

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 64 (1972)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Wasserwirtschaft in ariden Gebieten : ein Wasserwirtschaftsplan für Marokko  
**Autor:** Willi, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-920953>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

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

# WASSERWIRTSCHAFT IN ARIDEN GEBIETEN EIN WASSERWIRTSCHAFTSPLAN FÜR MAROKKO

Walter Willi

DK 711 : 626/627/628 (64)

## 1. Einleitung

### 1.1 ALLGEMEINES

In den Industrieländern der gemässigten Zonen war der Rohstoff Wasser bis vor wenigen Jahren im Ueberfluss vorhanden. Heute wird immer mehr offenkundig, dass dieser paradiesische Zustand nicht mehr lange andauern wird. Der Grund dafür liegt vorerst in der Verschwendung und Verunreinigung der vorhandenen Wasserschätze; bei weiter zunehmender Bevölkerungsdichte werden aber auch Sparsamkeit und Sorgfalt grössere Versorgungsengpässe nur dann vermeiden helfen, wenn sie durch einen frühzeitig aufgestellten und systematisch verfeinerten Wasserwirtschaftsplan unterstützt werden.

Auch in einigen Agrarländern der semi-ariden, ariden und subtropischen Zone nimmt der Vorrat an frei verfügbaren Wasserschätzen rasch ab. Als Folge der realisierten und geplanten Bewässerungssysteme ist dort der Wasserbedarf besonders hoch, während das Dargebot naturgemäss gering oder nur während einer begrenzten Periode des Jahres ausreichend ist.

In diesen Ländern ist es nicht nur ein Gebot der Vernunft, sondern eine ultimative Forderung, die vorhandenen Wasserschätze sinnvoll und haushälterisch zu nutzen. Eine der wichtigsten Aufgaben der betroffenen Regierungen besteht deshalb darin, durch gesetzgeberische und planerische Massnahmen das vorhandene Wasserdargebot auf die verschiedenen Nutzniesser zu verteilen und eindeutige Prioritäten aufzustellen. Den planerischen Teil der Aufgabe übertragen sie oft ausländischen Ingenieurbüros, die mit der Durchführung entsprechender Studien beauftragt werden. Diese Studien erstrecken sich meistens nicht nur auf hydrologisch-hydraulisch-technische Gesichtspunkte, sondern auch auf Fragen sozialer, organisatorischer und wirtschaftlicher Natur. Den wirtschaftlichen Zusammenhängen wird unter dem Einfluss der internationalen Finanzierungsinstitute immer grösseres Gewicht beigemessen. Sie müssen bei der Durchführung der Studien entsprechend berücksichtigt werden.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen einen kurzen Einblick in die Untersuchungen gewähren, die bei der Aufstellung eines Wasserwirtschaftsplanes für ein arides Gebiet etwa durchzuführen sind.

Der Wasserwirtschaftsplan soll dabei nicht nur den Plan zur Bewirtschaftung der vorhandenen Wasserschätze enthalten, sondern auch die Mittel und deren zeitlichen Einsatz definieren, die zur Realisierung dieses Planes nötig sind.

### 1.2 PROBLEMSTELLUNG

Die Hauptaufgabe eines Wasserwirtschaftsplanes in ariden, das heisst warmen und niederschlagsarmen Gebieten besteht darin, einen Ausgleich zwischen Wasserdargebot und Wassernachfrage herzustellen. Da das Dargebot durch die natürlicherweise vorhandenen Wasserschätze einerseits und die zur Nutzbarmachung derselben notwendigen tech-

nischen und finanziellen Mittel andererseits begrenzt ist, so konzentriert sich die wesentliche Aufgabe des Wasserwirtschaftsplanes darauf, die den einzelnen Verbrauchern zuteilbaren Wasserquoten so festzulegen, dass sie mit Hilfe der verfügbaren Mittel garantiert werden können. Man kann diese Tätigkeit auch mit derjenigen eines Konditors vergleichen, der eine bestimmte Quantität Mehl und Zutaten zur Verfügung hat und damit einen Kuchen bäckt, den er dann, nachdem er fertiggestellt ist, in einzelne Sektoren aufteilt, um ihn unter die vorhandenen Käufer aufzuteilen.

In Bild 3 sind die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten des Wasserdargebotes, die von einem Wasserwirtschaftsplan berücksichtigt werden können oder müssen, den charakteristischen Grössen des Wasserdargebotes gegenübergestellt.

Alle diese Nutzungsziele benötigen Wasser, und zwar Wasser einer bestimmten Qualität, in einer bestimmten Quantität und zu einem bestimmten Zeitpunkt, wobei alle oder nur zwei oder eine dieser Eigenschaften für die Nutzung im betreffenden Sektor notwendig sind.

Auf der andern Seite sind Qualität, Quantität und Zeitpunkt des Wasserdargebotes von der Natur aus gegeben. In den seltensten Fällen decken sich seine Charakteristiken mit denjenigen des Bedarfes; sollen die natürlichen Wasserschätze nutzbar gemacht werden, so müssen die genannten drei Faktoren durch Bauwerke beeinflusst werden. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen darum, die beiden Faktoren Quantität und Zeitpunkt durch die Schaffung von grossen Speicherbecken zu beeinflussen, in welchen der Abfluss während bestimmter Zeiten des Jahres aufgefangen und während der restlichen Zeit des Jahres wieder daraus entnommen wird (Jahresspeicherung). Es ist aber mit grossen Becken auch möglich, Wasser über mehrere Jahre hinweg zu speichern, das heisst von nassen Jahren auf trockene zu verlagern (Ueberjahresspeicherung). Meistens kann damit auch die Qualität des Wassers beeinflusst werden, indem salzhaltige Niederwässer durch süsswasserreiche Hochwasserzuflüsse verdünnt werden. Auch die Temperatur des abfliessenden Wassers wird durch die Speicherung verändert.

Es ist klar, dass das Abwägen aller Nutzungsziele gegeneinander nicht nur äusserst komplex ist und oft zu unvereinbaren Forderungen führt, sondern auch einen grossen Arbeitsaufwand erfordert. Es wird dadurch auch offensichtlich, wie wichtig das Aufstellen eines wohlüberlegten und gut ausgearbeiteten Wasserwirtschaftsplanes ist.

### 1.3 WASSERWIRTSCHAFTSPLAN FÜR DEN OUM ER R'BIA

Als Illustration dieser in groben Zügen geschilderten Problemstellung soll als Beispiel die Ausarbeitung eines Wasserwirtschaftsplanes für den Oum er R'bia in Marokko





Bild 1 Der Oum er R'bia bei Kasba Tadla: Ein schnell fließender Gebirgsfluss mit sehr unregelmäßigem Abflussregime und starkem Sedimenttransport.



Bild 2 Der Oum er R'bia kurz vor der Mündung in den Atlantischen Ozean; im Hintergrund die Stadt Azemmour.

geschildert werden<sup>1</sup>. Das Einzugsgebiet dieses grössten, aber nicht abflussreichsten marokkanischen Flusses besitzt eine Oberfläche von 34 000 km<sup>2</sup> auf, was rund drei Viertel der Oberfläche der Schweiz ausmacht. Der Oum er R'bia mündet zwischen den Städten Casablanca und Safi in den Atlantischen Ozean. Der höchste Punkt des Einzugsgebietes, der Toubkal in der Kette des Hohen Atlas, weist eine Höhe von 4165 m ü. M. auf. Infolge der grossen Höhendifferenz bis hinunter zum Meer existieren beträchtliche klimatische Unterschiede an verschiedenen Stellen des Einzugsgebietes. Im Hochatlas erreichen die jährlichen Niederschläge 1100 mm, während sie gegen die Küste hin bis auf 200 mm absinken. Im Sommer steigen die Temperaturen im Innern auf 50 °C, während im Winter solche um 0 °C und darunter zu beobachten sind. Das Klima dieser Region hat einen semiariden Charakter.

Der Oum er R'bia, nach dem Sébou der bedeutendste Fluss im Gebiet der Maghreb-Staaten, entspringt im Osten

des Einzugsgebietes in der Gegend von Khenifra (Bild 5). Seine wichtigsten Zuflüsse sind der Oued Abid und der Oued Tessaout, der wiederum einen wichtigen Zufluss aus dem Osten, den Lakhdar, empfängt. Alle diese Flüsse fließen vom Hochatlas herunter, wo die Niederschläge relativ hoch sind und der Schnee im Frühjahr noch lange liegen bleibt. Das hydrologische Regime ist einerseits durch die Trockenheit im Sommer und andererseits durch die Niederschläge im Winter und die Schneeschmelze im Frühling gekennzeichnet. Diese Faktoren bedingen einen beträchtlichen Abfluss während des Winters mit einer Spitze im März/April. Von da an nehmen die Abflüsse sukzessive ab und erreichen ihr Minimum im August/September, zu einer Zeit, während welcher die höchsten Temperaturen und der maximale Wasserbedarf für künstliche Bewässerung zu verzeichnen sind. Der mittlere Abfluss des Oum er R'bia beträgt 130 m<sup>3</sup>/s bei seiner Mündung in den Atlantischen Ozean. Sein minimaler Trockenzeitabfluss liegt bei 30 m<sup>3</sup>/s, was seit der Ansiedlung von sesshaften Bauern im Flusstal zu relativ bedeutender Bewässerung Möglichkeit bot. Der an sich schon starken unterschiedlichen Wasserführung zwischen verschiedenen Jahreszeiten — die Winterabflüsse liegen bei mehreren 100 m<sup>3</sup>/s — ist eine ausserordentlich starke zwischenjährliche Schwankung überlagert. Die Wasserfrachten der nassen Jahre sind sechsmal grösser als diejenigen der trockenen.

Innerhalb des Einzugsgebietes und der benachbarten, flach angrenzenden Regionen liegen grosse Ebenen, die unter der Voraussetzung eines genügenden Wasserangebotes mit Hilfe von Bewässerung in fruchtbare Gebiete verwandelt werden können. Die besten Böden konzentrieren sich hauptsächlich auf drei grosse Bewässerungsgebiete, nämlich auf den Haouz, den Tadla und die Doukala, sowie auf zahlreiche kleinere Gebiete entlang der Flussläufe, in denen seit alters her Bewässerung praktiziert wird und althergebrachte Wasserrechte noch heute Gültigkeit haben (sog. «petite et moyenne hydraulique»). Die totale bewässerbare Oberfläche beläuft sich auf rund 500 000 ha. Die vorhandenen Wasserschätze reichen aber nicht aus, um die gesamte Fläche zu bewässern.

Seit Beginn dieses Jahrhunderts hat die Nutzung des Wassers des Oum er R'bia sukzessive zugenommen, vorerst vor allem im Hinblick auf eine Nutzung für die Erzeugung elektrischer Energie und für die Trinkwasserversorgung von Casablanca. Es zeigte sich bald, dass eine intensive Nutzung des Flusses die Regulierung desselben erfordert, was zur Realisierung der Mehrzweckanlagen von Bin el Ouidane/Afourer<sup>2</sup> und von Ait Adel<sup>3</sup> geführt hat. (Bilder 5 und 8.)

Mit Hilfe der Speicher Bin el Ouidane und Ait Adel ist es möglich, einen beträchtlichen Teil des Abflusses des Oum er R'bia zu regulieren, was die Bewässerung von insgesamt 250 000 ha gestattet. Im gegenwärtigen Zeitpunkt werden dem Oum er R'bia für Trinkwasserversorgung und Bewässerung von seinen 4200 Millionen m<sup>3</sup> Jahreswasserfracht rund 1800 Mio m<sup>3</sup> entnommen. Diese Wasserfracht entspricht ungefähr derjenigen des Trockenjahres, womit gesagt ist, dass mit den heutigen Regulierbecken lediglich die Regulierung der Abflüsse innerhalb eines gegebenen Jahres möglich ist. Für eine weitergehende Nutzung des Wasserdargebotes ist aber eine Ueberjahresspeicherung erforderlich, wozu weitere bedeutende Staubecken geschaffen werden müssen.

<sup>1</sup> Siehe auch Sonderpublikation «Wasser in Marokko — Le Maroc et l'eau», WEW 1963, S. 1/132. (Verfasser: G. A. Tondury.)

<sup>2</sup> Siehe auch WEW 1953, S. 1/9.

<sup>3</sup> Siehe auch WEW 1970, S. 119/125.



Marokko weist stabile politische Verhältnisse und eine Bevölkerungswachstumsrate von 3,1% im Jahr auf. Diese beiden Faktoren lassen eine starke Expansion der wirtschaftlichen Tätigkeit in den nächsten Jahren vermuten. Es ist somit von erster Dringlichkeit, die noch verfügbaren Wasserschätze des Oum er R'bia nutzbar zu machen und für die nächsten Jahre bereitzustellen. Dabei werden vor allem fünf Nutzungsziele ins Auge gefasst:

- Trinkwasserversorgung von Casablanca und für die Küstenzone zwischen dieser Stadt und El Jadida.
- Wasserversorgung für die geplanten Industrien, worunter vor allem die Ausnutzung grosser Phosphat-Vorkommen fällt (Marokko besitzt einen bedeutenden Teil der gesamten Weltvorkommen an Phosphat).
- Aufrechterhaltung von gesunden Wasserverhältnissen in den Flussläufen durch Garantie eines genügend grossen Restwasserabflusses.
- Bereitstellen von genügend Wasser für Bewässerungszwecke im Sommer. Die Ausdehnung und Intensivierung der bestehenden Bewässerung hat ausser der wichtigen Aufgabe, die Ernährung des erwarteten Bevölkerungszuwachses sicherzustellen, die Funktion, die heute grassierende Landflucht zu bekämpfen, indem an Ort und Stelle Arbeitsplätze geschaffen werden.
- Erzeugung elektrischer Energie.

Die ersten vier Nutzungsziele besitzen gegenüber dem letzten eindeutige Priorität, da die benötigte Energie auch durch thermische Kraftwerke produziert werden könnte [1].

Die Ausarbeitung des Wasserwirtschaftsplanes erfolgte in vier Phasen:

- Phase 1: Ermittlung der Charakteristiken des Wasserdargebotes (linkes Rechteck in Bild 3) und der potentiellen Wasserbedürfnisse (rechtes Rechteck in Bild 3);
- Phase 2: Ermittlung des nutzbaren Teils des Wasserdargebotes;
- Phase 3: Untersuchung verschiedener möglicher Verteilschlüssel für das nutzbare Wasserdargebot unter Berücksichtigung der Prioritäten und der übrigen Randbedingungen (3. Rechteck in Bild 3);
- Phase 4: Festlegen des besten Verteilschlüssels mit Hilfe wirtschaftlicher Kriterien (4. Rechteck in Bild 3).

[1] Literaturhinweis am Ende dieses Berichtes.

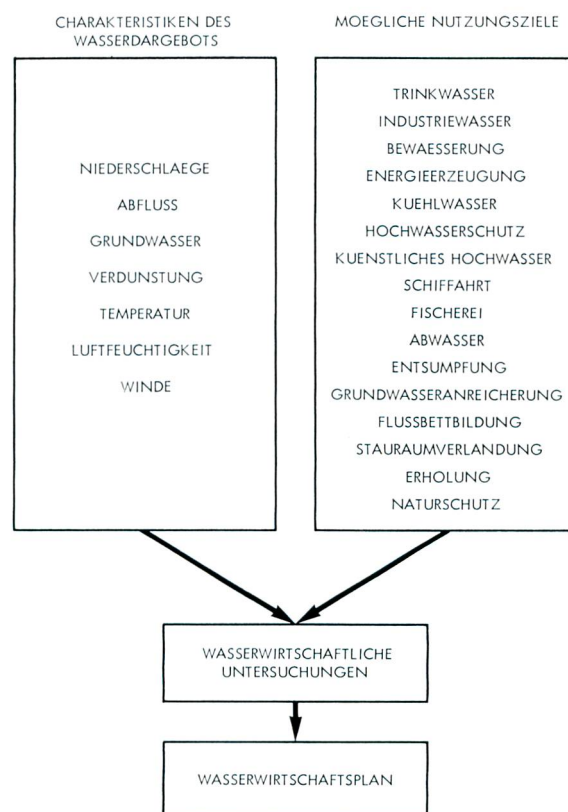


Bild 3 Schematische Darstellung der Methodik beim Aufstellen eines Wasserwirtschaftsplanes.

## 2. Wasserdargebot und Wasserbedürfnisse (erste Phase)

### 2.1 ERMITTLUNG DER CHARAKTERISTIKEN DES WASSERDARGBOTES

Der erste Schritt in der Bereitstellung eines Wasserwirtschaftsplanes in ariden Ländern besteht normalerweise darin, die Grösse der natürlichen Wasservorkommen einigermaßen zuverlässig zu ermitteln. Von der Zuverlässig-

Bild 4  
Das alte Fort bei der Wasserfassung Kasba Tadla (Bewässerungsgebiet Beni Amir).

(Bild 5 siehe Farbbeilage)





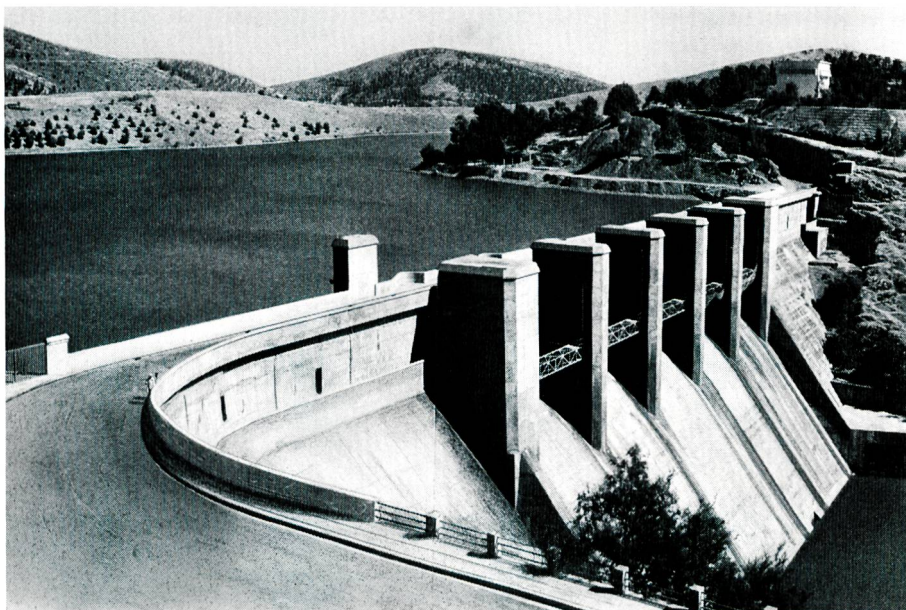


Bild 6  
Die Talsperre Im Fout  
(Fertigstellung 1944), deren  
Speicher heute zu 75 %  
verlandet ist (60 Mio m<sup>3</sup>  
Ablagerungen nach 25 Jahren).

keit dieser Untersuchungen hängt die Qualität des aufzustellenden Wasserwirtschaftsplanes ab. Dabei ist man auf das vorhandene Zahlenmaterial angewiesen. Je nach der Länge der Beobachtungsperiode sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich, um das fehlende Zahlenmaterial zu ergänzen. Um grobe Fehlschlüsse zu vermeiden, ist es nämlich wichtig, nicht nur mit dem sogenannten «Mitteljahr» und irgend einem Trockenjahr zu rechnen, sondern es muss unbedingt die Wahrscheinlichkeit bekannt sein, mit welcher das Auftreten von trockenen und nassen Jahren behaftet ist. Besonders wenn für die Analyse ein mathematisches Modell verwendet wird, sind lückenlose Reihen von Abflusswerten über eine längere Periode erforderlich, und zwar an mehreren Stellen innerhalb des betrachteten Einzugsgebietes. Für die künstliche Generation von hydrologischen Daten stehen zwei Verfahren im Vordergrund, nämlich dasjenige der «Korrelationen» und die «Monte-Carlo-Methode».

Die erste Methode gestattet, zwischen zwei Abflussmessstationen, an welchen die Abflüsse während gleicher Perioden bekannt sind, ein Korrelationsgesetz zwischen die-

sen Abflüssen aufzustellen. Sofern bei einer der beiden Stationen in gewissen Jahren Abflussmengen bekannt sind, in welchen bei der andern Station diese Werte fehlen, können die entsprechenden Abflusswerte in die ermittelte Korrelationsgleichung eingesetzt werden.

Mit der Korrelation können Lücken gefüllt werden, aber es können keine Abflusswerte errechnet werden für Jahre, in welchen überhaupt an keiner der vorhandenen Messstationen beobachtet worden ist. Es besteht dann die Möglichkeit, aufgrund der Wahrscheinlichkeitsverteilung der gemessenen Abflusswerte zusätzliche «Jahre» zu generieren und mit der «Monte-Carlo-Methode» in eine Reihe einzuordnen (Bild 9).

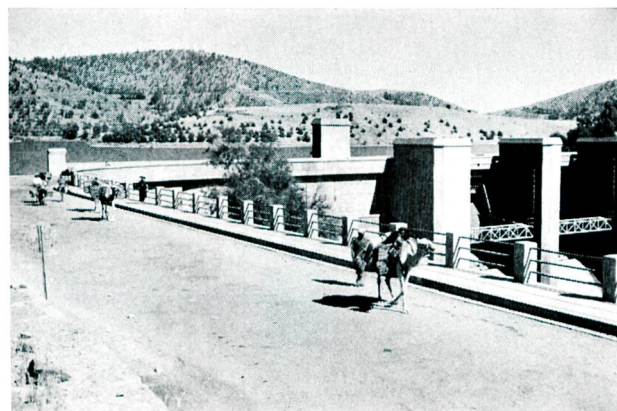
## 2.2 WASSEBEDÜRFNISSE

Die Bestimmung der Wasserbedürfnisse ist eine der schwierigsten Aufgaben beim Aufstellen eines Wasserwirtschaftsplanes. Es handelte sich im vorliegenden Fall um die Festlegung der Bedürfnisse an Trinkwasser für Casablanca und die angrenzende Küstenzone, an Brauchwasser für die Industrie und an Bewässerungswasser für die geplanten Bewässerungsgebiete.

Bei der Bestimmung des Trinkwasserbedarfes wurde vom heutigen Zustand ausgegangen und für die Entwicklung in der Zukunft eine Zuwachsrate der Bevölkerung einerseits und eine Zuwachsrate des Pro-Kopf-Verbrauches andererseits angenommen. Dabei konnte auf Schätzungen der «Weltgesundheitsorganisation» zurückgegriffen werden.

Die Bedürfnisse der Industrie und der Landwirtschaft konnten in Zusammenarbeit mit der Administration und aufgrund zahlreicher bereits durchgeführter Detailstudien für die einzelnen Bewässerungsgebiete festgelegt werden. Die verwendeten Zahlenwerte waren das Resultat jahrelanger Arbeit, die zur Erfassung all der verschiedenen Faktoren wie Bodenverhältnisse, technische Aspekte der Bewässerung, mögliche Fruchtfolgen, Drainageverhältnisse usw. nötig war.

Bild 7 Altes und Neues begegnet sich (Staumauer Im Fout).





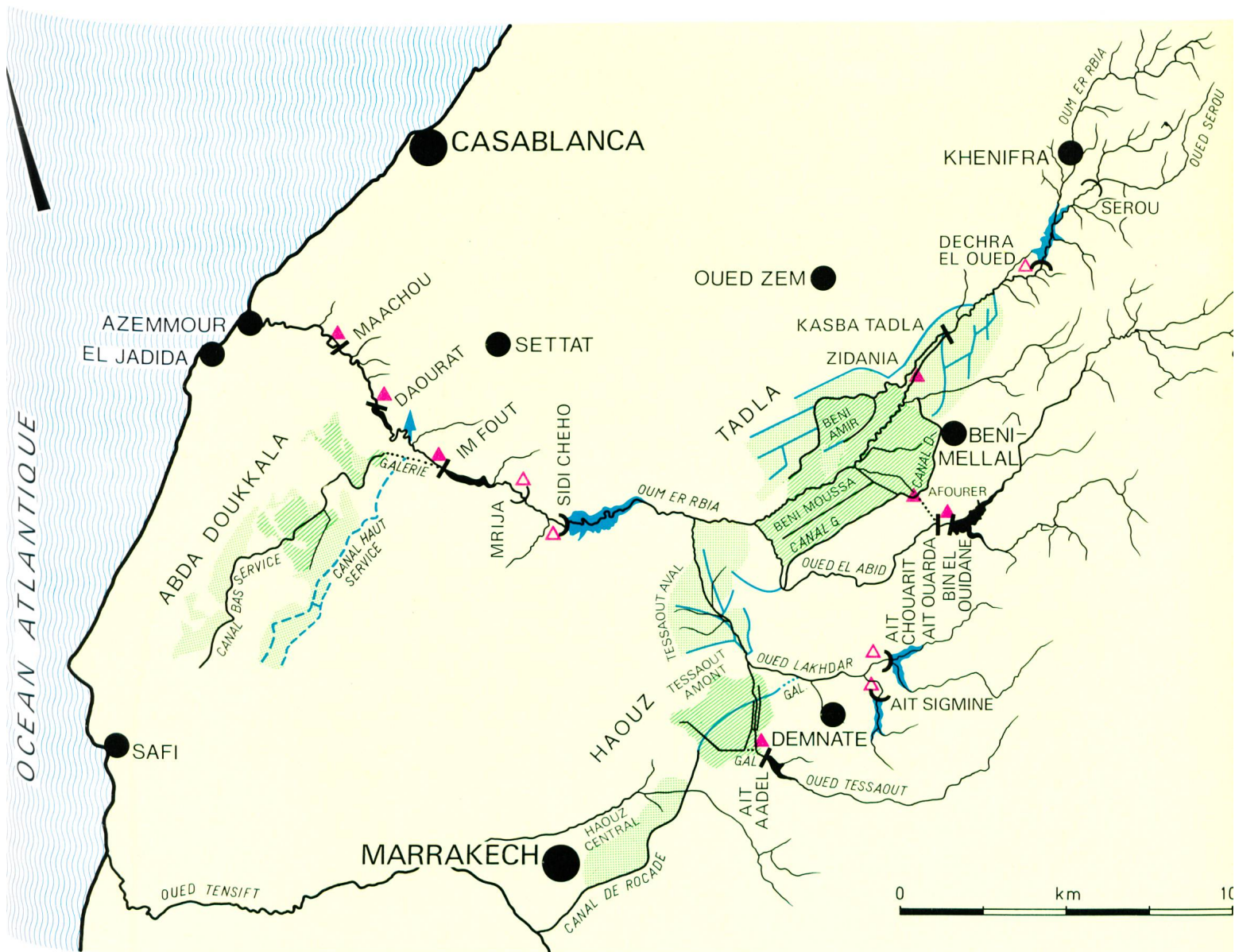


Bild 5: Heutige und geplante Entwicklung im Einzugsgebiet des Oum R'Bia für Bewässerung, Trinkwasserversorgung und Elektrizitätserzeugung (Plan Motor-Columbus, Ingenieurunternehmung AG)

#### LEGENDE:

- |   |                                  |       |  |
|---|----------------------------------|-------|--|
| — | Bestehende Talsperre             | —     | Bestehender Kanal                        |
| — | Vorgesehene Talsperre            | —     | Vorgesehener Kanal                       |
| — | Mögliche Talsperre               | ---   | «Oberer Kanal» Doukkala                  |
| ▲ | Bestehendes Kraftwerk            | ..... | Bestehender Stollen                      |
| ▲ | Vorgesehenes Kraftwerk           | ..... | Vorgesehener Stollen                     |
| — | Bestehender Speichersee          | ▨     | Bestehende Bewässerungszone              |
| — | Vorgesehener Speichersee         | ▨     | Neue oder modernisierte Bewässerungszone |
| → | Trinkwasserversorgung Casablanca |       |  |







### 3. Nutzbares Wasserdargebot (zweite Phase)

Bei der Aufstellung des Wasserwirtschaftsplanes galt es, in einer zweiten Phase die Möglichkeiten zu untersuchen, das vorhandene Wasserdargebot in Quantität und Zeitpunkt den vorhandenen Bedürfnissen anzupassen. Das im Winter anfallende Wasser ist aufzufangen und bis zum Sommer, der Zeit des höchsten Bedarfs der Bewässerung, zu speichern. Ausserdem geht es darum — sofern mehr als nur der Trockenjahresabfluss ausgenutzt werden soll — einen Teil der Wasserfrachten von nassen Jahren auf Trockenjahre zu verschieben (Ueberjahresspeicherung).

Das Problem wird von ausserordentlich vielen Parametern beeinflusst. Die realisierbare Wasserentnahme ist beispielsweise nicht eine bestimmte feste Grösse, sondern ist im hohen Masse von der zur Verfügung stehenden Speicherkapazität abhängig. Die Schaffung von grossen Speicherräumen wiederum ist sehr kapitalintensiv, und es fragt sich, wo das Optimum liegt, das heisst bei welcher Speicherkapazität ein Maximum an Nutzen mit einem relativen Minimum an Investitionen erreicht werden kann.

Sofern die Untersuchung nur für einen einzigen Speicher und eine einzige Wasserentnahmestelle durchzuführen ist, kann das Problem mit graphischen Methoden verhältnismässig einfach gelöst werden. Sobald aber mehrere Speicher und mehrere Entnahmestellen im Spiele sind, werden die Zusammenhänge ausserordentlich komplex, und es empfiehlt sich in diesem Fall, das Problem mit Hilfe eines Computers zu lösen.

Bei Verwendung eines Computers können die hydraulischen Vorgänge in einem mathematischen Modell simuliert werden. Dieses hat zum Ziel, die verschiedenen, für die Regulierung des Flusses in Frage kommenden Speicher auf ihre Eignung hin zu prüfen und ihr Verhalten über eine Zeitperiode von mehreren Jahren zu untersuchen. Für den Oum er R'bia betrug die Periode bekannter Abflüsse 35 Jahre, so dass auf die «Monte-Carlo-Generation» verzichtet werden konnte.

Das Prinzip der Simulation besteht darin, das Verhalten und die Wirkung der einzelnen Speicher unter der Annahme zu untersuchen, dass die einzelnen Bauwerke am Anfang der Periode bereits ausgeführt sind, und dass die Zuflüsse zu den einzelnen Speichern den effektiv in dieser Periode aufgetretenen Abflüssen entsprechen. Ausserdem gestattet das mathematische Modell, das Zusammenspiel der einzelnen Speicher zu analysieren und das beste Betriebsreglement herauszufinden. Es ist zum Beispiel denkbar, dass an einem der Zuflüsse eine sehr günstige Sperrstelle besteht, die einen billigen Speicherraum ermöglicht. In diesem Fall ist es zweckmässig, diesen Speicher für die Ueberjahresspeicherung heranzuziehen, während die Jahresspeicherung, die weniger Speicherraum erfordert, teureren Speichern übertragen werden kann. Das Auffinden der besten Betriebsreglemente kann in komplizierten Fällen auch mit Hilfe der «linearen Programmierung» erfolgen. Da aber angenommen werden durfte, dass im Endstadium der Entwicklung jeder Speicher oder jede Speichergruppe «sein», bzw. «ihr» Gebiet bediene, war die Anwendung dieser Methode nicht erforderlich.

Bild 11 zeigt das hydraulische Schema des mathematischen Modells. Die Dreiecke bezeichnen die Speicher, die

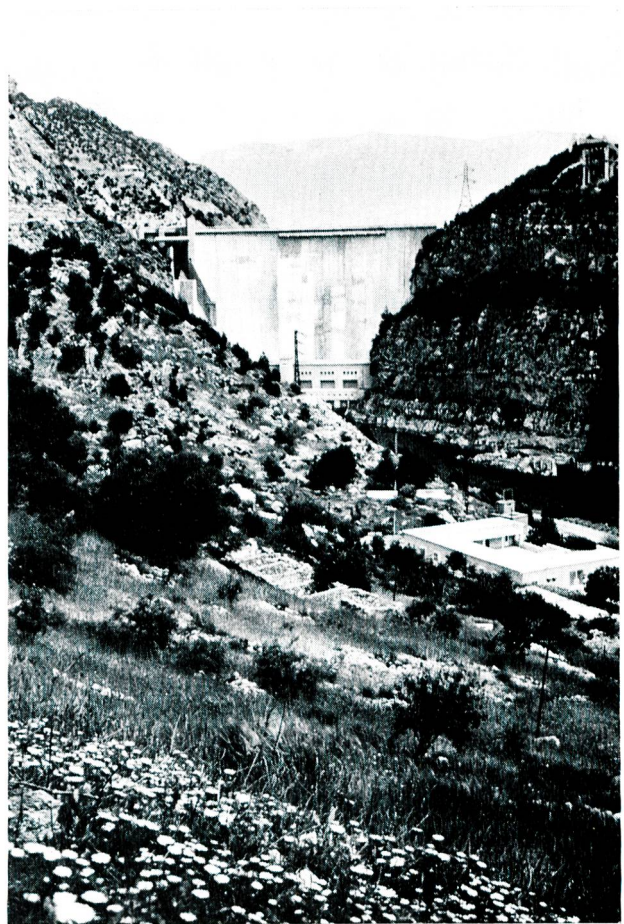


Bild 8 Die Bogenstaumauer Bin el Ouidane (Fertigstellung 1956); mit Hilfe des damit geschaffenen grossen Speichersees können die Bewässerungsgebiete Tadla und Doukkala mit Wasser versorgt werden.

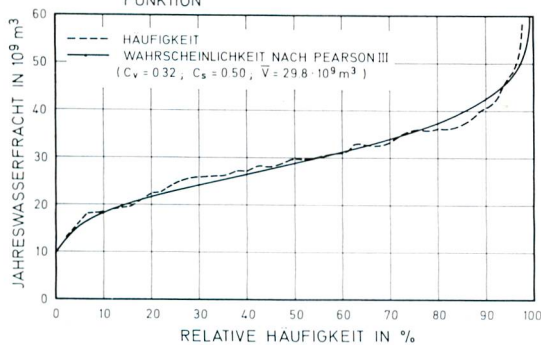
Quadrate die einzelnen Bewässerungsgebiete. Der verwendete Computer war ein IBM 360/65. Ein Rechendurchgang mit einem Output von rund 100 000 Einzelresultaten (monatliche Seespiegel, Abflüsse, erzeugte Leistungen für 35 Jahre und 17 «Blöcke») dauerte 2 ½ Minuten.

Es ist im Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich, alle Resultate der Regulierrechnung zu nennen. Als Beispiel diene Bild 13, in welchem die Abhängigkeit der verschiedenen interessierenden Parameter vom Nutzvolumen dargestellt sind. Bild 12 bezieht sich auf den Speicher Ait Sigmimine, der am oberen Lakhdar geplant ist. Er wird im Endstadium der Entwicklung mit dem bereits existierenden Speicher Ait Aadel zusammen eine Operationseinheit bilden und der Bewässerung des Haouz dienen.

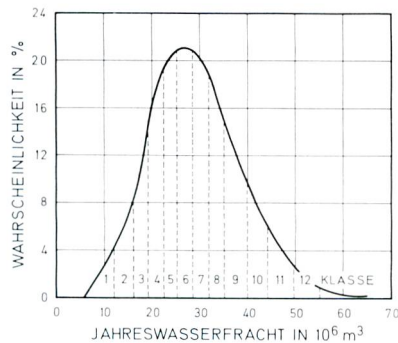
Die Diagramme in Bild 12 gestatten es, jedem Nutzvolumen von Ait Sigmimine eine mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit garantierte Wasserentnahme unterhalb der Speicher zuzuordnen. Oder umgekehrt, für eine beliebig gewünschte Wasserentnahme kann das erforderliche Nutzvolumen von Ait Sigmimine ermittelt werden. Aus dem Diagramm 12a geht auch hervor, wie von einer bestimmten Wasserentnahme an das Nutzvolumen sehr rasch zunimmt. Damit ist auch die Grenze der maximal realisierbaren Wasserentnahme festgelegt. Aus 12b und 12c können die mittleren Jahresdefizite sowie die Wahrscheinlichkeit und Grösse der maximalen Jahresdefizite abgelesen werden. Diese Werte sind für die vorgesehene landwirtschaftliche Nutzung und rückwirkend wieder für die Festlegung des erforderlichen Speicherinhalts von besonderer Bedeutung.



SCHRITT 1 : HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER BEOBSCHTETEN JAHRE UND BESTE ANSCHMIEGENDE VERTEIL-FUNKTION



SCHRITT 2 : KONTINUIERLICHE WAHRSCHEINLICHKEITSVERTEILUNG



SCHRITT 3 : KORREKTUR DER MESSPERIODE

| KLASSE | SOLLZAHL JAHRE | ZAHL BEO-BACHTETER JAHRE | KORREKTUR DIFFERENZ $4 \pm (2-3)$ |
|--------|----------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1      | 1              | 1                        | 0                                 |
| 2      | 2              | 1                        | +1                                |
| 3      | 3              | 4                        | -1                                |
| 4      | 5              | 3                        | +2                                |
| 5      | 5              | 3                        | +2                                |
| 6      | 6              | 8                        | -2                                |
| 7      | 6              | 7                        | -1                                |
| 8      | 5              | 5                        | 0                                 |
| 9      | 5              | 8                        | -3                                |
| 10     | 3              | 1                        | +2                                |
| 11     | 2              | 2                        | 0                                 |
| 12     | 1              | 1                        | 0                                 |
| TOTAL  | 44             | 44                       | 0                                 |

• ANZAHL DER IN EINER KLASSE ZU ELI-MINIERENDEN (-) ODER ZU GENERIER-ENDEN (+) JAHRE

SCHRITT 4 : NATÜRLICHE, 44 JAHR - PERIODE MIT MODIFIZIERTEN JAHREN



SCHRITT 5 : MIT "MONTE CARLO" GENERIERTE 220 JAHR - PERIODE ( JEDES JAHR DER NATÜRLICHEN PERIODE TRIT 5 MAL AUF )

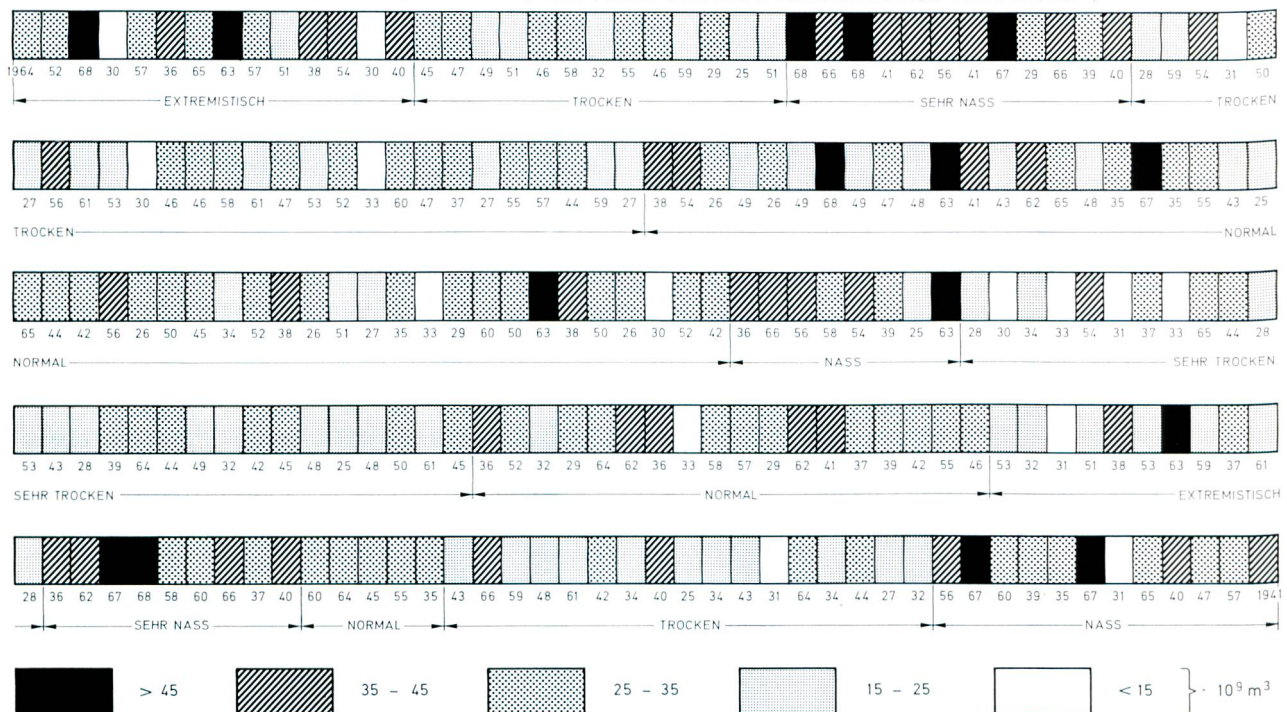


Bild 9 Beispiel einer künstlichen Generation von Abflussreihen (220-Jahr-Periode für den Euphrat bei Hit, zugrunde liegende Messperiode 44 Jahre 1925—1968). Vor der Generation werden die natürlichen Abflusswerte durch Anpassung an die Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion von zufälligen, spezifisch der Messreihe anhaftenden Eigenheiten gesäubert.

## 4. Entwicklungsschemas (dritte Phase)

### 4.1 AUFTeilUNG DES WASSERDARGEBOTES IM ENDSTADIUM

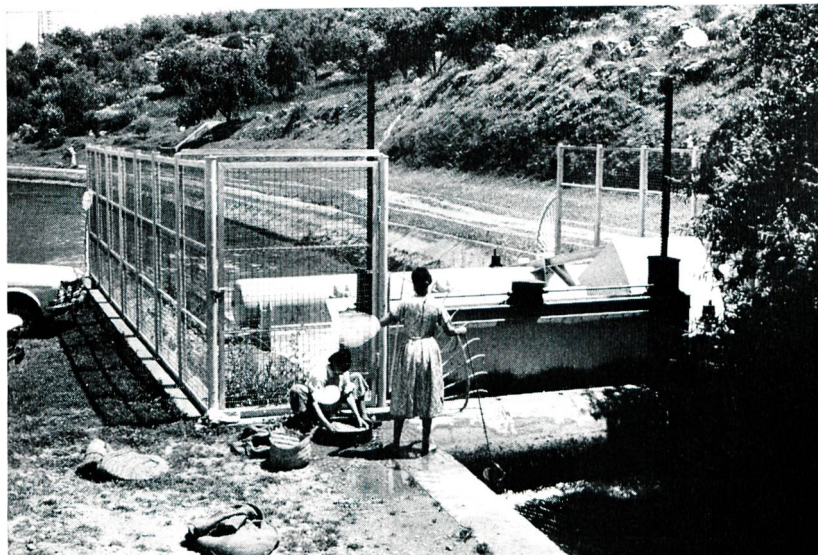
Nachdem das Spektrum der möglichen Wasserentnahmen und die Dimensionen der dazu erforderlichen Bauwerke bekannt waren, konnte in einer dritten Phase der Untersuchung dazu geschritten werden, die optimalen, das heisst die wirtschaftlichsten Dimensionen dieser Bauwerke festzulegen. Daraus ergaben sich die realisierbaren Wasserentnahmen, die unter Berücksichtigung der Prioritäten auf die verschiedenen Nutzniesser aufzuteilen waren. Da aber

innerhalb der gegebenen Prioritäten verschiedene Verteilungsschlüssel möglich waren, galt es, den wirtschaftlich besten Verteilungsschlüssel zu finden.

Es wurden insgesamt drei Verteilungsschlüssel, die im folgenden «Schemas» genannt werden, untersucht (Schemas A, B und C). Alle den drei Schemas zugeordneten Unbekannten wurden für jedes Schema getrennt ermittelt. Erst in einer vierten Phase (Abschnitt 5) wurde dann die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Schemas miteinander verglichen und das beste unter ihnen identifiziert.



Bild 10 Selbstregulierende Neyrpic-Schütze am oberen Ende des Kanals «D», Beni Moussa (Tadla).



#### 4.1.1 Optimale Nutzvolumen der geplanten Speicher

Die Nutzvolumen der geplanten Speicher wurden gemäss dem als Beispiel dienenden Diagramm in Bild 13 bestimmt, das für Ait Sigmine gilt. Auf der Ordinate sind die totalen, jährlichen Nettoerträge, auf der Abszisse das Nutzvolumen von Ait Sigmine aufgetragen. Der Kurvenparameter ist die gewünschte Wasserentnahme. Die jährlichen Nettoerträge werden durch Subtraktion der Jahreskosten der Talsperre von den Bruttoeinkünften erhalten. Diese wiederum sind durch die Summe der Erträge gegeben, die aufgrund der Zunahme der möglichen Wasserentnahmen erzielbar sind. Die Erträge stammen dabei von den Wassergebühren für Trink- und Industrierwasser und von der landwirtschaftlichen Produktion. Der Ertrag der landwirtschaftlichen Produktion wird aufgrund des der Hektare zugeordneten «Mehrertragsbeiwertes», auf den  $m^3$  entnommenen Wassers umgerechnet, erhalten.

Die Umhüllende der einzelnen «Optimumskurven» besitzt ihrerseits ein Maximum, das den optimalen Speicherraum von Ait Sigmine bezeichnet. Dieser optimale Wert gilt aber nur für die der Berechnung zugrunde liegenden Voraussetzungen; für eine kleinere Wahrscheinlichkeit beispielsweise, mit welcher die Wasserentnahmen zu garantieren wären, würde das Optimum bei kleineren Nutzvolumen liegen.

#### 4.1.2 Oberflächen der Bewässerungsperimeter

Aufgrund des Umstandes, dass — wie bereits erwähnt — im Endstadium der Entwicklung jedem Bewässerungsgebiet ein Speicher oder eine Gruppe von Speichern zugeordnet ist, konnte nach Festlegung der optimalen Speichergrössen und den entsprechenden garantierbaren Wasserentnahmen die Grösse der Bewässerungsgebiete ermittelt werden. Dabei waren die durch die Prioritäten gegebenen Randbedingungen zu berücksichtigen, wie die vorrangige Versorgung von Casablanca mit Wasser, die Befriedigung der Bedürfnisse der bestehenden Bewässerungsgebiete und die Garantie eines Restwasserabflusses unterhalb Im Fout von  $2 m^3/s$ .

Bei der Festlegung der bewässerbaren Oberflächen bestanden nach Berücksichtigung der Randbedingungen noch gewisse Freiheitsgrade, die aber durch den Um-

stand beschränkt waren, dass die bewässerten Flächen nicht stetig, sondern nur stufenweise verändert werden können. Der Bau einer Wasserfassung und des anschliessenden Hauptkanals lohnt sich nur, wenn damit eine gewisse minimale Oberfläche bedient werden kann (Grössenordnung 10 000—20 000 ha, je nach Verhältnissen). Die zugeteilten Wasserquoten und die entsprechenden Oberflächen für die drei Schemas sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die in den Abschnitten 3 und 4.1.1 beschriebenen Untersuchungen ergaben, dass von der mittleren jährlichen Wasserfracht von  $4,2 \cdot 10^9 m^3$  nur  $3,4 \cdot 10^9 m^3$  oder rund 80 % wirtschaftlich nutzbar sind. Nach Abzug der für Casablanca benötigten Menge können damit rund 350 000 ha der 500 000 ha bewässert werden, die bei genügendem Wasserdargebot vom topographischen und bodentechnischen Standpunkt aus gesehen bewässerbar wären.

Die in Tabelle 1 zusammengestellten Resultate wurden nicht ganz so einfach erhalten, wie es nach der vorgehenden Beschreibung vielleicht scheinen mag. Die effektive Berechnung setzte sich aus zahlreichen iterativen Schritten zusammen, die, ergänzt durch eine stetige Kontaktnahme mit den marokkanischen Instanzen, die sukzessive Approximation an eine ausgewogene und allen Gegebenheiten Rechnung tragende Lösung gestatteten.

#### 4.2 ENTWICKLUNG BIS ZUM ENDSTADIUM

Nachdem alle mit dem Endstadium der Entwicklung verbundenen Kennziffern (nutzbares Wasserdargebot, Dimensionen und Anzahl der erforderlichen Speicher, Oberflächen der bewässerbaren Gebiete) bestimmt waren, galt es, die optimale Entwicklungsgeschwindigkeit und die entsprechenden Soll-Daten der Inbetriebnahme der geplanten Speicher zu finden.

##### 4.2.1 Entwicklungsgeschwindigkeit

Im allgemeinen bereitet es gewisse Schwierigkeiten, bei landwirtschaftlichen Projekten die im Hinblick auf den Charakter der Bevölkerung und die technisch-wirtschaftlichen Gegebenheiten realisierbare Entwicklungsgeschwindigkeit abzuschätzen. Im vorliegenden Fall konnte auf die reiche Erfahrung der marokkanischen Behörden abgestellt werden, die gegenwärtig im Oum er R'bia-Gebiet auf den drei Bewässerungsgebieten rund 12 000 ha jährlich (4000



Tabelle 1: Zugeteilte Wasserquoten und bewässerbare Flächen

| BEWÄSSERUNGSGEBIET   |  | SCHEMA A                          |                 | SCHEMA B                          |                 | SCHEMA C                          |                 |
|----------------------|--|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
|                      |  | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /J | 1000 ha         | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /J | 1000 ha         | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /J | 1000 ha         |
| Heutiges Stadium     | Trink- + Industrierwasser <sup>2</sup> | 135                               | —               | 135                               | —               | 135                               | —               |
|                      | Haouz                                  | 360                               | 27 <sup>3</sup> | 360                               | 27 <sup>3</sup> | 360                               | 27 <sup>3</sup> |
|                      | Tadla                                  | 970                               | 98              | 970                               | 98              | 970                               | 98              |
|                      | Doukkala                               | 311                               | 30              | 311                               | 30              | 311                               | 30              |
|                      | PMH                                    | — <sup>4</sup>                    | 55              | — <sup>4</sup>                    | 55              | — <sup>4</sup>                    | 55              |
|                      | Total heutiges Stadium                 | 1776                              | 210             | 1776                              | 210             | 1776                              | 210             |
| Geplante Entwicklung | Trink- + Industrierwasser              | 230                               | —               | 230                               | —               | 230                               | —               |
|                      | Haouz                                  | 390                               | 65 <sup>4</sup> | 265                               | 54 <sup>4</sup> | 265                               | 54 <sup>4</sup> |
|                      | Tadla                                  | 516                               | 43              | 516                               | 43              | 276                               | 23              |
|                      | Doukkala                               | 289                               | 30              | 372                               | 38              | 653                               | 65              |
|                      | PMH                                    | 198                               | — <sup>5</sup>  | 198                               | — <sup>5</sup>  | 198                               | — <sup>5</sup>  |
|                      | Total Entwicklung                      | 1623                              | 138             | 1581                              | 135             | 1622                              | 142             |
| Endstadium           | Trink- + Industrierwasser              | 365                               | —               | 365                               | —               | 365                               | —               |
|                      | Haouz                                  | 750                               | 92              | 625                               | 81              | 625                               | 81              |
|                      | Tadla                                  | 1486                              | 141             | 1486                              | 141             | 1246                              | 121             |
|                      | Doukkala                               | 600                               | 60              | 683                               | 68              | 964                               | 95              |
|                      | PMH                                    | 198                               | 55              | 198                               | 55              | 198                               | 55              |
|                      | Total Endstadium                       | 3399                              | 348             | 3357                              | 345             | 3398                              | 352             |

PMH = «Petite et moyenne hydraulique» = bestehende kleine Bewässerungsgebiete entlang den Flussläufen.

<sup>1</sup> Die Wasserentnahmen sind unbekannt und in den gemessenen Abflüssen (sog. «natürliche» Abflüsse) nicht mehr enthalten.

<sup>2</sup> Darin sind 63 · 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/Jahr für Dotierwasser unterhalb Im Fout inbegriffen.

<sup>3</sup> Nicht inbegriffen 40 000 ha, die durch traditionelle «séguis» bewässert werden.

<sup>4</sup> 40 000 traditionell bewässerte ha inbegriffen, die mit grösseren Wasserquoten modernisiert werden können.

<sup>5</sup> Die zusätzliche Wasserquote wird für die Modernisierung der bestehenden Bewässerungsfläche verwendet.

ha/Jahr pro Gebiet) der landwirtschaftlichen Nutzung zu führen können. Es wäre auch denkbar, nur zwei der drei Hauptgebiete gleichzeitig zu entwickeln, wobei dann die Entwicklungsgeschwindigkeit von 4000 ha/Jahr auf 5000 ha/Jahr erhöht werden könnte, total also 10 000 ha/Jahr.

Vergleichende wirtschaftliche Betrachtungen (siehe auch Abschnitt 5) zeigten erwartungsgemäss, dass die simultane Entwicklung aller drei Gebiete mit insgesamt 12 000 ha pro Jahr vorteilhafter ist. Die entsprechende Zunahme des Wasserbedarfes ist in Bild 14 für das Schema B graphisch dargestellt.

In Bild 14 ist auch der Wasserbedarf von Casablanca eingezeichnet. Dieser nimmt nicht linear, sondern exponentiell zu, was auf die starke Bevölkerungszunahme und die Hebung des Pro-Kopf-Verbrauches zurückzuführen ist. Nach dem Jahre 2000 ist natürlich eine weitere Zunahme zu erwarten, welche jedoch nicht mehr durch zusätzliche Wasserentnahmen aus dem Oum er R'bia gedeckt werden kann.

#### 4.2.2 Inbetriebsetzungsdaten der geplanten Speicher

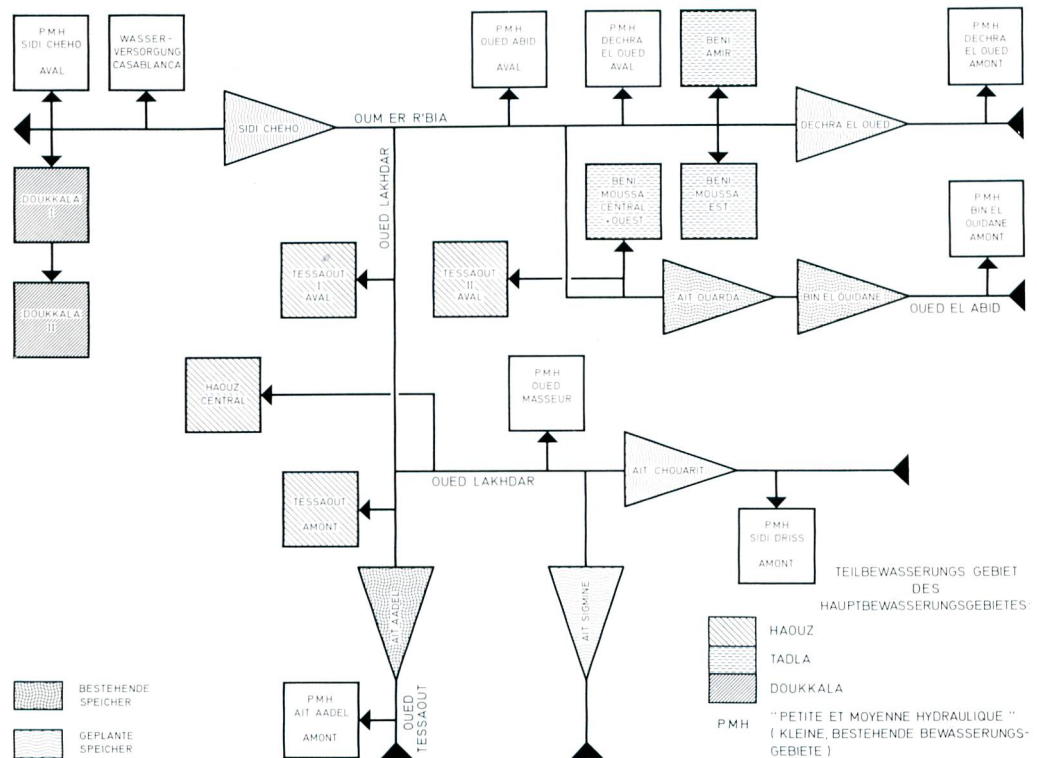
Aufgrund der von der marokkanischen Administration gewünschten Zeitpunkte für die Inbetriebsetzung weiterer bewässerter Flächen in den drei Gebieten Haouz, Tadla und Doukkala (siehe Bild 14), und aufgrund der topographisch-hydraulisch-technischen Gegebenheiten, waren die Daten eindeutig bestimmbar, für welche die geplanten Speicher bereitgestellt werden müssen. Dies ist dann der Fall, wenn die in Bild 14 angegebenen Wasserzuteilungen mit den im jeweiligen Zeitpunkt bereits bestehenden Speichern nicht

mehr mit der erforderlichen Wahrscheinlichkeit garantiert werden können.

Die oben im Einzugsgebiet gelegenen Bewässerungsgebiete Haouz und Tadla können nur von den ihnen im Endstadium zugeordneten Speichern bedient werden. Die Doukkala dagegen, die im Unterlauf des Oum er R'bia liegen, können von jedem beliebigen Speicher des Einzugsgebietes aus versorgt werden. Beispielsweise ist es möglich, mit dem Speicher Dechra el Oued zu gleicher Zeit die Doukkala und den Tadla weiterzuentwickeln. Erst wenn die Entwicklung in diesen Gebieten einen gewissen Grad erreicht hat, vermag der Speicher Dechra el Oued die Abflüsse des Oum er R'bia nicht mehr genügend zu regulieren, um den zunehmenden Bedarf an Bewässerungswasser zu gewährleisten. In diesem Augenblick muss der Speicher Sidi Chého in Betrieb genommen werden, um den zunehmenden Bedarf der Doukkala zu decken. Die frei werdende Kapazität von Dechra el Oued, der nun nicht mehr auch noch die Doukkala bedienen muss, kommt dann dem Tadla zugute. Analoges gilt für die Speicher am Lakhdar.

Die Inbetriebsetzungsdaten der geplanten Speicher wurden mit Hilfe des mathematischen Modells ermittelt, indem Jahr für Jahr die entsprechenden Wasserbedürfnisse in das Modell eingeführt wurden. Da jeweils nach der Inbetriebsetzung eines neuen Speichers die Regulierungsmöglichkeiten ändern, war es notwendig, das Betriebsreglement den jeweils neuen Bedingungen anzupassen. Auch diese Arbeit wurde in iterativer Anwendung des mathematischen Modells erledigt, um auf diese Weise das

Bild 11  
Hydraulisches Schema  
des für den  
Oum er R'bia auf-  
gestellten mathe-  
matischen Modells.



beste, das heisst, das «sparsamste» Betriebsreglement zu finden.

Das Prinzip der angewendeten Betriebsreglemente besteht darin, «die Last entsprechend dem Tragvermögen aufzuteilen». Mit andern Worten, der von einem Speicher in einem bestimmten Zeitpunkt abzugebende Abfluss-Beitrag ist proportional dem prozentualen Anteil seines Wasserinhaltes am augenblicklichen Gesamtinhalt der an der Regulierung beteiligten Speicher. Ein Speicher mit augenblicklich wenig Wasserinhalt muss demzufolge verhältnismässig weniger Wasser abgeben als ein beinahe noch gefüllter Speicher. Dieses Betriebselement ist selbststeuernd; eine allfällige Ueberbelastung eines Speichers führt zu dessen rascher Absenkung, aber damit auch zu einer raschen Drosselung seiner Wasserabgabe.

Die dergestalt erhaltenen Inbetriebsetzungsdaten für die geplanten Speicher sind für das Schema B in Bild 14 eingetragen. Der Speicher Ait Chouarit wird für das Schema B nicht benötigt und ist deshalb nicht aufgeführt.

#### 4.3 BESTIMMUNG DER GARANTIERBAREN ELEKTRISCHEN LEISTUNGEN

Es besteht die Möglichkeit, am Fusse der geplanten Talsperren Kraftwerke zu bauen. Diese verarbeiten das dem Speicher entnommene Wasser, bevor es in den Fluss abgegeben und weiter unterhalb mittels einer Wasserfassung den Bewässerungskanälen zugeleitet wird. Erfolgt die Wasserverarbeitung während des Winters, das heisst, zur Zeit der grössten Energiebedarfsspitze, so ist das Wasser für Bewässerungszwecke verloren. Im Endstadium der Entwicklung kann deshalb nicht mehr viel Energie produziert werden. Während der Entwicklung, also während rund 25 Jahren, ist die Regulierkapazität der Speicher dagegen noch nicht voll ausgenützt. In dieser Periode kann Wasser wäh-

rend des Winters verarbeitet werden, ohne die Deckung der Wasserbedürfnisse während des Sommers zu gefährden.

In 25 Jahren ist es möglich, ein Wasserkraftwerk weitgehend abzuschreiben. Ausserdem kann im vorliegenden Fall nach Ablauf dieser Periode immer noch Sommerenergie erzeugt werden, die zwar weniger wertvoll ist, aber immerhin die Einsparung der Brennstoffkosten der thermischen Kraftwerke gestattet, die dank dem Betrieb der hydraulischen Kraftwerke abgestellt werden können. Die entsprechende Betriebspause ist ausserdem sehr erwünscht, um Revisionen vorzunehmen.

Es war somit anzunehmen, dass Kraftwerke am Fuss der geplanten Talsperren wirtschaftlich interessante Aspekte zeigen würden. Wiederum mit Hilfe des mathematischen Modells wurde deshalb das hydro-elektrische Potential bestimmt, das in jedem Jahr der Entwicklung unter Berücksichtigung der vorrangigen Wasserbedürfnisse noch garantierbar ist. Bild 15 zeigt die Resultate für das Kraftwerk Dechra el Oued. Die in den Wintermonaten November bis Februar garantierbare Dauerleistung geht von rund 8 MW im Jahr der Inbetriebsetzung (1976) auf rund 2 MW im Jahre 2000 zurück.

Je nach der Grösse der installierten Leistung kann die Energieproduktion auf eine mehr oder weniger lange tägliche Betriebszeit konzentriert werden. Der Wert der erzeugten Energie ist aber um so grösser, je kürzer deren Angebotsdauer ist. Der Unterschied zwischen dem Preis für Spitzenenergie und Bandenergie ist in Marokko mit seinem starken Anteil an thermisch erzeugter Energie sehr ausgeprägt. In Bild 15 ist der Wert der erzeugten Energie aufgetragen, und zwar für verschiedene installierte Leistungen und in Funktion der Zeit. Der Wert der erzeugten Energie ist dabei demjenigen der thermisch erzeugten «Äquivalenzenergie» gleichgesetzt.



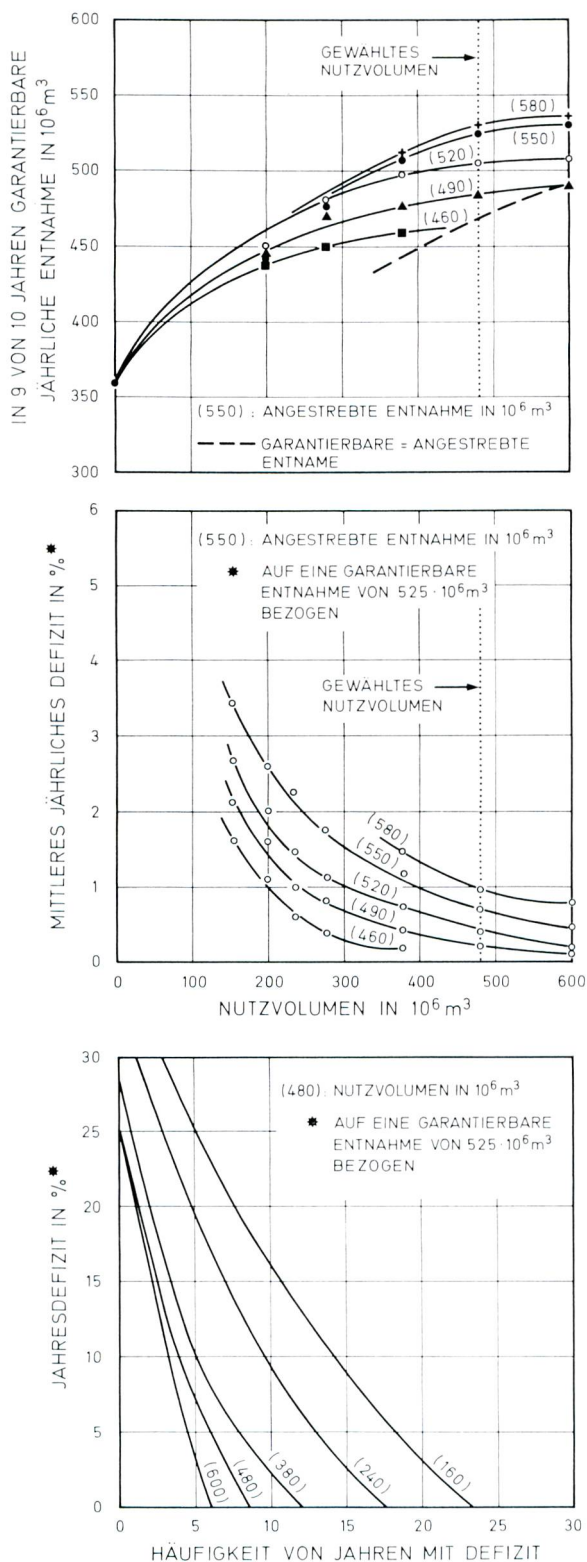


Bild 12 Resultate der Regulierrechnung für das Schema B und den Speicher Ait Sigmene.

## 5. Optimierung (vierte Phase)

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Untersuchungen wurden mit Hilfe der «Cashflow-Methode» durchgeführt, die den internen Zinssatz (internal rate of return) liefert [2]. Varianten mit grösserem internen Zinssatz sind solchen mit kleinerem wirtschaftlich vorzuziehen. Die Cashflow-Methode [2] Literaturhinweis am Ende dieses Berichtes.

a de wurde schon bei früheren Phasen der Studie angewendet. Für das Schema A galt es, die wirtschaftliche Reihenfolge der beiden geplanten Speicher Ait Sigmene und Ait Chouarit zu bestimmen. Auch wurde die optimale Entwicklungsgeschwindigkeit (s. Abschnitt 4.2.1) mit der Cashflow-Methode ermittelt.

### 5.1 OPTIMIERUNG DER INSTALLIERTEN LEISTUNGEN

Für die Ermittlung der wirtschaftlich besten installierten Leistung der in Frage kommenden Kraftwerke wurden nur die mit deren Bau direkt verbundenen Kosten (ohne Talsperre) und Erträge (Wert der thermischen Äquivalenzeenergie) in die Betrachtung einbezogen. Die Berechnungen führten zu den im Bild 16 dargestellten Resultaten.

Es zeigt sich, dass die optimalen installierten Leistungen für Sidi Chého und Dechra el Oued wegen des flachen Kurvenverlaufes nicht scharf bestimmt sind; sie können innerhalb einer gewissen Bandbreite frei gewählt werden und liegen bei 100 MW (Sidi Chého) und 50 MW (Dechra el Oued). Die optimalen Leistungen für Ait Chouarit dagegen sind wesentlich besser definiert. Die absoluten Werte der internen Zinssätze sind sehr unterschiedlich und variieren zwischen 16 % (Sidi Chého) und 1 % (Ait Sigmene). Aufgrund dieser Resultate erwiesen sich die Kraftwerke Ait Chouarit und Ait Sigmene als unwirtschaftlich (interner Zinssatz unter 8 %) und wurden dementsprechend ausgeschieden.

### 5.2 VERGLEICH DER DREI SCHEMAS

Mit den im vorigen Abschnitt ermittelten Daten waren nun alle Unterlagen vorhanden, um die vierte Phase der Bearbeitung, nämlich den wirtschaftlichen Vergleich der drei Schemas, durchführen zu können. Für jedes Jahr der betrachteten Entwicklungsperiode (1970 bis 2010) waren die erforderlichen Investitionen für Trinkwasserversorgung, Bewässerungsanlagen, Talsperren und Kraftwerkenanlagen (siehe Abschnitt 5.1) gegeben. Auch alle Nutzeffekte waren bekannt, wie abgeleitetes Trink- und Industrierwasser, landwirtschaftliche Produktion und Energieerzeugung. Mit anderen Worten, die mit der weiteren Nutzbarmachung des Oum er R'bia verbundenen Erträge und Kosten waren damit Jahr für Jahr festgelegt.

Die internen Zinssätze für die drei Schemas A, B und C wurden zu 11,5 %, 12,6 % bzw. 12,2 % berechnet. Das Schema B erweist sich somit als das wirtschaftlich vorteilhafteste. Die absolute Grösse des internen Zinssatzes erlaubt ausserdem den Schluss, dass die weitere Nutzbarmachung des Oum er R'bia ein «wirtschaftlich gesundes» Unternehmen ist. Der definitive Nachweis dafür müsste allerdings noch durch eine Finanzanalyse erbracht werden.

Grosse Bedeutung ist schliesslich noch der «Risikoanalyse» zuzumessen [1]. Sie zeigte im vorliegenden Fall, dass das Schema B auch bei 10 % grösseren Kosten und 10 % kleineren Erträgen immer noch einen internen Zinssatz von über 10 % aufweist.

## 6. Zusammenfassung und kritische Betrachtung

Der für den Oum er R'bia ausgearbeitete Wasserwirtschaftsplan gestattete also,

- Den optimalen Ausnützungsgrad des verfügbaren Wasserdargebotes und damit das nutzbare Dargebot festzulegen.

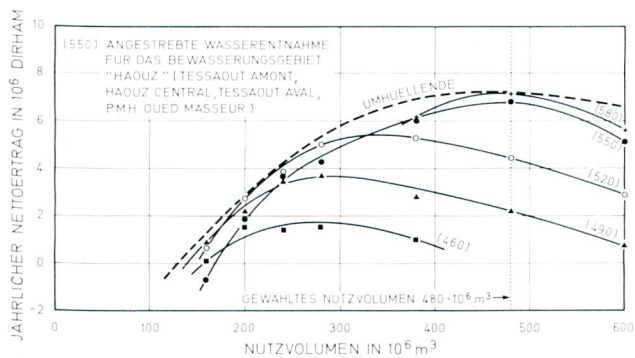


Bild 13

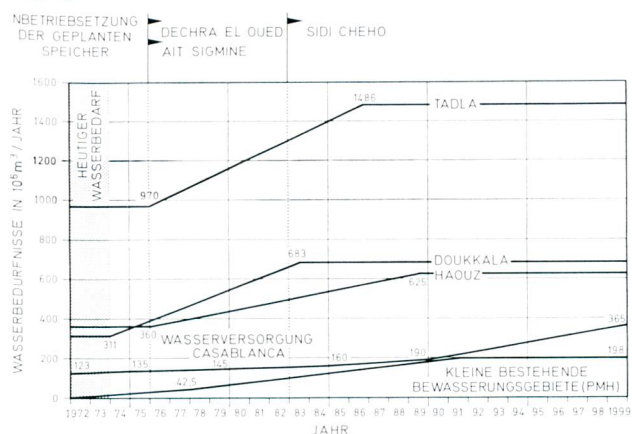


Bild 14

Bild 13 Optimierung des Nutzvolumens des Speichers Ait Sigmene, Schema B.

Bild 14 Verteilung des nutzbaren Wasserdargebotes im Endstadium und während der Entwicklungsperiode, Schema B.

Bild 15 Mit dem Kraftwerk Dechra el Oued garantierbare Leistung und Wert der entsprechenden jährlichen Energieproduktion, Schema A.

Bild 16 Optimierung der installierten Leistung der Kraftwerke Sidi Chého und Ait Chouarrit, Schema A.

Bild 17 Im Bau befindliche Pumpstation (1970) im Bewässerungsgebiet Doukkala ( $Q \approx 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H \approx 30 \text{ m}$ ), die der grossen Niveaudifferenzen wegen erforderlich ist.

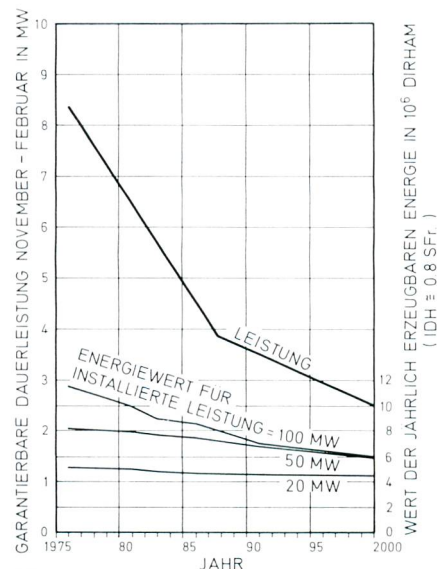


Bild 15

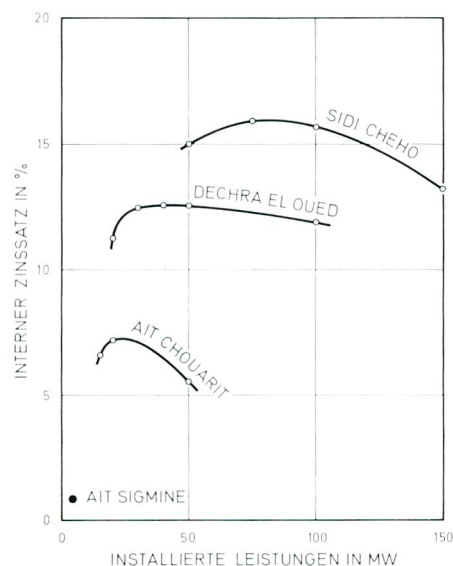


Bild 16



Bild 17



- Innerhalb der aus politischen und sozialen Ueberlegungen heraus gegebenen Grenzen den optimalen Verteilungsschlüssel des nutzbaren Wasserdargebotes zu definieren.
- Die für die angestrebte Nutzbarmachung erforderlichen Bauwerke und deren Dimensionen zu ermitteln.
- Den besten Entwicklungsrhythmus — auch wieder innerhalb der gegebenen Grenzen — für die Entwicklung bis zum Erreichen des Endstadiums anzugeben.
- Die mit der Realisierung des vorgesehenen Wasserwirtschaftsplanes erzielbaren Nutzeffekte zu nennen und damit die Wirtschaftlichkeit des ganzen Vorhabens zu überprüfen.
- Die bei der Realisierung aufzuwendenden Investitionen zu schätzen.

Die Realisierung des vorgesehenen Wasserwirtschaftsplanes wird es ermöglichen, zusätzlich zu der bereits heute bewässerten Fläche 95 000 ha zu bewässern und weitere 95 000 ha mit Hilfe grösserer Wasserzuteilung zu modernisieren, sowie den Bedarf an Trink- und Industrierwasser der ganzen Küstenzone zwischen Casablanca und El Jadida für eine Bevölkerung von rund 4 bis 5 Millionen Einwohnern bis zum Jahr 2000 zu gewährleisten. In den neuen und modernisierten Bewässerungsgebieten werden 100 000 neue Arbeitsplätze geschaffen, womit unter Berücksichtigung des Sekundäreffektes der landwirtschaftlichen Produktion, wie dem Bedarf an Arbeitskräften für Futtermühlen, Konservenfabriken, Milchzentralen, Dienstleistungsbetriebe usw., eine Bevölkerung von rund einer halben Million angesiedelt werden kann. Die erforderlichen Investitionen betragen rund 1,3 Milliarden Schweizer Franken. Die Kosten pro Arbeitsplatz belaufen sich auf 13 000

Schweizer Franken. Etwa 90 % der Investitionen sind in der Periode von 1971 bis 1985 zu erbringen.

Abschliessend ist festzuhalten, dass das Aufstellen eines Wasserwirtschaftsplanes nicht oder jedenfalls nicht nur die Lösung eines klar definierten Gleichungssystems, sondern zahlreiche iterative Rechnungen und, in stetiger Diskussion mit den zuständigen Behörden, die langsame Annäherung an die endgültige Lösung beinhaltet. Sehr viele Fakten ausserhalb des mathematisch erfassbaren Bereiches spielen dabei eine grosse Rolle und beeinflussen die zu treffenden Entscheidungen.

Schliesslich darf nicht vergessen werden, dass ein noch so sorgfältig ausgearbeiteter Wasserwirtschaftsplan keine absolute Gewähr für das Gelingen bietet. Denn die Ausnützung eines Flusses in der beschriebenen Weise ist und bleibt ein grosser Eingriff in die Natur, aber oft auch ein grosser Eingriff in das Leben der ansässigen Bevölkerung, die sich an neue Anbaumethoden und an ein neues wirtschaftliches Denken gewöhnen sollte.

#### Literaturhinweis:

- [1] Aménagement du bassin de l'Oum er R'bia, par C. Caspar; Science et Industrie, 1955, p. 207 à 221.
- [2] «Die Beurteilung von Projekten anhand der Nutzen-Kosten-Analyse» von D. Vischer, Prof. Dr. Ing., Zürich, und V. Bohun, dipl. Ing., Baden, Schweiz. Bauzeitung, 89. Jahrgang, Heft 52, Dez. 1971.

#### Bildernachweis:

- Bilder 1, 3 bis 17 Dr. W. Willi, Baden
- Bild 2 Foto G. A. Töndury, Baden

#### Adresse des Verfassers:

Dr. W. Willi, Motor-Columbus Ing. Unternehmen AG, 5400 Baden

## EINE TÜRKISCHE MEHRZWECKANLAGE AM MITTLEREN EUPHRAT

Bernhard Gilg

DK 626/627 (56)

### 1. Einleitung

Der Euphrat entspringt im nordöstlichen Bergland der Türkei in der Nähe der Stadt Erzerum. Das Ursprungsgebiet liegt nicht allzuweit entfernt vom Gipfel des Ararat, auf welchem auch heute noch unermüdliche Forscher von Zeit zu Zeit nach den Resten der Arche Noah suchen.

Der Fluss wird ein erstes Mal durch den Keban-Damm gestaut. Diese 280 km östlich von Kayseri liegende Talsperren- und Kraftwerkanlage steht vor ihrer Vollendung und schafft den Hauptspeicher für die Regulierung des Euphratstroms. Die hier produzierte elektrische Energie wird über eine nahezu 1000 km lange doppelsträngige 380-kV-Leitung nach Ankara und Istanbul überführt. Unterhalb des Keban-Sees überwindet der Euphrat auf einer Strecke von 450 km bis zur syrischen Grenze ein Gefälle von 340 m. Er hat sich im allgemeinen ziemlich tief ins Gebirge eingeschnitten und weist deshalb verschiedene Sperrstellen auf, deren topographische Eigenschaften allerdings meist besser sind als die geologischen.

Da das Gefälle bei einem durchschnittlichen Gradienten von 0,8 ‰ sehr schwach ist, kann nur mit einer stufenförmigen Aneinanderreihung von Speichern eine wirtschaft-

liche Nutzung erzielt werden. Jede eingelegte Druckstollen-Strecke zwischen Sperre und Krafthaus würde sich vertuernd auswirken. Gleichzeitig erlaubt eine solche Folge von Seen die bestmögliche Abflussregulierung und eine gleichmässige Verteilung der Energie-Produktion über das ganze Jahr.

Die südöstlichen Grenzgebiete der Türkei sind an und für sich fruchtbar, jedoch infolge der sommerlichen Trockenheit nur ungenügend bepflanzt. Deshalb sollte die Regulierung des Euphrats auch der Landwirtschaft zum Nutzen gereichen. Ein weitgespanntes Kanalsystem wird die neuen Speicher mit den weiten Ebenen von Urfa bis Mardin verbinden, in deren Mitte übrigens der seit alters berühmte Ort Haran liegt, der nicht nur zur Zeit der biblischen Erzväter, sondern auch im Perserreich eine grosse Bedeutung besass.

### 2. Problemstellung und Ziel

Zu Beginn sollen hier die wichtigsten hydrologischen Daten erwähnt werden, welche naturgemäss eine wesentliche