

# DIE GRUNDZÜGE DER BEWÄSSERUNG ÄGYPTENS

---

VON DER KÖNIGLICH SACHSISCHEN TECH-  
NISCHEN HOCHSCHULE ZU DRESDEN ZUR  
ERLANGUNG DER WÜRDE EINES DOKTOR-  
INGENIEURS GENEHMIGTE DISSERTATION

---

VORGELEGT VON  
REGIERUNGSBAUFÜHRER  
DIPL.=ING. KONRAD RICHTER  
AUS DRESDEN

---

REFERENT:  
GEH. HOFRAT PROFESSOR DR.=ING. H. C. ENGELS

KORREFERENT:  
PROFESSOR DR. PHIL. GRAVELIUS

DRESDEN 1914  
BUCHDRUCKEREI DER WILHELM UND BERTHA V. BAENSCH STIFTUNG

03 4366

#  
411.



II 31653

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298419

A white rectangular sticker with a barcode and the text "Biblioteka Politechniki Krakowskiej" at the top and the number "100000298419" at the bottom.

Akc. Nr. 2854/50

## Inhalt.

---

	Seite
Kapitel I. Ägypten und der Nil . . . . .	I
„ II. Die Landwirtschaft und ihre Beziehungen zur Bewässerungstechnik . . . . .	9
„ III. Die Technik der Beckenwirtschaft . . . . .	21
„ IV. Die Technik der Rieselbewässerung . . . . .	26
„ V. Die Technik der Landgewinnung . . . . .	34
„ VI. Bautechnische Einzelheiten . . . . .	38
Schlußwort . . . . .	52

### Anhang.

I. Ägypten nach Landflächen und Volksverteilung . . . . .	54
II. Münzen und Maße . . . . .	54
III. Die wichtigsten Kulturgewächse Ägyptens . . . . .	55
IV. Querschnittsbestimmung von Kanälen mit regelmäßig wechselnder Wasserführung . . . . .	56

---



# Die Grundzüge der Bewässerung Ägyptens.

Von

Regierungsbauführer Dipl.-Ing. **Konrad Richter**, Dresden.

Kapitel I.

Ägypten

als politischer Staat umfaßt die nordöstliche Ecke Afrikas und reicht im Süden bis zum 22<sup>o</sup> n. Br., im Westen bis zu einer Linie, die parallel zur Küste des Roten Meeres in einem Abstand von 700 km verläuft; auf asiatischem Gebiet kommt dazu noch die Halbinsel Sinai. Von dieser 960 000 qkm großen Fläche ist aber nur ein kleiner Teil, etwa 32 000 qkm, dauernd besiedelt und als Wirtschaftsgebiet zu betrachten. Dieses umfaßt das Niltal von Assuan bis Kairo und das sich dort ausbreitende Delta des Nils (Abb. 1). Zwischen Assuan und Djebel Silsile hat sich der Nil in den Nubischen Sandstein eingegraben, und die Talbreite überschreitet dort nicht 10 km. Bei Djebel Silsile taucht dieser Sandstein unter Kalkstein, der das hier bis 25 km breite Niltal bis Kairo einfaßt; dort öffnet sich das Delta fächerförmig zu einem Kreisabschnitt von etwa 150 km Halbmesser und 250 km Bogenlänge. Der Nil teilt sich 23 km unterhalb Kairo in den Rosette- und den Damiette-Arm und wird an diesem Punkt durch das Delta-Wehr in seinem Abfluß geregelt. Auf Grund dieser Landgestaltung teilt man Ägypten seit alter Zeit in Oberägypten und Unterägypten mit einer Trennungslinie am Deltaursprung. Unter Mittelägypten versteht man im besonderen den unterhalb von Assiut liegenden Teil von Oberägypten. Das Fayum ist ein besonderer Teil von Oberägypten; es besteht in einer unmittelbar an das Niltal angrenzenden, von ihm aber durch einen Felsriegel scharf geschiedenen Depression von etwa 800 qkm, die ihr Wasser vom Nil empfängt, die Stätte

des alten Mörissees. Südwestlich vom Fayum liegt eine von ihm getrennte andere Depression, das Wadi Rayan, das bei der Frage der Wasserspeicherung eine große Rolle spielt.

Ägypten wird in 14 Provinzen eingeteilt, neben denen Kairo, Alexandrien, Port Said, Ismailia, Suez, Damiette und die Orte des Sinai eigene Kreise bilden (siehe Anhang I). Von der Kulturfläche nimmt Oberägypten etwa  $\frac{2}{5}$  ein, davon liegt der größere Teil auf dem linken Nilufer. Die Bevölkerungsdichte auf das Quadratkilometer beträgt für das gesamte Wirtschaftsgebiet 350, für das offene Land und die wirklich bebaute Fläche allein in O.-Ä. 490, in U.-Ä. 425; in diesen Zahlen spiegelt sich die außerordentliche Fruchtbarkeit des Bodens wieder.

Die Bodenbeschaffenheit des Niltales steht in engem Zusammenhange mit der Zusammensetzung des Nilschlammes, der Ägypten alljährlich neu befruchtet. Ein Querschnitt durch das Niltal (Abb. 4) zeigt in der Regel eine 5 bis 7 m starke Oberschicht von schwarzem Lehm, darunter eine Schicht von Sand und Kies in wechselnder Stärke, die auf Felsen aufruhrt, mitunter noch mit einer Mergelzwichenschicht. Im Delta bildet Ton statt Felsen die Unterlage. Am Nilufer ist das Land höher als weiter seitwärts; wo der Talrand ansteigt, bricht mit der Bewässerungsgrenze das Fruchland schroff ab. Von den zahlreichen chemischen Bodenanalysen<sup>1)</sup> sei hier die folgende Gegenüberstellung für gutes Fruchland angeführt:

	Tanta (U.-Ä.)	Matai (O.-Ä.)	Etsa (Fayum)	Nilschlamm
	%	%	%	%
Kalk . . . . .	3,36	4,47	5,53	3,07
Kali . . . . .	0,55	0,76	0,63	0,53
Phosphorsäure . . . . .	0,20	0,28	0,22	0,25
Organische Stoffe . . . . .	7,79	7,78	7,38	8,82
(darin Stickstoff) . . . . .	(0,07)	(0,095)	(0,05)	(0,145)
Soda . . . . .	0,58	0,74	0,72	0,57
Magnesiumverbindungen . . . . .	3,10	3,15	2,99	2,93
Chlorverbindungen . . . . .	0,09	0,10	0,11	—
Eisen- und Aluminiumoxyd . . . . .	23,36	24,39	20,23	25,56
Silikate . . . . .	60,28	57,23	59,16	57,54
Kohlensäure . . . . .	0,67	1,10	3,03	0,73

<sup>1)</sup> Jahrb. der Khed. Agr. Soc. 1905 S. 238; ferner: Barois, Irr. en E.; Willcocks, The Nile in 1904; Willcocks-Craig, Eg. Irr.; Foaden-Fletcher, Textbook of Eg. Agr.

Eine Analyse der im Nil mitgeführten Stoffe von Dr. Letheby kommt zu folgendem Ergebnis:

	Feste Stoffe		Gelöste Stoffe bei N. W. %
	bei H. W. %	bei N. W. %	
Kalk . . . . .	2,06	3,18	18,8
Kali . . . . .	1,82	1,06	6,4
Phosphorsäure . . . . .	1,78	0,57	—
Organische Stoffe . . . . .	15,02	10,37	17,8
Soda . . . . .	0,91	0,62	27,6
Magnesiumverbindungen . . . . .	1,12	0,99	4,5
Chlorverbindungen . . . . .	—	—	3,0
Schweflige Säure . . . . .	—	—	9,6
Eisen- und Aluminiumoxyd . . . . .	20,92	23,55	} 4,3
Silikate . . . . .	55,09	58,22	
Kohlensäure . . . . .	1,28	1,44	

Dabei beträgt die Menge der mitgeführten Stoffe<sup>1)</sup>:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Fest g/cbm	58	35	44	40	35	50	59	856	1117	606	148	104
Gelöst g/cbm	153	167	189	223	237	234	225	174	135	128	139	140

Die Unterschiede in den Schlammanalysen erklären sich leicht aus den Zufälligkeiten der Entnahmestelle; namentlich pfllegt der Gehalt an Silikaten erheblich zu schwanken. Wertvolle Stoffe für die Landwirtschaft sind die vier zuerst aufgeführten, von denen Stickstoff nur sehr spärlich vorhanden ist (siehe dazu Kap. II). Soda, Magnesiumverbindungen, schweflige Säure und namentlich Chlorverbindungen sind dem Pflanzenwuchs schädlich; sie treten vorwiegend gelöst auf und richten dabei wenig Schaden an. Auf die Güte des Bodens und den Wert der Nilschlamm düngung läßt die chemische Analyse nur bedingungsweise Schlüsse ziehen, da die Aufnahme von Bodensstoffen durch die Pflanzen stark von anderen Umständen abhängt, wie Porosität des Bodens, Luftgehalt und namentlich Zahl und Art der Bodenbakterien. Auf Ackerland, das weniger als 7 m unter Meeresspiegelhöhe liegt, ist eine gute Entwässerung zur Fortführung besonders des Kochsalzes er-

<sup>1)</sup> Siehe Pietsch, Das Abflußgebiet des Nils, S. 110.

wünscht, bei weniger als 3 m unbedingt nötig für die dauernde Gesunderhaltung des Bodens.

Das Klima Ägyptens zeigt große Unterschiede zwischen Nord und Süd. Während der Nordrand des Deltas noch durchschnittlich 200 mm jährliche Regenmenge erhält, schwankt diese in Kairo zwischen 20 und 45 mm, und südlich von Assiut sind Niederschläge äußerst selten, doch fällt dort dafür reichlich Tau. Für ganz Ägypten folgt auf einen milden Winter ohne Frost im April und Mai ein plötzlicher Temperaturanstieg zugleich mit dem Auftreten trockener, heißer Südwinde, die mit Ende Mai in Nord- und Nordwestwinde umschlagen. Das Thermometer erreicht in Kairo im Juli seinen Höchststand mit 29° mittlerer Tagestemperatur und 17° täglicher Schwankung und sinkt im Oktober auf 20° im Mittel. Im Herbst tritt oft plötzliche Abkühlung und Nebelbildung ein, die besonders den Baumwollpflanzungen gefährlich wird. Die Luftfeuchtigkeit folgt absolut gemessen annähernd im gleichen Sinne, relativ gemessen im umgekehrten Sinne der Temperaturänderung. Aus den meteorologischen Beobachtungen des Observatoriums zu Abbasije (Kairo) seien folgende, die Wasserwirtschaft besonders interessierende Mittelwerte angeführt:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Mittl. Temperatur °C . . . . .	12,3	13,7	16,9	21,2	24,9	27,9	28,9	27,9	25,8	23,1	18,5	14,5
Feuchtigkeit abs. g/cbm . . . . .	7,6	7,7	7,8	8,0	9,6	11,1	12,7	13,9	13,8	13,3	10,4	8,6
Feuchtigkeit rel. % . . . . .	68,0	63,0	55,0	45,0	43,0	42,0	46,0	53,0	59,0	64,0	67,0	68,0
Verdunstungshöhe mm/Tag	1,82	2,48	3,86	4,91	6,35	6,89	6,45	5,66	4,30	3,54	2,41	1,91
Verdunstungshöhe cm/Monat	5,64	6,93	11,96	14,73	19,70	20,65	19,97	17,54	12,90	10,97	7,22	5,92

Die Beobachtungen der Verdunstungshöhe sind an einem 1 qm großen Becken vorgenommen. Für offene Wasserläufe gibt Accidebeau<sup>1)</sup> folgende Werte im mm/Tag an:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Unterägypten	2,3	2,9	3,5	4,2	4,7	5,0	4,6	4,3	3,6	3,5	2,9	2,2
Oberägypten	3,9	4,4	5,7	8,2	10,3	12,4	12,2	11,1	8,8	7,0	5,2	3,7

<sup>1)</sup> Siehe Willcocks-Craig, Eg. Irr., S. 77.



Wie sich innerhalb der Tagesstunden die Verdunstungshöhe im Verhältnis zum Mittelwert ändert, zeigt folgende Zusammenstellung<sup>1)</sup> für Kairo:

	Mittel mm/Tag	Mitter- nacht	2	4	6	8	10	Mit- tag	2	4	6	8	10
Nov.- { Verdunstung	2,31	1,31	1,10	0,77	0,65	1,50	3,16	4,45	4,76	3,95	2,83	1,88	1,36
Jan. { Temperatur °C	15,31	13,0	12,0	11,5	10,8	12,9	15,9	20,1	21,1	20,5	17,2	15,0	13,2
Mai- { Verdunstung	6,96	3,00	1,51	0,91	1,75	4,39	7,19	11,88	13,87	13,47	11,13	7,09	5,19
Juni { Temperatur °C	26,20	21,4	19,3	18,8	20,3	23,9	28,4	32,2	34,0	33,4	30,9	27,6	24,3

Die Verdunstungshöhe<sup>2)</sup> ist für die Wasserwirtschaft von besonderer Wichtigkeit, weil sie als Verlust bei der Bewässerung in Rechnung zu stellen ist; als Mittelwerte in mm/Tag können dafür gelten

	Sommer	Winter
Oberägypten	7	5
Unterägypten	3	2

Für die Hochwasserzeit August/Oktober nimmt man 8 mm/Tag an. Die Verdunstungshöhe hängt außer von Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Wind noch stark von örtlichen Einflüssen ab und ist deshalb schwer in eine Formel zu fassen. Um einen ungefähren Anhalt zu haben, kann man für Kairo nach den Beobachtungen von Abbasije etwa folgende Beziehung aufstellen mit Rücksicht darauf, daß die Temperatur der hauptsächlich maßgebende Wert ist: im Mittel  $d = \frac{t}{3} - 3$  ( $d$  Verdunstungshöhe mm/Tag,  $t$  Temperatur in °C) genauer für die Zeit August/Novbr.:  $d = \frac{t}{3} - 4$ , Januar/Juni:  $d = \frac{t}{3} - 2$ . Für größere Wasserläufe und Becken gibt diese Formel etwas zu hohe Werte.

## Der Nil.

Anbetung dir, o Nil!

Verborgner, der du bringst, was dunkel ist, ans Licht  
Und die vom Sonnengott erschaffnen Fluren  
Mit Wasser übergießt,  
Um zu ernähren die gesamte Tierwelt! —  
Du bist es, der das Land tränkt überall —  
Ein Pfand des Himmels du in deinem Kommen!

Anbetung Dir!

(Altägyptischer Festgesang.)

Der Wohlstand Ägyptens und seine Fortentwicklung ist mit dem Nil untrennbar verbunden<sup>3)</sup>, war doch unter der alten Art der Bewässerung die

<sup>1)</sup> Siehe Dr. J. Hann, Lehrbuch der Meteorologie, S. 207.

<sup>2)</sup> Siehe auch F. E. Keeling, Evaporation in Egypt and the Sudan, 1909.

<sup>3)</sup> Siehe Zeitschrift für Bauwesen 1910, S. 423, Der Nil als Kulturträger in alter und neuer Zeit, Gerhardt.

Stärke seines alljährlichen Steigens ein Maßstab für den zu erwartenden Ertrag an Steuern. Besonders beschäftigte die Gelehrten der Alten sein geheimnisvolles Verhalten, daß er seine segenspendende Hochflut, gerade zur Zeit der größten Hitze und Trockenheit, im August und September, über das Land ausgießt. Zur Zeit Alexanders des Großen erkannte man, daß Regengüsse im westlichen Abessinien die Ursache bilden, doch blieb es dem neunzehnten Jahrhundert vorbehalten, das Quell- und Zuflußgebiet genauer zu erforschen. Dessen wirtschaftliche Erschließung wurde von Frankreich und England eingeleitet, durch den Mahdiaufstand unterbrochen und darauf seit 1882 von neuem zielbewußt von England weitergeführt, das jetzt im Begriff ist, am oberen Nil ein neues Ägypten zu schaffen. Der ägyptische Sudan, das Land zwischen Ägypten, Abessinien und dem Viktoriasee, ist mit zahlreichen meteorologischen Beobachtungsstellen ausgestattet; die Wasserhöhen des Nils und seiner Nebenflüsse messen oberhalb von Assuan 41 Stellen täglich und 16 in größeren Zwischenräumen.

Der Streit, welcher Teil des Nilsystems (Abb. 1) als Hauptstrom anzusehen ist, kann hier übergangen werden. Grundsätzlich ist festzustellen, daß der Nil aus zwei ganz verschiedenen und getrennten Niederschlagsgebieten sein Wasser erhält. Das erste ist das Becken der nördlichen afrikanischen Seen — Viktoriasee, Albertsee — Albert-Eduard-See —, das zwei Regenzeiten etwa zur Zeit der Sonnenwenden besitzt; der Abfluß dieses Gebietes trägt den Namen Bahr el Djebel. Bei Gondokoro, 5° n. Br., hören die Zuflüsse aus diesem Gebiet auf; der Fluß tritt in eine weite, sumpfige Niederung, die Seddregion, und spaltet sich in mehrere Arme. Nebenbei empfängt er von Westen den wenig bedeutenden Gazellenfluß. Diese Region hat zwar 900 mm jährlichen Niederschlag, aber eine höhere jährliche Verdunstungshöhe und ist für den Fluß deshalb ein Zehrgebiet. Zwischen 9,5° und 17,5° n. Br. münden Sobat, Blauer Nil und Atbara, die Zuflüsse vom Westrand des abessinischen Tafellandes. Dies ist das zweite große Einzugsgebiet des Nils mit einer jährlichen Regenhöhe von 1000 bis 1400 mm, wovon sich 84% in die Zeit vom Juli bis Oktober zusammendrängen. Die Abflusrrinnen aus dem Gebirge sind steil und geben zur Mitnahme von großen Sinkstoffmengen Anlaß, die dem Nil seine fruchtbringende Wirkung und seine charakteristische rotbraune Hochflutfarbe verleihen. Die Vereinigung des Bahr el Djebel mit dem Sobat heißt Weißer Nil; dessen Vereinigung mit dem Blauen Nil bei Khartum ist der Nil Ägyptens, der noch zur Hochwasserzeit durch den Atbara verstärkt wird. Die wichtigsten Angaben über das Längsprofil des Nils von der Sobatmündung ab sind im folgenden zusammengestellt:

	Entfernung bei H. W. km	Höhen- unter- schied m	Spiegel- gefälle	Wasserablaufzeit	
				bei H. W. Tage	bei N. W. Tage
Sobatmündung . . . . .	838	14	$\frac{1}{50\,000}$ bis $\frac{1}{100\,000}$	20,7	28,0
Khartum . . . . .					
Wadi Halfa . . . . .	1459	261	$\frac{1}{15\,000}$ bis $\frac{1}{30\,000}$ <sup>2)</sup>	8,8	17,8
Assuansperre . . . . .					
Assiutwehr . . . . .	345	28	$\frac{1}{12\,500}$	2,3	4,6
Deltawehr . . . . .	548	46 <sup>1)</sup>	$\frac{1}{11\,500}$ bis $\frac{1}{14\,800}$	6,4	13,0
Mündung des Damiette-Arms	520	35,5			
„ „ Rosette-Arms	236	18,5	$\frac{1}{12\,500}$	1,6	2,2
	239				

Bemerkenswert ist das geringe Gefälle des Weißen Nils. Zwischen Assuan-Sperre und Delta-Wehr verlängert sich die Länge der Stromlinie bei N. W. um etwa 50 km; die mittlere Wassergeschwindigkeit schwankt auf dieser Strecke zwischen 0,85 m/s bei N. W. und 1,75 m/s bei H. W. Die altberühmten Pegel von Assuan-Stadt, 5 km unterhalb der Sperre, und von Roda, gegenüber Kairo, geben infolge der neuen Wasserbauanlagen nicht mehr ein richtiges Bild vom Wasserabfluß in Ägypten.

In Abb. 2 sind als Beispiel für einige wichtige Stellen die Kurven der Abflußmengen für das Jahr 1903, ein gutes Mitteljahr, aufgetragen. Am Viktoriasee schwankt trotz der periodischen Niederschläge der Abfluß wenig, zwischen 500 und 700 cbm/s, weil die gewaltige Seefläche von 250000 qkm als Ausgleich wirkt. Bei dem Rest dieses Niederschlagsgebietes tritt dies weniger stark ein, sodaß bei Gondokoro die Wasserführung zwischen 700 und 2000 cbm/s sich bewegt. Diese hat sich am Ende der Seddregion auf 300 bis 400 cbm/s vermindert. Beachtenswert ist, daß die Schwellung bei Gondokoro gar nicht mehr sich wiederholt, und daß auch der Rückstau bei der Schwellung des Sobat keine später entsprechend verstärkte Wasserführung zur Folge hat, sondern daß das dabei gespeicherte Wasser in den Sümpfen verdunstet. Taufikije liegt kurz unterhalb der Einmündung des Sobat in den Bahr el Djebel. Die Wasserführung des Sobat schwankt zwischen 150 und 1000 cbm/s; die Hochwasserführung des Sobat wird nach dem Austritt aus dem abessinischen Bergland durch die Ausfüllung eines weiten flachen Talbeckens verzögert und gemildert. Der Hauptabfluß des westlichen Abessinien ist der Blaue Nil, dessen Wasser-

<sup>1)</sup> Einschließlich 6 m Gefälle des 1. (Assuan-)Katarakts.

<sup>2)</sup> Kataraktstellen etwa 1:3000.

führung von einer Niedrigwassermenge von 150 cbm im Juli bis September schroff auf 10000 cbm/s im Mittel wächst und hauptsächlich den Hochflutverlauf in Ägypten bestimmt. Bei seinem Steigen staut er den Weißen Nil; dieser Stau kommt hier aber in verstärkter Wasserführung des Weißen Nils nach der Hochflut zum Ausdruck, außerdem erhält der Nil bis Wadi Halfa aus aufgespeichertem Grundwasser erheblichen Zuschuß bis 150 cbm/s. Der Atbara erreicht den Nil nur zur Hochwasserzeit und verstärkt die Schwellung des Nils. Von Wadi Halfa ab, wo jeder Zufluß aufhört, verliert der Nil bis Assuan durch Verdunstung und Versickerung etwa 30% Wasser. Bei Eintritt in das ägyptische Wirtschaftsgebiet schwankt die Niedrigwassermenge zwischen 450 und 700 cbm/s mit 550 cbm/s als Mittelwert und die Hochwassermenge zwischen 6000 und 14000 cbm/s mit 9000 cbm/s im Mittel. Als Gesamtbild ergibt sich daraus, daß an der N.W.-Wasserführung des Nils der Bahr el Djebel etwas stärker beteiligt ist als Sobat und Blauer Nil zusammen, etwa im Verhältnis 3:2; an der H.W.-Wasserführung hat der Bahr el Djebel keinen erheblichen Anteil. Der fruchtbringende feste Sinkstoff des roten Nilwassers rührt lediglich vom Blauen Nil und Atbara her.

In Ägypten tritt die Schwellung des Nils sehr regelmäßig auf, weil die Niederschläge in Abessinien sich nach dem Zenithstand der Sonne richten. Eine Verzögerung von 10 Tagen gilt bereits als schwere Gefahr, weil namentlich die Maispflanzungen erst mit der Schwellung Wasser erhalten können und unter Umständen vertrocknen. Das H.W. kündigt sich in Ägypten durch eine Grünfärbung des Wassers an, die von der Ausräumung von Wassertümpeln im Bett des Blauen Nils und Atbaras bei dem Anschwellen herrührt. Die Wasserspiegelschwankungen zwischen N.W. und H.W. betragen in Ägypten bei Assuan-Stadt im Mittel 7,9 m, bei Kene 9,5 m, bei Benisuef 8,2 m und bei Kairo 7,0 m. Bei H.W. nimmt der Damiette-Arm etwa  $\frac{3}{8}$ , der Rosette-Arm  $\frac{4}{8}$  der Wassermenge auf, während zur N.W. Zeit die Kanäle des Deltas fast die ganze Wassermenge erschöpfen. Durch die Überflutung großer Landflächen in O.-Ä. bei H.W. wird die H.W.-Führung bei Kairo gegenüber Assuan verringert und in die Länge gezogen.

Einen merklichen Einfluß übt der Nilwasserstand auf den Grundwasserstand aus<sup>1)</sup>. Die Brunnenwasserhöhen folgen regelmäßig dem Nilspiegel, und zwar im umgekehrten Verhältnis einer geometrischen Reihe, wenn der Abstand vom Ufer in arithmetischer Reihe zunimmt. Hochliegende Kanäle machen sich auf eine Entfernung von etwa 1 km noch im Grundwasser bemerkbar, und wenn sie nur zeitweise vollgefüllt werden, auf etwa 250 m. Brunnen für Bewässerungsanlagen dürfen nach den amtlichen Vorschriften in einem Abstand von 75 m von einem Kanal angelegt werden, wenn diesem keine erheblichen Wassermengen entzogen werden sollen.

<sup>1)</sup> Siehe Willcocks-Craig. Eg. Irr., S. 83.

## Kapitel II.

Die Landwirtschaft  
und ihre Beziehungen zur Bewässerungstechnik.

Bei dem gänzlichen Mangel an Mineralschätzen, namentlich an Kohle, ist Ägypten außerstande, jemals eine nennenswerte Industrie zu entwickeln und besitzt deshalb für den europäischen Markt eine dauernde gleichgroße Bedeutung als Rohstofflieferant und als Kunde für Fertigfabrikate. Die moderne Entwicklung Ägyptens nimmt ihren Anfang mit der Herrschaft des Vizekönigs Mehemet Ali in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts und ist gekennzeichnet durch den Übergang von der historisch bekannten Bewässerung des Landes durch Überflutung bei H.W. zu der ganzjährigen Berieselung. Von der gesamten bestellten Fläche Ägyptens von 2240000 ha werden zurzeit reichlich dreiviertel berieselt und nur etwa 520000 ha in der früheren Weise überflutet; dazu kommen noch 1000000 ha der Berieselung erschließbares Land.

Welche Bedeutung die Landwirtschaft in Ägypten besitzt, geht aus der Statistik<sup>1)</sup> klar hervor.

Die Volkszählung von 1907 führt von insgesamt 11 287 000 Einwohnern

auf Industrie . . . . .	376000
Ackerbau . . . . .	2315000
Hausangestellte . . . . .	2359000
unbekannte Berufe und ohne Beruf	5378000.

Die beiden letzten Zahlen gehören tatsächlich zum größten Teil mit unter Landwirtschaft, sodaß die unmittelbar von ihr abhängige Volkszahl auf 8 bis 9 Millionen geschätzt werden kann.

Im Staatshaushalt für das Jahr 1911 stehen gegenüber

	Mill. M.		Mill. M.
Einnahmen . . . . .	357,0	Ausgaben . . . . .	355,0
Davon		Davon	
direkte Steuern . . . . .	115,0	außerordentliche Ausgaben	61,0
indirekte Steuern . . . . .	121,0	Verwaltung . . . . .	104,0
Eisenbahn, Post . . . . .	86,5	öffentliche Schuld . . . . .	81,5
		Eisenbahn, Post . . . . .	51,0

Direkte Steuern sind Grundsteuern und Palmbaumsteuer; an Grundsteuern zahlt der Boden 28,64% des Mietwertes oder etwa 1,43% des Bodenwertes. Indirekte Steuern liefern einige Monopole, besonders Tabak, dessen Anbau in Ägypten verboten ist, und die Zölle. Der Einfuhrzoll beträgt 8%, der Ausfuhrzoll 1% des Wertes und fällt besonders auf die Land-

<sup>1)</sup> Allen Angaben ist nach Möglichkeit die amtliche Statistik 1912 zugrunde gelegt, unter Umrechnung der ägyptischen in deutsche Maße (siehe Anhang II).

wirtschaft zurück, die aus Mangel an Industrie im eigenen Lande ihre Bodenprodukte gegen Einfuhrwaren tauschen muß. Die reinen Einnahmen aus Eisenbahn und Post halten sich in engen Grenzen, wenn man noch die Kosten der Verzinsung und Tilgung in Rechnung setzt. Aus dem Fremdenverkehr zieht die eingessene Bevölkerung keinen erheblichen Nutzen.

In der Handelsstatistik stehen 1911 gegenüber

	Mill. M.		Mill. M.
Gesamte Einfuhr . . . . .	566	Gesamte Ausfuhr . . . . .	594
Davon		Davon	
Textilwaren . . . . .	170	Baumwolle . . . . .	478
Mehl und Getreide . . . . .	67	Mehl und Getreide . . . . .	86
Metallwaren . . . . .	62		
Holz und Kohle . . . . .	62		

Seit einem Jahrzehnt nimmt Baumwolle an der Ausfuhr mit 80% des Gesamtwertes teil und ist für Ägypten ein Gradmesser des Volkswohlstandes<sup>1)</sup>. Die anderen Bodenprodukte treten in der Handelsstatistik verhältnismäßig wenig in Erscheinung, da sie meist im Lande selbst verbraucht werden.

Je nach Art der Bewässerung unterscheidet man mehrere Gruppen von Kulturen:

1. Winterkultur auf Beckenland. Die zu bebauende Fläche ist in Becken geteilt, in denen das H.W. des Nils etwa 50 Tage festgehalten wird. In den noch schlammigen Boden wird nach Rückzug des Wassers im Oktober bis November die Saat eingebracht und reift ohne weitere Bewässerung im Februar bis April. Angebaut werden in dieser Weise hauptsächlich Getreide, Bohnen und Futtergewächse. Die Beckenwirtschaft herrscht in O.-Ä. zwischen Assuan und Derut im ganzen Niltal, von Derut bis Kairo auf dem größten Teil des rechten Nilufers und einem schmalen Wüstenrand des linken Nilufers. Dieses System nutzt das rote Nilwasser vorteilhaft aus. Die Schwächen dieser Kulturweise liegen auf der Hand; es ist jährlich nur eine Kultur möglich, die für den Anbau von Baumwolle und Zuckerrohr nicht in Frage kommt, und ferner richtet sich der Umfang des bestellbaren Landes nach der Stärke des H.W. und kann in schlechten Jahren zu einem bedeutenden Ernteausfall führen.

2. Flutkultur auf Beckenland wird auf den hoch gelegenen Teilen ausgeführt. Man schließt diese mit kleinen Dämmen gegen das überflutete Land ab, zieht Gräben und läßt das Wasser nur nach Bedarf in diesen Bereich eintreten. Bei schwachem Hochwasserstand teilt man diese Kultur

<sup>1)</sup> Die Weltproduktion an Baumwolle verteilt sich 1912 folgendermaßen nach %:

Vereinigten Staaten von N.-A.	59,8	Rußland . . . . .	4,3
Britisch-Indien . . . . .	21,8	China . . . . .	3,6
Ägypten . . . . .	5,5	Brasilien . . . . .	2,2

noch in verschiedene Höhenlagen und hebt mit einfachsten Hilfsmitteln das Wasser stufenweise empor. Charakteristisch ist für diese Kulturart der Wechsel ihres Umfanges je nach der Stärke des Nilhochwassers und die Kürze der Kultur, die sich auf 100 Tage beschränkt und nur für bestimmte, rasch wachsende Pflanzen geeignet ist. Angebaut werden in dieser Weise Mais, Hirse, bestimmte Reissorten und Gemüse. In Jahren, in denen der bereits abflauende Nil nochmals kräftig ansteigt, laufen diese Kulturen oft Gefahr, ertränkt zu werden.

3. Sommerkultur auf Beckenland wird an den tiefsten Stellen der Becken ausgeführt, die einen Grundwasserstand von solcher Höhe besitzen, daß sie aus Brunnen bewässert werden können, in der Regel Stellen, an denen sich die Schicht des schwarzen Lehms auf 1 bis 3 m verringert. In dieser Weise werden namentlich Mais, Hirse und Gemüse angebaut. Diese Kulturen, deren Umfang übrigens nur gering ist, bereiten Schwierigkeiten, wenn die Hochflut unerwartet früh einsetzt; dann müssen die Beckenzuläufe rasch mit vorläufigen Abschlußvorrichtungen versehen werden, bis die Sommerkultur abgeerntet ist.

4. Die Rieselkultur hat zur Voraussetzung ein genau berechnetes Kanalnetz für die Wasserzuleitung und Entwässerung, verbunden mit einem besonders starken Hochwasserschutz. Um den Wasserspiegel zur Sommerszeit auf eine passende Höhe zu bringen, ohne Zulaufkanäle von allzugroßer Länge und sehr geringem Spiegelgefälle anlegen zu müssen, sind weiterhin Wehrbauten erforderlich. Mehemet Ali ließ mit dem Bau des Delta-Wehrs den Anfang machen, das allerdings erst in den achtziger Jahren nach mehrfacher gründlicher Ausbesserung zu seiner vollen Nutzwirkung gelangt ist. Nach den gleichen Grundsätzen sind weitere Wehrbauten am Damiette-Arm bei Zifta und in O. Ä. bei Assiut und Esne entstanden. Die Wasserführung des Nils im Sommer reicht knapp für die Bewässerung des Deltas; durch die Anlage der Assuan-Sperre wird dem Nil ein solcher Sommerwasserzuschuß geliefert, daß die Rieselwirtschaft auf einen großen Teil von O. Ä. und das ganz Fayum ausgedehnt werden konnte. Der erste Hauptvorteil der Rieselung vor der Beckenwirtschaft ist die Möglichkeit einer ausgiebigen, besonders wertvollen Sommerernte, der noch eine Winterernte folgen kann, und damit einer vollen Ausnutzung der Bodenertragsfähigkeit und der Arbeitskräfte. Von September 1911 bis August 1912 wurden von der bebauten Fläche Ägyptens 44% doppelt bestellt innerhalb der nur durch dauernde Rieselung bewässerten Landfläche 56%. Die Wertsteigerung des Landes bei Einführung der Rieselung ist mit Rücksicht auf den besonderen Wert der Sommerernte viel höher und beträgt etwa 100%. Der zweite Hauptvorteil liegt in der Zuverlässigkeit der Bewässerung, da die Riesellandfläche im abgewogenen Verhältnis zu der geringsten verfügbaren Wassermenge steht. Die Gewinnung kulturfähigen Landes ist erst

mit Einführung der Rieselwirtschaft in größerem Maßstabe aufgenommen worden. Nachteilig sind bei der Rieselwirtschaft die geringe Bodenbe-fruchtung durch rotes Nilwasser und bei mangelhaft angelegtem Kanalnetz eine dauernde, starke Hebung des Grundwasserspiegels, die den Baum-wollbau schädigt. Auch die Rieselwirtschaft gliedert sich in Sommerkultur, Flutkultur und Winterkultur. Die Sommerkultur erstreckt sich aber hier vom März bis Ende November bei Baumwolle, während Zuckerrohr sogar zu einer zweiten Ernte im folgenden Jahr stehen bleiben kann. Der größere Teil des Reisbaues fällt in die Sommerzeit. Zur Flutzeit werden namentlich Mais und Hirse angebaut, deren Bodenfläche schon im zeitigen Früh-jahr ohne Rücksicht auf die Stärke der Hochflut freigehalten werden kann. Reis wird zum größten Teil zur Flutzeit angebaut. Die Winterkultur bei Rieselwirtschaft umfaßt dieselben Gewächse wie bei Beckenwirtschaft, nur richtet sich der Beginn ihres Anbaues nach der Sommer- und Flutkultur und bedarf einer mehrmaligen Rieselung im Laufe des Winters.

Bemerkenswert ist der Einfluß der Rieselwirtschaft auf die Grund-verteilung. Bei der Beckenwirtschaft ist der kleine Landmann das Glied einer großen Gemeinschaft, der er sich in weitgehendem Grade unterordnen muß, und die ihm wenig Änderungen in der herkömmlichen Anbauweise gestattet. Bei der Berieselung ist der Einzelne von seiner Umgebung viel unabhängiger und kann den Boden nach seiner Befähigung gründlich aus-nutzen; außerdem vermag alsdann die gleiche Fläche einer erhöhten Zahl von kleinen Grundbesitzern Unterhalt zu gewähren. Das Ergebnis der Ent-wicklung in dem letzten Jahrzehnt ist ein Anwachsen in der Zahl der ganz kleinen Besitztümer und ein Rückgang der Betriebe mittleren und großen Umfangs.

Es wurden gezählt Grundbesitzer mit

	bis 2,1 ha	2,1—4,2 ha	4,2—8,4 ha	8,4—12,6 ha	12,6—21 ha	über 21 ha
1899	710 277	81 117	40 086	12 434	8 993	11 872
1906	1 084 001	76 935	36 951	11 347	8 682	12 665
1911	1 296 561	76 382	36 461	11 188	8 265	12 393

Über den Anbau der wichtigsten Kulturgewächse (siehe Anhang III) ist folgendes zu bemerken:

Baumwolle gedeiht am besten auf schwerem Lehm Boden mit leichtem Untergrund ohne Salzgehalt. Hoher Grundwasserstand führt zum Ab-werfen der Kapseln; Versuche dazu in gemauerten Becken mit verschiedenem Grundwasserstand und unter natürlichen Verhältnissen auf freiem Felde<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Gemeiza Strip Experiment Veröff. des Survey Dep. 1912 Nr. 24, ferner Agri-cultural Journal of Egypt 1912 vol. II S. 15 und 37.



geben beide als günstigste Tiefe 2 m. Der Boden wird im Februar/März gründlich gepflügt und gewässert und mit Furchen zur Zuleitung des Wassers versehen. Die Saat kommt in Löcher in halber Höhe der Furche und erscheint nach 15 Tagen; bei einem Wachstum von etwa 20 cm Höhe werden die Pflanzen soweit gelichtet, daß auf je 2 knapp 1 qm entfällt. Die Ernte wird in zweimaliger Pflückung Ende September bis Ende November eingebracht. Neben der Faser gibt der Samen als Viehfutter und der Strauch als Heizmaterial wertvollen Nebenertrag. Schädlinge, namentlich Insekten, treten seit zwei Jahrzehnten in größerem Umfange auf und werden namentlich durch gemeinsame zwangsweise Absuchung bekämpft. Herbstnebel sind sehr gefährlich. Die Luftfeuchtigkeit des Baumwollgebietes soll nicht unter 35% sinken.

Reis stellt bei reichlichem fließenden Wasser geringe Ansprüche an den Boden und ist wenig empfindlich gegen Kochsalz. Langsam wachsende Sorten werden im Mai/Juni, rasch wachsende mit besonders großem Wasserbedarf im August gesät und reifen beide Ende Oktober bis Anfang Dezember.

Mais wird nach gründlichem Pflügen und Wässern zu amtlich festgesetzter Zeit, etwa Mitte Juli, gepflanzt mit Ausnahme einiger besonders günstig gelegener Ländereien, da der starke Wasserbedarf dieser Kultur erst mit Beginn der Hochflut gedeckt werden kann. Die Zeit bis zur Reife beträgt 3 bis 4 Monate. Die Kolben sind das Hauptnahrungsmittel der breiten Bevölkerung, die Stengel dienen als Grünfutter.

Zuckerrohr braucht schweren, wasserhaltenden Lehm, der besonders tief zu pflügen ist. Die Auspflanzung erfolgt Ende Februar bis Mitte März, die Reife beginnt im August. Die Kultur ist meist zweijährig.

Hirse wird auf gleichem Boden wie Mais angebaut; die frühe Art wird im März, die rasch wachsende im August gesät und im Dezember geerntet. Der Samen ist ein wichtiges Nahrungsmittel, das Stroh dient als Brennmaterial.

Weizen und Gerste brauchen leichten bis mittelschweren Boden; Weizen ist empfindlich gegen Kochsalz. Wachstum und Reife dauern 5 bis 6 Monate.

Bohnen werden auf schwerem Boden in O.-Ä. angebaut, reifen innerhalb 5 Monaten und sind wichtig als Nahrungsmittel und Viehfutter.

Als Futtergewächse werden hauptsächlich ägyptischer Klee, griechisches Heu, Luzerne und Lupine, mit geringen Kosten angebaut; sie werden abgeweidet oder mehrmals geschnitten und im Frühjahr in den Boden gepflügt.

Sesam ist wichtig als öllieferndes Gewächs; der ausgepreßte Samen dient als Nahrungsmittel, der Stengel als Feuermaterial.

Gemüse aller Art, namentlich Zwiebeln und Gurkengewächse, werden in großem Umfange in Gärten und auf dem Nilufer gezogen, vielfach in Verbindung mit Palmenkultur.

Die Dattelpalme stellt geringe Ansprüche an den Boden bei genügender Wässerung und liefert einen großen Teil der Volksnahrung. 1912 wurden in Ägypten 6 Millionen Bäume gezählt.

Über den Umfang der wichtigsten Kulturgewächse nach Anbaufläche gibt die folgende Übersicht Aufschluß:

Ackerbaujahr <sup>1)</sup> :	97/98 1000 ha	02/03 1000 ha	05/06 1000 ha	08/09 1000 ha	11/12 1000 ha
Mais . . . . .	636	731	744	754	770
Baumwolle . . .	471	560	633	670	724
Futtergewächse.	663	666	693	711	696
Weizen . . . . .	501	519	512	525	539
Bohnen . . . . .	261	260	244	238	218
Gerste . . . . .	212	225	191	178	153
Reis . . . . .	89	81	93	114	95
Zuckerrohr . .	34	31	21	18	21

Der Verbrauch an Nährstoffen<sup>2)</sup> ist bei den einzelnen Kulturen sehr verschieden:

	Kalk kg/ha	Pottasche kg/ha	Phosphorsäure kg/ha	Stickstoff kg/ha
Baumwolle . . . . .	27	44	21	58
Mais . . . . .	16	71	34	65
Zuckerrohr . . . . .	152	638	94	272
Weizen . . . . .	18	38	25	47
Bohnen . . . . .	28	64	33	128

Dagegen beträgt die Menge der durch eine Beckenflutung von 1 m mittlerer Höhe dem Boden zugeführten Nährstoffe bei einem Gesamtniederschlag an Nilschlamm von 8 Tonnen pro ha:

Kalk kg/ha	Pottasche kg/ha.	Phosphorsäure kg/ha	Stickstoff kg/ha
245	42	20	11,5

<sup>1)</sup> Vom 1. September bis 31. August.

<sup>2)</sup> Siehe Magnus, Ägypten S. 172.

Es ist auffällig, wie stark Zuckerrohr das Land erschöpft, zumal es meist zwei Jahre hintereinander geerntet wird, während Baumwolle das Land verhältnismäßig wenig beansprucht. Da aber Baumwollland höchstens  $\frac{1}{3}$  der Menge an rotem Wasser wie Beckenland erhält und außerdem meist zweimal innerhalb eines Jahres bebaut wird, ergibt sich auch hier ein starkes Mißverhältnis zwischen Verbrauch und Zuführung von Nährstoffen.

Das allgemein übliche Mittel zur Erhaltung eines nährstoffreichen Bodens ist eine geeignete Fruchtfolge. Unschätzbar ist die Wirkung von Leguminosen, die Stickstoff aus der Luft binden; soweit sie als Weide dienen, wird ihre Wirkung durch Zuführung tierischen Düngers ergänzt. Auf Beckenland pflegen Weizen, Gerste und Klee auf dem Hauptteil der Flächen sich abzulösen. Auf Rieselland wird in der Regel jedes dritte Jahr Baumwolle angebaut, doch hat der hohe Ertrag dieser Ernte viel zu zweijährigem Wechsel geführt, sodaß man jetzt im Riesellandgebiet mit 40 % Landfläche unter Baumwolle rechnen kann. Die gewöhnliche Fruchtfolge<sup>1)</sup> ist auf Baumwollland

bei gutem Boden

- |                 |                 |         |           |
|-----------------|-----------------|---------|-----------|
| 1. Jahr Winter: | Klee od. Weizen | Sommer: | Mais      |
| 2. Jahr „       | Brache          | „       | Baumwolle |

bei armem Boden

- |                |        |         |                   |
|----------------|--------|---------|-------------------|
| 1. Jahr Winter | Klee   | Sommer: | Baumwolle         |
| 2. Jahr „      | Klee   | „       | Mais              |
| 3. Jahr „      | Gerste | „       | Reis oder Brache. |

Auf Zuckerland ist die übliche Folge

1. Jahr Zuckerrohr
2. Jahr Zuckerrohr
3. Jahr Klee, dann Mais
4. Jahr Weizen, dann Mais oder Brache.

Vor Errichtung der Assuan-Sperre mußte vom Wasserbauingenieur in wasserarmen Jahren in die Fruchtfolge durch Unterdrückung eines Teiles der Mais- und Reiskultur eingegriffen werden, um die wertvollere Baumwollernnte zu retten.

Die Düngung spielt auf Beckenland eine untergeordnete Rolle, da sie nur den Unterschied zwischen verschiedenen befluteten Teilen des Beckens auszugleichen hat, während sie auf Rieselland eine ungeahnte Bedeutung erlangt hat. Ägypten ist in bezug auf Düngemittel in einer wenig günstigen Lage. Stalldünger ist bei der sehr beschränkten Viehhaltung des Eingeborenen nur in bescheidenen Mengen vorhanden und muß meist als Brennmaterial dienen. Die natürlichen Lagerstätten von Düngstoffen,

<sup>1)</sup> Siehe Cartwright in Textbook of Eg. Agr. II S. 345; Agr. Journal of Eg. vol. I S. 31.

namentlich die nährstoffreiche Erde von Ruinenstädten, werden bei dem gewaltig wachsenden Bedarf bald erschöpft sein und kommen wegen der hohen Transportkosten nur für die nahegelegenen Gebiete in Frage. Die Einfuhr an künstlichen Düngemitteln ist infolgedessen von 1909 bis 1912 um das vierfache auf 12,6 Mill. M. gestiegen. Die Preise für die verwertbaren Nährstoffe betragen dabei für 1 kg Natron(Chili)salpeter 0,30 M., Stickstoff aus Ammoniumsulfat 1,50 M., Phosphorsäure aus Superphosphat 0,45 M.; Kalk ist im Lande billig zu haben. Die Kosten der künstlichen Düngemittel, die in der Nährstoffmenge der oben angeführten Beckenbewässerung entsprechen würden, beträgt demnach an Materialkosten etwa 60 M. pro Hektar. Tatsächlich würde eine gleichwertige Düngung natürlich viel höher zu stehen kommen, denn es ist mit Verlust infolge ungleichmäßiger Ausstreuung der Düngemittel und Fortspülung beim Rieseln zu rechnen, vor allem ist aber die Landbevölkerung in der vollen Ausnützung und zweckmäßigen Zusammenstellung künstlicher Düngemittel viel zu wenig erfahren. Die landwirtschaftlichen Gesellschaften, besonders die Khedivial Agricultural Society, pflegen deshalb die Sammlung von Erfahrungen auf diesem Gebiete in besonderem Maße<sup>1)</sup>. Vorläufig zehrt die Landwirtschaft auf Rieselland noch von dem natürlichen Reichtum des Bodens, was neben anderen Ursachen in dem starken Ertragsrückgang der Flächeneinheit im Baumwollanbau zum Ausdruck kommt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man unter diesen Umständen einmal darauf zurückkommt, auch auf Rieselland unter Verzicht auf eine Sommerernte in Zeitabständen von vielleicht 3 Jahren eine Beckenwässerung vorzunehmen, und es empfiehlt sich, diesen Umstand bei der Umwandlung von Beckenland in Rieselland nicht unbeachtet zu lassen.

Über Anbaukosten und Ertragswert auf gutem Boden macht Dudgeon die folgenden Angaben:<sup>2)</sup>

Auf Rieselland	Anbaukosten	Bewässerung <sup>3)</sup>	Rohertrag	Reinertrag
	M/ha	M/ha	M/ha	M/ha
Baumwolle O.-Ä. . .	290	76	1060	770
„ Delta-Süd .	380	126	1150	770
„ Delta-Nord	268	51	885	617
Zuckerrohr O.-Ä. . .	505	101	1215	710
„ Delta-Süd .	530	152	2020	1490

<sup>1)</sup> Jahrb. der Khed. Agr. Soc. 1909 S. 159.

<sup>2)</sup> Siehe Willcocks-Craig, Eg. Irr. S. 782.

<sup>3)</sup> Wasserzuleitung auf die Felder vom öffentlichen Kanal ab; dieser Betrag ist in den Anbaukosten mit enthalten.

Auf Rieselland	Anbaukosten	Bewässerung	Rohrertrag	Reinertrag
	M/ha	M/ha	M/ha	M/ha
Mais . . O.-Ä. . .	126	25	350	224
„ . . Delta-Süd .	157	—	415	258
„ . . Delta-Nord	121	—	293	172
Weizen . Delta-Süd .	172	25	468	296
Gerste . . Delta-Nord	121	10	294	173
Klee . . Delta-Süd .	132	101	555	423
Sommerreis Delta-Nord	—	—	—	277
Flutreis . Delta-Nord	—	—	—	101

Auf Beckenland	Anbaukosten	Rohrertrag	Reinertrag
	M/ha	M/ha	M/ha
Weizen . . . . .	58	410	352
Bohnen . . . . .	45	293	248
Klee . . . . .	25	253	228

Auf armem Boden sinkt der Rohrertrag bis auf die Hälfte dieser Durchschnittswerte. Getreidekultur ist auf Beckenland ertragreicher als auf Rieselland, während Klee auf Rieselland größeren Gewinn bringt. Zu beachten ist dabei noch die Einordnung in die Fruchtfolge; z. B. gestattet Zuckerrohr bei hohem Erntewert keine zweite Bestellung im gleichen Jahre und erschöpft den Boden. Bei der oben angeführten Fruchtfolge auf gutem Boden in Delta-Süd würde sich der mittlere Reingewinn pro Jahr bei Baumwolland auf 694, bei Zuckerland auf 580 M. pro Hektar belaufen.

Der Ertrag an Baumwolle bildet in der letzten Zeit den Gegenstand ernster Sorge, weil der durchschnittliche Ertrag der Flächeneinheit zeitweise ganz erheblich zurückgegangen ist. Bis Mitte der neunziger Jahre hielt er sich auf 600 kg/ha, seitdem hat er sich wie folgt verändert:

1897: 600 kg/ha, 1900: 504, 1903: 490, 1906: 407, 1909: 440, 1912: 480.

In den letzten Jahren hat sich der Ertrag etwas gesteigert dank der Ausdehnung der Baumwollkultur nach Vergrößerung der Assuansperre; regelmäßig steigt der Durchschnittsertrag bei Erschließung neuen Baumwollandes, um nach wenigen Ernten auf das Maß der anderen Gebiete zurückzugehen. Mit diesem Ertrage steht übrigens Ägypten noch hoch über den anderen Ländern. Amerika bringt es nicht über 250 kg/ha, Indien

in Ausnahmefällen bis auf 200 kg/ha. Dabei steht ägyptische Baumwolle an Güte in erster Reihe. Immerhin nahm die mit diesem Ertragsrückgang verbundene Bodenentwertung einen solchen Umfang an, daß 1907 ein besonderer Ausschuß zur Untersuchung der Ursachen eingesetzt wurde. Da es jedoch an landwirtschaftlichen Versuchsstationen und regelmäßigen wissenschaftlichen Beobachtungen fehlte, konnte er zu keinem abschließenden Urteil kommen und nur folgendes als wahrscheinliche Ursachen anführen:

1. Allgemeine Erschöpfung des Bodens infolge zu häufigen Anbaues von Baumwolle und ungeeignete Fruchtfolge bei ungenügender Düngung.
2. Änderung der meteorologischen Verhältnisse, jedenfalls von geringem Einfluß.
3. Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten.
4. Entartung der Baumwollsorten, die nach den bisherigen Erfahrungen je etwa 15 Jahre lang ertragreich sind. Hierbei trägt die orientalische Gleichgültigkeit des Fellachen viel Schuld, weil er kritiklos den Samen von der Entkörnungsanstalt kauft, während ein großer Teil der amerikanischen Farmer jährlich die besten Kapseln vor der Haupternte sammelt und zur Samengewinnung absondert<sup>1)</sup>. Durch kostenlose Abgabe guten Samens sucht die Regierung diesem Übelstand zu begegnen.
5. Zu große Hebung des Grundwasserspiegels infolge Überwässerung und mangelhafter Entwässerung. Das Grundwasser soll nach den oben angeführten Untersuchungen nicht höher als 2 m unter Oberfläche steigen und erfordert im besonderen die Aufmerksamkeit des Wasserbauingenieurs.

Von grundlegender Bedeutung für Entwurf und Verwaltung der Bewässerungsanlagen ist der Wasserbedarf der verschiedenen Pflanzen. Im Winter und zur Flutzeit deckt die verfügbare Wassermenge des Nils den Bedarf reichlich, in der Zeit von März bis Mitte Juli (Flutbeginn) ist dagegen ein sorgfältiger Wasserhaushalt nötig, der maßgebend von der Baumwollkultur bestimmt wird. Baumwollland empfängt bei der Bestellung oder unmittelbar nach der Aussaat eine kräftige Wässerung von 1350 cbm/ha, eine zweite von 850 cbm/ha nach 40 Tagen, eine dritte in gleicher Stärke nach weiteren 25 bis 30 Tagen und dann noch insgesamt 8 Wässerungen von ebenfalls je 850 cbm, davon 7 vor der Hochflut. In der Niedrigwasserzeit Mai bis Juli ergibt sich daraus bei einem mittleren Abstand der Wässerungen von 18 Tagen ein Bedarf pro Hektar von 47 cbm pro Tag oder 0,55 sl. Daß man auch mit viel weniger Wasser Baumwolle ziehen kann,

<sup>1)</sup> Über die amerikanische Anbauweise siehe C. Heine, Die Baumwolle. 1908.

zeigen die interessanten Versuche mit sogenannter Trockenkultur<sup>1)</sup>. Die Saat wird dabei in eine wasserhaltende Erdart eingehüllt, gründlich gewässert und bleibt dann bis zum Flutbeginn, etwa 130 Tage, ohne Wasserzuführung. Wenn der Ertrag bei diesen Versuchspflanzungen höher als bei der gewöhnlichen Anbauweise war, ist ihre besonders geschickte und sorgfältige Behandlung mit in Anrechnung zu bringen; für die Einführung im großen Maßstabe muß diese Anbauweise sich erst auf verschiedenen Bodenarten und eine Reihe von Jahren im Laufe der Fruchtfolge bewähren. Mais bedarf der gleichen Wassermenge wie Baumwolle, wird aber in der Regel mit Rücksicht auf die große verfügbare Flutwassermenge etwas reichlicher gewässert. Reis bedarf mindestens der doppelten Wassermenge wie Baumwolle und wird bei gleicher Stärke der einzelnen Wässerungen doppelt so oft berieselt, im Durchschnitt aller 9 Tage. Bei Flutreis steigt der Bedarf auf das drei- und mehrfache. Zuckerrohr bedarf einer Wässerung aller 20 bis 25 Tage in Stärke von je 1250 cbm/ha oder 0,66 sl/ha. Zur Flutzeit empfängt es 2—3 verstärkte Wässerungen. Diese Verbrauchsmengen beziehen sich auf Delta-Süd; in Mittelägypten ist der Bedarf etwa 30% höher zu veranschlagen.

Als Wasserbedarf des Riesellandes im Ackerbaujahr 1911/12 erhält man daraus für die Niedrigwasserzeit folgende Zusammenstellung:

Baumwolle . . . . .	724000 ha je 0,55 sl . . . . .	398,0 cbm/s
Reis . . . . .	84000 ha je 1,10 sl . . . . .	92,5 cbm/s
Sommermais . . . . .	57000 ha je 0,55 sl . . . . .	31,4 cbm/s
Zuckerrohr . . . . .	21000 ha je 0,66 sl . . . . .	13,9 cbm/s
Rest (Gärten usw.) . . . . .	30000 ha je 1,00 sl . . . . .	30,0 cbm/s
	<u>916000 ha</u>	<u>565,8 cbm/s</u>

Für die in Mittelägypten liegende Riesellandfläche kommt dazu noch ein Zuschlag von 21,2 cbm/s. Dies gibt bei einem Gesamtbedarf von 587 cbm/s für die 916000 ha große, wirklich bestellte Sommerrieselfläche einen Durchschnittsbedarf von 0,64 sl/ha und für die gesamte Riesellandfläche Ägyptens von 1650000 ha einen Durchschnittsbedarf von 0,355 sl/ha. Dazu tritt noch der Wasserverlust im Fluß und in den öffentlichen Kanälen, sodaß man das beim Eintritt in das ägyptische Wirtschaftsgebiet gemessene N.W. des Nils mit einem Satze von etwa 0,5 sl/ha verteilen kann. Bei den ersten Wasserbauplänen ging man wesentlich höher und nahm 0,825 sl/ha an, ermäßigte diesen Satz aber 1887 auf 0,65 sl/ha. Die Suez-Kanal-Kommission legte 0,55 sl/ha zugrunde und der mit der Errichtung der Assuansperre verknüpfte Wasserhaushaltplan 0,467 sl/ha Reinverbrauch und 0,147 sl/ha Verlust in den Zuleitern, wobei neben einem erheblichen Sicher-

<sup>1)</sup> Siehe Agr. Journ. of Eg. 1912 vol. II S. 84.

heitsüberschuß noch mit der Sommerbewässerung einiger Teile des südlichen Oberägypten durch Pumpenanlagen gerechnet wurde.

Es ist von Interesse, den durchschnittlichen Wasserverbrauch in einigen anderen Ländern anzuführen<sup>1)</sup>. In der Lombardei rechnet man für das Hektar Wiesenland 1 sl, Reisland 2,5 sl, sonstige Kulturen 0,6 sl, in Mittelspanien 0,75 bis 1,0 sl bei gewöhnlicher Kultur, Reis bis 2,5 sl, Colorado 0,57 bis 0,71 sl, Indien (Bengal) 0,874 sl, bei Sommerregen bis herab zu 0,25 sl.

Im Winter wird Getreide zur Saatzeit einmal gewässert, dann noch zweimal vom Januar ab. Klee und andere Futtergewächse erhalten bis zu 5 kleine Wässerungen.

Für den Wasserhaushalt konzentriert sich also das Interesse auf die Zeit der Sommerkultur, während die technischen Anlagen der Bewässerung, namentlich die Größenabmessungen, sich nach der Hochflutzeit mit dem gleichzeitigen und verstärkten Bedarf für die Sommer- und die Flutkultur richten. Die Entnahme von Wasser aus den öffentlichen Kanälen ist nur zur Hochwasserzeit und im Winter in das Belieben der Anlieger gestellt, im übrigen an eine regelmäßige Wasserfolge (Rotation) gebunden. Dabei sind die im Bereiche eines Hauptkanals gelegenen Ländereien in mehrere Gruppen geteilt, die im Wechsel zur Wasserentnahme berechtigt sind. Diese Maßregel ist in allen von künstlicher Bewässerung abhängigen Ländern in Übung und geht z. B. in der Lombardei so weit, daß dem einzelnen Grundstück die Wasserentnahme nach Tag und Stunde vorgeschrieben ist. In Ägypten ist die Wasserfolge viel weniger ausgebildet, in der Regel wird eine Teilung der Anliegerfläche in drei Stufen zugrunde gelegt derart, daß bei Baumwollland jedem Anlieger nach 12 Ruhetagen 6 Tage zur Bewässerung freistehen, bei Reisland folgen 4 Wässerungstage auf 5 Ruhetage. Im Fayum muß die Länge der Wasserfolge mit Rücksicht auf den rascher austrocknenden Boden abgekürzt werden und besteht in drei Stufen zu je 4 Tagen oder zwei Stufen zu je 6 Tagen. Bei knappem Wasser werden die Ruhezeiten durch Einschleusen eines allgemeinen Ruhetages nach jeder Stufe zwecks Auffüllung der Kanäle verlängert, oder man geht zur Einteilung in 4 Stufen zu 6 Tagen über. Die Wasserfolge darf nicht über 28 Tage verlängert werden, wenn die Baumwollkultur nicht geschädigt werden soll. Zweck der Einrichtung einer Wasserfolge ist ein sparsamer, genau beaufsichtigter Wasserverbrauch. Ferner wird durch die Anspannung des Kanalwasserspiegels die Wasserzuleitung erleichtert, durch die Absenkung in der Ruhezeit der Grundwasserstand günstig beeinflusst. Auf die Anlagekosten ist die Einführung einer Wasserfolge ohne nennenswerten Einfluß, dagegen verringern sich die Unterhaltungskosten, weil die Wassermengen besser zusammengehalten werden und den Kanal weniger stark verschlammten.

<sup>1)</sup> Siehe Barois, Irr. en Eg. S. 124; Brown, Irr. 3. Kap.



## Kapitel III.

## Die Technik der Beckenwirtschaft.

Die Flutbewässerung, wie sie noch vor 100 Jahren in ganz Ägypten herrschte, ist eine Eigenart des Niltals unter besonderer Ausnutzung des herbstlichen Nilhochwassers. Auch Indien kennt Flutbewässerung in großem Maßstabe namentlich im Gebiet des Indus, doch ist das Wasser dort bei geringer Überflutungshöhe in ständiger Bewegung und dient namentlich der Reiskultur; diese Bewässerungsweise nähert sich also der Flutkultur auf Flutland. Ein Projekt für die Kapkolonie<sup>1)</sup> nähert sich dem ägyptischen Beckensystem, indem es die zeitweise wasserlosen Abläufe durch Dämme sperrt und damit die periodischen Niederschläge zur Verteilung über das freie Land zwingen will.

Die Aufgaben der Beckenwirtschaft sind:

1. Eine gründliche Durchtränkung des Bodens und Erhöhung des Grundwasservorrats in dem Umfange, daß die Winterkultur davon zehren kann.
2. Eine reichliche Zuführung von rotem Nilwasser und Beruhigung dieser Wassermenge in dem Maße, daß sich eine ausreichende Menge Sinkstoff niederschlägt.

Nicht immer und überall ist es möglich, beide Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen; namentlich in wasserarmen Jahren muß man sich damit begnügen, nur der ersten annähernd gerecht zu werden und den Mangel an befruchtendem Sinkstoff durch Düngung zu ersetzen. Die Menge des in den Becken niedergeschlagenen Sinkstoffs war bei Kapitel II zu  $0,8\text{‰}$  angenommen worden, steigt aber bei vorteilhafter Beckenlage bis zu  $1,5\text{‰}$  im Mittel.

Von der gesamten Kulturfäche Ägyptens stehen etwa 520000 ha unter Flutbewässerung; davon entfallen 120000 ha auf die Nilufer und Inseln und sind der eigentlichen Beckenwirtschaft entzogen; ferner werden jetzt innerhalb der Becken noch gegen 60000 ha unter Abschluß gegen die Flut berieselt, sodaß nur 340000 ha wirkliche Beckenfläche übrig bleibt ( $= 15\text{‰}$  der gesamten Kulturfäche Ägyptens). In wachsenden Grade entzieht der Fellache in O.-Ä. Beckenland der Flutung, um in den Genuß der reichen Sommerernte zu kommen, soweit die verfügbare Wassermenge es gestattet, und es besteht die Neigung, einzelne Becken jahrweise ganz von der Flutung auszuschließen, also einen Wechselbetrieb zwischen Flutung und Rieselung einzuführen.

Die Lage und Größe der Becken (Abb. 3 u. 4) steht im engen Zusammenhange mit der Gestaltung der Landoberfläche im Niltal. Im Längsprofil

<sup>1)</sup> Siehe Engineering 1912, S. 157.

beträgt das mittlere Gefälle des Nil von Assuan bis Assiut 1:13000, von Assiut bis zum Delta 1:12000; die Geländeneigung ist von Assuan bis Kene etwa gleich der des Nils, weiter abwärts etwas größer. In der Talrichtung bilden die Becken eine Stufenfolge getrennt durch Dämme, die vom Nilufer bis zum Wüstenrand laufen. Der Fluß ist mit seiner Sohle bis 10 m in das umgebende Land eingeschnitten, während der tiefste Punkt der Talfläche wenigstens noch 5 m über der Fußsohle liegt. Der Hochflutspiegel bleibt nach den örtlichen Verhältnissen in der Höhe der Ufer oder überschreitet sie nicht sehr wesentlich, überragt aber das rückwärts liegende Land erheblich. Der Nildeich liegt 100—300 m vom Steilufer zurück, der anliegende hohe Teil des Landes wird zur Flutzeit berieselt und nimmt bis zu  $\frac{1}{3}$  der Talbreite ein. Bei großer Breite des rückwärts liegenden eigentlichen Beckenlandes trifft man auch hier eine Teilung in zwei Stufen. Das linke Nilufer ist im allgemeinen viel breiter als das rechte und demnach vorwiegend zweistufig in der Querrichtung.

Die Beckengröße ist derartig bemessen, daß auch die höchsten Stellen noch  $\frac{3}{4}$  m mit Wasser bedeckt werden; sie schwankt nach der Landgestaltung zwischen 400 und 16000 ha mit einem Mittelwert von etwa 1500 ha. Der Durchschnitt ist im Süden von O.-Ä. kleiner als im Norden und auf dem rechten Ufer kleiner als auf dem linken. Große Becken haben den Vorteil verhältnismäßig geringerer Dammlänge, dafür haben sie folgende Nachteile: 1. Der erhöhte Wasserstandsunterschied benachbarter Becken erfordert höhere Dämme und ist bei der Herstellung der Dämme aus Humusboden und dem Mangel einer Bewachsung bedenklich, zumal auch der höhere Wellenschlag die Bruchgefahr vermehrt. Dabei wächst im Falle eines Dammbrechens die Belastung der unten anschließenden Becken, auf die sich die freigewordene Wassermenge verteilt, und die Schwierigkeit, aus den oberhalb liegenden Becken Ersatzwasser zu bekommen. 2. Mit der Vergrößerung der Becken wächst etwa im gleichen Maße der Mehrbedarf an Wasser und die entsprechende Querschnittsbemessung der Zuläufe und Ausläufe.

Die Bewässerung der Becken wäre am einfachsten durch Stichkanäle senkrecht zum Ufer zu erreichen. Seit alter Zeit hat man es aber als vorteilhafter gefunden, stets mehrere Becken zu einer Gruppe oder Kette zusammenzufassen und deren Bewässerung durch einen gemeinsamen Zulaufkanal zu bewirken; daneben können für einzelne Becken direkte Zuläufe vom Nil in Jahren starker Hochflut noch zu Hilfe kommen, was übrigens bei Deichbruch oft unfreiwillig geschieht. Letzteres Ereignis braucht noch keine Katastrophe zu bedeuten, abgesehen von der Vernichtung eines Teils der Hochlandkultur, weil der Wasserstandsunterschied zwischen Nil und Becken in der Regel nicht sehr erheblich ist und eine reichliche Zuführung von rotem Wasser eintritt, die z. B. bei einer Überschwemmung

des Koschescha-Beckens im Jahre 1887 zu einem außergewöhnlich hohen Ernteertrage führte. In der Talrichtung vereinigt man selten mehr als 10 Becken zu einer Kette unter möglicher Ersparnis an Spiegelhöhe gegenüber dem Nil. Gemäß der erwähnten Breite der bebauten Nilufer besitzt das linke Ufer vorwiegend doppelte Beckenkettensysteme, das rechte Ufer einfache, wie das in Abb. 3 und 4 schematisch gezeichnete Beispiel angibt. Jede Kette hat ihren eigenen Zulauf, während der Auslauf bei doppelten Ketten in der Regel vereinigt wird. Anfang und Ende einer Kette werden meist durch eine Talverengung bestimmt. Wichtig ist es, die in der Talrichtung aufeinanderfolgenden Ketten miteinander in Verbindung zu setzen, was auf dem rechten Ufer nicht immer möglich ist, weil das Gebirge hier oft auf lange Strecken unmittelbar an den Fluß herantritt. Wenn nämlich bei schwachem H. W. der Zufluß einer Kette nur für die unteren Becken ausreicht, kann man das Abwasser der vorhergehenden Kette zu Hilfe nehmen; das hochliegende Land ist oft ganz auf den Zufluß von oben angewiesen, der mit einem Düker unter dem Zulaufkanal der eigenen Kette durchgeführt wird. Zwar kann in diesem Falle nur klares Wasser zugeführt werden, doch hilft über den Mangel an Sinkstoff in einem einzelnen Jahre der natürliche Reichtum des Bodens hinweg. Das unterste Becken jeder Kette ist stets größer als die übrigen, weil es im Falle eines Deichbruchs zwischen den Becken das Überschußwasser aufnehmen muß; infolgedessen liegen die Ortschaften innerhalb des letzten Beckens auch verhältnismäßig höher über dem üblichen Höchstwasserspiegel als sonst.

Der Verlauf der Beckenflutung gliedert sich in drei Abschnitte mit folgenden Durchschnittszeiten: Füllung vom 10. August bis 21. September (42 Tage), Wasserstillstand vom 22. September bis 5. Oktober (14 Tage), Leerung vom 6. bis 26. Oktober (20 Tage). Im Süden beginnt die Flutung einige Tage früher als im Norden. Nach Möglichkeit erhält zunächst das hochgelegene, für Flutberieselung hergerichtete Land reichlich Wasser, dann werden die Becken von unten anfangend bis auf eine Höhe von etwa 30 cm unter den vollen Wasserspiegel gefüllt. Wo die örtlichen Verhältnisse es gestatten, öffnet man mit dem Zulauf gleichzeitig auch den Auslauf und läßt das Wasser von rückwärts in die Kette gelangen, bis Gegenstrom entsteht. Ein vollständiger Wasserstillstand soll in einer gut angelegten Kette nicht eintreten, sondern nur ein dauernder schwacher Zufluß bei gleichzeitigem Abfluß. Bei der Leerung der Kette werden alle Übergänge zwischen den Becken in dem Umfange geöffnet, daß der Zufluß der einzelnen Becken von oben her stärker ist als der Abfluß, sodaß sie noch einige Tage auf ihren Höchstwasserspiegel kommen. Die Nilufer und Inseln sind bei schwachem H. W. der Trockenheit ausgesetzt; liegt oberhalb eine reichlich wasserhaltende Kette, so kann man dem in mäßigen Grenzen dadurch begegnen, daß man den Ablauf dieser Kette plötzlich weit öffnet und eine Flutwelle im Fluß erzeugt.

Die Leistungsfähigkeit der Bodenzuläufe ist bei den neuen Verbesserungsarbeiten auf 2,755 sl/ha oder 238 cbm/Tag festgesetzt; für das hochgelegene, zu berieselnde Land rechnet man außerdem 0,826 sl/ha. Diese Abmessung gibt eine mittlere Überflutung von 1 m in 42 Tagen, 0,75 m in 31 Tagen. Während der Überflutung beträgt der Wasserverlust an Verdunstung täglich 8 mm; die Versickerung schwankt zwischen 30 und 50<sup>0/0</sup> des wasseraufnahmefähigen Bodens und beträgt im Mittel 7 mm/Tag. Insgesamt werden dem Nil jetzt 6 Milliarden cbm durch die Beckenbewässerung entzogen, wovon knapp die Hälfte an den Nil zurückgelangt. Dafür erfolgt die Beckenleerung doppelt so rasch als die Füllung und spiegelt sich in der Abflußkurve des Nils in der Weise wieder, daß diese bei Assuan steil steigt und fällt, während sie bei Kairo auf die Dauer zweier Monate in die Länge gezogen ist.

Die Höhenlage der Zuflußkanäle ist ein nach alter Erfahrung gewonnenes Maß und wird berechnet nach dem gleichzeitigen Nilspiegel bei Assuan; im Mittel erreicht das H.W. die Schwelle der Einläufe bei einem Assuan-Wasserstand von 8 bis 9 Ellen<sup>1)</sup>. Liegt die Kanalsohle zu tief, so tritt leicht eine Schädigung der noch in den Becken stehenden Sommerkultur ein, namentlich aber wird in diesem Falle ein größerer Teil des am Boden der Nilwasserrinne fließenden Wassers mit stärkerem Sandgehalt herbeigezogen, sodaß man von sandigen Kanälen spricht.

Die Unterhaltung der Beckenbewässerungsanlagen erfolgt seit alter Zeit durch zwangsweises Aufgebot der Bevölkerung unter Leitung staatlicher Ingenieure.

Die grundsätzlich einfache Art der Beckenbewässerung ist neben der Einführung der Rieselung der Gegenstand umfangreicher Verbesserungen in der letzten Zeit gewesen. Zwar an der gesamten Anlage der Beckengruppen ist ohne große Schwierigkeiten mit den Grundbesitzern wenig zu ändern, und die Verbesserungen erstrecken sich deshalb auf die folgenden Punkte.

1. In früherer Zeit war es mit wenigen Ausnahmen üblich, die Einläufe und Ausläufe am Nil und die Übergänge zwischen den Becken einfach als Dammlücken anzulegen, die nach Bedarf alljährlich durch einen Erd- oder Steindamm geschlossen werden. Diese Arbeit ist mit einem großen Materialaufwand verbunden und läßt sich nicht immer mit ausreichender Sicherheit ausführen, insbesondere ist es schwierig, die gleiche Stelle innerhalb derselben Flutzeit zu öffnen und nochmals zu schließen oder umgekehrt. Durch Anlage fester Wasserregler in Form von Brückenwehren ist hierin in weitem Umfange Wandel geschaffen worden. Namentlich die Beckeneinläufe sind hier besonders zu bedenken. Die alten Ägypter entnahmen das Wasser

---

<sup>1)</sup> Stimmt nicht mit der Flußtiefe überein.

dem Fluß mit Vorliebe an Stellen schwacher Strömung oder aus Nebenarmen, wo die Sandführung des Wassers gering ist. In der arabischen Zeit hat man diese Bauart verlassen und die Einläufe an Stellen starker Strömung und großer Wassertiefe verlegt; sie liegen namentlich in der tangentialen Richtung von Kurven oder bei geradem Fluß unter sehr spitzem Winkel. Die Einlaufköpfe sind dabei dem Angriff der Strömung besonders ausgesetzt, und da die Wassergeschwindigkeit im Kanal gegenüber der Geschwindigkeit des Flusses an der Entnahmestelle sich erheblich verringert, sind umfangreiche Sinkstoffablagerungen innerhalb des Kanales und dementsprechende Unterhaltungskosten die Folge. Bei der Anlage fester Regler rückte man an Einläufen mit dem Bauwerk einige hundert Meter vom Fluß zurück, um es vor Unterspülung zu sichern, mit dem Erfolg, daß nunmehr die vor dem Einlaufregler liegende Strecke besonders stark verschlammte. Man kommt infolgedessen mehr darauf zu, den Kanaleinlauf so zu verändern, daß die Wassergeschwindigkeiten im Fluß und im Kanal möglichst übereinstimmen und baut die Einläufe mit Aufwendung höherer Kosten unmittelbar an den Fluß.

2. Beim Ausbau des Kanalnetzes im Beckengebiet lassen sich erhebliche Verbesserungen erzielen. Es genügt nicht, den Zulaufkanal bis zum ersten oder zweiten Becken zu führen und dann das Wasser sich in den Becken verteilen zu lassen oder den Zulaufkanal, der gleichzeitig dem Ablauf dient, auf dem Talwege durch alle Becken zu führen. In diesen Falle findet der Übergang vom Kanalprofil zum offenen Beckenwasser und damit der stärkste Niederschlag an Sinkstoffen an den tiefsten Stellen statt, die ohnehin durch den hohen Wasserstand begünstigt sind; gleichzeitig verursacht der Kanal infolge starker Verschlammung hohe Unterhaltungskosten und ist für die folgende Beckenleerung, auf deren raschen Verlauf besonderer Wert gelegt wird, nur beschränkt leistungsfähig. Die Hochlandbebauung bedarf in diesem Falle langer Zulaufgräben, soweit sie nicht einen besonderen Zuleiter besitzt. Zweckentsprechender ist die in Abb. 3 gestrichelt ange deutete Anordnung des Zulaufkanals, die sich auf der Grenze zwischen Beckenland und Hochland oder an der Trennungsstelle zwischen parallelen Beckenketten hält, vom Becken selbst durch einen Damm abgeschlossen ist und nach jedem einzelnen Becken einen Stichkanal besitzt. Die Anlagekosten sind bei dieser Kanalführung höher, weil ein besonderer Ableiter auf dem Talweg des Geländes nötig ist und weil Regler zwischen Zuleitungskanal und Becken anzulegen sind. Die Unterhaltungskosten stellen sich nicht höher, weil während der Füllung der Becken die Übergänge zwischen den Becken geschlossen bleiben und die Kanalverschlammung eingeschränkt wird. Vorteilhaft ist dafür die Zuführung des roten Wassers in der Weise, daß zunächst das Hochland Wasser erhalten kann, während die auf dem Tiefland liegende Sommerkultur ausreifen kann. Die Wasserzuführung nach den

Becken erfolgt an jedes einzeln und gestattet infolgedessen größere Unabhängigkeit zwischen den Becken, außerdem geschieht der Profilwechsel zwischen Kanal und Becken auf dem höchstgelegenen Teil des Beckens. Endlich kann die Wasserabgabe an die unterhalb liegende Kette unter viel günstigeren Bedingungen erfolgen, weil man nicht auf die Leerung der ganzen Kette zu warten braucht; es ist sogar möglich, rotes Wasser an die nächste Kette abzugeben. Für den erwähnten Wechselbetrieb zwischen Flutung und Rieselung ist diese Kanalanlage besonders vorteilhaft, die sich auch bei einer Umwandlung des Beckenlandes in reine Rieselkultur gut verwenden läßt.

3. Eine gründliche Abhilfe der Wasserschwierigkeit bei Beckenland besteht in der Anlage von Wehrbauten, die die Flut in wasserarmen Jahren auf die gewünschte Höhe am Einlauf hinaufdrücken. Diese Maßregel ist insofern von zweifelhaftem Wert, als sie zu unerwünschter Sinkstoffablagerung im Fluß oberhalb des Wehres führt. Die Kosten dieser Verbesserung sind sehr bedeutend, denn neben dem Wehr ist noch ein großer Parallelkanal zum Nil anzulegen, damit der Nutzen wenigstens mehreren Ketten zugute kommt, und gleichzeitig ein entsprechender Ablaufkanal, wenn man nicht das Abwasser jeder Kette mit dem Hauptkanal kreuzen lassen will. Bei gründlicher Durchführung der früher angegebenen Verbesserungen und einem geordneten Wassermeldedienst ist es in weitgehendstem Grade möglich, das Beckenland stets ausreichend mit Wasser zu versorgen. Die Kosten einer Wehranlage rechtfertigen sich nur, wenn sie als Vorstufe zum Übergang in die Rieselwirtschaft dienen soll, wie dies beim Wehr von Esne der Fall ist.

Über die Kosten einer Beckenanlage lassen sich in Ägypten keine zuverlässigen Angaben machen, weil die vorhandenen Bauten zum großen Teil aus alter Zeit stammen. Die Unterhaltung eines guten Beckengebietes beläuft sich auf 5 bis 10 M/ha, wobei die Billigkeit der einheimischen Arbeitskraft zu beachten ist. Die Verteilung der Unterhaltungskosten auf die verschiedenen Arbeiten schwankt in weiten Grenzen, z. B. die Kanalreinigung zwischen 20 und 70 %.

#### Kapitel IV.

### Die Technik der Rieselbewässerung.

Die ganzjährige Rieselbewässerung des Landes hat bereits zur Römerzeit eine große Rolle gespielt, ist aber verloren gegangen und vom Vizekönig Mehemet Ali seit 1820 neu eingeführt worden. Sie hat lange unter mangelhaften technischen Anlagen gelitten und ist erst seit etwa 1880 mit dem Beginn der englischen Verwaltung zweckmäßig ausgebaut worden. Durch Anlage der Assuansperre, die den verhältnismäßig klaren Rest des Nilhochwassers auffängt und als Zuschuß zum N. W. des Nils im Sommer

speichert, ist es möglich geworden, die Riesellandfläche zur Zeit auf 1700000 ha auszudehnen. Das gesamte Delta ist berieselt, ferner das Fayum, der zwischen Ibrahimije-Kanal und Bahr Jusef gelegene Teil in Oberägypten und der größte Teil der unterhalb davon gelegenen Provinz Gise auf beiden Ufern des Nils. Bei dem Übergang von der Beckenwirtschaft zur Rieselung war vor allen Dingen nötig: 1. die Anlage eines genau abgemessenen Netzes von Zulauf- und Ablaufkanälen mit festen, leicht verstellbaren Reglern und 2. ein streng geordneter Wasserhaushaltplan namentlich für die Sommerszeit.

Der Wasserbedarf für die Rieselung ist bei Besprechung der Landwirtschaft bereits für die Riesellandfläche zusammengestellt. In der Sommerszeit rechnet man für das Delta danach auf 1 cbm/s etwa 1400 ha wirklich bestelltes Baumwolland oder höchstens 700 ha Reis, in Oberägypten etwa 1100 ha Baumwolland. Zucker braucht im südlichen Oberägypten bis zur doppelten Wassermenge des Baumwollandes im Delta und zur Gewinnung von Zuckerland (Kom Ombo) sogar das drei- und vierfache. Da der Nil bei schwachem Sommerwasser unter 400 cbm/s am Deltawehr sinkt und ausnahmsweise sogar auf 250 cbm/s, muß die Differenz gegen den jetzigen Riesellandbedarf von annähernd 200 cbm/s von der Assuansperre gedeckt werden. Der Bedarf für die Umwandlung von ganz Ägypten in Rieselland, ausgenommen die Inseln und Nilufer, wird auf noch weitere 200 bis 300 cbm/s auf die Dauer von 100 Tagen geschätzt, sodaß eine gesamte gespeicherte Wassermenge von etwa 5 Milliarden cbm nötig ist. Die Assuansperre in ihrer ersten Ausführung konnte 900 Millionen cbm im Frühjahr abgeben und ist bei ihrer Erhöhung im Jahre 1912 auf 1,94 Milliarden cbm Nutzleistung vergrößert worden. Die Verwendung der ersten Wassermenge verteilt sich wie folgt: 465 Millionen cbm für die Umwandlung von 190 000 ha Beckenland in Rieselland, 205 Millionen für die Bewässerung von 80 000 ha Zuckerland im südlichen Oberägypten, der Rest für verbesserte Wasserversorgung des Fayums und des Deltas. Die Vergrößerung der Sperre dient der Ausdehnung der Zuschußwasserzeit von 75 auf 100 Tage unter gleichzeitiger verstärkter Bewässerung der vorhandenen Rieselgebiete, die noch oft unter Wassernot zu leiden hatten, und der Erschließung von 400 000 ha kulturfähigen Landes im nördlichen Delta<sup>1)</sup>. In der Flutzeit soll alles Rieselland sich bei richtig angelegtem Bewässerungssystem unter Kultur befinden, sodaß die Fassungskraft des Kanalnetzes auf das zwei- bis dreifache der Sommerwassermenge zu bemessen ist. Wichtig ist besonders der Zeitpunkt, an dem die Maiskultur zum ersten Male bewässert wird und nur bei strenger Aufsicht keine Störung in der Wasserabgabe eintritt. Im Winter ermäßigt sich die Wasserabgabe auf etwa die Hälfte der Sommerwassermenge, und

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1913, S. 57.

in den Monaten Dezember und Januar pflügt man die Kanäle zum Zweck der Reinigung zeitweise ganz abzusenken. Wenn auch in der Flutzeit das ganze Rieselland besonders stark bewässert wird, beläuft sich die für das gleichgroße Beckenland erforderliche Wassermenge doch mindestens auf das dreifache. Die Einführung der Rieselwirtschaft hat infolgedessen einen verstärkten Hochwasserschutz nötig gemacht, namentlich im Delta, wo die Landhöhe sich weniger über den Flußwasserspiegel erhebt als in Oberägypten. Gewonnen haben durch diese Steigerung des Hochwasserspiegels viele Inseln, die sonst nur ausnahmsweise vom Wasser erreicht wurden, und das Oberland einer Anzahl von Beckenketten auf dem rechten Nilufer, die des Zusammenhangs mit einer oberhalb gelegenen Kette entbehren.

Das Kanalsystem des Riesellandes ist wesentlich verschieden von dem der Beckenbewässerung. Man legt bei der Rieselwirtschaft lange Hauptkanäle an, die in Unterägypten sich meist unmittelbar ins Meer oder in die Randseen ergießen. Diese Vereinigung des Wassers in wenigen Hauptsträngen hat ihren Grund in der Schwierigkeit, den Wasserspiegel im Sommer auf die gewünschte Höhe zu bringen. Da in der Regel eine Hebung des Wassers um wenigstens 4 bis 5 m nötig ist, kann man keinen Zufluß aus dem natürlichen Strom anlegen, ohne einen langen, flach abfallenden und tief einschneidenden Oberlauf zu erhalten, der bei der gewöhnlichen Geländeneigung günstigstenfalls auf 30 km Länge 1 m Höhe gewinnt. Dabei schneidet er eine große Landfläche vom Fluß ab und ist stark der Versandung ausgesetzt. Der größte Teil des Rieselwassers wird durch Wehrbauten auf die nötige Höhe gehoben. Diesem Zweck dient das Deltawehr unterhalb von Kairo, das vom Wehr bei Zifta am Damiettearm unterstützt wird und die Berieselung des Deltas beherrscht, und das Wehr von Assiut für das mittlere Ägypten und das Fayum. Diese Punkte der Wehranlagen ergaben sich aus den vorhandenen Beckensystemen. Die Bewässerung von Rieselland durch mechanische Wasserhebung hat in früheren Jahrzehnten eine große Rolle gespielt, als das mangelhaft gebaute Deltawehr versagte; jetzt sind die im westlichen Delta gelegenen großen Dampfpumpen nach der gründlichen Instandsetzung des Deltawahres 1884/87 abgebrochen und an anderer Stelle zur Entfernung von Abwasser wieder aufgebaut worden. Die Wasserhebung durch Maschinenkraft ist in Ägypten bei den hohen Brennstoffpreisen sehr kostspielig und kommt nur dort in Frage, wo sich kein Anschluß an das Rieselnetz erreichen läßt. In der Provinz Gise-Ost (rechtes Nilufer) werden 17 000 ha durch eine Kraftstation versorgt, und ferner befinden sich in Oberägypten im Gebiete des Beckenlandes zahlreiche Hebeanlagen für Zuckerland. In ein neues Stadium tritt die mechanische Wasserhebung, wenn man den Wehrstau zur Erzeugung von Elektrizität heranzieht. Die Anlage des Kanalnetzes hält sich bei der mechanischen Wasserhebung in bescheidenen Grenzen; überhaupt ist die Unab-



hängigkeit des versorgten Gebietes von einem öffentlichen Kanal von Vorteil und ebenso der Umstand, daß die Schifffahrt durch keinen Wehrbau behindert wird.

Das Kanalnetz des Deltas lehnt sich eng an das ehemalige Becken-  
netz an und zeigt infolgedessen mangelhafte Trassierung, namentlich war  
aber die Querschnittsbemessung unsachgemäß. Ohne festen Plan und Rück-  
sicht auf die Landbebauung wurden die Querschnitte im Oberlauf viel zu  
reichlich angelegt und verursachten infolge der eintretenden Verschlammung  
solche Unterhaltungskosten, daß die Unterläufe aus Mangel an Arbeitskräften  
unausgebaut blieben und versumpften. Ein Entwässerungssystem legte man  
zunächst überhaupt nicht an; noch 1890 mußte bei der Speisung des Kanal-  
netzes wegen mangelhafter Entwässerung Beschränkung auferlegt werden.  
Die im Delta besonders schwierige Frage der Entwässerung hat noch  
heute zu keinem endgültigen, klaren Plan geführt<sup>1)</sup>. Der erste, unvollkom-  
mene Ausbau bestand in der Anlage eines Entwässerungsnetzes zweiter  
Ordnung, während die Kanalunterläufe gleichzeitig als Hauptentwässerungs-  
stränge dienen mußten. Die Wirkung der notwendigerweise sehr flach ge-  
neigten Entwässerungsgräben war unter diesen Umständen sehr beschränkt,  
und die Verbindung von Kanal für Zulauf und Ablauf führte oft dazu, daß  
die Entwässerungskanäle auch rotes Wasser mit abführten. Die verbesserte  
Anlage trennte das Kanalnetz für Zuleitung und Ableitung vollständig, wo-  
bei nach den gemachten Erfahrungen etwa ein Drittel des Rieselwassers  
abzuführen ist. Findet, wie bei Reiskultur, nur eine Überspülung des  
Landes statt, so muß der Entwässerungskanal Dreiviertel der Rieselwasser-  
menge aufnehmen. Bei der geplanten Absenkung der Randseen des Deltas  
zu Zwecken der Landgewinnung wird auch die Vorflut für die Entwässe-  
rung verbessert werden, die sich noch weiter vervollkommen läßt dadurch,  
daß man für das oberflächlich abfließende Abwasser und für das Sicker-  
wasser getrennte Ableiter anlegt. Das Sickerwasser wäre dann aus kleineren  
Gebieten an einzelnen Stellen zusammenzuführen und durch Überpump-  
stationen dem Kanal zurückzugeben und damit das flachliegende andere  
System zu entlasten. Diese Methode gestattet noch weitere Verbesserungen,  
wenn es gelingt, größere Landgebiete unter einheitliche Kultur zu bringen  
und damit dasselbe Entwässerungskanalnetz wechselweise beiden Entwässe-  
rungsarten dienstbar zu machen. Der Widerstand gegen diese Trennung  
der Abwässer richtet sich namentlich gegen die Notwendigkeit zahlreicher  
kleiner Überpumpstationen. Die Frage der Entwässerung hat in Unter-  
ägypten erhöhte Bedeutung erlangt, weil mit Vermehrung des ursprüng-  
lichen Staus am Deltawehr von Kote + 14,0 m über M. H. auf + 15,5 m  
große Teile des Deltas überwässert werden und unter zu hohem Grund-

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1913, 14. Februar, 21./28. März, 18./25. April.

wasserspiegel leiden. Am Kopf des Deltas nächst dem Wehr reicht der Kanalwasserspiegel höchstens bis 2 m unter Geländehöhe; dieses Gebiet ist der fruchtbarste Teil Unterägyptens, der auch nicht vom Rückgang im Baumwollertrag betroffen worden ist, wenn auch hier die Hebung des Wassers den Fellachen stark belastet. In Oberägypten erfolgte die Einführung der Rieselwirtschaft im Anschluß an den Bau der Assuansperre und des Assiutwehres, beide 1902 vollendet. Der 1873 angelegte Iprahimije-Kanal wurde als Hauptader von 55 auf 145 cbm/s Leistungsfähigkeit ausgebaut unter gleichzeitiger Anlegung eines neuen Einlaufreglers bei Assiut. Auf 60 km, bis Derut, gibt er kein Wasser ab und teilt sich dort in den unteren, nahe am Nil gelegenen Ibrahimije und den Bahr Jusef, der sich nahe am Wüstenrand hält, das Fayumwasser aufnimmt und den am Wüstenrand gelegenen Beckenstreifen im Umfang von etwa 100 000 ha beflutet. Einige kleinere Regler vermitteln von Derut aus die Bewässerung der nächstgelegenen Gebiete. Von dem Ibrahimije zweigen der Wasserfolge unterliegende Nebenkanäle ab, von denen sich wiederum Verteiler fingerartig in Abständen von 1 km in das Land erstrecken; daran schließen die Feldgräben an, die sich die Fellachen unter Teilung der Ackerfläche in Rechtecke von 30 bis 40 qm mit erhöhten Rändern selbst ziehen. Die Baumwollenfurchen werden dabei bis zur Hälfte unter Wasser gesetzt. Ganz neu ist das Entwässerungsnetz angelegt. Früher dienten nur der Bahr Jusef und der Nil selbst als Vorflut, jetzt ist ein besonderer Hauptstrang, der Mohitdrain, auf der Linie des ehemaligen Paralleldammes zum Nil zwischen den beiden, nebeneinanderliegenden Beckenketten angelegt, der seine Saugfinger zwischen die der Zuleiter streckt; seine Mündung erfolgt in den Behera-Kanal im westlichen Delta, doch besitzt er zur Entlastung mehrere Notauslässe und eine Überpumpstation bei Etsa. Die Bewässerung der am Wüstenrande gelegenen Becken kann dabei nur unter sehr ungünstigen Umständen erfolgen, weil das rote Wasser einen außerordentlich langen Weg zurückzulegen hat und die Ableitung des Beckenwassers die Rieselwirtschaft erheblich stört. Der Ablauf des oberhalb vom Fayum gelegenen Beckenstreifens wird unter dem Ibrahimije-Kanal hinweggedükert; für den in der Provinz Gise gelegenen Beckenstreifen ist ein besonderer Abwasserkanal angelegt, der den Mohitdrain bei Nikla kreuzt (siehe Kap. VI). Dieser Beckenstreifen ist zum Schutz gegen die Wüste angelegt, hat sich aber als entbehrlich erwiesen. Die Zuführung des Wassers auf die Felder erfolgt in Oberägypten ohne besondere Wasserhebung aus den Verteilern mit hochliegendem Wasserspiegel durch Einbau von Röhren, deren Lichtweite im bestimmten Verhältnis zu der versorgten Landfläche steht. Dabei ist die auch im Delta übliche Wasserfolge von 18 Tagen zu 3 Stufen zugrunde gelegt mit der Erweiterung, daß an einzelnen Stellen noch eine Wasserfolge zweiter Ordnung eingeführt ist. Die Anlage des Zuleiternetzes

im freien Zufluß auf die Felder ist in Oberägypten weniger bedenklich mit Rücksicht auf die geringere Schwierigkeit der Entwässerung. Von der Kulturfäche am Ibrahimije entfällt an Bodenfläche auf das Zuleiternetz 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, das Entwässerungsnetz 1,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Die Höhenlage des Kanalnetzes ist von grundlegender Bedeutung und steht auch mit dem Wasserhaushaltplan in enger Beziehung, weil erfahrungsgemäß bei freiem Zufluß leicht mit Wasser Verschwendung getrieben wird. Die vorteilhafteste Lage des Zuleiternetzes wäre diese: Hauptkanal mit gleichmäßigem Wasserstand, Spiegelhöhe etwa 2 m unter Geländehöhe — Nebkanal, wenn in mäßigen Grenzen aus Wasserfolge schwankend, mit Spiegelhöhe bis 50 cm unter Gelände — Verteiler, nur zeitweise wasserführend, mit Spiegelhöhe bis 50 cm über Geländehöhe, sofern eine genaue Beaufsichtigung der Wasserabgabe möglich ist. Bei günstigen Entwässerungsverhältnissen ist eine höhere Lage der Haupt- und Nebkanäle unbedenklich, wenn man es nicht vorzieht, überhaupt das Wasser künstlich zu heben und ein Drainagenetz zu sparen, wie dies im südlichen Delta der Fall ist. Um die Anlage zahlreicher fester Hebeanlagen zu umgehen, ist ein vorteilhafter Ausweg die Beschaffung von schwimmenden Pumpen, die in weitgehendstem Grade den örtlichen Verhältnissen gerecht werden, dem Land die wirklich nötige Wassermenge zumessen und auch für die Überpumpung des Abwassers nutzbar gemacht werden können.

Die Unterhaltung der Anlage für die Berieselung hat sich gegenüber der der Beckenwirtschaft vollständig geändert. Während dort die Bevölkerung zwangsweise zur Zeit des Hochwassers wie auch zur Wiederinstandsetzung im Frühjahr vor der Hochflut ohne Bedenken herangezogen werden kann, weil die Feldarbeit zu dieser Zeit ohnehin ruht, mußte im Rieselgebiet diese Maßregel verlassen werden. Die Unterhaltung mit Ausnahme der Nildeichaufsicht zur Hochwasserzeit ist bezirkswise an Unternehmer vergeben worden und gestattet unter weitgehender Anwendung von Maschinenarbeit eine Abkürzung der Kanalabsenkung zur Reinigung und überhaupt eine sachgemäßere Unterhaltung der Bauanlagen. Die Kosten dafür hat der Staat übernommen, der auch das Wasser in den öffentlichen Kanälen ohne besondere Entschädigungen liefert und durch das Wachstum der Grundsteuern entschädigt wird.

Mit Einführung der Rieselwirtschaft hat die Schifffahrt erhöhte Bedeutung gewonnen, weil durch das Netz der Hauptkanäle dem Lande neue Verkehrswege erschlossen worden sind, die deshalb besonders wichtig sind, weil es in Ägypten an guten Landstraßen mangelt. In Unterägypten wird in wasserarmen Jahren im Sommer alles Wasser in die Kanäle geleitet und damit auch die Schifffahrt auf diese verwiesen. In Oberägypten hat die Schifffahrt auf dem Nil selbst durch den Sommerwasserzuschuß der Assuansperre große Erleichterung erfahren.

In welchem Verhältnis der Aufwand für die Riesellandwirtschaft zu dem Landertrage steht, zeigt die untenstehende Zusammenstellung vom Jahre 1899, vor Wirkung der Assuansperre, bis 1912, nachdem die Assuansperre in ihrer ersten Ausführung zur vollen Wirkung gelangt ist<sup>1)</sup>. Den Nutzen der Assuansperre hat außer dem eigentlichen Rieselland auch das Beckenland Mittelägyptens im Umfang von etwa 120 000 ha.

	1899		1912		Zunahme 1899/1912	
	Fläche ha	Wert Mill. M.	Fläche ha	Wert Mill. M.	Bodenwert Mill. M.	Jahresertrag Mill. M.
Mittelägypten	395 000	480	395 000	2 365	885	118
Fayum . . .	109 000	135	143 000	568	433	25
Gise-Ost . .	16 000	12	18 000	121	109	7
Delta . . .	1 350 000	3 340	1 425 000	7 050	3 710	296
Zusammen	1 870 000	3 967	1 981 000	10 104	6 137	646

#### Aufgewandte Kosten:

	Mill. M.
Assuansperre, erste Ausführung . . .	57
Assiutwehr . . . . .	18
Deltawehr-Stauerhöhung . . . . .	9
Ziftwehr . . . . .	6
Beckenumwandlung Oberägypten . . .	108
Kanalbauten Fayum . . . . .	8
Kanalbauten Delta . . . . .	3
Bewässerungsanlage Gise-Ost . . . .	9
Zusammen	218

Die Kosten der eigentlichen Beckenumwandlung in Oberägypten belaufen sich im Durchschnitt auf 635 M./ha; im Delta sind sie nicht mehr genau nachzurechnen. Der Landwert betrug zur Zeit der Beckenwirtschaft in Oberägypten etwa 3000 bis 4000 M./ha und ist nach Einführung der Rieselung auf etwa das Doppelte gestiegen, während sich der durchschnittliche Jahresertrag von 220 auf 470 M./ha vermehrt hat. Die Unterhaltungskosten des Riesellandes stellen sich in Oberägypten auf etwa 10 M./ha,

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1912, 1. November.

in Unterägypten auf 7 M./ha. Die Kosten für die Wehr- und Kanalbauten im öffentlichen Bereiche hat der Staat ohne besondere Gegenleistung übernommen; für die Herrichtung des übrigen Landes zur Rieselung haben die Ländereien Oberägyptens eine Sondersteuer von jährlich 60 M./ha zu zahlen. Im übrigen hält sich der Staat schadlos an den mit dem Grundwert wachsenden Steuerbetrag, der sich in den Jahren 1902 bis 1905 in einer Steigerung der jährlichen Staatseinkünfte um 60 Millionen M. kennzeichnete.

Der gewaltige finanzielle Erfolg, wie er in den obigen Zahlen zum Ausdruck kommt, macht es begreiflich, daß die Umwandlung alles rieselfähigen Landes nach Möglichkeit beschleunigt wird. Der springende Punkt dabei ist die Beschaffung der nötigen Sommerwassermenge. Die einfachste Lösung dieser Frage ist eine nochmalige Erhöhung der Assuansperre<sup>1)</sup> um etwa 5 bis 6 m. Bei der großen Sicherheit, die man für dieses Bauwerk gewählt hat, ist diese technisch nicht bedenklich und gibt für den Wasserhaushalt die vorteilhafteste Lösung insofern, als die Wassermenge unmittelbar am Beginn des ägyptischen Wirtschaftsgebietes gespeichert wird. Ergänzt werden muß in diesem Falle die Assuansperre noch durch einen Hilfsdamm bei Schellal 5 km oberhalb der Sperrmauer, wo das Becken sonst auslaufen würde. Mit der Unterwassersetzung der Insel Philä hat man sich inzwischen abgefunden. Innerhalb Ägyptens käme noch eine Ausnutzung des Wadi Rayan in Frage, hat aber wenig Aussicht auf Ausbau, weil die Zuführung und Rückleitung des Wassers bei diesem außerhalb des Niltals gelegenen Beckens das bestehende Rieselsystem empfindlich stören würde, und weil die von dieser Depression dem Niltal zurückzugebende Wassermenge nur für das nördliche Ägypten in Frage käme.

Nachdem inzwischen die Erschließung des ägyptischen Sudans, wo eine ebenso große Fläche wie das jetzige Ägypten der Kultur harrt, energisch in die Wege geleitet worden ist, wird man jedenfalls darauf zukommen, diese Bewässerungsfrage gleichzeitig mit der weiteren Berieselung Ägyptens in Verbindung zu bringen<sup>2)</sup>. Dazu bieten sich folgende verschiedene Möglichkeiten: Nach dem Muster der Assuansperre — Auffangung des letzten Hochwassers — läßt sich am Blauen Nil oder am Sobat eine Sperre anlegen, deren Nutzwasser teils direkt, teils nach vorheriger Ausnutzung im Sudan für Ägypten verwendbar ist. Namentlich der Sobat scheint hierfür besonders geeignet, weil er jetzt bereits bei seinem Austritt aus dem Gebirge in ein weites Becken eintritt und dadurch in seinem Ablauf eine starke Verzögerung erfährt. Auch eine Sperrenanlage oberhalb von Khartum am Weißen Nil hat Aussichten auf Verwirklichung,

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1907 und 26 April, und Willcocks, The Ass. Dam and Lake Moeris.

<sup>2)</sup> Siehe The Eng. 1913, 31. Januar.

weil bei der geringen Neigung des Weißen Nils von 1:100000 bereits eine Anlage von geringer Höhe die nötige Wassermenge speichern kann<sup>1)</sup>.

Eine Heranziehung des Bahr el Djebel zur Wasserergänzung bei N.W. ist in doppelter Hinsicht erwogen. Da jetzt das bei Gondokoro abfließende Wasser zum größten Teil in den Stümpfen und Pflanzenbarren der Seddregion verloren geht, könnten durch Herstellung einer verbesserten Wasserablaufrinne dem Nil 300 bis 400 cbm/s erhalten bleiben<sup>2)</sup>. Allerdings bedeutet diese Lösung einen dauernden und jedenfalls sehr kostspieligen Kampf mit der tropischen Pflanzenwelt. Zwecklos wäre es jedenfalls den Bahr el Djebel vor der Vereinigung mit dem Sobat zu sperren, weil die aufgespeicherte Wassermenge nach den bisherigen Erfahrungen beim Anschwellen des Sobat in der Seddregion verloren gehen würde. Aus dem gleichen Grunde würde eine Sperrung an den mittelfrikanischen Seen, die an sich mit geringen Kosten sich ausführen ließe, am Unterlauf des Nils nur ganz verschwindend sich bemerkbar machen. Ein anderer, beachtenswerter Vorschlag betrifft die Anlage eines die Seddregion umgehenden Kanals von Gondokoro nach der Sobatmündung<sup>3)</sup>, der zwar gründliche Abhilfe schaffen kann, dessen Ausführbarkeit in dieser noch wenig bekannten Gegend aber erst noch zu beweisen ist. Bei allen diesen im ägyptischen Sudan gelegenen Sperrenanlagen oder sonstigen Flußverbesserungen ist dabei immer im Auge zu behalten, daß von dem daher gelieferten Sommerwasserzuschuß nur ein Teil das ägyptische Wirtschaftsgebiet erreicht.

## Kapitel V.

### Die Technik der Landgewinnung.

Die Frage der Landgewinnung hat in Ägypten gleichzeitig mit der Ausbreitung der Rieselwirtschaft eine außerordentliche Bedeutung angenommen und erstreckt sich auf verlorenes, wenig ertragreiches Land wie auf überhaupt bisher unbebauten Boden.

Verlorenes Land ist am Jbrahimije-Kanal und am Jsmailije gewonnen worden. In beiden Fällen handelte es sich um die Umgebung hochliegender Teile dieser Kanäle, die durch Hebung des Grundwasserspiegels und Bodenausschwitzungen verdorben worden waren. Die Gewinnung bestand in diesen Fällen in einer leichten oberflächlichen Abwaschung des Bodens und der Anlage eines gut arbeitenden Entwässerungsnetzes. Am Ismailije-Kanal, der am Deltaursprung abzweigt und den Städten Ismailia und Suez Süßwasser zuführt, mußte im besonderen eine Überpumpstation nach dem Suezkanal zur Beseitigung des Sickerwassers ange-

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1913 20. Juni.

<sup>2)</sup> Siehe Petermanns Geog. Mitteilungen 1902 (Schweinfurth).

<sup>3)</sup> Garstin, Rep. upon the Basin of the Upper Nils und The Eng. 1913. S. 163.

legt werden. Wenn beide Gewinnungsversuche zunächst nicht erfolgreich waren, lag es daran, daß man mit dem Anbau von Baumwolle voreilig begann.

Die Gewinnung bisher kulturlosen Bodens ist in Oberägypten bei Kom Ombo im großen Maßstabe in Angriff genommen worden<sup>1)</sup>. In Frage kam in diesem Falle eine sandige, 15 m über dem Hochwasserspiegel gelegene Ebene von 50000 ha, von der vorläufig 12000 ha erschlossen werden sollen. Das flach geneigte Gelände ist zu diesem Zweck in drei in der Höhe um je 1,5 m verschiedene Teile zerlegt worden und erhält sein Wasser aus einer Pumpenanlage am Nil von 3 mal 3 cbm/s Leistungsfähigkeit. Die Hauptaufgabe der Gewinnung ist hier natürlich eine reichliche Zufuhr namentlich an rotem Wasser zusammen mit dem Anbau von Stickstoff bindenden Leguminosen. Nach 3 bis 4 Jahren gestattet dieser Boden die erste Anpflanzung von Zuckerrohr. Die Entwässerung dieses Landes kann sich in bescheidenen Grenzen halten, weil der Boden reichlich Vorflut besitzt und nicht vom Nil in seinem Grundwasserstand beeinflusst wird. Die Zuführung des Wassers von der Hebeanlage zur Verwendungsstelle erfolgt im offenen Kanal, der, über dem Gelände liegend, einen halbkreisförmigen Durchflußquerschnitt besitzt und mit vernietetem Eisenblech gedichtet ist. Diese Wasserzuführung ist wesentlich vorteilhafter als eine Druckrohrleitung direkt zur Verwendungsstelle, weil bei einer Wassergeschwindigkeit von 1 m/s mit einem Druckhöhenverlust von 40 cm/km in der Rohrleitung zu rechnen ist, während der offene Kanal ein Gefälle von höchstens 10 cm/km zu besitzen braucht.

Ganz andere Aufgaben stellt die Gewinnung von Land im nördlichen Delta und erstreckt sich auf das Nachbarland der Seen und diese Seen selbst, mit deren Absenkung man bereits den Anfang gemacht hat. Das hier zu gewinnende Land ist stark versalzt, stellenweise mit einer Kruste von 10 cm Stärke; in 1 m Tiefe beträgt der Salzgehalt noch etwa 1 0/0. Bei einem Salzgehalt von 2 0/0 an der Oberfläche ist noch der Anbau von gewissen Hirsesorten möglich, während Reis höchstens 0,5 0/0 verträgt; diese beiden Pflanzen werden in der Regel im Laufe der Gewinnungsarbeiten als Nebenertrag angebaut, bis eine Probe mit dem Anbau von Klee anzeigt, daß der Boden für die Baumwollbestellung reif ist. Die Gewinnung des Landes besteht hier in der Hauptsache in einer Verminderung des Salzgehaltes und erfolgt durch verschiedene Methoden von Wässerungen; eine bloße Aufbringung guten Bodens, insbesondere durch Zuleitung roten Nilwassers, ist in der Regel erfolglos. Die Entfernung des leicht löslichen Salzgehaltes, an dem Kochsalz den weitaus größten Anteil hat, erfolgt entweder durch Oberflächenwaschung oder durch Sickerwaschung. Im ersteren

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1908, 10. Januar.

Falle wird das Land in Becken von 1 bis 10 ha geteilt, durch die das Wasser mehrmals seinen Weg nimmt; naturgemäß kann dabei nur die oberste Schicht des Bodens entsalzt werden, der durch Ausschwitzungen der Unterschicht leicht wieder in seine alte Unfruchtbarkeit zurückversetzt wird. Bei einer Sickerwaschung spart man an Wasser, zieht aber den Salzgehalt in die tieferen Bodenschichten hinab und läuft Gefahr, bei einer Störung in der Entwässerung binnen kurzem wieder unfruchtbar Boden zu erhalten. Die vorteilhafteste Lösung liegt jedenfalls in der Vereinigung beider Methoden unter zeitlicher Trennung. Nachdem die Oberschicht durch Abwaschung entsalzt ist, erfolgt die Anlage eines tief in den Boden einschneidenden Sickerwassernetzes, die ohnehin für die spätere Gesundheitshaltung des Bodens nötig ist. Da zur Erreichung der nötigen Vorflut sämtliches Wasser am Ausgangspunkt oder am Ende der Waschung künstlich gehoben werden muß, ist ein sorgfältiger Wasserhaushalt hier besonders erforderlich. Allgemein üblich ist die Anlage von 1 bis 2 m tiefen Entwässerungsgräben mit steiler Böschung in Abständen von 25 bis 50 m, die in der Mitte zwischen den Zulaufrippen liegen, während sonst auf Rieselland der Fellache den Entwässerungsgräben gern unmittelbar neben den Zulaufgräben legt. Wenig üblich ist die Verwendung von verdeckten Ableitern, weil das betreffende Material, namentlich Tonröhren, hoch im Preise steht und der Fellache mit der Anlegung einer solchen Entwässerung nicht vertraut ist. Die Staatsdomänenverwaltung hat dazu auf einem 34 ha großen Flächenstück interessante Vergleichsbeobachtungen angestellt<sup>1)</sup>. Diese Fläche hatte einen Salzgehalt von 14% an der Oberfläche und 5% in einer Tiefe von 60 cm und wurde in 3 Teile eingeteilt, von denen I. oberflächlich gewaschen wurde, II. offene Draingräben von 75 cm Tiefe in Abständen von 35 m und III. Tonröhrendrains in 70 cm Tiefe in Abständen von 12 m erhielt; in den letzten Fällen stand das Wasser 25 bzw. 50 cm hoch auf dem Land und wurde bei den offenen Drains durch kleine Erddämme vom Graben abgehalten. Die Waschung dauerte 1400 Stunden und führte zu folgenden Beobachtungen:

	I.	II.	III.
Wasserablaufmenge cbm/Std. . . . .	232	10,4	117
Salzgehalt des Wassers g/l . . . . .	3	44,3	20
Gesamte entfernte Salzmenge t . . . . .	975	632	3320
Kosten der Anlage M/ha . . . . .	135	194	585
„ „ Wasserhebung M/ha . . . . .	130	5,80	65,5

1) Siehe Barois, Irr. en Eg. S. 237.



Die höheren Kosten der Röhrendrainage gegenüber den offenen Gräben werden durch die verbesserte Wirksamkeit reichlich wett gemacht. Dabei ist zu bedenken, daß durch die offenen Entwässerungsgräben 15% des Landes der Kultur entzogen werden; setzt man den Wert des gewonnenen Landes mit 2500 M/ha an, so gibt dies für die offenen Gräben einen Verlust von 375 M/ha, mit denen man die Mehrkosten einer Röhrendrainage mit 20 m Abständen decken kann. Die Röhrendrainage hat dabei noch den Vorteil, daß man ihr Netz mit dem der Wasserzuleiter beliebig kreuzen kann und damit in der Bewirtschaftung des Landes größere Freiheit erhält. Auf billigere Weise kann man sich damit helfen, daß man Faschinenbündel aneinanderlegt und zuschüttet. Die Anlage genügt natürlich nur für einige Jahre und reicht ehestens für die Dauer der Gesundung des Landes, kommt also höchstens für die letzten Ausläufer des Drainagenetzes in Frage. Im übrigen ist eine allzu große Sparsamkeit bei der Anlage des wasserbautechnischen Teiles der Gewinnung nicht am Platze, weil sie von den gesamten Kosten der Gewinnung nur einen kleinen Teil ausmacht. Folgendes Beispiel zeigt die Verteilung der Kosten einer Landgewinnung auf die verschiedenen Arbeiten bei einer Fläche von 1250 ha, freiem Wasserzufluß und Entfernung des Abwassers durch Pumpung<sup>1)</sup>:

Baukosten	M.	Betriebskosten auf 5 Jahre	M.
Kanäle und Drains . . .	130000	Personalkosten. . . . .	76000
Feldeinlässe für Wasser . . .	30500	Wasserverteilung . . . . .	35000
Drainpumpenanlage . . . . .	60000	Wasserhebung . . . . .	69000
Landeinebnung . . . . .	305000	Landbestellung . . . . .	70000
Wohngebäude . . . . .	92000	Drainunterhaltung . . . . .	43000
Betriebsgebäude . . . . .	40500	Verschiedenes . . . . .	51000
Vieh und Inventar . . . . .	92000		
		zusammen	344000
	zusammen		
	750000		

Insgesamt betragen die Kosten bis zur Gesundung des Bodens 1094000 M., von denen auf die Anlage der Wasserzuleitung und -ableitung nur 220500 M. entfallen. Der Nebenertrag der ersten Ernten in der Gewinnungszeit von 5 Jahren ist für Steuern und besondere Unterhaltungskosten in Anrechnung zu bringen. Der Wert des gewonnenen Landes beläuft sich auf 2500 M/ha oder insgesamt 3125000 M. Die Unterhaltungskosten des für Baumwollkultur nunmehr reifen Landes stellen sich natürlich höher als in den übrigen Gebieten Ägyptens, da nur bei dauernd guter Entwässerung des gewonnenen Bodens mit einer Gesunderhaltung zu rechnen ist.

<sup>1)</sup> Siehe Willcocks-Craig, S. 480.

Der Umfang der im nördlichen Ägypten erschließbaren Landfläche dieser Art beträgt etwa 500000 ha; die Seen am Meeresufer nehmen dazu noch eine Fläche von 277000 ha ein und können bei der geplanten Absenkung zum großen Teil ebenfalls für die Baumwollkultur gewonnen werden. Der Anfang wurde gemacht mit der Austrocknung des Sees von Abukir<sup>1)</sup>, der einen Umfang von 12000 ha besaß. Die Entwässerung erfolgte hier zunächst durch unmittelbare Überpumpung in das Meer, jetzt leitet man das Abwasser mit einer Unterdükerung des Machmudije-Kanals, der Alexandrien mit Süßwasser versorgt, in den zur gleichen Zeit um 2 m abgesenkten Mareotissee und entfernt es mit dem Abwasser der bei dieser Absenkung gewonnenen Landflächen in einer großen gemeinsamen Überpumpstation zum Meere bei Mex. Bei den übrigen Seen muß man im Gegensatz zu den oben erwähnten erst die schmalen Verbindungsstellen mit dem Meere schließen.

## Kapitel VI.

### Bautechnische Einzelheiten.

#### Dämme (Abb. 5).

Man unterscheidet Dämme, welche den Nil oder die großen Kanäle begleiten und einseitigem Wasserdruck ausgesetzt sind, und Beckendämme mit Wasserangriff von beiden Seiten. Der Baustoff der Dämme wird in der Regel in unmittelbarer Nähe entnommen und ist meist Humusboden mit mäßigem Sandgehalt, also wenig geeignetes Material in bezug auf Standfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit. Dazu kommt die Schwierigkeit der Bepflanzung der Dämme, weil nur ein Teil der Dammböschungen und nur kurze Zeit vom Wasser gespült wird und der Fellache sich selten die Mühe macht und Gelegenheit hat, Wasser öfter auf die Dämme zu bringen. Zwecks ausreichender Sicherheit muß bei der Sorglosigkeit des Fellachen deshalb eine strenge amtliche Dammaufsicht ausgeübt werden. Dabei werden die Dämme in ihren Abmessungen sehr reichlich gehalten und, soweit Beckendämme in Frage kommen, nur kurze Zeit der vollen Belastung ausgesetzt. Die Dammböschungen haben eine Neigung von 1:2 bis 1:3, bei sandigem Boden auf den an der Wüste führenden Kanalstrecken noch weniger. Bei Beckendämmen geht man auf der Südseite bis 2:3; die Nordseite ist dem Wellenschlag stark ausgesetzt und erhält eine gleichgroße oder auch noch stärkere Neigung nur bei Befestigung mit Steinpackung oder einer leichten Ziegelmauer. Die Dammkrone liegt mindestens 1 m über dem höchsten Wasserspiegel, bei den Nilschutzdeichen von größerer Höhe 1,25 bis 1,50 m. Die Breite der Krone beträgt wenigstens 3 m und wird vorteilhaft als Ver-

<sup>1)</sup> Siehe Zeitschr. f. Bauwesen 1910, S. 471.

kehrsweg ausgenutzt. Die Nilschutzdeiche schiebt man nach Möglichkeit gegen den Fluß soweit vor, daß keine Unterspülung zu befürchten ist, um kostbares Land zu gewinnen und den Hochwasserspiegel, soweit Beckenwirtschaft in Frage kommt, möglichst in die Höhe zu bringen. Neben dem eigentlichen Hochwasserdamm legt man in Jahren schwachen H.W. auf den Ufern noch kleine Paralleldämme an, um einen Streifen des Ufers auch während der Hochflut selbst zu bebauen. Bedenklich ist die vielfach geübte Gewohnheit den Hochwasserdeich zur Niedrigwasserzeit zu durchstechen zwecks Sommerrieselung des tiefgelegenen Landes. Diese vor der Hochflut ausgestopften Stellen geben leicht zu Deichbrüchen Veranlassung; sie werden deshalb in neuerer Zeit zweckmäßig durch gemauerte Einlässe ersetzt, die bei H.W. auf der Flußseite verschüttet und mit einer Spundwand umgeben werden. Die Lücken an den Einlaß- und Auslaßstellen der Beckenketten wie auch die Übergänge zwischen den Becken, soweit sie nicht feste Regler besitzen, sollten aus Steinschüttung hergestellt werden. Als Sicherung der Deiche werden gelegentlich Faschinen eingebaut; an Stellen, wo Damnbrüche erfahrungsgemäß öfter auftreten, legt man vor Beginn der Hochflut bereits rückwärts einen Hilfsdamm an, der aber bei wachsendem Wasser sofort einem, wenn auch nur geringen Wasserdruck ausgesetzt werden muß, wenn er bei wirklich auftretendem Deichbruch nicht weggespült werden soll. Für die Hochwasserzeit werden als Notbaumaterial Faschinen und Steine zum Stopfen von Auskolkungen und zur Ablenkung der Strömung bereit gehalten; als vorzügliches Mittel haben sich auch an Ort und Stelle mit Erde gefüllte Säcke erwiesen. Außerdem begegnet man der Hochwassergefahr, die in Unterägypten größer ist als in Oberägypten, durch Verbesserung der Ablaufrinne, namentlich durch Bühnen, die unter einem Winkel von  $135^{\circ}$  flußabwärts geneigt liegen und mit ihrer Oberkante vom Hochufer parabelförmig auf den Niedrigwasserspiegel abfallen. Es verbleibt für die weitere Verbesserung noch im großen Umfange eine weitere Geradelegung der oft sehr unregelmäßig verlaufenden Schutzdämme und vermehrte Abdeckung der Böschungen.

#### Kanäle (Abb. 6).

Im planvollen Ausbau der Kanalnetze bestand die erste Aufgabe der Bewässerungsarbeiten unter europäischer Verwaltung. Bei der Beckenwirtschaft mit ihren verhältnismäßig kurzen Zu- und Abläufen hatte die Erfahrung einen Maßstab für zweckmäßige Ausführung gegeben. Auf die genau bemessene Profilierung brauchte man bei der großen verfügbaren Wassermenge wenig Rücksicht nehmen und konnte entstandene Schäden in der langen Trockenzeit bequem ausbessern. Bei den ständig wasserhaltenden Riesellandkanälen führt dagegen eine unzureichende Dimensionierung zu Schwierigkeiten in der Wasserversorgung und zu hohen Unterhaltungskosten,

zumal wenn das Entwässerungsnetz unmittelbar im Zusammenhange mit den Enden der Zulaufkanäle steht.

Die Beckenkanäle sind mit Böschungen 1:1 tief in das Gelände eingeschnitten; der Aushub und die alljährlichen Mengen der Schlammabfuhr werden auf beiden Seiten abgelagert und dienen als Hilfsbaustoff für die Hochflutzeit, der Schlamm im besonderen auch als Material für Ziegel. Diese Profilform ist auf die Kanäle des Riesellandes übertragen worden: Kanalböschung 1:1 — Berme — Damm mit Böschung 1:2. Die Größe der Berme richtet sich nach der Kanaltiefe und ist bei kleineren Kanälen etwa ebenso groß als diese; mitunter besitzt sie einen breiten flachen Graben als Ablagerplatz für Baggergut. Auf der Rückseite der flachen Leitdämme liegen manchmal noch gleichlaufende Entwässerungskanäle für Sickerwasser bei hochliegendem Kanalwasserspiegel. Die Sohle der Kanäle ist im Querschnitt in der Regel wagerecht; eine Annäherung an die vorteilhaftere Parabelform ist nicht üblich aus Gründen einfacherer Herstellung; der Eingeborene legt den Kanal mit Vorliebe rechteckig an und läßt die Böschung im Betriebe auf das natürliche Maß einstürzen. Ebenso wenig ist man bestrebt, ein begründetes Verhältnis von Breite zu Tiefe einzuhalten; im allgemeinen scheut man sich namentlich bei größeren Kanälen vor erheblicher Tiefe mit Rücksicht auf die Unterhaltungskosten, die bei Menschenkraft allerdings damit erheblich steigen, während bei der jetzt vielfach eingeführten Maschinenkraft eine größere Wassertiefe zur Einstellung kräftiger Hebezeuge vorteilhafter ist. Die Verringerung des Kanalprofils vom Oberlauf gegen den Unterlauf zu besteht deshalb seltener in einer Tiefenverminderung als in einer Einschränkung der Breite. Das Gefälle der Kanäle beträgt für große Wasserleiter nicht über 1:10000, vorwiegend 1:12000 bis 1:15000; und ist bei N.W. meist etwas schwächer als bei H.W. Nebkanäle haben Gefälle bis 1:5000, die Verteiler noch mehr. Die stärksten Neigungen sind im Fayum zu finden, das bis zum Karunsee auf 40 m unter Meeresspiegel abfällt. Unter Vergrößerung der Kanalabmessungen strebt man ein geringes Spiegelgefälle an, um freien Wasserzufluß auf das Gelände zu erhalten. Mitunter legt man auch die Abmessungen der Zulauf- und die Ablaufkanäle zu reichlich an, um sie zur Wasserspeicherung heranziehen zu können<sup>1)</sup>; bei der Entwässerung ist diese Anlage jedenfalls weniger zweckmäßig, als die Herstellung einer Hilfspumpenanlage für die Hochwasserzeit. Beschränkt wird die Abminderung des Längsgefälles der Kanäle durch das notwendige Maß an Wassergeschwindigkeit; diese soll bei Zuleitern nicht unter 0,6 m/s sinken, weil bei der langen Dauer der Wasserhaltung auch bei fast klarem Wasser sonst Verschlammung zu befürchten ist; außerdem treten Pflanzenbarren dann sehr störend auf, besonders in den Entwässerungssträngen. Die obere Grenze

<sup>1)</sup> Z. B. Trockenlegung des Abukirsee.

der zulässigen Wassergeschwindigkeit richtet sich nach den durchfahrenen Erdschichten und steigt in der Regel bis auf 1 m/s.

Bei der Umwandlung von Beckenland in Rieselland lassen sich meist die großen Wasserläufe wieder verwenden, während Nebenkanäle, Verteiler und das Entwässerungsnetz neu anzulegen sind. Dabei ist es jedoch ein schwerer Fehler, sich aus Gründen der Sparsamkeit allzu eng an die vorhandenen Anlagen anzulehnen, wie die Erfahrungen im Delta lehren. Die Entwässerungskanäle sind in ihrer Linienführung viel mehr gebunden als die Zuleiter, weil sie sich den Tiefpunkten des Landes anschmiegen müssen, die Anlage des Entwässerungsnetzes sollte deshalb auch vorausgehen, wie es z. B. auch in Norditalien üblich ist. Die Entwässerungskanäle gleichen im Querschnitt in ihren Hauptsträngen den Zuleitern, während die kleineren Entwässerungsgräben mit einer Böschung von 2:1 tief ins Land eingeschnitten sind. Eine Probe auf zuverlässiges Arbeiten der Entwässerung ist der Umstand, daß sich der abgeführte Wasserbetrag auf  $\frac{1}{3}$  der Zulaufwassermenge erhebt: im nördlichen Delta ist überdies noch die Niederschlagsmenge in Rechnung zu setzen.

In Anhang IV habe ich versucht, unter Benutzung graphischer Hilfsmittel eine einfache Methode zur Schaffung von Unterlagen für die Profilbestimmung von Kanälen ausfindig zu machen, wenn die Wasserführung regelmäßig schwankt.

#### Wasserablaufregler (Abb. 7).

Die Wichtigkeit der Anlage fester Regler ist bereits in Kapitel III und IV betont. Die Köpfe der großen Riesellandkanäle, so weit sie im Zusammenhang mit Wehrbauten stehen, bleiben allerdings oft lange Zeit außer Dienst und treten nur zur Hochwasserzeit in Tätigkeit, wenn am Wehr keine genaue Spiegelregelung mehr zu erzielen ist. Im Zuleiternetz kann der Nebenkanal ohne Regler bleiben, wenn der Hauptkanal einen solchen besitzt; billiger und zweckmäßiger ist es aber in der Regel, den Nebenkanal mit einem Einlaufregler zu versehen und den Hauptkanal offen zu lassen, sofern dessen Wasserführung genau festgesetzt ist; damit erleichtert man auch die Schifffahrt. Im allgemeinen ist man im Gebiete der Rieselwirtschaft mit Reglern nicht sehr sparsam, weil ohnehin feste Brücken, die den Transport schwerer landwirtschaftlicher Maschinen gestatten, in großer Zahl nötig sind. Das einfachste und viel verbreitete Bauwerk ist eine gemauerte Brücke von Öffnungen zu je 3 m mit 1,20 m starken Pfeilern, die im Pfeilerkopf die Sperrvorrichtung enthält. Diese besteht in der alten Ausführung aus hölzernen Nadeln von großem Gewicht, da sie meistens 5 m lang sind und einen Querschnitt von 400 qcm besitzen; sie lehnen sich in Abständen von 1,5 m an eiserne Querbalken an. Der Nachteil dieser Bauweise liegt in der Unhandlichkeit der Nadeln, in der Verengung der Durch-

flußöffnung durch die Querbalken und in der Schwierigkeit einer Dichtung des Reglers. Neuerdings legt man deshalb nur noch einen Dammbalkenverschluß an, der einen 20 bis 30 cm tiefen Falz auf jeder Seite besitzt. Im tiefen Wasser sind diese an den Enden mit Haken versehenen Balken manchmal etwas schwierig einzubringen, zumal wenn der Falz nicht zur Verminderung der Reibung mit Eisen ausgekleidet ist. Im übrigen haben sich diese Regler gut bewährt, da nur der unbedingt nötige Holzbedarf eingebracht zu werden braucht und sich die stärker sandführenden Schichten des Zulaufwassers leicht absperren lassen. Bei großem Wasserspiegelunterschied am Regler ist auf die bauliche Anordnung der Sohle und der anschließenden Kanalwandung besondere Aufmerksamkeit zu verwenden. Selbst bei kleinen Bauwerken kann die aus Bruchstein in Zementmörtel herzustellende Sohle eine Stärke von 2 m nötig machen. Quellbildung ist besonders gefürchtet und darf nicht unterdrückt werden. Regler größerer Bauart stimmen ganz mit der Konstruktionsweise der großen Wehre überein. Ablaufregler am Ende von Beckenkette sind im besonderen noch auf die Aufnahme von Wasserdruck von beiden Seiten zu berechnen und müssen eine rasche Öffnung gestatten, sofern man eine Flutwelle im Nil erzeugen will. Das größte Bauwerk dieser Art ist der Auslaß des ehemaligen Koscheschabeckens in Mittelägypten, der bei einem Wasserspiegelunterschied von wenigen Dezimetern eine Wassermenge von 120 bis 175 cbm/s abzuführen hatte<sup>1)</sup>. Das Bauwerk besteht in einer gemauerten Brücke von 60 Öffnungen zu je 3 m; jede Öffnung ist durch ein Zwischengewölbe geteilt und besitzt unten ein Tafelschütz, oben ein nach dem Fluß sich umlegendes Klappschütz, das durch eine Knagge festgehalten und gleichzeitig mit den übrigen Öffnungen freigelegt wird. Das Bauwerk wurde 1890/91 für 1300000 M. angelegt und hat seine Bedeutung zum größten Teil verloren, weil es nur noch das Wasser der am Bahr Jusef gelegenen Becken abführt. In technischer Hinsicht gehört dieses Bauwerk zu den anfechtbarsten Anlagen Ägyptens. Sofern man sich mit der Anlage in ihren Grundzügen als Brücke mit so geringen Öffnungen überhaupt einverstanden erklären kann, erscheint die Anordnung verschiedener Verschlüsse unter Einschaltung eines starken, den Abfluß hindernden Zwischenbodens wenig glücklich; die rasche Freilegung der oberen Öffnung hätte sich auch mit Tafelschützen erreichen lassen, die mit durch Wasserballast verstärkten Gegengewichten ausgerüstet sind.

#### Kanalkreuzungen (Abb. 8)

treten bei Beckenwirtschaft regelmäßig am Zusammentreffen des Zuleiters mit dem Zulauf von der oberen Kette her und auf Rieselland zwischen Zulauf- und Entwässerungskanälen auf. Selten ist der Höhenunterschied

<sup>1)</sup> Siehe Engineering 1893, S. 163.

zwischen beiden Wasserläufen so bedeutend, daß man sie ohne Änderung ihrer Höhenlage getrennt kreuzen kann. Andererseits scheut man sich, beide Wasserläufe auch bei günstigen äußeren Bedingungen in gleicher Höhe zu kreuzen, derart, daß man sie rechtwinklig zusammenführt und den Abfluß durch Regler nach den vier Richtungen bestimmt, weil die Natur der kreuzenden Wasserläufe zu verschieden ist. Die übliche Lösung ist eine Dükerung, und zwar führt man bei Beckenland das Wasser von der oberen Kette unter dem Zulaufkanal der unteren Kette hindurch, trotzdem sein Spiegel höher als der dieses Zulaufkanals liegt, weil seine Wassermenge geringer ist und sein mäßiger Sinkstoffgehalt ein längeres sicheres Arbeiten des Dükers verspricht. Aus gleichem Grunde wird das Abwasser des Riesellandes unter dem Zulaufwasser hindurchgedükert. Die ältere Ausführungsweise erfolgt in Ziegel und Zementmörtel durch Herstellung einer Anzahl gleichgroßer flacher Röhren; auf diese Weise hat man die Möglichkeit, Teile des Dükers zur Reinigung zeitweise außer Betrieb zu setzen und vermeidet eine allzugroße Tieflage der Fundamente. Bei dem inneren Wasserdruck, unter dem diese Düker stehen, droht namentlich der Decke Gefahr, wenn sie nicht ausreichend belastet wird, was namentlich bei schwacher Flut und entsprechend geringem Wasserstand im oberen Kanal bei Beckenland einzutreten pflegt. Unter Umständen muß man dann eine künstliche Belastung durch Steinwurf aufbringen zum Schaden der Beckenbewässerung, der der Zulauf eingengt wird. Eine Verbesserung besteht in dem Einbau eiserner Bänder in die Decke, die mit Ankern in der Sohle gehalten werden. Vorteilhaft läßt sich die Dükerung mit der Herstellung eines gemauerten Einlaufreglers verbinden. Neuerdings macht man immer mehr von eisernen Rohren Gebrauch, die in den gewünschten Querschnitten fertig bezogen werden und sich für die hier in Frage kommenden Bauten hervorragend eignen. Die Kosten der Gründung können dabei ganz wegfallen und das Dükerrohr kann so flach liegen, daß nur gerade eine Schutzschicht darüber verbleibt; die Reinigung kann während des Betriebes mit der Kugelmethode erfolgen. Der Einbau des Dükers oder die Ergänzung einer vorhandenen Anlage unterbricht den Betrieb des offenen Kanals nur ganz vorübergehend. Lange Rohre senkt man dabei in Stücken ab, deren Enden vorläufig mit Holzverkleidung gedichtet sind; die Verbindung der mit einem Abstand von einigen Dezimetern verlegten Rohrstücke und ihr Anschluß an die Endschächte, sofern das Rohr an den Enden nicht unmittelbar schräg aufwärts geführt wird, erfolgt nach indischem Muster durch Umschüttung dieser Anschlußstellen mit flüssigem Beton, den man nach genügender Erhärtung durchhackt<sup>1)</sup>. Eine Kreuzung besonderer Art stellt

<sup>1)</sup> In gleicher Weise erfolgte eine große Ausführung für den Eisenbahntunnel der Linie Windsor-Detroit, siehe Standart 1906, 1. November.

die Nikla-Passage<sup>1)</sup> dar, bei der der Riesellanddrain der Provinz Gise mit einer mittleren Wasserführung von 25,5 cbm/s und der Drain des am Wüstenrand gelegenen Beckenstreifens mit einer Wasserführung von 125 cbm/s (auf die Dauer eines Monats) zusammentreffen. Der Riesellanddrain liegt mit seiner Sohle 1,33 m unter dem Beckendrain und passiert an der Kreuzungsstelle zwei Wehrbrücken von zusammen 15 m lichter Breite, die beim Schwellen des Beckendrains durch Schützen geschlossen werden. In der Richtung des Rieseldrains liegen unter der Kreuzungsstelle eine Reihe gemauerter Düker, die alsdann in Tätigkeit treten, während der übrigen 11 Monate des Jahres aber durch eiserne Schützen geschlossen sind. Der Beckendrain passiert ebenfalls zwei Brückenwehre, die als Spiegelregler wirken.

#### Wehrbauten (Abb. 9—11).

Die Vorgeschichte des Deltawehrreicht bis in die Zeit des Napoleonischen Feldzuges zurück und wurde unter Mehemet Ali gleichzeitig mit der Einführung der Rieselwässerung geplant. Erst 1843 wurden jedoch die Arbeiten energisch in Angriff genommen und auf die Fertigstellung in solchem Grade gedrängt, daß die Ausführung in den Fundamenten ganz unzuverlässig erfolgte und fortwährend Ausbesserungen sich nötig machten. 1863 endlich konnte das Bauwerk in Betrieb genommen werden, doch wagte man nicht auf die geplante Höhe zu stauen, und ungeschickte Handhabung, namentlich unvorsichtiges Schließen der Schützen, erschütterten das Bauwerk derart, daß es in der Folge zu einem bloßen Verteiler zwischen den beiden Flußarmen herabsank und von der Regierung aufgegeben wurde. Unter der europäischen Verwaltung führte man eine erste große Ausbesserung bis 1890 aus, sicherte die Pfeiler 1896/98 noch besonders und erhöhte 1898/1900 die Oberhaltung von Kote + 14,0 m auf + 15,5 m über Meereshöhe unter gleichzeitigem Einbau von Hilfswehren weiter unterhalb. Die ursprüngliche Anlage ist im wesentlichen beibehalten worden und zeigt Öffnungen von 5 m Weite bei 2 m starken Pfeilern; die Gesamtlänge der beiden Bauwerke beträgt am Rosettearm 465 m, am Damiettearm 535 m einschließlich der beiderseitigen Schleusen; am Damiettearm sind bei der Wiederinstandsetzung 1 Schleuse und 6 Öffnungen unterdrückt worden. Die gleiche Bauweise wie das Wehr zeigen die 3 großen Kanalhäupter für den Taufikije (Delta-Ost), den Menufije (Delta-Mitte) und den Behera-Kanal (Delta-West). Die Fundierung bestand aus einer gleichmäßig 4 m starken Platte von Beton mit Ziegelabdeckung und einem Abfallboden aus Bruchstein und Quadermauerwerk zwischen 3 Reihen hölzerner Spundwände. Die Verschlusseinrichtung war ein Segmentschütz mit nach Bedarf mit Wasser oder mit Luft zu füllenden Hohlräumen, das sich auf eine Guß-

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1911, 17. November.



eisenschwelle auf Kote + 10,0 über M. H. aufsetzte. Bei Hochwasser stieg der Wasserspiegel auf + 18,5 bei + 17,5 Kämpferhöhe der Spitzgewölbe. Bei der Wiederherstellung beseitigte man die Segmentschützen und ersetzte sie durch einen Dammbalkenverschluß; gleichzeitig baute man auf dem Abfallboden ein Überlaufwehr mit einer Wasserhaltung auf + 11,5. Das Wehr zeigte jedoch so bedenkliche Setzungen, daß man sich zu einer umfassenden Ausbesserung entschloß und nacheinander die gesamten Fundamente trocken legte. Die Untersuchung gab als Hauptübelstände: die Spundwände waren unregelmäßig und nicht genügend tief geschlagen, das Betonfundament war unter Quellbildung aufgebrochen und die aufliegende Ziegelschicht weggespült. Der gemauerte Abfallboden war zerstört oder hatte vielleicht nie existiert. Die Quellen wurden sorgfältig abgefangen und die ganze Bodenplatte bis auf Kote + 9,5 m mit Beton und Pflasterabdeckung verstärkt, wobei man aber merkwürdigerweise die Pfeilerfundamente nicht näher untersuchte. Der oberhalb des Wehres gelegene Teil wurde noch durch eine flußaufwärts 25 m lange, 1 m starke Beton- und Bruchsteinmauerwerkschicht gedichtet und an den ersetzten Abfallboden eine durchlässige, mit Betonklötzen abgeschlossene Steinpackung von wechselnder Länge angefügt. Gleichzeitig wurden die Dammbalken durch Tafelschützen ersetzt. Da man in den folgenden Jahren in den Pfeilern Höhlungen bemerkte, unterzog man diese einer besonderen Sicherung noch dadurch, daß man in jeden Pfeiler 5 Löcher von 12 cm Durchmesser senkrecht bis unter die Fundamente bohrte und Zementbrei einführte, der bei einem Druck von 2,6 Atmosphären unter der Sohle bis zum nächsten Pfeiler durchdrang. Diese Ausbesserung kostete noch 1300000 M. bei einem durchschnittlichen Verbrauch von Zementbrei von 1 cbm pro Pfeiler. Am Menufije-Einlaufregler war die Untersuchung unzureichend ausgeführt worden, wie sein Einsturz am 26. Dezember 1909 lehrte, und zwar rissen 2 unterspülte Pfeiler infolge des Gewölbeüberbaues, die übrigen 5 Öffnungen mit<sup>1)</sup>. Im übrigen ist die Ausbesserung des Delta-wehres bisher von einem vollen Erfolg begleitet gewesen. Als man dazu übergang, die Oberhaltung des Deltawehres zwecks verbesserter Wasserversorgung des Delta's auf Kote + 15,5 zu erhöhen, wagte man aber nicht, das Wehr selbst durch einen Umbau zu verstärken, sondern legte unterhalb am Damietteam 450 m, am Rosettearm 1500 m je ein Überfallwehr mit einer Kronenhöhe von Kote + 12,5 an. Die Belastung der Wehrbrücke in bezug auf Umsturz ist dadurch allerdings auf das Doppelte gestiegen, obgleich die Nutzhaltung des Hauptwehres um 1 m verringert wurde. Ob das Wehr diese erneute Belastung verträgt, muß noch die Zukunft lehren. Die Überfallwehre sind nach indischem Vorbilde hergestellt und bestehen in einem massiven Kernmauerwerk mit einer Vorlage in Neigung 1:3 und einem

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1910, 8. März.

Abfall 1 : 12, der mit Pflaster in Zementmörtel abgedeckt und durch einen großen Betonklotz abgeschlossen ist. Um bei Herstellung des Kernmauerwerks eine Trockenlegung der Baugrube zu umgehen, stellte man hölzerne versetzbare Kästen her und füllte diese mit Bruchsteinen aus; durch gleichzeitig eingeführte, unten offene Rohre brachte man dann Zementbrei ein, der das Wasser verdrängte und einen vollkommen dichten Mauerkörper herstellte, allerdings bei starkem Zementverbrauch, da 37% des Kasteninhaltes mit Mörtel auszufüllen war. Die Kosten dieser Anlage, die in ihren Grundsätzen auch auf den Bau der nebenanliegenden Schleusen übertragen wurde, belief sich auf 50 M./cbm Mauerwerk bei einem Zementpreis von 35 M./t. Mit Schüttbeton wäre man jedenfalls billiger und rascher zum Ziele gekommen.

Das Wehr bei Zifta, 85 km unterhalb des Deltawehr am Damiettearm war zunächst dazu bestimmt, zur Hochwasserzeit die Wasserversorgung von Delta-Ost durch einen Hilfseinlaß in den Taufikije-Kanal zu ergänzen, wurde aber später soweit umgebaut, daß es auch zur Sommerszeit Hilfe leisten kann, sofern nicht bei geringem Niedrigwasser das Deltawehr ganz dicht gemacht werden muß. In seiner ersten Ausführung ähnelt es ganz dem nachfolgend beschriebenen Assiutwehr und besteht aus 50 Öffnungen zu je 5 m nebst einer Schleuse  $12 \times 65$  m. Die Gründung bot hier ausnahmsweise auf dem festen Tonuntergrund keine Schwierigkeiten. Die Wasserhaltung von Kote + 3,3 auf + 7,3 wurde nach 6 Jahren, 1907, auf + 8,5 erhöht und zur Entlastung nach der Art des Deltawehr ebenfalls unterhalb ein Überfallwehr angelegt, das im besonderen auf seiner Krone Klappschützen mit Preßwasserantrieb besitzt. Auch hier ist das Umsturmmoment am Hauptwehr auf mehr als das Doppelte dadurch erhöht worden. Erstaunlich ist, daß man eine Erweiterung des Bauwerks nicht bei der ersten Anlage mit vorsehen konnte.

Das Wehr bei Assiut (Abb. 11) wurde 1898/1902 zugleich mit der Assuansperre erbaut und regelt den Zulauf des mit einem neuen Kopf versehenen Ibrahimije-Kanals. Es besteht aus einer Brücke von 111 Öffnungen zu je 5 m mit Pfeilern von 2 m Stärke; jeder zehnte Pfeiler besitzt die doppelte Stärke. Die Sohle wird von einer 3 m starken Platte aus Beton und Bruchstein gebildet und vermag einem etwa von unten auftretenden Wasserdruck vermöge seines Eigengewichtes zu widerstehen. Die Platte ist zwischen eiserne Spundwände eingeschlossen, deren Teile eine besondere Profilform nach Art der Larssenwände besitzen und durch Zementinspritzung an der Verbindungsstelle gedichtet sind. Lange Steinpackungen schließen sich oberhalb und unterhalb an, darüber hinaus noch oberhalb ein Filter zur selbsttätigen Versetzung der Flußsohle. Der Verschluß erfolgt durch Rolltafelschützen von 2,5 m Höhe, deren jede Öffnung 2 Stück in getrennten Falzen laufend besitzt, und die durch eine fahrbare Winde in ihrer Stellung geregelt werden. Bei Niedrigwasser findet ein Stau von Kote + 44,5 auf + 47,0 statt; das Hochwasser füllt die Durchflußöffnungen

des Wehres nahezu und wird nötigenfalls durch Anwendung der Schützen zur Hochwasserszeit auf diese Höhe gedrückt. Der Einlauf des Ibrahimije-Kanals ist in der gleichen Bauweise ausgeführt.

Das Wehr bei Esne ist ganz nach dem Muster des Assiutwehres angelegt und besitzt 120 Öffnungen; es dient vorläufig in der Hauptsache nur zur Regelung des Hochwasserspiegels und zur Erleichterung einiger Zuckerlandkulturen in der Sommerszeit.

Bei der Anlage der ägyptischen Wehrbauten hat man sich mit auffällig geringer Größe der einzelnen Öffnungen begnügt. Die Schwierigkeit ihrer Herstellung lag in der Hauptsache in der Ausbildung der Sohle und der Vermeidung ihrer Zerstörung durch Wasserunterdruck und Quellbildung. Vergegenwärtigt man sich den Weg, den wahrscheinlich das Wasser unter dem Bauwerk hindurch nimmt, und der sich jedenfalls um so enger an die Trennungslinie zwischen Bauwerk und Untergrund anschließt, je undurchlässiger der Untergrund ist, so kommt man zu den folgenden Ausführungsregeln. Der Zutritt von Druckwasser unter die Sohlplatte kann mit einiger Aussicht nur verhindert werden, wenn in nicht zu großer Tiefe unter dem Bauwerk eine schwer wasserdurchlässige Schicht anzutreffen ist. Der Abschluß erfolgt dann durch eine dichte Spundwand, die aber nur bei ganz sorgfältiger Ausführung die gewünschte Sicherheit gewährt, oder durch die Anordnung zweier nahe beieinanderliegender Spundwände mit Betonzwischenfüllung oder Zementbreieinspritzung in dem sanderfüllten Zwischenraum. Eine sehr sichere, allerdings auch kostspielige Ausführung hat man beim Ersatz des eingestürzten Menufije-Einlaufreglers gewählt, wo die ganze Baugrube von rechteckigen Brunnen umschlossen ist unter Dichtung der Zwischenräume mit Beton. Soweit eine schwer wasserdurchlässige Schicht nicht zu erreichen ist, gilt es, den Zutritt des Wassers unter die Sohlplatte zu erschweren, den Ablauf des einmal zugetretenen Druckwassers zu erleichtern. Es wäre also verkehrt, am Ende der Sohlplatte eine dichte Spundwand anzulegen, denn der Wasserunterdruck nimmt dann nicht mehr bis zum Ende der Sohlplatte gleichmäßig ab<sup>1)</sup>. Ebenso wenig ist es vorteilhaft, den dichten Abfallboden über das für das Sturzbett nötige Maß hinaus zu verlängern, weil dadurch ebenfalls die Fläche des Belastungsdiagramms vergrößert wird. Zu vermeiden ist endlich, daß sich unter der Sohlplatte Wasserabflußrinnen bilden können, die zu Auskolkungen Anlaß geben. Dies ist bei einer zu gut abgeglichenen Sohlunterfläche zu befürchten; die gegebene Form ist eine rauhe Sohle, vielleicht noch durch querlaufende Vertiefungen in Form ganz kurzer Spundwände verstärkt. Eine Entwässerung des Untergrundes der Sohlplatte, soweit man sich davon überhaupt Erfolg verspricht, muß in beträchtliche Tiefe unter der Trennungsfuge verlegt

<sup>1)</sup> Siehe dazu Beobachtungen über Wasserdruck unter der Wehrsohle am Navoraweher (Indien), Brown, Irr. S. 118.

werden, um Wasserstrom abzulenken. Um den Zutritt des Wassers unter die Sohlplatte zu erschweren, kann man entweder eine dichte Spundwand an den Anfang setzen oder den dichten Vorboden verlängern, erstere Maßregel verspricht bei geringer durchlässigem Boden, letztere bei schwerer durchlässigem Boden mehr Erfolg. Die Anwendung beider Mittel gleichzeitig ist unwirtschaftlich. Auch bei einem dichten Vorboden muß die Bildung von Wasseradern auf seiner Unterseite vermieden werden. Die Dichtung des Vorbodens mit massivem Mauerwerk hat zweifelhaften Wert, weil bei Veränderungen im Untergrund durch den unmittelbar auflastenden, wechselnden Druck leicht Brüche eintreten und den Wert des Vorbodens hinfällig machen, wenn man ihn nicht in überflüssig großer Stärke anlegen will. Zweckmäßiger ist jedenfalls ein sorgfältig eingebrachter Tonschlag, den man noch durch Anlegung eines verkehrten Filters ergänzen kann.

#### Wasserspeicherung (Abb. 12, 13)

erfolgte bereits in alter Zeit durch die Anlage des Mörisees, der sowohl dem Hochwasserschutz wie der Rückgabe des gespeicherten Wassers an das nördliche Ägypten diene, hauptsächlich jedenfalls aber dem ersteren Zwecke<sup>1)</sup>. Die Frage der Wasserspeicherung taucht in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts ernstlich auf, wobei auch der erste Katarakt bei Assuan bereits in Vorschlag gebracht wird. 1882 gründete sich eine Nilstudien-gesellschaft zur Erforschung der verschiedenen Möglichkeiten, doch trat man einer Lösung erst näher, nachdem die Wiederherstellung des Deltawehres Erfolg gezeitigt hatte. Die von der Regierung unter Leitung von Willcocks eingesetzte Kommission legte am 24. November 1894 einen Bericht nieder, der 10 Ausführungsmöglichkeiten an 5 verschiedenen Stellen vorschlug, und zwar bei Kalabsche zwischen Wadi Halfa und Assuan, bei der Insel Philä, beim Assuankatarakt, beim Djebel Silsile und im Wadi Rayan<sup>2)</sup>. Als beste Lösung ergab sich aus dem Bericht wie aus der Beurteilung durch eine darüber eingesetzte internationale Kommission eine Sperrmauer auf dem Assuankatarakt, deren Höhe allerdings nach langem Widerstreit mit Rücksicht auf die Schonung von Baudenkmalern auf der Insel Philä auf 19 m mit einem Stauinhalt von 1065000000 Gesaminhalt festgesetzt wurde. 1908 wurde die Erhöhung des Bauwerks um 5 m bei einer Erhöhung des Wasserspiegels um 7 m ausgeführt und 1912 vollendet, nachdem die Bedenken wegen Philä überwunden waren. Der Wasserinhalt ist dabei auf 2300000000 cbm erhöht worden. Die Verluste an Versickerung und Verdunstung betragen für die erste Ausführung 165000000 cbm, für die zweite Ausführung 360000000 cbm und demnach beläuft sich die

<sup>1)</sup> Siehe C. Merkel, die Ingenieurtechnik im Altertum. 1899.

<sup>2)</sup> Die Studien wurden nicht auf den Sudan ausgedehnt, der noch durch den Aufstand des Mahdi verschlossen war.

Nutzwassermenge auf 90000000 bzw. 194000000 cbm. Für die Ausführung des Bauwerks wurde in unmittelbarer Nähe gebrochener Granit in Zementmörtel genommen und die zulässige Pressung auf nur 5 kg pro Quadratcentimeter festgesetzt. Bei den ersten Projekten war auch eine Ausführung in Eisenbeton von Hennebique in Vorschlag gebracht worden. Willcocks schlug eine Führung der Sperrmauer in Kreisbogenteilen auf den flachsten Stellen des Katarakts vor. Wenn er neben Materialersparnis eine verstärkte Sicherheit der Mauer durch die Bogenführung, die an den Schnittstellen der einzelnen Teile Pfeilerartig verstärkt gedacht war, zu erzielen glaubte, so muß dies bei der stark wechselnden Höhenlage des Untergrundes in Zweifel gezogen werden. Es wäre sogar denkbar, daß durch eine ungleichmäßige, unbeabsichtigte Gewölbewirkung die Sicherheit des Bauwerks verringert worden wäre. Man hat sich mit der Ausführung einer geradlinigen Sperrmauer von 1950 m Länge festgelegt, deren ursprünglicher Querschnitt so bemessen war, daß er eine Erhöhung des Bauwerks um 5 m gestatten konnte. Bei der Erhöhung der Mauer hat man den Unterschied von Wasserspiegel zu Straßenoberkante von 3 m auf 1 m herabgesetzt. Gleichzeitig hielt man es für geratener, auch die Staumauer selbst noch zu verstärken, nachdem ihre Sicherheit auf Grund von Untersuchungen englischer Gelehrter in Zweifel gezogen war<sup>1)</sup>. Dies hat zu einer langen Preßpolemik Anlaß gegeben, da von Willcocks der Wert dieser Verstärkung in Zweifel gezogen wurde und sich in der Verstärkungsschicht tatsächlich infolge ungleichartiger Setzungen kleine Risse gebildet hatten<sup>2)</sup>. Die Ausführung der 5 m dicken Verstärkung erfolgte in der Weise, daß man die Verstärkungsschicht in einem Abstand von 15 cm von dem alten Mauerwerk herstellte und durch 2,5 m lange, 3,2 cm starke Eisenstangen, die zu gleichen Teilen in die beiden Mauerkörper eingelassen waren, verankerte. Diese Zwischenschicht wurde mit Bruchstein lose ausgefüllt und erst 2 Jahre später, nachdem die hauptsächlichsten Setzungen beendet waren, mit Zement vergossen. Eine vorgenommene Probeausführung gab einen soliden Anschluß an das alte Mauerwerk, doch kann man kaum mit einer Anteilnahme der Verstärkung an den inneren Spannungen der alten Sperre in vollem Maße rechnen. Jedenfalls hat man mit dieser Verstärkung aber erreicht, daß, wie ein Regierungsbericht betont, an der Sicherheit dieses für die Wohlfahrt Ägyptens aufs höchste wichtigen Bauwerks auch für den Nichtfachmann nicht der Schatten eines Zweifels berechtigt ist.

Zur Ableitung des H. W. dienen 180 Öffnungen mit einem Querschnitt von  $7 \times 2$  m in 140 Fällen und  $3,5 \times 2$  m bei 40, insgesamt 2240 qm. Zur

<sup>1)</sup> Veröffentlichungen von Atcherley und Pearson in Proceedings of the Institution of Civil Eng. November 1905; dazu siehe auch Ziegler, Der Talsperrenbau, 1911, S. 277; Mohr, Der Spannungszustand einer Staumauer, 1908.

<sup>2)</sup> Siehe The Eng. 1913, April bis August.

Erzeugung der nötigen Durchflußgeschwindigkeit bedarf es dabei eines mittleren Staues von 2 m bei 10000 cbm/s und 4,65 m bei 14000 cbm/s; die dabei eintretende geringe Verschlämmung wird in der Regel von dem Anfang des folgenden H.W. hinweggeführt. Die gleichmäßig 2 m breiten Durchlässe sind zumeist in Gruppen von je 10 zusammengefaßt, wobei jeweils 5 m Mauerlänge zwischen 2 Öffnungen liegen; ihre Verteilung über die Mauerfläche ist in Abb. 12 angedeutet. Bei den ersten Öffnungen legte man eine Eisenverkleidung an, hat sich aber später mit einer Verkleidung mit sorgfältig behauenen Quadersteinen begnügt. Die Verschlusseinrichtung besteht in Stoneyschützen, die an Stahlkabeln hängen. Die Dichtung dieser Schützen in den Falzen erfolgt in der Weise, daß man ein Eisenrohr in die Ecke zwischen Falz und Schütz frei einhängt, das vom Wasserdruck dicht angepreßt wird.

Zwischen der ersten Ausführung 1898/1902 und der Erhöhung 1908/12 machte sich noch eine Befestigung des Sturzbettes nötig, das man ursprünglich im Vertrauen auf die Festigkeit des Kataraktfelsens im Urzustande belassen hatte. Zu jeder Gruppe von Durchflußöffnungen wurde ein schwach geneigter, gemauerter Abfallboden hergestellt, wobei die Boden verschieden hoch gelegener Gruppen durch Mauern getrennt wurden, sodaß es jetzt leicht möglich ist, die verschiedenen Abfallböden einzeln trocken zu legen. Diese Ausführung verursachte bei einem Gesteinsabtrag von 252000 cbm und der Herstellung von 197000 cbm Mauerwerk einen Aufwand von 6400000 M., die Erhöhung der Sperre kostete 3150000 M. einschließlich 1 Millionen M. für Sicherung der Baudenkmäler auf Philä.

### Wasserhebeanlagen

dienen einmal zur Wasserzuführung und werden dann in der Regel vom Grundbesitzer angelegt, oder zur Hebung von Abwasser, die meist zu Lasten des Staates erfolgt.

Die von Hand betätigten Hebewerke dienen nur zur Überwindung eines geringen Höhenunterschiedes. Ein einfacher Korb mit 2 Stricken, der von 2 sich gegenüberstehenden Arbeitern taktmäßig eingetaucht und in eine Rinne entleert wird, vermag in einer Stunde bis 20 cbm zu leisten; dabei lösen sich 2 Arbeiterpaare ab und bewässern an einem Tage bis zu  $\frac{1}{4}$  ha. Eine gut konstruierte, nicht ortsfeste archimetische Schraube vermag etwa die doppelte Wassermenge zu heben, wenn 2 Arbeiter sich ablösen. Für Höhen bis zu 3 m dient ein Korb an einem Hebelarm mit Gegengewicht; seine Leistung beträgt bei 3 m Höhe bis 2,5 cbm/Std., bei 2 m Höhe bis 4 cbm/Std., ebenfalls bei Ablösung zwischen 2 Arbeitern. Von Tieren werden göpelartige, meist roh aus Holz gezimmerte Werke angetrieben; die Hebung erfolgt mit einer endlosen Eimerkette oder bei einem Höheunterschied bis zu 3 m mit einem sich um eine wagerechte Achse drehenden Rad, dessen Umfang aus Holzkästen besteht. Diese Göpel sind meist ortsfest und entnehmen

das Wasser aus Brunnen mit Grundwasserzulauf oder aus einem kleinen Zuleiter vom öffentlichen Kanal. Die Tierkraft wird dabei schlecht ausgenutzt, etwa zu  $\frac{1}{3}$ ; die Leistung beträgt bei 3—4 m Hubhöhe etwa 300 cbm/Tag, wenn 3 Tiere je aller 3 Stunden abgelöst werden. Ein solcher Göpel vermag also in 3 Tagen 1 ha Baumwolland zu bewässern und ist nur  $\frac{1}{3}$  der Fläche mit Baumwolle bestellt, so genügt seine Tagesleistung für 1 ha/Gesamtfläche. Unter Berücksichtigung dieser im Delta in großer Zahl vorhandenen Hebewerke ist eine Stufenlänge der Wasserfolgen von 6 Tagen üblich. Nicht ausgenutzt wird in Ägypten in nennenswertem Umfang die Kraft des Windes, trotzdem dieser zur Sommerszeit verhältnismäßig regelmäßig weht; für den Fellachen stellen sich die Anlagekosten zu hoch, und der Großgrundbesitzer zieht für hohen Wasserbedarf eine Kraftanlage mit Dampf oder Explosionsmotoren vor. Die Kraft des fließenden Wassers dient im Fayum mit seinen großen Kanalneigungen zum Antriebe einer besonderen Art von unterschlächtigen Wasserrädern, die an ihrem Umfange eine Anzahl Kübel besitzen und das aus dem Kanal geschöpfte Wasser in eine mehrere Meter höher gelegene Rinne entleeren. Das Gefälle der Wehrbauten wird zur Zeit noch nicht ausgenutzt und stellt eine bedeutende Kraftreserve dar. Das Assiutwehr ist bei 500 cbm/s Abfluß und 2,5 m Stau imstande, 12500 PS theoretisch gerechnet, abzugeben, die zu nur  $\frac{1}{3}$  in Elektrizität umgesetzt und davon zur Hälfte an der Verwendungsstelle in Motorkraft ausgenutzt für die Bewässerung von 10000 ha bei durchschnittlich 5 m Hubhöhe genügt. Die Schaffung von elektrischen Überlandzentralen kann für den Fellachen, der motorische Kraft braucht, zum großen Segen werden, weil die Einfachheit dieser Anlage bei seinem Mangel an technischer Kenntnis für ihn besonders gut geeignet ist. Die ersten Hebeanlagen mit Dampftrieb entstanden im westlichen Delta in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts zur Wasserversorgung des vom Deltawehr ungenügend versorgten Behera-Kanals und des nach Alexandrien führenden Machmudije-Kanals. Man vergrößerte dabei die Konstruktion der viel verbreiteten archimedischen Schrauben auf eine Leistungsfähigkeit bis zu 2 cbm/s. In moderner Zeit verwendet man ausschließlich Kreiselpumpen, die sich für das schlammhaltige Nilwasser besonders eignen. Die erste große Anlage dieser Art wurde bei Absenkung des Mareotisees bei Mex errichtet und durch die Übertragung der Pumpenanlage vom Abukirsee auf eine Leistungsfähigkeit bis täglich 300000 cbm bei 2,5 bis 3 m Hubhöhe verstärkt. Die neuesten Anlagen wurden von Gebrüder Sulzer erbaut und bestehen aus liegenden, langsam laufenden Heißdampfverbundmaschinen teils mit direkter Kuppelung, teils mit Seilübertragung auf die Kreiselpumpen. Die Ersparnis bei direkter Kuppelung wird in der Regel ausgeglichen durch die Mehrkosten für die Bauanlage, weil die Pumpen innerhalb des Hochwasserspiegels liegen und wasserdicht umbaut werden müssen. Einer Ausbreitung dieser

mechanischen Wasserhebung stehen die hohen Betriebskosten dieser Anlage hinderlich im Wege. Der Preis der Kohle bewegt sich zwischen 25 M./t an der Küste und 55 M./t in Assuan und bestimmt zu 80 bis 90 % die Höhe der Betriebsausgaben. Bei Mex nutzt man eine Tonne Kohle mit einer Leistung von 150000 mt gehobenen Wassers aus und der Preis für die Leistung von 1 Million mt stellt sich dabei auf 250 M., steigt aber bei teuren Kohlepreisen bis auf 350 M. Die Pumpenanlage am Abukirsee verursachte einen Betriebsaufwand für 1 Million mt von 237,5 M. Die Anlage von Kom Omb<sup>1)</sup> mit 3 Maschinensätzen zu je 3 cbm/s Leistungsfähigkeit und 12 bis 15 m Hubhöhe bei N.W., 7,5 m im Mittel bei H.W. arbeitet mit einer wirklichen Nutzleistung der indizierten PS von 56 bis 66 %, beutet eine Tonne Kohle bester Qualität mit 300000 bis 330000 mt gehobenen Wassers aus und verursacht einen Betriebsaufwand für 1 Million mt von 160 bis 200 M. Bei der Entwässerung des am Ismailije-Kanal gelegenen Landes wuchs der Betriebsaufwand sogar auf 535 M. für 1 Million mt. Eine Sulzer'sche Pumpenanlage für Zeidab (Sudan)<sup>2)</sup> mit Dampftrieb arbeitet mit 180 bis 260 Touren/Minute je nach der Hubhöhe, die zwischen 4 und 8,5 m schwankt, und erzielt dabei einen gleichmäßigen Wirkungsgrad von 76 %. Bei dieser Anlage zog man den Dampftrieb vor, weil hier in großem Umfange getrocknetes Pflanzenmaterial zum Feuern dienen kann, sonst wäre man jedenfalls auf Explosionsmotoren zugekommen. Dieselmotoren eignen sich für die Bedürfnisse der ägyptischen Landwirtschaft in besonderem Grade, weil sie auch in kleinem Umfange annähernd so nutzbringend wie große Anlagen arbeiten, verhältnismäßig einfach zu bedienen sind und unter Umständen die Ausnützung in der Landwirtschaft gewonnener Öle gestatten. Eine Dieselmotorenzentrale von 8 Maschinensätzen zu je 160 PS ist bei Madras<sup>3)</sup> in einer ägyptischen Verhältnissen sehr ähnlichen Anlage zur Aufstellung gelangt und arbeitet mit einem mittleren Wirkungsgrad von 70 %.

### Schlusswort.

Die Geschichte der modernen Entwicklung Ägyptens ist die Geschichte seines Bewässerungswesens und zerfällt in 3 Abschnitte. In der Zeit 1820 bis 1850 tat man unter der kraftvollen Regierung Mehemet Alis den wichtigen Schritt von der Beckenwirtschaft zum Übergang in Rieselung im Delta. Bei der übergroßen Eile und der mangelnden technischen Erfahrung brachte dieser Übergang dem Volke wenig Segen und belastete es in der rücksichtslosen Ausnutzung der Zwangsarbeit im höchsten Grade. Der

<sup>1)</sup> Siehe The Eng. 1908, 10. Januar.

<sup>2)</sup> Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1913, 18. Januar.

<sup>3)</sup> Siehe The Eng. 1908, 15. Mai.



zweite Abschnitt 1850 bis 1882 ist gekennzeichnet durch ein mühsames Festhalten an diesen geschaffenen Einrichtungen und wurde noch besonders erschwert durch die finanzielle Bedrängnis des Staates infolge der Schuldenwirtschaft Ismails, die auch die Ursache war, daß der Nutzen des inzwischen erbauten Suezkanals dem Auslande zufiel. Das Deltawehr wurde in dieser Zeit ganz verlassen; seine sachgemäße erste Ausführung hätte die Entwicklung Ägyptens um Jahrzehnte beschleunigen und seiner Geschichte eine wesentlich andere Richtung geben können. Seit 1882 ist Ägypten unter europäische Verwaltung gekommen und konnte, gestützt auf einen gestärkten Kredit, sein Bewässerungswesen in neue Wege leiten. Die ersten beiden Jahrzehnte waren noch ein Suchen und Tasten und lassen manche unvollkommene Ausführung begreiflich erscheinen, denn den zum größten Teil aus Indien kommenden Ingenieuren stellten sich hier bisher unbekannte Aufgaben der Bewässerung entgegen. Die glatte, erfolgreich in einem Zeitraum von wenigen Jahren vollzogene Umwandlung Mittelägyptens im Verein mit der Anlage der Assuansperre war der Beweis dafür, daß man eine passende Lösung gefunden hatte, und welchen Weg man in Zukunft zu beschreiten hat. Die Aufgaben der Zukunft bestehen in der Ausdehnung der Rieselwirtschaft auf das südliche Oberägypten und der Landgewinnung im nördlichen Delta im Verein mit sorgfältiger Nachprüfung und Verbesserung der vorhandenen Anlagen. Die wichtigere Aufgabe ist nicht technischer Art und besteht in einer Anleitung des Fellachen zu sachgemäßer Landwirtschaft. Die besten technischen Anlagen können nur unzureichenden Erfolg haben, wenn nicht der Sorglosigkeit in der Bodenbestellung, insbesondere dem Anbau von Baumwolle, Einhalt getan wird. Vorbedingung dazu ist die Anlegung von einer größeren Anzahl landwirtschaftlicher Versuchsstationen und Musterwirtschaften.

Die Erfahrungen des ägyptischen Bewässerungswesens liegen den Planungen für 2 große Projekte zugrunde, der Erschließung des ägyptischen Sudans und der Wiederbewässerung Mesopotamiens. Beide Länder sollen im besonderen der Baumwollkultur zugeführt werden. Im Sudan sind bereits die ersten Versuche erfolgreich verlaufen und harren nur der Fortsetzung im großen Maßstabe durch Lösung der Sommerwasserfrage. Mesopotamien ähnelt in seinen natürlichen Verhältnissen am meisten Mittelägypten. Dabei ist allerdings sein Klima viel trockener und sein Boden kalkreicher; die Anlage von Versuchspflanzungen hätte deshalb der Anlage eines umfassenden Bewässerungssystems vorausgehen. Im Gegensatz zu Ägypten ist im Sudan sowohl wie in Mesopotamien als besondere Schwierigkeit zu betrachten, daß unter Herbeiziehung von Bevölkerung das Bewässerungswesen ganz neu zu schaffen ist, während im Niltal die Technik an eine Jahrtausende alte Erfahrung anknüpfen konnte.

## Anhang.

## I. Ägypten nach Landflächen und Volksverteilung.

Provinz bz. Bezirk	Volks- zahl 1907	Bebaute Land- fläche in ha		Unbebaute und erschließbare Land- fläche in ha		Gesamte Land- bestellungsfläche <sup>1)</sup> in ha	
		1897/98	1911/12	1897/98	1911/12	1897/98	1911/12
Kairo . . . . .	654 476	—	10 800				
Alexandrien . . . .	370 009	—	4 900				
Andere Stadtbezirke	138 029	—	5 000				
Sa. Stadtbezirke	1 162 514	20 700	20 700				
Assuan . . . . .	232 813	30 600	36 900	3 300	25 800	33 300	39 600
Kene . . . . .	772 492	146 500	146 900	4 800	23 800	165 000	176 800
Girge . . . . .	792 971	137 300	132 300	1 300	20 300	153 200	154 000
Assiut . . . . .	903 335	175 200	174 000	5 000	26 600	190 200	212 500
Minije . . . . .	659 967	154 500	161 000	18 400	35 900	176 000	225 000
Benisuef . . . . .	372 412	98 400	93 900	2 500	12 200	114 100	134 000
Gise . . . . .	460 080	74 900	74 700	4 800	29 000	93 800	109 800
Fayum . . . . .	441 583	106 000	124 000	37 200	50 000	186 000	228 000
Sa. O.-Ä. . . . .	4 635 653	923 400	943 700	77 300	223 600	1 101 600	1 279 700
Kaliubije . . . . .	434 575	78 900	75 700	4 200	15 900	118 800	117 200
Scharkije . . . . .	879 646	205 500	226 000	49 500	178 200	308 500	338 000
Dakalije . . . . .	881 485	202 000	202 700	15 200	61 600	324 500	325 000
Menufije . . . . .	970 581	150 000	145 000	1 200	12 600	241 000	234 200
Garbije . . . . .	1 484 814	369 000	384 000	255 800	277 700	504 000	577 000
Behera . . . . .	760 710	206 800	242 300	113 200	217 000	276 000	352 500
Sa. U.-Ä. . . . .	5 411 811	1 212 200	1 275 700	439 100	763 000	1 772 800	1 943 900
Sa. Ägypten	11 209 978	2 156 300	2 240 100	516 400	986 600	2 874 400	3 223 600

## II. Münzen und Maße.

1 ägyptisches Pfund (L. E.) = 100 Piaster = 1000 Millième = 20,75 Mark  
 4,819 L. E. = 100,00<sub>2</sub> Mark

1 Elle (Dira beledije) = 0,58 m  
 1 Feddan = 4200,83 qm                      1 ha = 2,381 Feddan  
 1 Ardeb = 12 Kela = 198 Liter  
 1 Kantar = 100 Rottel = 44,928 kg  
 1 Oka = 1,248 kg  
 1 Ardeb/Feddan = 471,6 l/ha  
 1 Rottel/Feddan = 1,07 kg/ha  
 1 L. E./Feddan = 49,40 M/ha  
 1 Baumwollballen = 70 Kantar = 315 kg

<sup>1)</sup> Verschiedene Ernten innerhalb desselben Ackerbaujahres sind jede für sich in Rechnung gesetzt.

## III. Die wichtigsten Kulturgewächse Ägyptens.

Deutsch	Lateinisch	Englisch	Französisch	Arabisch
Baumwolle	<i>gossypium</i>	cotton	coton	kotn
(Sau)Bohne	<i>vicia faba</i>	bean	fè	ful
Dattelpalme	<i>phoenix</i> <i>dactylifera</i>	date-tree	dattier	nachle (Baum) balah (Frucht)
(Kicher)Erbse	<i>cicer arietinum</i>	chickpea	pois chiche	hommes
(Platt)Erbse	<i>lathyrus sativus</i>	vetches	gesse	gilban
Erdnuß	<i>arachis</i> <i>hypogaea</i>	earthnut	noisette de terre	ful sudani
Flachs	<i>linum</i> <i>usitatissimum</i>	flaxs	lin	kettan
Gerste	<i>hordeum</i>	barley	orge	scha-ir
Griechisches Heu	<i>trigonella</i> <i>foenograecum</i>	fenugreek	fenu grec	helbe
Hanf	<i>hibiscus</i> <i>cannabinus</i>	hemp	chanvre	til
Henna	<i>lawsonia alba</i>	henna	henné	henna
Hirse	<i>andropogon</i> <i>sorghum</i>	caffercorn	millet	durra beledije
Ägypt. Klee	<i>trifolium</i> <i>alexandrinum</i>	egypt. clover	trèfle	bersim
Linse	<i>lens esculenta</i>	lentil	lentille	ades
Lupine	<i>lupinus termis</i>	lupine	lupin	termis
Luzerne	<i>medicago sativa</i>	lucerne	luzerne	bersim hegasi
Mais	<i>zea mays</i>	maize	mais	durra schamije
(Wasser)Melone	<i>citrullus</i> <i>vulgaris</i>	watermelon	mélon rouge	battich
(Zucker)Melone	<i>cucumis melo</i>	sweet melon	mélon jaune	a-um
Reis	<i>oryza sativa</i>	rice	riz	russ
Saflor	<i>carthamus</i> <i>tinctorius</i>	safflower	saflor	artam
Sesam	<i>sesamum</i> <i>indicum</i>	sesame	sésame	simsim
Weizen	<i>triticum</i>	wheat	blé	kamh
Zuckerrohr	<i>saccharum</i> <i>officinatum</i>	sugar-can	canne à sucre	kasab esch- schuggar
Zwiebel	<i>allium cepa</i>	onion	oignon	bassal

#### IV. Querschnittsbestimmung von Kanälen mit regelmäßig wechselnder Wasserführung.

Es bedeute:

$F$  den Durchflußquerschnitt in qm,

$Q$  die abfließende Wassermenge in cbm/s,

$v$  die mittlere Abflußgeschwindigkeit in m/s,

$u$  den benetzten Umfang in m,

$J$  das Spiegelgefälle,

$R$  den Profilradius  $= \frac{F}{u}$  in m.

Die grundlegenden Beziehungen für den Wasserabfluß sind:

$$v = c \cdot \sqrt{J \cdot R} \quad Q = F \cdot v.$$

Den Beiwert  $c$  setze man zur Vereinfachung der Bestimmung vorläufig  $= 50$ ; er ändert sich bei dem Vergleich nahe beieinander liegender Profile nur sehr wenig und muß im Schlußergebnis nochmals nachgeprüft werden.

Hat man, wie dies in Ägypten der Fall ist, eine große Anzahl von Kanälen gleicher Querschnittsform zu bestimmen, so kann man für eine bestimmte Sohlenbreite ein Diagramm aufstellen, das als Abszissen die Tiefe des Kanals in m erhält. Als Ordinaten trage man dazu 3 Kurven auf: 1. die zugehörigen Werte von  $F$ , 2. von  $\sqrt{R}$ , 3. von  $F \cdot \sqrt{R}$ . In Abb. 14 sind 4 Diagramme dieser Art aufgestellt für einen Kanal mit wagerechter Sohle, einer Böschungsneigung von 1:1 und Sohlenbreiten von 10 m, 13 m, 17 m und 20 m; nötigenfalls würde man Diagramme in Unterschieden von vielleicht 1 m zwischen den Sohlenbreiten aufzustellen haben. Bezeichnet man den Wert  $c \cdot \sqrt{J}$  mit  $k$ , so ist  $v = k \cdot \sqrt{R}$  und  $Q = k \cdot F \cdot \sqrt{R}$ . Gegeben sind in der Regel die Wassermenge und das Längsgefälle des Wasserspiegels. Bringt man deshalb den Wert  $\frac{Q}{k}$  mit der Kurve für  $F \cdot \sqrt{R}$  in den verschiedenen Diagrammen zum Schnitt und zieht die zugehörigen Senkrechten, so erhält man daraus für die verschiedenen Querschnitte die Wassertiefe, die Wassergeschwindigkeit und die Größe des Kanalprofils. Bleibt der Wasserspiegel um das Maß  $d$  unter der Geländehöhe, so gibt eine Ordinate bei der um das Maß  $d$  vermehrten Wassertiefe den Querschnitt des auszuhebenden Kanals. Die zu erwartende mittlere Wassergeschwindigkeit erhält man aus der Beziehung  $v = k \cdot \sqrt{R}$ . An zwei Beispielen soll die Benutzung der Diagramme erläutert werden.

Beispiel A. In einem Gelände von einer Neigung 1:14400 ist ein Kanal von gleichem Spiegelgefälle so anzulegen, daß er bei höchstem Wasserstand die Geländehöhe erreicht. Seine Wasserführung soll bei H.W. 150 cbm/s, bei N.W. 50 cbm/s betragen. Welche Abmessungen muß er erhalten, wenn die Wassergeschwindigkeit zwischen 0,65 m/s und 0,90 m/s liegen soll.

Es ist

$$v = \frac{50}{120} \cdot \sqrt{R} \quad Q = \frac{50}{120} \cdot F \cdot \sqrt{R}$$

und demnach für

$$Q_{\max} = 150 \text{ cbm/s} \dots \dots F \cdot \sqrt{R} = 360$$

$$Q_{\min} = 50 \text{ cbm/s} \dots \dots F \cdot \sqrt{R} = 120$$

Mit Hilfe der Senkrechten zu diesen Werten von  $F \cdot \sqrt{R}$  in den Diagrammen erhält man die folgende Gegenüberstellung:

	I	II	III	IV
Kanal von Sohlenbreite $b =$ . . . .	10 m	13 m	17 m	20 m
Querschnitt $F$ in qm (= Aushub) . .	165	167	169	170
Wassertiefe $t$ in m bei $Q_{\max}$ . . . .	8,75	7,95	7,05	6,45
„ „ „ „ „ $Q_{\min}$ . . . .	4,75	4,15	3,60	3,25
$\sqrt{R}$ bei $\left\{ \begin{array}{l} Q_{\max} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ Q_{\min} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \end{array} \right.$	2,18	2,17	2,14	2,12
$v$ in m/s bei $\left\{ \begin{array}{l} Q_{\max} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ Q_{\min} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \end{array} \right.$	0,91	0,905	0,89	0,885
	0,73	0,71	0,69	0,67

Damit kann die theoretische Untersuchung des Querschnitts, die als vorteilhafteste Lösung eine Sohlenbreite von schätzungsweise 15 m ergibt, verlassen werden und die Wahl eines geeigneten Profils unter Berücksichtigung der praktischen Gesichtspunkte erfolgen, die überall auf die Querschnittsbestimmung von großem Einfluß sein werden. Aus der Zusammenstellung geht deutlich hervor, daß mit wachsender Sohlenbreite die Größe des Aushubquerschnittes nur verhältnismäßig langsam steigt; gleichzeitig vermindert sich die Wasserspiegelschwankung zwischen H.W. und N.W. und würde nötigenfalls die Sommerrieselung erleichtern. Dagegen wächst die Höhe der Grunderwerbskosten. Vor endgültiger Festlegung des Profils ist  $v$  noch auf den genauen Wert von  $c$  hin nachzuprüfen.

Beispiel B. Aus einem Hauptkanal, dessen Wasserspiegelhöhe zwischen 1 m und 2,6 m unter Geländehöhe schwankt, ist ein Nebenkanal so abzuleiten, daß er bei einer Geländeneigung von 1:6000 nach 10,3 km, wo ein Ablaufregler vorgesehen ist, die Geländehöhe erreicht, also bei H.W. ein

Wasserspiegelgefälle von 1:14400 besitzt. Bei N.W. kann der Wasserspiegel am Ablaufregler um 2 m sinken und sich also bei einer Senkung des Anfangswasserspiegels von 1,6 m das Gefälle auf 1:11250 vermehren, doch ist die Untersuchung auch auf ein gleichbleibendes Gefälle zu erstrecken. Die Wasserführung beträgt  $Q_{\max} = 120$  cbm,  $Q_{\min} = 80$  cbm. Die Wassergeschwindigkeit darf zwischen 0,60 m/s und 1 m/s schwanken.

Es beträgt für  $Q_{\max}$ :

$$v = \frac{50}{120} \cdot \sqrt{R}, \quad F \cdot \sqrt{R} = 288$$

für  $Q_{\min}$  bei gleichbleibendem Spiegelgefälle:

$$v = \frac{50}{120} \cdot \sqrt{R}, \quad F \cdot \sqrt{R} = 192$$

bei wechselndem Spiegelgefälle:

$$v = \frac{50}{106} \cdot \sqrt{R}, \quad F \cdot \sqrt{R} = 169,6$$

Mit Hilfe der Diagramme erhält man dafür folgende Zusammenstellung:

a) bei gleichbleibender Spiegelneigung 1:14400

	I	II	III	IV
Sohlenbreite $b$ in m . . . . .	10	13	17	20
Aushubquerschnitt am Einlauf qm . .	166	169	172	176
Aushubquerschnitt bei km 10 + 300 .	139	141	142	144
Wassertiefe in m bei $Q_{\max}$ . . . . .	7,08	7,05	6,15	5,65
„ „ „ „ $Q_{\min}$ . . . . .	6,15	5,45	4,75	4,35
Spiegelschwankung in m . . . . .	1,65	1,60	1,40	1,30
$\sqrt{R}$ bei $\left\{ \begin{array}{l} Q_{\max} . . . . . \\ Q_{\min} . . . . . \end{array} \right.$	2,08	2,07	2,05	2,01
	1,90	1,88	1,87	1,82
$v$ in m/s $\left\{ \begin{array}{l} Q_{\max} . . . . . \\ Q_{\min} . . . . . \end{array} \right.$	0,87	0,86	0,855	0,84
	0,79	0,78	0,78	0,76

b) bei Zunahme des Spiegelgefälles bei N. W. auf 1:11:250:

	I	II	III	IV
Wassertiefe bei $Q_{\min}$ . . . . .	5,75	5,15	4,40	4,00
Spiegelschwankung in m . . . . .	2,05	1,90	1,75	1,65
$\sqrt{R}$ bei $Q_{\min}$ . . . . .	1,88	1,85	1,80	1,76
$v$ bei $Q_{\min}$ . . . . .	0,89	0,87	0,85	0,83

Bei gleichbleibender Spiegelneigung käme Profil II in Frage, bei Änderung des Spiegelgefälles hätte das Profil II bis zum Ablaufregler in Profil I überzugehen. Die Wassergeschwindigkeit bleibt im ersteren Falle verhältnismäßig hoch, sodaß man die Absenkung des Wasserspiegels am Kanalende bei Bedarf noch unter 1,6 m verringern kann. Auch hier ändert sich für die verschiedenen Querschnitte die Aushubmenge für den Kanal verhältnismäßig wenig. Die weitere endgültige Wahl des Querschnitts hat wiederum nach Maßgabe örtlicher Verhältnisse, insbesondere der Grunderwerbskosten zu erfolgen und bedarf noch einer Nachprüfung von  $v$  mit dem genauen Wert von  $c$ .

## Verzeichnis der Abbildungen.

### Blatt I:

1. Der Nil von Assuan bis zum Meer und das Nilsystem (Karten).
2. Kurven von Abflussmengen des Nilsystems.
3. Schema doppelter und einfacher Beckenketten.
4. Schematischer Querschnitt des Niltals mit Beckenteilung.

### Blatt II:

5. Dammquerschnitte für Hochwasserschutz.
6. Kanalquerschnitte.
7. Einfacher Regler mit Dammbalkenverschluss.
8. Eiserner und gemauerter Düker.
9. Lageplan des Deltawehrs.
10. Querschnitt des Deltawehrs.

### Blatt III:

11. Querschnitt des Assiutwehres.
12. Assuansperre, Verteilung der Durchflußöffnungen.
13. Querschnitt der Assuansperre.
14. Diagramme zur Ermittlung von Kanalquerschnitten.

## Literaturverzeichnis.

- J. Barois, Les Irrigations en Egypte. 1911.  
 E. Béchara, Irrigation Péréenne des Bassins de la Moyenne Egypte. 1905.  
 Linant de Bellefonds, Mémoires sur les Principaux Travaux en Egypte. 1872.  
 Sir H. Brown, The Fayum and Lake Moeris. 1892.  
 „ , History of the Barrage at the Head of the Delta of Egypt. 1896.  
 „ , Delta Barrage of Lower Egypt. 1902.  
 „ , Irrigation. 1907.  
 „ , Irrigation Works. 1910.  
 B. R. Buckley, Irrigation Works in India and Egypt. 1893.  
 J. Brunhes, La Faible Crue du Nil en 1900 et les Récentes Mésures Prises en Egypte par le Service des Irrigations. 1900.  
 Foaden-Fletcher, Textbook of Egyptian Agriculture. 1908.  
 Sir W. Garstin, Report upon the Basin of the Upper Nile. 1904.  
 H. Henze, Der Nil, seine Hydrographie und wirtschaftliche Bedeutung. 1903.  
 Irrigation Reports, Public Works Ministry.  
 Jahrbücher der Khedivial Agricultural Society.  
 Capt. G. Lyons, The Rains of the Nile Basin in 1904. 1905.  
 „ , Physiography of the River Nile. 1906.  
 J. Magnus, Ägypten. Diss. 1913.  
 W. Pietsch, Das Abflußgebiet des Nils. Diss. 1911.  
 Sir W. Willcocks, Perennial Irrigation and Flood Protection for Egypt. 1894.  
 „ , The Nile Reservoir Dam at Assuan and after. 1903.  
 „ , The Nile in 1904. 1904.  
 „ , The Assuan Dam and Lake Moeris. 1904.  
 „ , The Irrigation of Mesopotamia. 1909 und 1911.  
 Sir W. Willcocks & J. I. Craig, Egyptian Irrigation. 1913.  
 Agricultural Journal of Egypt und die bautechnische Fachpresse.

### Abkürzungen im Text:

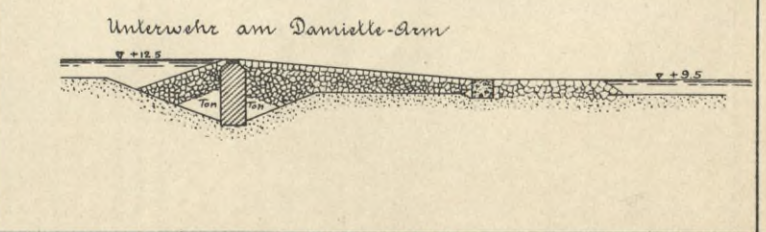
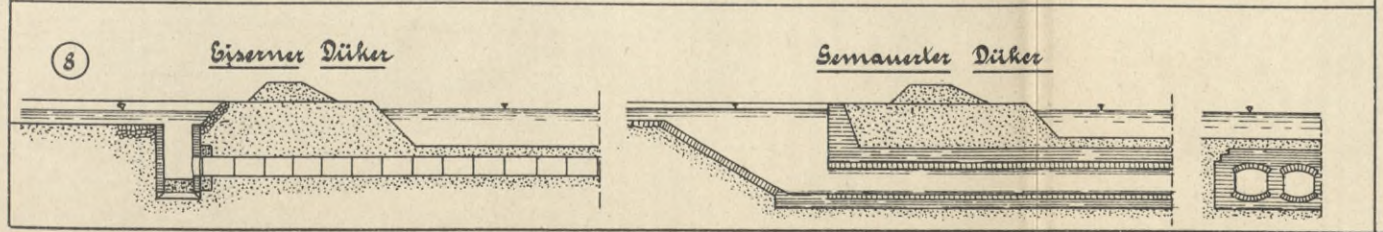
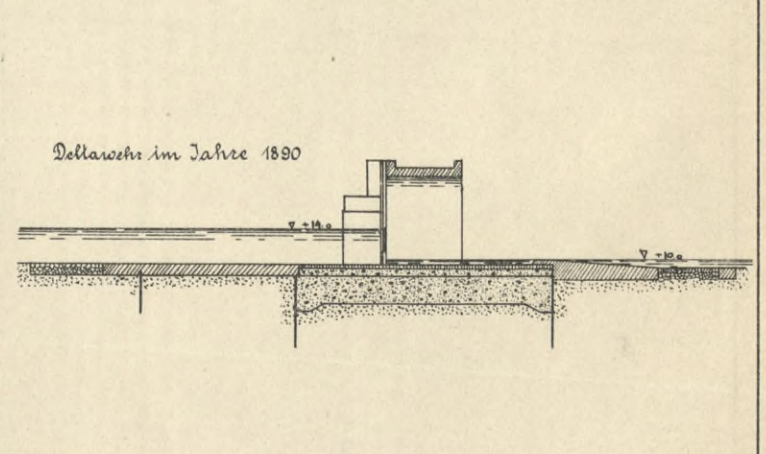
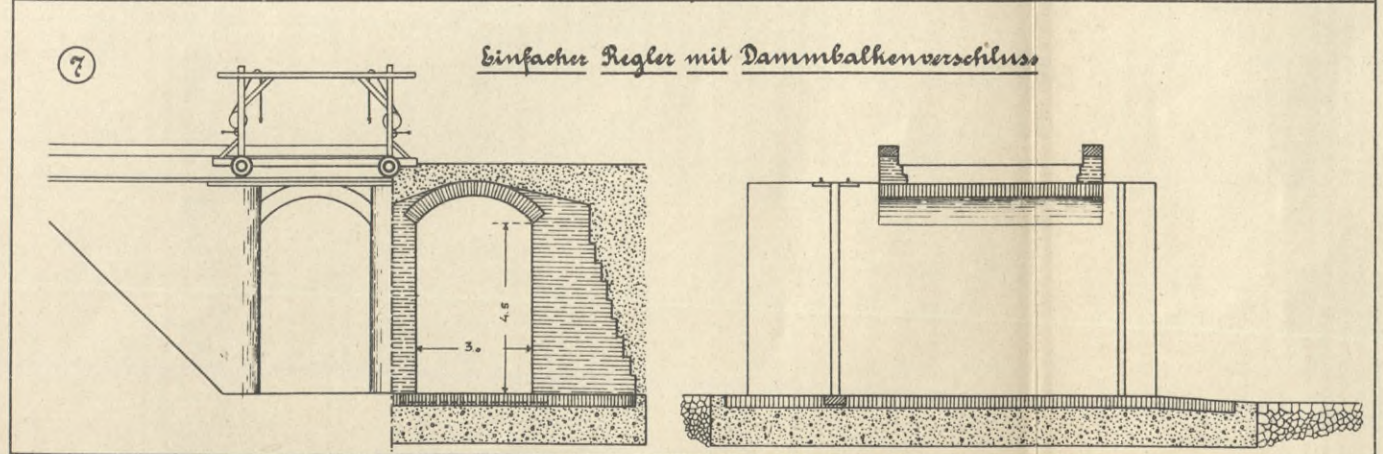
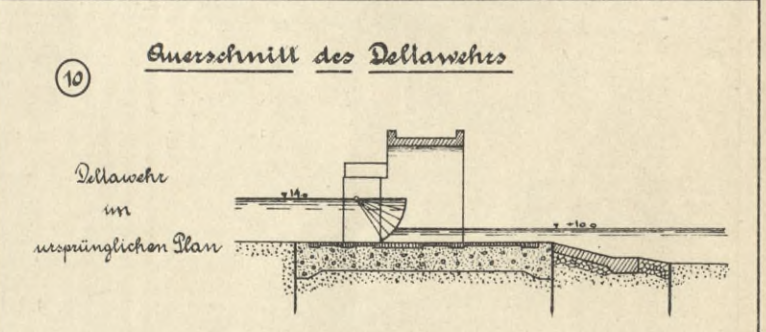
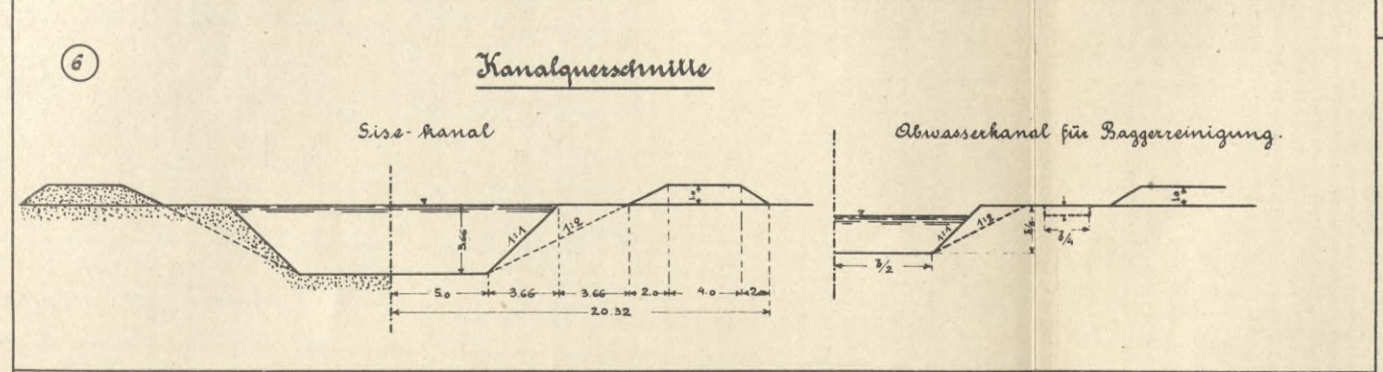
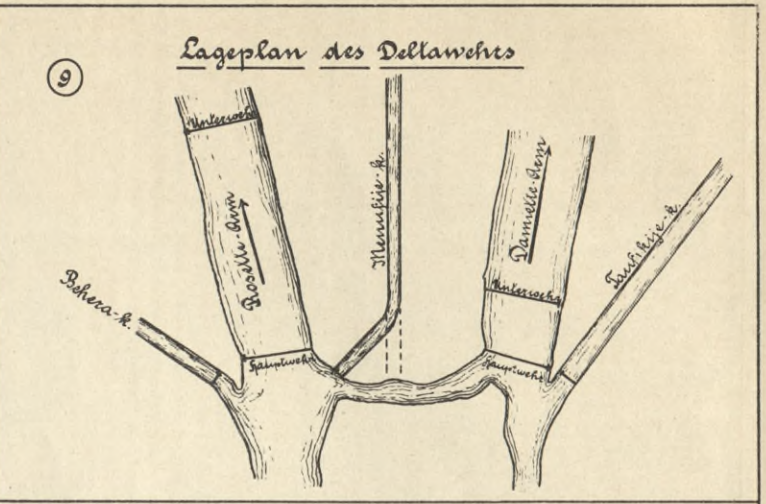
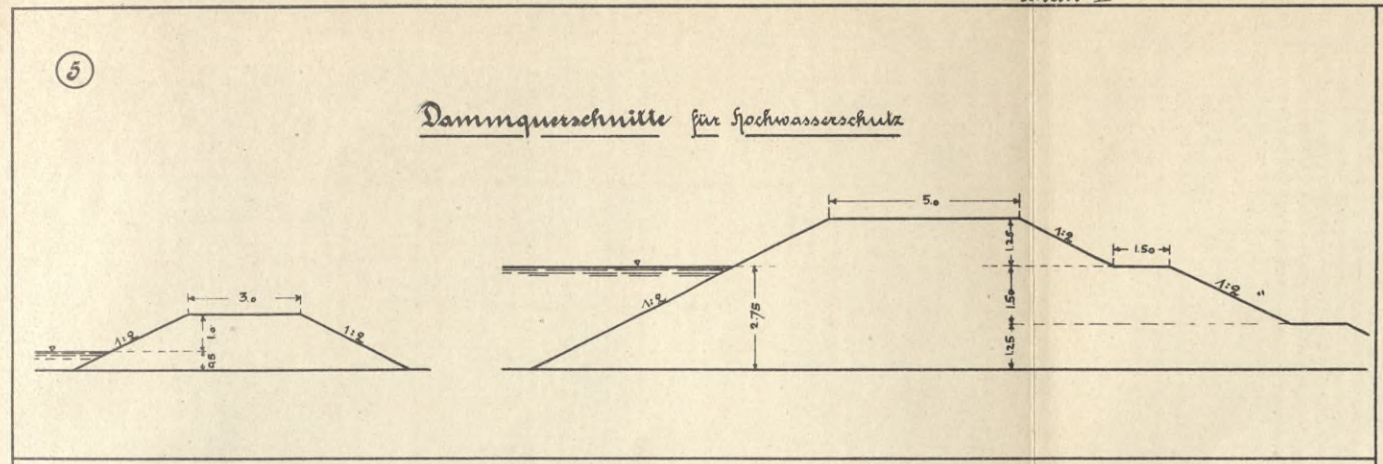
m/s = Meter in der Sekunde	M. H. = Meereshöhe
sl = Liter in der Sekunde	H. W. = Hochwasser
cbm/s = Kubikmeter in der Sekunde	N. W. = Niedrigwasser
Std. = Stunde	O. - Ä. = Oberägypten
PS = Pferdestärke	U. - Ä. = Unterägypten
M. = Mark	









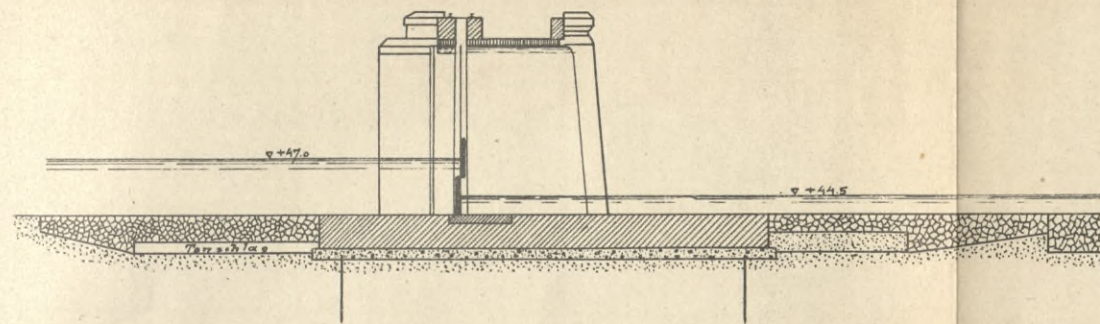




11

Querschnitt des Assintwehres

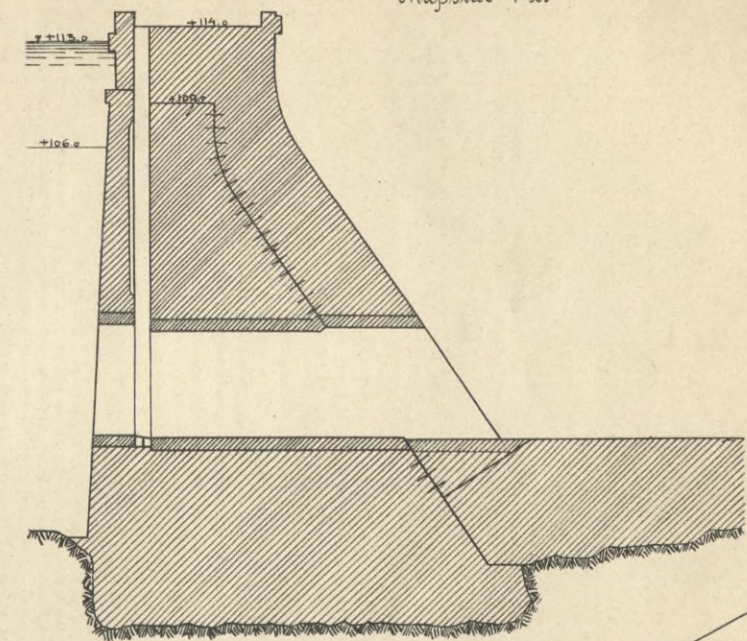
Maßstab 1:500



13

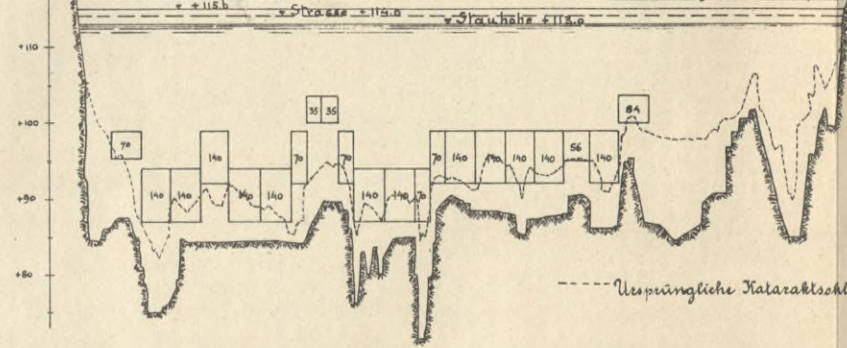
Querschnitt der Assuanperle

Maßstab 1:500



12

Assuanperle, Ansicht von der Wassersseite mit Verteilung der Durchflußöffnungen

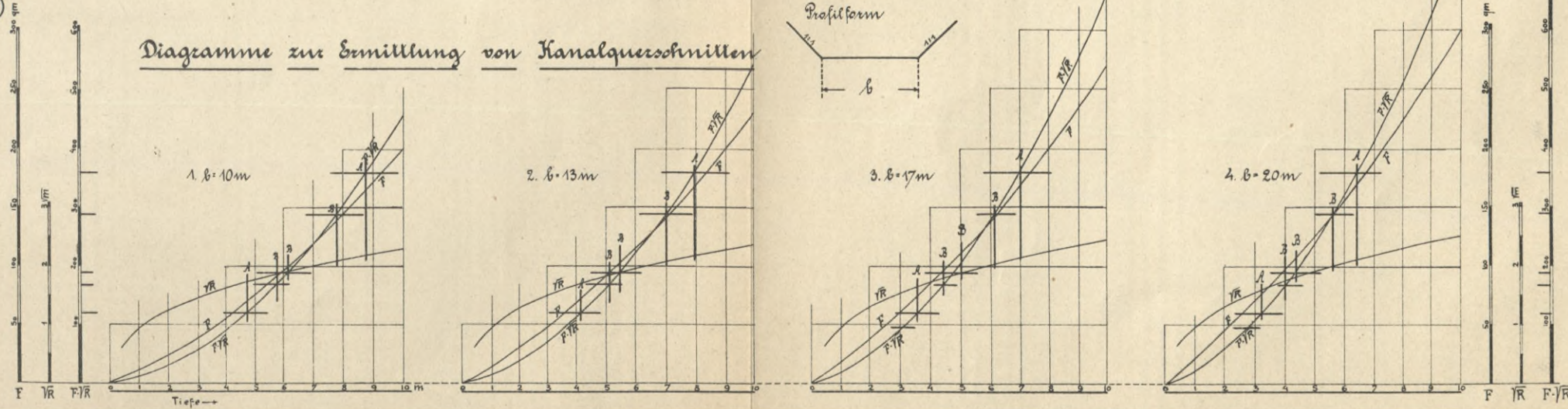


Zahlen bedeuten qm jeder Gruppe

--- Ursprüngliche Kataraktschle

14

Diagramme zur Ermittlung von Kanalquerschnitten



Profilform

b

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. 31653

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1, XII. 52. 10.000



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298419

S. 67