

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91/92 (1928)
Heft: 16

Artikel: Die Verhinderung elektromechanisch bedingter Erschütterungen an den Maschinenwellen der Kraftwerke
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-42487>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

die beiden Orte Fillmore und Santa Paula. Zufälliger Weise waren in der Talebene für Arbeiten an Hochspannungsleitungen zwei temporäre Zeltlager aufgeschlagen. Im einen Lager waren 67 Mann, im andern 160 Mann untergebracht, von denen die meisten den Tod fanden. Die Zahl der im ganzen ums Leben gekommenen Menschen wird auf gegen 500 geschätzt.

Untersuchung im Gange. Sofort nach dem Bruche der Talsperre wurden mehrere Experten-Kommissionen ernannt, um womöglich die Ursache des Einsturzes festzustellen. Ebenso sind gerichtliche Untersuchungen im Gange. Die Stadt Los Angeles, die Erbauerin und Besitzerin des zerstörten Bauwerkes, hat sich in grosszügiger Weise sofort bereit erklärt, für allen materiellen Schaden aufzukommen.

In Bezug auf die unmittelbare Ursache des Bruches verdienen besondere Aufmerksamkeit namentlich die Fundationsverhältnisse. Von Wichtigkeit ist auch der bereits angeführte Hinweis auf Durchsickerung unter der Mauer. Auffallend ist, dass trotz der während des Baues gefundenen und von der Bauleitung auch zugestandenermassen wenig befriedigender Qualität des Felsbodens, keine entsprechenden Sicherheitsmassnahmen getroffen wurden. Vor allem fällt auf: das für solche Verhältnisse relativ schlanke Profil der Mauer besonders in einer Tiefe von 20 bis 40 m unter

der Mauerkrone, ferner der Mangel einer tiefen Herdmauer. Dass weder der Felsboden noch der Mauerkörper drainiert wurden, wie sonst im amerikanischen Westen allgemein üblich, ist bereits angedeutet worden. Ebenso sind Zement-Einspritzungen sonst fast allgemein die Regel, in diesem Falle aber nicht angewendet worden.

Es ist zu hoffen, dass die im Gange befindlichen Untersuchungen die wahren Ursachen des Einsturzes der St. Francis-Talsperre aufdecken werden, sodass entsprechende Massnahmen zur Verhütung ähnlicher Unfälle getroffen werden können. Mittlerweile ist auch eine Untersuchung einer Anzahl anderer Staumauern angeordnet worden, was in Anbetracht des Zustandes von mehreren hiesigen Mauern nur zu begrüssen ist.

Los Angeles, Cal., 19. März 1928.

*

Anmerkung der Redaktion. Vorstehende Orientierung unseres geschätzten Kollegen und Mitarbeiters war schon unterwegs zu uns, als die ersten Berichte in „Eng. News Record“ vom 22. und 29. März d. J. erschienen. Ihre Verfasser diskutieren bereits die mutmasslichen Ursachen der Katastrophe, womit indessen unser Berichtersteller bis zu näherer Abklärung noch zuwarten will.

Die Verhinderung elektromechanisch bedingter Erschütterungen an den Maschinenwellen der Kraftwerke.

Von Prof. Dr. W. KUMMER, Ingenieur, Zürich.

Die möglichen Erschütterungen von Maschinenwellen sind im allgemeinen auf die sogenannten kritischen Drehzahlen dieser Wellen zurückzuführen. Der Konstrukteur sorgt in erster Linie dafür, dass die Betriebsdrehzahlen der Maschinen nicht mit den kritischen Drehzahlen oder deren massgebenden Harmonischen zusammenfallen. Das weiter noch bestehende Problem der Vermeidung der ohnedies aus der Existenz kritischer Drehzahlen zu begründenden Erschütterungen ist nur ein rein mechanisches, wenn sowohl die möglichen Störungserregungen, als auch die möglichen Dämpfungen rein mechanischer Art sind, im Falle von Kraftwerksgruppen also im wesentlichen von der Primärkraftmaschine ausgehen. Es können aber die Störungserregungen oder die Dämpfungen oder allenfalls gar beide Erscheinungen ihren Ursprung etwa auch im elektrischen Teile der Kraftwerksgruppe besitzen; dann entsteht das besondere elektromechanische Problem, von dem hier die Rede sein soll. Die Erschütterungen werden dann durch störende, elektrisch oder auch mechanisch hervorgebrachte Drehmomente unterhalten, wobei elektrisch oder auch mechanisch begründete Dämpfungen eine abschwächende oder günstigsten Falls eine unterdrückende Rolle spielen. Da die störenden Drehmomente die Torsionselastizität der Wellen in Anspruch nehmen, so sind es also die aus der Torsionselastizität bedingten Drehschwingungen, die als massgebende Eigenschwingungen auftreten. Durch Biegungsschwingungen können weiterhin störende Drehmomente ausgelöst werden. Ueber die Ermittlung der Zahlenwerte der Kreisfrequenzen ω_t und ω_b von Drehschwingungen und von Biegungsschwingungen treten wir hier nicht näher ein; sie sind den in Betracht fallenden Sonderabhandlungen zu entnehmen¹⁾.

Nehmen wir nun an, die Kreisfrequenz ω_t der Welle einer vollständigen hydro-elektrischen oder thermo-elektrischen Kraftwerksgruppe sei ermittelt und sei nicht übereinstimmend mit der normalen Betriebswinkelgeschwindigkeit ω_n dieser Gruppe; es bestehe auch keine Übereinstimmung zwischen ω_t und Harmonischen des antreibenden Drehmomentes der Primärkraftmaschine, was namentlich im Falle von Kolbenkraftmaschinen als Primärkraftmaschinen im Bereich der Möglichkeit liegt. Störende Drehmomente

sind dann nur noch vom elektrischen Teil der Kraftwerksgruppe her zu befürchten. Dieser elektrische Teil bildet in der Regel eine Einphasen- oder Mehrphasen-Synchronmaschine, die bei p Polpaaren eine elektrische Kreisfrequenz vom Betrage:

$$\omega_e = p \omega_n$$

aufweist. Bei dieser Kreisfrequenz werden die Parallelschaltung und der Parallelbetrieb mit andern Generatoren oder Kraftwerken vorgenommen; dabei entstehen etwa periodische Synchronisationsdrehmomente von der Kreisfrequenz ω_s , die sich aus dem Trägheitsmoment Θ und aus der aus den weitem Generator-Daten abzuleitenden Richtkonstanten c_s , gemäss der Beziehung:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{c_s}{\Theta}}$$

ermitteln lässt. In der Regel liegt ω_s weit unterhalb von ω_t . Relativ häufig dagegen wird eine Übereinstimmung oder doch eine Annäherung der Zahlenwerte von ω_e oder von $2\omega_e$ mit oder an ω_t bestehen, deren Bedeutung nun zu würdigen ist. Mit der Störungsfrequenz ω_e wirken nämlich heftige Stossdrehmomente im Falle des plötzlichen Kurzschlusses, und zwar sowohl bei Einphasen- als auch bei Mehrphasen-Generatoren. Bei Einphasen- und völlig oder nahezu ungedämpften Mehrphasen-Kurzschlüssen treten auch noch Stossdrehmomente mit der Kreisfrequenz $2\omega_e$ auf. Die Kreisfrequenz $2\omega_e$ kennzeichnet übrigens auch das normal vom Einphasen-Generator umgesetzte Drehmoment, bei welcher Maschine deshalb eine Übereinstimmung von $2\omega_e$ mit ω_t unter allen Umständen vermieden werden muss. Kommt der Möglichkeit der Übereinstimmung von ω_t mit ω_e oder mit $2\omega_e$ nur im Hinblick auf die im Kurzschlussfall möglichen Drehmomentstösse eine Bedeutung zu, so kann im Prinzip, wenn die Übereinstimmung oder Zahlenwerte-Annäherung nicht vermeidbar ist, durch gesteigerte Dämpfung das Auftreten von Erschütterungen vermieden werden, weil nämlich die Stosserscheinungen des Kurzschlusses von selbst schon rasch abklingen, und zwar zufolge des Zerfalls der die Drehmomente bedingenden magnetischen Kraftfelder.

Wir haben uns nun der Betrachtung der hauptsächlichsten, dämpfend wirkenden Momente zu widmen. Für erregende Schwingungen, die von der Primärkraftmaschine ausgehen, besteht die Dämpfung besonders in der Belastung

¹⁾ Man vergleiche beispielsweise die elementar gehaltene Uebersicht in der „S. B. Z.“ in Band 80, Seite 119 (9. September 1922).

des Generators, während die Dämpfung in erster Linie bei der Primärkraftmaschine zu suchen ist, wenn die erregende Schwingung vom Generator ausgeht. Durch die Ausbildung besonderer Dämpferwicklungen oder gleichwertiger Organe am Generator werden aber auch vom Generator selbst ausgehende, erregende Schwingungen kräftig gedämpft.

Die von der Primärkraftmaschine und die von einer Dämpferwicklung am Generator ausgehenden Dämpfungen mögen nun für den Fall eines plötzlichen Kurzschlusses am Generator betrachtet werden, wobei ω_i die kritische Kreisfrequenz des vorübergehenden, mit der Torsionseigen-schwingung frequenzgleichen Kurzschlussstosses sei. Es ist also aus Resonanzgründen:

$$\omega_i = \omega_t$$

Weiter gilt, nach dem oben bezüglich der Frequenz der Kurzschlussstösse Gesagten, dass entweder:

$$\omega_i = \omega_e = p \omega_n$$

oder dann:

$$\omega_i = 2 \omega_e = 2 p \omega_n$$

sein muss. Die Wirkung jeder der zwei hier betrachteten Dämpfungsarten wird hinsichtlich der Feststellung des eintretenden Schwingungsausschlags nach Massgabe eines Dämpfungsfaktors k berücksichtigt, der sich, von Fall zu Fall, aus der mechanischen Charakteristik der Dämpfungsvorrichtung nach der Formel:

$$k = \frac{dD}{d\omega}$$

berechnen lässt, wobei D das variable Drehmoment und ω die variable Winkelgeschwindigkeit in jener Charakteristik bedeuten. Der Schwingungsausschlag, herrührend von einem Kurzschluss, dessen Drehmomentstoss bei der Kreisfrequenz ω_i das f -fache des normalen Drehmoments D_n betrage, weist dann eine Amplitude A auf, vom Betrage:

$$A = \frac{f D_n}{k \omega_i}$$

Zur Ermittlung des Dämpfungsfaktors k_m für eine von der Primärkraftmaschine ausgehende Dämpfung schreiben wir die mechanische Charakteristik der Primärkraftmaschine in der Form der linearen Gleichung:

$$D = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0 - \omega_n} D_n$$

wobei die Kreisfrequenz ω_n dem Betrieb bei Abgabe des normalen Drehmoments D_n , die Kreisfrequenz ω_0 dagegen dem Zustande des Durchgehens („Durchbrennens“), bei dem $D = 0$ ist, entsprechen. Für manche Maschinen liegt ω_0 etwa beim doppelten Werte von ω_n ; wir setzen allgemein:

$$\omega_0 = \psi \omega_n$$

und geben dann die Charakteristik in der Form:

$$D = \left(\psi - \frac{\omega}{\omega_n} \right) \frac{D_n}{\psi - 1}$$

Ohne Rücksicht auf das Vorzeichen folgt nun für den Dämpfungsfaktor zufolge dieser mechanischen Charakteristik:

$$k_m = \frac{D_n}{\omega_n (\psi - 1)}$$

Für den Schwingungsausschlag erhält man deshalb den Wert:

$$A = \frac{f D_n}{\frac{D_n}{\omega_n (\psi - 1)} \omega_i} = f (\psi - 1) \frac{\omega_n}{\omega_i}$$

Mit Rücksicht auf die beiden Werte, die ω_i annehmen kann, ist dann

$$\text{entweder: } A = \frac{f(\psi - 1)}{p} \quad \text{oder: } A = \frac{f(\psi - 1)}{2p}$$

Eine noch kräftigere Dämpfung erfährt der Schwingungsausschlag im allgemeinen, wenn am Generator eine eigentliche Dämpferwicklung angebracht wird, die man in die Polschuhe einbaut. Im Falle des Einphasengenerators ist diese Wicklung überhaupt allgemein unerlässlich. Jede Dämpferwicklung ist grundsätzlich eine Asynchronwicklung, arbeitet also auf Grund eintretender Schlüpfung, bzw. einer Differenz zwischen der Drehfeldfrequenz und der Rotorfrequenz des Generators. Im massgebenden Arbeitsgebiet ist die Arbeitsweise einer Dämpferwicklung ebenfalls durch eine lineare Gleichung, mit D und ω als Vari-

ablen, darstellbar. Dabei kann als Parameter ein Schlüpfungsnormwert s_n Verwendung finden, den man mit dem effektiven Widerstande r , mit der Reaktanz x und mit einem vom Streuungskoeffizienten der Dämpferwicklung abhängigen Faktor q auf Grund der Beziehung:

$$s_n = \frac{r}{xq}$$

näherungsweise vorausberechnen kann. Aus der Asynchron-Charakteristik der Dämpferwicklung ergibt sich nun für den bezüglichen Dämpfungsfaktor k_d der Wert:

$$k_d = \frac{D_n}{s_n \omega_n}$$

Der Schwingungsausschlag wird jetzt:

$$A = \frac{f D_n}{\frac{D_n}{s_n \omega_n} \omega_i} = f s_n \frac{\omega_n}{\omega_i}$$

Mit Rücksicht auf die beiden Werte, die ω_i annehmen kann, ist dann

$$\text{entweder: } A = \frac{f s_n}{p} \quad \text{oder: } A = \frac{f s_n}{2p}$$

Die dämpfende Wirkung einer im Generator angebrachten Dämpferwicklung überragt im allgemeinen die von der Primärkraftmaschine ausgehende Dämpfung deshalb, weil in der Regel:

$$s_n > (\psi - 1)$$

ist. Kommt eine vereinigte Wirkung der seitens einer Dämpferwicklung und der seitens der Primärkraftmaschine erhältlichen Dämpfung in Betracht, dann besteht ein Gesamtdämpfungsfaktor:

$$k = k_m + k_d = \left(\frac{1}{\psi - 1} + \frac{1}{s_n} \right) \frac{D_n}{\omega_n}$$

Nun soll die Frage geprüft werden, in welchem Masse die mechanische Charakteristik der Primärkraftmaschine in der Lage ist, das Sinken der Drehzahl einer dem Generatorkurzschluss ausgesetzten Kraftwerksgruppe zu verzögern. Diese Frage besitzt dann aktuelle Bedeutung, wenn ω_t um einen mässigen Betrag vom relativen Werte $\frac{\Delta \omega}{\omega_i}$ (er möge z. B. prozentual etwa 10% betragen) tiefer liegt als ω_i , weil bei tatsächlicher Drehzahlverminderung im Verhältnis $\frac{\Delta \omega}{\omega_i}$ der bei der normalen Drehzahl eingetretene Kurzschluss mit der reduzierten Störungsfrequenz noch weiter bestehen kann, wobei es zur Resonanz zwischen dem Kurzschlussstoss und der Torsionsschwingung kommen kann. Das bezügliche massgebende Stossdrehmoment sei $D_n h$. Zuzufolge der Voraussetzung einer von ihrem Betriebsstoff abgesperrten Primärkraftmaschine ergibt sich aus der massgebenden Momentengleichung:

$$h D_n = \Theta \frac{d\omega}{dt}$$

die Senkungszeit:

$$t' = \frac{\Theta \Delta \omega}{h D_n} = \frac{\Theta}{h D} (\omega_i - \omega_t)$$

Bei normal eingreifender Primärkraftmaschine gilt dagegen die Momentengleichung:

$$h D_n - \left(\psi - \frac{\omega}{\omega_n} \right) \frac{D_n}{\psi - 1} = \Theta \frac{d\omega}{dt}$$

aus der die Senkungszeit:

$$t = \frac{\Theta \omega_n}{D_n} (\psi - 1) \lg \frac{[h(\psi - 1) - \psi] \omega_n + \omega_i}{[h(\psi - 1) - \psi] \omega_n + \omega_t}$$

folgt. Man erkennt, dass der Logarithmus erst bei einer gewissen Grösse der Differenz $\omega_i - \omega_t = \Delta \omega$ solche Werte annimmt, dass $t > t'$ werden kann und dass dazu diese Differenz $\Delta \omega$ um so grösser sein muss, je grösser der Ueberlastfaktor h des Kurzschlusses ausfällt. Im allgemeinen wird man deshalb auf eine wesentliche Verlängerung der Senkungszeit durch die Wirkung der normalen Charakteristik der Primärkraftmaschine nicht rechnen können. Anders liegt hingegen die Sachlage, wenn der Kurzschlussstoss bei einer solchen Teilbelastung des Generators eintritt, dass der Regulator der Primärkraftmaschine drehzahlhaltend funktionieren kann, wobei er natürlich auch befähigt sein muss, genügend rasch zu wirken; für diesen Vorgang gilt dann aber eine wesentlich kompliziertere Momentengleichung.

Endlich soll auch noch die Frage der Erschütterungs-Gefahr erörtert werden für den Fall, dass ω_i mässig höher liegt als ω_r , d. h. als ω_e , bzw. als $2\omega_e$. Dabei liegt nämlich der Gefahrfall dann vor, wenn nach vorangegangenen Durchgehen („Durchbrennen“) der leerlaufenden Primärkraftmaschine plötzlich am Generator ein Kurzschluss eintritt. Wenn noch ein nahezu geschlossener Zustand der Einlassöffnung der Primärkraftmaschine als weiterer zufälliger Umstand in Betracht fällt, so ist auf eine Dämpfung von Seiten der mechanischen Charakteristik der Primärkraftmaschine nicht zu rechnen; eine Dämpfung kann dann nur vom Generator herkommen, bzw. nur von dessen allfälliger Dämpferwicklung, da im Kurzschlussfall gerade die momentane Uebereinstimmung von ω_i und ω_e angenommen sein möge. Besitzt der Generator jedoch keine Dämpferwicklung, dann ist auf namhafte Dämpfung nicht zu rechnen. Eine Aenderung der Dimensionen der Maschinenwelle zwecks Verlegung von ω_i in eine günstigere Lage erscheint dann als einzige Lösung.

Damit glauben wir die hauptsächlichsten Fälle des Problems der Verhinderung elektromechanisch bedingter Erschütterungen an den Maschinenwellen der Kraftwerke soweit behandelt zu haben, als es den Bedürfnissen einer guten Praxis entspricht.

Villa au Petit-Saconnex près Genève.

Architecte JEAN STENGELIN, Frontenex-Genève.
(Avec planches 23 et 24.)

La maison dont il est question ici, sise au haut d'un vieux verger d'où la vue s'étend sur le Salève et le Mont-Blanc, devait satisfaire à un programme bien défini, assurant à la vie de famille son cadre d'intimité et réduisant l'entretien journalier dans toute la mesure du possible. A l'intérieur (voir les plans ci-contre) groupement des chambres par étage, les chambres à coucher au premier et au-dessus; au rez-de-chaussée: la chambre à manger communiquant d'un côté avec le salon, de l'autre avec la véranda; la cuisine; un boudoir isolé à plafond bas voûté, fenêtres en large regardant sans voisins dans le vert; le bureau, ses archives et le garage dans une aile indépendante; entre les deux corps, un tambour d'entrée ouvrant indépendamment dans le vestibule.

A l'extérieur l'entrée clairement désignée; un accès facile au garage et à la cuisine; l'entrée et la cour séparées du jardin par une haie; sur toutes les autres faces: le verger, précédé, sur la face principale, d'une terrasse dallée, légèrement surélevée, qui fait corps avec la maison, permet la vue des lointains et forme la transition vers le jardin.

La maison a été placée entre deux bouquets d'arbres qui cachent les plus proches constructions de la banlieue. On a conservé les formes naturelles du terrain et les arbres existants, et on s'est borné à ouvrir le haut mur en bordure du chemin pour donner à l'immeuble son entrée naturelle.

Les matériaux employés ont été, à l'extérieur, de la roche du Jura pour le soubassement, les piliers du portail, les escaliers et le mur de la terrasse; de la pierre artificielle pour le porche d'entrée et les tablettes des fenêtres; les façades sont en crépi rustique teinté en gris chaud. Les fondations sont en béton légèrement armé, les murs en Meillerie, les sommiers et poutres en béton armé et la charpente des toits en sapin.

Le choix des matériaux de l'intérieur a été fait en vue de simplifier l'entretien. C'est ainsi qu'à part la chambre à manger, le salon et le boudoir, qui ont des parquets de bois dur, le sol de toutes les pièces est soit en carrelage, soit en linoléum posé sur carton feutre et chape à même la dalle en béton armé. Les murs du vestibule on reçu

un revêtement en jute naturelle avec couvre-joints de bois formant soubassement de l'escalier en chêne ciré. La chambre à manger, lambrissée en sapin teinté en brun chaud, est ornée d'une frise à rinceaux symbolisant la vie et les saisons et due au peintre Jules Courvoisier, de Genève.

Les menuiseries de la cuisine et de la chambre de bains sont en bois combiné, sans aucune moulure.

Le système de chauffage est du type courant. Un poêle en faïence bleue à la chambre à manger (chauffé depuis la cuisine) de même que deux cheminées dans d'autres pièces du rez-de-chaussée permettent de tempérer à la saison. Le réseau du chauffage central est subdivisé de manière à pouvoir vider la véranda en hiver, et au besoin les combles. Le combustible est emmagasiné depuis la cour d'entrée dans deux silos situés sous la cuisine et dont les issues débouchent vers la porte de la chaudière.

Des bouilleurs électriques fournissent l'eau chaude à la cuisine, aux baignoires et aux divers lavabos. Le courant de la ville actionne aussi un monte-charge de 30 kg à quatre stations entre le séchoir (aux combles) et la buanderie (au sous-sol). Un téléphone privé relie entre elles les quatre

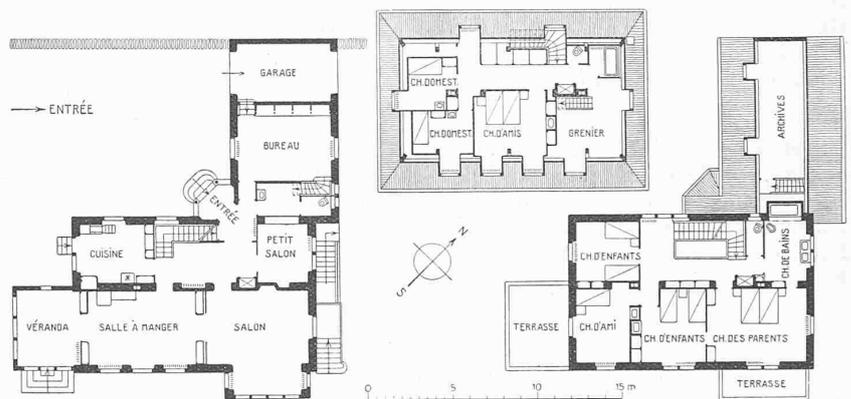


Fig. 1, 2 et 3. Plans de la Villa au Petit-Saconnex. — Echelle 1 : 400.

stations d'étage et le bureau. Au rez-de-chaussée, un interrupteur principal assure la mise hors circuit des installations électriques, sans autre précaution en cas de départ.

Les abords immédiats de la maison sont pavés avec des dalles rustiques de Sembrancher, ce qui évite tout entretien et permet de circuler à pied sec tôt après la pluie. Le garage est muni de portes à chaque extrémité de façon à permettre le passage occasionnel de charrois.

Le m³ bâti s'est élevé, en 1926, y compris les agencements fixes en menuiserie et les honoraires d'architecte, à frs. 65,50.

Für ultra-violette Strahlen durchlässiges Fensterglas.

Ueber diese, vom bauhygienischen Standpunkt aus bedeutsame Neuerung entnehmen wir einem Aufsatz von Dipl. Ing. Dr. Alf. Karsten (Berlin) in der „D. B. Z.“ vom 3. März d. J. mit freundlicher Erlaubnis der Redaktion folgendes:

Seit Jahren kennt man die grosse Heilkraft der ultra-violetten Strahlen und bedient man sich ihrer, sei es durch die Sonnenstrahlen oder sei es neuerdings auch durch die „künstliche Höhensonne“, wie sie z. B. in der Hanauer Quarzlampe zur Anwendung kommt. Wie heilfördernd diese ultra-violetten Strahlen wirken, geht aus den glänzenden Erfolgen hervor, die mit Luft- und Sonnenbädern in Höhenkurorten und an der See erzielt werden, dort, wo die Atmosphäre möglichst staubfrei, erheblich mehr ultra-violette Strahlen durchlässt als in den Städten. Diese Strahlen beschleunigen zunächst die Blutbildung, dann reizen sie die Haut, machen sie erst rot, später braun, lassen sie „abbrennen“ und steigern den Stoffwechsel, und zwar so, dass kein einziges Organ mehr, d. h. zu viel arbeiten muss. Sie sind es auch, welche die heilende Wirkung der Sonne bei Schwäche- und Erschöpfungszuständen sowie bei Rachitis, Tuberkulose, Anämie, Neurose usw. ausüben.