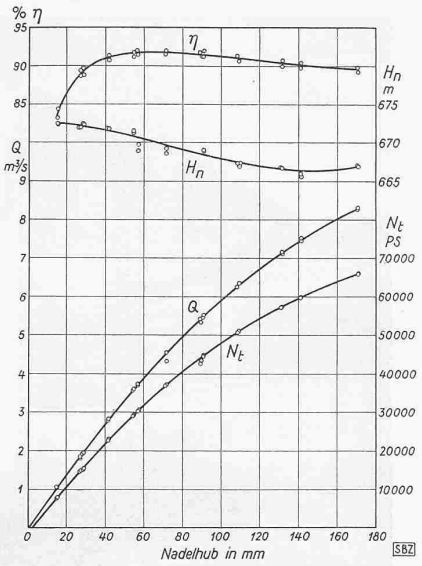


Abb. 5. An der Turbine gemessene Hauptwerte bei verschiedenen Nadelstellungen N_t Turbinenleistung, Q Wassermenge (Flügelmessung), H_n Nutzgefälle, η Turbinenwirkungsgrad

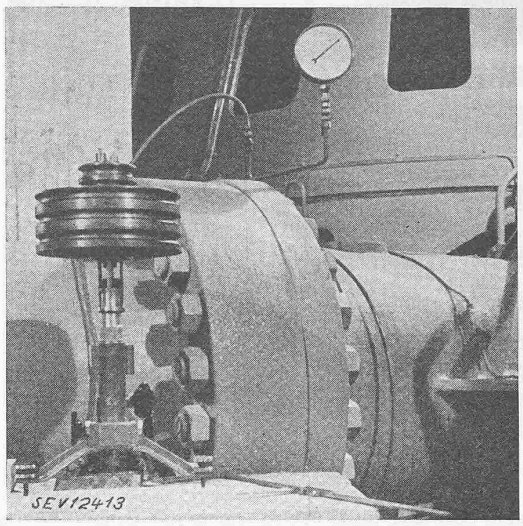


Abb. 4. Gewichts- und Federmanometer am Turbineneinlauf

Wirkungsgrad, der, wie man sieht, im ganzen Bereich erheblich übertroffen worden ist. Die betreffende Turbine hat zur Zeit der Messung bereits 2700 Stunden im Betrieb gestanden. Bei vollgeöffneter Düse wird eine Leistung von 66 000 PS = 48 500 kW oder 5500 kW = rd. 13 % mehr als garantiert erreicht, was der Lieferfirma (Escher Wyss A.-G. Zürich) ein sehr gutes Zeugnis ausstellt.

Leistung und Wirkungsgrad der Generatoren und Transformatoren wurden ebenfalls durch die technischen Prüfanstalten des SEV im Werk der Lieferfirma nach der Methode der Einzelverlustmessung entsprechend den Regeln des VDE (REM) vorgenommen; die Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Die Verbindungsleitungen zwischen den Generatoren und Transformatoren, sowie zwischen diesen und der Freiluftstation ergeben bei Vollast pro Maschinengruppe einen berechneten Verlust von 6,5 + 6,5 = 13 kW. Der Gesamtwirkungsgrad des ganzen Kraftwerkes ist in Abhängigkeit der abgegebenen Leistung bei cos $\varphi = 1$ in Abb. 7 dargestellt. Er erreicht bei Betrieb mit nur einer Turbine und bei einer Leistungsabgabe von 25 000 bis 30 000 kW den sehr beachtenswert hohen Betrag von 88,4 % und fällt dann mit wachsender Belastung langsam ab, um bei der maximal verfügbaren Kraftwerkleistung von 130 000 kW immer noch über 83 % zu liegen. Die Schnittpunkte der einzelnen Kurven in Abb. 7 liegen bei 40 000 bzw. 70 000 kW; dies sind die Grenzwerte der Belastung, an denen auf Betrieb mit zwei bzw. drei Maschinensätzen umgeschaltet werden soll.

Sehr wertvoll ist die fortlaufende Nachprüfung des Wirkungsgrades während des Betriebes. Dazu können der Druck vor den Turbinen und die von den Generatoren abgegebenen Leistungen an bestehenden Betriebsinstrumenten mit befriedigender Genauigkeit abgelesen werden, während zur Bestimmung der Wassermengen die erwähnten Venturirohre, die mit einem Zählwerk versehen sind, verwendet werden können. Die Eichung anlässlich der Abnahmeversuche an den Turbinen und Vergleichsmessungen mit den in der Zentrale Handeck eingebauten Venturirohren zei-

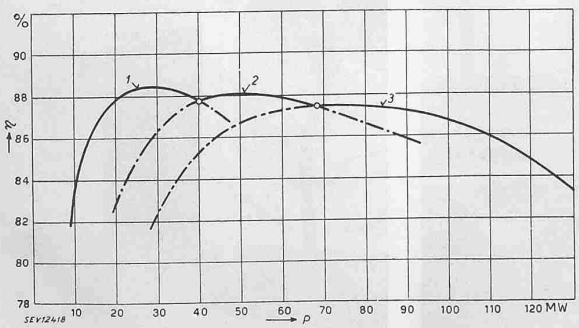


Abb. 7. Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes Innertkirchen von der Wasserentnahme im Ablaufkanal des Werkes Handeck bis zur Energieabgabe in der Freiluftstation Innertkirchen bei 150 kV Spannung. 1, 2, 3 Zahl der im Betrieb stehenden Maschinengruppen

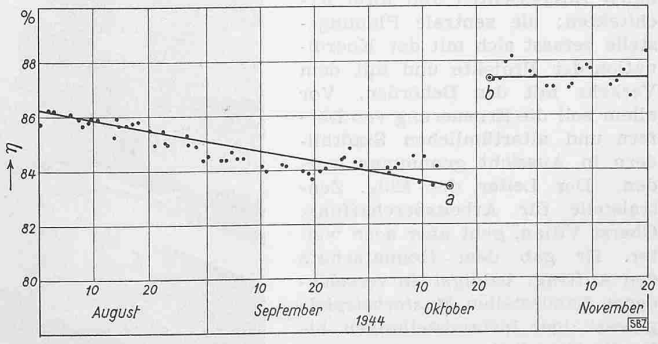


Abb. 8. Verlauf des Tagesmittelwertes des Wirkungsgrades des Kraftwerkes Innertkirchen vor bzw. nach Auswechseln der korodierten Nadeln und Düsen bei allen drei Maschinengruppen

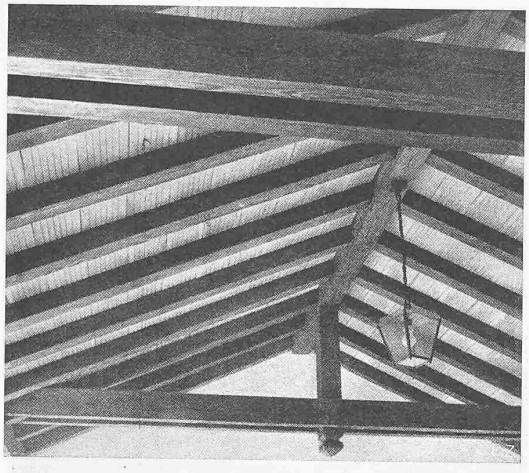


Abb. 1. Dach der West-Terrasse (Tonplatten)



Abb. 2. Haus Dir. Dr. D. in Muttenz, Westseite

gen, dass auf diese Weise genügend genaue Bestimmungen möglich sind. Die praktische Bedeutung dieser Messungen erkennt man aus Abb. 8, auf der die Tagesmittel des Gesamtwirkungsgrades des Werkes Innertkirchen aufgetragen sind. Durch die fortschreitende Erosion der Nadeln und Düsen der Turbinen sank der Wirkungsgrad bis zum Punkt a, um nach Auswechseln dieser empfindlichen Organe um volle 4 % auf 87,5 % (Punkt b) anzusteigen. Wenn man bedenkt, dass 1 % Wirkungsgradverbesserung eine jährliche Mehrproduktion von 3,7 Mio kWh bedeutet, so erscheinen die Aufwendungen für die zu dieser Betriebskontrolle erforderlichen Messinstrumente sehr wohl gerechtfertigt. A. O.

Schweizerische Vereinigung für Heimatschutz

Am Jahresbott, das am 23. und 24. Juni unter dem Vorsitz des Obmanns Dr. Gerhard Boerlin (Basel) in Zürich stattfand, erstattete Dr. Ernst Laur den Jahresbericht des Zentralvorstandes und der Geschäftstelle in Zürich. Die wichtigste Errungenschaft war die Organisation der neugeschaffenen *Planungsstelle*, die der Leitung von Arch. *Max Kopp*, Präsident des S. I. A. in Zürich, untersteht. Kurz vor dem letztjährigen Jahresbott, das am 1. und 2. Juli in Basel stattgefunden hatte und an dem bereits eine erste Mitteilung über diese Institution gemacht werden konnte, führten die von der Schweizerischen Vereinigung für Heimatschutz mit den eidgenössischen Instanzen gepflogenen Unterhandlungen zu dem Ziel, dass die Eidg. Zentralstelle für Arbeitsbeschaffung dem Heimatschutz einen ersten Kredit von 20 000 Fr. bewilligte und seinen Vorschlägen die endgültige Zustimmung erteilte. Damit ist der Heimatschutz, der wegen verspäteter Information schon bei manchem baulichen oder technischen Projekt mit seinen Einwänden zu spät kam, offiziell eingegliedert in die grossen Planungen der Nachkriegszeit, und es eröffnen sich seinem Wirken neue Möglichkeiten.

Die Planungsstelle wird die Projekte zu begutachten und gegebenenfalls zu überarbeiten haben, die dem Bund zur Subventionierung aus Arbeitsbeschaffungsmitteln vorgelegt werden sollen. Die Planung selbst ist Sache der regionalen Interessenten und ihrer Architekten; die zentrale Planungsstelle befasst sich mit der Koordination der Projekte und mit dem Verkehr mit den Behörden. Vor allem soll die Erneuerung von Dörfern und altertümlichen Stadtbildern in Aussicht genommen werden. Der Leiter der Eidg. Zentralstelle für Arbeitsbeschaffung, Oberst Vifian, geht aber noch weiter. Er gab dem Heimatschutz den Auftrag, baldigst in verschiedenen Landesteilen *Musterbeispiele* grosszügiger Instandstellungen bis in alle Einzelheiten zu planen und wenn möglich auch praktisch auszuführen.

Am Vorabend der Jahresversammlung hielt Arch. M. Kopp vor den Delegierten und Mitgliedern des Schweizer Heimatschutzes erstmals einen kurzen Vortrag über den Sinn und die Organisation der neuen Planungsstelle. Er hat bereits generelle Projekte für die Gesamterneuerung der Ortschaften *Regensberg*, *Gersau* und *Allschwil* ausgearbeitet. Durch die vom Bund zu erwartenden Subventionen müssen natürlich auch kantonale, kommunale, korporative und private Beiträge ausgelöst werden, damit die auf vielen Einzelkorrekturen beruhende Erneuerung und Verbesserung von ganzen Stadt- und Dorfbildern erzielt werden kann. Dafür wird in den betreffenden Ortschaften eine umfassende Werbeaktion notwendig sein. In *Regensberg*, wo die Angelegenheit am weitesten fortgeschritten ist, scheint es an der Bereitschaft der Gemeinde und der Hausbesitzer nicht zu fehlen. Den Teilnehmern am Jahresbott wurde in dem Lägernstädtchen, das schon früher eine bauliche Renovation erlebt hat, ein festlicher Empfang bereitet. Die Zürcherische Vereinigung für Heimatschutz hat die Projektierung für Regensberg ihrem Obmann, Arch. *Richard von Muralt*, übertragen, und dieser konnte bereits die neuerstellten Planaufnahmen der einzelnen Häuser vorweisen. E. Br.

Von der Landesplanung

Am 2. Juni 1945 hielten in Zürich Vertreter folgender Körperschaften eine Aussprache über die Möglichkeiten zur Koordination gleichgerichteter Bestrebungen: Akademische Studiengruppe der G. E. P., Geograph. Institut der Universität Zürich,



Abb. 6. Küche

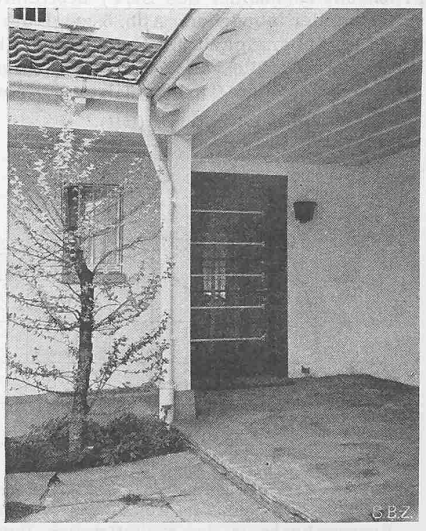


Abb. 5. Haustüre