

Zwischenbericht 2003, 23. September 2003

Projekt

Alpenwasser als Potential für regenerative Stoff- und Energiesysteme, insbesondere für die elektrolytische Wasserstoffproduktion

ausgearbeitet durch	Armin Reller, Simon Meissner
beauftragte Institution	Armin Reller GmbH; Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg
Adresse	Universitätsstr. 1a, D-86159 Augsburg
Telefon, E-mail, Internetadresse	0049-(0)821-598-3004, meissner@wzu.uni-augsburg.de
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	100128
Dauer des Projekts (von – bis)	01.01.2003 - 31.12.2003

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Bestandsaufnahme der schweizerischen alpinen Wassernutzungsformen durchgeführt. Aufgrund der Vielfältigkeit und Komplexität der Wassernutzungsansprüche eines Landes und insbesondere innerhalb einer Volkswirtschaft wurde jedoch nur auf die sowohl qualitativ und quantitativ wichtigsten Nutzungsformen eingegangen. Dies betrifft hauptsächlich folgende Nutzungsformen in der Schweiz:

- Trinkwasser- und Brauchwasserversorgung von Haushalten, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft,
- Wassereinsatz im Bereich der Energiegewinnung,
- Bedeutung und Einsatz des Wassers im Tourismus,
- Wasserverbrauch auf dem Mineralwassermarkt,
- Bedeutung des Wassers für die (Binnen-)Schifffahrt.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden sowohl ökonomische, ökologische als auch quantitative und qualitative Aspekte der jeweiligen Wassernutzungsformen berücksichtigt.

1. Projektziele

In der vorliegenden Arbeit soll das Alpenwasser als Potential für regenerative Stoff- und Energiesysteme, insbesondere für die elektrolytische Wasserstoffproduktion untersucht werden. Diesbezüglich bestehen folgende Projektziele:

- Bestandsaufnahme der vorhandenen schweizerischen alpinen Wassernutzung und der bereits industriell realisierten und in Entwicklung befindlichen Hochdruckelektrolysesysteme
- Entwicklung eines Szenarios für eine schweizerische Wasserstoffproduktion und Wasserstoffnutzung
- Koordinierung der Resultate der Arbeit mit den Aktivitäten von *HYDROPOLE* als Wasserstoffkompetenzzentrum und Industriepartnern aus dem Bereich der Wasserstoffproduktion

Im Rahmen der Arbeit wird Wasserstoff nicht nur als Energieträger, sondern auch als Grundchemikalie für unterschiedliche Prozesse wie die Methanolsynthese, die Ammoniaksynthese, etc. bewertet. Zudem wird das Nutzungspotential des gleichzeitig produzierten Sauerstoffs abgeschätzt.

2. Bestandsaufnahme der vorhandenen schweizerischen alpinen Wassernutzung

2.1 Wasserressourcen in der Schweiz

Die Schweiz verfügt über einen Gesamtwasservorrat von rund 260 Mrd. m³ (260 km³). Davon entfallen rund 210 Mrd. m³ auf oberirdische Wasservorräte und rund 50 Mrd. m³ auf Grundwasservorräte. 63 % der oberirdischen Wasservorräte lagern in natürlichen Seen, 35 % sind in Form von Eis und Schnee in den Gletschern gespeichert und rund 2 % in künstlich angelegten bzw. gestauten Seen vorhanden [1]. Verantwortlich für diesen im europäischen Vergleich hohen Wasserreichtum sind vor allem die geographische Lage der Schweiz, die Höhenlagen bzgl. der Topographie sowie die damit verbundenen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse. Die Niederschlagsverhältnisse belaufen sich bspw. von 400 – 700 mm/Jahr im Mittelland bis hin zu 3.000 mm/Jahr in den Zentralalpen. Die jährliche Niederschlagsmenge der Schweiz beträgt rund 60 Mrd. m³, wovon rund 20 Mrd. m³ verdunsten und 53,5 Mrd. m³ in Kombination mit der Umwälzung der Wasservorräte und dem Zufluss aus dem Ausland (13,1 Mrd. m³) über die Oberflächengewässer wieder zum Abfluss kommen [2].

Die Anteile der jeweiligen Wasserkomponenten am Wasserkreislauf der Schweiz variieren jedoch aufgrund der langjährigen natürlichen und anthropogen bedingten Klimaveränderungen erheblich. So wurden bspw. im Zeitraum von 1901 bis 1980 durch die abschmelzenden Gletschervolumina im Durchschnitt jährlich rund 284 Mio. m³ (0,284 km³) Wasser in den Wasserkreislauf eingespeist. Zudem wird sich aufgrund der mit der globalen Erwärmung zu erwartenden verstärkten Niederschläge in den Alpen zusätzlich der Anteil des flüssigen Wassers am Wasserkreislauf in der Schweiz zugunsten der Oberflächengewässer und des Grundwassers verändern.

Unabhängig von der damit verbundenen Menge des Oberflächenabflusses, erfolgt die Entwässerung der Schweiz je nach Ausrichtung der Einzugsgebiete in unterschiedliche Richtungen. So werden 68 % der Schweiz über den Rhein und seine Zuflüsse (Aare, Reuß, Limmat, Töss und Thur) in die Nordsee entwässert, 27,6 % werden durch Rhone, Etsch und Tecino sowie deren Zuflüsse über den Po in das Mittelmeer und 4,4 % über den Inn und schließlich die Donau in das Schwarze Meer entwässert (siehe Fig. 1). Fast alle größeren Flüsse durchqueren dabei auf ihrem Lauf einen oder mehrere Seen.

Insgesamt bilden die in der Schweiz vorhandenen natürlich und technisch bedingten Wasservorkommen die Voraussetzung vielfältiger und intensiver Wassernutzungsformen in der Schweiz.

2.2 Definition des Untersuchungsgebietes

Obwohl die gesamte Schweiz aus geologischer Sicht zum alpinen Gebirgszug gehört, lässt sich der schweizerische Naturraum geographisch grob in den Bereich der Alpen, des Mittellandes und des Jura einteilen. Der Alpenraum wird dabei häufig noch weiter in die nördlichen Kalkalpen, die Zentralalpen und die Alpensüdseite unterteilt [3]. Rund 12 % der schweizerischen Landesfläche von 41.284 km² entfallen auf den Jura im Nordwesten des Landes, rund 23 % auf das zwischen dem Jura und den Alpen liegende Mittelland und 65 % auf die Alpen im Süden und Südosten des Landes. Vor dem Hintergrund dieser Untergliederung der Landesfläche werden die im Rahmen der Bestandsaufnahme dargestellten Wassernutzungsformen, soweit die jeweiligen Datengrundlagen der Sekundärstatistiken dies zulassen, zusätzlich hinsichtlich ihrer alpinen und nicht-alpinen Bedeutung analysiert.

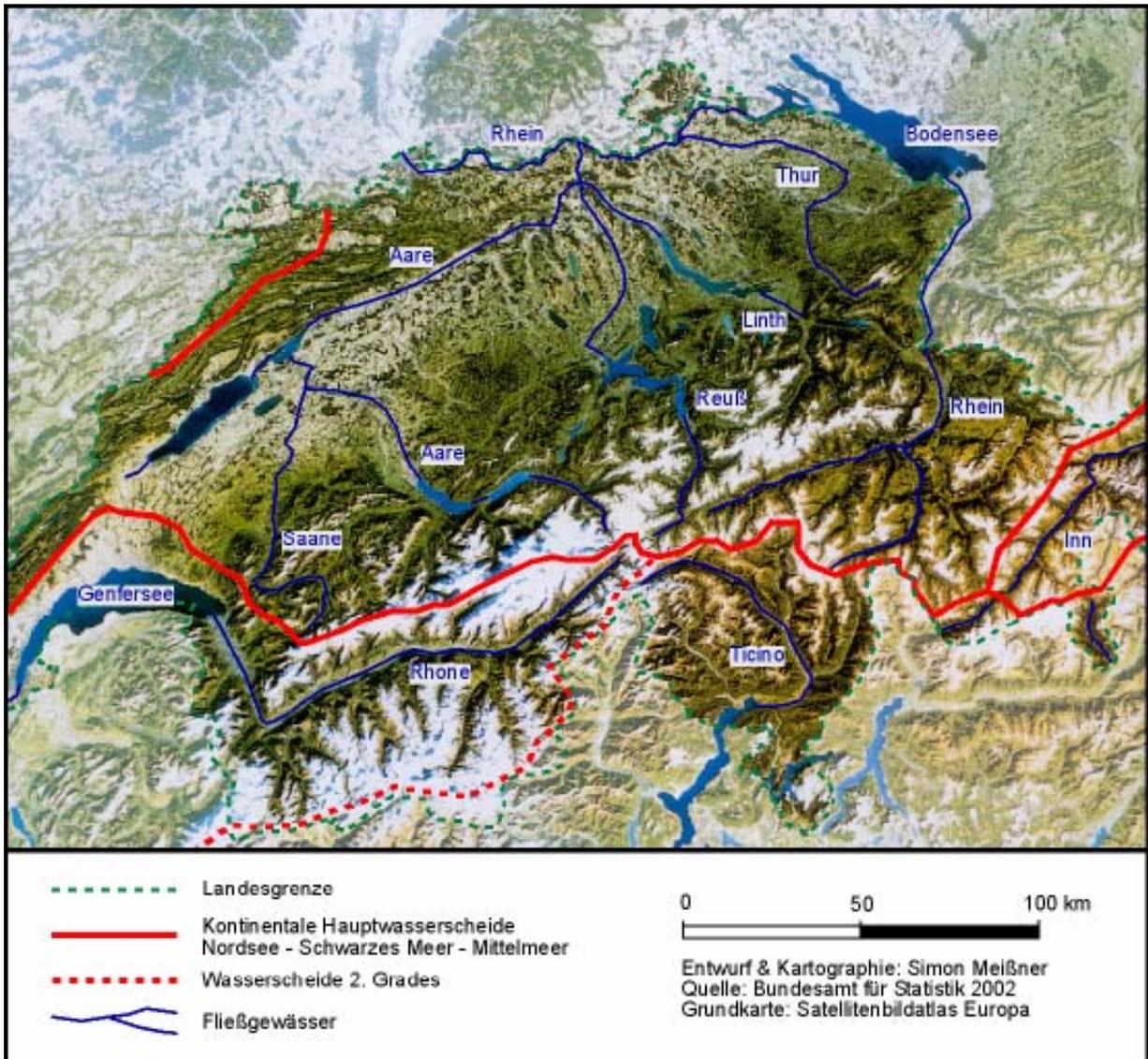


Fig. 1: Hydrologische Grenzen und Entwässerung der Schweiz

2.3 Wassernutzungsformen in der alpinen Schweiz

Im Folgenden werden die Wassernutzungsformen der Schweiz dargestellt. Aufgrund der Vielfalt und Komplexität der Wassernutzungsansprüche eines Landes und insbesondere innerhalb einer Volkswirtschaft wird jedoch nur auf die sowohl qualitativ und quantitativ wichtigsten Nutzungsformen eingegangen. Dies betrifft hauptsächlich folgende Wassernutzungsformen in der Schweiz:

- Trinkwasser- und Brauchwasserversorgung von Haushalten, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft,
- Wassereinsatz im Bereich der Energiegewinnung,
- Bedeutung und Einsatz des Wassers im Tourismus,
- Wasserverbrauch auf dem Mineralwassermarkt,
- Bedeutung des Wassers für die (Binnen-)Schifffahrt.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme werden sowohl ökonomische, ökologische als auch quantitative und qualitative Aspekte der jeweiligen Wassernutzungsformen dargestellt werden.

2.3.1 Trink- und Brauchwasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung versorgt die Schweiz mit rund 1,06 Mrd. m³ (1,1 km³) Trink- und Brauchwasser pro Jahr. Der damit verbundene Wasserkonsum in der Schweiz verteilt sich dabei in unterschiedlichen Anteilen auf die Haushalte und das Kleingewerbe (60,7 %), das Gewerbe und die Industrie (16,9 %), sonstige Verbrauchergruppen (öffentliche Zwecke und Brunnen mit 6,6 % und Eigenverbrauch der Wasserwerke mit 1,9 %). Zudem beträgt der Wasserverlust im Bereich der Versorgungsinfrastruktur 14,0 % (siehe Fig. 2).

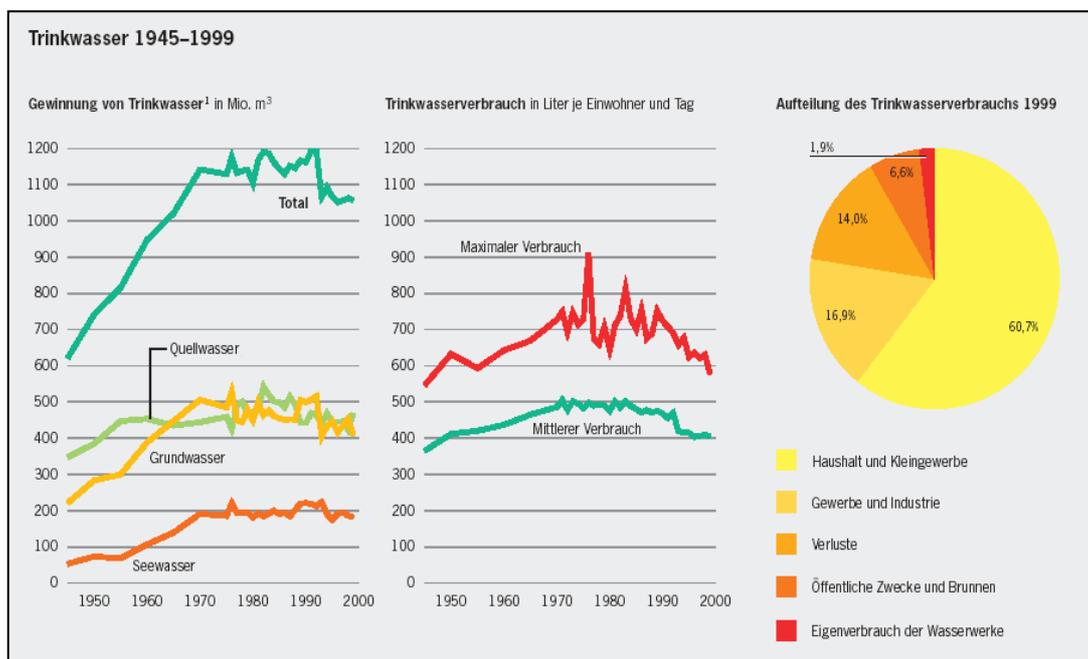


Fig. 2: Entwicklung der Trinkwasserversorgung in der Schweiz 1945 – 1999

In der Schweiz werden täglich rund 3 Mrd. Liter Trink- und Brauchwasser verbraucht. Statistisch gesehen liefert die öffentliche pro Person und Tag 400 Liter. Nach einem allgemeinen Spitzenverbrauch Mitte der 80er und Anfang der 90er Jahre ein genereller Rückgang des Wasserkonsums festzustellen.

Für die Trinkwasserversorgung dienen aufgrund qualitativer Voraussetzungen in erster Linie die Grund- (~43,4 %) und Quellwasservorkommen (~38,7 %), die Gewinnung von Oberflächengewässer (~17,9 %) dient dagegen vor allem für die Brauchwasserversorgung des Gewerbes und der Industrie. Hierfür stehen sowohl natürliche als auch technisch aufgestaute Oberflächengewässer zur Verfügung.

Neben der Versorgung der Haushalte ist vor allem der Einsatz des Wassers als Produktionsmittel in unterschiedlichen Wirtschaftsbranchen von besonderer Bedeutung. Vor allem im Bereich der Energiegewinnung und des produzierenden Gewerbes und der Industrie ist das Vorhandensein von ausreichend qualitativen und quantitativen Wasservorkommen Voraussetzung für wirtschaftliche Aktivitäten.

2.3.2 Energiegewinnung

Generell besitzt der Einsatz von Wasser bei der Energieproduktion sowohl im Bereich der Nutzung der Wasserkraft als auch im Bereich der konventionellen Wärmekraftwerke zu Kühlzwecken eine herausragende Bedeutung. In diesem Zusammenhang spielt der Einsatz des Wassers in der Energie- und insbesondere Stromproduktion eine besondere Rolle.

Gemäss der Elektrizitätsstatistik des BFE wurden im Jahr 2002 in der Schweiz 65.001 Mio. kWh elektrische Energie produziert. Rund 56,2 % (36.513 kWh) dieser Strommenge wurde in Wasserkraftwerken, 39,5 % (25.692 kWh) in Kernkraftwerken produziert. Die restlichen 4,3 % (2.806 kWh) wurden in kleineren und größeren konventionell-thermischen und anderen Anlagen erzeugt (siehe Fig. 3) [4].

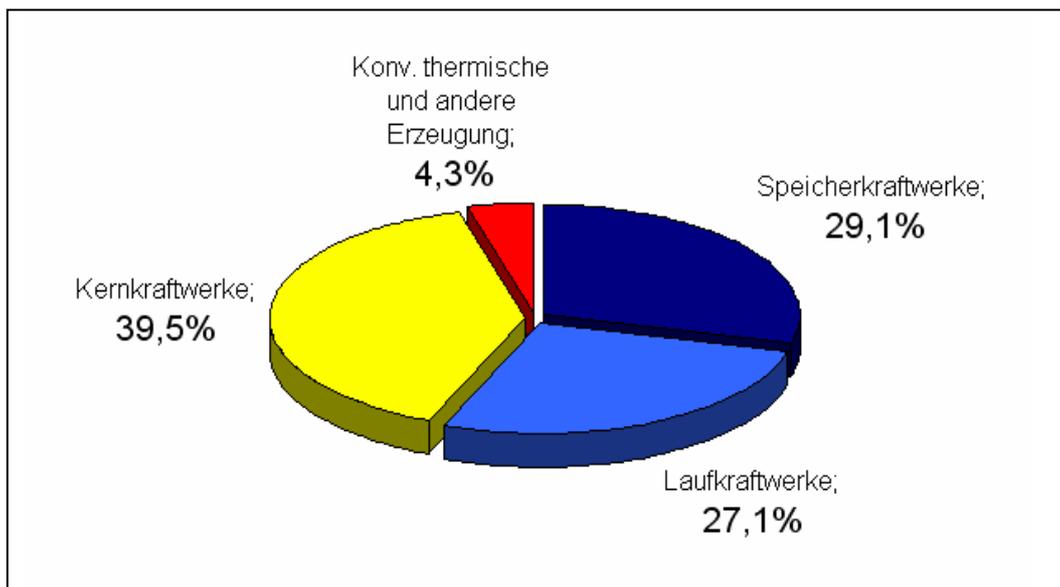


Fig. 3: Stromproduktion nach Kraftwerkstypen in der Schweiz 2002

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden die Energieproduktion und der damit verbundene Wassereinsatz in der Schweiz kurz dargestellt. Vor dem Hintergrund, dass die Wasserkraftnutzung der Schweiz nach Norwegen, Island und Österreich prozentual den höchsten prozentualen Anteil an der Gesamtenergieproduktion der europäischen Länder besitzt, soll im Rahmen der Bestandsaufnahme der Schwerpunkt auf die Darstellung der Wasserkraftnutzung in der Schweiz gelegt werden. Zudem bildet die Bestandsaufnahme der schweizerischen Wasserkraftnutzung eine wesentliche Grundlage für die Erstellung möglicher Szenarien für die potentielle Umsetzung von regenerativen und mobilen Energiequellen wie die Gewinnung und der Einsatz von Wasserstoff- und Druckluftsystemen.

2.3.2.1 Wasserkraftnutzung

Die Nutzung der dezentral vorhandenen Wasserkraft zur Energiegewinnung hat in der Schweiz, insbesondere im alpinen Landesbereich, nicht zuletzt wegen dem ausreichenden Vorhandensein von entsprechenden Wasserressourcen und der dafür erforderlichen Topographie eine lange Tradition. In diesem Zusammenhang besitzt die Energiegewinnung mittlerweile durch den Betrieb

modernster und teilweise vollautomatisierter Lauf- und Speicherkraftwerke einen ausserordentlich bedeutenden Stellenwert im Bereich der Stromversorgung der Schweiz.

2.3.2.1.1 Aktueller Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz

Im Zeitraum zwischen 2002/3 wurden in der Schweiz 509 Wasserkraftwerke (501 im Inland, 8 im Ausland) mit einer maximal möglichen Leistung ab 300 kW betrieben (siehe Tab. 1) [5].

Die Kraftwerke besitzen eine maximale Gesamtleistung von 13.252,73 MW mit einer mittleren Produktionserwartung von 34.887,06 GWh für das Jahr 2003. Dabei stammen 63,71 % der durch die Nutzung der Wasserkraft produzierten Energie aus den zentralalpinen Kantonen Graubünden, Tessin, Uri und Wallis. In diesem Zusammenhang stellt der Rohstoff Wasser bzw. Wasserkraft für die in der Regel strukturschwachen Gebirgskantone einen erheblichen Wirtschaftsfaktor dar. Neben den damit verbundenen Arbeitsplätzen und Wertschöpfungsketten erhalten die Kantone und damit einzelnen Gebirgsregionen einen erheblichen Anteil der damit geleisteten Wasserzinsen. So fielen ebenfalls rund 2/3 der im Jahr 2000 erbrachten gesamtschweizerischen Wasserzinsen in Höhe von CHF 470 Mio. auf die jeweiligen zentralalpinen Kantone.

Entsprechend des hohen Anteils der Gebirgskantone an der gesamtschweizerischen Wasserkraftnutzung befinden sich sowohl ein Großteil der Wasserkraftzentralen sowie ein Großteil der für die Speicherkraftnutzung notwendigen Talsperren in diesen Kantonen. In Fig. 4 sind die Standorte der schweizerischen Wasserkraftzentralen und in Fig. 5 die Standorte der Talsperren, die sich unter schweizerischer Bundesaufsicht befinden, dargestellt.

Wie anhand von Abbildung 4 und 5 zu erkennen, befinden sich die Grossteile der Wasserkraftzentralen und Stauanlagen der Schweiz im alpinen Bereich. In diesem Zusammenhang stellt Tab. 2 die alpinen und nicht-alpinen Anteile der Wasserkraftzentralen und Stauanlagen dar.

Hierbei ist ersichtlich, dass sich von den derzeit 179 schweizerischen Wasserkraftzentralen unterschiedlichster Grössenordnungen (> 10 MW Leistung) 139 (77,65 %) und sich von den insgesamt 193 Stauanlagen (> 15 m Höhe) 174 (90,16 %) im alpinen Bereich befinden.

Hinsichtlich der Wasserkraftzentralen (> 300 kW) befinden sich von den derzeit 501 schweizerischen Anlagen rund 4/5 (~ 80 %) im alpinen Bereich. Fig. 6 zeigt zudem die Anzahl entsprechender Wasserkraftzentralen nach kantonaler Standortzugehörigkeit.

Neben den Grossanlagen sind zudem etwa 1.100 Klein- und Kleinstkraftwerke mit weniger als 300 kW maximaler Leistung derzeit im Einsatz.

2.3.2.1.2 Zukunftsperspektiven der Wasserkraftnutzung in der Schweiz

Hinsichtlich einer Ausweitung der Nutzung der Wasserkraft besteht sowohl in der Schweiz als auch in Europa nur ein sehr geringes Potential für neue und wettbewerbsfähige Wasserkraftwerke, da die produktionsgünstigsten Standorte bereits genutzt werden [6]. Gemäss einer Studie von SCHLEISS [7] sind heute in der Schweiz bereits über 80 % des technischen und 90 % des wirtschaftlich nutzbaren Potentials erschlossen. In diesem Zusammenhang gilt es an bereits etablierten Wasserkraftstandorten die vorhandene Wasserkraft durch Ausbauten oder Nachrüstungen mit optimierten hydraulischen, mechanischen und elektrischen Komponenten verstärkt auszunutzen. Desweiteren kann diese Forcierung durch eine Verlagerung der Energieproduktion vom Sommer in den Winter, bspw. durch den Ausbau von entsprechenden Speichermöglichkeiten, optimiert werden.

Bestehende Wasserkraftzentralen in der Schweiz 2003			
Kanton	Anzahl der Zent- ralen	Maximal mögliche Leistung (MW)	Mittlere Produktions- erwartung (GWh)
Zürich	13	118,40	527,37
Bern	60	1.238,48	3.033,67
Luzern	8	7,47	51,21
Uri	20	470,55	1.537,86
Schwyz	14	233,56	452,55
Obwalden	10	112,58	287,93
Nidwalden	6	43,17	144,57
Glarus	29	459,44	800,88
Zug	6	23,24	63,71
Freiburg	11	266,50	612,02
Solothurn	8	83,46	545,08
Basel-Stadt	0	46,66	273,90
Basel-Landschaft	10	53,78	305,80
Schaffhausen	4	40,70	249,21
Appenzell A.Rh.	3	8,90	25,04
Appenzell I.Rh.	1	1,87	6,47
St. Gallen	42	417,17	591,73
Graubünden	80	2.639,47	7.641,66
Aargau	23	472,69	3.041,86
Thurgau	7	6,66	42,66
Tessin	29	1.443,86	3.596,37
Waadt	20	321,28	805,26
Wallis	82	4.572,39	9.449,32
Neuenburg	10	33,04	138,45
Genf	3	131,41	633,48
Jura	2	6,00	29,00
Schweiz gesamt	501	13.252,73	34.887,06

Tab. 1: Bestehende Wasserkraftzentralen in der Schweiz 2003

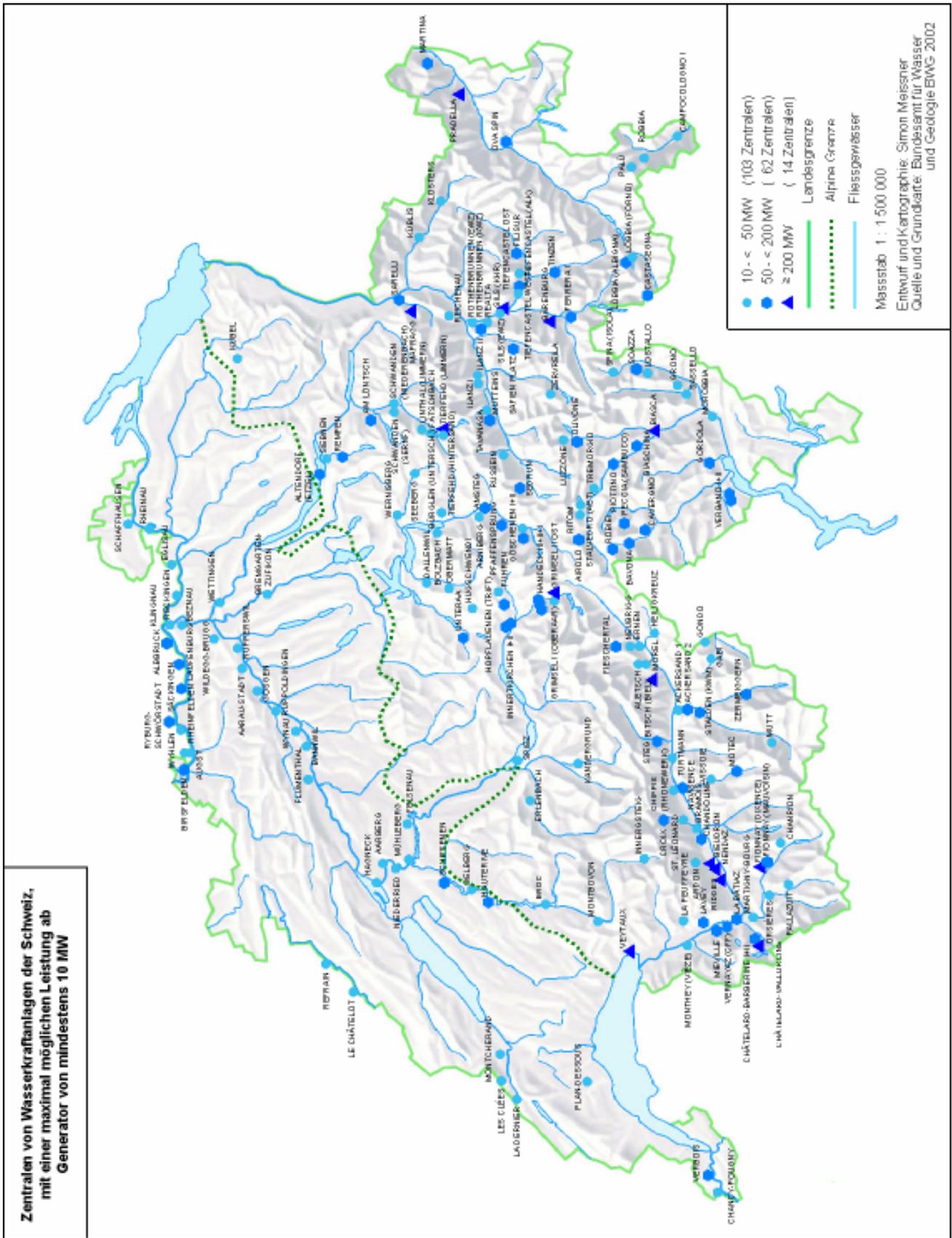


Fig. 4: Zentralen der Wasserkraftanlagen in der Schweiz

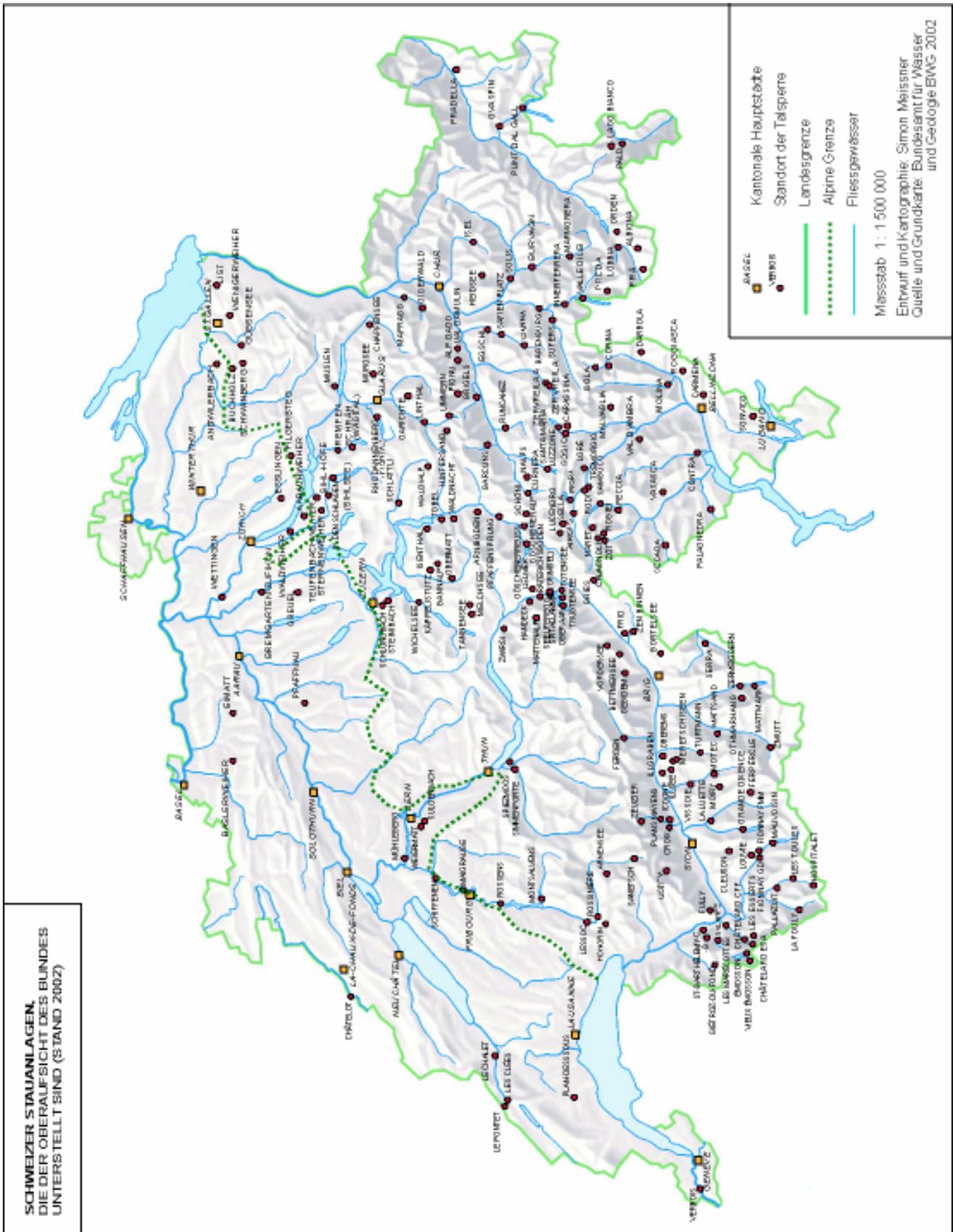


Fig. 5: Stauanlagen in der Schweiz für die Energiegewinnung

Standorte der Wasserkraftzentralen und Stauanlagen in der Schweiz							
Art der Wasserkraftanlage		Standort				Gesamt	
		alpin		nicht alpin			
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Wasserkraftzentralen (gesamt)		139	77,65%	40	22,35%	179	100,00%
Kleinzentralen	10 - < 50 MW	71	68,93%	32	31,07%	103	100,00%
Mittelzentralen	50 - < 200 MW	54	87,10%	8	12,90%	62	100,00%
Grosszentralen	≥ 200 MW	14	100,00%	0	0,00%	14	100,00%
Stauanlagen		174	90,16%	19	9,84%	193	100,00%

Tab. 2: Standorte der Wasserkraftzentralen und Stauanlagen in der Schweiz

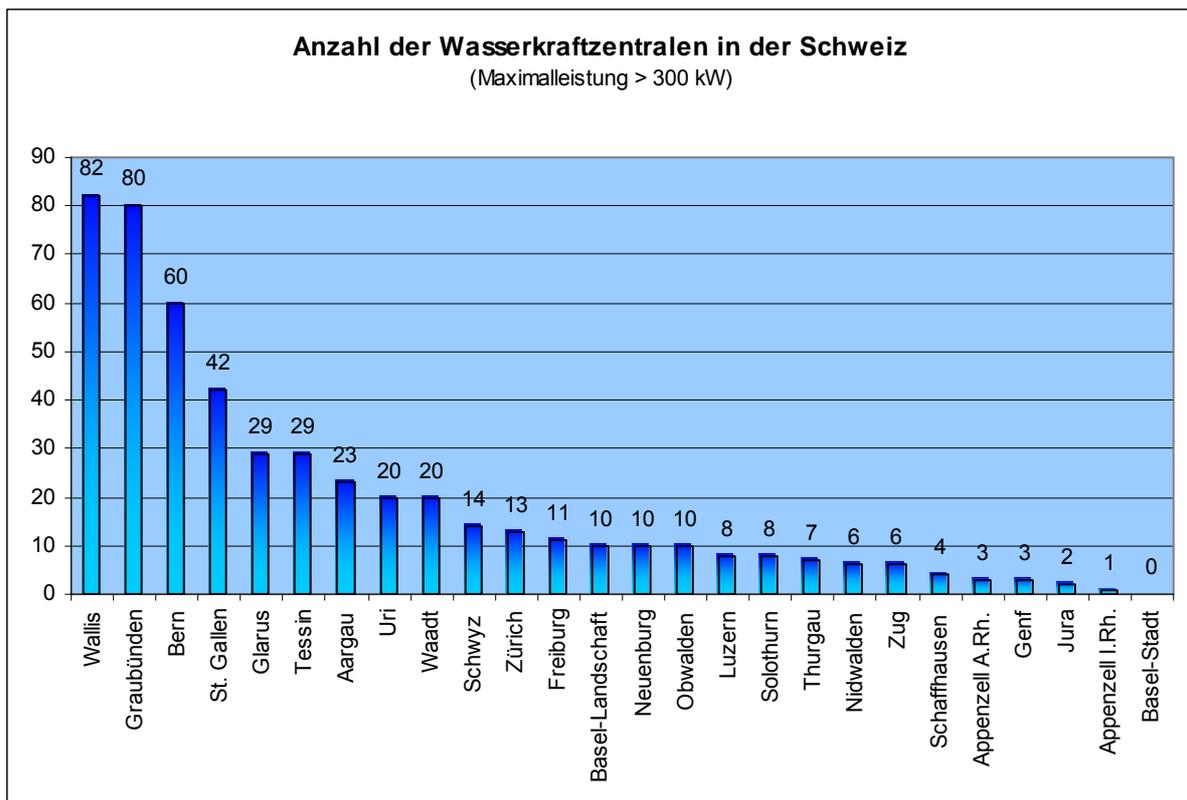


Fig. 6: Standorte der Wasserkraftzentralen in der Schweiz

Aufgrund der bereits sehr hohen Wirkungsgrade der Wasserkraftanlagen (elektrische Wirkungsgrade von 80 - 90 %) werden zwar kaum wesentliche technische Verbesserungen zu erwarten sein, nach VOIGTLÄNDER und LENK [8] lassen sich jedoch noch Leistungssteigerungen bis zu 30 % und Wirkungsgradverbesserungen bis zu 5 % der schweizerischen Wasserkraftanlagen erzielen.

Diese Prognose und Einschätzung bezieht sich in erster Linie auf die Grosswasserkraftwerke. Hinsichtlich der der Ausweitung des Einsatzes von Kleinwasserkraftwerken bestehen jedoch speziell aus regionalspezifischer Sicht vielfältige Potentiale.

2.3.2.2 Kernkraft und konventionelle Wärmekraft

Der Wasserverbrauch bei der Energiegewinnung durch konventionelle Wärmekraftwerke beschränkt sich in erster Linie auf den Einsatz des Wassers zu Kühlzwecken.

Dabei wird die im Rahmen der Elektrizitätsproduktion nicht umwandelbare Wärme über das Kühlwasser abgeführt, das hauptsächlich aus den anliegenden Oberflächengewässern stammt. Dadurch, dass dieses Wasser während des Kühlungsprozesses lediglich auf physikalischer Ebene in Form einer Temperaturerhöhung beeinträchtigt wird, wird das Wasser bei der Kühlung i. e. S. nicht verbraucht, sondern kann anschließend ohne natürliche oder technische Aufbereitung wieder dem Wasserkreislauf oder anderen Wassernutzungsformen zugeführt werden.

Fig. 7 zeigt die Standorte der schweizerischen Kernkraftwerke, die in erster Linie im Mittelland angesiedelt sind und entsprechend Oberflächenwasser mit den dortigen Fließgewässern austauschen.

So entnimmt beispielsweise das Kernkraftwerk Gösgen der Aare jährlich rund 70 Mio. m³ Kühlwasser. Davon verdampfen 22 Mio. m³ über den Kühlturm, die restlichen 48 Mio. m³ werden mit einer maximal 6,5 °C höheren Wassertemperatur wieder der Aare zugeführt [9].

Insgesamt wurden beispielsweise im Jahr 2000 rund 1.503 Mio m³ Wasser für die Elektrizitätserzeugung und damit vornehmlich zu Kühlzwecken den Oberflächengewässern entnommen [10]. Damit ist die Gewinnung von Energie durch die Kernkraft und konventionelle Wärmekraft mit dem grössten Wasserverbrauch in der Schweiz verbunden.

2.3.3 Touristische Wassernutzung

Der Tourismus nimmt in der Schweiz im Vergleich zu den meisten anderen Industrieländern eine überdurchschnittliche Stellung in der Volkswirtschaft ein. Rund 9 % der schweizerischen Beschäftigung sind direkt (~ 210.000 Arbeitsplätze) oder indirekt durch Multiplikatoreffekte (~ 90.000 Arbeitsplätze) vom Tourismus abhängig [11]. Während der Tourismus in den dicht besiedelten Mittellandregionen eine eher untergeordnete Stellung als Wirtschaftszweig einnimmt (mit einigen lokalen Ausnahmen), so hat er sowohl im ländlichen Raum als auch insbesondere im gering industrialisierten alpinen Berggebiet mittlerweile eine existenzielle Bedeutung erlangt.

So ist beispielsweise im Bereich des Sommertourismus das Wasser generell als wichtiges touristisches Erholungs- und Freizeitelement zu betrachten. Vor allem in Form von Landschaftselementen (See- und Flusslandschaften) ist das Wasser als Angebot für den Sommertourismus (insb. Erholungs-, Bade- oder Wanderurlaub usw.) von grosser Bedeutung. Da dieses Wasser jedoch nicht als wirtschaftliches Produktionsmittel, sondern als Landschafts- bzw. Naturelement genutzt wird, sind hinsichtlich der wirtschaftlichen Bedeutung und des Umfangs der touristischen Wassernutzungsformen nur sehr schwer quantitative Aussagen zu machen.

Im Gegensatz zum Sommertourismus sind im Bereich des Wintertourismus sehr direkte und quantitativ erfassbare Beziehungen zwischen der Wassernutzung und den damit wirtschaftlichen Effekten vorhanden. Je nach Saison (hpts. Sommer und Winter) und Tourismusart sind dabei das Vorhandensein und die Nutzung von Wasser von grosser Bedeutung.

So hängt der volkswirtschaftliche Erfolg einer Wintersaison entscheidend von günstigen klimatischen Voraussetzungen ab. Geht bspw. die Zahl der alpinen Wintersporttage aufgrund eines Schneemangels um 10 % zurück, so ist nach einer Berechnung der SVS mit einem volkswirtschaftlichen Verlust von rund 250 Mio. CHF zu rechnen. In diesem Zusammenhang spielt die technische Beschneigung in der Schweiz zunehmend eine bedeutende Rolle.

Vor dem Hintergrund der Veränderungen des globalen Klimas durch den Ausstoß anthropogen bedingter Treibhausgase ist es auf der Erde in den letzten 100 Jahren im Durchschnitt um 0,5 Grad Celsius wärmer geworden. Bis zum Jahr 2050 rechnet man mit einem weiteren Temperaturanstieg um 1 bis 2 Grad. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms der Schweiz "Klimaänderungen und Naturkatastrophen" wurde ermittelt, was der prognostizierte Temperaturanstieg für die Schneesicherheit in den Alpen, insbesondere in der Schweiz, bedeutet: Während heute Skigebiete ab 1.200 m ü. NN als schneesicher gelten, wird sich die Höhengrenze für Schneesicherheit bei einem Temperaturanstieg um 2 Grad um 300 Höhenmeter auf 1.500 m ü. NN verschieben. Statt heute 195 können dann nur noch 144 von den insgesamt 230 Skigebieten der Schweiz als schneesicher eingestuft werden. Damit würde beispielsweise die schweizerische Wintertourismusbranche einen jährlichen Einkommensverlust von 2,3 Milliarden CHF (1,5 Mrd. Euro) erleiden [12].

Aufgrund erster Auswirkungen schneearmer Winter wird bereits in vielen alpinen Regionen versucht, durch den Einsatz von Schneekanonen eine Schneesicherheit zu garantieren. Im Jahr 2002 betrug die in der Schweiz präparierte Pistenfläche 220 km². Davon wurden 19,4 km² (8,8 %) technisch beschneit (siehe Fig. 8), wofür die Beschneigungsanlagen durchschnittlich zwischen 200 und 400 Stunden pro Jahr in Betrieb sind.

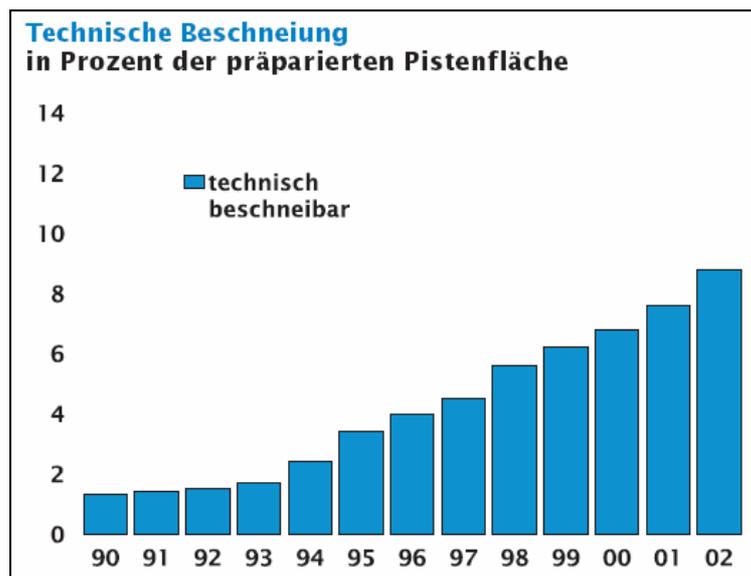


Fig. 8: Entwicklung der technischen Beschneigung in der Schweiz 1990 - 2002

Der Wasserverbrauch bei der Schneeherstellung für eine Schneehöhe von 30 cm liegt bei den zurzeit im Einsatz befindlichen Technologien bei etwa 100 l/m². Je nach Witterungsumständen und Anforderungen an die Schneequalität werden somit 250 bis 350 Liter Wasser pro m³ Schnee benötigt. Das Wasser wird sowohl den umliegenden Oberflächengewässern als auch in zunehmendem Maße der Trinkwasserversorgung entnommen. Der Energieverbrauch einer Anlage schwankt je nach Größe und Art. Pro Quadratmeter beschneiter Fläche (Beschneigungshöhe 30 cm) werden zwischen 0,25 und 2,8 kWh benötigt. Große Anlagen verbrauchen bis über 500.000 kWh pro Saison. Dies entspricht in etwa dem Stromverbrauch einer Kunstseilbahn bei Ganzjah-

resbetrieb [13]. In diesem Zusammenhang verursacht ein Kilometer beschneibare Piste rund 1 Mio. CHF Investitionskosten und rund 30.000 CHF jährliche Betriebskosten¹.

Vor dem Hintergrund der obengennanten Werte und der Annahme einer Beschneigung von 100 cm Schneehöhe wurden in der Schweiz im Jahr 2002 0,0194 km³ Wasser für die technische Beschneigung benötigt. Dies entspricht rund 55 Promille des jährlichen Abflusses der Aare bei Thun. Bei einer mehrmaligen Beschneigung durch die Seilbahnunternehmen als Hauptbetreiber der Beschneigungsanlagen erhöht sich die jährlich benötigte Wassermenge entsprechend.

Generell ist im Bezug auf die bisherige Entwicklung der technischen Beschneigung (vgl. Abbildung 8) und den Prognosen hinsichtlich der klimatischen Erwärmung in den Alpen zukünftig mit einer weiteren Zunahme des Wassergebrauchs für die technische Beschneigung in der Schweiz zu erwarten.

2.3.4 Mineralwassermarkt

Neben der Verwendung des Wassers als Produktionsmittel in der Industrie und im Produzierenden Gewerbe wird das Wasser bei entsprechenden qualitativen Eigenschaften als wirtschaftliche Ware bspw. auch als Lebensmittel in Form von Flaschenwasser und bei entsprechenden mineralisierten Merkmalen als Mineralwasser privatwirtschaftlich vertrieben.

In der Schweiz hat das in Flaschen abgefüllte Mineralwasser erst im Lauf des 20. Jahrhunderts Bedeutung erlangt. Vor 100 Jahren betrug der Pro-Kopf-Verbrauch an Mineralwasser weniger als zwei Liter im Jahr, um die Mitte des Jahrhunderts lag er noch unter zehn Litern und derzeit sind es bereits deutlich über 100 Liter (siehe Fig. 9).

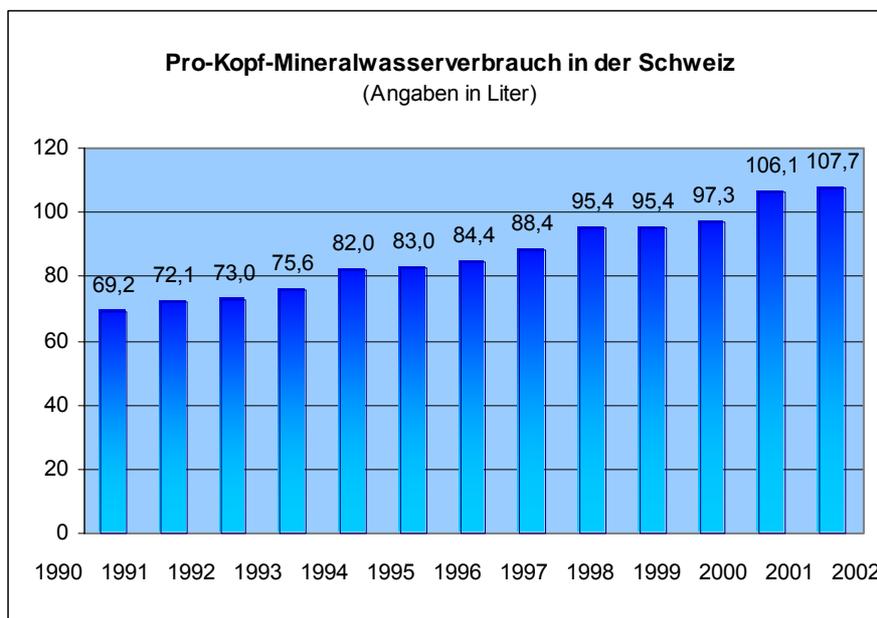


Fig. 9: Pro-Kopf-Mineralwasserverbrauch in der Schweiz

¹ In dieser Betrachtung sind die Kosten für Personal, Abschreibung, Unterhalt, Wasser- und Energieverbrauch bereits inbegriffen.

1964 überschritt der schweizerische Verbrauch erstmals die Grenze von 100 Mio. Litern, heute erreicht er mehr als 700 Mio. Liter pro Jahr (siehe Tab. 3).

Kennzahlen zum Mineralwassermarkt Schweiz				
(Angaben in Mio. Litern)				
Jahr	Produktion Schweiz	Exporte	Importe	Verbrauch gesamt
2002	530,9	9,7	264,7	785,9
2001	526,8	9,7	251,8	768,9
2000	490,9	9,0	218,8	700,7
1999	489,1	8,9	203,6	683,8
1998	514,1	9,6	176,0	680,5
1997	490,5	9,5	147,9	628,9
1996	483,4	9,9	126,4	599,9
1995	494,2	10,9	104,3	587,6
1994	512,9	16,1	80,2	577,0
1993	479,1	14,4	63,9	528,6
1992	465,9	15,1	56,4	507,2
1991	439,8	14,1	70,0	495,7
1990	409,0	13,2	74,2	470,0

Tab. 3: Kennzahlen zum Mineralwassermarkt Schweiz

In den in Tab. 3 angegebenen Volumina sind sämtliche Schweizer Mineralwasserproduzenten enthalten. 1994/95 begannen die Importe zu steigen, vorwiegend Produkte aus Italien, die durch Grossverteiler angeboten werden. Rund 1/3 des derzeit in der Schweiz konsumierten Mineralwassers stammt aus dem Ausland.

Das in der Schweiz abgefüllte Mineralwasser stammt aus über 20 Quellen, dies sich vornehmlich im alpinen Bereich befinden. Dabei garantieren strenge gesetzliche Hygieneauflagen und Abfüllkontrollen eine immer gleich hohe Qualität der Mineralwässer.² Obwohl sich die Menge an abgefülltem Mineralwasser in der Schweiz seit 1990 um 121,9 Mio. (+ 29,8 %) Liter auf 530,9 Mio. Liter im Jahr 2002 gesteigert hat und der Mineralwasserkonsum von 470,0 Mio. Liter im Jahr 1990 um 315,9 Mio. Liter (+ 67,2 %) auf 785,9 Mio. Liter im Jahr 2002 gestiegen ist, ist der schweizerischen Anteil am europäischen Mineralwassermarkt seit Anfang der 90er Jahre rückläufig (vgl. Tab. 4).

² Entsprechende Vorgaben siehe Hygieneverordnung, Lebensmittelverordnung, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung und Mineralwasserverordnung der Schweiz.

Der Mineralwassermarkt Schweiz im europäischen Vergleich			
Jahr	Produktion Europa gesamt (Mio. Liter)	davon Schweiz (Mio. Liter)	Anteil Schweiz (Prozent)
2002	31.894*	531	1,6
2001	30.977*	527	1,7
2000	29.417*	491	1,7
1999	28.550	489	1,7
1998	27.617	514	1,9
1997	26.662	490	1,8
1996	25.532	483	1,9
1995	25.637	494	1,9
1994	24.632	512	2,1
1993	22.646	479	2,1
1992	22.417	465	2,1
1991	20.918	439	2,1
1990	20.116	409	2,0

* ohne Skandinavien und osteuropäische Länder

Tab. 4: Der Mineralwassermarkt Schweiz im europäischen Vergleich

Trotz der relativ geringen Bedeutung der schweizerischen Mineralwasserhersteller auf dem europäischen Markt ist die Nutzung der alpinen hochqualitativen Wasservorkommen für den schweizerischen Getränke- und Mineralwassermarkt allgemein von sowohl quantitativ als auch qualitativ großer wirtschaftlicher Bedeutung. Die damit verbundenen Wertschöpfungsketten verbleiben jedoch nicht ausschliesslich in der Schweiz, denn laut SMS gehören von den grossen Schweizer Quellen gehören heute nur noch *Henniez* und *Aproz* nicht zu einem internationalen Getränkekonzern, seit *Valser* von *Coca-Cola* im Jahr 2003 übernommen wurde. Mit *Nestlé* ist jedoch der mit einem Marktanteil von rund zwölf Prozent weltweit grösste Anbieter von abgefülltem Wasser in der Schweiz angesiedelt.

2.3.5 Schifffahrt

Die Binnenschifffahrt und internationale Schifffahrt im Rahmen der inner- und ausser-schweizerischen Handelsbeziehungen ist sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch volkswirtschaftlicher Perspektive von besonderer Bedeutung für die Schweiz. So beträgt die Transportleistung der Binnenschifffahrt für die Schweiz derzeit rund 5 Mrd. Tonnenkilometer pro Jahr; dies entspricht über 50 % der jährlich erbrachten Güterleistung der Schweizerischen Bundesbahnen. Insgesamt betrug die Zahl der im schweizerischen Schiffsregister eingetragenen Grossschiffe im Jahr 2002 115 Schiffe, wobei davon 49 auf den Gütertransportsektor entfielen [14].

Die Schweiz besitzt aufgrund der sog. „Mannheimer Akte“ von 1868 (revidiert 1963) im gesamten Rheinstromgebiet volle Schifffahrts- bzw. Verkehrsrechte, so dass die Rheinschifffahrt vor allem bezüglich des schweizerischen Aussenhandels und Gütertransports einen besonders grossen

Stellenwert besitzt. Fig. 10 zeigt den Aussenhandelsverkehr der Schweiz von 1955 – 2002 unter besonderer Berücksichtigung des Rheinverkehrs.

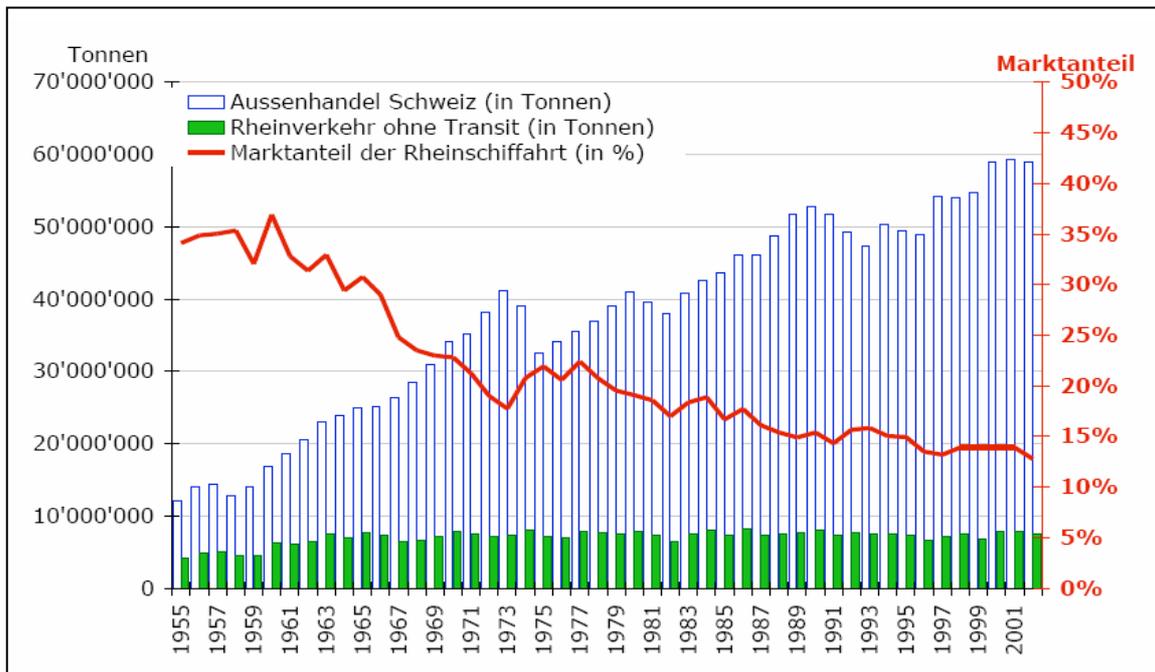


Fig. 10: Aussenhandelsverkehr der Schweiz 1955 – 2002

So beläuft sich der Schiffsgüterverkehr auf dem Rhein seit Anfang/ Mitte der 60er Jahre unter geringen Schwankungen gleich bleibend auf 8 - 9 Mio. Tonnen/Jahr (Jahr 2002: 8.254.131 Tonnen). Demgegenüber hat sich das Güteraufkommen im Aussenhandel der Schweiz seit den 60er Jahren von rund 20 auf fast 60 Mio. Tonnen/Jahr verdreifacht. Somit ist sowohl der Anteil des Schiffsgüteraufkommens am gesamten Aussenhandelsaufkommen von 30 - 35 % in den 60er Jahren auf 14,0 % im Jahr 2000 zurückgegangen als auch der damit verbundene Marktanteil der Rheinschifffahrt am Aussenhandelsverkehr von über 35 % Anfang der 60er Jahre auf unter 15 % seit 1996 zurückgegangen.

Trotz dieser stetigen Rückgänge besitzen die Schifffahrt und damit das Wasser als Transportweg für die Schweiz noch immer einen sehr hohen Stellenwert im Rahmen der schweizerischen Volkswirtschaft.

3. Bewertung und Ausblick

Die Schweiz zeichnet sich durch eine Vielzahl von unterschiedlichen alpinen Wassernutzungsformen aus, die sowohl erhebliche betriebs- als auch volkswirtschaftliche Bedeutung besitzen. Der Stellenwert und der Einsatz von Energie spielt dabei sowohl direkt als auch indirekt eine erhebliche Rolle. Dies bezieht sich zum einen auf die Gewinnung von Energie durch die direkte Nutzung der Wasserkraft und damit der Potentiale des anthropogen beeinflussten Wasserkreislaufes und zum anderen auf den direkten und indirekten Verbrauch von Energie beispielsweise über angelagerte Wertschöpfungsketten im Rahmen der Distribution von Wasser als Wirtschaftsgut oder über die Distribution von Gütern allgemeiner Art unter Einsatz des Wassers als Transportmedium.

Auf der Grundlage der erfolgten Bestandsaufnahme der schweizerischen alpinen Wassernutzung wird eine Zusammenstellung der zurzeit industriell realisierten und in Entwicklung befindlichen Hochdruckelektrolysesysteme vorgenommen.

In Verbindung mit den jeweiligen Bestandsaufnahmen wird ein Szenario für die schweizerische Wasserstoffproduktion und -nutzung entwickelt. Dabei spielen vor allem der Einsatz und die Wirtschaftlichkeit von entsprechenden Technologien eine entscheidende Rolle für die Realisierbarkeit und Umsetzung insbesondere auf regionaler Ebene.

Referenzen

- [1] Bundesamt für Statistik (Hrsg.): **Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2002**. Bern 2001.
- [2] Maisch, M.: **Vergletscherung und Gletscherschwund in den Schweizer Alpen aus glaziologischer, klimatologischer und hydrologischer Sicht. S. 109 – 138**. In: Institut Universitaire Kurt Bösch (Hrsg.): Die Rolle des Wassers in der sozio-ökonomischen Entwicklung der Alpen. Sion 1999.
- [3] Wachter, D.: **Schweiz – Eine moderne Geographie**. Zürich 1995.
- [4] Bundesamt für Energie (BFE) (Hrsg.): **Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2002**. Bern 2003.
- [5] Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) (Hrsg.): **Tätigkeitsbericht 2002 der Sektion Wassernutzung**. Stand 8. Mai 2003.
- [6] Filippini, M. et. al: **Perspektiven für die Wasserkraftwerke in der Schweiz – Langfristige Wettbewerbsfähigkeit und mögliche Verbesserungspotentiale**. Bundesamt für Energie. Ittigen 2001.
- [7] Schleiss, A.: **Perspektiven der Schweiz im weltweiten Ausbau der Wasserkraft**. 1998.
- [8] Voigtländer, P. & Lenk, U.: **Zukunft unserer Energieversorgung - Potenziale von Technologien für die Stromerzeugung**. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Energietechnik. Band 12. 2000.
- [9] Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) (Hrsg.): **Eintauchen in die Wasserwirtschaft**. Bern 2003.
- [10] Eurostat (Hrsg.): **Umwelt und Energie. Thema 8 – 3/2003**. Luxemburg 2003.
- [11] Schweizerischer Verband der Seilbahnunternehmen (SVS) (Hrsg.): **Die technische Beschneidung in der Schweiz - Empfehlungen für eine harmonisierte Entwicklung**. Bern 1999.
- [12] Abegg, B.: **Klimaänderung und Tourismus – Klimaforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen**. Zürich 1996.
- [13] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): **Technische Beschneidung und Umweltschutz**. Tagungsband vom 15. November 2000. Augsburg.
- [14] Rheinhäfen beider Basel: **Statistiken der schweizerischen Rheinschifffahrt, Stand 2003**. <http://www.portofbasel.ch/>