

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 59/60 (1912)
Heft: 3

Artikel: Hydraulische Druckregulatoren
Autor: Dubs, R. / Utard, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-29920>

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: 06.02.2025

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

podium ausgehenden Fernbetätigungs- und Signalleitungen werden von einer Akkumulatorenbatterie gespeist, deren Lade-Umformergruppe unter dem Podium aufstellung fand. Beleuchtungs- und Kleinmotorenstrom für Ladegruppe, Kran und Werkstatt liefern je ein Transformator.

Die Apparate der Blitzschutz-Sicherungen lieferte die *Société Générale des Condensateurs électriques Fribourg*, die Generatoren *Brown, Boveri & Cie.* in Baden, von denen auch in der Hauptsache die übrigen elektrischen Apparate bezogen worden sind.

Das erste Anlassen der Maschinen erfolgte am 23. Dezember 1910, die Inbetriebsetzung des Werkes am 9. Januar 1911.

Das Elektrizitätswerk Kandergrund.

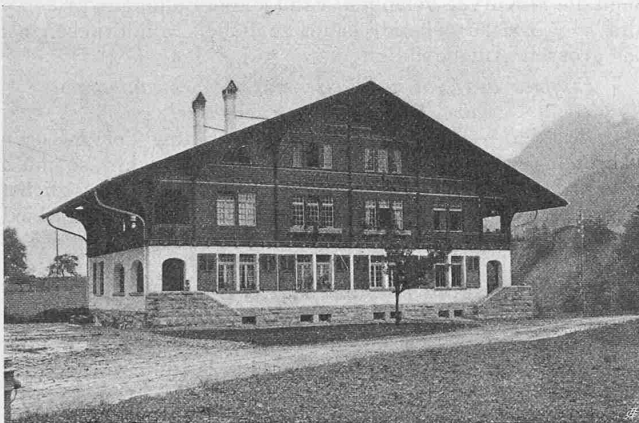


Abb. 31. Maschinisten-Wohnhaus bei der Zentrale Kandergrund.

Das Elektrizitätswerk Kandergrund wurde in seinem baulichen Teil entworfen vom Oberingenieur der Bernischen Kraftwerke, Ingenieur *Alex. Schafir*, unter dessen persönlicher Leitung auch die Ausführung in Regie stattfand. Als Mitarbeiter verdienen genannt zu werden für die Projektierung Ingenieur *H. Stoll* und für die Ausführung Ingenieur *T. Liechti* (obere Sektion mit Wehranlage), Bauführer *Rufener* (Wehranlage) und Ingenieur *A. Keller* (untere Sektion mit Maschinenhaus). Die Gesamt-Baukosten werden sich belaufen auf rund 378000 Fr., wovon etwa 45000 Fr. auf die maschinelle und elektrische Ausrüstung entfallen.

Hydraulische Druckregulatoren.

Von Dipl. Ing. *R. Dubs* und Dr. Ing. *A. Utard.*

(Schluss.)

7. Verschiedene Möglichkeiten der f₁'- und f-Linie zur Erzielung einer bestimmt vorgeschriebenen L-Kurve.

Nach dem oben angegebenen Rechnungsgang ergibt sich die Konstruktion der *f*-Linie für ein bestimmtes *L₁'* und *f₁'*; wobei uns aber die Wahl der beiden letztgenannten Grössen noch völlig frei steht. Es entsteht somit die Frage, welche *L₁'*-Kurve am vorteilhaftesten ist, und welche *f₁'*- und *f*-Linien sich besonders empfehlen.

Damit die Wirkung der Wasserträgheit auf den Reguliervorgang völlig ausgeschaltet wird, muss die *L₁'*-Kurve den der Schliess-*f₁'*-Linie entsprechenden Verlauf nehmen. Denn bei Wegfall der Druckschwankungen würde die Leistungskurve den Eröffnungen *f₁'* des Leitapparates direkt proportional sein. Dann ist es vor allem interessant, den Grenzfall festzustellen, der selbstredend ohne Vergrößerung von *h_{max}*, am wenigsten Wasser verloren gehen lässt. Es werde bei dieser Untersuchung die Elastizität vernachlässigt.

Wir gehen hierzu von dem in Abschnitt Ia, (Seite 4) betrachteten Falle aus, der bereits ohne Zuhilfenahme eines Seitenauslasses, bloss infolge einer bestimmten Form der

Schlusslinie eine Herabminderung des maximalen Druckes (allerdings nur bei Vernachlässigung der Elastizitäten) in Aussicht stellte und auch eine im gesamten günstigere *L*-Kurve ergab. Die Voraussetzung war damals eine gleichmässige Abnahme der Fließgeschwindigkeit im Zuleitungsrohr, also $\frac{dc}{dt} = \text{konstant}$ (nach Gleichung 11); auch die Druckhöhe stellte sich dann während des ganzen Schliessvorganges konstant ein, nämlich $h = \eta = H_0 (1 + m)$ (vergl. Gleichung 9).

Das in Abschnitt Ia beobachtete plötzliche Anheben der *L*-Kurve können wir nun dadurch vermeiden, dass wir zwar die *f*-Linie an der Stelle *a* um das dort berechnete Stück Δf herunter springen lassen (siehe Gleichung 16). Dabei vermindern wir aber den Wert von *f₁'* noch um ein grösseres Stück derart, dass nach dem Sprung der Oeffnungsgrösse der Wert von *L₁'* derselbe bleibt (Abbildung 10).

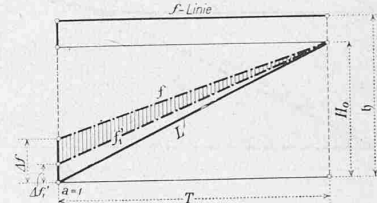


Abbildung 10.

Die *L₁'*-Werte nehmen dann bei weitergehendem Schluss linear ab, da $h = \text{konstant} = \eta$ und $\frac{df_1'}{dt} = \text{konstant}$ nach Annahme. Die Differenz von *f₁'* und *f* gibt den Wert der momentanen Eröffnung des Nebenauslasses und auch einen Anhaltspunkt über die Menge des ausströmenden Wassers. Die Grösse von $\Delta f_1'$ erhält man durch Gleichsetzen der beiden Ausdrücke für *L₁'* an der Stelle *a* vor und nach dem ruckweisen Schliessen. Im Augenblick vor dem teilweisen Schliessen der Leitschaukeln ist:

$$L_1' = f_1' \gamma \frac{v_0^3}{2g} \dots \dots \dots (42)$$

Nach dem plötzlichen Ruck der *f₁'*- und *f*-Querschnitte lässt sich *L₁'* ausdrücken durch:

$$L_1' = f_1' \gamma \frac{v_1^3}{2g} \dots \dots \dots (43)$$

Beide Werte von *L₁'* müssen nun einander gleich sein, da eine lineare Abnahme der *L₁'*-Werte gefordert ist. Somit folgt nach den Gleichungen 42 und 43:

$$\frac{f_1'}{f_1} = \frac{v_0^3}{v_1^3} = \sqrt{\left(\frac{H_0}{\eta}\right)^3}$$

Hierin den Wert von η nach Gleichung 9 eingesetzt, ergibt:

$$\frac{f_1'}{f_1} = \frac{1}{\sqrt{(1+m)^3}} \dots \dots \dots (44)$$

Nun ist nach Gleichung 15: $\frac{f}{f_1} = \frac{1}{\sqrt{1+m}}$

$$\text{Somit folgt: } f_1' = f \frac{1}{1+m} \dots \dots \dots (45)$$

Der Seitenauslass würde hiernach an Wasser ungefähr die in Abbildung 10 schraffierte Fläche beanspruchen, also eine geringe Wassermenge verloren gehen lassen.

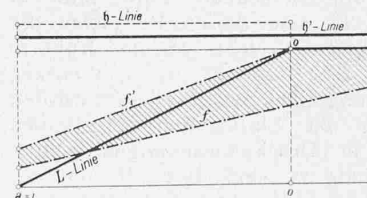


Abbildung 11.

Will man auch die Grösse von η herunterdrücken auf einen Wert η_1' , so berechnet man sich für dieses η_1' das entsprechende *T* aus Gleichung 9. Die zugehörigen Werte von *f₁'* und *f* liessen sich auf ähnliche Weise ermitteln wie im vorher-

gehenden. Die neuen Verhältnisse sind durch Abbildung 11 charakterisiert.

Es braucht wohl kaum eines Hinweises darauf, dass in der gezeichneten Form diese Schliesskurve kaum praktisch verwirklicht werden kann, da ein momentaner Sprung schlechterdings nicht erzielt werden kann. Aber selbst bei einer abgerundeten Form der *f₁'*- und *f*-Linien bleiben bei Berücksichtigung der Elastizität die schon früher in

Abschnitt Ia angeführten Misstände einer grösseren Druck-
erhöhung bestehen. Dieses Verfahren des ruckweisen
Schliessens liesse sich, seiner günstigen L -Kurve wegen,
beim Oeffnungsvorgang eher rechtfertigen, wo die grössere
momentane Druckerniedrigung nur dann lästig wird, wenn
sie sich dem atmosphären Druck bedenklich nähert, oder
wenn sie bedeutende Drucksteigerungen in der zweiten
Druckphase im Gefolge hat.

Eine andere Möglichkeit zur Erzielung linear abnehmen-
der L_1' -Kurven wäre in einer völlig synchronen Wirkungs-
weise des Seitenauslasses geboten, mit nachherigem lang-
samem Schluss desselben (Abbildung 12). Während
der ganzen Dauer der Schliessperiode
wäre dann hierdurch ein Anstei-
gen von h vermeiden;
der Druck geht erst nachher
in die Höhe. Doch wird,
wie Abbildung 12 zeigt,
hierdurch unnötigerweise
viel Wasser verschwendet.

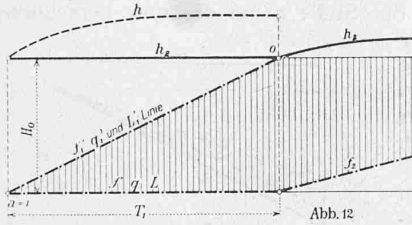


Abb. 12

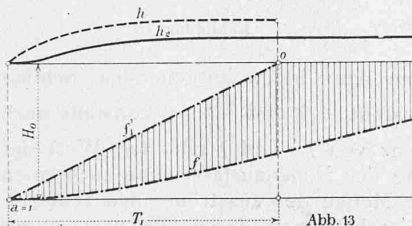


Abb. 13

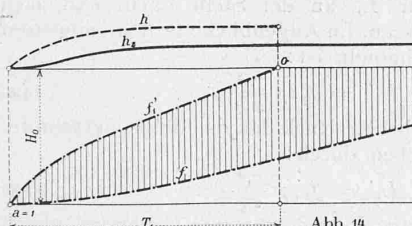


Abb. 14

Wenn wir nun die unter dem Winkel α_2 abfallende f -
Kurve bis nach dem Punkt a ver-
schieben, so erhalten wir den schon
früher betrachteten Fall einer Herab-
setzung des Ueberdruckes (Abb. 6).
Der für die Praxis empfehlenswer-
teste Verlauf des

Gesamtquerschnittes, also der f -Kurve, dürfte wohl durch
eine allmählich zunehmende Neigung dieser f -Kurve
charakterisiert werden. Mag nun die f_1' -Linie linear verlaufen
(Abbildung 13), oder was noch besser ist, mit abnehmender
Schliessgeschwindigkeit, wie durch Abbildung 14 charak-
terisiert, die h_2 -Kurve wird dadurch keineswegs beeinflusst und
die L -Kurve garantiert durch ihr schnelles Abfallen bezw.
Ansteigen eine grosse Stabilität des Reglers.

Eine nachträgliche Kontrolle nach der Methode von
Allievi bestätigt dieses voll und ganz. Es zeigt sich, dass
selbst eine verhältnismässig gering konvexe Form der
 f -Linie die Arbeitsverhältnisse ungemein verbessert; dies
ist auch dann der Fall, wenn die Endrichtung von f zur
 f_1' -Linie parallel ist.

Einige zur Erläuterung berechnete Fälle sind in
Abbildung 15 dargestellt. Es sind diesen Beispielen die
gleichen Betriebsdaten zugrunde gelegt, wie den frühern.
Nämlich: $H_0 = 100 \text{ m}$, $L = 200 \text{ m}$; $c_1 = 2 \text{ m/sek.}$,
 $T_1 = 2 \text{ sek.}$ Ohne Anwendung eines Seitenauslasses würden
die, mit Berücksichtigung der Elastizitäten berechneten
Kurven der Abbildung 13 in „Druckschwankungen“ gelten.
In nebenstehender Abbildung 15 sind diese H - und L -
Kurven dünn eingezeichnet. Sobald jedoch ein Seitenauslass
entsprechend den aus der Abbildung zu entnehmenden
 $f - f_1' = f_1''$ Werten funktioniert, tritt eine völlig neue
 H -Kurve in Geltung, nämlich H_2 . Obwohl nun der Auslass,
wie aus den f_1'' -Werten sofort hervorgeht, von Anfang an
nur wenig öffnet, und gegen Ende einer längern Schliess-
periode des Leitapparates seinen Querschnitt überhaupt
nicht verändert (z. B. beim Schliessvorgang von $a = 1,0$
aus, wäre der Auslass von $\beta = 0,4$ ab in Ruhe, solange
noch das Schliessen andauert), so ist trotzdem ein sehr
grosser Unterschied zwischen der neuen, durch den Seiten-

auslass bedingten Leistungskurve der Turbine (L_1' -Kurve),
und der ursprünglichen (ohne Seitenauslass) L -Kurve zu
konstatieren.

Was die ratsamste Grösse der Verschiebung ξ des
Endpunktes der f -Linie vom Endpunkt der f_1' -Linie anbelangt,
so möge als empfehlenswerte Regel gelten, dass hierfür die
Grösse von ein bis zwei Druckperioden vollauf genügt, also:

$$\xi = \infty \frac{2L}{iT} \text{ bis } 2 \frac{2L}{iT} \dots (46)$$

Wir erzielen ausserdem noch einen andern Vorteil
bei dieser f -Linie. Der bei kleinem Wert von a so ungünstige
Einfluss der Elastizität ist fast völlig beseitigt, sodass statt
des Wertes $H = z H_0 = H_0(1 + 2m)$ (siehe Gleichung 17),
der aus Gleichung 15 „die Beeinflussung des Regulier-
vorganges“ sich ergebende Betrag von h_{max} in Frage kommt.
Dieses ist aus Abbildung 15 ebenfalls sofort ersichtlich,
denn die H -Kurven gelangen, von kleinen Füllungen ($a = 0,5$
und $a = 0,3$) ausgehend, kaum zu höhern Enddrucken als
bei grossen Anfangsfüllungen.

*Einfluss des Seitenauslasses auf die Schwankungen
der Tourenzahl der Turbine.*

Da der Nebenauslass eine Erniedrigung der L -Kurve
während des Schliessvorganges nach sich zieht, so muss
er logischer Weise auch die Tourenzahl-Erhöhung möglichst
gering halten. In welchem Masse sich hiebei ein Unterschied
geltend macht gegenüber dem Betrieb ohne Seitenauslass,
darüber erhalten wir Aufschluss durch einen Vergleich der
jeweiligen L_1' -Kurve mit derjenigen L -Kurve, die bei un-
beeinträchtigt Wirkung der Wasserträgeheit eintreten
würde. Berechnen lässt sich diese n -Kurve nach der im
„Abschnitt II₃, die Beeinflussung des Reguliervorganges“
angegebenen Methode.

Obgleich nun der Seitenauslass bloss bei Entlastung
der Turbine sofort zur Geltung kommt, so wirkt er indirekt
doch auch wesentlich günstig bei der Erhöhung der Belastung,
insofern er sofort beim Rückschliessen in Funktion tritt.

Doch auch die direkte Wirkung des Seitenauslasses
beschränkt sich nicht nur auf das Schliessen allein; die
Oeffnungsperioden irgend eines Verstellvorganges werden
durch den Auslass gleichfalls direkt beeinflusst, sobald ihnen
ein Schliessen vorangegangen ist, d. h. wenn es sich um
Rücköffnen handelt. Denn ebenso wie bei definitiver Ein-
stellung nach Beendigung des Schliessvorganges beginnt
der Seitenauslass auch beim Rücköffnen der Leitschaufeln
sofort zu schliessen. Er wird also das Eintreten der Druck-
erniedrigung ganz oder zum Teil verhindern, je nach seiner
Schliessgeschwindigkeit; somit wird er auch die L -Kurve
günstig beeinflussen.

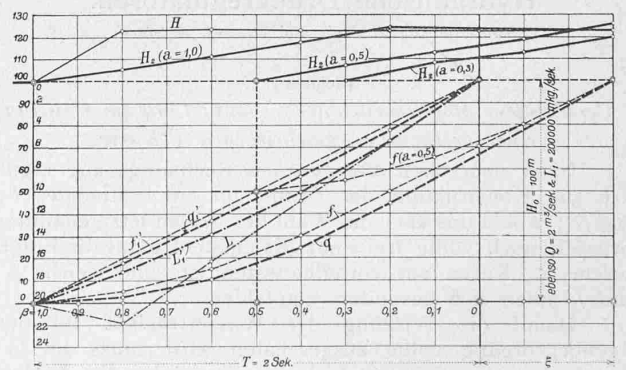


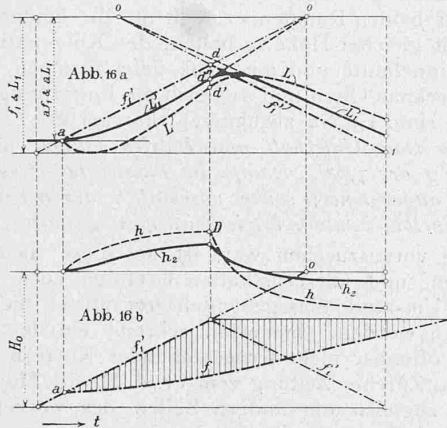
Abbildung 15.

In Abbildung 16 (Seite 35) sind die Verhältnisse beim
Uebergang des Schliessens ins Oeffnen so eingezeichnet,
wie man sich dieselben beim Vorhandensein eines Seitenaus-
lasses zu denken hat. Infolge einer Entlastung vom Dreh-
moment $a M_1$ auf irgend ein neues nicht eingezeichnetes
Moment $b M_1$, schliesst der Regulator im Punkte a und
gelangt, wie früher erläutert, infolge des Ueberregulierens

1) Siehe die „Beeinflussung des Reguliervorganges“.

über die Füllung b hinaus nach der Füllung d , welche sich nach der früher angegebenen Weise bestimmen lässt. Selbstredend müsste aber bei der Konstruktion der Geschwindigkeitskurve die neue L_1 -Kurve statt der ursprünglichen in Abbildung 16 gestrichelt eingezeichneten L -Kurve zur Berechnung benützt werden, wodurch die Höhe von n_{max} wesentlich geringer ausfällt. Vom Beginn des Rücköffnens des Leitapparates, also von d ab, schliesst der Seitenauslass genau wie in Abbildung 6 und die augen-

Hydraulische Druckregulatoren.



blicklichen Querschnitte sind auch in Abbildung 16 b durch Schraffur hervorgehoben. Für die Bestimmung der Druckkurve muss jedoch hier selbstredend neben der f_1'' -Linie der nach der f_1' -Linie wieder zunehmende Querschnitt des Leitapparates berücksichtigt werden, da ja für die Rohrgeschwindigkeit c ausschliesslich $f = f_1' + f_1''$ von Einfluss ist. Ob diese f -Werte während des Rücköffnens zunehmen oder abnehmen, hängt von der Neigung der beiden Komponenten f_1' und f_1'' ab. Da die erste zu- und die zweite abnimmt, so kann sogar f konstant bleiben, wenn die Veränderungen beider sich aufheben. Das einfachste wäre wohl eine stets gleiche Schliessgeschwindigkeit des Seitenauslasses, unabhängig davon, ob die Turbine selbst noch öffnet oder mit dem Verstellen aufgehört hat; hierbei würde sich bereits eine kleine Druckerniedrigung während des Rücköffnens ergeben.

Besser ist jedoch eine solche Arbeitsweise des Reglers, auf Grund welcher einerseits bei feststehender Leitschaufelstellung die Schlusslinie des Nebenauslasses (= f_1'' -Linie) mit der Horizontalen wie bisher den Winkel α_2 bildet (siehe Abbildung 6), während andererseits für die Dauer des Rücköffnens der Leitschaufeln die Querschnittsabnahme des Seitenauslasses grösser ist, als die Zunahme des Leitapparatesquerschnittes. Hierdurch würde sich dann eine Druckerhöhung ergeben, an Stelle einer Druckerniedrigung, was bei plötzlicher Belastung eine schnelle Zunahme der aus der Turbine geleiteten Leistung auf den gewünschten Betrag ergibt. Die Regulierung wird infolgedessen stabiler und die Schwankungen in der Umlaufzahl geringer.

Es ist jedoch einleuchtend, dass an einen Nebenauslass, der diese Vorteile bieten soll, die höchsten Anforderungen an Zuverlässigkeit der Arbeitsweise zu stellen sind, da der geringste Fehler, z. B. Beibehaltung der grossen Schliessgeschwindigkeit des Seitenauslasses nach beendetem Rücköffnen und speziell während einer neuen Schliessbewegung der Turbine, sogar den entgegengesetzten Erfolg vom gewünschten nach sich ziehen kann, nämlich eine Verstärkung der Druckschwankungen bewirkt.

Die heute von den meisten grossen Turbinenfirmen angewandten Auslasskonstruktionen entsprechen in grossen und ganzen den vorstehend angeführten Anforderungen und einige erfüllen sie vollständig, indem der Seitenauslass nach diesen Konstruktionen effektiv verschiedene Schliessgeschwindigkeiten besitzt, je nachdem der Leitapparat öffnet oder konstanten Austrittsquerschnitt beibehält.

Aus der vorangegangenen Untersuchung geht hervor, dass ein sicher und rationell arbeitender Seitenauslass uns die wertvollsten Dienste leisten kann. Die vom theoretischen Gesichtspunkte aus als die günstigste erkannte f_1' - und f -Kurve (siehe Abbildungen 13 und 14) dürfte wohl auch allen Anforderungen der Praxis entsprechen. Was die praktische Ausführbarkeit anbetrifft, so kann es nicht schwer halten, ein anfänglich schnelles Öffnen des Auslasses zu erzielen, indem man bei gleichem Hub des Auslasschiebers anfänglich grössere Austrittsflächen freigibt. So erhält man z. B. für einen trapezförmigen Austrittsquerschnitt eine parabolisch verlaufende Austrittswassermenge.

Auch der Verlust an Arbeitswasser verdient für gewöhnliche Verhältnisse, die keine fortgesetzten Belastungen und Entlastungen bedingen, keine besondere Beachtung. Wenn erwünscht, kann man sich jederzeit leicht ein Urteil über die verloren gehende Wassermenge bilden, indem man für den durchschnittlichen minutlichen Belastungswechsel die Fläche zwischen der q_1' - und q -Kurve ermittelt.

Ganz allgemeine Regeln lassen sich natürlich nicht aufstellen, da in jedem besondern Falle die verschiedenen Rücksichten, die auf Druckerhöhung, gleichmässigen Arbeitsgang und Ersparnis an Betriebswasser zu nehmen sind, auch verschiedene Arbeitsweise des Seitenauslasses bedingen. Doch wird es jederzeit leicht sein, Spezialfälle an Hand der im Vorhergehenden auseinandergesetzten Methode zu untersuchen.

Zum Schlusse gestatten wir uns noch, der Redaktion der Schweizerischen Bauzeitung für die Aufnahme des Artikels und die Anfertigung der Figuren unsern verbindlichsten Dank auszusprechen.

Zürich, im August 1911.

Wohnhaus Rammersbühl in Schaffhausen.

Architekten Curjel & Moser in Karlsruhe und St. Gallen.

III. Der Garten.

(Mit Tafeln 10 bis 13).

Schon zu wiederholten Malen hatten wir Gelegenheit, in dem Kampf zwischen Architektur- und Landschaftsgartenentschieden Stellung zu nehmen, entgegen den sogar in Fachblättern gelegentlich anzutreffenden unbestimmten und unklaren Ansichten der Landschafts- bzw. Handelsgärtner.¹⁾ Die Landschaft ist freie ungezügelter Natur, der Garten dagegen ein in bestimmte Formen gebrachtes Stück der Landschaft, also umsomehr Kunstwerk, je vollkommener der Zweck der Umformung erreicht ist. Heute sind wir in der glücklichen Lage, in dem in allen Teilen durch die Architekten Curjel & Moser entworfenen und durch das Gartenbaugeschäft E. Mertens Erben in Zürich ausgeführten Garten des Hauses Homberger ein, wir möchten fast sagen klassisches Beispiel eines Gartentypus im besten Sinne unsern Lesern zu zeigen. Seinen Plan und auch die nächste Umgebung des Hauses haben wir bereits in der ersten Nummer dieses Bandes gebracht, welche Darstellung durch unsere heutigen Tafeln vervollständigt wird. Es handelte sich um ein Grundstück in stark gegen Osten abfallendem, welligem Gelände mit altem Obstbaumbestand und andern vereinzelt hohen Bäumen. Auch die Kastanienbaumreihe, die den östlichen Vorplatz des Hauses beschattet, ist alt. Bei diesen Verhältnissen und der Ausdehnung des gegen 12 000 m² messenden Grundstücks wäre wohl für die überwiegende Mehrzahl der Handelsgärtner die Anlage eines sog. Landschaftsgartens gegeben gewesen.

Wie gut aber der Bauherr getan, die gesamte Gartengestaltung in die Hand der Architekten zu legen, das zeigen unsere Bilder. In streng geometrischen, parallelen und rechtwinklig sich treffenden Linien sind die Wege und Beete angeordnet, in enger Beziehung zum Hause, zugleich

¹⁾ Vergl. z. B. «Der Garten» von Rich. Bühler mit dem Gartentypus des Hauses Müller-Renner der Architekten Rittmeyer & Furrer in Winterthur in Band LVII, Seite 207.