

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 79 (1987)
Heft: 9

Artikel: Der mögliche Beitrag der Wasserkraft an die Elektrizitätsversorgung der Schweiz : Studie erarbeitet vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband = Contribution possible de l'énergie hydraulique à l'approvisionnement en électricité de la Suisse : étude é...
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940658>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Der mögliche Beitrag der Wasserkraft an die Elektrizitätsversorgung der Schweiz

Studie erarbeitet vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband

1. Aufgabenstellung und zum Vorgehen

1.1 Aufgabenstellung

Das Bundesamt für Energiewirtschaft hat den Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband beauftragt, diese Studie über die noch realisierbaren Ausbaumöglichkeiten der Schweizer Wasserkraft auszuwerten. Dabei interessieren in erster Linie die Vorhersagen über zusätzlich verfügbare hydraulische Energie (mittlere Jahreserwartung sowie Aufteilung auf Winter- und Sommerhalbjahr). Untersucht werden sollen die Entwicklung der verfügbaren Leistung sowie die zusätzlichen Umlagerungsmöglichkeiten Sommer–Winter.

Die Verminderung an Produktionsmöglichkeiten durch zusätzliche Restwasserauflagen gehört ebenfalls zur Studie. Diese kann aber nur generell ausgewiesen werden, da erst Entwürfe zu einer neuen Restwasserregelung zur Verfügung stehen.

Als Zielhorizonte wurden die Jahre 1990, 2010 und 2025 genannt.

Es wurde vereinbart, die Studie gleichzeitig für die Erarbeitung des siebten Zehnwerkeberichts zur Verfügung zu halten (Prognosezeitraum bis 2005).

1.2 Zum Vorgehen

Als Ergänzung zur Abschätzung des zukünftigen Beitrages der Wasserkraft an die Energie- bzw. Elektrizitätsversorgung der Schweiz werden die politischen, wirtschaftlichen, rechtlichen und umweltbezogenen Randbedingungen beleuchtet, die einen solchen Ausbau ermöglichen oder aber verhindern.

Aufgrund aller erreichbaren Projekte und Vorprojekte für neue Wasserkraftwerke wie auch für Umbauten, Erneuerungen oder Erweiterungen bestehender Anlagen wurde versucht, die Prognose zu erarbeiten. Dazu mussten für jede Anlage die Produktionserwartungen ermittelt und die Realisierungschancen sowie allenfalls der Realisierungszeitraum abgeschätzt werden.

Für die Beurteilung des Beitrages, den die Kleinwasserkraftwerke an die Energieversorgung leisten könnten, wurde auf Vorarbeiten des Bundesamtes für Wasserwirtschaft sowie auf die Berichte *Desserich & Funk* sowie *Bourquin* zurückgegriffen.

Da für die meisten Anlagen erst Vorprojekte höchstens mit groben Kostenschätzungen vorliegen, ist eine Vorhersage des Investitionsbedarfs kaum möglich. Zudem wäre die Zuordnung der Kosten zum Gewinn an Energie, an Winterenergie, an Umlagerung Sommer/Winter, an Reservehaltung und an Leistungssteigerung oder Netzregulierung in den wenigsten Fällen möglich. Es ist anzunehmen, dass die neuen, aber auch die neugebauten oder erweiterten Anlagen Strom zu beträchtlich höheren Kosten produzieren werden als die bestehenden Wasserkraftwerke. Die wirtschaftlich günstigsten Standorte sind bereits weitgehend genutzt.

Es ist nicht mit grossen technologischen Umwälzungen bei der Nutzbarmachung der Wasserkraft zu rechnen.

2. Einleitung

Zum ersten sollen die Erzeugungsmöglichkeiten unserer Wasserkraftwerke längerfristig erhalten bleiben. Es ist unsere Aufgabe, dafür zu sorgen, dass die Anlagen technisch immer in bestem Zustand sind. Es sind aber auch die Voraussetzungen sicherzustellen, dass der integrale Betrieb möglich bleibt.

Das Interesse an einer ungeschmälernten, kontinuierlichen Nutzung der Wasserkraft wird sowohl von der Bevölkerung als auch von den Politikern anerkannt, so dass wir auch in Zukunft mit der Energieproduktion unserer Wasserkraftwerke rechnen dürfen.

Die Erkenntnis, dass es mit dem weiteren Ausbau der Wasserkraft nicht möglich ist, den steigenden Elektrizitätsbedarf ganz zu decken, ist nicht neu. Diese Beurteilung der Lage und der Entscheidung, wegen der grossen Umweltbelastung der fossil-thermischen Kraftwerke auf diese zu verzichten, führte in den 60er Jahren zur Erstellung der ersten Kernkraftwerke.

Einige Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft bestehen aber immer noch. Diese gilt es im Rahmen der politischen, umweltrelevanten und wirtschaftlichen Gegebenheiten zu realisieren.

Der Ausbau soll dazu dienen, den heutigen Kraftwerkpark im nationalen bzw. im internationalen Rahmen des Elektrizitätsverbundes zu optimieren. Dies bedeutet, dass die zusätzlichen Anlagen nicht nur der Mehrproduktion von Strom dienen sollen, sondern auch auf eine *qualitative Verbesserung* unserer gesamten Elektrizitätsproduktion ausgerichtet werden müssen.

a) Die Beurteilung, dass die Versorgung im Winter kritischer ist als im Sommer, das heisst, dass ein Engpass zuerst in der kalten Jahreszeit zu erwarten ist, ist unbestritten. Dies bedeutet, dass von neuen Wasserkraftanlagen vor allem Winterstrom erwartet wird. Es müssen zusätzliche Speicher realisiert werden, die Sommerwasser für die Winterproduktion zurückhalten.

b) Mit steigender Nachfrage nach elektrischer Energie steigt auch die Nachfrage nach mehr Leistung zur Deckung der Bedarfsspitzen. Diese zusätzliche Leistung kann am günstigsten in Wasserkraftwerken installiert werden.

c) Für die Netzregulierung, die Reservehaltung und die Versorgungssicherheit bleibt die Wasserkraft wichtig. Auch daran sollen neu zu erstellende Anlagen ihren Beitrag liefern.

d) Es kann auch sinnvoll sein, Wasserkraft dort zu nutzen, wo Energie entsprechend der Wasserführung der Flüsse und Bäche anfällt. Denn jede Kilowattstunde an hydraulischer Energie, die im Netz verbraucht wird, muss nicht auf thermischem Weg bereitgestellt werden. Dies bedeutet Einsparung an Uran, Kohle, Gas oder Erdöl – alles Ressourcen, zu denen wir Sorge zu tragen haben. Zusätzlich kann durch die Einsparung von fossilen Brennstoffen die Umweltbelastung vermindert werden. Dank dem internationalen Strom-austausch im Verbundnetz kann der Teil der hydraulischen Energie, der nicht in der Schweiz Absatz findet, genutzt werden, um durch Stromexport oder geringeren Stromimport umweltbelastende Brennstoffe zur fossil-thermischen Stromerzeugung in den Nachbarländern zu sparen und damit auch zu einer Verbesserung der Luftqualität beizutragen.

3. Bisherige Prognosen

Ein erster Versuch aus dem Jahr 1890, die verfügbaren Wasserkraften unseres Landes zu berechnen, stammt von

Ingenieur H. Lauterburg, einem früheren Leiter des Eidgenössischen hydrometrischen Zenträlbüros.

Eine Statistik über die verfügbaren Wasserkraften der Schweiz wurde im Jahre 1914 von der Abteilung für Wasserwirtschaft des Schweizerischen Departementes des Innern erarbeitet. Diese Studie von Ingenieur C. Ghezzi beruhte weitgehend auf Kartenstudien. Die gesamte verfügbare Leistung aus allen schweizerischen Wasserkraften, einschliesslich der bereits genutzten, wurde auf 1,75 Mio 24stündige kW geschätzt, entsprechend einer mittleren jährlichen Produktionserwartung von rund 15000 GWh. Ingenieur F. Kuntschen, Direktor des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, veranschlagte im Jahr 1949 das Produktionspotential beim Ausbau aller bauwürdigen Wasserkraften auf 27000 bis 28000 GWh pro Jahr¹.

Obwohl in dieser Berechnung einige Anlagen mitberücksichtigt sind, die heute nicht mehr zur Diskussion stehen, und obwohl die von Kuntschen genannten Werke nicht alle realisiert wurden, sind diese Produktionszahlen schon im Jahre 1966 erreicht worden.

Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband nahm verschiedentlich Stellung zum weiteren Ausbau der Wasserkraften. In der «Wasser- und Energiewirtschaft» 59 (1967) Heft 4 legte er seine Thesen dazu vor. In der Studie Nr. 13 der Schriftenreihe der Eidgenössischen Kommission für die Gesamtenergiekonzeption wurde im Jahr 1977 eine Prognose gewagt: Ausmass und Bedeutung der noch ungenutzten Schweizer Wasserkraften («wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 69 (1977) Heft 6/7, Seite 127–144).

Eine Überprüfung des Berichts fünf Jahre später wurde in «wasser, energie luft – eau, énergie, air» 74 (1982) Heft 7/8 Seite 157–164 veröffentlicht.

Einige Überlegungen zu den Stromgestehungskosten von neuen Wasserkraftwerken wurden vom Verband in «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 75 (1983) Heft 11/12, Seite 265–267 festgehalten.

Im vorliegenden Bericht werden diese bisherigen Studien überprüft und aktualisiert. Insbesondere wird erneut der Frage nachgegangen, wieviel vom noch nicht genutzten Wasserkraftpotential bis im Jahr 2025 realisiert werden kann.

4. Die Nutzung der Wasserkraften

4.1 Die hydraulische Produktion seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts

Der bedeutende Anteil, den die Wasserkraft an die Energieversorgung der Schweiz geliefert hat, kann durch die Strommenge, die seit Beginn der hydraulischen Energienutzung abgegeben wurde, charakterisiert werden: Seit den 90er Jahren wurden rund 1×10^{12} kW (1000 Milliarden oder 1 Billion Kilowattstunden) hydraulisch erzeugt vom Konsumenten verbraucht.

Dank diesem Strom war es der Schweiz möglich, den Verbrauch anderer Energieträger kleiner zu halten; für die Bereitstellung dieser Elektrizitätsmenge wären (bei einem angenommenen Wirkungsgrad vom 40%) beispielsweise 215000000t Erdöl oder 307000000t Steinkohle

nötig gewesen. Durch den schrittweisen Ausbau der Schweizer Wasserkraften konnte die Schweiz lange Zeit ihren ganzen Elektrizitätsbedarf mit sauberer hydraulischer Energie decken. Es mussten dafür keine Ressourcen (Öl, Kohle) verzehrt werden, und Schadstoffemissionen konnten vermieden werden.

¹ F. Kuntschen: Die Ausbaumöglichkeiten der Schweizerischen Wasserkraft. Sonderdruck aus «Schweizerische Bauzeitung» 1950, Nr. 40, 41 und 42.

4.2 Die heute verfügbare hydraulische Energie

Für Anfang 1987 nennt die Zusammenstellung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 448 Zentralen mit einer maximal möglichen Leistung von mindestens 300kW. Dazu kommen noch etwa 700 kleinere stromproduzierende Wasserkraftwerke. Die maximal mögliche Leistung all dieser Werke beträgt knapp 11500MW. Sie können im Mittel jährlich rund 32500 GWh produzieren.

Der hydraulische Kraftwerkpark der Schweiz besteht somit aus einer grossen Anzahl dezentral über das Land verteilter Anlagen. Die einzelne Anlage trägt nur einen Bruchteil an die Elektrizitätsversorgung bei; es ist erst die Summe aller Anlagen, die als wichtiger Bestandteil der Energieversorgung etwa 60% der Stromproduktion der Schweiz ausmacht. Für die Stromversorgung kritische Winterhalbjahre trägt die Wasserkraft einen Anteil von rund 50% (bei Winter 1985/86 waren es 48,9%).

Die *Laufkraftwerke* – meist Niederdruckanlagen – nutzen das Wasser zum Zeitpunkt, zu dem es anfällt. Ihre Erzeugung hängt deshalb von der jeweiligen Abflussmenge der sie speisenden Flussläufe ab. Die Abflussmenge verändert sich in der Regel nur langsam innerhalb eines Tages; sie schwankt über die Jahreszeiten entsprechend den meteorologischen und hydrologischen Verhältnissen. Die Laufkraftwerke werden zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Bei den *Speicherkraftwerken* – meist Hochdruckanlagen – unterscheiden wir zwischen reinen Speicherkraftwerken und Speicherkraftwerken mit Pumpspeicherung. Sie nutzen den durch Talsperren geschaffenen Speicherraum, indem sie Wasser – vor allem während der Jahreszeit mit starker Wasserführung – aus Schnee- und Gletscherschmelze (Sommer) zurückhalten, um es in Zeiten starken Bedarfs (Winter) über ein in der Regel grosses Gefälle mittels Druckleitungen und Druckschächten den Turbinen zuzuführen.

Speicherkraftwerke mit Pumpspeicherung, sogenannte kombinierte Speicherkraftwerke verwenden (neben der Verarbeitung des natürlichen Zuflusses) in Zeiten schwacher Energienachfrage Grundlastenergie aus anderen Kraftwerken dazu, Wasser als Reserve für Zeiten hohen Strombedarfs in das höher liegende Speicherbecken zu pumpen. Mit Pumanlagen wird oft auch das Einzugsgebiet eines Stausees durch Pumpen und Überleiten von Wasser aus Nachbartälern vergrössert.

Bei *Pumpspeicherkraftwerken* wird Energie aus anderen Kraftwerken dazu verwendet, Wasser von einem Fluss, See oder Staubecken in ein höher gelegenes Speicherbecken hochzupumpen, um es in Zeiten mit grösserem Energiebedarf den Turbinen zuzuführen (*Veredelung* der Energie). Pumpspeicherkraftwerke verbrauchen mehr Energie, als sie produzieren. Die verfügbare Energieproduktion wird also vermindert. In Zukunft ist mit einem vermehrten Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken zu rechnen.

Oft wurden und werden Kombinationen der genannten Kraftwerktypen gebaut.

Die verfügbare Winterenergiemenge hängt wesentlich vom *Füllungsgrad der Speicherseen* zu Beginn des Winterhalbjahres und den Zuflüssen während des Winters ab. Eine 100%ige Füllung aller Seen und ihre vollständige Nutzung während des Winters können aus verschiedenen Gründen nicht verwirklicht werden:

- Sicherheitsvorschriften begrenzen die maximale Füllung eines Stausees (Hochwasserschutzvolumen, Lawinenschutzvolumen, Freibord).
- Die Speicher werden aufgrund der Versorgungslage und der meteorologisch-hydrologischen Verhältnisse mög-

lichst optimal bewirtschaftet. Die Prognose der Zuflüsse ist aber mit grossen Unsicherheiten behaftet. Je nach Wetterentwicklung im Herbst werden die Speicher beim frühen Einwintern nicht mehr ganz gefüllt, oder aber spätes Schmelzwasser oder Regenwasser kann nicht mehr zurückgehalten werden. Bei frühem Einsetzen der Schneeschmelze im Frühjahr erreicht der Stausee die tiefste Kote nicht; die Reserve, die für ein spätes Einsetzen der Schneeschmelze nötig gewesen wäre, kann somit erst später genutzt werden. Die Speicherseen liegen verschieden hoch und in verschiedenen Klimazonen. Deshalb differiert sowohl der Zeitpunkt des maximalen Füllstandes im Herbst als auch der tiefsten Absenkung im Frühjahr von Anlage zu Anlage.

- Ein minimaler Restvorrat an Speicherwasser im Frühjahr ist aus betrieblichen Gründen als freie Reserve nötig. Zum Beispiel beim Ausfall grösserer Kraftwerkeinheiten im In- oder Ausland muss auf diese Reserve zurückgegriffen werden können.
- Konzessionsbedingungen zum Beispiel zugunsten des Fremdenverkehrs erlauben oft die vollständige Leerung des Stausees im Frühjahr nicht.

Die durchschnittliche Winter-Seeabsenkung der Speicher in den letzten zwanzig Jahren betrug 73 % des gespeicherten Energieinhaltes (Wochenbericht über die schweizerische Versorgungslage, Bundesamt für Energiewirtschaft, BEW, Bern, der letzten zwanzig Jahre). Sie bezieht sich jeweils auf die Stichdaten Ende März und Ende September. Diese Zahl wird auch für zusätzliche neue Speicher angenommen. In Knappheitssituationen kann die Winterabsenkung zulasten der Reserve für das Frühjahr noch leicht erhöht werden.

4.3 Anlagen im Bau

Das Bundesamt für Wasserwirtschaft hat die am 1. Januar 1987 im Bau befindlichen 12 Kraftwerke zusammengestellt (Tabelle 1). Neben einigen kleineren Anlagen ist die Doppelanlage Ilanz und das Kraftwerk Tiefencastel zu nennen. Ilanz I und II wird ab 1989 im Mitteljahr 260 GWh ans Netz abgeben; die mittlere Produktionserwartung von Tiefencastel beträgt 100 GWh, sie steht ab 1989/90 zur Verfügung. Der *Gesamtzuwachs* von allen im Bau stehenden Anlagen wird mit

467 Mio kWh im Mitteljahr

veranschlagt (davon 28 % im Winterhalbjahr und 72 % im Sommer).

Diese Anlagen wurden in die Prognose miteinbezogen. Das sind etwa 1 % des Elektrizitätsverbrauchs des Jahres 1986 oder rund die Hälfte des Verbrauchszuwachses 1986 gegenüber 1985.

Tabelle 1. Am 1. Januar 1987 im Bau befindliche Wasserkraftanlagen (Angaben BWW, Bundesamt für Wasserwirtschaft).

1. Bartel VS, Neubauten Oberstufe und Mittelstufe	7. Ilanz I, Tavanasa-Ilanz, GR
2. Buchs SG, Erweiterung	8. Ilanz II, Panix-Ilanz, GR
3. Felsenau BE, Erneuerung	9. La Douch, St-Sulpice NE, Erneuerung
4. Feusisberg SZ, Erneuerung	10. Tiefencastel, GR
5. Heiligkreuz VS, Erweiterung	11. Vernayaz VS, Erneuerung
6. Höngg «Am Giessen» ZH, Erneuerung	12. Zermattggen VS, Pumpstation

4.4 Die Schwankungen der hydraulischen Energieerzeugung

Die hydraulische Energieproduktion schwankt je nach den Witterungsverhältnissen sehr stark. Die Abweichung der Energieproduktion eines Halbjahres von der mittleren Pro-

duktionserwartung wurde für die 35 Jahre von 1950 bis 1985 ausgewertet. Im Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März) schwankt die Produktion von +25 % unter günstigen meteorologischen Verhältnissen bis –30 % bei ungünstigen Verhältnissen. Im Sommerhalbjahr (1. April bis 30. September) betragen diese Schwankungen +16 % und –23 %.

Bei einer mittleren Produktionserwartung im Winter der bestehenden Werke von 14240 GWh ist somit mit einer Minderproduktion im ungünstigsten Winterhalbjahr von 4200 GWh zu rechnen. Dies entspricht der Winterproduktion eines thermischen 1000-MW-Blockes.

Bisher konnten diese Produktionsschwankungen durch Energieaustausch mit dem Ausland ausgeglichen werden. Für zusätzliche Wasserkraftanlagen wird mit einem analogen Schwankungsbereich gerechnet.

5. Nebenwirkungen der Nutzung der hydraulischen Energie

5.1 Die Aufgabe der Wasserkraftwerke

Wichtigste Aufgabe einer Wasserkraftanlage ist und bleibt die Lieferung von Strom. Dies dann, wenn der Bedarf vorhanden ist, und zu möglichst günstigen Bedingungen.

Manche Wasserkraftwerke sind Mehrzweckanlagen. Sie dienen *auch* dem Hochwasserschutz oder der Bewässerung.

Mit dem Bau von Wasserkraftwerken werden auch Infrastrukturen verbessert und wirtschaftliche Impulse ausgelöst.

5.2 Auswirkungen der Wasserkraft auf die Volkswirtschaft

Die günstigen Auswirkungen des Wasserkraftausbaus auf die Volkswirtschaft wurden verschiedentlich untersucht. Die nachfolgenden Ausführungen geben dazu lediglich eine Übersicht.

Der Bau von Wasserkraftanlagen hat besonders in den Bergregionen vielfach zu einem wirtschaftlichen Aufschwung beigetragen. Neben den Bereichen Verkehr und Tourismus sind in die Energiewirtschaft – und hier vor allem in die Nutzung der Wasserkraft – beträchtliche Mittel investiert worden, wodurch Arbeitsplätze geschaffen wurden. Zudem dürften die erheblichen finanziellen Vorteile aus der Wasserkraftnutzung wohl viele Berggemeinden erst in die Lage versetzt haben, auch wichtige kommunale Aufgaben durchzuführen.

Die Impulse eines Kraftwerkbbaus auf ein Projektgebiet sind um so stärker, je geringer die wirtschaftliche Kraft dieser Region vor Baubeginn war. Am Beispiel der Albula-Landwasser-Region² konnte nachgewiesen werden, dass die dortige Beschäftigung und damit auch das Volkseinkommen rapid gestiegen sind, dass der Rückgang der Wohnbevölkerung gebremst werden konnte, dass teilweise sogar Bevölkerungszunahmen zu verzeichnen gewesen waren und dass sich die Finanzlage der Gemeinden gebessert hat. Zudem sind verschiedene Infrastrukturleistungen im Zusammenhang mit dem Kraftwerkbau erfolgt, die der Taltschaft nachher gratis überlassen wurden und wesentliche Verbesserungen brachten (zum Beispiel bessere Erschliessung durch Wege und Strassen, bessere Stromversorgung, Ausbau der Trinkwasserversorgung, Errichtung einer Kläranlage). Neben dem einmaligen Impuls, den der Bau der

² C. Oswald: Auswirkungen von Grossinvestitionen auf die Einkommenslage im Berggebiet. Nationales Forschungsprogramm über Regionalprobleme in der Schweiz (Projekt 251) Bern, 1980.

Kraftwerkanlagen auf die lokale Wirtschaft auslöste, ging in der nachfolgenden Betriebsphase eine bleibende Einkommenswirkung auf das Projektgebiet aus, die bis weit in die Zukunft andauern wird und für die wirtschaftliche Entwicklung der Talschaft von grösster Bedeutung ist. Neben den Lohnzahlungen an die Betriebsangestellten und den Gemeindesteuern gehen nämlich im Fall der Kraftwerke jedes Jahr auch beachtliche Summen für die Wasserzinse und für die garantierten Dividendenzahlungen auf dem von lokalen Körperschaften gehaltenen Aktienkapital ins Projektgebiet. Zudem profitiert die Talschaft in Form von Gratis-, Ersatz- und Vorzugsenergie sowie aufgrund der Beteiligungsenergie vom Betrieb der Kraftwerkanlagen. Daneben sichert das Heimfallrecht nach Ablauf der Konzessionsdauer dem Kanton Graubünden und den Konzessionsgemeinden je zur Hälfte – unentgeltlich und lastenfrei – die Übertragung des Grossteils (des «nassen Teils») der Kraftwerkanlagen in ihren Besitz.

Dank der verbesserten Finanzlage konnten die Gemeinden ihre eigenen Infrastrukturvorhaben zügig an die Hand nehmen (Bau von Schulen, Kirchen, Bibliotheken, Gebäudesanierungen usw.). Kraftwerkinvestitionen haben sich als wesentliches Stimulans für die wirtschaftliche Entwicklung des Projektgebietes erwiesen und entscheidend zur Verbesserung der Lebensverhältnisse in der Bergregion beigetragen. Auch eine im Jahr 1979 bei den Wasserkraftwerken im Kanton Graubünden durchgeführte Umfrage, die durch verwaltungsinterne Erhebungen und Schätzungen ergänzt wurde, zeigte deutlich, dass die Wasserkraftwerke für Kanton und Gemeinden in volks-, energie- und finanzwirtschaftlicher Hinsicht von grosser Bedeutung sind.

Mit der Abwanderung der ansässigen Wohnbevölkerung aus den Bergdörfern geht auch die Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Bodens und des Waldes zurück. Die letztlich daraus resultierende Vergandung weiter Gebiete stellt eine erhebliche Gefahr dar. Nur die Verbesserung der Existenzbedingungen vermag der Entvölkerung der Bergregionen mit Erfolg entgegenzuwirken. Die Wasserkraft leistet einen nicht unbedeutenden Beitrag zur Unterstützung des übergeordneten Zieles der Berggebietsförderung und trägt damit indirekt auch zum Schutz der Landschaft bei.

5.3 Hochwasserschutz

Die Wasserkraftnutzung trägt zur Herabsetzung der Hochwassergefährdung bei. Zudem werden die Hochwasserstände der unterliegenden natürlichen Seen durch die Speicherbewirtschaftung abgesenkt, was als Vorteil zu werten ist. Durch die Bewirtschaftung der Speicherbecken werden im Sommer die natürlichen Abflüsse in den Fliessgewässern vermindert und die Hochwasserspitzen signifiziert verkleinert. Im Winter werden dann die Wassermassen verarbeitet und den Gewässern wieder zurückgegeben.

6. Wasserkraft und Umweltbelastung

6.1 Landschaftsveränderungen

Die Schweizer Landschaft ist zu grossen Teilen eine durch Menschenhand geprägte Kulturlandschaft, an der über Jahrhunderte gebaut und verändert wurde. Seit der letzten Jahrhundertwende wurde die Landschaft rascher und intensiver durch die menschliche Tätigkeiten beeinflusst, weil den Menschen dazu leistungsfähige Maschinen und Fahrzeuge zur Verfügung standen.

Durch den Übergang von der Mühle zum Wasserkraftwerk wurde die Beeinflussung der Landschaft ausgeprägter – sie wuchs mit dem immer grösser werdenden energetischen Nutzen aus den Anlagen.

Auch wenn die Sensibilisierung auf die landschaftlichen Werte erst in den letzten Jahren breitere Kreise erfasste, darf den Erbauern der Wasserkraftwerke attestiert werden, dass sie immer versucht haben, ihre Anlagen schonend in die Landschaft einzupassen. Dass sich eine Wasserkraftanlage nicht vollständig verstecken lässt, muss zur Kenntnis genommen werden. Das Wasser kann auch nicht gleichzeitig im Bach frei fliessen und die Turbinen treiben!

Die ersten Werke wurden stolz gezeigt. Architektonisch gut gestaltete Zentralen (Albbruck-Dogern, Kallnach) und Landschaftsdominanten (Rossens-Staumauer, Druckleitung Ritom) zeigen die Selbstsicherheit ihrer Erbauer. Manches Tal hat durch die Stauseen an Reiz gewonnen. Der Grimselpass mit seinen Stauseen ist zur touristischen Attraktion geworden.

Durch weiträumige Besiedelung, durch Infrastrukturen von Bahn und Strasse, durch grossräumig umgestaltetes Agrarland, durch Industrialisierung und durch Bauten für den Tourismus wurde manche Landschaft in ihrem Gleichgewicht gestört. Ein Überdenken ist im Gange. Die durch den Menschen wenig beeinflusste Natur bzw. die Landschaft wird vermehrt zum Schutzobjekt.

Eine gewisse Landschaftsbelastung durch eine Wasserkraftanlage muss beim Bau und Betrieb in Kauf genommen werden. Dies geschieht nicht leichtfertig, sondern erst nach einer Interessenabwägung durch die Behörden. Darin werden die Vor- und die Nachteile des Projektes gegeneinander abgewogen, bevor ein Entscheid gefällt wird.

Als zusätzliches Arbeitsinstrument wurde mit dem neuen Umweltschutzgesetz (Art. 9) die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) eingeführt (siehe Abschnitt 8.3).

6.2 Veränderung der Abflussverhältnisse

Es liegt im Wesen der Wasserkraft, dass für Ihre Nutzung die Abflüsse der Gewässer verändert werden. In der Projektierung können diese quantitativen Veränderungen vorausberechnet werden. Die Beurteilung der Veränderung ist schwieriger, weil Auswirkungen auf die Flora und die Fauna schwer zu erfassen sind und weil auch in der Natur die Abflüsse stark schwanken, denn Hochwasser- wie Trockenperioden gehören zu einem Gewässer. Wie sich in den ersten UVP-Berichten zeigt, sind die Beurteilung der Veränderung und deren Wertung sehr schwierig. Es bleibt für die Behörden, die entscheiden müssen, ein grosser Ermessensspielraum, wenn sie im Gesamtinteressenausgleich für den Bau einer Wasserkraftanlage den wirtschaftlichen und den energiewirtschaftlichen Nutzen gegen die Einbussen durch veränderte Abflüsse abwägen müssen.

6.3 Beeinflussung des Klimas?

Die über 90jährige Erfahrung mit unseren zahlreichen Wasserkraftwerken hat gezeigt, dass sich eine klimatische Veränderung durch den Bau und Betrieb dieser Anlagen nicht nachweisen lässt. Allenfalls zu vermutende Beeinflussungen verschwinden innerhalb der grossen natürlichen Streubreiten der gemessenen Klimawerte. Auch für zukünftige Anlagen darf angenommen werden, dass die Klimabeeinflussung unbedeutend ist.

6.4 Vorübergehende Eingriffe während der Bauzeit

Wie jeder grössere Bau bringt der Kraftwerkausbau während der Bauzeit zusätzliche Belastungen. Diese können zwar durch geeignete Massnahmen minimiert werden; vermeiden lassen sie sich nicht.

Diese Eingriffe sind in der Interessenabwägung mit zu berücksichtigen.

6.5 Umweltbelastung bei verschiedenen Arten der Bereitstellung von Energie im Vergleich

Wie verschiedene Studien gezeigt haben, ist die Erzeugung elektrischer Energie mit Wasserkraftwerken eine der umweltverträglichsten Energieumwandlungen. Das Wasser wird nicht verunreinigt oder hinsichtlich Qualität verändert, und es entstehen dabei keine Emissionen in der Luft. Die hydraulische Energie wird von der Natur immer wieder zur Verfügung gestellt, das heisst, die Wasserkraft wird immer wieder regeneriert. Die Belastung der Umwelt durch Stauhaltungen und bauliche Eingriffe ist bekannt. Wie die bisher in der Schweiz gebauten Anlagen zeigen, werden diese im grossen ganzen akzeptiert. Ob weitere Belastungen durch Wasserkraftwerke toleriert werden, ist politisch zu entscheiden.

6.6 Umweltbelastung durch Energieverbrauch

Nicht nur bei der Bereitstellung der Energie fallen unerwünschte Umweltbelastungen an, sondern auch bei der Anwendung. Bei der Verwendung von Elektrizität treten keine Emissionen auf, dies ganz im Gegensatz zu den übrigen Energieträgern, die in dieser Hinsicht wesentlich ungünstiger abschneiden.

Eine vergleichende Quantifizierung aller Umwelteinflüsse der gesamten Energieketten (bezogen auf einzelne Tätigkeiten der Menschen) wäre erwünscht.

7. Verkleinerung der hydraulischen Elektrizitätsproduktion

7.1 Stilllegung von Wasserkraftanlagen

Werden kleine und kleinste Anlagen über Jahrzehnte schlecht unterhalten oder treten zum Beispiel infolge Hochwasser grössere Schäden auf, stellt sich die Frage grösserer Investitionen. Sind solche nicht mehr zu verantworten, wird dann die eine oder andere Anlage stillgelegt. Wird zum Zeitpunkt der fälligen Investitionen oder beim Ablauf einer Konzession auch noch die Restwassermenge erhöht, wächst die Gefahr, dass ein Werk für die Elektrizitätsproduktion aufgegeben werden muss.

Der Produktionsverlust an Energie durch Stilllegung von kleinen Wasserkraftanlagen kann für diese Betrachtungen vernachlässigt werden.

7.2 Verlandung von Stauseen

Die natürliche Erosion wird durch den Bau von Wasserkraftanlagen nur in geringem Mass verhindert. Ein Teil des erodierten Materials wird in den künstlichen Stauräumen zurückgehalten. Diese Ablagerungen können den Betrieb der Anlage behindern und die Energieproduktion verkleinern. Für den untersuchten Zeitraum können allerdings die dadurch zu erwartenden Einbussen vernachlässigt werden. Die kleinen Stauräume werden von Zeit zu Zeit durchgespült oder ausgebagert; in den grossen Stauseen lagert sich das Material meistens an Orten ab, wo es die Energieproduktion nicht beeinträchtigt. Auch fällt der Verlust an Stauraum gesamtschweizerisch gesehen kaum ins Gewicht.

7.3 Produktionsverluste durch vorstossende Gletscher

Weitere Produktionsverluste sind bei wenigen Wasserfassungen möglich, die durch vorstossende Gletscher überfahren werden.

Diese Verluste dürften gesamtschweizerisch gesehen kaum ins Gewicht fallen.

7.4 Energieeinbussen durch Vergrösserung von Restwasserauflagen

Siehe Kapitel 8.2 und Kapitel 9.6.

8. Einflussgrössen, die den weiteren Ausbau der Wasserkraft mitbestimmen

Ist einmal das Bedürfnis nach dem Bau einer Anlage ausgewiesen und liegen politisch akzeptierte und umweltverträgliche Projekte vor und ist ein Bauherr bereit, diese zu realisieren, sollte die Wasserkraftanlage auch in nützlicher Frist gebaut werden können. Der Aufwand an Zeit und Kosten bis zum Baubeginn ist in den letzten Jahren ständig gestiegen; abgenommen hat dabei die Voraussehbarkeit der Realisierungschancen.

Die lange Vorbereitungszeit und die Unsicherheit musste bei der Beurteilung der Realisierungsmöglichkeiten im Rahmen der heute gültigen Gesetzgebung und ihrer Anwendung berücksichtigt werden.

Die wichtigsten rechtlichen Grundlagen für den Bau und den Betrieb der Wasserkraftanlagen sind im Wasserwirtschaftsartikel 24^{bis} der Bundesverfassung festgehalten, der die Basis sowohl für das Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (Eidgenössisches Wasserrechtsgesetz, WRG) als auch für das Gewässerschutzgesetz ist. Zu berücksichtigen sind noch eine grosse Zahl weiterer eidgenössischer Gesetze, Verordnungen usw. sowie die entsprechenden kantonalen Erlasse. Die Gesetzgebung und ihre Anwendung sind einem ständigen Wandel unterworfen. Es ist zu verhindern, dass weitere Hürden gesetzlicher und administrativer Art gegen den weiteren Ausbau der Wasserkraft aufgestellt werden.

Die Möglichkeiten, den Ausbau wesentlich rascher als hier angenommen durchzuführen, beurteilen wir als beschränkt. Dazu wären als flankierende Massnahmen verschiedene gesetzliche Schranken, die sich gegen den Wasserkraftausbau auswirken, abzubauen. Der Entscheidungsmechanismus für die Erlangung der Konzessionen bzw. Bewilligungen wäre zu beschleunigen. Auch der Ablauf der gerichtlichen Beurteilung bei Streitfällen müsste beschleunigt werden können. Erfahrungsgemäss dauern solche Veränderungen lange.

Zurzeit werden die folgenden Änderungen der Gesetzgebung auf eidgenössischer Ebene vorbereitet:

8.1 Revision des Eidg. Wasserrechtsgesetzes

Das Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (Eidg. Wasserrechtsgesetz, WRG), das vom 22. Dezember 1916 stammt und bis heute fast unverändert gilt, soll in nächster Zeit überarbeitet werden. Eine Studienkommission legte 1983 einen Vorentwurf eines «Bundesgesetzes über die Nutzung der Gewässer und der Wasserkraft» vor, der in die Vernehmlassung gegeben wurde. Aufgrund dieser Vorbereitungen konnte eine vom Parlament beschlossene Teilrevision des Wasserrechtsgesetzes auf den 1. Januar 1986 in Kraft gesetzt werden. Diese betrifft den Wasserzins, die Qualitätsstufen und die Steuerausfallentschädigung. Weitere angeregte Revisionspunkte, insbesondere die Regelung der Pumpspeicherung und die Modernisierung der bestehenden Anlagen, sollen in einer zweiten Revisionsetappe behandelt werden.

Es ist heute noch offen, ob das neue Gesetz die von verschiedenen Seiten geforderte Erleichterung von Umbauten, Erweiterungen und Erneuerungen älterer Wasserkraftwerke im gewünschten Ausmass bringen wird.

8.2 Revision des Eidg. Gewässerschutzgesetzes

In einer Botschaft vom 29. April 1987 (veröffentlicht Ende Juni 1987) legt der Bundesrat dem Parlament seine Stellungnahme zur Volksinitiative «zur Rettung unserer Gewässer» und zur Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer vor.

Die Botschaft enthält einen Vorschlag für die Bestimmungen zur Sicherung angemessener Restwassermengen, wie sie im Verfassungsartikel 24^{bis} vorgesehen sind.

Jede Erhöhung der Restwassermengen verkleinert die Wassermenge für die Elektrizitätserzeugung. Die daraus zu erwartenden Energieverluste werden in Kapitel 9.6 behandelt.

Bis diese Ausführungsgesetzgebung des Bundes vorliegt, entscheiden bei Konzessionserteilung die Kantone, was im Einzelfall «angemessen» sei und verlangen entsprechende Restwassermengen. Diese Praxis war auch bisher üblich. In älteren Konzessionen ist so festgehalten, was zur Zeit der Konzessionserteilung als angemessen betrachtet wurde. Für eine Erhöhung der Restwassermengen bei Anlagen mit laufender Konzession (aufgrund heute anderer Beurteilung) wird das konzessionsgebende Gemeinwesen ersatzpflichtig (wohlerworbene Rechte).

8.3 Die Umweltverträglichkeitsprüfung

Im neuen Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983, das am 1. Januar 1985 in Kraft trat, wird in Art. 9 die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) verlangt.

Die ersten Erfahrungen mit der UVP werden zurzeit, zum Beispiel bei den projektierten Wasserkraftanlagen Oberhasli (Weiterausbau), Kraftwerke Brusio (Erneuerung und Erweiterung der Anlagen) und Wynau (Erneuerung der bestehenden Anlage), gesammelt. Dabei legen die Kantone das Vorgehen im Rahmen des Umweltschutzgesetzes fest, weil die Verordnung zur UVP noch nicht vorliegt.

Mit der Verordnung zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-V) werden voraussichtlich die Verfahrensvorschriften festgelegt und bestimmt, für welche Anlagen eine UVP nötig wird. Mittlere und grössere Wasserkraftanlagen werden ziemlich sicher der UVP unterstellt. Wo die Grenze der Kleinwasserkraftwerke liegt, die ohne UVP gebaut werden können, ist noch offen.

Es ist möglich, dass die Zeitspanne, die von der Projektierung bis zur Bauausführung einer Wasserkraftanlage eingerechnet werden muss, durch die UVP wesentlich länger wird. Diese Verlängerung, die sich mit den übrigen Verzögerungen kumulieren kann, erschwert die Prognose für den Produktionszuwachs aus Wasserkraftanlagen beträchtlich.

8.4 Bundesbeschluss über den Vorbehalt künftiger Restwassermengen

Durch den Bundesbeschluss über den Vorbehalt künftiger Restwassermengen, wie er im Entwurf vorliegt, könnte der Umfang der Wassernutzung in der Konzession (sowohl für neue Anlagen als auch bei Konzessionserneuerung) nicht mehr verbindlich festgelegt werden. Die Unsicherheit, wieviel Wasser bei einer geplanten Anlage tatsächlich genutzt werden kann, erschwert den Baubeschluss. Der potentielle Bauherr sieht sich somit mit einem weiteren Risiko konfrontiert, das neben dem politisch-juristischen Hürdenlauf für die Konzessionen und Baubewilligungen und neben Bau- teuerung, Kapitalkosten, Entwicklung des Strombedarfs, geologische Risiken usw. beachtet werden muss.

9. Künftiger Beitrag der Wasserkraft

9.1 Vorgehen, Projekte für neue Wasserkraftwerke

Der schrittweise Ausbau der Schweizer Wasserkräfte zur Stromerzeugung begann um die Jahrhundertwende; er dauert bis heute an. Beim Ausbau einer Stufe wurde die Wasserkraft möglichst zweckmässig genutzt bzw. optimal aus der Sicht der damaligen Erbauer.

Für die nicht genutzten Gefällstrecken – soweit sie überhaupt für eine Wasserkraftnutzung geeignet sind bzw. in Frage kommen – wurden immer wieder Projekte erarbeitet.

Bereits für die Prognosen 1977 und 1982 des Verbandes wurden diese Projekte unterschiedlichsten Bearbeitungsstandes gesammelt, ausgewertet und beurteilt. Auch für verschiedene bestehende Anlagen sind Umbaupläne bekannt. Diese wurden ebenfalls gesammelt. Die Datenbasis wurde mit dem seither bekannt Gewordenen ergänzt. In Einzelfällen konnten bei den Projektanten weitere Unterlagen verfügbar gemacht werden.

Bei der Beurteilung, die womöglich gemeinsam mit dem Projektanten oder dem potentiellen Bauherrn vorgenommen wurde, wurden die folgenden Kriterien angewandt:

- Ein Projekt soll energiewirtschaftlich sinnvoll sein, das heisst längerfristig bedarfskonform und wirtschaftlich. Dabei wurde durchaus vorausgesetzt, dass sich der Strom mit der Zeit verknappen wird und das er zu real steigenden Preisen beschafft werden muss.
- Ein Projekt soll umweltverträglich sein. Für die geprüften Projekte und Vorprojekte liegen zurzeit noch keine Umweltverträglichkeitsprüfungen vor. Es ist anzunehmen, dass nicht alle Projekte dieser Prüfung gleichermaßen standhalten werden, da jede Anlage Veränderungen und Einwirkungen auf die Umwelt mit sich bringt.
- Ein Projekt soll politisch und regionalpolitisch vertretbar sein. Es muss sowohl von der Bevölkerung als auch von den politischen Vertretern akzeptiert werden können. Die Bereitschaft, ein Werk zu akzeptieren, kann sich mit der Zeit wesentlich ändern.
- Das Projekt soll innerhalb einer überblickbaren Zeitspanne realisierbar sein. Für die technischen und politischen Vorarbeiten sind Jahre, wenn nicht Jahrzehnte nötig. Dazu kommen noch der (nur schwer abzuschätzende) Zeitbedarf für die Konzessions- und Bewilligungsverfahren und die allenfalls zusätzlich nötigen gerichtlichen Auseinandersetzungen.

In die Prognose wurden primär diejenigen Projekte einbezogen, von denen vermutet wurde, dass sie den oben erwähnten Kriterien (allenfalls auch noch mit Vorbehalten) genügen. Es muss ohne weiteres damit gerechnet werden, dass die Realisierungszeit des weiteren Wasserkraftausbaus sich wesentlich in die Länge zieht.

9.2 Umbauten und Erweiterungen

Für verschiedene Anlagen sind Umbauten, Erweiterungen und Erneuerungen geplant. Die bekannten (grösseren) Projekte wurden gemäss dem in Kapitel 9.1 genannten Vorgehen in die Prognose einbezogen.

Kleinere Umbauten, Erneuerungen und Erweiterungen werden laufend realisiert. Sie dienen primär zur Erhaltung und Sicherung der Produktionskapazität dieser Anlagen. Nach Möglichkeit wird dabei die Produktion gleichzeitig auch noch etwas gesteigert. Die gefasste Wassermenge und/oder das genutzte Gefälle wird vergrössert und die Wirkungsgrade und Schluckwassermengen der Turbinen bzw. der Generatoren werden erhöht. Diese laufenden kleineren Verbesserungen und Umbauten sind in der Prognose

des Gesamtausbaus mitenthalten, werden aber nicht gesondert ausgewiesen.

9.3 Zielhorizonte und Prognosewerte

Bis zum Jahre 2010 wurde von den heutigen politisch-gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ausgegangen. Die Steigerung des Elektrizitätsverbrauchs nimmt laufend zu. Anzeichen einer anhaltenden Verflachung der Zuwachsrates sind zu erkennen. Die Verfahren sind in letzter Zeit immer schwieriger und aufwendiger geworden mit dem Ergebnis, dass das Verfahrensrisiko für den Bauherrn kaum noch kalkuliert werden kann. Dennoch nehmen wir an, dass noch einige Wasserkraftprojekte zur Realisierung gebracht werden.

In den nächsten Jahren sind im Zusammenhang mit den Ausstiegsszenarien politische Entscheidungen auch in bezug auf die Wasserkraft zu erwarten. Man wird sich zu entscheiden haben, ob die Wasserkraft weiterhin zu fördern sei, oder aber ob ein formelles oder ein De-facto-Moratorium für die Wasserkraftwerke verantwortet werden kann. Ein allfälliges Moratorium würde sehr rasch wirksam. Eine Entscheidung, die Wasserkraft als umweltfreundliche, einheimische Energiequelle noch umfassender zu nutzen als heute abschätzbar, wird sich hingegen erst langfristig, das heisst auf den Zielhorizont 2025, auswirken.

Das technisch-wirtschaftliche Potential weiterer Wasserkraftnutzungen von 2010 bis 2025 setzt sich zusammen aus:

- den heute bekannten Projekten, denen eine Realisierungschance (wenn auch nur bei steigenden Energiepreisen bzw. bei einer markanten Energieverknappung) nicht abgesprochen werden kann,
- zusätzliche Möglichkeiten, die heute nicht als ausbaufähig in Betracht gezogen werden.
- Die noch vorhandenen Möglichkeiten einer qualitativen Verbesserung der hydraulischen Energieproduktion sind erst teilweise erkannt. Gesucht sind weitere kleinere und grössere Speichermöglichkeiten für das Sammeln von Sommerabflüssen, die dann im Winter turbinieren werden können. Mit solchen neuen oder vergrösserten bestehenden Speichern kann die Produktion bedarfsgerechter gesteuert werden
- abzüglich diejenigen Projekte, die sich bis dann als unrealistisch herausstellen.

Die heute unbeachteten Möglichkeiten und die Projekte, die eindeutig aufgegeben werden müssen, dürften sich (im Rahmen der Genauigkeit unserer Prognosen) etwa aufheben. Von dem hier aufgezeigten Potential kann auch bis im Jahr 2025 nur ein Teil verwirklicht werden.

Es wird davon ausgegangen, dass der Wasserkraft auch nach 2005/2010 zur Sicherung der Elektrizitätsversorgung grosse Bedeutung zugemessen wird. Die Realisierung zusätzlicher Produktionsmöglichkeiten werden als Landesaufgabe auf breiter Basis gefördert. Konsequenterweise werden die gesetzlichen und administrativen Hürden (im Rahmen des Rechtsstaates) langsam wieder abgebaut. Selbst unter diesen Voraussetzungen kann vom vorhandenen technisch-wirtschaftlichen Potential, das bis 2010 noch nicht realisiert sein wird, doch nur ein Bruchteil bis zum Zielhorizont 2025 ausgebaut werden.

Sollte beschlossen werden, auf den weiteren Ausbau der Wasserkraft zu verzichten und die Elektrizität anderweitig zu beschaffen, fällt jeder Weiterausbau dahin. Dann ist damit zu rechnen, dass die Produktionsmöglichkeiten stagnieren bzw. durch die Verfügung von zusätzlichen Restwasserverpflichtungen abnehmen.

Der Zuwachs aus Wasserkraftanlagen mit mehr als 10MW maximaler möglicher Leistung, das heisst sowohl aus Neu-

bauten als auch als Erweiterungen dieser Anlagen, ist bis im Jahre 2005 zu erwarten:

Zuwachs Winter	1680 GWh
Zuwachs Sommer	1940 GWh
Zuwachs Mitteljahr	3620 GWh
Bis im Jahre 2025 rechnen wir mit folgenden Werten:	
Zuwachs Winter	1930 GWh
Zuwachs Sommer	2330 GWh
Zuwachs Mitteljahr	4260 GWh

Um zu diesen Produktionszahlen zu gelangen, muss Pumpenergie aufgewendet werden. Damit wird vorwiegend Sommerwasser in die neu zu erstellenden Speicher gepumpt, das dann im Winter zur Stromproduktion benutzt werden kann. Es wird mit folgenden zusätzlichen Pumpenergie-mengen im Mitteljahr gerechnet:

	bis 2005	bis 2025
Winter-Pumpenergie	150 GWh	150 GWh
Sommer-Pumpenergie	630 GWh	700 GWh
Pumpenergie Mitteljahr	780 GWh	850 GWh

9.4 Kleinwasserkraftwerke

Die Hochrechnungen des Potentials, das im weiteren Ausbau von Kleinwasserkraftwerken noch vorhanden ist, wurde in der Studie *Desserich & Funk*³ zusammengestellt. Die zusätzliche Nutzung bzw. die Prognose für das Jahr 2025 erreicht dort Werte zwischen

- 1450 GWh/Jahr ohne zusätzliche Förderungsmassnahmen und
- 2250 GWh/Jahr mit gezielten zusätzlichen Förderungsmassnahmen.

Es wird dabei angenommen, dass von der zu gewinnenden Elektrizität ein Drittel im Winter und zwei Drittel im Sommer anfallen.

Umweltpolitisch unverdächtig ist die Nutzung derjenigen Energie, die bei heutigen Trinkwasserversorgungen nicht genutzt wird. Zwischen hochgelegenen Trinkwasserreservoirs und dem Verteilnetz werden heute Energievernichter eingebaut. An deren Stelle können hier Turbinen und Generatoren (kleinster und standardisierter Bauart) eingebaut werden. Gemäss einer Studie von *Jean-Pierre Bourquin*⁴ könnte hier bis zum Jahre 2025 ein zusätzliches Potential von 80 bis 90 GWh/Jahr genutzt werden.

Um aus kleinen Wasserkraftwerken einen massgebenden Beitrag an die gesamte Energieversorgung zu erhalten, sind sehr viele Anlagen zu bauen bzw. zu erweitern. Jedes Werk liegt am oder im Bachlauf, meist an exponierter Stelle. Für seine Realisierung ist ein vollständiges Konzessions- bzw. Bewilligungsverfahren durchzuführen. Solche Verfahren sind aufwendig, und ihr Ausgang ist oft ungewiss. Wenn von einer Opposition nur kleinste Beeinträchtigungen geltend gemacht werden, muss eine Realisierung bald in Frage gestellt werden.

In vielen Fällen sind die günstigen Standorte bereits ausgenutzt, so dass nur noch die wenig aussichtsreichen Standorte verbleiben.

Für die Prognose wurde deshalb mit vorsichtigeren Werten gerechnet als die der genannten Studie *Desserich & Funk*. Der Zuwachs an Energie aus Kleinkraftwerken (mit weniger als 10MW maximal möglicher Leistung) wurde einschliesslich der Nutzung von Trinkwasserversorgungen zur Ener-

³ *Desserich und Funk*, Ingenieurbüro, 6005 Luzern: Energiepotential aus Kleinwasserkraftwerken. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, April 1987.

⁴ *Jean-Pierre Bourquin*, Broc: Energiepotential aus Kleinwasserkraftwerken in Wasserversorgungsanlagen und bei Getreidemöhlen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, April 1987.

gieerzeugung von 720GWh/Jahr bis zum Jahr 2025 in Rechnung gestellt. Davon werden 240GWh dem Winterhalbjahr und 480GWh dem Sommerhalbjahr zugeordnet. Die Verteilung über die Zeit wird etwa linear veranschlagt.

9.5 Leistungssteigerungen und Bau von weiteren Pumpspeicherwerken

Dem Zuwachs an Energieproduktion geht ein Zuwachs an verfügbarer Leistung parallel. Bis zum Jahr 2005 entspricht dies einem Leistungszuwachs von 2140MW. Bis im Jahr 2025 dürften es etwa 2280MW sein (Tabelle 2).

Tabelle 2. Zusätzlich installierte Leistung entsprechend den in die Prognose einbezogenen Wasserkraftwerken.

	bis 1990	bis 2005	bis 2010	bis 2025
Installierte Leistung in MW	180	2140	2170	2280

Diejenigen Werke, die Speicherwasser verarbeiten, können aber auch mit grösserer Leistung ausgeführt werden, wenn dies zum Zeitpunkt des Baues zweckmässig scheint.

Die Erhöhung der Leistung bei verschiedenen bestehenden Speicherkraftwerken ist mit vertretbarem Aufwand möglich. Dabei wird keine zusätzliche Energie gewonnen. Die erhöhte Leistungsabgabe kommt nur zum Zuge, wenn sie für die Deckung von Spitzenbedarf und den sicheren Netzbetrieb benötigt wird.

Die Möglichkeit, in der Schweiz weitere *Pumpspeicheranlagen* zu bauen, bleibt offen. Es sind verschiedenste Standorte bekannt, die sich für den Bau eignen würden. Der Bau selbst wird durch die Bedürfnisse des Netzes bestimmt.

Prognosen für den Bau weiterer Pumpspeicherwerke und von zusätzlicher Leistung sind nur über die Analyse der Netzentwicklung sinnvoll; sie sind weitgehend unabhängig vom Potential der Wasserkraft.

9.6 Energieverluste infolge zusätzlicher Restwasserauflagen

Forderungen nach grösseren Restwassermengen sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Wasserkraftanlagen haben ihren Niederschlag im Wasserwirtschaftsartikel 24^{bis} der Bundesverfassung gefunden. Dort wird festgehalten: der Bund erlässt Bestimmungen über die *Sicherung angemessener Restwassermengen*. Diese Verfassungsbestimmung soll im neuen Gewässerschutzgesetz konkretisiert werden (Kapitel 8.2).

Durch Restwasserabgaben kann in einem Kraftwerk weniger Strom produziert werden. Für diese Studie ist es nötig, sich ein Bild von den energetischen Auswirkungen der kommenden Restwasserbestimmungen zu machen.

Als Grundlagen standen die Formulierungen des Vorentwurfs zur Verfügung, wie er in die Vernehmlassung geschickt wurde. Änderungen am Entwurf, die nach dem Vernehmlassungsverfahren angebracht wurden, konnten nicht mehr berücksichtigt werden, da der Botschaftstext erst Ende Juli 1987 veröffentlicht wurde.

Es ist vorgesehen, dass im Bundesgesetz (gemäss einer Formel) für die ganze Schweiz gültige Restwassermengen vorgeschrieben werden (1. Stufe), die im Einzelfall (UVP in einer 2. Stufe) zusätzlich noch erhöht werden können. Diese Erhöhungen sind jeweils dann zu verfügen, wenn eine Konzession erteilt oder erneuert wird, das heisst dann, wenn von seiten des Werkbesitzers kein Schaden geltend gemacht werden kann.

Für die Vernehmlassung hat der Verband versucht, die Energieeinsparungen, die aus dem Gesetz entstehen, gesamthaft abzuschätzen. Er stützte sich dabei auf verschiedene

Berechnungen, bei denen die Mindestanforderungen (1. Stufe) detailliert bestimmt wurden sowie auf Hochrechnungen einiger Kantone. Je nach Einschätzung der weitergehenden Anforderungen der 2. Stufe (für deren Grösse Entwurfstext und Erläuterungen nur wenige Angaben liefern), wurde die Auswirkung nach Erneuerung aller Konzessionen auf *3000 bis 4500GWh im Mitteljahr* veranschlagt. Da die Bäche und Flüsse im Winter wesentlich weniger Wasser führen, ist zu dieser Jahreszeit am meisten Wasser zu dotieren. Die Aufteilung der Energieeinsparungen Sommer zu Winter wurde deshalb mit 1 zu 2 angenommen.

Bis zum Jahr 2005 laufen 55 Konzessionen aus, bis im Jahre 2025 sind es weitere 25. Sie vereinigen eine Leistung von rund 750MW (bis 2005) bzw. weitere 500MW (bis 2025) auf sich.

Bei diesen Anlagen, deren Konzessionen aus den Jahren 1925 bis 1945 stammen (in der Regel wird eine Konzession über 80 Jahre erteilt) dürfte der Energiesausfall infolge Restwasser überproportional grösser sein als im Landesdurchschnitt.

Zusätzlich zu den infolge Ablaufes zu erneuernden Konzessionen sind vorzeitig Konzessionserneuerungen zu erwarten, um Anlagen um- und ausbauen zu können. Werden (was zu erwarten ist) die Restwasserdotationen bei der Vorlage von Umbauprojekten erhöht, bevor die Konzession abgelaufen ist, fällt für den Kraftwerkbesitzer jeder Anreiz dahin, seine Anlage auszubauen und sie dem neuesten Stand der Technik und des Marktes anzupassen. Die Energieeinsparungen durch die Erhöhung der Dotationswassermengen heben dann die Vorteile eines Umbaues bald einmal auf, so dass auf einen Ausbau verzichtet werden muss. Das neue Gesetz zum Schutz der Gewässer kann somit zum Hemmschuh für die Modernisierung des hydraulischen Kraftwerkparkes werden – zum Nachteil unserer Volks- und Energiewirtschaft.

Weitere Restwasserauflagen können unter Entschädigungsfolge auferlegt werden. Im ganzen gesehen gehen wir davon aus, dass, wenn die Restwasservorschriften einmal in Kraft sind, diese rascher realisiert werden, als es durch den Ablauf der Wasserrechtskonzessionen gegeben wäre. In die Prognose werden deshalb folgende Zahlen eingesetzt, die aufgrund der Botschaft vom 29. April 1987 bzw. aufgrund des definitiven Gesetzestextes nochmals zu überprüfen sind. Dazu sind viele Werke anhand von Dauerkurven der Bach- und Dotationswassermengen für jede einzelne Fassung durchzurechnen. Für die Abschätzung der weitergehenden Anforderungen bleibt ein grosser Ermessensspielraum (Tabelle 3).

Tabelle 3. Einsparungen an Energie infolge erhöhter Restwasserdotationen im Mitteljahr (GWh).

	bis 2005	bis 2010	bis 2025
Winter	400	460	640
Sommer	200	230	320
Mitteljahr	600	690	960

Die Dotationen fallen besonders in kalten Wintern, bei kleinen natürlichen Abflussmengen, ins Gewicht, wenn die Produktion der Laufwasserkraftwerke von Natur aus klein und der Elektrizitätskonsum gross ist.

Sollte die Volksinitiative «zur Rettung unserer Gewässer» von Volk und Ständen gutgeheissen werden, ist mit wesentlich strengeren Restwasserauflagen zu rechnen, für deren Abschätzung aber die Grundlagen noch fehlen.

Das Bundesamt für Umweltschutz schätzt – in seinem Brief vom 13. Februar 1987 an das Bundesamt für Energiewirtschaft –, dass die Energieverluste aus Restwasserauflagen

wesentlich kleiner seien. Der Unterschied in der Beurteilung liegt zur Hauptsache in folgenden Punkten:

- Die Restwasserauflagen, die aufgrund der Umweltverträglichkeitsprüfungen durch die Kantone – zusätzlich zu den Minimalforderungen – verlangt werden, schätzt das Bundesamt für Umweltschutz wesentlich kleiner ein als der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband.
- Ist das Gewässerschutzgesetz einmal in Kraft getreten, werden bei jeder auch noch so kleinen Konzessionsänderung zusätzliche Dotationen verlangt. Das heisst, das Gesetz zeigt rascher Wirkung, als anhand der Konzessionsabläufe errechnet werden kann.
- Die Entlastungen durch die Ausnahmeregelungen gemäss Botschaft werden vom SWV noch nicht in Rechnung gesetzt.

Eine genauere Beurteilung der Auswirkungen ist nur aufgrund von Berechnungen möglichst vieler Einzelfälle gewährleistet. Die Basis kann erst der bereinigte Gesetzestext liefern.

9.7 Zusammenstellung der Werte

Die zusätzliche mittlere Produktionsmöglichkeit, die aus dem weiteren Ausbau der Schweizer Wasserkraft erwartet werden darf, setzt sich zusammen aus dem Beitrag aus Kleinwasserkraftwerken (Kapitel 9.4) und aus demjenigen aus Wasserkraftwerken mit mehr als 10 MW maximal möglicher Leistung (Kapitel 9.3).

Ebenfalls ausgewiesen wird die Pumpenergie, die (vorwiegend im Sommer) nötig wird, um durch Umlagerung von Wasser mehr Winterenergie zu produzieren. Diese Pumpenergie kann aus hydraulischen oder thermischen Anlagen stammen.

Die Minderproduktion infolge erhöhter Restwasserauflagen, die mit der Annahme eines neuen Gewässerschutzge-

Tabelle 4. Winterhalbjahr – Zusätzliche mittlere Produktionserwartung aus Wasserkraftwerken.

In GWh im Winterhalbjahr	bis 1990	bis 2005	bis 2010	bis 2025
Zuwachs aus Kleinkraftwerken	30	120	150	240
Zuwachs aus Wasserkraftwerken mit mehr als 10 MW max. möglicher Leistung	105	1680	1750	1930
Zusammen	135	1800	1900	2170
Minderproduktion infolge erhöhter Restwasserauflagen	—	–400	–460	–640
Total Zuwachs	135	1400	1440	1530
Zusätzlich notwendige Pumpenergie	0	–150	–150	–150
Differenz	135	1250	1290	1380

Tabelle 5. Sommerhalbjahr – Zusätzliche mittlere Produktionserwartung aus Wasserkraftwerken.

In GWh im Sommerhalbjahr	bis 1990	bis 2005	bis 2010	bis 2025
Zuwachs aus Kleinkraftwerken	30	240	300	480
Zuwachs aus Wasserkraftwerken mit mehr als 10 MW max. möglicher Leistung	305	1940	2000	2330
Zusammen	335	2180	2300	2810
Minderproduktion infolge erhöhter Restwasserauflagen	—	–200	–230	–320
Total Zuwachs	335	1980	2070	2490
Zusätzlich notwendige Pumpenergie	—	–630	–640	–700
Differenz	335	1350	1430	1790

Tabelle 6. Mitteljahr – Zusätzliche mittlere Produktionserwartung aus Wasserkraftwerken.

In GWh im Mitteljahr	bis 1990	bis 2005	bis 2010	bis 2025
Zuwachs aus Kleinkraftwerken	60	360	450	720
Zuwachs aus Wasserkraftwerken mit mehr als 10 MW max. möglicher Leistung	410	3620	3750	4260
Zusammen	470	3980	4200	4980
Minderproduktion infolge erhöhter Restwasserauflagen	—	–600	–690	–960
Total Zuwachs	470	3380	3510	4020
Zusätzlich notwendige Pumpenergie	—	–780	–790	–850
Differenz	470	2600	2720	3170

Tabelle 7. Winterhalbjahr – Mittlere Produktionserwartung aus bestehenden und aus zu erwartenden Wasserkraftanlagen.

In GWh im Winterhalbjahr	2005	2010	2025
Bestehende Werke ¹	14500	14510	14550
Weiterer Ausbau der Wasserkraft	1800	1900	2170
Zusätzliche Restwasserdotationen	–400	–460	–640
Total	15900	15950	16080

Tabelle 8. Sommerhalbjahr – Mittlere Produktionserwartung aus bestehenden und aus zu erwartenden Wasserkraftanlagen.

In GWh im Sommerhalbjahr	2005	2010	2025
Bestehende Werke ¹	18850	18850	18850
Weiterer Ausbau der Wasserkraft	2180	2300	2810
Zusätzliche Restwasserdotationen	–200	–230	–320
Total	20830	20920	21340

Tabelle 9. Mitteljahr – Mittlere Produktionserwartung aus bestehenden und aus zu erwartenden Wasserkraftanlagen.

In GWh im Mitteljahr	2005	2010	2025
Bestehende Werke ¹	33350	33360	33400
Weiterer Ausbau der Wasserkraft	3980	4200	4980
Zusätzliche Restwasserdotationen	–600	–690	–960
Total	36730	36870	37420

¹ Es wird angenommen, dass das Produktionsvermögen des bestehenden Kraftwerkparcs in Zukunft – sowohl im Winter als auch im Sommer – leicht grösser wird. Die Speicherpumpen werden vermehrt eingesetzt, was einerseits die Energieproduktion steigert, andererseits zusätzlichen Energieaufwand (zu Schwachlastzeiten) nötig macht. Die heute noch vorhandenen Leistungsreserven werden vermehrt beansprucht. Zusätzliche Leistung zu Spitzenzeiten wird aus der Pumpspeicherung benötigt.

setzes zu erwarten sind, wurden gemäss Kapitel 9.6 eingesetzt. Ebenfalls wurde der zeitliche Ablauf der Wirksamkeit der Restwasserbestimmungen entsprechend eingesetzt. In den Tabellen 4 bis 6 sind diese Zahlen für Winter, Sommer und Mitteljahr jeweils für die Zielhorizonte angegeben. In den Tabellen 7 bis 9 werden die Zahlen mit der heute verfügbaren mittleren hydraulischen Energie verglichen. Die Entwicklung der verfügbaren Leistung wird in Kapitel 9.5 behandelt.

10. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Wie Wasserkraft liefert einen einheimischen regenerierbaren und umweltfreundlichen Beitrag von heute rund 60 % an unsere Elektrizitätsversorgung.

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass der heutige Bestand an Wasserkraftanlagen langfristig erhalten bleibt und weiterhin Elektrizität ans Netz abgeben kann. Um dies zu erreichen, werden die Anlagen von ihren Besitzern und Betreibern gut unterhalten und von Zeit zu Zeit den neuen Verhältnissen angepasst.

Einige Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft, seien es neue grössere oder kleinere Anlagen, seien es Umbauten, Erweiterungen und Erneuerungen von Anlagen, bestehen immer noch. Dies gilt es im Rahmen der politischen, umweltrelevanten und wirtschaftlichen Gegebenheiten zu realisieren.

Beim Weiterausbau der Wasserkraft soll der qualitativen Verbesserung des gesamten Kraftwerksparks grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden: Der Strom soll entsprechend dem Bedarf zur Verfügung stehen. Da Engpässe in der Versorgung zuerst im Winter zu erwarten sind, soll gezielt die Winterproduktion gesteigert werden. Dies ist durch Umlagerung von Sommerwasser für die Winterproduktion in neu zu schaffenden Stauräumen sinnvoll.

Mit Einbussen infolge des Verfassungsartikels 24^{bis}, der «angemessene Restwassermengen» verlangt, ist zu rechnen. Nicht angemessene Forderungen nach zusätzlichen Restwassermengen sind abzulehnen, da dadurch beträchtliche Energiemengen nicht mehr hydraulisch produziert werden können und somit anderweitig zu beschaffen sind.

Es wird damit gerechnet, dass die hydraulische Energieproduktion im Winter um 10 bis 12 % gesteigert werden kann.

Die bestehenden Wasserkraftwerke der Schweiz produzieren heute in einem mittleren Winterhalbjahr 14240 GWh. Diese Produktion lässt sich bis im Jahr 2025 durch vermehrten Einsatz der Pumpspeicherung auf 14550 GWh steigern. Ein weiterer Ausbau der Wasserkraft (Neubauten, Umbauten und Erweiterungen) dürfte 2170 GWh im Winter bringen. Durch vermehrte Restwasserauflagen gehen 640 GWh verloren; zur Pumpspeicherung sind 150 GWh aufzuwenden. Die gesamte Winterproduktion wird somit für das Winterhalbjahr 2025 auf 16080 GWh geschätzt (abzüglich 150 GWh Pumpenergie). Die entsprechenden Zahlen für das Sommerhalbjahr und das Mitteljahr finden sich in den Tabellen 5 bis 9.

Jede Kilowattstunde, die aus der Wasserkraft produziert wird, erspart uns die Nachteile anderer Elektrizitätserzeugungsarten, beispielsweise die Luftverunreinigung fossilthermischer Stromproduktion.

Es ist zu verhindern, dass weitere Hürden gesetzlicher und administrativer Art gegen den Ausbau der Wasserkraft aufgestellt werden. Alle Anstrengungen, um weitere Anlagen zu realisieren, lohnen sich.

Contribution possible de l'énergie hydraulique à l'approvisionnement en électricité de la Suisse

Etude élaborée par l'Association suisse pour l'aménagement des eaux

1. Données du problème et procédure

1.1 Données du problème

L'Office fédéral de l'énergie a chargé l'Association suisse pour l'aménagement des eaux d'élaborer cette étude sur les possibilités de développement de l'énergie hydraulique en Suisse. Dans ce contexte, l'intérêt se porte avant tout sur les prévisions relatives à l'énergie hydraulique encore disponible (espérance annuelle moyenne, de même que répartition selon les semestres d'hiver et d'été). Nous nous sommes penchés plus particulièrement sur le développement de la puissance disponible ainsi que sur les possibilités complémentaires de transfert été-hiver.

La diminution des possibilités de production engendrées par de nouvelles exigences relatives aux débits minimaux entre également dans le cadre de l'étude. Cette dernière ne peut cependant se présenter que sous un aspect général, le régime des débits minimaux n'étant actuellement défini que sous forme de projets de loi.

Les objectifs se concentrent sur les années 1990, 2010 et 2025.

Nous sommes convenus, par la même occasion, de tenir compte de l'étude dans le cadre de l'élaboration du septième rapport des «Dix entreprises» (période de prévision allant jusqu'en 2005).

1.2 Procédure

En complément à l'évaluation de la contribution future des forces hydrauliques à l'approvisionnement en énergie, respectivement à l'approvisionnement en électricité de la Suisse, nous avons procédé à l'examen des éléments marginaux relevant de la politique, de l'économie, du droit et de l'environnement, qui rendent un tel développement possible ou qui l'empêchent.

Nous avons tenté d'établir une prévision sur la base de tous les projets et avant-projets disponibles concernant de nouvelles centrales hydro-électriques et relatifs également à des transformations, rénovations ou agrandissements d'installations existantes. A cet effet, les espérances de production pour chaque installation durent être établies; l'on procéda également à l'évaluation des chances de réalisation et, dans la mesure du possible, de la durée des préparatifs et de la construction.

Pour apprécier la contribution que les centrales hydroélectriques des faibles dimensions peuvent apporter à l'approvisionnement en énergie, nous nous sommes basés sur les travaux préliminaires de l'Office fédéral de l'économie des eaux, de même que sur les rapports *Desserich & Funk* ainsi que *Bourquin*.

Une prévision des investissements est à peine possible, car pour la plupart des installations, seuls des avant-projets, présentant tout au plus des estimations des coûts approximatives, sont disponibles. D'autre part, la ventilation des coûts sur le gain d'énergie, sur l'énergie d'hiver, sur le transfert été-hiver, sur le maintien des réserves et sur l'augmentation de la puissance ou encore sur la régulation du

réseau ne serait possible que dans une minorité de cas. Il faut admettre que non seulement les installations récentes, mais également celles nouvellement construites ou agrandies, produiront un courant à des coûts notablement plus élevés que les centrales existantes. Les emplacements les plus favorables, du point de vue économique, ont déjà été mis à profit dans une grande mesure.

Il ne faut pas compter que de grands bouleversements technologiques vont affecter l'exploitation des forces hydrauliques.

2. Introduction

En premier lieu, les possibilités de construction de nos centrales hydro-électriques doivent être maintenues à long terme. Il est de notre devoir de prendre soin que, techniquement parlant, les installations se trouvent toujours dans un parfait état de fonctionnement. Il s'agit également de garantir les conditions qui permettent d'assurer une exploitation intégrale.

L'intérêt que représente une exploitation, sans restrictions ni interruptions, des forces hydrauliques est reconnu aussi bien par la population que par les autorités politiques; nous sommes dès lors en mesure de compter à l'avenir sur la production énergétique de nos centrales hydro-électriques.

L'idée, qui veut qu'il ne soit pas possible de couvrir complètement les besoins allant toujours croissant d'électricité, malgré le développement de l'énergie hydraulique, n'est pas nouvelle. Cette analyse de la situation et la décision de renoncer aux centrales fonctionnant à partir de combustibles fossiles, du fait de leur propension à polluer l'environnement, sont les éléments qui militèrent en faveur de la construction des premières centrales nucléaires au début des années 60.

Quelques possibilités de développement de l'énergie hydraulique subsistent cependant encore. Il est important de les concrétiser dans le cadre des contingences politiques, écologiques et économiques.

Le développement doit servir à optimiser le parc actuel de centrales hydro-électriques dans le cadre du réseau national, voir international. Cela implique que les installations supplémentaires ne sont pas seulement destinées à produire plus de courant, mais qu'elles doivent également viser à une *amélioration qualitative* de l'ensemble de notre production énergétique.

a) *L'analyse, qui veut que l'approvisionnement en hiver soit plus critique qu'en été, ce qui signifie qu'un goulot d'étranglement est prévisible avant tout lors de la période froide de l'année, est incontestable. Cela implique que de nouveaux aménagements hydrauliques soient destinés, en premier lieu, à la fourniture de courant d'hiver. Des bassins d'accumulation supplémentaires, qui retiennent l'eau d'été destinée à la production hivernale, doivent être construits.*

b) *La progression de la demande d'énergie électrique va de pair avec l'accroissement de la demande pour une puissance plus élevée, destinée à la couverture des pointes de consommation. Cette puissance supplémentaire peut être installée avantageusement dans des centrales hydro-électriques.*

c) *L'énergie hydraulique reste importante pour la régulation du réseau, le maintien des réserves et la sécurité d'approvisionnement. Dans ce contexte également, les nouvelles installations doivent apporter leur contribution.*

d) *Il peut également se révéler judicieux d'exploiter les forces hydrauliques là où l'énergie est disponible, c'est-à-dire*

le long des rivières et autres cours d'eau. Chaque kilowatt-heure d'énergie hydraulique consommé dans le réseau ne doit pas être préparé forcément selon une méthode thermique. Cela signifie économies en uranium, charbon, gaz et pétrole – matières dont nous devons prendre soin. L'économie de combustibles fossiles permet, de plus, de diminuer les pollutions de l'environnement. Grâce à l'échange de courant électrique au niveau international, par l'intermédiaire du réseau interconnecté, une partie de l'énergie hydraulique, qui ne trouve pas de débouché en Suisse, peut être utilisée; l'exportation de courant, avec pour corollaire des importations réduites, en direction des pays voisins, permet à ces derniers d'économiser des combustibles fossiles polluant l'environnement utilisés dans la production de courant et contribue également à l'amélioration de la qualité de l'air.

3. Prévisions établies à ce jour

Une première tentative, datant de l'année 1890, d'évaluer l'énergie hydraulique disponible dans notre pays eut pour auteur l'ingénieur *H. Lauterburg*, ancien directeur du Bureau fédéral central d'hydrométrie.

Une statistique sur l'énergie hydraulique de la Suisse fut élaborée en 1914 par la Division de l'aménagement des eaux du Département fédéral de l'intérieur. Cette étude, due à l'ingénieur *C. Ghezzi*, se basait, dans une large mesure, sur des études cartographiques. La capacité totale disponible de toutes les forces hydrauliques suisses, y compris celles déjà employées, fut estimée à environ 1,75 millions de kW (disponibles pendant 24 heures); elle correspondait à une espérance de production annuelle moyenne d'environ 15 000 GWh.

L'ingénieur *F. Kuntschen*, directeur de l'Office fédéral pour l'économie des eaux, évalua, en 1949, le potentiel de production, en cas de développement de toutes les forces hydrauliques exploitables, à 27–28 000 GWh par année¹.

Bien qu'il soit tenu compte dans ce calcul de quelques installations, qui aujourd'hui ne sont plus à l'ordre du jour, et bien que les centrales citées par Kuntschen n'aient pas toutes été réalisées, ces chiffres de production furent déjà atteints en 1966.

L'Association suisse pour l'aménagement des eaux prit position, en plusieurs occasions, en faveur du développement des forces hydrauliques. Dans ce contexte, elle présenta ses thèses dans la revue «Wasser- und Energiewirtschaft – Cours d'eau et énergie» 59 (1967) fascicule 4. Une prévision fut établie en 1977 dans l'étude No 13 de la série de cahiers de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie: Etendue et signification de l'énergie hydraulique non encore employée en Suisse («wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 69 (1977) fascicule 6/7, p. 127–144).

Une révision du rapport, 5 ans plus tard, fut publiée dans «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 74 (1982) fascicule 7/8, p. 157–164.

Quelques considérations sur le prix de revient du courant de centrales hydro-électriques récentes furent publiées par l'association dans «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 75 (1983) fascicule 11/12, p. 265–267.

Ces études sont analysées et actualisées dans le présent rapport. On s'interroge à nouveau, en particulier, sur la question de savoir à combien s'élève la part du potentiel d'énergie hydraulique non encore employé, en mesure d'être concrétisé jusqu'en l'an 2025.

¹ *F. Kuntschen*: Die Ausbaumöglichkeiten der Schweizer Wasserkraft (Les possibilités de développement de l'énergie hydraulique en Suisse). Tiré à part de la «Schweizerische Bauzeitung», Nos 40, 41, 42.

4. L'exploitation des forces hydrauliques

4.1 La production hydraulique dès les années 90 du siècle passé

La part significative que l'énergie hydraulique a fournie à l'approvisionnement en énergie en Suisse, peut être caractérisée par la quantité de courant, qui a été dégagée dès les débuts de l'exploitation de l'énergie hydraulique: dès les années 90 environ

1×10^{12} kWh (1000 milliards ou 1 billion de kilowattheures) furent produits hydrauliquement et utilisés par le consommateur.

Grâce à ce courant, il fut possible à la Suisse de maintenir la consommation d'autres agents énergétiques à un niveau plus faible; la mise à disposition de cette quantité d'électricité aurait exigé, par exemple, en admettant un rendement de 40 %

215 000 000 t de pétrole ou

307 000 000 t de houille.

Grâce à un développement progressif des forces hydrauliques suisses, notre pays fut en mesure de couvrir durant longtemps tous ses besoins en électricité avec une énergie hydraulique propre. Aucune matière première brute (huile, charbon) ne fut consommée et les émanations nocives purent être évitées.

4.2 L'énergie hydraulique disponible aujourd'hui

Pour le début de 1987, la récapitulation de l'Office fédéral pour l'économie des eaux fait apparaître 448 centrales dotées d'une puissance possible maximale d'au moins 300 kW. Viennent s'ajouter à cela 700 centrales hydro-électriques de plus faibles dimensions. La puissance maximale possible de toutes ces centrales représente juste 11 500 MW. Elles sont en mesure de produire annuellement, en moyenne, environ 32 500 GWh.

Le parc de centrales de la Suisse se compose ainsi d'un grand nombre d'installations disséminées, de manière décentralisée, à travers le pays. Chaque installation, prise individuellement, ne contribue que pour une fraction à l'approvisionnement en électricité; c'est seulement la somme de toutes ces installations qui, en qualité de composante importante de l'approvisionnement en électricité, constitue environ 60 % de la production de courant en Suisse. L'énergie hydraulique contribue pour une part d'environ 50 % (durant l'hiver 1985/86 il s'agissait de 48,9 %) au semestre d'hiver, période critique sous le rapport de l'approvisionnement en énergie.

Les usines au fil de l'eau – pour la plupart des installations basse pression – utilisent l'eau au moment où elle arrive. Leur construction dépend donc du débit des cours d'eau qui les alimentent. En règle générale, le débit ne varie que lentement tout au long d'une journée; il varie, selon les saisons, en fonction des conditions météorologiques et hydrologiques. Les usines au fil de l'eau sont employées pour la couverture de la production de base.

Dans le cas des centrales à accumulation – pour la plupart des installations haute pression – nous faisons la distinction entre centrales à accumulation et centrales à pompage-turbinage. Elles utilisent le volume de retenue créé par les barrages, qui retiennent l'eau – avant tout durant la période bénéficiant d'un régime d'eau élevé – provenant de la fonte des neiges et des glaciers (été) pour alimenter, lors des périodes de forte demande (hiver), les turbines; ces dernières sont alimentées, en général sur de grandes hauteurs de chute, par l'intermédiaire de conduites forcées et de puits.

Centrales à pompage-turbinage; les centrales à accumulation ainsi dénommées utilisent (à part le traitement des

écoulements naturels), en période de faible demande d'énergie, la production de base provenant d'autres usines dans le but de pomper l'eau dans un bassin d'accumulation supérieur; cette eau joue un rôle de réserve disponible lors de périodes de forte demande de courant. Les installations de pompage permettent également d'élargir le bassin versant d'un lac d'accumulation par pompage et soutirage d'eau des vallées voisines.

Dans le cas des centrales à pompage-turbinage, l'on utilise l'énergie d'autres usines pour pomper l'eau d'une rivière, d'un lac ou d'un bassin d'accumulation dans un réservoir situé plus haut avec pour objectif l'alimentation des turbines en période de forte demande d'énergie («valorisation» de l'énergie). Les centrales à pompage-turbinage utilisent plus d'énergie qu'elles n'en produisent. La production d'énergie disponible est ainsi plus faible. A l'avenir, il faudra compter avec un recours accru aux centrales à pompage-turbinage. On construit souvent et l'on construit encore des usines combinées à partir des types cités précédemment.

La quantité d'énergie d'hiver disponible dépend essentiellement du niveau de remplissage des lacs d'accumulation au début du semestre d'hiver et des afflux d'eau durant l'hiver. Pour différentes raisons, un remplissage à 100 % de tous les lacs et leur exploitation intégrale durant l'hiver ne sont pas réalisables:

- Des mesures de sécurité limitent le remplissage intégral d'un lac d'accumulation (volume de protection contre les crues et contre les avalanches, franc-bord).
- En fonction de la situation d'approvisionnement et des conditions météorologiques et hydrologiques, les bassins sont exploités si possible au maximum. La prévision quant aux afflux d'eau reste cependant entachée de grandes incertitudes. Selon l'évolution des conditions météorologiques durant l'automne, les bassins ne sont plus complètement remplis au début de l'hiver; l'eau provenant de fontes des neiges tardives ou l'eau de pluie ne peuvent plus être retenues. Lors d'une fonte des neiges précoce au printemps, le lac d'accumulation n'atteint pas son niveau le plus bas; la réserve, qui aurait été nécessaire pour une fonte des neiges tardive, ne peut dès lors être mise à contribution que plus tard. Les lacs d'accumulation sont situés à différentes altitudes et dans des zones de climats variables. C'est pour ces raisons que la période durant laquelle le niveau de remplissage est au maximum en automne et au minimum au printemps diffèrent selon les installations.
- Une réserve minimale de retenue au printemps est nécessaire en tant que réserve tampon, ce pour des raisons d'exploitation. Lors d'un arrêt, par exemple, de centrales hydro-électriques importantes en Suisse ou à l'étranger, il faut pouvoir faire appel à cette réserve.
- Les conditions qu'impliquent les concessions à l'égard du réseau international, par exemple, ne permettent souvent pas une vidange complète du lac d'accumulation.

La diminution moyenne durant l'hiver du niveau de remplissage des bassins d'accumulation au cours des vingt dernières années s'est élevée à 73 % des ressources énergétiques accumulées (rapport hebdomadaire sur la situation de l'approvisionnement en Suisse, BEW, Berne des dernières vingt années). Les dates de référence sont fin mars et fin septembre. La valeur citée précédemment a également été admise pour de nouveaux bassins. En situation de pénurie, la diminution du niveau de remplissage durant l'hiver peut encore être augmentée légèrement au détriment de la réserve printanière.

4.3 Installations en construction

L'Office fédéral pour l'économie des eaux a établi une liste des 12 centrales en construction au 1-1-1987 (tableau 1). Quelques installations de plus faibles dimensions mises à part, on peut citer la double installation d'Ilanz et l'usine de Tiefencastel. Ilanz I et Ilanz II vont, dès 1989, fournir 260 GWh en moyenne annuelle au réseau. L'espérance moyenne de production de Tiefencastel s'élève à 100 GWh; elle sera disponible dès 1989/90. L'augmentation totale de toutes les installations en construction est évaluée à 467 millions de kWh en moyenne annuelle (à savoir 28 % durant le semestre d'hiver et 72 % en été). Ces installations ont été prises en considération dans notre prévision. Leurs apports représentent environ 1 % de la consommation en électricité de l'année 1986 ou à peu près la moitié de l'augmentation de consommation entre les années 1985 et 1986.

Tableau 1. Centrales hydro-électriques en construction au 1^{er} janvier 1987 (références: Office fédéral pour l'économie des eaux).

1. Bartel VS, nouvelles constructions, étages supérieur et intermédiaire	7. Ilanz I, Tavanasa-Ilanz, GR
2. Buchs SG, extension	8. Ilanz II, Panix-Ilanz, GR
3. Felsenau BE, rénovation	9. La Doux, St-Sulpice NE, rénovation
4. Feusisberg SZ, rénovation	10. Tiefencastel, GR
5. Heiligkreuz VS, extension	11. Vernayaz VS, rénovation
6. Höngg «Am Giessen» ZH, rénovation	12. Zermeiggen VS, station de pompage

4.4 Les variations de la production d'énergie hydraulique

La production d'énergie hydraulique fluctue très fortement au gré des conditions météorologiques. L'écart entre la production d'énergie d'un semestre et l'espérance de production moyenne a été évalué pour les 35 années allant de 1950 à 1985. Durant le semestre d'hiver (1^{er} octobre au 31 mars), la production fluctue entre +25 % en cas de conditions météorologiques favorables et -30 % dans le cas contraire. Ces fluctuations s'élèvent respectivement à +16 % et -25 % durant le semestre d'été (1^{er} avril au 30 septembre).

En tenant compte d'une espérance de production moyenne, en hiver, des centrales existantes de 14 240 GWh, il faut s'attendre à un déficit de production de 4 200 GWh dans le cas du semestre d'hiver le plus défavorable. Cela correspond à la production hivernale d'un bloc thermique de 1 000 MW.

Jusqu'à ce jour, ces fluctuations de production ont pu être équilibrées grâce à des échanges d'énergie avec l'étranger. Nous devons compter avec un domaine de fluctuations analogue pour les futures centrales hydro-électriques.

5. Effets secondaires de l'exploitation de l'énergie hydraulique

5.1 Rôle des centrales hydro-électriques

Le rôle le plus important d'une centrale hydro-électrique consiste en la fourniture de courant, plus particulièrement lorsqu'il y a demande et aux conditions, si possible, les plus favorables.

Maintes centrales hydro-électriques sont des installations à fonctions multiples. Elles servent également à la protection contre les crues et à l'irrigation.

La construction de centrales hydro-électriques contribue à l'amélioration des infrastructures et joue un rôle essentiel dans le développement de l'économie.

5.2 Influences de l'énergie hydraulique sur l'économie publique

Les effets favorables du développement de l'énergie hydraulique sur l'économie publique ont été étudiés à diverses reprises. Les réalités exposées ci-après ne constituent qu'un aperçu. La construction de centrales hydro-électriques a fréquemment contribué à un essor économique, plus particulièrement dans les régions de montagne. Des moyens considérables ont été investis dans l'économie de l'énergie, à part les domaines des échanges commerciaux et du tourisme; nous pensons plus particulièrement à l'exploitation des forces hydrauliques; la mise en oeuvre de ces moyens a eu pour conséquence la création d'emplois. De plus, les avantages financiers importants dégagés de l'exploitation des forces hydrauliques ont permis à un grand nombre de communes montagnardes de mener à terme d'importantes réalisations communales.

Les impulsions que la construction d'une centrale engendre dans une région sont d'autant plus fortes que la capacité économique de cette même région était faible avant le début de la construction. L'exemple de la région de l'Albula et de la Landwasser² a démontré que le niveau de l'emploi et le revenu de la population ont rapidement augmenté; le recul de la population résidente a pu être freiné; on a pu enregistrer dans certains cas des augmentations de population et la situation financière des communes s'est améliorée. Différents travaux d'infrastructure ont été réalisés parallèlement à la construction de la centrale; ces réalisations ont ensuite été cédées à l'ensemble des collectivités de la vallée et amenèrent de sensibles améliorations (meilleures possibilités de communication grâce à la construction de chemins et de routes, meilleur approvisionnement en courant électrique, développement du réseau d'eau potable, construction d'une station d'épuration). A part l'impulsion ponctuelle que la construction des centrales hydro-électriques provoqua sur l'économie locale, il en résulta, lors de la phase d'exploitation ultérieure, un effet durable sur le niveau des revenus de l'ensemble de la région, effet censé durer très longtemps et dont l'importance, dans le cadre du développement économique de l'ensemble de la vallée est capitale. Le versement des salaires aux employés et les impôts communaux mis à part, des montants substantiels sont injectés chaque année dans la région, du fait des centrales hydro-électriques, à titre de droits d'eau et de versements de dividendes garantis que touchent les collectivités locales, en mains desquelles se trouve du capital action. En outre, la population profite de la fourniture d'énergie gratuite, d'énergie de remplacement et d'énergie à des conditions de faveur. Finalement, le droit de dévolution à l'expiration de la concession garantit par moitié au canton des Grisons et aux communes concessionnaires le transfert en leur propriété, gratuitement et libre de charges, de la majeure partie des installations, au sens de l'article 67a de la loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques.

Grâce à l'amélioration de leur situation financière, les communes purent prendre en charge, avec dynamisme, leurs propres projets d'infrastructure (écoles, églises, bibliothèques, assainissements de bâtiments, etc.) Les investissements liés aux centrales hydro-électriques se sont révélés être un puissant stimulant du développement économique de cette région et ont contribué d'une manière décisive à l'amélioration des conditions de vie dans cette région de

² C. Oswald: Auswirkungen von Grossinvestitionen auf die Einkommenslage im Berggebiet (Effet des investissements de grande envergure sur le niveau des revenus dans les régions de montagne). Programme de recherche national sur les problèmes régionaux en Suisse (projet 251) Berne, 1980.

montagne. Une enquête réalisée en 1977 auprès des centrales hydro-électriques du canton des Grisons, complétée par des considérations et des évaluations de l'administration cantonale, mit clairement en évidence que les centrales hydro-électriques revêtent, tant pour le canton que pour les communes, une importance majeure sur les plans économiques, énergétiques et financiers.

L'exode de la population résidente des villages de montagne s'accompagne également d'un recul de l'exploitation des terres agricoles et des forêts. L'alluvionnement des terrains, qui en résulte, représente un danger considérable. Seule l'amélioration des conditions d'existence est en mesure de contrecarrer avec succès le dépeuplement des régions de montagne. L'exploitation de l'énergie hydraulique fournit une contribution non négligeable à la réalisation d'un objectif supérieur: l'encouragement aux régions de montagne et, indirectement, la protection des sites.

5.3 Protection contre les crues

L'exploitation des forces hydrauliques contribue à diminuer les risques de crues. De plus, le niveau supérieur des lacs naturels situés en aval diminue grâce à la régulation des bassins d'accumulation, ce que l'on peut considérer comme un avantage. Grâce à la régulation des bassins, les écoulements naturels dans les cours d'eau en aval sont plus faibles en été et les variations de niveau des hautes eaux significativement plus faibles. En hiver, les masses d'eau sont exploitées et recyclées dans les cours d'eau.

6. Energie hydraulique et atteintes à l'environnement

6.1 Altérations du paysage

Le paysage suisse est, pour une grande partie, un paysage de terres cultivables façonné par la main de l'homme, sur lesquelles on construit et dont on altère le visage au cours des siècles. Dès le tournant du siècle, les activités de l'homme influencèrent le paysage plus rapidement et plus intensément du fait de l'emploi de machines et de véhicules de haut rendement.

Le passage du moulin à eau à la centrale hydro-électrique eut une influence plus prononcée sur le paysage – elle prit de l'importance parallèlement aux rendements énergétiques toujours plus élevés tirés des installations.

Même si ce n'est qu'au cours des dernières années qu'un cercle toujours plus large de personnes devint sensible à la beauté des sites, il faut rendre justice aux constructeurs de centrales hydro-électriques qu'ils ont toujours cherché à intégrer leurs installations dans le paysage. Que l'on ne puisse cacher complètement une centrale est une notion admise sans réserve. L'eau, également, ne peut s'écouler tranquillement dans les rivières et actionner en même temps les turbines!

C'est avec fierté que l'on montrait les premières usines. Des centrales d'une architecture élégante (Albbruck-Dogern, Kallnach) et des «conquérants» de paysage (barrage de Rossens, conduite forcée Ritom) témoignent de l'assurance de leurs constructeurs. Grâce aux lacs d'accumulation, plus d'une vallée a gagné en séduction. Le col du Grimsel avec ses lacs d'accumulation est devenue une attraction touristique.

Les mouvements de population, les infrastructures ferroviaires et routières, les terres agricoles ayant subi de vastes restructurations, l'industrialisation et les constructions touristiques ont rompu l'équilibre de plus d'un paysage. Une réflexion est en passe de s'instaurer. Une nature n'ayant

pas subi l'emprise de l'homme, respectivement le paysage deviennent de plus en plus des objets dignes de protection. Il faut admettre que la construction et l'exploitation d'une centrale hydro-électrique entraînent une certaine atteinte au paysage. Ce n'est pas le fait d'un comportement inconsideré, mais seulement après un examen attentif de la part des autorités. Les avantages et désavantages du projet sont soigneusement pesés avant qu'une décision ne soit prise.

Avec la nouvelle loi sur la protection de l'environnement (art.9), on assiste à la mise en oeuvre d'un nouvel instrument de travail, l'étude d'impact sur l'environnement (EIE), (voir chapitre 8.3).

6.2 Variation des conditions de débit

Il est dans la nature des choses que l'exploitation des forces hydrauliques provoque des variations de débit dans des cours d'eau. Ces fluctuations quantitatives peuvent être calculées lors de la planification. L'interprétation de la fluctuation est plus délicate, car l'impact sur la flore et la faune est difficile à cerner; les débits peuvent, d'une manière toute naturelle, fluctuer fortement, car les périodes de hautes eaux comme les périodes de sécheresse sont l'apanage d'un cours d'eau. Ainsi que le montrent les premiers rapports EIE, l'interprétation de la fluctuation et son évaluation sont très difficiles. Les autorités, auxquelles appartient le pouvoir de décision, disposent d'une large marge de manœuvre lorsqu'elles doivent, dans le cas de la construction d'une centrale hydro-électrique, tenir compte de l'intérêt général et peser les avantages économiques et énergétiques ainsi que les dommages que pourraient engendrer des variations de débit.

6.3 Influence sur le climat

Une expérience de plus de 90 années avec nos nombreuses centrales hydro-électriques a démontré qu'il n'est pas possible de trouver une corrélation entre des fluctuations climatiques, d'une part, et la construction et l'exploitation de ces centrales, d'autre part. Les influences prévisibles se dissipent tout au plus dans le cadre de la dispersion naturelle qui affecte les valeurs climatiques mesurées. Nous pouvons admettre que les influences climatiques sont négligeables en ce qui concerne les futures centrales.

6.4 Interventions passagères durant la construction

Durant sa construction, la centrale hydro-électrique comme toute construction importante, amène son lot de nuisances. Ces dernières peuvent du reste être minimisées grâce à des mesures idoines; les éliminer complètement n'est pas possible.

Ces interventions doivent être prises en considération lors de l'évaluation des divers intérêts en cause.

6.5 Comparaison des atteintes à l'environnement de divers modes de production d'énergie

Diverses études l'ont démontré, la production d'énergie électrique par des centrales hydro-électriques est, parmi les différentes méthodes de transformation d'énergie, l'une de celles présentant le plus faible impact sur l'environnement. L'eau ne subit pas de pollution ou d'altération quant à sa qualité et l'on ne constate pas d'émanations nocives dans l'air. La nature met à disposition l'énergie hydraulique de manière ininterrompue, les forces hydrauliques sont constamment régénérées. Les atteintes à l'environnement que provoquent le maintien de volumes de retenue et les constructions sont connues. Elles sont généralement acceptées, les installations construites à ce jour l'ont démontré. C'est aux autorités politiques que revient la décision de savoir si

d'autres dommages causés par les centrales hydro-électriques peuvent être tolérés.

6.6 Pollutions de l'environnement causées par la consommation d'énergie

Ce n'est pas seulement lors de la mise à disposition de l'énergie qu'interviennent de fâcheuses pollutions de l'environnement mais également lors de l'utilisation. L'utilisation de l'électricité n'engendre aucune émanation, tout au contraire des autres agents énergétiques qui, dans ce contexte, ont une position nettement plus défavorable. Une évaluation comparative de toutes les atteintes à l'environnement provoquées par l'ensemble de la chaîne énergétique (par rapport aux diverses activités humaines) serait désirable.

7. Diminution de la production d'électricité par voie hydraulique

7.1 Mise hors service de centrales hydro-électriques

Lorsque de petites et très petites installations sont mal entretenues durant des décennies ou que des dommages importants surgissent, par exemple, à la suite de crues, se pose alors le problème des investissements à engager. Si ces derniers ne peuvent plus se justifier, l'une ou l'autre centrale est mise hors service. Si, lors de l'engagement des investissements ou à l'expiration de la concession, l'on augmente encore le débit minimal, le danger devient aigu de devoir interrompre l'activité d'une centrale.

La perte de production d'énergie due à la mise hors service de petites centrales hydro-électriques peut être négligée dans le cadre de nos considérations.

7.2 Alluvionnement des lacs d'accumulation

Le construction de centrales hydro-électriques n'entrave l'érosion naturelle que dans une faible mesure. Une partie des matériaux désagregés est retenue dans les bassins artificiels. Ces dépôts peuvent contrecarrer l'exploitation de la centrale et réduire la production d'énergie. En ce qui concerne la période considérée, les pertes prévisibles peuvent à vrai dire être négligées. Les petits bassins d'accumulation sont curés de temps en temps ou dragués; dans les lacs d'accumulation de grandes dimensions, les matériaux se déposent la plupart du temps en des endroits où ils ne nuisent pas à la production d'énergie. Sur le plan national, la perte en volume d'accumulation n'entre pour ainsi dire pas en ligne de compte.

7.3 Pertes de production du fait de la progression des glaciers

D'autres pertes de production sont possibles dans le cas de quelques captages d'eau, lesquels sont recouverts par la progression des glaciers vers l'aval. Considérées sur le plan national, ces pertes ne devraient pas retenir l'attention.

7.4 Pertes d'énergie du fait de l'accroissement des exigences relatives aux débits minimaux

Voir chapitre 8.2 et 9.6

8. Eléments qui jouent un rôle dans le développement de l'énergie hydraulique

Lorsque la nécessité d'une installation est démontrée et que des projets sanctionnés par les autorités politiques et conformes à l'environnement sont présentés, la centrale hydro-électrique devrait être construite dans des délais raisonnables pour autant qu'un maître d'œuvre soit prêt à la réaliser.

Ces dernières années, le temps et les frais investis jusqu'au démarrage du chantier ont continuellement augmenté, alors que, dans le même temps, les prévisions sur les chances de réalisation devenaient plus floues.

Lors de l'analyse des possibilités de réalisation, la longue durée des travaux préparatoires et les incertitudes inhérentes au projet devraient être prises en considération dans le cadre de la législation actuellement en vigueur et de son application.

Les bases juridiques les plus importantes relatives à la construction et à l'exploitation des aménagements hydrauliques sont mentionnées à l'article 24^{bis} sur l'économie des eaux de la Constitution fédérale, article qui est à la base aussi bien de la loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques que de la loi fédérale sur la protection des eaux. Un grand nombre d'autres lois fédérales, ordonnances, etc., de même que les arrêtés cantonaux correspondants doivent encore être pris en considération. La législation et son application sont soumises à de perpétuelles modifications. Il faut empêcher que d'autres obstacles d'ordre juridique et administratif n'entravent le développement futur de l'énergie hydraulique.

Nous considérons que les possibilités de réaliser des extensions sensiblement plus rapidement que nous voulons bien l'admettre, sont limitées. Dans cette optique, diverses entraves d'ordre juridique qui se dressent au devant du développement de l'énergie hydraulique devraient être éliminées, ce à titre de mesures secondaires. Les mécanismes de décision pour l'obtention de concessions, respectivement d'autorisations devraient être accélérés, de même que le déroulement des procès en cas de litige. L'expérience montre que de tels changements prennent du temps. Les modifications suivantes de la législation sont à l'étude au niveau fédéral:

8.1 Révision de la loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques

La loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques dont l'origine remonte au 22 décembre 1916 et qui, presque sans modification, a gardé sa validité jusqu'à nos jours, doit être revue ces prochains temps. Une commission d'étude a déposé en 1983 un avant-projet d'une «loi fédérale sur l'utilisation des eaux et de la force hydraulique» qui a été mis en consultation. Sur la base de ces travaux préparatoires, une révision partielle de cette loi, décidée par le parlement, est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1986. Elle concerne les redevances en matière de droits d'eau, les niveaux de qualité et les dédommagements pour pertes fiscales. D'autres points soulevés lors de cette révision, plus particulièrement la régulation des redevances du pompage par accumulation et la modernisation des installations existantes, doivent être traités lors d'une deuxième étape.

Il n'est pas encore certain aujourd'hui que la nouvelle loi apportera, dans les proportions souhaitées de divers côtés, les facilités de transformations, agrandissements et rénovations de vieilles centrales hydro-électriques.

8.2 Révision de la loi fédérale sur la protection des eaux

Dans un message du 29 avril 1987 (rendu public à fin juin 1987), le Conseil fédéral soumet au parlement sa position sur l'initiative populaire «pour la sauvegarde de nos eaux» et sur la révision de la loi fédérale sur la protection des eaux. Le message contient une proposition relative aux dispositions d'exécution destinées à garantir des débits minimaux convenables, tels qu'ils sont prévus dans l'article constitutionnel 24^{bis}.

Toute augmentation des débits minimaux restreint la quantité d'eau destinée à la production d'électricité. Les pertes d'énergie prévisibles sont traitées au chapitre 9.6.

Jusqu'à ce que cette loi d'exécution de la Confédération soit disponible, ce sont les cantons qui décident, lors de l'octroi de concessions, ce qui dans chaque cas est «convenable» et exigent des débits minimaux appropriés. Cette pratique était courante jusqu'à aujourd'hui. Dans les anciennes concessions figure ce qui, à l'époque de l'octroi de la concession, avait été considéré comme convenable. Une augmentation des débits minimaux pour les installations dont les concessions courent (fondée aujourd'hui sur une analyse différente) entraîne que la communauté concédante est tenue à indemnisation (droits acquis).

8.3 L'étude de l'impact sur l'environnement

La nouvelle loi sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1985, fixe à l'article 9 les dispositions fondamentales de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE).

Les premières expériences avec l'EIE, par exemple dans le cas des centrales hydro-électriques de Oberhasli (agrandissement), de Brusio (rénovation des installations existantes) et de Wynau (rénovation des installations existantes) sont en train d'être rassemblées. Ce sont les cantons qui décident de la procédure dans le cadre de la loi sur la protection de l'environnement, l'ordonnance relative à l'EIE n'étant pas encore en vigueur.

L'ordonnance relative à l'étude d'impact sur l'environnement (EIE-O) fixera et réglementera probablement le processus d'application et les types d'installation qui seront soumis à l'EIE. Les centrales hydro-électriques de moyennes et grandes dimensions seront très certainement soumises à l'EIE. La limite concernant les centrales de petites dimensions, qui peuvent être construites sans EIE, n'est pas encore définie.

Il est possible que le laps de temps s'écoulant de la planification jusqu'à l'exécution des travaux d'une centrale hydro-électrique augmentera sensiblement du fait de l'EIE. Cette prolongation, qui peut se cumuler avec d'autres retards, complique notablement les prévisions d'augmentation de production des centrales hydro-électriques.

8.4 Arrêté fédéral prévoyant une réserve relative aux débits minimaux

L'arrêté fédéral instituant une réserve relative aux débits minimaux, telle qu'elle figure dans le projet, ne permettrait plus de rendre obligatoire dans la concession l'ampleur de l'utilisation des eaux (ceci aussi bien pour les installations nouvelles que lors de renouvellements de concession). La quantité d'eau qu'une installation projetée peut effectivement utiliser représente une incertitude qui rend la décision de construire plus difficile. Le maître d'œuvre potentiel se voit dès lors confronté avec un risque supplémentaire avec lequel il doit compter, mis à part la course d'obstacles politico-juridique pour l'obtention de concessions et de permis de construire, le renchérissement, les frais financiers, le développement de la consommation de courant, les risques géologiques, etc.

9. Apport futur de l'énergie hydraulique

9.1 Procédure, projets de nouvelles centrales hydro-électriques

Le développement progressif des forces hydrauliques de notre pays, destinées à la production du courant, débuta au tournant du siècle; il dure aujourd'hui encore. Lors de chaque étape et dans la mesure du possible, les forces hydrau-

liques furent utilisées de manière opportune, respectivement optimale selon l'optique des constructeurs de jadis. Sans cesse, des projets virent le jour pour mettre en valeur des hauteurs de chute pas encore mises à profit – pour autant qu'elles permettent une utilisation des forces hydrauliques et qu'elles entrent effectivement en considération.

Ces projets, chacun à un stade d'avancement différent, furent rassemblés, évalués et analysés; ils servirent de base pour les prévisions de 1977 et 1982 élaborées par l'association. Des plans de transformations de différentes installations sont connus; ils ont également été réunis. La base de données a été complétée et mise à jour. Dans quelques cas isolés, il fut possible d'obtenir des données plus complètes auprès des initiateurs.

Les critères suivants ont été appliqués lors de l'analyse, laquelle a été entreprise, selon les possibilités, avec la collaboration du responsable de l'établissement des projets et du maître d'œuvre potentiel:

- Du point de vue économie énergétique, un projet doit être raisonnable, c'est-à-dire correspondre aux besoins et être économiquement viable à long terme. Cela implique qu'il faut être conscient que le courant va se raréfier avec le temps et qu'il faudra se le procurer à des prix plus élevés en termes réels.
- Un projet doit s'adapter à l'environnement. En ce qui concerne les projets et avant-projets examinés, il n'existe à ce jour pas encore d'études d'impact sur l'environnement. Il faut admettre que tous les projets ne subiront pas cet examen sur un pied d'égalité, chaque installation étant susceptible d'influencer et de modifier l'environnement de par ses propres caractéristiques.
- Un projet doit pouvoir se justifier selon des critères politiques sur le plan régional. Il doit être accepté aussi bien par la population que par les représentants des pouvoirs politiques. La propension à accepter la construction d'une centrale peut varier sensiblement avec le temps.
- Un projet doit être mené à terme en un laps de temps raisonnable. Les travaux préliminaires, qu'ils relèvent de la technique ou des contingences politiques, peuvent durer des années si ce n'est des dizaines d'années. Il faut ajouter encore le temps (difficile à évaluer) consacré aux procédures d'obtention de concessions et d'autorisations ainsi qu'à tous les démêlés juridiques qui peuvent éventuellement surgir.

Dans notre prévision, nous avons tenu compte, en premier lieu, des projets dont nous pouvons présumer qu'ils remplissent (au besoin avec encore des réserves) les critères énoncés précédemment. Il faut sans autre admettre que le développement futur de notre énergie va s'étaler dans le temps.

9.2 Transformations et agrandissements

Des transformations, agrandissements et rénovations sont déjà arrêtés pour diverses installations. Nous avons tenu compte dans notre prévision, selon la procédure décrite au chapitre 9.1, des projets connus (les plus conséquents).

Des transformations, rénovations et agrandissements de peu d'importance sont réalisés couramment. Ils servent en premier lieu à garantir et à assurer la capacité de production de ces installations. Selon les possibilités, on cherche en même temps à augmenter quelque peu la production. Les quantités d'eau captées et/ou les hauteurs de chute utiles sont augmentées; il en va de même pour les rendements et les volumes d'eau absorbés par les turbines, respectivement par les génératrices. Ces améliorations et transformations courantes font partie intégrante de notre prévision mais ne sont pas spécialement explicitées.

9.3 Données prévisionnelles à long terme

Jusqu'en l'an 2010 nous avons tenu compte des conditions politiques et sociales actuelles. La consommation d'électricité suit une courbe ascendante. Des signes d'un fléchissement continu des taux d'augmentation sont perceptibles. Les procédures, au cours de ces derniers temps, sont devenues de plus en plus compliquées et coûteuses, avec pour résultat de confronter le maître d'œuvre avec des risques qui sont à peine calculables. Nous sommes cependant d'avis que quelques projets vont encore être menés à terme. En liaison avec les scénarios de désengagement nucléaire, il faut s'attendre au cours de ces prochaines années à des décisions politiques dans le cadre de l'énergie hydraulique également. Nous devons décider si nous continuons à promouvoir l'énergie hydraulique ou si nous sommes en mesure d'assumer un moratoire formel ou de facto dans le cadre des centrales hydro-électriques. Un moratoire éventuel serait très vite suivi d'effets. La décision de faire appel, d'une manière encore plus étendue, à l'énergie hydraulique, en tant que source d'énergie indigène et favorable à l'environnement, est difficile à évaluer aujourd'hui; elle ne sera suivie d'effets, le cas échéant, qu'à long terme seulement, plus précisément aux alentours de 2025.

Le potentiel technico-commercial de l'exploitation future de l'énergie hydraulique, entre 2010 et 2025, comprend:

- les projets connus à ce jour auxquels il n'est pas possible de dénier une chance de réalisation (même en cas de coûts croissants de l'énergie, respectivement en cas de pénurie marquée),
- les possibilités supplémentaires, qui ne peuvent être considérées comme réalisables en l'état actuel.
- Les possibilités encore envisageables d'une amélioration qualitative de la production d'énergie hydraulique ne sont connues que partiellement. On est à la recherche d'autres possibilités d'accumulation, de petite ou grande envergure, destinées au captage de débits estivaux qui pourront être turbinés en hiver. Ces possibilités d'accumulation, qu'elles soient nouvelles ou qu'elles procèdent d'augmentations de capacité, permettent d'adapter la production aux besoins.
- en déduction, les projets qui se révéleront comme non réalistes jusque là.

Les possibilités dont on n'a pas tenu compte à ce jour et les projets qui devront impérativement être abandonnés, s'équilibrent à peu près. Seule une partie du potentiel mis en évidence ici pourra se concrétiser jusqu'en 2025.

Nous sommes partis de l'idée que l'énergie hydraulique sera encore l'objet d'une attention soutenue au-delà des années 2005/2010 dans l'optique d'une sécurité d'approvisionnement en électricité. La concrétisation de possibilités de production supplémentaires sera encouragée sur une large échelle et considérée comme une tâche d'importance nationale. En conséquence, les obstacles d'ordre juridique et administratif (dans le cadre d'un état de droit) seront à nouveau abolis. Même dans ces conditions, le potentiel technico-économique disponible non encore exploité jusqu'en 2010 ne sera développé que partiellement à l'horizon de l'an 2025.

Si l'on devait décider de renoncer à un développement futur de l'énergie hydraulique et se procurer l'électricité par d'autres voies, cela entraînerait un arrêt de tout développement. Il faut dès lors compter avec une stagnation des possibilités de production, voire même avec une diminution si les dispositions relatives à de nouveaux débits minimaux sont rendues obligatoires.

L'augmentation que nous pouvons attendre des centrales

hydro-électriques d'une capacité possible maximale de plus de 10 MW, aussi bien en ce qui concerne les nouvelles constructions que les agrandissements, s'élève à:

augmentation hivernale	1680 GWh
augmentation estivale	1940 GWh
augmentation moyenne annuelle	3620 GWh

Jusqu'en 2025, nous pouvons compter avec les valeurs suivantes:

augmentation hivernale	1930 GWh
augmentation estivale	2330 GWh
augmentation moyenne annuelle	4260 GWh

Pour arriver à ces chiffres de production, il faut mettre en œuvre de l'énergie de pompage. C'est ainsi que l'on pompe surtout l'eau d'été dans les bassins nouvellement construits en vue de l'utiliser en hiver pour la production de courant. Sur une année en moyenne, nous pouvons compter sur des quantités supplémentaires d'énergie de pompage qui s'élèvent à:

	jusqu'en 2005	jusqu'en 2025
énergie de pompage hivernale	150 GWh	150 GWh
énergie de pompage estivale	630 GWh	700 GWh
énergie de pompage moyenne annuelle	780 GWh	850 GWh

9.4 Centrales hydro-électriques de faibles dimensions

Les extrapolations du potentiel qui réside encore dans le développement futur des centrales hydro-électriques de faibles dimensions ont été établies dans l'étude *Desserich & Funk*³. L'exploitation supplémentaire, respectivement les prévisions pour l'an 2025 atteignent des valeurs situées entre

- 1450 GWh/année sans mesures d'encouragement supplémentaires et
- 2250 GWh/année avec des mesures d'encouragement précises.

Dans ce contexte, nous admettons que l'électricité obtenue se répartit à raison de 1/3 en hiver et 2/3 en été.

L'exploitation de l'énergie, qui n'est pas utilisée actuellement dans les approvisionnements en eau potable, n'est pas suspecte au regard des conditions écologiques. On monte de nos jours des dissipateurs d'énergie entre les réservoirs d'eau potable et les réseaux de distribution. Il est possible d'installer à leur place des turbines et des génératrices (de très petites dimensions et normalisées). Selon une étude de *Jean-Pierre Bourquin*⁴, le potentiel supplémentaire susceptible d'être dégagé jusqu'en 2025 se monte à 80 à 90 GWh/année.

De très nombreuses installations doivent être construites respectivement agrandies si l'on veut dégager des centrales hydro-électriques de faibles dimensions une contribution significative pour l'approvisionnement total en énergie. Chaque usine se trouve sur une rivière ou sur ses rives, la plupart en des endroits exposés. Une réalisation implique une procédure complète d'obtention de concessions et d'autorisations. De telles procédures sont coûteuses et leur issue souvent incertaine. Lorsqu'une opposition quelcon-

³ *Desserich et Funk*; Bureau d'ingénieurs, 6005 Lucerne: Energiepotential aus Kleinwasserkraftwerken (Potentiel énergétique des centrales hydro-électriques de faibles dimensions). Etude sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, avril 1987.

⁴ *Jean-Pierre Bourquin, Broc*: Energiepotential aus Kleinwasserkraftwerken in Wasserversorgungsanlagen und bei Getreidemöhlen (Potentiel énergétique de centrales hydro-électriques de faibles dimensions dans les installations d'approvisionnement en eau potable et moulins à céréales). Etude sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, avril 1987.

que se met en devoir de faire valoir les plus petits préjudices, une réalisation peut très vite être remise en question. Dans bien des cas, les emplacements favorables ont déjà été mis à profit, de telle manière qu'il ne reste que peu d'emplacements intéressants. Dans le cadre de notre prévision, nous avons utilisé des valeurs un peu plus faibles que celles figurant dans l'étude Desserich & Funk, L'accroissement d'énergie des centrales hydro-électriques de faibles dimensions (d'une capacité maximale possible de moins de 10 MW) a été budgété, jusqu'en 2025, à 720 GWh/année, y compris la mise à contribution des approvisionnements d'eau potable pour la production d'énergie. De ces 720 GWh, 240 peuvent être attribués au semestre d'hiver et 480 au semestre d'été. La répartition en fonction du temps présente des caractéristiques à peu près linéaires.

9.5 Augmentations de production et construction d'autres centrales à pompage-turbinage

L'augmentation de la production d'énergie va de pair avec l'augmentation de la puissance disponible. Cela correspond jusqu'en l'an 2005 à une augmentation de puissance de 2140 MW. L'augmentation pourrait être de 2280 MW jusqu'en 2025 (tableau 2).

Tableau 2. Puissance additionnelle installée correspondant aux centrales hydro-électriques prises en compte dans notre prévision.

	jus- qu'en 1990	jus- qu'en 2005	jus- qu'en 2010	jus- qu'en 2025
Puissance installée en MW	180	2140	2170	2280

Les centrales, qui turbinent l'eau d'accumulation, peuvent également être édifiées avec de plus grandes capacités, pour autant que cela paraisse opportun au moment de la construction.

L'augmentation de la capacité des différentes centrales à accumulation est possible, moyennant des frais supportables; elle n'entraîne cependant pas de gain d'énergie supplémentaire. Une puissance utile plus élevée n'intervient que lorsqu'elle est employée pour couvrir les pointes de consommation et assurer la sécurité de fonctionnement du réseau.

Les possibilités de construction, en Suisse, de *centrales à pompage-turbinage* restent pendantes. Des emplacements très variés sont connus, qui conviendraient à une construction. Ce sont les besoins du réseau, qui définissent la construction elle-même.

Les prévisions relatives à la mise en chantier de nouvelles centrales à pompage-turbinage, dotées d'une puissance additionnelle, ne trouvent leur justification qu'après analyse du développement du réseau; elles sont, dans une large mesure, indépendantes du potentiel de forces hydrauliques.

9.6 Pertes d'énergie suite à des exigences supplémentaires relatives aux débits minimaux

Des exigences relatives à de plus grands débits minimaux, aussi bien pour les centrales hydro-électriques en activité que pour celles à venir, ont trouvé leur finalité dans l'article 24^{bis} de la constitution fédérale relatif à l'économie des eaux, lequel fixe ce qui suit: la Confédération édicte les dispositions prévoyant une *réserve relative aux débits minimaux convenables*. Cette disposition constitutionnelle doit être entérinée dans la nouvelle loi sur la protection des eaux (chapitre 8.2).

Tout débit minimal soustrait implique une diminution de

production de courant d'une centrale hydro-électrique. Il est nécessaire, dans le cadre de cette étude, de se faire une idée des implications énergétiques qu'engendrent de futures dispositions relatives aux débits minimaux.

Nous avions à disposition, en tant qu'éléments de base, les formulations de l'avant-projet, tel qu'il a été mis en consultation. Des modifications, qui furent apportées au projet après la procédure de consultation, ne purent plus être prises en considération, le texte du message n'ayant été publié que fin juillet 1987.

Il est prévu que la loi fédérale (selon une formule) fixe pour la Suisse entière les débits minimaux valables (1^{re} étape); ces derniers sont susceptibles, dans des cas particuliers, d'être encore augmentés (EIE dans une seconde étape). Ces augmentations sont arrêtées lors de l'octroi ou du renouvellement d'une concession, plus précisément lorsque le propriétaire de l'ouvrage n'est pas en mesure de faire valoir des dommages.

L'association a tenté, dans le cadre de la consultation, d'évaluer globalement les quantités d'énergie perdues, qui résultent de la loi. A cet effet, elle s'est appuyée sur diverses calculations dans lesquelles les exigences minimales (1^{re} étape) furent déterminées avec précision, de même que sur des extrapolations de quelques cantons. Selon l'appréciation des exigences ultérieures de la 2^e étape (pour le niveau desquelles le texte du projet et les explications ne fournissent que des données succinctes), l'impact, après renouvellement de toutes les concessions, fut évalué à *3000 à 4500 GWh en moyenne annuelle*. Les ruisseaux et rivières présentant en hiver un débit sensiblement plus faible, c'est à cette époque que la dotation est plus élevée. La répartition des pertes d'énergie sur l'été et l'hiver a été admise dans un rapport de 1 à 2.

Jusqu'en 2005 55 concessions arriveront à échéance, jusqu'en 2025 25 de plus. Elles représentent une puissance d'environ 750 MW (jusqu'en 2005), respectivement 500 MW supplémentaires (jusqu'en 2025).

En ce qui concerne ces installations, dont les concessions datent des années 1925 à 1945 (une concession est octroyée en règle générale pour 80 ans), la perte d'énergie due aux débits minimaux devrait se révéler proportionnellement supérieure à la moyenne nationale.

En plus des renouvellements de concession, suite à leur expiration, il faut s'attendre à des renouvellements anticipés, dont l'objet est de permettre la transformation et l'extension des installations. Si l'on élève (ce qui est à prévoir) les dotations de débits minimaux lors de la mise à l'enquête de projets de transformation avant l'expiration de la concession, le propriétaire de centrales hydro-électriques n'aura plus aucune raison de développer ses installations et de les adapter aux derniers standards de la technique et du marché. Les pertes d'énergie dues à l'élévation des volumes d'eau de dotation annulent, à brève échéance, les avantages d'une transformation, ce qui entraîne un abandon des travaux. La nouvelle loi sur la protection des eaux peut dès lors constituer un élément inhibiteur pour la modernisation du parc de centrales hydro-électriques – au détriment de notre économie publique et énergétique.

Des exigences supplémentaires relatives aux débits minimaux peuvent être imposées moyennant dédommagement. Tout considéré, nous pensons qu'une fois les prescriptions relatives aux débits minimaux en vigueur, ces dernières seront suivies d'exécution plus rapidement que cela n'aurait été le cas à l'expiration des concessions de droits d'eau. C'est la raison pour laquelle nous avons introduit dans notre prévision les valeurs suivantes, lesquelles doivent encore être analysées sur la base du message du 29 avril 1987, re-

Tableau 3. Pertes d'énergie des suites d'une élévation des dotations de débits minimums en moyenne annuelle (GWh).

	jusqu'en 2005	jusqu'en 2010	jusqu'en 2025
Hiver	400	460	640
Eté	200	230	320
Moyenne annuelle	600	690	960

spectivement sur la base du texte de loi définitif. A cet effet, de nombreuses centrales doivent être vérifiées sur la base de courbes des débits classés de cours d'eau et de volumes d'eau de dotation. L'évaluation des exigences ultérieures peut se faire en tenant compte d'un large domaine d'appréciation (tableau 3).

Les dotations entrent en ligne de compte particulièrement lors d'hivers froids présentant des débits naturels de faible importance, lorsque la production des centrales au fil de l'eau est restreinte du fait des conditions naturelles et que la consommation d'électricité est élevée.

Si l'initiative populaire «pour la sauvegarde de nos eaux» devait être acceptée par le peuple et les cantons, il faudrait compter avec des exigences relatives aux débits minimaux beaucoup plus sévères et dont les bases d'appréciation manquent encore.

L'Office fédéral pour la protection de l'environnement estime dans sa lettre du 13 février 1987, adressée à l'Office fédéral de l'énergie – que les pertes d'énergie dues aux exigences relatives aux débits minimaux sont sensiblement plus faibles. La discordance d'interprétation réside principalement dans les points suivants:

- L'Office fédéral pour la protection de l'environnement estime les exigences relatives aux débits minimaux, qui sont exigées par les cantons en plus des exigences minimales, sur la base des études d'impact sur l'environnement, à un niveau sensiblement plus faible que l'Association suisse pour l'aménagement des eaux.
- Une fois la loi sur la protection des eaux en vigueur, il sera demandé des dotations supplémentaires lors de chaque modification de concession, aussi minime qu'elle puisse être. Cela signifie que la loi a un effet plus rapide que se que l'on peut calculer sur la base des expirations de concession.
- Les facilités accordées par les réglementations d'exception selon le message ne sont pas encore prises en compte par l'association.

9.7 Récapitulation des valeurs

La possibilité de production moyenne supplémentaire que l'on est en droit d'attendre d'un développement de l'énergie hydraulique suisse se compose de la contribution des centrales hydro-électriques de faibles dimensions (chapitre 9.4) et de celle des centrales hydro-électriques dont la puissance maximale possible est supérieure à 10 MW (chapitre 9.3).

L'énergie de pompage nécessaire (particulièrement en été) pour produire plus d'énergie d'hiver par transfert d'eau est également citée. Cette énergie de pompage peut provenir d'installations hydrauliques ou thermiques.

Le déficit de production, dû aux exigences plus élevées relatives aux débits minimaux, auquel nous devons nous attendre en cas d'acceptation d'une nouvelle loi sur la protection des eaux, figure dans la récapitulation conformément au chapitre 9.6. La variation en fonction du temps des dispositions relatives aux débits minimaux figure également dans la récapitulation.

Les tableaux 4 à 6 font ressortir ces chiffres pour l'hiver, l'été et en moyenne annuelle pour les différentes dates de référence.

Tableau 4. Semestre d'hiver – Espérance de production moyenne supplémentaire à partir de centrales hydro-électriques.

En GWh durant le <i>semestre d'hiver</i>	jus- qu'en 1990	jus- qu'en 2005	jus- qu'en 2010	jus- qu'en 2025
Augmentation à partir de centrales hydro-électriques de faibles dimensions	30	120	150	240
Augmentation à partir de centrales hydro-électriques d'une puissance maximale possible de plus de 10 MW	105	1680	1750	1930
Total	135	1800	1900	2170
Déficit de production suite aux exigences relatives aux débits minimums	—	–400	–460	–640
Augmentation totale	135	1400	1440	1530
Energie de pompage supplémentaire nécessaire	0	–150	–150	–150
Différence	135	1250	1290	1380

Tableau 5. Semestre d'été – Espérance de production moyenne supplémentaire à partir de centrales hydro-électriques.

En GWh durant le <i>semestre d'été</i>	jus- qu'en 1990	jus- qu'en 2005	jus- qu'en 2010	jus- qu'en 2025
Augmentation à partir de centrales hydro-électriques de faibles dimensions	30	240	300	480
Augmentation à partir de centrales hydro-électriques d'une puissance maximale possible de plus de 10 MW	305	1940	2000	2330
Total	335	2180	2300	2810
Déficit de production suite aux exigences relatives aux débits minimums	—	–200	–230	–320
Augmentation totale	335	1980	2070	2490
Energie de pompage supplémentaire nécessaire	—	–630	–640	–700
Différence	335	1350	1430	1790

Tableau 6. Moyenne annuelle – Espérance de production moyenne supplémentaire à partir de centrales hydro-électriques.

En GWh en <i>moyenne annuelle</i>	jus- qu'en 1990	jus- qu'en 2005	jus- qu'en 2010	jus- qu'en 2025
Augmentation à partir de centrales hydro-électriques de faibles dimensions	60	360	450	720
Augmentation à partir de centrales hydro-électriques d'une puissance maximale possible de plus de 10 MW	410	3620	3750	4260
Total	470	3980	4200	4980
Déficit de production suite aux exigences relatives aux débits minimums	—	–600	–690	–960
Augmentation totale	470	3380	3510	4020
Energie de pompage supplémentaire nécessaire	—	–780	–790	–850
Différence	470	2600	2720	3170

Dans les tableaux 7 à 9, les chiffres sont comparés à l'énergie hydraulique moyenne disponible actuellement. Le développement de la puissance disponible est traitée au chapitre 9.5.

Tableau 7. Semestre d'hiver – Espérance de production moyenne à partir de centrales hydro-électriques existantes et futures.

En GWh durant le <i>semestre d'hiver</i>	2005	2010	2025
Centrales existantes ¹	14500	14510	14550
Développement futur de l'énergie hydraulique	1800	1900	2170
Dotation supplémentaire de débits minimums	–400	–460	–640
Total	15900	15950	16080

Tableau 8. Semestre d'été – Espérance de production moyenne à partir de centrales hydro-électriques existantes et futures.

En GWh durant le <i>semestre d'été</i>	2005	2010	2025
Centrales existantes ¹	18850	18850	18850
Développement futur de l'énergie hydraulique	2180	2300	2810
Dotation supplémentaire de débits minimums	–200	–230	–320
Total	20830	20920	21340

Tableau 9. Moyenne annuelle – Espérance de production moyenne à partir de centrales hydro-électriques existantes et futures.

En GWh en <i>moyenne annuelle</i>	2005	2010	2025
Centrales existantes ¹	33350	33360	33400
Développement futur de l'énergie hydraulique	3980	4200	4980
Dotation supplémentaire de débits minimums	–600	–690	–960
Total	36730	36870	37420

¹ Il est admis que la capacité de production du parc de centrales hydro-électriques est destinée à augmenter légèrement – en hiver aussi bien qu'en été. Des pompes à accumulation sont mises en œuvre de manière accrue, ce qui d'une part augmente la production d'énergie et d'autre part occasionne une dépense d'énergie (en périodes creuses). Les réserves de puissance encore disponibles aujourd'hui seront mises à contribution de manière accrue. Une puissance supplémentaire en période de pointe sera nécessaire et prélevée à partir de l'accumulation par pompage.

10. Conclusions et résumé

L'énergie hydraulique fournit de nos jours une contribution indigène, renouvelable et ne dégradant pas l'environnement, d'environ 60 % à notre approvisionnement en électricité.

Il s'agit de veiller à ce que le parc actuel des centrales hydro-électriques soit maintenu à long terme et que ces dernières soient en mesure de continuer d'alimenter le réseau. Pour atteindre cet objectif, les propriétaires et exploitants se doivent d'entretenir les installations correctement et de les adapter périodiquement selon les normes les plus récentes.

Quelques possibilités de développement de l'énergie hydraulique subsistent encore, que ce soient de nouvelles installations de plus ou moins grandes dimensions, qu'il s'agisse de transformations, d'agrandissement ou de rénovations d'installations existantes. C'est dans cette direction qu'il convient de s'engager, tout en restant dans le cadre des contingences politiques, écologiques et économiques.

Dans l'optique du développement de l'énergie hydraulique, une attention soutenue doit être vouée à l'amélioration qua-

litative de l'ensemble du parc de centrales hydro-électriques: le courant disponible doit correspondre aux besoins. Les goulots d'étranglement dans l'approvisionnement étant attendus avant tout en hiver, la production hivernale doit être intensifiée de manière suivie. Ceci est possible grâce à un transfert, pour la production hivernale, d'eau d'été retenue dans de nouveaux bassins d'accumulation. Il faut s'attendre à ce que l'article constitutionnel 24^{bis}, qui exige des «débits résiduels convenables», exerce des effets négatifs (partes d'énergie). Des prétentions non réalistes quant à des débits résiduels supplémentaires doivent être combattues, car des quantités considérables d'énergie ne pourraient plus être produites par voie hydraulique et devraient dès lors être trouvées ailleurs.

Il faut admettre que la production d'énergie hydraulique peut s'accroître de 10 à 12 % en hiver.

Les centrales hydro-électriques en activité en Suisse produisent en moyenne, durant un semestre d'hiver, 14 240 GWh. Un recours accru à l'accumulation par pompage permet d'augmenter cette production à 14 550 GWh jusqu'en l'an 2025. Un développement de l'énergie hydraulique (nouvelles constructions, transformations et extensions) devrait provoquer en hiver un apport de 2170 GWh. La multiplication des exigences relatives au débit résiduel engendre une perte de 640 GWh; l'accumulation par pompage exige la mise en œuvre de 150 GWh. La production hivernale totale peut ainsi être estimée à 16 080 GWh (sous déduction de 150 GWh pour l'énergie de pompage) pour le semestre d'hiver de l'an 2025. Les chiffres correspondants pour le semestre d'été et pour l'année courante figurent aux tableaux 5 à 9.

Chaque kilowattheure d'origine hydraulique nous épargne les désavantages d'autres modes de production d'électricité, par exemple la pollution de l'air engendrée par la production de courant à partir de combustibles fossiles.

Il s'agit d'empêcher que d'autres obstacles d'ordre juridique et administratif ne s'opposent au développement de l'énergie hydraulique.

En conclusion, tous les efforts en vue de réaliser de nouvelles installations méritent un intérêt.

Un tiré à part du rapport (en allemande et en français) est à disposition (Fr. 10.–) chez l'Association Suisse pour aménagement des eaux, Rütistrasse 3A, CH-5401 Baden.