

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 89 (1997)
Heft: 3-4

Artikel: Drei-Schluchten-Projekt am Yangtse
Autor: Brux, Gunther
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940170>

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: 22.01.2026

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

Drei-Schluchten-Projekt am Yangtse

Hochwasserschutz vor Stromerzeugung

Gunther Brux

In China sind am Mittellauf des Yangtse die Arbeiten für eines der bedeutendsten Wasserbauvorhaben der Welt angelaufen. Wie bei allen grossen Staudämmen sind auch um das «Drei-Schluchten-Projekt» (chinesisch Sanxia) heftige Kontroversen entbrannt. Die Gegner halten es für technisch kaum beherrschbar und ökologisch in seinen Auswirkungen verheerend. Die chinesische Regierung misst ihm dagegen grosse Bedeutung zu, weil so 75 Millionen Menschen vor Hochwasser geschützt, die nationale Stromversorgung nennenswert gesteigert (84 TWh im Mitteljahr) und die Schifffahrt auf Chinas wichtigster Wasserstrasse erleichtert werden.

1. Das Wasserbauprojekt

1.1 Projektierung und Zielsetzung

Obwohl der gewählte Standort für das Drei-Schluchten-Projekt (Bild 1) mit den bis zu 900 m auf beiden Ufern des Yangtse aufragenden Felswänden seit langem bekannt ist, hat man sich erst seit der Flutkatastrophe im Jahr 1954 mit dem Projekt wieder näher befasst. In den vergangenen 40 Jahren haben zahlreiche Fachleute aus aller Welt an Plänen für das Sanxia-Projekt gearbeitet. Nach einer ein Jahr dauernden Überprüfung der von der Yangtse Water Resources Commission vorgeschlagenen Studie hat der Volkskongress 1992 dem Drei-Schluchten-Projekt endgültig zugestimmt.

Wichtigste Zielsetzungen des Projektes sind

- der Hochwasserschutz am Yangtse, dem längsten und wasserreichsten Fluss Chinas; damit haben sich die am stärksten hochwassergefährdeten Provinzen Hubei und Hunan unterhalb der Drei-Schluchten-Region mit ihren Interessen durchgesetzt,
- die Nutzung der Wasserkraft,

- die verbesserte Schiffbarkeit des Flusses und
- die wirtschaftliche Entwicklung der Region.

1.2 Baumassnahmen

Das Sanxia-Projekt (Bilder 2 und 3) umfasst

- eine 2335 m lange Flusssperre als Gewichtsmauer (Bilder 4 und 5) mit 185 m Kronenhöhe und entsprechenden baulichen Anlagen zur Regulierung der Wasserführung des Yangtse,
- zu beiden Seiten der Wehranlage Wasserkraftwerke mit einer Leistung von 18200 MW und
- auf der einen Seite eine fünfstufige Schleusenanlage für die Flussschiffahrt.

1.3 Landverbrauch

Das Sanxia-Projekt beansprucht wegen der steilen Flussufer (Schluchten) deutlich weniger Land (3,5 ha/MW Kraftwerksleistung, davon 1,5 ha Ackerland) als andere Wasserkraftanlagen. Zum Vergleich dazu werden beim Bakun-Projekt in Malaysia 29 ha/MW und für die Itaipú-Wasserkraftanlage in Brasilien 10,7 ha/MW und für die Edertalsperre 38 ha/MW benötigt.

1.4 Stautee

Wegen der Steilufer des Yangtse (Schluchten) wird die Wasserfläche des aufgestauten Sees bei Höchststand (1084 km²) nur etwa doppelt so gross sein wie die jetzige Flussoberfläche in diesem Abschnitt; sie ist etwa doppelt so gross wie die Wasserfläche des Bodensees.

Deshalb ist die gespeicherte Wassermenge (39,3 Mrd. m³) im Vergleich zu anderen grossen Stauanlagen sehr gering; der Assuan-Staudamm in Ägypten und der Kariba-Damm in Zambia stauen jeweils die vierfache Wassermenge bei wesentlich kleinerer Kraftwerksleistung (2200 bzw. 600 MW). Beim Sanxia-Projekt werden weniger als 5 % der jährlichen Durchflussmenge von der über 2 km langen Flusssperre zurückgehalten.

1.5 Klima, Erdbeben und Landschaft

Durch die zurückgehaltenen Wassermengen ist weder eine spürbare Veränderung des örtlichen Klimas noch die Auslösung von Erdbeben durch das eigene Gewicht zu erwar-

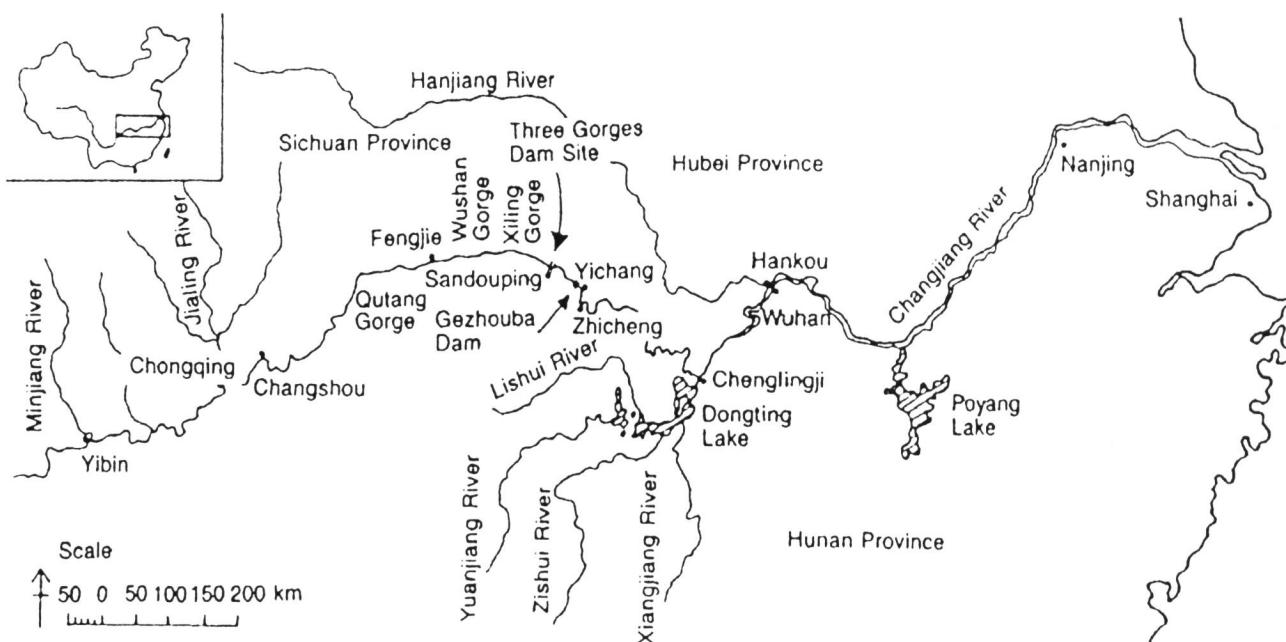


Bild 1. Drei-Schluchten-Projekt am Mittellauf des Yangtse (siehe Pfeil «Three Gorges Dam Site»).



Bild 2. Drei-Schluchten-Projekt am Yangtse; Anordnung der beiden Wasserkraftwerke mit dem Wehr dazwischen sowie der fünfstufigen doppelten Schleusentreppe (oben).

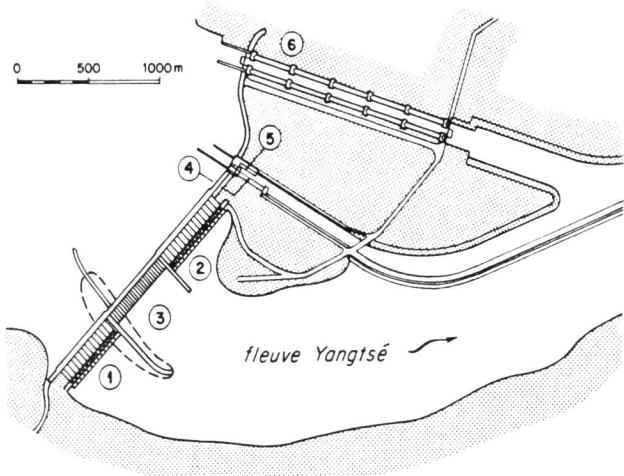


Bild 3. Übersichtsplan des Drei-Schluchten-Projektes (nach [9]). 1 und 2 Zentralen, 3 Hochwasserentlastung, 4 provisorische Schleuse, 5 Schiffshebewerk, 6 Schleusen.

ten. Auch das Landschaftsbild (Bild 6) wird wenig verändert. Durch die steil ansteigenden Ufer behält der Stausee Flusscharakter (Wasserspiegelhöhe 145 bis max. 180 m; Uferhöhe bis 900 m) und erfährt kaum ein Verlandungsproblem.

1.6 Bauzeit und Baukosten

Seit Ende 1994 wird nun an diesem grössten Bauvorhaben Chinas gearbeitet. Ab 1997 wird der Fluss umgeleitet, um

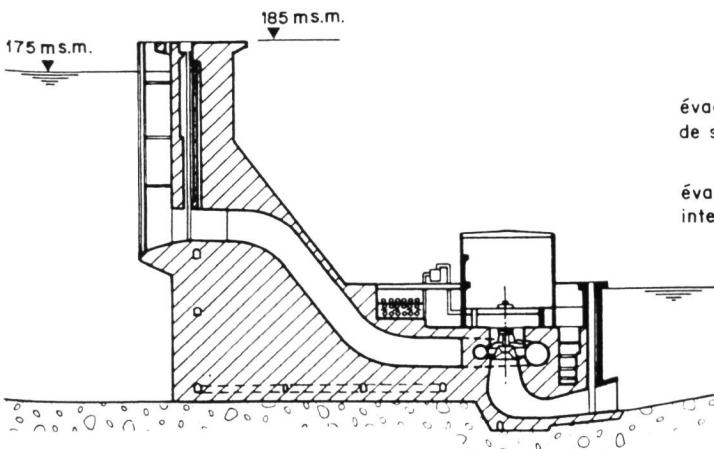


Bild 4. Querschnitt der Staumauer im Kraftwerksbereich (nach [9]).

Tabelle 1. Baumassnahmen und Baustoffmengen für das Sanxia-Projekt.

Bauteil	Felsabtrag	Erd-auftrag	Beton	Stahl	Stahl
	Mio m ³	Mio m ³	Mio m ³	1000 t	elektr. Anl.
Staumauer	5,77	—	14,86	107	30
Kraftwerk	17,15	2,09	2,93	98	129
Schleusen	58,12	5,51	5,67	145	104
Verschiedenes	21,55	21,72	3,71	4	19
Zusammen	102,59	29,32	27,17	354	282

Bauleistungen

23 Mio m³ Felsabtrag und Aushub im 3. Jahr

0,8 Mio m³ Erdaufrag im 5. Jahr

4,1 Mio m³ Beton im 8. Jahr

46000 t Stahlbauarbeiten im 10. Jahr

4 Sätze (Turbine/Generator mit je 700 MW) werden je im 12. bis 17. Jahr eingebaut, das sind insgesamt 26 Sätze Anlagen mit zusammen 12800 MW installierter Leistung

die Staumauer und das Kraftwerkshaus (Bild 4) auf der linken Flusseite gründen zu können (Bild 7). Die internationale Ausschreibung für die 14 dort vorgesehenen Maschinensätze aus jeweils einer Turbine und einem Generator zu je 700 MW läuft derzeit. Zwölf Einheiten derselben Leistung werden im rechten Kraftwerkshaus (Bilder 2 und 3) installiert.

Wenn es gelingt, alle technischen Schwierigkeiten zu lösen und den Zeitplan einzuhalten, wird im Jahr 2003 der erste Strom ins Netz eingespeist und die volle Leistung im Jahr 2013 erreicht werden. Die Bauzeit hätte dann insgesamt 17 Jahre betragen.

Einzelheiten über die Baustoffmengen und die Bauleistung (Bilder 7 und 10) entnehmen man Tabelle 1. Über den Bauablauf, das Füllen des Stausees und die Inbetriebnahme der einzelnen Maschinensätze gibt Bild 11 Auskunft.

Die Baukosten sind im Mai 1993 mit rund 75 Mrd. Yuan (9 Mrd. US-\$; 11,7 Mrd. Fr.) veranschlagt worden, das sind 65 % der Gesamtkosten des Sanxia-Projektes. Sie werden sich bis zur endgültigen Fertigstellung infolge der langen Bauzeit und durch die Finanzierungskosten um bis zu 160 % erhöhen. Auf den Investitionsumfang und die Finanzierung wird im Abschnitt 8 näher eingegangen.

1.7 Bauwürdigkeit

Fachvertreter der Weltbank haben das Sanxia-Projekt wegen seiner Mehrfachnutzung als positives Beispiel für ein Staudammprojekt hervorgehoben (vgl. Kasten 1 und 2), zwar werden mehr als eine Million Menschen umgesiedelt, aber es wird für einen besseren Schutz von über 30 Millionen Menschen unterhalb des Staudamms gesorgt.

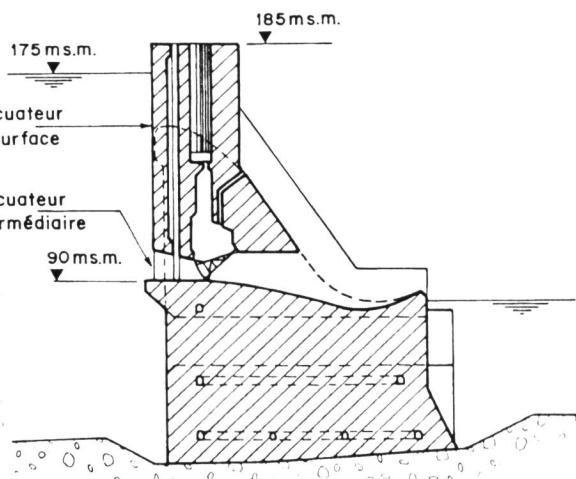


Bild 5. Querschnitt der Staumauer im Wehrbereich (nach [9]).

Kasten 1

Das Drei-Schluchten-Wasserbauprojekt im weltweiten Vergleich

Ende 1996 hat man das Drei-Schluchten-Wasserbauprojekt am Yangtse, das Sanxia-Projekt, in einigen wesentlichen Merkmalen mit den 25 weltgrößten Anlagen gleicher Art verglichen:

Kraftwerksleistung

Mit der veranschlagten Kraftwerksleistung von rund 18 200 MW liegt das Sanxia-Wasserkraftwerk mit Abstand an 1. Stelle. Die Durchschnittsleistung der 25 weltgrößten Anlagen mit Wasserkraftwerken liegt bei 4962 MW. Den 2. Platz hält mit 12 600 MW die Anlage von Itaipú (Brasilien/Paraguay), die seit 1983 in Betrieb ist.

Bauvolumen

Mit einem Bauvolumen von 115 Mio m³ liegt das Sanxia-Projekt an 3. Stelle – vor dem noch im Bau befindlichen Syncrude Tailings (Kanada) mit 540 Mio m³ und dem bereits 1973 fertiggestellten New Cornelia Tailings (USA) mit 209 Mio m³. Der Staudamm des Zuidersees in den Niederlanden kommt immerhin auf ein Bauvolumen von 63,5 Mio m³. Das durchschnittliche Bauvolumen der 25 weltgrößten Staudämme liegt bei 94,5 Mio m³.

Speicherleistung

Mit einer Speicherleistung seines Stautes von 39 Mrd. m³ Wasser liegt das Sanxia-Projekt nur an 24. Stelle. Die durchschnittliche Speicherleistung der 25 weltgrößten Staudämme beträgt 191,5 Mrd. m³ Wasser. Den 1. Platz halten mit 2700 Mrd. m³ die bereits seit 1954 gestauten Owen Falls (Uganda), wogegen mit dem Atatürk-Staudamm (Türkei) 48,7 Mrd. m³ Wasser gespeichert werden können.

Stauhöhe

Mit 175 m Stauhöhe liegt das Sanxia-Projekt nur an 63. Stelle bei 243 m Durchschnittshöhe der 25 weltgrößten Stauanlagen. Den 1. Platz hält mit 335 m die noch im Bau befindliche Staumauer am Rogun (Tadschikistan) vor der schon 1980 fertiggestellten Anlage am Nuek (Tadschikistan) mit 300 m Stauhöhe. Die Staumauer Grande Dixence (Schweiz) kommt auf 285 m Höhe; allein in Italien, Österreich und der Schweiz gibt es insgesamt acht höhere Staumauern als die künftige Sanxia-Staumauer.

Staudammlänge

Mit seiner 2335 m langen Flusssperre (Staumauer und -dämme) liegt das Sanxia-Projekt an 69. Stelle bei 12901 m Durchschnittslänge der 25 weltgrößten Staudämme. Den 1. Platz hält der bereits 1964 fertiggestellte Staudamm bei Kiew (Ukraine) mit 41185 m. In den Niederlanden gibt es fünf und in Deutschland zwei längere Staudämme als beim Sanxia-Projekt.

Folgerung

Sowohl in der Rangliste als auch im Vergleich mit den genannten Durchschnittswerten der 25 weltgrößten Staudämme mit Wasserkraftanlagen liegt das Sanxia-Wasserbauprojekt nur bei einem Wert mit weitem Abstand vorne: der Kraftwerksleistung. Ansonsten gehört es nur noch hinsichtlich des Bauvolumens auf einen der vorderen Ränge – aber auch dort nur unwe sentlich über dem Durchschnittswert. Man kann das Sanxia-Projekt also nicht als „größten Staudamm der Welt“ oder als „größtes Bauvorhaben der Menschheit“ bezeichnen.

Tabelle 2. Flutkatastrophen am Yangtse, dem wasserreichsten Fluss Chinas

Jahr	Tote	Bemerkungen
1870	400 000	Jahrhunderthochwasser
1931	145 000	
1935	140 000	
1954	30 000	19 Mio Menschen obdachlos und 3 Mio ha Ackerland überschwemmt
1996	1 500	3 Mio Häuser zerstört und 9 Mio ha Ackerland verwüstet, 14 Mrd. Fr. Gesamtschaden (NZZ vom 27. Juli 1996)

Kasten 2

Das Drei-Schluchten-Wasserbauprojekt und seine Einstufung durch die Weltbank

Hier interessiert das Aufwand-Nutzen-Verhältnis für das Sanxia-Wasserbauprojekt:

Während sein Bauvolumen nur unwesentlich über dem Durchschnittswert der 25 weltgrößten Staudämme liegt, beträgt seine Kraftwerksleistung knapp das Vierfache des Durchschnittswertes und bei dieser Kraftwerksleistung die Speicherleistung seines Stautes nur ein Fünftel des Durchschnittswertes.

Hauptkriterien

Die beiden Hauptkriterien der Weltbank für die ökologische Beurteilung (environmental sustainability) von Staudämmen mit Wasserkraftanlagen sind

- Kilowatt Leistung je Hektar überfluteter Fläche und
 - Kilowatt Leistung je umgesiedelter Menschen.
- Für die Bauwürdigkeit eines Wasserbauprojektes werden
- mindestens 5 kW Leistung je ha überfluteter Fläche und
 - mindestens 7 kW Leistung je umgesiedelter Person gefordert*. Da das Sanxia-Projekt diese Forderungen mit 288 kW je ha überfluteter Fläche und
 - 14 kW je umgesiedelter Person bei voraussichtlich 1,3 Millionen umzusiedelnden Menschen** erfüllt, wurde es von der Weltbank eindeutig positiv eingestuft.

Die Gestehungskosten von 1500 US-\$/kW liegen im üblichen Rahmen.

* Robert Goodland, Environment Department, The World Bank: The environmental sustainability challenge for the hydro industry. «Hydropower & Dams» 1/1996, S. 36–42, 16 Quellen.

** Die Weltbank hat sich am 1800-MW-Projekt Xiaolangdi am Gelben Fluss mit dreistelligen Millionenbeträgen beteiligt, obwohl dort mit 180 000 im Verhältnis zur elektrischen Leistung erheblich mehr Menschen umgesiedelt werden müssen.

Kasten 3

Stromversorgung in China

Die Stromerzeugung und der Stromverbrauch in der Volksrepublik China haben in den letzten 50 Jahren ständig zugenommen (Tabelle 3). Dennoch wird die rasche Wirtschaftsentwicklung Chinas durch Energiemangel beeinträchtigt. Deshalb steigert China derzeit die installierte Leistung zur Stromerzeugung mit jährlichen Raten von bis zu 17 000 MW. Von 1989 bis zum Jahr 2009 soll sich die Gesamtleistung aller Kraftwerke Chinas von 120 000 MW auf fast 500 000 MW vervierfachen. Selbst dann hätte jeder Chinesen nur einen Drittel des Stroms zur Verfügung, der heute in Deutschland verbraucht wird (Tabelle 4).

Stromerzeuger

China erzeugt seinen Strom zu 80 % in Kohlekraftwerken und zu weniger als 20 % durch Wasserkraft. In China arbeiten drei Kernkraftwerke und außer sechs im Bau befindlichen Anlagen sind weitere Kernkraftwerke geplant. Angesichts des grossen Bedarfsanstiegs setzt China auf den Ausbau der Stromerzeugung aus Wind, Sonne und Erdwärme mit insgesamt 10 000 MW bis zum Jahr 2010.

Im Herbst 1995 legte die chinesische Regierung eine nationale «Agenda 21» zur Verbesserung bestehender Kraftwerke und zur Energieeinsparung auf. Seit 1996 läuft unter Beteiligung der staatlichen Umweltschutzbehörde ein «Grünes Programm» (18,5 Mrd. US-\$) für die ersten 1000 Projekte.

Wasserkraft

China muss sein grosses und bisher kaum genutztes Wasserkraftpotential weiter ausbauen, wenn es zur Lösung der Kohlendioxid-Problematik der Welt beitragen will. Außer dem Sanxia-Projekt sind am Ober- und Unterlauf des Yangtse, der beim Vollausbau des Gesamtgefälles von 5400 m über 200 MW Leistung erbringen würde, über 40 Wasserkraftwerke mit 250 bis 12 000 MW und einer Gesamtleistung von 60 000 MW im Bau oder geplant (Bild 11); bereits in Betrieb sind acht Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von 6592 MW.



Bild 6. Bereich der geplanten Flusssperre mit hohen Steilufern.

Tabelle 3. Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs in der Volksrepublik China.

Jahr	Stromerzeugung Mrd. kWh	Stromverbrauch kWh/Einwohner
1952	7,30	—
1957	19,30	—
1965	67,60	—
1975	195,80	—
1980	300,60	—
1988	545,21	497
1989	584,81	525
1990	621,20	550
1991	677,55	592
1992	754,44	653
1993	839,45	719
1994	928,08	780

Die Gestehungskosten der Sanxia-Wasserkraftanlage liegen einschliesslich der Umsiedlungskosten mit max. 1500 US-\$/kW im üblichen Rahmen. Der Ausbau des Yangtse in diesem Abschnitt mit mehreren Staustufen erwies sich als weniger günstig.

Im folgenden wird auf den Hochwasserschutz, die Stromerzeugung, die Flussschiffahrt, die Verlandung, den

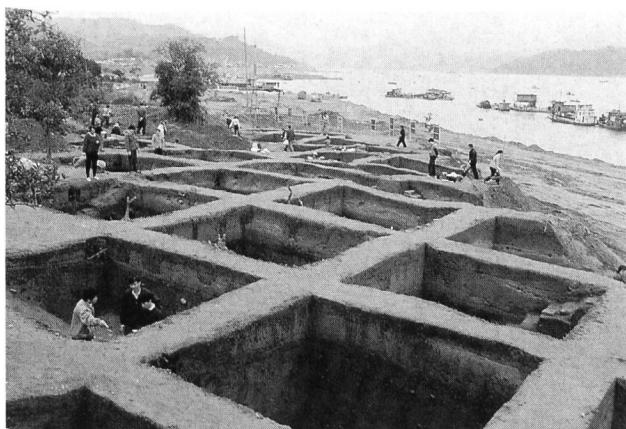


Bild 7. Dammgründung im Uferbereich.

Tabelle 4. Vergleich der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs einiger Länder mit Angaben über die Volksrepublik China (1994).

Land	Stromerzeugung Mrd. kWh	Stromverbrauch kWh/Einwohner
Volksrepublik China	928,8	780
Indien	384,42	420
Japan	964,33	7 726
USA	3208,25	12 711
Schweiz einschliesslich		
Liechtenstein	65,64	7 512
Deutschland einschliesslich neue Bundesländer	528,22	6 528

Umweltschutz und die Umsiedlung sowie den Investitions- umfang und die Finanzierung näher eingegangen.

2. Hochwasserschutz

Nicht nur wegen der Stromerzeugung wird das Sanxia-Projekt verwirklicht, sondern vor allem um den Hochwasserschutz am Yangtse, dem längsten und wasserreichsten Fluss Chinas, sicherzustellen. Die Bedeutung dieser Massnahme zeigt ein Blick zurück (Tabelle 2).

Obwohl die zurückgehaltenen Wassermassen beim Sanxia-Projekt verhältnismässig klein sind, will man mit der 185 m hohen Sperrmauer ein Jahrhunderthochwasser beherrschen, und zwar mit einer den Jahreszeiten angepassten Wasserregulierung:

- Vor Beginn der Monsunzeit wird der Wasserspiegel des Stautes auf 145 m gesenkt, um Aufnahmemöglichkeit für die Wassermassen vom Oberlauf des Yangtse und von seinen Zuflüssen zu schaffen. Die Durchflussmenge bei einem Jahrhunderthochwasser kann so von etwa 84 000 m³/s auf beherrschbare 57 000 m³/s gesenkt werden.
- Während der regenreichen Jahreszeit wird das Wasser bis auf eine Höhe von 175 m gestaut. In den trockenen Monaten kann dann die Wasserhöhe langsam auf 155 m gesenkt werden.



Bild 8. Betoneinbau für die Staumauer.

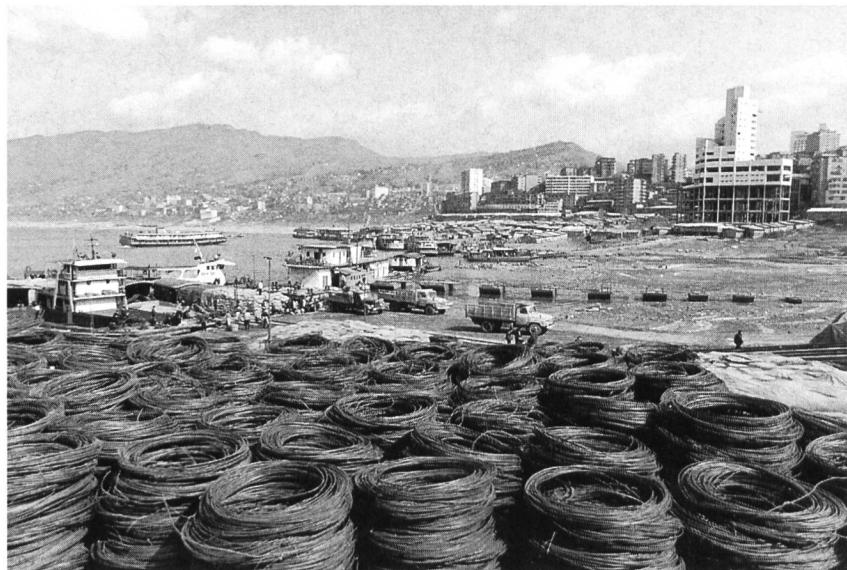


Bild 10. Umschlag von Bewehrung für das Wasserkraftwerk im Hafen von Yichang.

Diese zyklische Wasserhaltung ermöglicht eine gute Flutkontrolle des Yangtse; außerdem kann die Sperre niedriger gebaut werden, wodurch weniger überflutetes Land beansprucht wird.

3. Stromerzeugung

Zusammen mit der Staumauer werden zu beiden Seiten der mittig angeordneten Wehranlage Wasserkraftwerke mit einer Leistung von zusammen 18 200 MW errichtet (vgl. Kasten 3). Das entspricht etwa der Leistung von 15 Kern- oder 30 Kohlekraftwerken. Geplant ist eine spätere Erweiterung um 4200 MW – am Oberlauf des Yangtse oberhalb von Chongqing.

In den beiden Sanxia-Kraftwerken werden insgesamt 26 Maschinensätze installiert. Man rechnet mit einer jährlichen

Stromausbeute von 84,7 Mrd. kWh, die zusammen mit der flussabwärts gelegenen Wasserkraftanlage Gezhouba (2715 MW) dann auf jährlich mehr als 100 Mrd. kWh steigt.

4. Flussschiffahrt

Im Rahmen des Sanxia-Projektes werden zwei Schleusenstrassen (eine für Flussaufwärtsfahrten und eine für Abwärtsfahrten) mit je fünf Schleusen (Bilder 2 und 3) gebaut; die Schleusenkammern werden 280 m lang, 34 m breit und 5 m tief. Außerdem ist ein Schiffshebewerk vorgesehen, dessen Trog 120 m lang, 18 m breit und 3,50 m tief sein wird.

Dadurch können nach dem Aufstauen des Yangtse künftig Schiffe bis zu 10 000 t 660 km weiter stromaufwärts bis zur Stadt Chongqing verkehren. Jetzt ist dieser Flussab-



Bild 9. Zuschlagstofflager für die Betonbereitung.

schnitt wegen Stromschnellen nur von Schiffen bis 3000 t befahrbar. Die Transportleistung auf dem Fluss steigt in jeder Richtung um das Fünffache auf 50 Mio t jährlich und die Transportkosten sinken um ein Drittel, obwohl der Fluss nur die Hälfte des Jahres schiffbar ist.

5. Verlandung

Die Verlandungsgefahr des Stautees ist am Yangtse mit einer mitgeführten Schlamm- und Gesteinsmenge von 1,2 kg/m³ Wasser gering im Vergleich zum Huang He (Gelber Fluss) im Norden Chinas mit einer Schlammfracht von 37 kg/m³ Wasser, wo bereits über 15% des Speicherraumes der Sanmenxia-Sperre durch Verlandung verlorengegangen sind.

Beim Sanxia-Projekt lassen sich die Sedimentablagerungen im Staubecken mit raschem Durchfluss während der Hochwasserzeit gering halten und bereits im Stauraum abgesetzte Schlammassen grösstenteils wieder herausspülen. Um langfristig einer Verkleinerung des Staubeckens und einer Beeinträchtigung der Schifffahrt zu begegnen, werden nach Fertigstellung der Flusssperre und des Kraftwerks noch eine Reihe von terrassenförmigen Stauteen im Fluss Jinshajiang am Oberlauf des Yangtse angelegt, die erst nach über 100 Jahren verlandet sein werden.

6. Umweltschutz

6.1 Saubere Energiequelle

Für die Stromerzeugung von jährlich rund 85 Mrd. kWh der sauberen, regenerierbaren Wasserenergie des Sanxia-Kraftwerks wären jährlich 50 Mio t Kohle erforderlich, die bei der Stromerzeugung etwa 100 Mio t Kohlendioxid, 2 Mio t Schwefeloxid, 10 000 t Kohlenmonoxid, 370 000 t Stickoxid und grosse Mengen Staub an die Umwelt abgaben. Dadurch würden die Folgen sauren Regens vergrössert und der Treibhauseffekt verstärkt, den man weltweit zu verringern beschlossen hat.

6.2 Umweltforschung

Bereits in den 50er Jahren hat man sich hinsichtlich der umfassenden Nutzung des Yangtse mit dem Einfluss des Stauwassers (Klima, Uferstabilität, Verlandung, Pflanzen- und Tierwelt, Erdbeben, Bevölkerungsumsiedlung, Wirtschaftsentwicklung usw.) befasst. So hat die chinesische Akademie der Wissenschaften grundlegende Studien in den Bereichen Geologie, Meteorologie, Hydrologie, Ressourcen, Umwelt, Sozialwissenschaft und Wirtschaft am Yangtse durchgeführt.

- 1983 legte das Amt für den Schutz der Yangtse-Wasserressourcen seinen «Bericht über den Einfluss der zu errichtenden Drei-Schluchten-Sperre auf die Umwelt» vor und
- 1988 fertigte ein 55köpfiges Expertenteam den «Bericht über den Einfluss des Drei-Schluchten-Projektes auf das ökologische Gleichgewicht und die Umwelt sowie Gegenmassnahmen».
- 1992 wurde nach einer genauen Überprüfung durch die staatliche Kommission für Wissenschaft und Technik der «Bericht über den Umwelteinfluss des Wasserbauprojektes in den drei Yangtse-Schluchten» vom staatlichen Umweltschutzamt offiziell angenommen.

Dieser Bericht war Grundlage des Baugenehmigungsverfahrens. Die Verwirklichung des Sanxia-Projektes hat für

die Verbesserung des ökologischen Gleichgewichtes und die Umwelt Vor- und Nachteile; ohne die Bauausführung hätten in jedem Fall sehr umfangreiche Massnahmen zur Regulierung des Yangtse durchgeführt werden müssen.

6.3 Wasserqualität

Trotz verlangsamter Fließgeschwindigkeit im Bereich des Staubeckens soll das Flusswasser des Yangtse weiter Trinkwasserqualität haben. Dafür sorgen die Mindestdurchflussmenge von 5000 m³/s und die Auflagen für das ins Staubecken eingeleitete Abwasser. Der Bau von Kläranlagen ist unabhängig vom Sanxia-Projekt unumgänglich und wurde bereits begonnen.

6.4 Erhalt von Pflanzen und Tieren

Zum Schutz von seltenen Pflanzen und alten Bäumen in der Umgebung des Staubeckens werden Naturschutzgebiete im Gebirge Tianbaoshan in Yichang, am Longmen-Fluss in Xingshan und in den kleinen Drei-Schluchten in Wushan sowie Naturschutzstellen in Wanxian, Zigui und Yichang eingerichtet.

Zum Schutz der Wassertiere werden Naturschutzgebiete und Zuchtstationen, wie z.B. im Oberlauf für Stör und am Mittellauf für seltene Fische, eingerichtet, um die Menge der Fischsorten im Yangtse wieder anzuheben. Rettungsprogramme für seltene Tiere, wie z.B. für den chinesischen Delphin, laufen zum Teil bereits seit 20 Jahren.

6.5 Erdbebensicherung

Die vergrösserte Erdbelastung durch den Bau eines Staubeckens kann eine höhere Erdbebenwahrscheinlichkeit zur Folge haben. Nach geologischen Untersuchungen wird ein durch das Sanxia-Staubecken begünstigtes Erdbeben höchstens die Stärke 6 auf der Richterskala erreichen. Deshalb werden die Flusssperre und die Kraftwerksanlagen so ausgeführt, dass sie einem Erdbeben der Stärke 7 standhalten können.

6.6 Uferschutz

Das Sanxia-Staubecken wird eine Uferlinie von über 1200 km Länge haben. An 214 Stellen besteht Einsturz- oder Erdrutschgefahr; der veränderte Wasserstand wird für noch häufigere Erdrutsche sorgen. Deshalb werden während der Bauzeit die betreffenden Stellen befestigt und Überwachungsnetze für die Erdrutschvorhersage eingerichtet. Die Erdrutschgefahr für die Schifffahrt wird durch den Bau des Staubeckens, d.h. durch die grösste Wassertiefe und die vergrösserte Wasserfläche, verringert werden.

6.7 Ökologisches Gleichgewicht

Das Sanxia-Projekt ist nur eines der grossen Bauprojekte für die Verbesserung des ökologischen Gleichgewichts im Einzugsgebiet des Yangtse, des grössten Flusses Chinas und drittgrössten Flusses der Welt. Um dieses Gleichgewicht und die Umwelt in diesem Gebiet von Grund auf zu verbessern, muss man in grossem Massstab für die Wasser- und Bodenerhaltung sorgen und weiterhin Wälder und terrassenförmige Stauteen an Nebenflüssen des Yangtse anlegen, innerhalb des Einzugsgebietes die Verschmutzungsquellen in Stadt und Land vermindern und eine einheitliche und umfassende Planung für die Wirtschaftsentwicklung und die Verbesserung der Umwelt durchführen.

7. Umsiedlungen

Wie bei fast allen grösseren Wasserbauprojekten sind einige Umweltschäden unvermeidlich; so werden teilweise gute Böden überflutet und manche historisch und archäo-

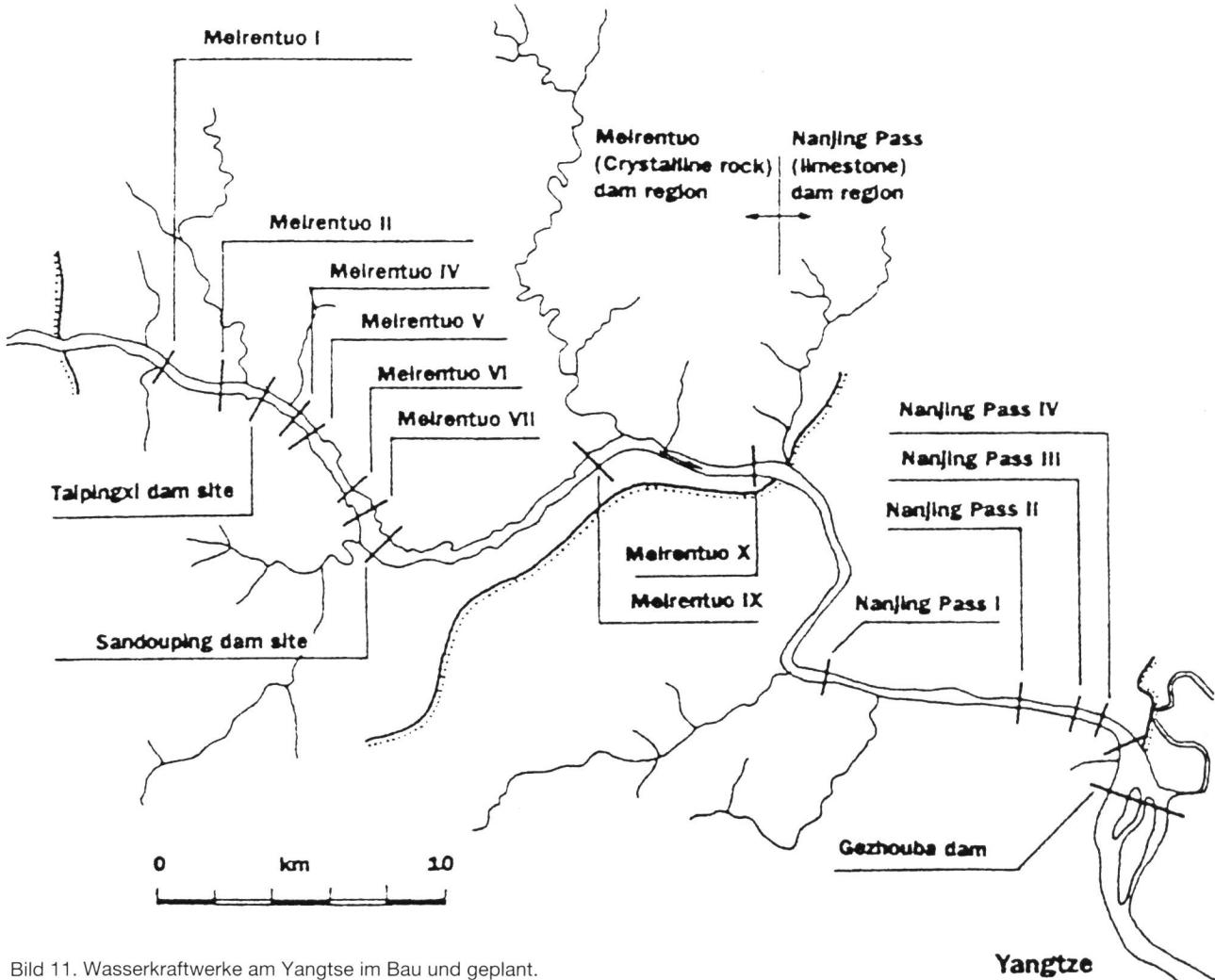


Bild 11. Wasserkraftwerke am Yangtze im Bau und geplant.

logisch interessante Stätte verlorengehen. Auch ist die Umsiedlung von 1,2 bis 1,4 Mio Menschen kein kleines Problem. In den umliegenden Regionen ist ausreichend Ersatz für verlorenes Land vorhanden. Für die meisten betroffenen Menschen des Sanxia-Projektes bedeuten die neuen Wohnanlagen eine Verbesserung ihrer Lebensbedingungen. Zusätzlich wird die Wirtschaft der Region besonders gefördert, was dazu beitragen kann, das Problem der Landflucht aus dem Landesinneren in die Küstenregionen zu mildern. Der erzeugte Strom soll vor allem der Region unterhalb des Staudamms und weiter östlich liegenden Gebieten zugutekommen.

In einer 1993 erschienenen Studie bestätigt die Weltbank, dass die chinesischen Umsiedlungsgesetze den Richtlinien der OECD entsprechen und durch die gegenwärtige Umsiedlungspraxis die Interessen der betroffenen Gemeinschaften besser gesichert werden als in anderen Entwicklungsländern.

8. Investitionsumfang und Finanzierung

8.1 Investitionen

Die Kosten für das Sanxia-Projekt (Stauanlage, Kraftwerke, Stromübertragung und Umsiedlung) wurden im Geldwert von 1993 zunächst auf 90 und dann auf 115 Mrd. Yuan (13,8 Mrd. US-\$; 18 Mrd. Fr.) veranschlagt, und zwar 65 % für Baukosten und 35 % für die Umsiedlung der Bevölkerung aus dem überfluteten Gebiet. Einschliesslich Kapitalzinsen und inflationsbedingtem Preisanstieg während der langen Bauzeit wird sich nach chinesischen Schätzungen

ein Gesamtwert der zu finanzierenden Investitionskosten von 230 bis 300 Mrd. Yuan (27,3 bis 36 Mrd. US-\$; 35,5 bis 49,5 Mrd. Fr.) ergeben.

Hier stellt sich die Frage, kann die Volksrepublik China mit ihrem nationalen Potential einen derartig grossen Investitionsumfang tragen?

Seit Beginn von Reformen und Öffnung hat die wirtschaftliche Stärke Chinas ständig zugenommen. So betrug 1995 das Bruttoinlandprodukt 5773,3 Mrd. Yuan (693 Mrd. US-\$; 900 Mrd. Fr.), wovon über ein Drittel (1944,5 Mrd. Yuan) für Anlageinvestitionen verbraucht wurde; davon entfielen 6,5 Mrd. Yuan (780 Mio US-\$; 1014 Mio Fr.) auf das Sanxia-Projekt, das heisst der Anteil an beiden Beträgen betrug nur 0,11 bzw. 0,33 %. Das Sanxia-Projekt ist gegenwärtig zwar das grösste Investitionsvorhaben Chinas, macht aber während der Projektdauer von 17 bis 20 Jahren weniger als ein halbes Prozent der Gesamtinvestitionen des Landes aus, stellt also keine so grosse Belastung für die chinesische Wirtschaft dar.

8.2 Finanzierung

Die chinesische Regierung hat zur Finanzierung des Sanxia-Projektes folgende Massnahmen getroffen:

- Das Wasserkraftwerk Gezhouba (Bild 1), das gegenwärtig grösste seiner Art in China, und dessen Gewinne aus der Stromerzeugung wurden der Entwicklungsgesellschaft für das Sanxia-Projekt als Eigentümer übertragen.
- In ganz China wird je nach Region und Art des Verbrauchs eine besondere Stromabgabe für das Sanxia-Projekt erhoben.

- Die staatliche Entwicklungsbank Chinas wird ab 1994 jährlich Kredite für das Sanxia-Projekt bereitstellen. Durch diese Massnahmen wird das Sanxia-Projekt zum grössten Teil finanziert, zu einem kleineren Teil durch
 - Kredite inländischer Handelsbanken, refinanziert durch Anleihen und Aktien, wobei man bei Rückgang der Inflation in China mit sinkenden Kreditzinsen rechnen kann,
 - Vorfinanzierung der aus dem Ausland bezogenen Lieferungen (Turbinen, Generatoren usw.) durch die Hersteller/Lieferanten und
 - auf dem internationalen Kapitalmarkt begebene Anleihen der Entwicklungsgesellschaft für das Sanxia-Projekt, deren Kreditwürdigkeit durch die o.a. staatlichen Massnahmen gewährleistet ist.
- Der ausländische Kreditbedarf soll höchstens zwei bis drei Mrd. Yuan (0,24 bis 0,36 Mrd. US-\$; 0,31 bis 0,47 Mrd. Fr.) betragen, das sind nur 1% der Gesamtkosten. China will keine Finanzierung durch die Weltbank beantragen.

8.3 Controlling

Die Entwicklungsgesellschaft für das Sanxia-Projekt, die für die Kapitalbeschaffung, den Bau, die Produktion und den Betrieb sowie für die Zahlung der Zinsen und Rückzahlung der Kredite allein verantwortlich ist, hat entsprechende Massnahmen zur Investitionskontrolle getroffen; so konnte der Einfluss von Kursschwankungen sowie von Entwurfs- und Vertragsabänderungen auf die Investitionen gering gehalten werden. Bis Ende Februar 1996 wurden von den insgesamt 14,2 Mrd. Yuan (1,7 Mrd. US-\$; 2,2 Mrd. Fr.) bereitgestellten Mitteln nur 13 Mrd. Yuan (=91,5%) tatsächlich genutzt.

8.4 Refinanzierung

Das Sanxia-Wasserkraftwerk wird mit der Stromerzeugung im Jahr 2003 beginnen und ab Fertigstellung voraussichtlich im Jahr 2009 jährlich 84,7 Mrd. kWh Strom liefern, was einem Zehntel der gegenwärtigen Stromerzeugung Chinas entspricht. Rechnet man mit einem Stromabgabepreis von 0,4 Yuan/kWh (0,048 US-\$; 0,063 Fr.), so können dann jährlich Kredite in Höhe von über 10 Mrd. Yuan (1,2 Mrd. US-\$; 1,6 Mrd. Fr.) zurückgezahlt werden und bis 2014 alle Schulden getilgt sein.

Literatur

- [1] *Jiazhu, W.:* Major problems with the design of Three Gorges. «Int. Water Power & Dam Construction», August 1994, S. 24–32.
- [2] *Yongfu, Zh.:* The river diversion design for the Three Gorges Project. «Int. Water Power & Dam Construction», August 1994, S. 34–38.
- [3] *Weibang, Sh.:* Design of navigation structures for the Three Gorges Project. «Int. Water Power & Dam Construction», August 1994, S. 40–43.
- [4] The Three Gorges Project. China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation, Changjiang Water Resources Commission, October 1994; 21 Seiten.
- [5] *Yongan, L.:* Financing strategy for the Three Gorges Project. «Hydropower & Dams», 1/1996, S. 50–52.
- [6] *Yuanfang, H.:* Technical challenges for the design of the Three Gorges generating equipment. «Hydropower & Dams», 2/1996, S. 32–36.
- [7] *Youmei, L.:* Drei-Schluchten-Projekt und Umweltschutz. «Beijing Rundschau», 28/1996, S. 12–18.
- [8] *Yongan, L.:* Das Sanxia-Projekt: Investitionsumfang und Finanzierung. «Beijing Rundschau», 29/1996, S. 18–22.
- [9] *Raemy, F.:* Le barrage des Trois Gorges sur le fleuve Yangtsé: un projet d'une autre dimension. «wasser, energie, luft – eau, énergie, air», 86 (1994), S. 279–281.

Adresse des Verfassers: Gunther Brux, Dipl.-Ing., Schreyerstrasse 13, D-60596 Frankfurt.

Tagungsbericht

Das Wildbachsystem – Prozesse, Bewertung, Massnahmen

Das bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft veranstaltete gemeinsam mit der FAO und IUFRO, dem Verband Forstlicher Versuchsanstalten am 14. und 15. November 1996 in München ein Fachkolloquium zur «Standortbestimmung unter Berücksichtigung des Integralen Wildbachkonzeptes», einer wissenschaftsgestützten multidisziplinären Untersuchung von Ereignisursachen, Dynamismen und Folgerungen insbesondere für die Abgrenzung von Gefahrenzonen.

In vier Themenkreisen: Abtrags- und Abflussgeschehen in Wildbacheinzugsgebieten; Bewertung der Faktoren und deren Berücksichtigung in Planungsgrundlagen; Möglichkeiten und Grenzen der Risikominderung; Zukünftige mögliche Beeinflussung des Wildbachsystems durch Veränderung der Stoffdynamik; wurden grundsätzliche und einige sehr ins einzelne gehende Arbeiten von Referenten aus Bayern, Österreich und der Schweiz abgehandelt und unter Leitung eines erfahrenen Journalisten in einem Podium diskutiert. Die Grundlagentexte und Grafiken dazu finden sich im Heft 27 der Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, München 1996, ISBN 3-930253-07-0. Die Referate werden ebenfalls veröffentlicht. Es möge genügen, auf einige Punkte hinzuweisen.

Die Kartierung der Geo- und Biofaktoren in 23 Testgebieten (womit praktisch der gesamte bayerische Alpenanteil erfasst ist) führt zu einem GIS, welches in dieser Dichte für andere Alpenländer aus Zeit- und Kostengründen unerreichbar bleiben muss, aber so auch nicht benötigt wird. Es sei hierzu eine grundsätzliche Anmerkung gestattet: Was dem Geographen und Ökologen etwa bezüglich Bodenphysik und Kartierung oder Boden- und Hydromechanik sowie Feststofftransport neu und berichtenswert erscheinen mag, ist für den Ingenieur und Forstmann im alpinen Wasserbau längst Stand des Wissens und der Technik.

Eine besondere Frage ergibt sich bei der Entwicklung von Gefahrenzonensplänen, lassen sich dabei doch allgemein gültige, fachlich wohlgegrundete Regeln aufstellen und anwenden. Deren unterschiedliche Verbindlichkeit für Behörden, Gemeinden und Bürger etwa in bezug auf Raumordnung, Risiko und Haftung wird aber durch die jeweiligen Rechtsordnungen bestimmt. Wildbachdynamische Prozesse und technische Einzelmaßnahmen im Rahmen von Verbauungssystemen wurden, dem Thema und der Zielsetzung des Kolloquiums entsprechend, zwar kompetent, aber eher kurz behandelt. In der abschliessenden Podiumsdiskussion befasste man sich u.a. eingehend mit dem (ungenügenden) Wissenstransfer von der Forschung und von den geofaktoriellen Grundlagen zur praktischen technischen Planung, aber auch zu den verantwortlichen technischen Behörden und zu den betroffenen Bürgerschaft.

Alles in allem erhielt man dank ausgezeichneter Referenten, klarem Aufbau und pünktlichem Verlauf nicht nur Einblick in ein integral angelegtes Studienprojekt, sondern fand auch reichlich Gelegenheit zum Gedankenaustausch. Die Veranstalter, ich nenne nur drei Namen: A. Göttle, G. Bunza, R. Ziegler, dürfen zufrieden sein.

Adresse des Berichterstatters: Prof. Dr. Herbert Grubinger, Im Glockenacker 34, CH-8053 Zürich.