



Wasserkraftanlagen

Bei der Wasserkraftnutzung wird die potentielle Energie des Wassers an einer Gefällstufe bzw. seine hydromechanische Energie von Wasserkraftmaschinen (Turbinen), in mechanische Energie und weiter in elektrische Energie umgewandelt.

Die Dimensionen reichen vom Kleinkraftwerk an einem Bachlauf mit weniger als einem Meter Fallhöhe und einer Nutzwassermenge von weniger als 100l/s bis zu Fallhöhen von über 2000m und Ausbaublüssen von vielen tausend m³/s.

Zur Kennzeichnung von Wasserkraftanlagen werden ihre Nutzfallhöhen

- Niederdruckanlagen bis 30m Gefälle,
- Mitteldruckanlagen 30m bis 100m und
- Hochdruckanlagen über 100m und
- ihre Speicherfähigkeit herangezogen.



Man unterscheidet:

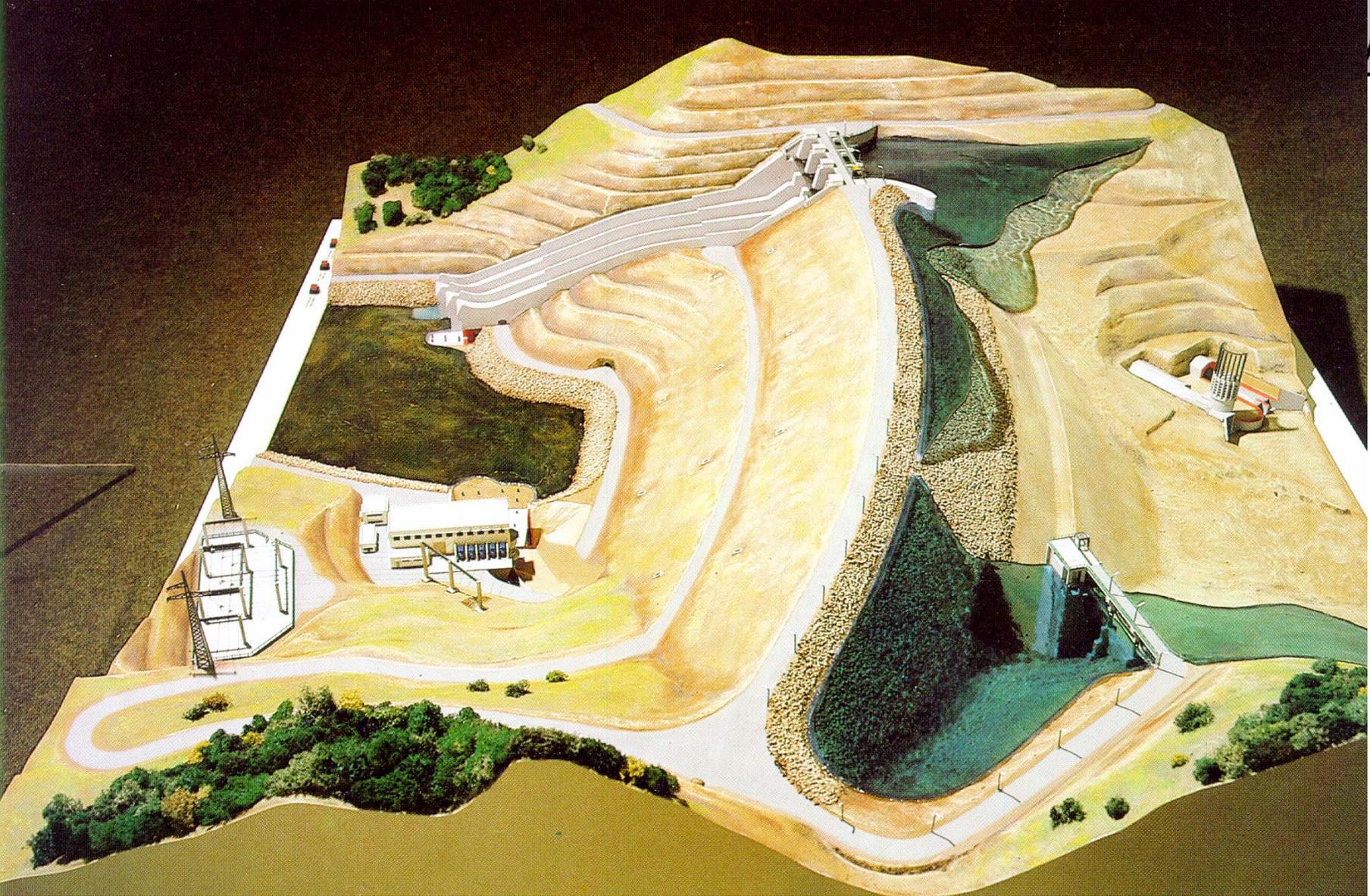
- Speicherkraftwerke
- Triebwasserleitung
- Pumpspeicherwerke
- Laufwasserkraftwerke
- Gezeitenkraftwerke

Speicherkraftwerke

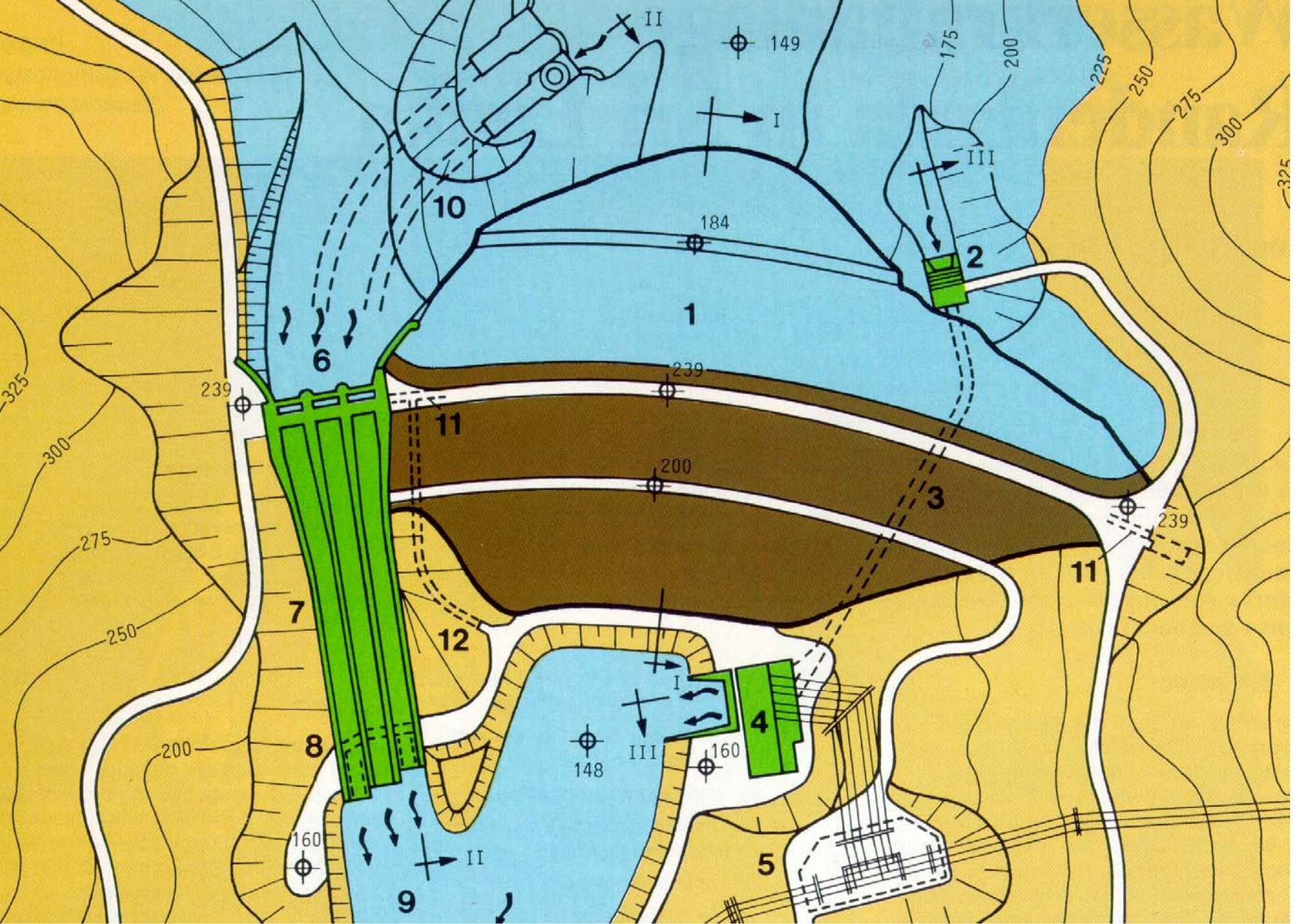
Sie dienen zur Erzeugung von *Spitzenenergie*. Soweit notwendig, wird der sehr unregelmäßige Abfluss aus dem Kraftwerk mit einem Gegenspeicher auf etwa gleiche Tagesmittel vergleichmäßig.

Bestandteile eines Speicherkraftwerks:

- Wasserspeicher (siehe dort) und,
- Kraftwerk (vergl. Wasserkraftanlagenbau).



Modell Wasserkraftprojekt Randenigala, Sri Lanka 1982 - 1985



Grundriss Randenigala 1982 - 1985, Sri Lanka

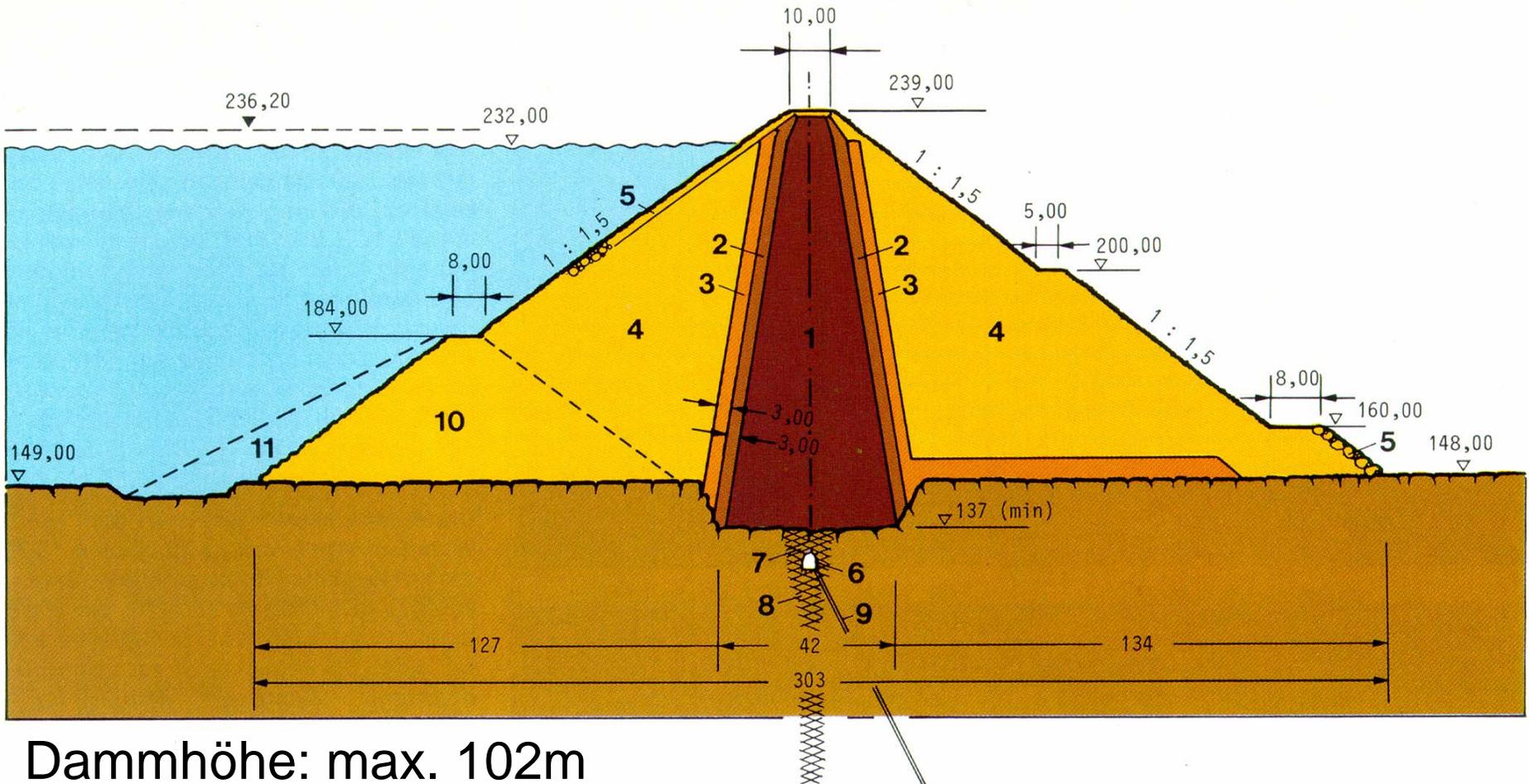
© Büsching, F.: Wasserbau I

2002/05.4



Vertikalschnitt I-I

Dammquerschnitt mit Kerndichtung (Trockendichtung)



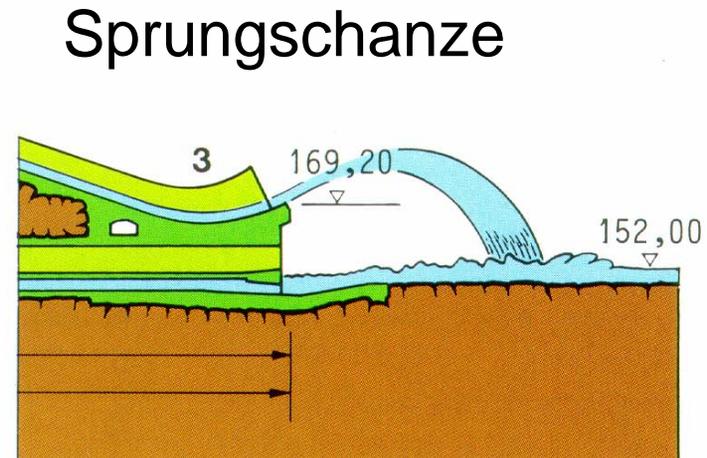
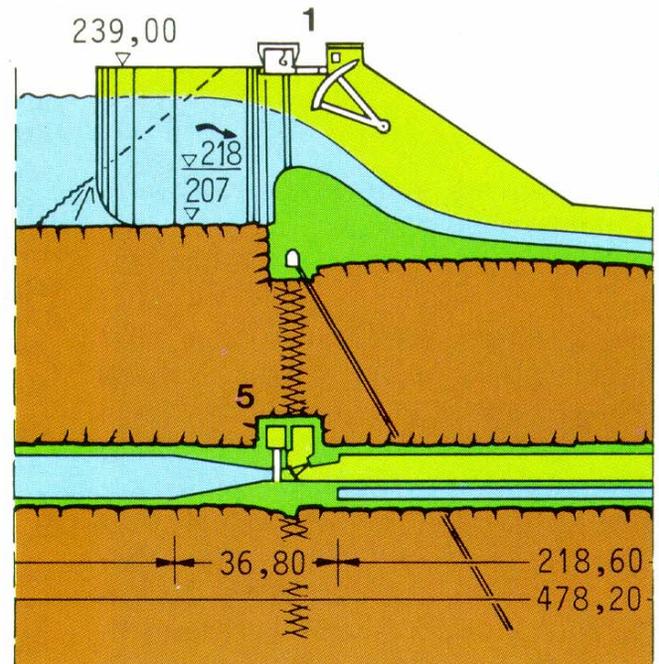
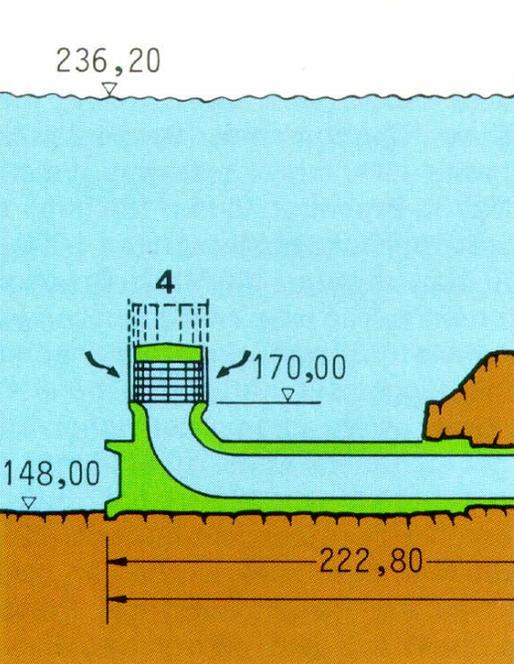
Dammhöhe: max. 102m
Kronenlänge: 485m

Injektionsschleier 46640
Bohr-m, 1322 t Zement

Randenigala, Sri Lanka 1982 - 1985,

Vertikalschnitt II-II

HW-Entlastung: 3 Schussrinnen,
3 Segmenttore 25,26 x 16,70m



Grundablass

2 Stollen \varnothing 9,60m
Segmentverschlüsse
Grundablass und Be-
wässerung

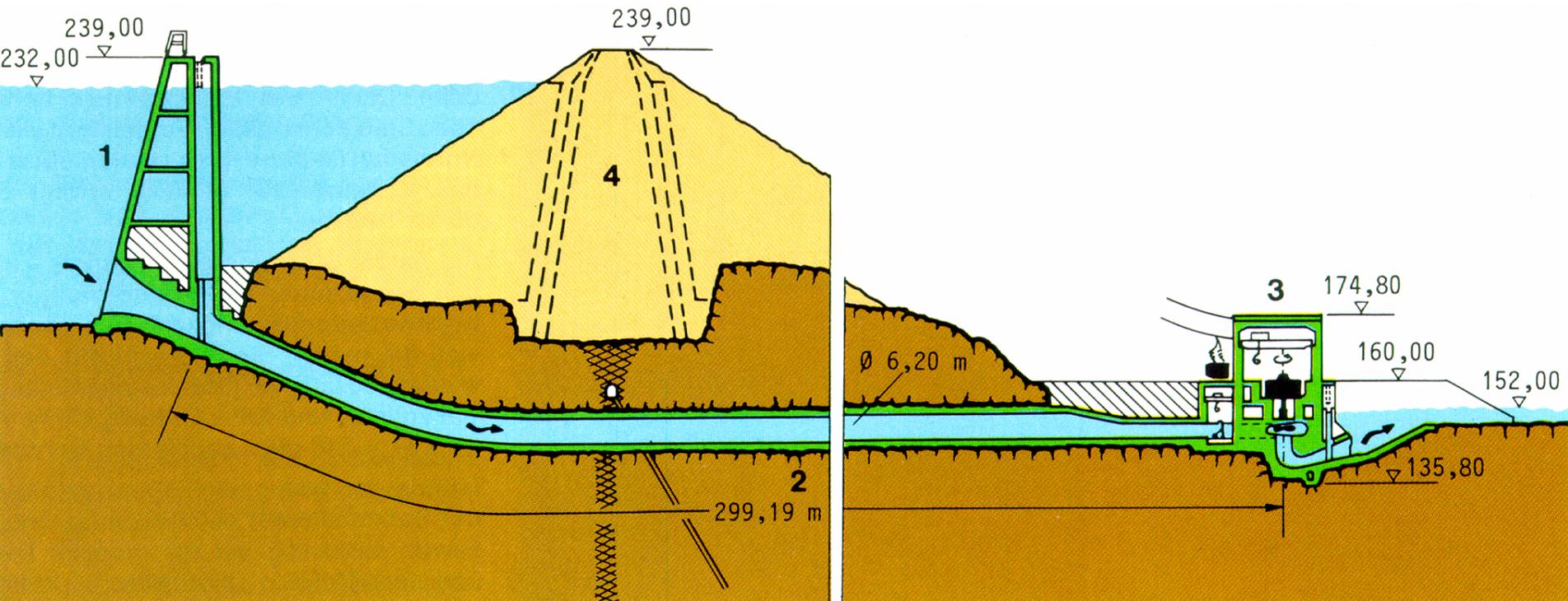
Tosbecken

Randenigala, Sri Lanka 1982 - 1985,

© Büsching, F.: Wasserbau I

2002/05.6

Vertikalschnitt III-III



(1) Einlaufbauwerk der
Triebwasserleitung

(2) Druckstollen

(3) Krafthaus
2 Francisturbinen
je 61 MW

Randenigala, Sri Lanka 1982 - 1985,

© Büsching, F.: Wasserbau I

2002/05.7



Abmessungen und Bau der Kraftwerke werden wesentlich durch die Anzahl der Wasserkraftmaschinen und ihre Bauart (Turbinen) bestimmt. Es kann oberirdisch in einem *Krafthaus* oder unterirdisch in einer *Kaverne* untergebracht werden.

- Triebwasserleitung

Die Leitung vom Wasserspeicher zum Kraftwerk soll wegen des hohen Druckes möglichst kurz sein. Der Einlauf - vielfach ein gesondertes Bauwerk - hat einen Rechen und eine Absperrvorrichtung. Bei Staumauern mit einem Kraftwerk am unterwasserseitigen Fuß (Talsperrenkraftwerk) durchquert die Triebwasserleitung nur die Mauer bzw. den Damm. Längere Leitungen werden entweder als oberirdische Rohrleitung aus Stahl oder Beton oder unterirdisch als Stollen (waagrecht und geneigt) und als Schacht (senkrecht) ausgebildet. Damit bei einer Geschwindigkeitsänderung (Schließen und Öffnen) der in längeren Leitungen befindlichen Wassermassen nicht gefährliche



Druckstöße entstehen, wird im Bereich des Absperrorgans ein Wasserschloss angeordnet. Es handelt sich dabei um eine Kammer, die bis über den höchsten Wasserspiegel im Ruhezustand reicht. Das in der Leitung befindliche Wasser kann hin- und herschwingen, wobei der Wasserspiegel im Wasserschloss entsprechend steigt und fällt und die Druckstöße in der Leitung stark gedämpft werden.

- Pumpspeicherwerke

Elektrische Energie lässt sich in größeren Mengen nur auf dem Umweg speichern, dass man Wasser in ein höher gelegenes Becken pumpt. Auf diese Weise kann man billigen, überschüssigen Nachtstrom mit einem Wirkungsgrad von rd. 0,7 in Spitzenstrom verwandeln. Pumpspeicherwerke bestehen aus einem Unterbecken, einem künstlich auf einer Höhe angelegten Oberbecken, einem Maschinenhaus mit Pumpturbinen oder getrennten Pump- und Turbinenaggregaten und den übrigen Einrichtungen eines Speicherkraftwerkes.



- Laufkraftwerke

Alle Flusskraftwerke ohne nennenswerten Speicherraum müssen das Wasser so abarbeiten, wie es der Fluss bringt. Sie werden zur Deckung der Grundlast eingesetzt.

Als Ausbauabfluss wird meist ein Wert gewählt, der an 30 bis 100 Tagen im Jahr erreicht bzw. überschritten wird (siehe Gewässerkunde - Dauerlinie). Flusskraftwerke kann man als Staustufe (siehe dort) im Fluss oder als Ausleitungskraftwerk errichten, wobei dem Fluss mit einem Seitenkanal für eine längere Strecke bis auf das Hochwasser und die sog. *Pflichtwassermenge fast* der gesamte Abfluss entzogen wird. Diese Bauweise wurde vor allem zu einer Zeit verwirklicht, als die Technik des Turbinenbaues eine Ausnützung der stark schwankenden Wasserführung bei den verhältnismäßig niedrigen Fallhöhen der meisten Kraftwerke im Fluss noch nicht zuließ.



Bei Kraftwerkstrepfen (Staustufenketten) versucht man, die oberste und unterste Stufe mit einem kleinen Speicherraum (Kopfspeicher, Endspeicher) auszustatten. Damit ist es möglich, bei geringen Zuflüssen stundenweise Spitzenstrom mit Vollast an allen Stufen mit Ausnahme der Endstufe zu erzeugen und dafür in der übrigen Zeit keinen oder nur wenig Strom zu erzeugen (Schwellbetrieb). Der Endspeicher gibt den Abfluss wieder gleichmäßig ab. Bei langen Kraftwerkstrepfen werden noch Zwischenspeicher angelegt.

Große Speicher, die im oberen Einzugsgebiet eines Flusses die Wasserführung vergleichmäßigen, vermehren die gewinnbare Energie in den unterhalb gelegenen Laufkraftwerken.



- Gezeitenkraftwerke

Eine wirtschaftliche Ausnutzung des Tidehubes in einem Wasserkraftwerk ist nur bei verhältnismäßig großem Tidehub und unter auch sonst günstigen Bedingungen möglich.

Eine Meeresbucht wird mit einem Damm (*Talsperre*) abgeschlossen, in den Turbinen (*Kaplan*) und Generatoren zur Stromerzeugung einbaut werden:

Bei Flut treibt das eindringende Wasser die Turbinen, bei Ebbe (nach Rückstau des Wassers in der Bucht, in der Art eines *Speicherkraftwerks*) das ausfließende Wasser.

Ein Betrieb als Pumpspeicherwerk mit entsprechenden Pumpenturbinen ist ebenfalls möglich.

Weltweit sind nur etwa 100 günstige Lokationen bekannt, d.h. solche, die - in einer geeigneten Bucht - über das ganze Jahr gemittelte *Gezeitenhübe von 5m* und mehr bieten.



Dort wären Gezeitenkraftwerke mit technisch nutzbarem *Potential* von insgesamt etwa 160.000 MW - entsprechend etwa dem 1,5-fachen der gesamten deutschen Kraftwerksleistung - denkbar.

Da wegen des Gezeitenwechsels hinreichend großer Gezeitenhub günstigstenfalls aber nur während etwa 2000 von 8760 Stunden eines Jahres gegeben ist, läge die jährliche Stromerzeugung tatsächlich mit 320.000 GWh wesentlich unter der deutschen Kraftwerks*energiegewinnung*.

Nur dort, wo günstige Bauplätze und dichte Besiedlung zusammentreffen (wie in der Bretagne oder in Korea) oder wo andere Energiequellen fehlen (Norden Russlands), können Gezeitenkraftwerke *wirtschaftlich sein*.

Beispiele:

Das erste Gezeitenkraftwerk arbeitet seit 1967 im Mündungsgebiet der Rance bei St. Malo an der französischen Atlantikküste. Es erzeugt bei einem Gezeitenhub von 13,5m mit 24 KaplanTur-



binen 240 MW. Eine 750m lange *Talsperre*, in trockener Baugrube errichtet, definiert einen Stausee mit einer Oberfläche von 22 km². Baukosten: Das 2,5-fache eines entsprechenden *Laufkraftwerks*. Die Wirtschaftlichkeit konnte nie nachgewiesen werden.

Bei der Versuchsanlage Kislogubsk (1MW) bei Murmansk an der Barentssee, Russland, wurde 1968 eine Caisson-Bauweise angewendet. In China gibt es mehrere kleine Anlagen. Die größte, 1980 nahe Schanghai erstellte leistet 10 MW.

Bei Annapolis Royal mit *welweit höchsten Tidehüben* in der Fundy-Bay an der Ostküste Kanadas gibt es seit 1984 eine 20-MW-Anlage.

Pläne für Gezeitenkraftwerke bestehen in der Fundy-Bucht, in Großbritannien (z.B. an der Severn-Mündung), in Südkorea und in Russland (Barentssee, Weißes und Ochotskisches Meer).



- Erneuerbare Energie

Im Bereich der erneuerbaren Energien stellt die Wasserkraft die wichtigste Komponente dar (Anteil in Deutschland: ca. 80%).

1995 wurden in Deutschland knapp 4% des Stromes aus Wasserkraft gewonnen. Nach Schätzungen liegen die weltweiten jährlichen Wasserkraft-Reserven bei rd. 13 Mio. GWh. Dies entspricht einer Kraftwerksleistung von 3 Mio. MW. Nordamerika und Europa verwerten die vorhandenen Wasserkraft-Reserven für die Energieversorgung zu 60 – 90%, in Afrika, Asien sowie Lateinamerika werden erst 10% dieser Energiequelle genutzt. Experten gehen davon aus, dass bis 2015 weltweit fast 30% der verfügbaren Wasserkraft-Reserven für die Elektrizitätsgewinnung Verwendung finden. Tatsächlich könnte der Energiebedarf weltweit durch Wasserkraft *gedeckt* werden.

Der Bau von Wasserkraftwerken ist wie der von Wärmekraftanlagen aber nicht ohne ökologische Risiken. Hinzukommen hohen Investitionen, z.B. für Staudämme.



In der Volksrepublik China wird bis 2013 mit dem Drei-Schluchten-Damm das weltweit größte Wasserkraftprojekt verwirklicht. Trotz befürchteter gravierender Folgen für Mensch und Umwelt (Veränderung des Klimas in der Region, Erdbebengefährdung) hält die chinesische Regierung an ihrem Vorhaben fest.

Gegenüber einem Kohlekraftwerk setzt ein Wasserkraftwerk mit 80% etwa *doppelt so viel Energie* in Elektrizität um. Gerade in den Entwicklungsländern erhält diese Art der Stromgewinnung große Bedeutung.

- Wasserkraft in Deutschland 1997 (4%)

	<u>MW</u>
Pumpspeicher	5516
Laufwasser	2630
Speicherwasser	247
insgesamt	8393



Anlagen und Einrichtungen für die Schifffahrt (bewegter und ruhender Verkehr, Umschlageinrichtungen)

- Schiffahrtsstraßen

Für die Binnenschifffahrt:

- die von Natur aus schiffbaren *Flüsse und Seen*,
- Flüsse, in denen durch *Regelungsmaßnahmen* (Buhnen, Leitwerke, Baggerungen u. a.) eine Schiffahrtsrinne hergestellt und freigehalten wird,
- Flüsse, in denen durch Einbau von *Staustufen* die nötige Fahrwassertiefe und -breite hergestellt wird,
- künstlich hergestellte Kanäle.

Das sogenannte Europa-Schiff, auf das die bedeutenderen Binnenwasserstraßen ausgebaut werden, hat eine Tragfähigkeit von $M = 1350$ t, eine Länge $L = 80$ bis 85 m, eine Breite $B = 9,50$ m und einen maximalen Tiefgang (Abladetiefe) $T = 2,50$ m.



Aktuelle Bemessungsschiffe: Großmotorgüterschiff (L = 110m, B = 11,40m, T = 2,8m, M = 2000 t.

Schubverband (L = 185m, B = 11,40m, T = 2,80m, M = 3500 t).

Für die Seeschifffahrt:

- künstlich vertiefte Fahrrinnen zu Häfen,
- Seekanäle zu wichtigen Orten nahe der Küste (in Europa für Schiffe bis 6000 t),
- Kanäle zur Einsparung von Umwegen (Suezkanal, Panamakanal, Nord-Ostsee-Kanal u. a.).

• Schleuse, Schiffshebewerk

Bauwerke zur Überwindung eines Wasserspiegelunterschiedes in der Schifffahrtsstraße. Eine Schleuse ist eine offene rechteckige längliche Kammer (für den Verkehr mit dem *Europaschiff* 190m lang und 12m breit), an beiden Enden (Oberhaupt und Unterhaupt) mit je einem beweglichen Verschluss für die Ausspiegelung und einem dichtenden eigentlichen Schleusenverschluss (Tor). Die Schiffe werden durch Füllen und Leeren der Kammer gehoben und gesenkt.



Das obere Schleusentor wird nur bei gefüllter Schleuse zum Ein- oder Ausfahren der Schiffe geöffnet, das untere Schleusentor nur geöffnet, wenn der Wasserstand in der Schleuse bis auf den Unterwasserstand abgesenkt ist.

Mit einer solchen Kammerschleuse können Hubhöhen bis etwa 25m überwunden werden. Bei größeren Höhenunterschieden werden mehrere Schleusen hintereinander (Schleusentreppe) angeordnet. Ist Schleusungswasser sehr knapp und/oder zur Einsparung von *Schleusungszeit* werden *Schiffshebewerke* verwendet. Das Schiff wird in einen dicht absperrbaren Trog gefahren. Der Trog mit Schiff und Wasser wird dann entweder senkrecht (Senkrecht-Hebewerk) oder auf einer geneigten Ebene bewegt (Gleisbahn; Längs- oder Querförderung), wobei das Troggewicht durch Gegengewichte, Schwimmer oder Druckkolben ausgeglichen wird.



Mit Schiffshebewerken können heute Höhenunterschiede von 100m und mehr überwunden werden. An Schleusen und Hebewerken werden im Ober- und Unterwasser je ein Vorhafen zur Aufnahme wartender Schiffe sowie häufig noch Schiffsliegeplätze für kurzzeitigen Aufenthalt angeordnet.

- Hafen

Häfen dienen dem Umschlag von Gütern und haben oft Anlagen für die Überholung und Instandsetzung von Schiffen (Trockendock, Schwimmdock u. a.). Die einfachste Hafenanlage ist bei Binnenwasserstraßen eine Verbreiterung und an der See eine Mole (Hafendamm), wo Schiffe festmachen und laden können. Häfen sollen den Schiffen aber auch Schutz vor Hochwasser, Eis und Sturm bieten können. Dazu ist ein Becken notwendig, das nur eine verhältnismäßig kleine Ausfahrt ins freie Wasser hat.



Falls erforderlich, wird dort noch ein Sperrtor oder eine Schleuse angeordnet. Die Ufer des Hafens können senkrecht oder geböscht ausgeführt sein. Je nach Lage, Verbindung zum schiffbaren Gewässer, Verkehrsart, Hafenform, Verwendungszweck u. a. wird eine Vielzahl von Hafenarten unterschieden (Tidehafen, Binnenhafen, Stichhafen, Industriehafen, Fischereihafen usw.).

- Verkehrseinrichtungen

Für eine reibungslose und möglichst unfallfreie Abwicklung des Schiffsverkehrs sind (außer Vorschriften) auch ausreichende Verkehrseinrichtungen und Schiffsfahrtszeichen notwendig, z.B. Ausweichplätze bei nur einschiffigen Fahrinnen, Wendestellen, Kennzeichnung der Fahrinne mit Boje, Bake, Tonne, Leuchtfeuer, Funkfeuer, Radarreflektor usw.



Grenzgebiet zwischen Stahlbau und Maschinenbau mit Statik, *Hydrodynamik* und Mechanik als wichtigsten Belastungs- und Konstruktionsgrundlagen. Der Stahlwasserbau behandelt im wesentlichen die beweglichen Verschlusskonstruktionen für absperrbare Öffnungen:

Leitungen, Grundablässe, Wehrfelder, Schleusentore u. a.

Im engeren Sinne unterscheidet man:

Schützen: Verschlussvorrichtungen ohne Gehäuse, z. B. Tafelschütz, Rollschütz, Zylinderschütz, Klappe, Segment, u. a.

(siehe auch Wehre und Talsperrenverschlusssysteme)

Schieber: ist eine Verschlussvorrichtung mit Gehäuse, z. B.

Kegelstrahlschieber, Ringkolbenschieber, Drosselklappe u. a.

Schiffshebewerke und *Kanalbrücken* gehören in ihrer Gesamtstruktur zum Stahlwasserbau.



Wasserbau und Umwelt

Bei der bis 2050 prognostizierten Zunahme der Weltbevölkerung von gegenwärtig 6 Mrd. auf 9,4 Mrd. werden bauliche Eingriffe weltweit zunehmend größere Tragweite erlangen. Da in den dicht besiedelten Industrieländern kaum noch unberührte Natur vorhanden ist, werden *wasserbauliche Großanlagen zunehmend in den Entwicklungsländern* große Wirkungen auf die Umwelt, auf die biologischen Ökosysteme, auf den Wasserkreislauf und auf das Mikroklima haben.

Beim ersten Weltwasserforum im Frühjahr 1997 in der marokkanischen Stadt Marrakesch forderten die etwa 500 Teilnehmer aus 60 Staaten *Strategien* im Kampf gegen die Wasserknappheit. Ökosysteme müssten geschützt und der weltweite Wasserverbrauch gesenkt werden. Bis zum zweiten Forum im Jahr 2000 soll ein *Weltwasserrat* eine globale Studie zu Wasser und Umwelt erarbeiten.



- Wasserknappheit

- Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO, Genf, 1997) hatte etwa ein *Viertel* der Menschheit keinen Zugang zu *sauberem Trinkwasser*;
- ein *Drittel* (2 Mrd. Menschen von 6) waren ohne geregelte *Abwasserentsorgung*.

Anfang 1997 herrschte in 20 Ländern akute Wasserknappheit. 1,1 Mrd. Menschen mussten mit weniger als dem von der WHO definierten *Existenzminimum von 20l* Wasser pro Tag und Kopf auskommen. (1997 in Deutschland 130l, in USA 900l !)

Bis 2020 wird in 35 Staaten akute Wasserknappheit herrschen.

Gründe:

veränderte Klimabedingungen,
Bevölkerungswachstum,
zunehmende Verstädterung sowie
Umweltschäden durch Bodenerosion und Versalzung.



Folgen:

1. KRANKHEITEN:

Ende der 90er Jahre stellt verseuchtes Wasser für die Übertragung von Cholera, Typhus, Gelbsucht und Parasiten in Regionen mit Wasserknappheit eine der Hauptursachen für Kindersterblichkeit dar. Nach Berechnungen der WHO waren ca.

- *80% aller Krankheiten* und
- *über ein Drittel aller Todesfälle*

in den Ländern der sog. Dritten Welt auf den *Konsum verschmutzten Wassers* zurückzuführen.

2. KONFLIKTE:

In *zahlreichen Regionen* der Welt führt Wasserknappheit zu politischen Konflikten: In der Westbank z.B., waren Mitte der 90er Jahre 51% der Palästinenser-Wohnungen ohne fließendes Wasser. In der Zukunft wird insbesondere in dieser Region und im südlichen Afrika *um das Wasser* gekämpft werden.