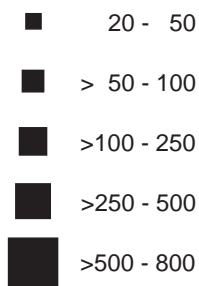


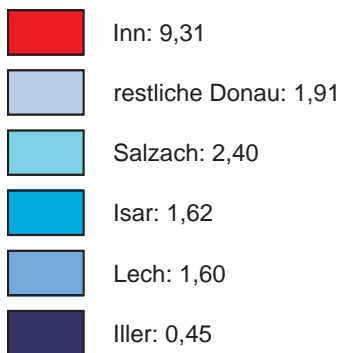
Laufwasserkraftwerke nach
Regelarbeitsvermögen [GWh]



Speicherkraftwerke nach
Regelarbeitsvermögen [GWh]



Mittlere simulierte Jahresarbeit
aller Wasserkraftwerke nach
Teileinzugsgebieten [Mio. MWh]



GLOBAL CHANGE ATLAS EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

2.7.1 Simulation der Jahresarbeit von Wasserkraftwerken und Talsperren- bewirtschaftung

Rastergröße: 1 x 1 km²

Maßstab: 1: 1.700.000



Datengrundlage:
DANUBIA-Digitales Geländemodell und daraus abgeleitetes
Gewässernetz
BMLFU-Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2005):
Hydrologischer Atlas Österreichs. Wien
Eigene Recherchen und Befragungen

Autoren:
F. Koch, A. Reiter
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München
H. Bach
Vista Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, Weßling

Grafik:
Abt. Kartographie
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

2.7.1 Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung - Simulation der Jahresarbeit von Wasserkraftwerken und Talsperrenbewirtschaftung

1. Einleitung

Im Einzugsgebiet der Oberen Donau spielt die Wasserkraft eine große Rolle. Wie bereits in Kapitel 1.19 erläutert, sind nahezu alle großen Laufwasser- und Speicherkraftwerke in DANUBIA zur Modellierung implementiert. In diesem Kapitel wird ihre Funktionsweise in DANUBIA aufgezeigt. Zusätzlich wird auf die Talsperrenbewirtschaftung eingegangen. Die größten Talsperren mit der Hauptaufgabe der Energieerzeugung liegen im hochalpinen Bereich. Ihre Speicherbewirtschaftung ist anhand der Betriebspläne auf die Wasserkraft ausgerichtet (siehe Kapitel 1.19). Durch die Speicherhaltung verschiebt sich die Abflussabgabe des natürlichen Zuflusses im Jahresverlauf mitunter deutlich, so dass bei der Modellierung von Talsperren die korrekte Abfluss- und Leistungsmodellierung einen nicht zu vernachlässigenden Stellenwert einnimmt.

2. Datenaufbereitung

Siehe Kapitel 1.19 Wasserkraftwerke

3. Modellbeschreibung

3.1 Simulierte Jahresarbeit

Zur Errechnung der Leistung P bzw. der simulierten Jahresarbeit W_j in DANUBIA und zur Validierung der implementierten Wasserkraftwerke werden insgesamt folgende Parameter benötigt:

- Abfluss Q [m³/s]
- Gesamtwirkungsgrad η
- Fallhöhe H [m]
- Ausbau- bzw. Engpassleistung P_{max} [MW]
- Ausbaudurchfluss Q_{opt} [m³/s]
- minimaler Abfluss Q_{min} [m³/s]
- maximaler Abfluss Q_{max} [m³/s]
- Regelarbeitsvermögen W_R [MWh]
- Jahr der Inbetriebnahme [a]

Bei der Energieerzeugung aus Wasserkraft werden potentielle und kinetische Energie genutzt, da die Leistung P v.a. von den beiden Größen Abfluss Q und Fallhöhe H abhängig ist. Die Fallhöhe H bezieht sich auf die Höhendifferenz zwischen dem Oberwasser im Stau- bzw. Speicherbecken und dem Wasserspiegel an der Turbinenachse im Kraftwerkshaus. Bei modernen Wasserkraftanlagen liegt der Gesamtwirkungsgrad η der Anlage meist zwischen 0,8 und 0,9. Dabei werden auch Verluste bei der Energieumwandlung in der gesamten Anlage wie z.B. beim Ein- und Auslauf der Turbinen berücksichtigt. Um die Leistung von Wasserkraftanlagen zu berechnen, wird folgende Formel verwendet (Strobl & Zunic, 2006):

$$P = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \text{ [W]}$$

- η Gesamtwirkungsgrad
- ρ Dichte des Wassers [kg/m³]
- Q Abfluss [m³/s]
- g Erdbeschleunigung [m/s²]
- H Fallhöhe [m]

In DANUBIA wird für die implementierten Kraftwerke der Abfluss Q und daraus die elektrische Leistung P für jeden Zeitschritt berechnet. Integriert man die erbrachte Leistung über ein Jahr, erhält man die simulierte Jahresarbeit W_j einer Anlage, die die Energieproduktion für das betrachtete Jahr darstellt.

Die Abbildungen 2.7.1.1 und 2.7.1.2 zeigen schematisch die Modellabbildung der Energieproduktion in Abhängigkeit des Abflusses für Laufwasser- und Speicherkraftwerke in DANUBIA. Ab einem festgelegten minimalen Abfluss Q_{min} , der auch gesetzlich geregelte Restwasserabgaben beinhaltet, beginnen die Turbinen und somit auch die im Modell implementierten Laufwasserkraftwerke mit der Energieerzeugung. Die Leistung nimmt mit zunehmendem Abfluss bis zum Ausbaudurchfluss Q_{opt} zu, bei dem schließlich die maximale Leistung P_{max} und der maximale Turbinendurchfluss erreicht werden (siehe Abbildung 2.7.1.1). Die Laufwasserkraftwerke produzieren weiterhin bis zu einem festgelegten maximalen Abfluss Q_{max} im Gewässer Energie, allerdings vermindert sie sich, da im Unterwasser der Wasserspiegel ansteigt und somit die Fallhöhe reduziert wird. Bei extremen Hochwasserereignissen wird ab Q_{max} die Energieerzeugung eingestellt, um den Schutzmechanismus der Anlagen vor Hochwasserschäden zu simulieren.

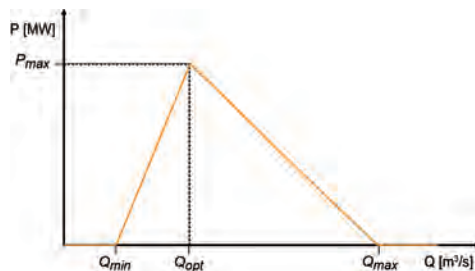


Abbildung 2.7.1.1: Schematische Darstellung des modellierten Zusammenhangs zwischen Durchfluss und elektrischer Leistung eines Laufwasserkraftwerks.

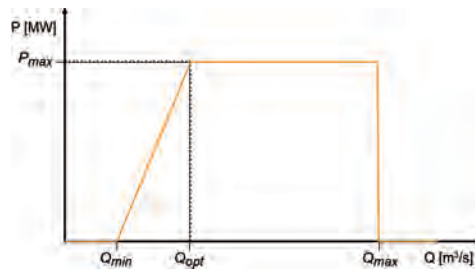


Abbildung 2.7.1.2: Schematische Darstellung des modellierten Zusammenhangs zwischen Durchfluss und elektrischer Leistung eines Speicherkraftwerks.

Bei Speicherkraftwerken ist die Funktionsweise mit einer Leistungssteigerung bis zum Ausbaudurchfluss identisch (siehe Abbildung 2.7.1.2). Die maximale Leistung wird allerdings bei ansteigendem Abfluss, der über dem Ausbaudurchfluss liegt, auf einem konstanten Niveau gehalten, da die Höhendifferenz meist so groß ist, dass der Anstieg im Unterwasser keine Rolle spielt. Ab einem festgelegten Abfluss wird die Energieerzeugung v.a. wegen des Hochwasserschutzes eingestellt. Die Validierung wurde für alle Kraftwerke mit einer Inbetriebnahme vor dem Jahr 2000 für den Zeitraum 2000 bis 2006 durchgeführt. Somit konnten bis auf vier Ausnahmen alle Kraftwerke bei der Validierung berücksichtigt werden. Die von den Kraftwerksbetreibern angegebene Regelarbeit wurde mit der mittleren simulierten Jahresarbeit verglichen (siehe Abbildung 2.7.1.3). Insgesamt sind die Wasserkraftwerke in DANUBIA mit einem Bestimmtheitsmaß von mehr als 0,9 sehr gut abgebildet und können somit ohne weiteres auch für Zukunftssimulationen eingesetzt werden.

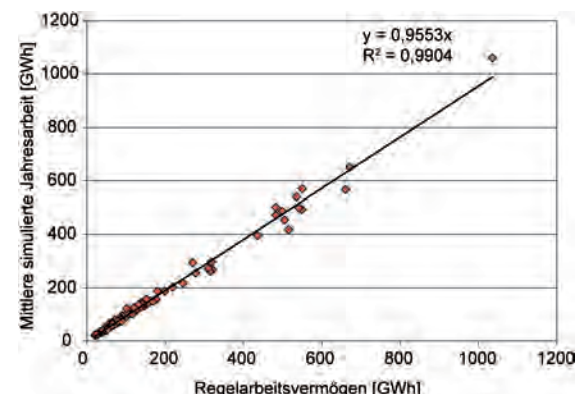


Abbildung 2.7.1.3: Validierung der simulierten Jahresarbeit der Wasserkraftwerke für den Zeitraum 2000 bis 2006.

3.2 Talsperrenbewirtschaftung

Laufwasserkraftwerke arbeiten den anfallenden Abfluss in der Regel unmittelbar ab. Bei Speicherkraftwerken an Talsperren wird hingegen der Zufluss über einen längeren Zeitraum gespeichert und verzögert abgegeben. Für jedes Speicherkraftwerk mit einer langfristigen Jarespeicherung ist deshalb in DANUBIA ein monatsbasierter Betriebsplan zur Steuerung der Abflussabgabe und des Speichervolumens implementiert. Dabei können folgende grundlegende Talsperrenbetriebsregeln definiert werden (Ostrowski & Lohr, 2002; Willems, 2007):

- Berücksichtigung maximaler und minimaler Abgabekapazitäten,
- Berücksichtigung maximaler und minimaler Stauvorgaben,
- Abflussabgabe im Normalfall,
- Hochwasserentlastung,
- automatische Abgabeerhöhung bzw. Abgabereduktion sowie
- maximale Abflussänderung pro Zeitschritt.

In Abbildung 2.7.1.4 ist als Beispiel der Betriebsplan des Gepatschspeichers in Form einer Look up-Tabelle dargestellt. Der Stauraum einer Talsperre kann allgemein anhand von im Betriebsplan definierten Lamellen, die ein bestimmtes Füllvolumen festlegen, eingeteilt werden (siehe

Kapitel 1.19). Monatsweise wird hinsichtlich des Füllvolumens die jeweilige Abflussabgabe definiert und zwischen den Lamellen interpoliert (Willems, 2007). Im Falle des Gepatschspeichers ist die Abflussabgabe in den Wintermonaten von November bis März bei gleichem Füllvolumen höher als in den Sommermonaten von April bis Oktober. Dies liegt daran, dass im Sommer anfallende Schnee- und Eisschmelzzuflüsse verstärkt für den Winter zur Energieerzeugung gespeichert werden.

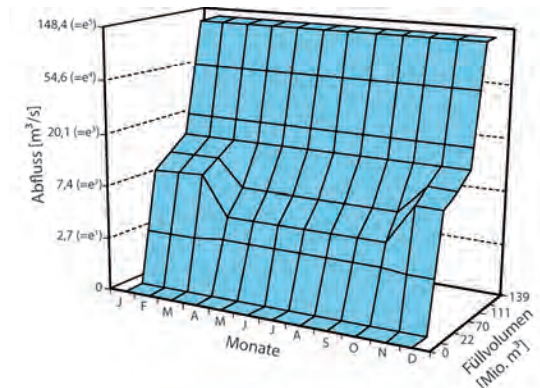


Abbildung 2.7.1.4: Look up-Tabelle zum Betriebsplan der Normalabgabe des Gepatschspeichers.

4. Darstellung der Ergebnisse

Als relatives Maß der Wasserkraftproduktion dient die Hydraulizität, die das Verhältnis der aktuellen Leistung zu deren langjährigem Mittel für jedes Jahr darstellt. Abbildung 2.7.1.5 zeigt sowohl die simulierte Hydraulizität als auch die simulierte Jahresarbeit für die Zeitspanne 1960 bis 2006. Da im Laufe der Zeit immer mehr Wasserkraftwerke gebaut und an das Stromnetz angeschlossen wurden, stieg auch die simulierte Jahresarbeit an. Liegt die Hydraulizität über 100%, wird ein Überschuss produziert, liegt sie darunter, wird weniger als im Mittel erzeugt. In Jahren geringerer Hydraulizität kommt es also, wie z.B. im extrem trockenen und heißen Jahr 2003, zu deutlichen Leistungseinbußen.

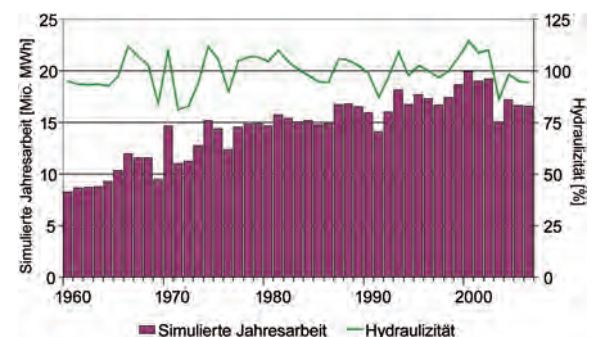


Abbildung 2.7.1.5: Hydraulizität und simulierte Jahresarbeit der Energieproduktion aus Wasserkraft an der Oberen Donau für die Zeitspanne 1960-2006.

In der Karte 2.7.1 ist jeweils für alle betrachteten Speicher- und Laufwasserkraftwerke der Teileinzugsgebiete Iller, Lech, Isar, Inn, Salzach und dem restlichen Donaueinzugsgebiet die mittlere simulierte Jahresarbeit im Zeitraum von 1971 bis 2000 dargestellt. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass im Inneinzugsgebiet mit ca. 9,3 Mio. MWh über die Hälfte der mittleren simulierten Jahresarbeit erzeugt wird. Die Teileinzugsgebiete Lech, Isar, Salzach und restliche Donau produzieren mit jeweils ca. 1,6 bis 2,4 Mio. MWh deutlich weniger. Im relativ kleinen Illereinzugsgebiet werden ca. 0,45 Mio. MWh erzeugt. In den hochalpinen Einzugsgebieten Inn und Salzach nimmt die mittlere simulierte Jahresarbeit der Speicherkraftwerke eine große Rolle ein. In den Einzugsgebieten Isar und Lech dagegen wird nur ein kleiner Anteil der gesamten mittleren simulierten Jahresarbeit von Speicherkraftwerken erzeugt (siehe Kreisdiagramm in Karte 2.7.1). An der Iller und der restlichen Donau befinden sich lediglich Laufwasserkraftwerke.

Literatur

- Ostrowski, M. & Lohr, H. (2002): *Modellgestützte Bewirtschaftung von Talsperrensystemen*. In: Wasser und Abfall, Jg. 2002, Band 4, Heft 1-3, S. 40-45.
- Strobl, T. & Zunic, F. (2006): *Wasserbau. Aktuelle Grundlagen – Neue Entwicklungen*. Berlin.
- Willems, W. (2007): *Teilprojekt Oberflächengewässer. Integration wassermengen- und wasserqualitätsrelevanter technischer Strukturen und Detektion von Überlastungen in oberirdischen Gewässern*. In: Mauser, W. & Strasser, U. (Hrsg.) (2007): GLOWA-Danube. Abschlussbericht Phase 2. Department für Geographie und geographische Fernerkundung. Ludwig-Maximilians Universität München. S.161-204.