

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 24 (1933)
Heft: 14

Artikel: Difficultés que peut présenter la marche en série de moteurs asynchrones
Autor: Waldvogel, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057244>

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: 18.01.2025

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

so aufgehängt werden, dass sie den Lichtkegel in der Fahrrichtung ausstrahlen. Den Uebertritt von Licht in die andere Fahrbahn verhindert eine Blende, welche aus Fig. 20 ersichtlich ist. Auf der Autostrasse Köln—Bonn betragen die Lampenabstände 65 m, die Aufhängenhöhe 6,5 m, die Strassenbreite 16 m und die Lampenstärke 250 W pro

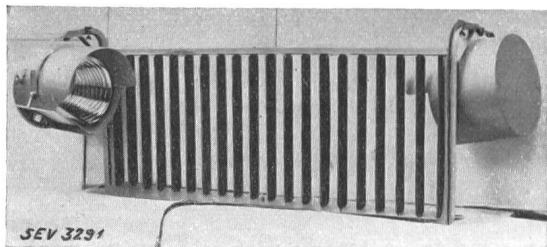


Fig. 20.
Anordnung der Zeiss-Ikon-Leuchten für Autostrassenbeleuchtung.

Scheinwerfer. Fig. 21 zeigt die Anordnung. Der Leistungsaufwand pro Quadratmeter Bodenfläche ist 0,48 W. Kurve I gibt die Vertikalbeleuchtungsstärke für eine Scheinwerferlampe von 250 W, 220 V, Kurve II die Vertikalbeleuchtungsstärke für eine Scheinwerferlampe 250 W, 24 V, und Kurve III die Horizontalbeleuchtungsstärke bei Verwendung der gleichen Lampe, gemessen in Hefner-Lux. Es zeigt sich auch hier, dass die Sehleistung besonders durch eine reichliche Vertikalbeleuchtung gesteigert und die Horizontalbeleuchtung daher kleiner gehalten werden kann. Die Strassenränder sind sehr gut beleuchtet. Auch für dieses System «Autostrassenleuchte Z-Form» können die Erstellungskosten pro Kilometer Strasse noch nicht angegeben werden. Die Firma prüft zudem eine Lösung mit seitlicher Befestigung der Scheinwerfer.

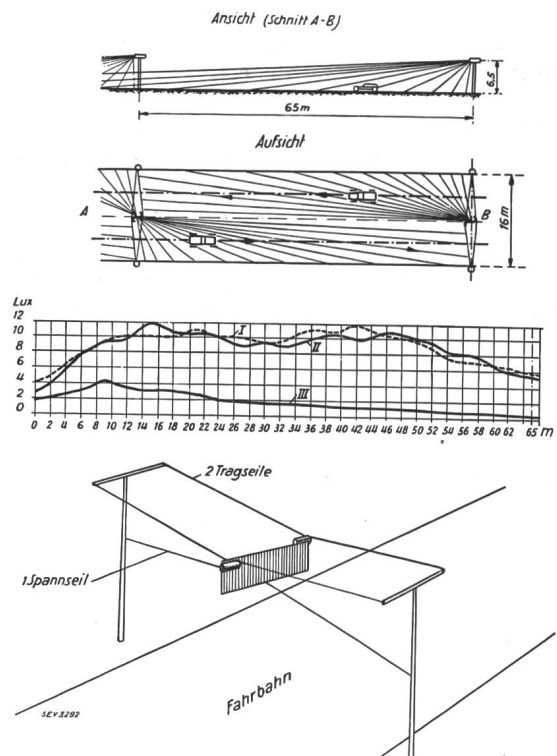


Fig. 21.
Horizontal- und Vertikal-Beleuchtung der Hauptstrasse Köln-Bonn (Fahrbahnbreite 16 m) durch Ueberspannlampen mit Zeiss-Ikon-Autostrassenleuchte Z-Form.

- Kurve I, mit 250 W-220 V-Klarglas-Scheinwerferglühlampe: Vertikalbeleuchtung.
 - Kurve II, mit 250 W-24 V-Scheinwerferlampe, leicht geätzt: Vertikalbeleuchtung.
 - Kurve III, mit 250 W-24 V-Scheinwerferlampe, leicht geätzt: Horizontalbeleuchtung.
- Brennpunkthöhe = 6,5 m; beleuchtete Fläche pro Lampe = 520 m²; spezifische Leistung = 0,48 W/m².

Zum Schluss möchte ich nicht unterlassen, den Firmen Philips Lampen A.-G., Zürich, und Zeiss, Ikon A.-G., Berlin, für die Ueberlassung von Unterlagen und Bildmaterial zu danken.

Difficultés que peut présenter la marche en série de moteurs asynchrones.

Par P. Waldvogel, Aix-les-Bains.

621.313.333.016

L'auteur donne une explication du phénomène suivant: Pour faire marcher deux ventilateurs entraînés chacun par un moteur asynchrone, on dispose d'une tension double de celle pour laquelle est construit chaque moteur. Les stators en étoile des deux moteurs identiques sont branchés en série. Cependant les deux moteurs ne tournent pas à la même vitesse; l'un d'eux marche à la vitesse normale et absorbe plus de la moitié de la tension totale disponible; l'autre tourne plus lentement et absorbe moins de la moitié de la tension. La théorie montre que, dans les conditions données, il est impossible de faire tourner les deux moteurs à la même vitesse et de prévoir lequel des deux tournera plus vite.

Der Autor erläutert folgende Erscheinung: Zum Betrieb zweier Ventilatoren, die durch je einen Asynchronmotor angetrieben sind, steht die doppelte Spannung der Motoren zur Verfügung. Die in Stern geschalteten Statorn der beiden genau gleichen Motoren werden in Serie geschaltet. Die beiden Motoren drehen nun überraschenderweise nicht gleich schnell: der eine hat normale Drehzahl und nimmt die grössere Hälfte der Summenspannung auf; der andere dreht langsamer und nimmt die kleinere Hälfte der Summenspannung auf. Die Theorie zeigt, dass es unter den gegebenen Umständen unmöglich ist, von beiden Motoren die gleiche Drehzahl zu erlangen. Welcher der beiden Motoren schneller läuft, hängt von Zufälligkeiten ab.

Les considérations qui suivent nous ont été suggérées par la constatation, au cours d'un essai extrêmement simple, d'un phénomène assez surprenant. Il s'agissait de faire fonctionner deux petits ventilateurs identiques, équipés avec deux moteurs asynchrones triphasés en étoile, la tension du réseau

dont on disposait étant sensiblement le double de la tension nominale des moteurs. Les deux stators furent donc couplés en série, conformément au schéma de la fig. 1. Mais, contrairement à ce que l'on croyait, il fut absolument impossible d'obtenir un fonctionnement normal des deux ventilateurs.

Invariablement l'un des moteurs ne parvenait pas à prendre sa vitesse normale et tournait au ralenti. Il était d'ailleurs facile de constater que les deux moteurs n'absorbent pas du tout le même voltage: celui qui avait pris sa pleine vitesse fonctionnait toujours sous une tension de beaucoup supérieure à l'autre.

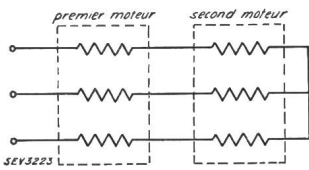


Fig. 1.

A première vue on peut donner de ce phénomène l'explication grossière suivante. La charge d'un moteur de ventilateur augmentant rapidement avec sa vitesse, il est certain qu'un tel moteur peut absorber un courant donné au moins de deux façons différentes:

- soit en tournant au ralenti sous tension réduite, c'est-à-dire à peu près en court-circuit,
- soit à vitesse normale sous la pleine tension, c'est-à-dire à peu près à pleine charge.

Lorsque deux de ces moteurs sont connectés en série, ils prennent obligatoirement le même courant. Mais l'on conçoit que, même s'ils sont rigoureusement identiques, il se peut que l'un marche en court-circuit en n'absorbant que peu de volts, et que l'autre marche normalement en absorbant tout le reste de la tension. C'est ce phénomène que nous nous proposons d'étudier plus à fond.

Pour plus de simplicité nous traiterons le problème sur un cas concret. Les caractéristiques des moteurs envisagés sont les suivantes:

Tension nominale aux bornes: 500 V; 4 pôles; stator en étoile; rotor à cage d'écureuil; puissance: 2,2 kW; essai à vide: 1,22 A; $\cos \varphi = 0,222$ pour la tension nominale; essai en court-circuit: 21,1 A; $\cos \varphi = 0,57$ pour la tension nominale.

A l'aide de ces données nous avons dessiné le cercle d'Heyland pour la tension nominale de 500 V (fig. 2). Conformément à la méthode classique, ce diagramme contient les 2 droites qui donnent l'une la vitesse, l'autre le couple du moteur. Par exemple, pour le régime à pleine charge, défini par le point P , la vitesse est donnée par $N_c N$ (le segment $N_c N_0$ représentant 1500 tours à la minute) et le couple est proportionnel à la longueur QP .

Le couple résistant est produit, dans le cas qui nous occupe, uniquement par les frottements dans les paliers et par la résistance de l'air sur les pales du ventilateur. Nous pouvons donc dire:

- 1° que pour une vitesse nulle, le couple résistant est extrêmement faible,
- 2° que pour la vitesse correspondant à la pleine charge du moteur, soit environ 1430 t/min, le couple résistant est exactement représenté par le segment QP , si l'on admet que le ventilateur est bien approprié au moteur.

Le couple résistant dû à la ventilation augmente avec la vitesse suivant une loi assez complexe. Nous avons simplement admis qu'il augmentait comme le carré de celle-ci car, seule l'allure de cette

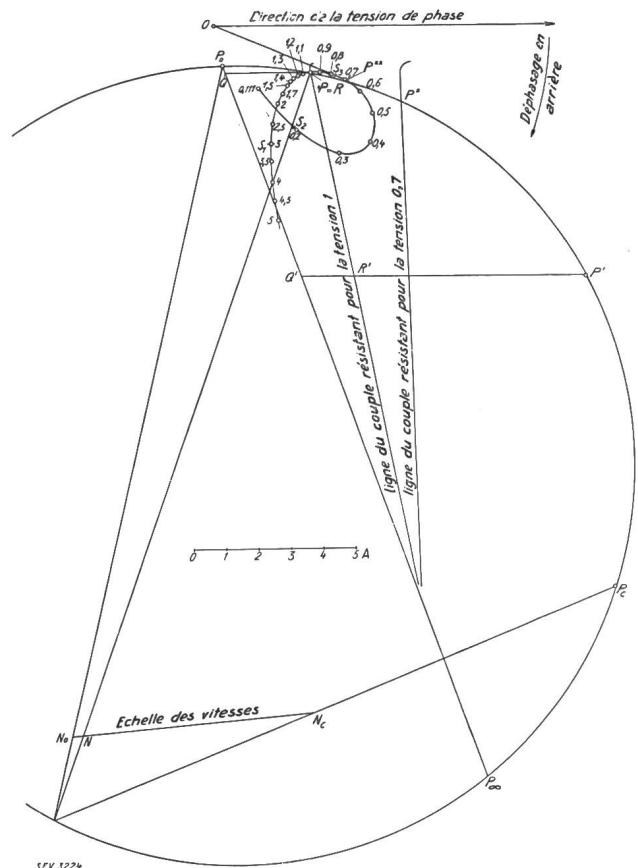


Fig. 2.

courbe nous intéresse. Il est même intéressant de constater que le phénomène étudié ici n'est, en aucune façon, indissolublement lié à la présence d'un ventilateur: il se retrouverait chaque fois que l'on aurait une caractéristique du même genre.

Pour un point quelconque P' du cercle d'Heyland correspondant à une vitesse bien déterminée du rotor, nous connaissons donc aussi la valeur du couple résistant: nous porterons cette valeur en $Q'R'$ tandis que $Q'P'$ représenterait, au contraire, le couple moteur. On obtient ainsi pour l'ensemble des points R' une certaine courbe qui passe nécessairement par $P = R$. Cette courbe appelée dorénavant «ligne du couple résistant» peut être, avec une excellente approximation, assimilée à une droite, sauf dans sa partie supérieure. Nous nous sommes permis cette simplification, fort commode pour la suite.

Si donc on alimente le moteur à sa tension nominale, le point représentatif du courant absorbé sera le point P , intersection du cercle d'Heyland avec la «ligne du couple résistant».

La question qui se pose maintenant est de déterminer ce que deviendrait ce point si l'on alimentait à une tension égale, par exemple à 0,7 fois la tension normale.

Dessiné à la même échelle des ampères, le cercle d'Heyland devrait être 0,7 fois plus petit. Quant aux abscisses $Q'R'$ de la «ligne du couple résistant», elles devraient au contraire être $1/0,7$ fois plus grandes car, pour la même vitesse, le couple résistant

doit toujours avoir la même valeur. Par conséquent si l'on redessine la nouvelle figure à une échelle $1/0,7$ fois plus grande, le nouveau cercle d'Heyland coïncide avec l'ancien, tandis que la nouvelle «ligne du couple résistant» se déduit de l'ancienne par une affinité dans le rapport $(1/0,7)^2$ l'axe d'affinité étant évidemment la droite $P_\infty P_0$ et la direction celle de l'horizontale. Le point P^* intersection du cercle avec la nouvelle «ligne du couple résistant» représente donc le courant absorbé lorsque l'alimentation se fait sous 0,7 fois la tension normale. Et enfin, pour revenir à l'ancienne échelle, il faut encore passer du vecteur OP^* au vecteur OP^{**} qui est 0,7 fois plus petit.

Cette construction a été effectuée sur la figure 2 pour des tensions d'alimentation égales à 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,7, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0 fois la tension normale. On obtient ainsi, un diagramme du courant d'une forme tout à fait caractéristique (les chiffres placés à côté de chaque point indiquent la tension correspondante rapportée à la tension nominale). La vitesse correspondant à un point quelconque peut être immédiatement lue sur notre diagramme.

Nous sommes donc arrivés aux conclusions suivantes: si l'on augmente lentement la tension d'alimentation en partant de zéro, il suffira d'appliquer une tension égale à 0,111 fois la tension nominale, pour que les frottements des paliers soient vaincus. Si l'on continue à monter la tension, le moteur prend de la vitesse et le courant augmente puis, brusquement, la vitesse continuant à augmenter, le courant diminue et l'on se rapproche ainsi du point de fonctionnement normal. Puis la vitesse devient toujours plus voisine de la vitesse synchrone mais le courant recommence à augmenter (et même plus vite que ne l'indique notre diagramme, à cause de la saturation du circuit magnétique).

Une des premières conséquences du genre de charge de notre moteur se traduit donc par le fait qu'il peut absorber un nombre donné d'ampères en général de trois façons différentes, c'est-à-dire sous trois tensions et trois $\cos \varphi$ différents.

Pour résoudre le problème que nous nous sommes posé, il est commode de transformer le graphique de la fig. 2. Nous allons maintenant déterminer quelles sont les tensions (en grandeur et en phase) sous lesquelles peut fonctionner le moteur pour absorber un courant d'une intensité donnée, par exemple de 4 A. Sur le diagramme des courants de la fig. 2 on peut trouver 3 points $S_1 S_2 S_3$ correspondant à une intensité de 4 A: les $\cos \varphi$ caractérisant ces trois régimes sont donnés par les directions des trois vecteurs $OS_1 OS_2 OS_3$ et les tensions qui les déterminent sont respectivement égales à 3,00, 0,195 et 0,78 fois la tension nominale (ces chiffres sont obtenus par interpolation des différents points du graphique 2). Il est, dès lors, facile de représenter ces trois régimes par 3 points $T_1 T_2 T_3$ dans un diagramme de tensions: c'est ce qui a été fait dans la fig. 3 où, pour la commodité

du dessin, les déphasages sont comptés en sens contraire.

Cette construction a été effectuée pour différentes intensités et l'on a obtenu ainsi un diagramme des tensions représenté par la courbe en traits pleins de la fig. 3. Le chiffre inscrit à côté de chaque point de la courbe indique l'intensité du courant correspondant.

La solution du problème des 2 moteurs asynchrones couplés en série n'offre maintenant plus de difficultés. Les deux moteurs possédant des caractéristiques identiques travaillent tous deux suivant le diagramme de la fig. 3. De plus, puisque les deux stators sont obligatoirement parcourus par le même courant, il faut que les deux points représentatifs des deux régimes soient affectés du même chiffre. Enfin, la somme géométrique des vecteurs aboutissant à ces deux points représente en grandeur et en phase la tension appliquée à l'ensemble des 2 moteurs ou, si l'on préfère, le vecteur aboutissant au milieu du segment qui relie ces deux points représente la moitié de la tension appliquée.

Si le courant absorbé est par exemple de 4 A, les régimes de chacun des deux moteurs seront donc représentés par l'un des groupes de points suivants:

$$T_1 T_1, T_2 T_2, T_3 T_3, T_1 T_2, T_2 T_1, T_2 T_3, T_3 T_2, T_3 T_1, T_1 T_3$$

ce qui donne théoriquement 9 solutions. La tension d'alimentation serait respectivement dans chacun de ces cas: $2 OT_1, 2 OT_2, 2 OT_3, 2 OT_{12}, 2 OT_{12}, 2 OT_{23}, 2 OT_{23}, 2 OT_{31}, 2 OT_{31}$. Le lieu géométrique de l'extrémité du vecteur représentant la demi tension d'alimentation se compose donc

1° de la courbe décrite par les points T_1, T_2 ou T_3 , c'est-à-dire de la courbe en traits pleins de la fig. 3.

2° des courbes décrites par les points T_{12}, T_{23} ou T_{31} , c'est-à-dire des courbes en traits pointillés de la fig. 3.

Les chiffres inscrits à côté de chacun des points de ces courbes indiquent toujours l'intensité absorbée.

A l'aide de ces courbes on peut dire immédiatement quel régime prendront les moteurs si on les enclenche sur un réseau de tension donnée. Par exemple, si on alimente sous une tension égale à 2 fois la tension normale, on trouve deux solutions représentées par les points U et V .

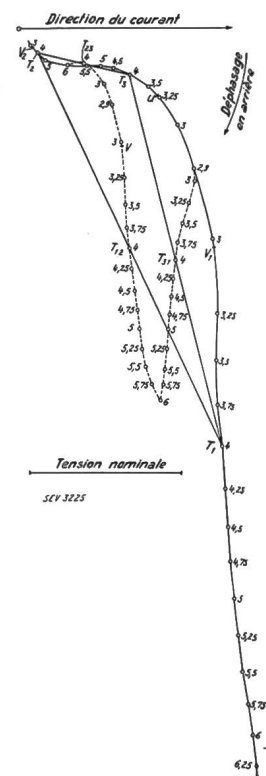


Fig. 3.

Dans la première solution représentée par le point *U*, le régime de chaque moteur est défini par le même point *U*: par conséquent, les deux moteurs tournent à la même vitesse (1430 t/min) et absorbent 3,3 A sous $\cos \varphi = 0,9$. Dans la seconde solution représentée par le point *V*, le régime de l'un des moteurs est représenté par le point *V*₁ et celui de l'autre par *V*₂: le premier tourne à 1475 t/min et le second à 170: le courant absorbé est de 3,03 A sous $\cos \varphi = 0,66$.

Pratiquement, seule la seconde solution est possible pour la raison toute simple qu'elle demande une puissance nettement plus petite que la première (le courant watté n'est que de 2,00 A, au lieu de 2,97 dans la première solution).

Par contre, la théorie ne permet pas de dire

lequel des deux moteurs tournera à vitesse normale et lequel tournera au ralenti: c'est en quelque sorte au hasard qu'il appartient de trancher cette question ou, si l'on préfère, les petites différences qui peuvent exister entre les deux moteurs (principalement dans les frottements mécaniques) sont ici seules déterminantes.

Ainsi se trouve complètement expliqué le phénomène constaté expérimentalement.

La marche en série dans les conditions normales de deux moteurs asynchrones identiques entraînant chacun un ventilateur (ou possédant une caractéristique de même allure) est absolument impossible, tandis que l'un des moteurs prend sa vitesse normale, l'autre ne peut que tourner au ralenti.

Wirtschaftliche Mitteilungen. — Communications de nature économique.

Aus dem Geschäftsbericht des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft pro 1932.

Wir entnehmen diesem Bericht folgendes¹⁾:

Veröffentlichungen:

a) Das Hydrographische Jahrbuch für 1931 erschien im Monat August in der üblichen Bearbeitung.

b) Der erste Teil der Veröffentlichung «Die verfügbaren Wasserkräfte der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung der Speicherungsmöglichkeiten für die Erzeugung von Winterenergie» ist erschienen. Er enthält allgemeine Ausführungen und die Behandlung der Speicherungsmöglichkeiten im Aaregebiet.

Rechtliches.

Wasserrechtsverzeichnis. Gemäss den am 17. September 1928 und 15. Mai 1929 erlassenen Kreisschreiben sind die Wasserrechtsverzeichnisse bis Ende 1933 anzulegen. Von einem Kanton wurde die Frage aufgeworfen, ob die Kosten eines mit der Aufstellung des Wasserrechtsverzeichnisses in Aussicht genommenen Bereinigungsverfahrens den Inhabern der bestehenden Wasserrechte auferlegt werden dürfen. Die Prüfung der Angelegenheit ergab, dass das Wasserrechtsverzeichnis und die Bereinigung auch im Interesse der Wasserrechtinhaber selbst sind und somit das Bereinigungsverfahren eine Massnahme ist, deren Kosten den Beteiligten, das heisst den Inhabern von ehelichen, privaten und konzessionsmässigen Wasserrechten als Gebühren auferlegt werden können.

Grenzfestsetzung. Unter Mitwirkung des Amtes wurde die Grenze Deutschland/Schweiz bei den Kraftwerken Dogern (Mittelaxe des dritten Wehrpfeilers, vom Schweizer Ufer aus gezählt) und Ryburg-Schwörstadt (Trennungsfuge zwischen der ersten an das Stauwehr anschliessenden und der zweiten Maschineneinheit) festgesetzt.

Ausbau des Rheins.

Kraftwerk Kembs. Die Bauarbeiten des seit dem Jahre 1928 in Ausführung begriffenen Kraftwerkes schritten programmgemäss fort. Beide Grossschiffahrtsschleusen sind beendet. Im Laufe des Monats Januar konnte das Rheinwasser in den Seitenkanal eingelassen werden. Am 3. Mai fuhr ein talwärts fahrender Schleppzug, bestehend aus dem Schleppdampfer «Unterwalden» und dem Kahn «Rhenania» erstmals durch die Schleuse. Von diesem Zeitpunkt an benutzte die Schifffahrt nach Basel auf dem konventionellen Rhein die Kembserschleusen.

Der Konzessionär wurde ermächtigt, den ersten Aufstau bis auf Kote 240,00 gemäss dem eingereichten Programm vorzunehmen. Ende August war diese Stauhöhe erreicht. Der Betrieb des Kraftwerkes konnte am 1. Oktober mit zwei Maschinengruppen aufgenommen werden.

Das Programm für den Einstau über Kote 240,00 bis zur endgültigen Kote 244,00 (am Wehr), durch welchen die schweizerische Rheinstraße bis zur Birmündung eingestaut wird, war Ende 1932 noch nicht endgültig bereinigt²⁾.

Strecke Basel-Bodensee. Die Arbeiten zur Abklärung der Verhältnisse auf dieser Strecke und zur Förderung des Ausbaues betrafen zum weit überwiegenden Teil einmal die Untersuchungen über die Art des Ausbaues der Stufen *Rheinau* und *Koblentz-Kadelburg* und sodann die Abklärung der Frage, ob die Stufe *Rekingen* mit der Stufe *Koblentz-Kadelburg* zusammenzulegen sei. Diese Untersuchungen erfolgen im Einvernehmen mit Baden. Die Entscheidungen konnten noch nicht getroffen werden.

Baden und die Schweiz verständigten sich darüber, wie das Mass der Bodensenkungen im Bereich des künftigen Kraftwerkes *Neu-Rheinfeld* nach einheitlichem Programm erfasst werden soll. Die ersten Erhebungen nach diesem Programm wurden durchgeführt. — Um den Einfluss des in Betrieb gesetzten Kraftwerkes *Schwörstadt* auf das künftige Kraftwerk *Säckingen* zu ermitteln, wurden die Rückstauverhältnisse beim Kraftwerk *Schwörstadt* näher untersucht.

Der Bau des Kraftwerkes *Dogern* schritt programmgemäss fort. Inbetriebsetzung voraussichtlich im Herbst 1933. Die Zusatzverleihung wurde bereinigt und dem Konzessionär zur Annahmeerklärung zugestellt. — Der Bau des Kraftwerkes *Rekingen* wurde um ein Jahr hinausgeschoben und seitens der Verleihungsbehörden hiezu die Zustimmung erteilt. — Baden wurde der Entwurf für eine Konzession betreffend den Rückstau des projektierten Kraftwerkes *Schaffhausen* auf badisches Gebiet zugestellt.

Mit Bezug auf die Bewerber für die verschiedenen Stufen sei auf Tabelle I verwiesen.

Ausbau der Rhone.

Die Studien über das projektierte Kraftwerk an der Rhone bei *Cartigny* gehen weiter. Der Bau dieses Kraftwerkes als Flusskraftwerk erfordert die Abschwemmung der von der Arve herrührenden Schlamm- und Geschiebemengen aus der Stauhaltung, wie dies die Kraftwerke *Chèvres* und *Chancy-Pougny* bereits jetzt tun. An einer vom Amt auf den 12. April einberufenen Konferenz, an der Vertreter der industriellen Betriebe Genfs und der technischen Aemter der beteiligten Kantone teilnahmen, wurden die vielgestaltigen Fragen dieses Problems besprochen. Die Vertreter haben einem Lösungsvorschlag, welcher den Baudepartementen der drei Uferkantone vorgelegt wurde, zugestimmt. Das Studiensyndikat des Schweizerischen Rhone-Rheinschiffahrtsverbandes stellte ein Vorprojekt auf für die notwendigen Schifffahrtsanlagen zur Ueberwindung der Gefällstufe beim neuen Werk *Cartigny*.

¹⁾ Siehe pro 1931 Bull. SEV 1932, Nr. 14, S. 361.

²⁾ Der Stau auf Kote 244,00 war im Mai 1933 vollzogen.