

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95/96 (1930)
Heft: 23

Artikel: Wald- und Hochwasserschutz
Autor: Strele, Georg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44009>

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: 17.05.2025

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

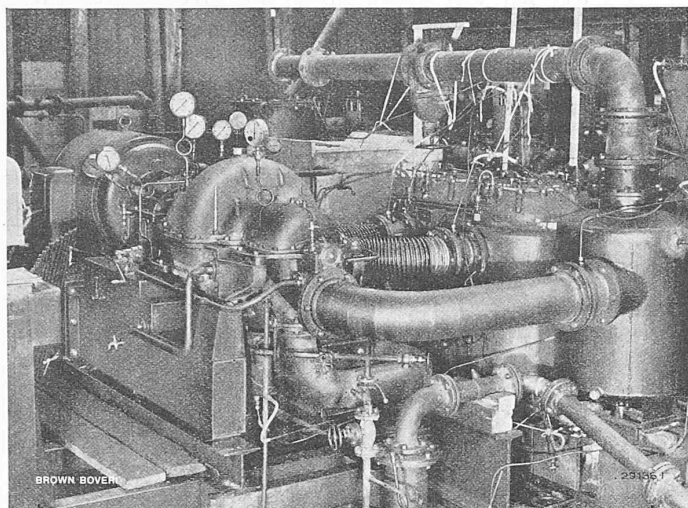


Abb. 2. Gesamtbild der Luftentfeuchtungsanlage in Johannesburg.

gewendeten Klemmenleistung vergleicht. Der Wärmeinhalt der feuchten Luft berechnet sich aus der bekannten Gleichung

$$i = 0,24 t + x (595 + 0,46 t)$$

Mit $t = 35,5^\circ$, $x = 0,03921$ wird für 1 kg trockener Luft

$$i = 32,47 \text{ kcal}$$

Wassergehalt im Sättigungszustand ($4,4^\circ$)

$$x' = 0,00544$$

Wärmeinhalt am Austritt $i = 4,31 \text{ kcal}$

Spezifische Kühlfähigkeit

$$\Delta i = 32,47 - 4,31 = 28,16 \text{ kcal}$$

Spezifische Kälteleistung (Leistungsziffer)

$$\varepsilon = \frac{\Delta i L}{\text{kW } 860} = \frac{28,16 \cdot 87,1 \cdot 60}{242,6 \cdot 860} = 0,706$$

Da bei dieser Anlage die Entfeuchtung die Hauptrolle spielt, wird es von Interesse sein, sie mit der Klemmenleistung zu vergleichen. Man erhält

$$f = \frac{\Delta x L}{\text{kW } 860} = \frac{(0,03921 - 0,0075) 87,1 \cdot 60}{242,6 \cdot 860} = 0,795$$

Während der Versuche arbeitete die Maschine ohne irgend welche Störung. Der Rotor des Kompressors lief trotz der hohen Drehzahl (13 000 in der Minute) ruhig und war frei von Erzitterungen, ebenso das Zahnradgetriebe.

Wald- und Hochwasserschutz.

Von Ing. GEORG STRELE, Hofrat d. R., Innsbruck.

Einleitung. Die Frage, welchen Einfluss der Wald auf den Wasserabfluss und das Entstehen der Hochwässer ausübt, ist noch keineswegs ausreichend geklärt, es gehen vielmehr die Ansichten darüber noch sehr weit auseinander. Während die einen alles Heil vom Walde erwarten, und dessen Einfluss als ausschlaggebend hinstellen, vertreten andere die Ansicht, dass die Wirkung des Waldes nur eine eng begrenzte und ziemlich untergeordnete sei; ja Einzelne gehen so weit, einen günstigen Einfluss völlig in Abrede zu stellen. Beide Teile stützen ihre Behauptungen auf Beobachtungen und Tatsachen, deren Richtigkeit nicht angezweifelt werden kann. Die einen verweisen auf die katastrophalen Folgen der Entwaldung vieler Gegenden, so z. B. der süd-franz. Alpen, woselbst mehrere Täler infolge Abholzung und übermässigen Weidebetriebes vollständig verödeten, ferner auf den bekannten Umstand, dass die Entfesselung zahlreicher Wildbäche den in ihren Einzugsgebieten vorgenommenen ausgedehnten Abholzungen unmittelbar folgte, wie im berühmten Schesatobel im Vorarlberg, durch das bis zum Abtriebe des Bergwaldes ein vollständig harmloses Bächlein floss, das aber dann zu einem der gefährlichsten Wildbäche wurde; sie machen geltend, dass regelmässig und reichlich fliessende Quellen in Waldgebieten nach der Rodung der Wälder versiegt

seien, nach der Wiederaufforstung aber wiederkehrten, dass der Wasserstand mancher Flüsse, in deren Gebiet weit ausgedehnte Schläge durchgeführt wurden, viel heftigern Schwankungen unterliege, dass das Niederwasser ab- und das Hochwasser zugenommen habe und ähnliches mehr. Die andern wiederum verweisen darauf, dass auch in Gebieten mit sehr günstigen Bewaldungsverhältnissen katastrophale Hochwässer mit ausserordentlich grossen Schäden zu beklagen waren, mithin der Wald einen sicher wirksamen Schutz gegen derartige Elementarereignisse nicht zu bieten vermöge. Die ausserordentlichen Hochwasserkatastrophen der Jahre 1897 und 1899 haben u. a. auch das Salzkammergut betroffen, das zu mehr als der Hälfte bewaldet ist, und woselbst die Bewirtschaftung der in den Quellgebieten der Wasseradern bis zur Vegetationsgrenze reichenden Forste eine pflegliche und klaglose ist; in ähnlicher Weise haben auch die idealen Waldverhältnisse im Quellgebiete der Elbe, in gewissen Karpathengebieten und im Wienerwalde das Eintreten von Hochwasserkatastrophen nicht zu verhüten vermocht; ja, sogar das Flussgebiet der Andlau im Elsass, das zu 90 % mit vorzüglich gepflegtem Walde — Tannen und Buchen — bestockt war, hat im Dezember 1882 durch erhebliche Ueberschwemmungen gelitten. Im Salzkammergut und im benachbarten Ennstal waren in der Zeit von 1316 bis 1899 nicht weniger als 25 grosse Hochwasserkatastrophen zu verzeichnen, von denen jene des Jahres 1594, also zu einer Zeit, in der die Bewaldungsverhältnisse gewiss nicht ungünstiger waren als heute, eine Stauung des Traunsees auf einen Pegelstand von 5,02 m gegenüber einem solchen von nur 3,81 m beim gewaltigen Hochwasser des Jahres 1899 bewirkt hat. Ministerialrat Lauda hat in einer Studie, betitelt „Die Hochwasserkatastrophe 1899 im Donaugebiete“, festgestellt, dass sich seit rund 800 Jahren eine bemerkenswerte Aenderung der katastrophalen Hochfluten unserer Flüsse und damit ein Einfluss der Entwaldung nicht nachweisen lässt.

In der „Oesterr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst“ (Jahrgang 1912) teilt Obering. Schaffernak auszugsweise den auf den Wald bezüglichen Inhalt einer umfangreichen Studie des amerikanischen Ingenieurs H. M. Chittenden mit, deren Zweck es vor allem ist, „den tiefingewurzelten Glauben an den günstigen Einfluss des Waldes ins Wanken zu bringen“. Der amerikanische Autor gelangt zum Schlusse, „dass der Forstkultur jeder Wert hinsichtlich der Abschwächung extremer Hochfluten abgesprochen werden muss“. Hieran knüpft Schaffernak den Hinweis auf die Vorarlberger Hochwasserkatastrophe vom Jahr 1910, gelegentlich derer die Hochfluten ebenfalls durch die Schneeschmelze wesentlich vermehrt wurden und bei der auch starke Waldbestände nicht vermochten, die Geschiebebildung durch die Seitenbäche der Ill im Montafon hintanzuhalten.

Im Gegensatz zu diesem extremen Standpunkte wird von einer Anzahl angesehener Forstmänner, zu denen besonders die eidgen. Forstinspektoren Dr. Fankhauser und Albisetti gehören, dem Walde eine hervorragende Wirkung zur Verhütung von Hochwasserverheerungen zugeschrieben. Allerdings sind dem Sinne nach in diesem Falle hauptsächlich örtlich beschränkte Verheerungen durch kleinere Wasserläufe — Wildbäche — verstanden, während sich die Behauptungen Chittendens und Laudas auf Katastrophen beziehen, die weit ausgedehnte Gebiete von Flüssen oder Strömen betreffen. Dr. Fankhauser und Albisetti gehen in ihren Ausführungen so weit, der Aufforstung den weitaus überwiegenden Anteil an der Beruhigung der Wildbäche beizumessen, sie wollen den baulichen Massnahmen nur eine untergeordnete Rolle eingeräumt wissen, ja sie bezeichnen sie in den meisten Fällen mit Ausnahme von Schutzvorkehrungen ganz geringen Umfanges als entbehrlich.

Da es heute mehr denn je geboten ist, mit den öffentlichen Mitteln, aus denen ja die Kosten der Wildbachverbauung zum weitaus überwiegenden Teile bestritten werden, hauszuhalten und überhaupt mit den verfügbaren

Beträgen einen möglichst durchgreifenden Erfolg zu erzielen, erscheint es vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus sehr wichtig, diese Frage nach Möglichkeit zu klären.

Wesentlich gefördert wurde diese Klärung durch sorgfältige Beobachtungen und vergleichende Wassermessungen, die die schweizerische Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen schon im Jahre 1900 im Sperbel- und Rappengraben bei Wasen im Emmental eingeleitet hat, von denen der erste bis zu 97 %, der zweite dagegen nur zu $\frac{1}{3}$ bewaldet ist, die sich aber sonst was Lage, Gesteins-, Gefälls- und Witterungsverhältnisse betrifft, ausserordentlich ähnlich sind. Die Niederschlags- und Abflussmessungen wurden später durch die Aufstellung selbstschreibender Regenmesser und Pegel verfeinert, wodurch äusserst wertvolles Beobachtungsmaterial gewonnen wurde, das von Prof. Dr. Arnold Engler wissenschaftlich bearbeitet und, so weit es sich auf die Jahre 1903 bis 1915 bezieht, unter dem Titel „Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer“ im 12. Band der Mitteilungen der schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen 1919 in seinen interessantesten Teilen veröffentlicht worden ist. Wir verdanken dieser hervorragenden Arbeit neue Einblicke in die Beziehungen zwischen dem Walde und dem Stande der Gewässer; sie hat die Unrichtigkeit einiger älterer Ansichten dargetan und für andere Anschauungen eine wissenschaftliche Begründung geschaffen.

Auch die Bodenuntersuchungen bei Hospenthal und Andermatt im Kanton Uri, im Aufforstungsgebiete Peyer-Haltli im Kanton Freiburg und am Piz Mundaun im Kanton Graubünden, über die Dr. H. Burger im Band 15 der „Annales de la Station Fédérale de Recherches Forestières“ unter dem Titel „Physikalische Eigenschaften von Wald- und Freilandböden“ berichtet, dienen dem erwähnten Zwecke und bieten wertvolle Einblicke in die Wirkung, die die Bewirtschaftung des Bodens auf dessen Zustand und damit auf die Wasserverhältnisse ausübt.

Im folgenden soll versucht werden, die gewonnenen Erkenntnisse im Kampfe gegen die Hochwässer und besonders zur Unschädlichmachung der Wildbäche zu Nutze zu ziehen.

*

Wasserhaushalt, Niederschlag und Abfluss. Aus den vorerwähnten Messungen und Untersuchungen der schweiz. forstlichen Versuchsanstalt geht hervor, dass der Wald, entgegen den früher geltenden Ansichten, durch die Baumkronen, sowie die Streu- und Moosdecke auf den Wasserabfluss nur eine verhältnismässig geringe Retentionswirkung ausübt, dass er dagegen die Bodeneigenschaften wesentlich beeinflusst, den Boden lockert und das Versickern des Wassers, sowie dessen unterirdischen Abfluss begünstigt. Dieser erfolgt natürlich viel langsamer und gleichmässiger als der oberflächliche Ablauf, wodurch sich eine Mässigung der Hochwasserwellen ergibt.

Die in den Baumkronen aufgefangenen und auf ihnen wieder zur Verdunstung gelangenden Regenmengen sind sehr gering und betragen für die Versuchsgebiete nur etwa 15 % der Jahresregenmenge von rund 1600 mm, d. i. ungefähr 240 mm. Auf die durchschnittlich 195 Regentage des Gebietes verteilt, ergibt sich für den einzelnen Tag nur wenig mehr als 1,2 mm zurückgehaltenen Regens. Auch die zweijährigen Regenmessungen unter Baumkronen im Fichtenwalde, die Hoppe in Mariabrunn bei Wien durchführte, ergeben hierfür nur Mengen von 2,5 und 3,8 mm.¹⁾ Wenn dies auch Mittelwerte sind, so ist aus ihnen doch zu entnehmen, dass bei einem einzelnen Regenfalle nur auf die Zurückhaltung von wenigen mm gerechnet werden kann, welches Mass umso mehr an Bedeutung verliert, je grösser die Regenmenge ist. Die hieraus sich ergebende Abflussverminderung kann sich wohl bei Gewitter- und Schlagregen noch geltend machen, die zwar heftig, doch nur von kurzer Dauer sind, aber nicht mehr bei Landregen, die im ganzen viel grössere Regenmengen liefern.

¹⁾ Dr. E. Hoppe „Regen-Ergiebigkeit unter Fichtenjungwuchs“ („Zentralblatt f. d. ges. Forstwesen“, 1902, Heft 3).

Das auf den Boden gelangende Wasser verdunstet zum Teil wieder, zum Teil dient es zur Speisung der Vegetation und der Rest fliesst teils ober-, teils unterirdisch ab. Die von den Bäumen verbrauchte Wassermenge ist sehr beträchtlich, die Verdunstung des Waldbodens aber nur gering. Im Freilande hingegen erfordern z. B. das dicke Gras der Wiesen und das Getreide der Aecker ebenfalls bedeutende Wassermengen zu ihrer Benetzung, doch fällt nach der Ernte der Regen völlig unvermindert auf den nahezu kahlen Boden, und es ist auch der Wasserverbrauch durch die Vegetation viel geringer als im Walde; der Boden verdunstet aber infolge der Besonnung, des stärkeren Luftwechsels usw. viel mehr als der Waldboden, sodass sich zwischen Wald und Freiland ein Ausgleich der Gesamtverdunstungsmenge ergibt. Für die Schweizer Voralpen stellte Prof. Engler nachstehende Wasserbilanz auf:

	im Wald		im Freiland	
Von der gefallen Regenmenge entfallen in % der Jahresmenge				
auf den Abfluss	60		60	
auf den Verbrauch durch die Vegetation	20	40	6	40
auf die Verdunstung auf der Pflanzendecke	15		10	
auf die Verdunstung des Bodes	5		24	
zusammen	100		100	

Der Abfluss der gefallen Regenmengen, insoweit er oberflächlich erfolgt, wird im Walde durch die Baumkronen, die Streu- und Moosdecke, den Unterwuchs, die oberflächlich verlaufenden Wurzeln, die Stämme und Stöcke verzögert. Auf landwirtschaftlichen Kulturflächen macht sich eine derartige Verzögerung nur vor der Ernte geltend. Einen Beweis, wie sehr die Heuernte den Wasserablauf beeinflusst, bildet z. B. der Rivo Lazer im Bezirke Pimiero an der ehemaligen Südostgrenze von Tirol. In diesem Wildbachgebiet, dessen oberer Teil weitaus überwiegend mit Bergwiesen bedeckt ist, verlaufen auch heftige Gewitter meist schadlos, wenn sie vor der Heuernte niedergehen, während sie häufig zur Entstehung gefährlicher Hochwässer Anlass geben, wenn sie sich später einstellen.

Bei stärkerem Wasserablauf in berasteten Mulden oder Gräben werden die Halme übrigens auch oft durch das Gewicht des anhaftenden Wassers oder den Wind niedergedrückt, zu Boden gepresst und bilden dann ein glattes Bett, über das die Wassermassen mit grosser Geschwindigkeit zu Tal schiessen, mitunter auch die Grasnarbe zerstören und den Boden aufreissen.

Die vorerwähnte Lockerheit und Porosität des Waldbodens wird bedingt durch die tiefgreifende Wurzeltätigkeit, die Tätigkeit der Bodenfauna, den Humusgehalt und die ständige Ueberschirmung. Sie befähigt den Boden, grosse Mengen von Regen- und Schmelzwasser aufzunehmen, zu verteilen und unterirdisch abzuleiten. Im Gegensatz hierzu sind die der Landwirtschaft dienenden Böden viel kompakter und bedeutend weniger durchlässig; die Wurzeln der Gräser und Kräuter dringen nur etwa 30 cm tief ein und bilden auf Wiesen und Weiden einen dichten, wenig durchlässigen Filz, besonders bei lehmigem Untergrund; zudem stampft das Weidevieh den Boden noch fester. Ackerböden sind wohl oberflächlich lockerer, besitzen aber meist eine sehr dichte Pflugsohle. Diese festen Böden nehmen nur wenig Wasser auf und begünstigen dessen oberflächlichen Ablauf. Schon die Einstellung des Weidebetriebes und der Grasnutzung haben die Ansiedelung tiefer wurzelnder Kräuter, Stauden und Sträucher, eine vermehrte Humusbildung und eine Lockerung des Bodens zur Folge.

Die durch den Wald bedingte Verzögerung des Wasserabflusses gegenüber dem Freiland bewirkt das spätere Eintreten und eine Abflachung der Hochwasserwelle. Die Verzögerung erreicht aber in den Versuchsflächen nur ein kleines Mass, was zweifellos mit deren geringer Ausdehnung zusammenhängt. (Das Gebiet des Sperbelgrabens misst nur rund 56, jenes des Rappengrabens rund 70 ha.) Infolgedessen sind die Wege, die das ablaufende Wasser zurückzulegen hat, bis es in die Gerinne gelangt, sehr kurz, sie betragen im Mittel im ersten Graben etwa 130 m, im

zweiten rund 150 m. Bei grösseren Versuchsflächen müsste sich die Verzögerung schärfer ausprägen.

Auf den Verlauf der Schneeschmelze, die er verlangsamt und auf einen längeren Zeitraum verteilt, wirkt der Wald im allgemeinen günstig. Die oben erwähnte Vermehrung des Hochwassers 1910 in den Illzuflüssen kann nicht dem Wald zur Last gelegt werden, denn es lagen damals (Mitte Juni) wohl oberhalb der Waldgrenze noch grosse Mengen alten Winterschnees, deren Abschmelzen die Hochflut vermehrte, im Walde aber, ebenso wie im Freilande, hauptsächlich nur der kurz vorher gefallene Neuschnee.

Das oben angeführte Abflussverhältnis von 60 % stellt einen Mittelwert für das ganze Jahr vor, der aber für die Höhe des Hochwassers bedeutungslos ist; für diese ist vielmehr das Verhältnis zwischen Niederschlag und Abfluss bei starken Regengüssen ausschlaggebend. In einer eingehenden Studie „Regelung der Abflussverhältnisse des Traunsees bei Gmunden“ haben Klunzinger und Oelwein dieses Verhältnis für die Hochwässer 1897 und 1899 untersucht. Das Einzugsgebiet umfasst 1411 km² und ist vorzüglich bewaldet. Der Höchststand des Zuflusses in den See betrug im Jahre 1897 1254 m³/sec und im Jahre 1899 1437 m³/sec; es trat in beiden Fällen einen Tag nach dem Tagesmittel des stärksten Niederschlages ein, der im Jahre 1897 auf 1900, im Jahre 1899 auf 2500 m³/sec berechnet wurde. Es ergibt sich also ein Verhältnis zwischen grösster Tagesintensität des Niederschlages und Höchstabfluss von 66, bzw. 57,5 %. Da im Quellgebiete der Traun zahlreiche grössere und kleinere Seen vorhanden sind, wurde aber zweifellos nicht allein der Hochwasserabfluss verzögert, sondern auch die Hochwasserwelle abgeschwächt.

Das Verhältnis zwischen Niederschlag und Abfluss wechselt je nach den verschiedenen Verhältnissen in den einzelnen Flussgebieten sehr stark und ist abhängig von der Niederschlagshöhe, der Grösse des Einzugsgebietes und dessen geognostischer Beschaffenheit, der Bodenbedeckung (Kulturart), sowie den Temperatur- und Windverhältnissen. Es schwankt auch in ein und dem selben Gebiete bei verschiedenen Regenfällen sehr bedeutend. Dies kommt ausserordentlich scharf zum Ausdruck in den von Prof. Engler veröffentlichten Messungsergebnissen.

Es gebietet an Raum, hier auf die Begründung der grossen Verschiedenheiten der Abflussverhältnisse näher einzugehen; restlos lassen sie sich wohl überhaupt nicht aufklären. Der Hauptgrund für die Unterschiede liegt aber zweifellos im verschiedenen Feuchtigkeitszustande des Bodens bei Eintritt der Regenfälle. Die Messungsergebnisse zeigen deutlich, dass der Regen anfänglich nur einen geringen Einfluss auf den Wasserstand hat, dass dieser aber mit der Dauer und Menge des vorhergegangenen Regens wächst. Sie lassen die Verzögerung des Wasserablaufes aus dem bewaldeten Gebiete gegenüber dem unbewaldeten zwar wohl erkennen, können aber einen Masstab für sie nicht bieten, da der Höchstabfluss nicht zum intensivsten Niederschlag allein in Beziehung gebracht werden darf, sondern hierbei noch zahlreiche andere Momente mitspielen, die nicht vollständig zu überblicken sind. (Forts. folgt.)

Chemische Verfestigung des Baugrundes.

Ueber die erstmalige praktische Grossanwendung des chemischen Versteinungsverfahrens¹⁾ beim Bau der Wassergewinnungsanlage des neuen Wasserwerkes der Stadt Düsseldorf am Staad sprach am 17. März Direktor Dipl. Ing. A. Lang (Düsseldorf) vor der Hauptversammlung des Deutschen Beton-Vereins. Aus hydrologischen, chemischen, finanziellen und technisch wirtschaftlichen Gründen kam für die Erweiterung der Wasserversorgung nur ein neues Wasserwerk im Norden der Stadt in der Nähe des Rheines in Frage. Eingehende Versuche, die mit dem von Herrn Direktor Dr. Ing. Joosten erfundenen chemischen Verfestigungsverfahren von Erdschichten an einem alten Kesselbrunnen in den alluvialen und diluvialen Kies- und Sandschichten beim Wasserwerk Flehe im Frühjahr 1927 vorgenommen wurden, hatten vollen Erfolg. Auf

Grund dieser Vorarbeiten wurde der Entwurf für den Bau der Wassergewinnungsanlage im Vordeichgelände für das neue Wasserwerk unter Berücksichtigung der Anwendung des chemischen Versteinungsverfahrens ausgearbeitet und der Bau durchgeführt. — Langjährige Erfahrungen bei den alten Wassergewinnungsanlagen der Pumpwerke in Flehe hatten ergeben, dass bei allerungünstigsten tiefsten Rhein- und Grundwasserständen die einzelnen Rohrbrunnen der Wasserfassung, die in gegenseitigen Abständen von 20 m entlang des Rheines liegen und eine Entfernung von 25 bis 50 m von der Uferkante des mittleren Rheinwasserspiegels haben, nur noch mit 8 l/s beansprucht werden konnten. Die Rohrbrunnen sind an gemeinsame Heberleitungen angeschlossen, die in einem Sammelbrunnen endigen. Die Heberleitungen liegen in einem Kanal, etwa 9 m unter Geländeflur. Das bisherige Bauverfahren zur Errichtung der begehbaren wasserdichten Stampfbetonkanäle, zur Verlegung der Heberleitungen in diesen und der an die Heberleitungen anzuschliessenden Brunnen erforderte eine ausserordentlich umfangreiche und teure Wasserhaltung. Bei offener oder verbauter, ausgesteifter Baugrube war es aus finanziellen und technischen Gründen nicht möglich, nach dem bisherigen Bauverfahren die Kanalsohle der Heberleitung tiefer als ± 0 am Ortspegel zu legen. Damit war aber praktisch nur eine tiefste Absenkung der Grundwasserspiegel bis auf $-6,5$ m möglich. Die Ueberlegung ging nun dahin, dass, wenn beim Bau der Wasserfassungsanlagen des neuen Werks bei Anwendung des chemischen Versteinungsverfahrens die Heberkanalsohle auf etwa $-2,0$ m gelegt werden könnte, auch bei ungünstigsten, tiefsten Rhein- und Grundwasserständen eine Beanspruchung der einzelnen Brunnen mit mindestens der dreifachen Menge wie bei dem alten Werk ermöglicht würde, da alsdann auch Absenkungen bis auf $-8,5$ m zu erreichen wären. Dies führte zu folgendem Bauvorgang der Wasserfassung am Staad:

Die einzelnen Rohrbrunnen wurden in einem gegenseitigen Abstand von 20 m entlang des Rheines im Vordeichgelände und in einer Entfernung von der Uferkante des mittleren Rheinwasserspiegels von 25 bis 30 m hergestellt. Die gesamte Baugrube den Brunnen entlang, um die Brunnen herum und quer durch den Deich bis zum Sammelbrunnen wurde allseitig mit Larssen-Spundwanddielen von 9 bis 10 m Länge umschlagen. Diese Spundwände sollten den seitlichen Eintritt von Wasser in die Baugrube auf ein Mindestmass verringern und das Arbeiten in der Baugrube selbst bei allergeringster Wasserhaltung dadurch ermöglichen, dass unterhalb und innerhalb der Larssen-Wände die Sand- und Kiesschichten auf eine Stärke von etwa 2,50 m nach dem chemischen Verfahren zur Verfestigung des Baugrundes wasserabdichtend versteint wurden. Es sollte also die nach unten noch offene, mit Spundwänden allseitig umschlagene Baugrube durch das chemische Verfestigungsverfahren mit einer versteinten Sohle praktisch wasserdicht abgeschlossen werden. Die Verfestigungsarbeiten wurden, nachdem zwischen den Spundwänden der Boden bis auf $+3,0$ m herausgenommen war, durch Einrammen von Einspritzrohren mit Rammbar oder von Hand, und durch Einspritzen von zwei Chemikalien in die zu versteinende Bodenschicht durchgeführt. Die aus hochwertigem Stahl bestehenden Rohre waren unten mit aufgeschraubter Stahlspitze und am untersten Teile mit feiner Lochung versehen. Das Einspritzen der Chemikalien in den Untergrund erfolgte unter einem Druck bis zu 15 at. Ein in der Mitte der Baustelle betriebenes Luftkompressorenaggregat lieferte durch entsprechende Rohrleitungen über die ganze Baustelle die Luft zum Antrieb von 20 Chemikalien-Pumpen. Chemikal I, das eine Lösung kieselensäurehaltigen Materials ist und gewissermassen zur Durchtränkung des zu verfestigenden Bodens dient, wurde in fünf Schichten von je 50 cm durch jeweiliges Tiefschlagen der Rohre von oben nach unten eingepresst. Chemikal II, ein gelöstes Salz, das die chemische Umsetzung von Chemikal I im Untergrund hervorruft und so die Anreicherung mit Kieselensäure und damit die Verfestigung des Bodens bewirkt, wurde in umgekehrtem Sinne ebenfalls in fünf Schichten beim Ziehen der Rohre eingespritzt.

Trotz grosser Schwierigkeiten, besonders infolge ausserordentlich fester und grober, zusammengebackener Kies- und Sandschichten, gelang der wasserdichte Abschluss der Baugrube von unten praktisch vollkommen. Obwohl während der Bauzeit der Rhein- und Grundwasserstand bis zu 3,60 m über der versteinten Sohle stand, waren in den einzelnen Baugrubenschichten von 45 bis 50 m Länge nur Wasserhaltungen von etwa 10 l/s erforderlich. Nach Ausschachten der Erdmassen konnte der 560 m lange eisenbewehrte

¹⁾ Vergl. Band 91, S. 275 (2. Juni 1928) und Band 93, S. 243 (11. Mai 1929).

chem.