

2.7 Bedeutung von Stauseen für die Wasserversorgung und Stromerzeugung – Ein Überblick

FRANZ NESTMANN & CLEMENS STELZER

Importance of reservoirs for water supply and power generation – an overview: Reservoirs own a high level of multifunctionality. They have to account for water demand, energy production, flood protection, ecology and recreation. As multipurpose construction and drastic intervention into nature there are a lot of aspects to be accommodated with high sense of responsibility. To cover the continuous, anthropogenic water demand from uncontinuous, natural water supply and to reach and save the fundamental human right for access to clean water, artificial reservoirs for storage and transport of water are necessary especially because of increasing populations and expanding economies. Hydropower offers an important part in regenerative power generation in base load and especially in peak load in the electricity network. Other benefits are high degree of saturation, the highest efficiencies and high durability combined with low servicing.

Das Ziel menschlicher Interventionen in die Natur ist stets, die Grundlage zur Entwicklung der Menschheit fortwährend zu verbessern. Die Eingriffe, die zur Gewinnung, Speicherung, Verteilung von Wasser nötig sind, waren seit frühgeschichtlichen Zeiten – und sind auch heute – entscheidend für die Entwicklung der menschlichen Kultur. Um den anthropogenen Wasserbedarf hierfür aus dem unsteten, natürlichen Wasserdargebot zu decken und das grundsätzliche Menschenrecht auf Nutzung von sauberem Wasser zu erreichen oder zu sichern, sind künstliche Stauseen zur Speicherung und zum Transport von Wasser notwendig. Dies ist insbesondere unter dem Aspekt zu sehen, dass viele Menschen auch heute noch keinen oder keinen ausreichenden Zugang zu sauberem Wasser haben.

Eine weitere logische Konsequenz gesellschaftlicher Entwicklung gilt der Nutzung des Gewichtes des Wassers als Energiespeicher in seinem natürlichen, von der Sonnenenergie angetriebenen Kreislauf. Die begrenzte natürliche Ressource Wasser und ihr Energiepotenzial wurde so zur wirtschaftlichen Ware mit Einflüssen auf die gesamte Gesellschaft. Dieser Einfluss wird besonders durch die Nutzungsanforderungen eines Stausees deutlich. Hier müssen die Belange von Wasserversorgung, Energieerzeugung, Hochwasserschutz, Ökologie und Naherholung oft gemeinsam berücksichtigt werden. Das dabei mögliche Konfliktpotenzial hat die Bedeutung von Projekten für Großstaudämmen in letzter Zeit schwinden lassen. Laut der Internationalen Kommission für Großstaudämme (ICOLD 1998)



Abb. 2.7-1a: Stausee Sta. Maria (Schweiz) (VISCHER & SINNIGER 1998) (Mit freundlicher Genehmigung des Verlags).

Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3. Auflage (2011)
- Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

hat ein solches Bauwerk eine Höhe von 15 m oder mehr über dem Fundament, während ein einfacher Staudamm eine Höhe von 5–15 m bei einem Mindestspeichervolumen von 3 Mio. m³ aufweist. Nach dieser Definition gibt es weltweit über 45.000 Großstaudämme (WORLD COMMISSION ON DAMS 2000). Im diesen Artikel sollen die Bedeutung und der Nutzen von Stauseen für die Wasserversorgung und Stromerzeugung dargestellt werden. *Abb. 2.7-1* zeigt hierzu zwei Beispiele von Stauseen unterschiedlicher Epochen und Ausführung.

Geschichtlicher Überblick

Das Sesshaftwerden des Menschen vor etwa 8.000 Jahren und der daraus folgende erhöhte Bedarf an Trink- und Brauchwasser für die Landwirtschaft war die Initialzündung zum Bau von Stauseen zur Bewirtschaftung des unregelmäßigen Wasserangebotes. Der daraus entstehende Nutzen wird insbesondere in semi-ariden Gebieten oder in Gebieten mit ausgeprägten Regen- und Trockenzeiten deutlich, wo die Nutzung ohne Speicherung nicht möglich ist. Als einer der ältesten Stauseen gilt die 14 m hohe, ägyptische Talsperre Sadd el Kafara aus der Zeit 2550 v. Chr., deren Bauweise als Erdschüttdamm auch heute noch angewendet wird (GARBRECHT 1987). Der Zugang zu Süßwasser stellte seit jeher den limitierenden Faktor gesellschaftlicher

Entwicklung dar und beflügelte die Kulturen zu technischen Höchstleistungen. In die Zukunft blickend machen weiteres Bevölkerungswachstum und ungewisse Klimaentwicklung die Erschließung und Sicherung von weiteren Süßwasserreserven notwendig.

Das Energiepotenzial des Wassers wurde erst im Zuge weiterer technischer Entwicklung für Mühle, Säge und Schmiede genutzt. Die Übertragung der nutzbaren Kräfte entwickelte sich von direkter Übertragung zur Übertragung über Gestänge oder Seile. Mit der Epoche der Renaissance begann schließlich die wissenschaftliche Begründung technischer Verfahren und mit der Technologie der Elektrizität als Energieabnehmer eine völlig neue Entwicklungsgeschichte für die Nutzung der Wasserkraft (VISCHER & SINNIGER 1998). So war beispielsweise elektrischer Strom aus öffentlichen Kraftwerken ab August 1885 in Berlin erstmals verfügbar, nachdem Werner von Siemens rund um den Potsdamer Platz elektrische Beleuchtungen hatte installieren lassen. Neben den nichtregenerativen Antriebsaggregaten für Generatoren, wie beispielsweise Dampfmaschinen, spielte die Nutzung des Wasserrades und dessen Weiterentwicklung als Niederdruck- bis Hochdruckturbinen, weiterhin eine wichtige Rolle in der Energiegewinnung.

Der durch die zunehmende Technisierung der industrialisierten Länder Mitteleuropas entstehende



Abb. 2.7-1b: Bend-e-Fahri-man Stausee (Iran) (GARBRECHT 1987). (Mit freundlicher Genehmigung des Verlags).

Mehrbedarf an Energie wurde jedoch zunehmend durch nichtregenerative Energien gedeckt. *Abb. 2.7-2* verdeutlicht die Entwicklung der letzten 250 Jahre, schlägt aber auch die Brücke in die Zukunft. Das Wachstum der Weltbevölkerung, der Rückgang natürlicher Energie-Ressourcen wie Gas, Öl, Uran und auch Kohle, sowie die Umweltschäden durch die nicht erneuerbaren Energien machen die rasche Fortentwicklung aller verfügbaren regenerativen Energiequellen zu einer lebensnotwendigen Bedingung.

Aufgaben von Stauseen

Stauseen zeichnen sich durch einen hohen Grad an Multifunktionalität aus. Eine Hauptaufgabe ist die Speicherung von Wasser für die gesicherte Versorgung der Landwirtschaft und Industrie. Über 50% aller Stauseen dienen weltweit vornehmlich dieser Aufgabe. Rund 30–40% der weltweit bewässerten Flächen von 271 Mio. ha beziehen ihr Wasser aus Stauseen. Die gesamte Süßwasser-Entnahme pro Jahr wird heute auf 3.800 km³ geschätzt. Damit verdoppelte sich die Entnahme in den letzten 50 Jahren (WORLD COMMISSION ON DAMS 2000). Wachsende Bevölkerungen und expandierende Wirtschaften auf der einen Seite, sinkende Grundwasserspiegel und abnehmende Wasserqualitäten von Oberflächenwasser auf der anderen Seite zeigen die Wichtigkeit der Wasserspeicherung durch Stauseen auf. Wo das natürliche Wasserdargebot sinkt, ist eine Wasserbewirtschaftung unerlässlich.

Die Speicherwirkung von Stauseen ermöglicht auch ohne spezielle Steuerung des Durchflusses die Dämpfung einer ankommenden Hochwasserwelle und dient damit aktiv dem Hochwasserschutz. Der Speicherraum nimmt hohe Abflüsse auf und gibt sie zeitlich verzögert wieder ab. Dieses Verhalten, welches nur bei Hochwasserrückhaltebecken als geplante Hauptfunktionalität gilt, wird in *Abb. 2.7-3* aufgezeigt. Das Rückhaltevermögen eines Speichers verringert das Hochwasserrisiko der Unterlieger zusätzlich bei gesteuerter Bewirtschaftung des Stausees in Hochwassersituationen.

Je nach Wasserdargebot, Bodenrelief und anderen Randbedingungen ist die Stromerzeugung und Nutzung von Stauseen als regenerative Energiequelle von großer Bedeutung. Die Wasserkraft erzeugt insgesamt weltweit 17% des gesamten Stroms (siehe *Abb. 2.7-4*). Während in vielen Ländern dieser Erde hierfür noch große Potentiale zur Stromerzeugung mit Stauseen liegen, ist der Ausbaugrad in Deutschland annähernd erreicht. Nichtsdestotrotz muss die Politik über das Energiespeichergesetz Planungssicherheit auch für Kraftwerkserneuerungen der am besten entwickelten erneuerbaren Energie schaffen, da die Wasserkraft aufgrund von langjährigen Genehmigungsverfahren und Planungen eine investitionsintensive Stromerzeugungsart ist.

Der Vorteil der Wasserkraft gegenüber anderen regenerativen Energiequellen ergibt sich aufgrund weiterer bedeutender Ursachen. So ist die jährliche Ausnutzungsdauer bei Wasserkraft den geringsten

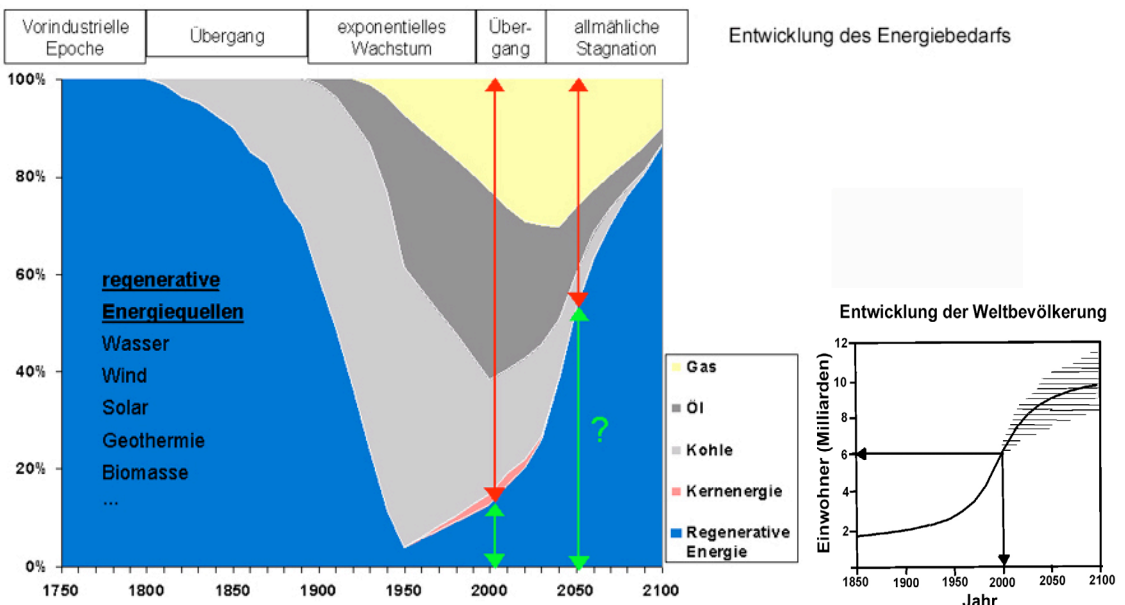


Abb. 2.7-2: Epochen der Energieerzeugungstechnologien. Quelle: ROHDE (1980) und WBGU (2003); überarbeitet: FN/IWK 2003.

Schwankungen aufgrund der relativ beständigen Verfügbarkeit des Wassers unterworfen. Hier hat beispielsweise die Windkraft wesentlich schlechtere Werte vorzuweisen. Es spielt auch die hohe Energiedichte von Wasser gegenüber Luft mit hinein, da dadurch der Flächenbedarf der Anlage im Verhältnis zur Energieerzeugung gering bleibt. Der Erntefaktor als Relation der Netto-Energieerzeugung zur investierten Energie bei Bau und Betrieb der Anlage ist vorteilhaft. Positiv ist außerdem die lange Lebensdauer bei relativ geringer

Wartung der Anlagen. Ferner erzielt Wasserkraft mit ca. 80% den höchsten Wirkungsgrad aller bekannten Energiequellen (Abb. 2.7-5). Bei all diesen Gesichtspunkten macht sich die lange Erfahrung mit einer ausgereiften Technologie positiv bemerkbar.

Die Wasserkraft aus Stauseen wird in der Energieerzeugung in vielfältiger Art und Weise eingesetzt. Zur Spitzenlastdeckung der Stromnetze sowie zur Sicherung der Netzstabilität sind kurzzeitig Kraftwerke in Betrieb oder außer Betrieb zu nehmen, um diese Bedarf-

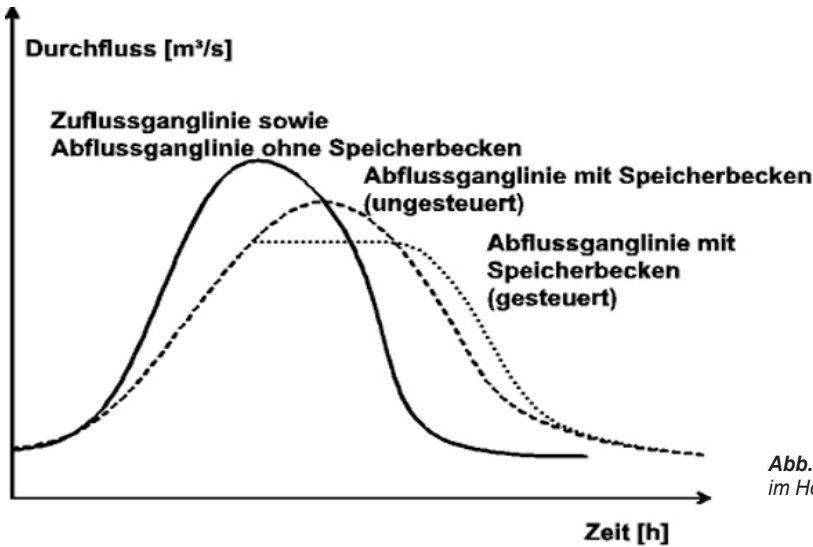


Abb. 2.7-3: Nutzung von Stauseen im Hochwasserschutz.

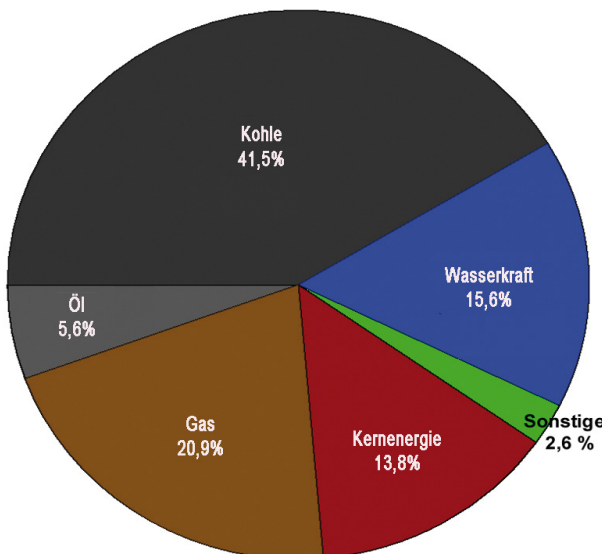


Abb. 2.7-4: Weltweite Stromerzeugung 2001. Quelle: EIA, 2004; überarbeitet: FN / IWK 2003.

schwankungen nachfahren zu können. Hier haben die Pumpspeicherkraftwerke eine besondere Bedeutung, da nur durch sie eine kurzfristige, in wenigen Sekunden mögliche, Betriebsaufnahme und damit verknüpfte Energieversorgung gewährleistet werden kann. Darüber hinaus haben Pumpspeicherwerke die Eigenschaft, die Speicherung großer, überschüssiger Energiemengen bei gebietsweisen Netzausfällen zu ermöglichen. So werden anzunehmende Netzschwankungen heutzutage durch das Zu- und Abschalten von Wasserkraftanlagen europaweit gedämpft. Aber auch im Grundlastbetrieb leisten die Stauseen einen wichtigen und zuverlässigen Beitrag zur Energieversorgung.

Schließlich versprechen Stauseeprojekte wesentliche Impulse für die Regionalentwicklung in infrastruktureller, wirtschaftlicher und auch sozialer Hinsicht. Es werden temporäre aber auch langfristige Arbeitsplätze direkt, sowie indirekt, geschaffen. Für Entwicklungsländer stellen Stauseen oftmals die Grundlage einer industriellen Entwicklung mit Exportkapazität dar.

Erstellung und Bewirtschaftung

Die Bewirtschaftung eines Stausees ist eine Verknüpfung zwischen natürlichen Gegebenheiten und anthropogenen Nutzungsanforderungen. Der Speicherraum wird in Speicherlamellen aufgeteilt (Abb. 2.7-6), die in ihrer Größe von diesen Randbedingungen abhängen. So wird der Stauraum über das mittlere Zuflussverhalten unter wirtschaftlichen Aspekten und die Hochwasserentlastung über das extreme Zuflussverhalten unter

Sicherheitsaspekten bemessen. Im Bezug auf die Ausgleichswirkung werden Tages-, Wochen-, Jahres-, und Überjahresspeicher unterschieden.

Für die Bemessung eines Stausees sind möglichst lange, ununterbrochene Beobachtungsreihen der Niederschläge, des Abflusses, des Rückhaltevermögens im Einzugsgebiet, der Verdunstung und Versickerung, der Oberflächen- und Bodenbeschaffenheit (wie etwa die Durchlässigkeit), des allgemeinen Klimas und anderer Faktoren zu erheben. Weiterhin sind die Folgen auf die Flora und Fauna, das Grundwasser, die Eisverhältnisse, die Schwebstoffe und das Geschiebe zu beachten. Ein wichtiger Parameter für Flora und Fauna ist die Aufenthaltszeit t_A des Wassers im Becken. Als Mehrzweckanlage und als einschneidender Eingriff in den natürlichen Lebensraum sind so etliche Gesichtspunkte in Einklang zu bringen.

Die Schlüsselposition eines Stausees besitzt das Sperrbauwerk. Für die Auswahl des Standortes ist eine geologisch und topographisch günstige Sperrstelle zu finden, die bezüglich der Talform, der Dichtigkeit und Tragfähigkeit die beste Ausgangssituation liefert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen entscheiden über die Art und Größe der Sperre.

Grundsätzlich werden Staumauern und Staudämme unterschieden. Staumauern bestehen aus Bruchstein, Beton oder Stahlbeton und werden zumeist auf Fels gegründet. Es gibt die Gewicht-, Bogen- und Pfeilerstaumauer. Staudämme stellen geringere Ansprüche an den Baugrund und sind gegen Setzungen und Erschütterungen weniger empfindlich. Allerdings erfordern sie

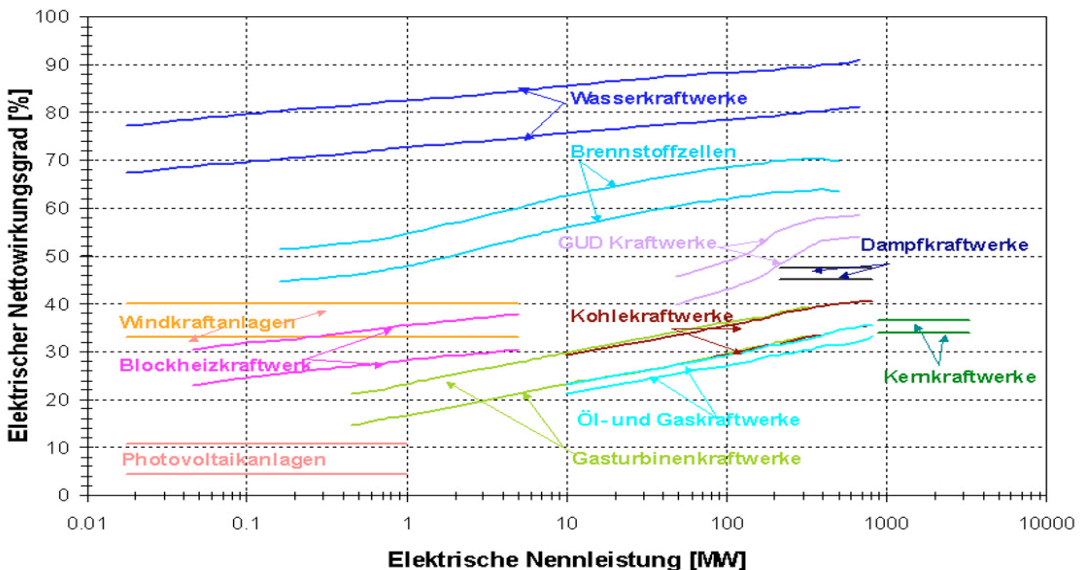


Abb. 2.7-5: Wirkungsgrad verschiedener Technologien.

stets größere Massen an Baumaterial. Sie werden meist aus dichtenden und schützenden Teilen zusammengesetzt und unterscheiden sich nach der Lage der Dichtung in einheitliche Dämme sowie Dämme mit Außen- oder Kerndichtung.

Im Bauwerk werden Betriebsanlagen wie Betriebsauslässe, Grundablässe und Hochwasserentlastungsanlagen integriert. *Abb. 2.7-6* zeigt den schematischen Querschnitt eines Stausees. Der Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage, welche auf den höchsten anzunehmenden Hochwasserabfluss erfolgt, muss zum Schutz der Anlage und der Unterlieger besondere Beachtung geschenkt werden.

Problematik Stausee

Die Errichtung und der Betrieb von Stauseen stellt einen individuell zu beurteilenden Eingriff in das Gewässerregime und eine grundlegende Veränderung des ökologischen Systems dar. Der dabei entstehenden Trennung von ökologischen Habitaten wird versucht, mit Maßnahmen wie Fischtreppen, Umgehungsgewässern, etc. entgegenzutreten. Wo dies nicht möglich, oder nicht ausreichend ist, werden einem ökologischen Nachteil – insbesondere in Deutschland der Schweiz – weitere ökologische Ausgleichsmaßnahmen gegenübergestellt. Andererseits kann der Bau eines Stausees durch die Schaffung neuer Feuchtgebiet-Habitats teilweise eine Verbesserung von Ökosystem-Werten nach sich ziehen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Einschwemmung von Geschiebe durch den Oberstrom (insbesondere von Schwebstoffen) in die Stauhaltungen. Durch die daraus entstehenden Verlandungen werden Speicherraum und schließlich die Lebenserwartung der Anlage gemindert. Kohäsive Bestandteile können sich hierbei verfestigen und eine Entsorgung erschweren. Diese Problematik muss bei jedem Projekt eingehend untersucht werden und ist Gegenstand intensiver Forschung an den jeweiligen technischen Instituten. Eine Lösung ist derzeit aber noch nicht in Sicht.

Schließlich muss den sozialen Aspekten wie der Umsiedlung von Menschen, ungerechte Nutzenverteilung und Grenzstreitigkeiten im Zuge einer Stauseeplanung Rechnung getragen werden, worauf häufig nicht im erforderlichen Maße Rücksicht genommen wird. Diese aufgezeigten Problemstellungen erzeugten trotz der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Vorteile oft ein negatives Bild von Stauseen in der Öffentlichkeit, was vor allem auf nicht ausgewogene Großprojekte zurückzuführen ist. Es ist jedoch eine Tatsache, dass Stauseen dem Menschen im Alltag nutzen und dass ohne Stauseen oft ausreichend Wasser nicht zur Verfügung gestellt werden könnte. Es ist aber zu befürchten, dass Ansätze wie die Einsparung von Energie und Wasser sowie die bessere Nutzung der jetzigen Kapazitäten die zukünftigen Problemstellungen in Bezug auf Wasserversorgung und Stromerzeugung nicht lösen werden.

Zusammenfassung und Perspektiven

Das natürliche, dem Menschen zugängliche Wasser-

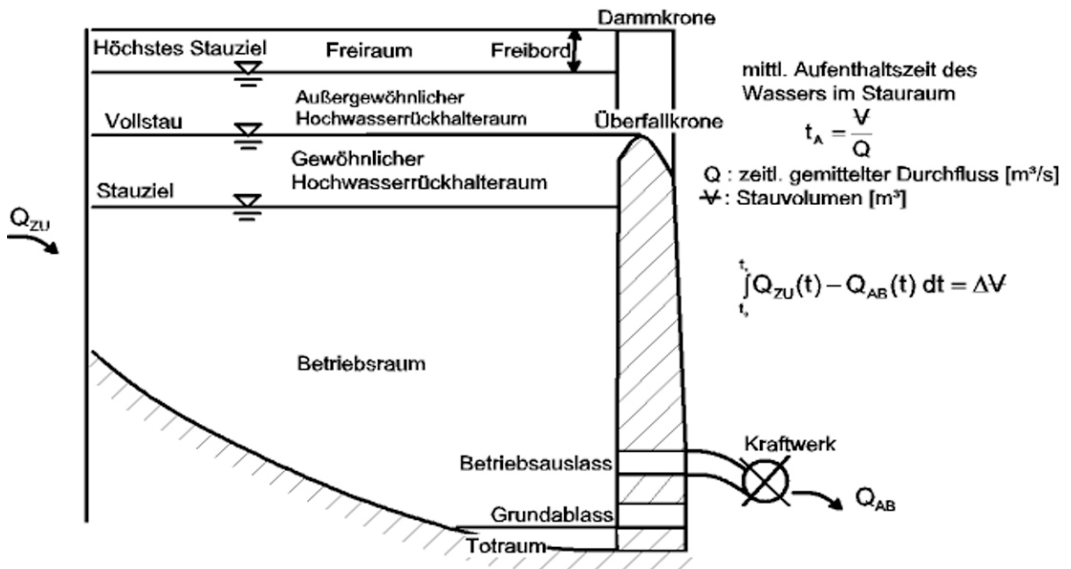


Abb. 2.7-6: Schematische Darstellung eines Stausees.

dargebot deckt sich nicht mit dem anthropogenen Wasserbedarf. Um den Zugang zu sauberem Wasser zu erreichen oder zu sichern sind oft künstliche Stauseen erforderlich. Die Bereitstellung von Wasser stellte seit jeher den limitierenden Faktor gesellschaftlicher Entwicklung dar, denn die Gründung von Städten sowie die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion ist ohne die Bewirtschaftung des Wassers unmöglich. In die Zukunft blickend machen weiteres Bevölkerungswachstum und ungewisse Klimaentwicklung weitere Anstrengungen zur Erschließung und Sicherung von Süßwasser notwendig.

Wasserkraft kann und muss als regenerative Energiequelle für die Zukunft eine wesentliche Rolle in der Lösung globaler Probleme spielen. Die allgemeinen Vorzüge regenerativer Energie, wie die Einsparung von Kohlendioxid und anderer Schadstoffemissionen, werden in der Wasserkraft durch hohe Wirkungsgrade, lange Lebensdauer, und gutem Erntefaktor noch ausgedehnt. Anforderungen aus Ökologie und Ökonomie können Stauseen bei passenden Standorten erfüllen.

Speziell die Pumpspeicherkraftwerke mit ihren Ober- und Unterbecken nehmen eine Sonderstellung für die Energieversorgung im Bereich der täglichen Spitzenlast ein. Flexibel und schnell kann in Niedriglastzeiten Energie im Oberbecken gespeichert werden. Zu Spitzenlastzeiten wird diese Energie ebenso schnell wieder ins Netz eingespeist.

Angesichts wachsender Bevölkerungen und expandierender Wirtschaften, sowie wirtschaftlichen Bedarfs der Schwellenländer, werden Stauseen auch in Zukunft helfen Probleme zu lösen. Für die Industrienationen ist hierbei insbesondere die Problematik fossiler Brennstoffe zu lösen sowie das Kiotoprotokoll und eventuelle Nachfolgeprotokolle einzuhalten.

Die Speicherwirkung von Stauseen dient aktiv dem Hochwasserschutz. Der Speicherraum nimmt hohe Abflüsse auf und gibt sie zeitlich verzögert wieder ab. Diese Funktionalität ist oftmals ein hochwillkommenes Nebenprodukt der eigentlichen und geplanten Funktionalität.

Die Errichtung und der Betrieb von Stauseen stellt einen individuell zu beurteilenden Eingriff in das Gewässerregime und eine Veränderung des ökologischen

Systems dar. Als Mehrzweckanlage sind etliche ökologische und ökonomische Gesichtspunkte in Einklang zu bringen. Insbesondere in Deutschland werden Umweltauflagen hierbei über ökologische Ausgleichsmaßnahmen erfüllt. Zudem kann das Anlegen eines Stausees durch zusätzliche, schützenswerte Feuchthabitate eine Verbesserung der Ökologie herbeiführen. Abschließend ein Zitat von Nelson Mandela: »Das Problem sind nicht die Dämme; es ist der Hunger, der Durst und die Dunkelheit in den Wohngebieten«

Literatur

- ROHDE F. G. (1980): Utilization of non-conventional renewable energy resources – Masterplans for electric power supply, objectives and methods, GTZ – Eschborn, 183.
- WORLD COMMISSION ON DAMS (2000): Staudämme und Entwicklung: ein neuer Rahmen zur Entscheidungsfindung - ein Überblick – WCD report 2000, 3.
- GARBRECHT G. (1987): Historische Talsperren – DVWK - Wittwer, Stuttgart, 23.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2003): Energiewende zur Nachhaltigkeit, Springer, Berlin, 260 pp.
- VISCHER D. & R. SINNIGER (1998): Wasserkraft in der Schweiz - Gesellschaft für Ingenieurbaukunst – Stäubli, Zürich, 6.
- EIA (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION) (2004): International energy outlook 2003 – eia.doe.gov – U. S. Department of Energy, Washington, 135 pp.
- ICOLD (1998): World register of dams. 1998.

*Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann
Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12 - 76128 Karlsruhe
nestmann@iwk.uka.de*

*Dipl.-Ing. Clemens Stelzer
Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12 - 76128 Karlsruhe
stelzer@iwk.uka.de*