



**Universität
Zürich** ^{UZH}

Geographisches Institut



Mehrzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden heute und in Zukunft

Eingereicht von Philippe Franz Roth | philippefranz.roth@uzh.ch | 12-056-941
Spitzwaldstrasse 141c, 4123 Allschwil

Betreut durch Dr. Astrid Björnsen Gurung | astrid.bjoernsen@wsl.ch
Dr. Manuela Brunner | manuela.brunner@wsl.ch
Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

Fakultätsvertretung Prof. Dr. Norman Backhaus

Geographisches Institut, Universität Zürich

GEO 511 Masterarbeit

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Leuten bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt Dr. Astrid Bjørnsen Gurung und Dr. Manuela Brunner für die sehr angenehme und unkomplizierte Zusammenarbeit und die konstruktive Kritik während dem Entstehungsprozess der Masterarbeit. Ich durfte viel von euch lernen. Weiter möchte ich mich bei Prof. Dr. Norman Backhaus bedanken. Durch seine Kontakte habe ich ein sehr spannendes Thema für die Masterarbeit gefunden.

Ein grosser Dank gilt allen Interviewpartnern für ihre Kooperationsbereitschaft, ohne ihren Beitrag wäre es mir nicht möglich gewesen, diese Arbeit zu schreiben.

Am meisten möchte ich mich bei meiner Familie und meiner Freundin bedanken. Die Unterstützung meiner Eltern, Solveig und Franz, hat dieses Studium überhaupt erst ermöglicht, danke Euch. Von der Erfahrung, Ausdauer und Unterstützung meiner beiden grossen Schwestern, Stephanie und Anja, durfte ich bis zuletzt profitieren, ein ganz grosses Dankeschön dafür. Schön konnte ich euch im Gegenzug ein ums andere Mal einen spannenden Einblick in das Fachgebiet der Geographie gewähren. Michi du warst immer eine tolle Ablenkung, danke dafür. Mormor und Ätti, schön seid ihr so jung geblieben. Euer Interesse für mein Studium war beeindruckend und sehr motivierend. Grosi bald wird dein Rasen wieder regelmässig gemäht, danke dass du während der stressigen Zeiten ein Auge zugeedrückt hast. Vielen Dank γλυκούλι μου, dass du mich während der letzten drei Monaten motiviert, unterstützt und wenn nötig auch abgelenkt hast.

Abstract

In dieser Masterarbeit wird die Mehrzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken und deren Rolle in der Klimaanpassungsstrategie des Kantons Graubünden untersucht. Ein kantonales Inventar der Mehrzwecknutzung aller Grosswasserkraftwerke bildet die Grundlage dafür. Die Daten wurden in leitfadengestützten Experteninterviews mit den Betriebsleitern (Verwendung der männlichen Form «Betriebsleiter», da in dieser Arbeit ausschliesslich Interviews mit männlichen Betriebsleitern geführt wurden) der zehn grössten Kraftwerksgruppen im Kanton Graubünden erhoben. Die Auswertung der Interviews erfolgte durch eine qualitative Inhaltsanalyse. Das Inventar zeigte, dass die Mehrzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden weiterverbreitet ist, als dies in der Fachliteratur bisher angenommen wurde. In jeweils neun von zehn Kraftwerksgruppen findet eine fischereiliche und touristische Nutzung statt. Die grössten Herausforderungen von Mehrzwecknutzungen sind finanzieller Natur. Weitere Herausforderungen von Mehrzwecknutzungen können die natürlichen Bedingungen (z.B. geographische Lage der Speicher), Ökologie sowie betriebliche, rechtliche oder technische Herausforderungen sein. Im Grundsatz sind die Betriebsleiter offen gegenüber Mehrzwecknutzungen, sofern diese den Betrieb nicht massgebend einschränken oder aber sie dafür entsprechend finanziell vergütet werden. Entgegen der Empfehlung des Bundesamtes für Umwelt gibt es im Kanton Graubünden keine kantonale Abklärung, wie die Speicherkraftwerke in Zukunft gesamtheitlich, d.h. unter Berücksichtigung der Interessen der verschiedenen Akteure, bewirtschaftet werden könnten. Auf die Bedürfnisse anderer Anspruchsgruppen der Ressource Wasser wird bisher nur punktuell reagiert. Aufgrund der aus den Experteninterviews und Analyse der Strategiepapiere des Kantons Graubünden gewonnenen Erkenntnisse wird empfohlen, dass im Vorfeld von Neukonzessionierungen abgeklärt wird, welchen Beitrag Wasserkraftwerke heute und in Zukunft zum Hochwasserschutz und Minderung von Wasserdefiziten leisten können. Aufgrund der Unsicherheiten über die Auswirkungen des Klimawandels, ist eine flexible Ausgestaltung der Konzessionen mit unterschiedliche Klimaszenarien denkbar.

Abkürzungsverzeichnis

AEV	Amt für Energie und Verkehr Graubünden
AJF	Amt für Jagd und Fischerei Graubünden
ANU	Amt für Natur und Umwelt Graubünden
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BWRG	Wasserrechtsgesetz des Kantons Graubünden
EWZ	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
GSchG	Gewässerschutzgesetz
MZN	Mehrzwecknutzung
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PV	Photovoltaik
SVGW	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
SWV	Schweizerischer Wasserverband
WRG	Wasserrechtsgesetz
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Inhaltsverzeichnis

<i>Danksagung</i>	I
<i>Abstract</i>	II
<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	III
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	V
<i>Tabellenverzeichnis</i>	V
1 Einleitung	1
2 Forschungsfragen	4
3 Wasser in der Schweiz	5
3.1 Wasserverbrauch	5
3.2 Wasserspeicher	6
3.3 Wasserdefizit.....	7
3.4 Wasserkraft	8
4 Mehrzwecknutzung als Klimaanpassungsmassnahme	12
4.1 Auswirkungen des Klimawandels	12
4.2 Formen der Mehrzwecknutzung von Speicherkraftwerken	14
5 Untersuchungsgebiet Kanton Graubünden	20
5.1 Gesetzliche Grundlagen	21
5.2 Klima.....	22
5.3 Wasser und Nutzergruppen im Kanton Graubünden.....	24
5.4 Klimawandel und -adaption in den Regierungsprogrammen des Kantons Graubünden	27
6 Datenerhebung und methodisches Vorgehen	29
6.1 Qualitative Experteninterviews mit quantitativen Elementen	29
6.2 Datenerhebung Qualitative Experteninterviews	31
6.3 Datenauswertung: Qualitative Inhaltsanalyse.....	33
7 Resultate MZN Graubünden	35
7.1 Übersicht Mehrzwecknutzungen Kanton Graubünden	35
7.2 Übersicht Speichervolumen Kraftwerkgruppen, Kraftwerkstufen & Mehrzwecknutzungen.....	39
7.3 Exemplarische Mehrzwecknutzungen.....	43
7.3 Herausforderungen & Lösungsansätze MZN Speicherkraftanlagen.....	52
7.4 Die Zukunft der MZN im Kanton Graubünden.....	63
8 Schlussfolgerung	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschätzte jährliche Wasserknappheit respektive -überschuss für heutige normale und extreme Bedingungen.....	7
Abbildung 2: Mittlerer Jahresniederschlag im Kanton Graubünden in mm auf Basis der Normperiode 1981 – 2010	23
Abbildung 3: Überblick Beregnung (blau) und Berieselung (orange) in Berggebieten, Ausschnitt Graubünden.....	25
Abbildung 4: Überblick Wiesenbewässerung in Berggebieten, Ausschnitt Graubünden.....	25
Abbildung 5: Verteilung des Wasserbezugs nach Gewässertyp für die Landwirtschaftliche Bewässerung.....	26
Abbildung 6: Ablaufschema einer strukturierenden qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz	34
Abbildung 7: Verlauf der Heimfälle aller untersuchten Wasserkraftwerke im Kanton Graubünden.....	35
Abbildung 8: Übersicht der untersuchten Kraftwerksgruppen im Kanton Graubünden.....	36
Abbildung 9: Verweilzone mit Steganlage Stausee Sufers	45
Abbildung 10: Vom Hochwasser zerstörtes Haus der Künstlerfamilie Giacometti.....	48
Abbildung 11: Pilotanlage Solaralbigna im Winter 2019	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inventar der MZN aller untersuchten Kraftwerkgruppen im Kanton Graubünden	38
Tabelle 2: Speichervolumen, Kraftwerkstufen und Mehrzwecknutzungen nach Kraftwerksgruppen.....	42
Tabelle 3: Übersicht der Herausforderungen und Lösungsansätze von Mehrzwecknutzungen	61

1 Einleitung

Der Klimawandel beeinflusst das globale Temperaturgleichgewicht, was weitreichende Auswirkungen auf Mensch und Umwelt hat. In erster Linie soll deshalb der Ausstoss von Treibhausgasemissionen reduziert werden, um den Klimawandel zu bremsen. Doch auch optimistischen Szenarien zufolge ist ein Anstieg der Temperaturen unausweichlich weshalb Mensch und Umwelt gezwungen sind, sich an die veränderten Bedingungen anzupassen. Da in der Schweiz das lokale und regionale Risiko von Wasserdefiziten in den Sommermonaten zunehmen wird, ist eine Anpassung in der Bewirtschaftung der Wasserressourcen erforderlich, um zukünftig die Versorgungssicherheit der verschiedenen Nutzergruppen garantieren zu können. Aufgrund der generell sehr grossen Wasservorkommen der Schweiz wurde die Wassernutzung bis anhin von der Nachfrage bestimmt. Um das Risiko von Wassermangel zu verringern, soll die Wassernutzung sich in Zukunft am Angebot orientieren. Ein Wasserdefizit entsteht, wenn die Nachfrage die Wasserressourcen übersteigen.

Einen ersten Vorstoss hin zu einem integralen Wassermanagement machte der damalige Nationalrat Hansjörg Walter im Oktober 2010 durch das Einreichen des Postulats Walter. Er forderte den Bundesrat dazu auf, eine ganzheitliche, nachhaltig Strategie für die Bewirtschaftung von Wasser zu entwickeln. Handlungs- und Lösungsansätze für kurzfristige Wasserknappheit und eine langfristige Perspektive zum Umgang mit dem klimatischen und demographischen Wandel sollen aufgezeigt werden (BAFU, 2012c). Der Bundesrat reagierte auf das Postulat mit dem Strategiepapier «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder» (BAFU, 2012a). Gemäss dem Papier sollen Chancen, die sich aus dem Klimawandel ergeben genutzt, das Land vor klimatischen Risiken geschützt und die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt verbessert werden. Die Klimaszenarien CH2011 lieferten dafür die Grundlagen. Der zwei Jahre später veröffentlichte Aktionsplan 2014-2019 setzte den Rahmen für die Umsetzung der Anpassungsstrategie (BAFU, 2014a). Im Faktenblatt zur Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel wird beispielsweise eine Mehrzwecknutzung (MZN) von Wasserkraftwerken ausdrücklich gefordert.

Neue Herausforderungen (grössere Geschiebemengen in den Zuflüssen, Eintrag von Schwebstoffen) und Ansprüche (Hochwasserrückhalt, Bewässerungswasser) verlangen eine gesamtheitliche Bewirtschaftung von Speicherseen. (BAFU, 2013, p. 1)

Neue Konzepte der Wasserverteilung und Wasserspeicherung werden deshalb im Auftrag des Bundes erarbeitet. Auch eine MZN von Wasserkraftwerken wird dabei in Betracht gezogen.

Die MZN von Wasserkraftwerken ermöglicht eine Nutzung der Kraftwerke und deren Wasserspeicher über die Produktion von elektrischer Energie hinaus. Dazu gehören unter anderem der Hochwasserschutz sowie die Bereitstellung von Nutz-, Bewässerungs- und Trinkwasser. Eine MZN – eine flexible Nutzung der Kraftwerkinfrastruktur und

Wasserspeicher – könnte demnach ein wichtiges Instrument zur Anpassung an den Klimawandel sein (Branche, 2015, p. 12). Ironischerweise könnte eine MZN jedoch auch das Erreichen der in der Energiestrategie 2050 gesteckten Ziele erschweren. Die Energiestrategie sieht vor, eine Steigerung der Wasserkraftnutzung um 4 TWh/a bis 2050 zu erreichen. Die MZN befindet sich folglich in einem Spannungsfeld zwischen Klimaadaptation und -mitigation. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel beschreibt Adaption Massnahmen zur Anpassung an die veränderten Klimabedingungen und Mitigation die aktive Verringerung von Treibhausgasen. Die Stromgewinnung aus Wasserkraft ist im Betrieb CO₂ neutral und ist deshalb eine geeignete Massnahme zur Mitigation des Klimawandels auf einer globalen Ebene. Auf einer lokalen und regionalen Ebene hingegen ist die MZN von Speicherkraftwerken ein Instrument zur Adaption an den Klimawandel. Insbesondere die Möglichkeit die Abflüsse aus Speicherkraftwerken regulieren zu können, ist bezüglich einer Anpassung an den Klimawandel interessant. Die Vulnerabilität, eine Funktion von Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit, kann durch eine MZN verringert werden.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Verbreitung und Ausgestaltung von MZN von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden. Dafür wurde ein Inventar aller MZN von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden erstellt. Der Ausbaustand der MZN ist mit ein Indikator für die Anpassungsfähigkeit und Sensitivität des Kanton Graubünden. Da es bisher keine flächendeckende Dokumentation der MZN gibt, wurden die Daten in Experteninterviews mit den Betriebsleitern¹ der Grosswasserkraftwerke erhoben. In den Interviews wurden weiter Herausforderungen und Lösungsansätze, welche sich aus einer MZN von Wasserkraftwerken ergeben diskutiert. Die gesammelten Daten werden genutzt, um in einem Experteninterview mit dem Abteilungsleiter für Energieproduktion und -versorgung des Kantons Graubünden die MZN von Wasserkraftanlagen in der kantonalen Klimaanpassungsstrategie zu diskutieren. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus Experteninterviews und Literaturrecherche sollen Empfehlungen für eine Strategie bezüglich der MZN von Wasserkraftwerken im Kanton Graubünden abgegeben werden. Da im Kanton Graubünden lokal bereits die ersten Folgen des Klimawandels spürbar sind und Alpengebiete in Zukunft speziell stark betroffen sein werden, ist der Zeitpunkt geeignet, um sich mit dem Thema auseinanderzusetzen und Strategien für die Zukunft zu entwickeln (ANU, 2015c, p. 47; BAFU, 2012b, p. 22). Dies insbesondere auch im Hinblick darauf, dass in den kommenden Jahren zahlreiche Konzessionen der Grosswasserkraftwerke auslaufen. Bei der Aushandlung der neuen Konzessionen könnten neue Bedingungen festgelegt werden, so dass zukünftig flexibel auf wandelnde Nutzungsbedürfnisse reagiert werden kann.

Wissenschaftliche Arbeiten zum Thema MZN von Wasserkraftwerken sind in der Schweiz eine relativ neue Erscheinung. Sie befassen sich vorüberwiegend mit der MZN im Kontext des Klimawandels. Haefliger und Sander (2002) zeigen auf, wie historische Hochwasserereignisse zum Umbau des Mattmark-Stausees in einen Mehrzweckwasserspeicher geführt haben. Das Lösungskonzept könnte auf weitere Anlagen

¹ In dieser Arbeit wird die maskuline Form «Betriebsleiter» verwendet, da ausschliesslich Interviews mit männlichen Betriebsleitern geführt wurden.

im In- und Ausland angewendet werden. Weingartner et al. (2014) untersuchten im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP61 die Wasserbewirtschaftung in der Region Crans-Montana-Sierre. In der Arbeit wurden Strategien aufgezeigt, wie klimatischen und sozioökonomischen Veränderungen in der Region begegnet werden könnte. Dabei wird auch eine MZN des Tseuzier-Stausees vorgeschlagen. Thut et al. (2016) forschten in derselben Region. Sie untersuchten anhand der Fallbeispiele Crans-Montana-Sierre und Broye, die Möglichkeiten und Grenzen der MZN von Speicherkraftwerken. Bei einer Studie von der geo7 AG (2017) wurde die Möglichkeiten einer MZN zum Hochwasserschutz und zur Lösung von Trockenheitsproblemen abgeklärt. Dies geschah im Vorfeld einer Abstimmung über den Bau eines Speicherkraftwerks im Oberhasli. Die Studie wurde im Auftrag des Amt für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern durchgeführt. Auch Kellner & Weingartner (2018) untersuchten anhand von konkreten Fallbeispielen, die Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckwasserspeichern im Umgang mit dem Klimawandel. Jossen & Bjørnsen Gurung (2018) verknüpften eine MZN mit dem Konzept der Resilienz indem sie erforschten, inwiefern sich eine MZN positiv auf die Anpassungsfähigkeit auf Störungen auswirken kann. Brunner et al. (2019) widmeten sich konkret dem Problem der Wasserknappheit. Sie untersuchten in einer quantitativen Studie das Potenzial von Wasserspeicher zur Verminderung von Sommerwasserknappheit. Dies geschah mittels einer Gegenüberstellung von regionaler Wasserknappheit und dem nutzbaren Speichervolumen für 307 hydrologische Gebiete in der Schweiz.

Diese Arbeit soll eine Lücke in der bisherigen Forschung schliessen. Bis jetzt wurde eine MZN entweder lokal für einzelne Fallbeispiele untersucht oder aber schweizweit, jedoch dann explizit für die Wasserversorgung. In dieser Arbeit sollen alle Formen der MZN berücksichtigt und für einen ganzen Kanton erfasst werden. Es ist das erste Mal, dass ein derartiges Inventar für einen ganzen Kanton erhoben wird. Die Mehrheit der Studien haben sich bisher mit dem Kanton Wallis befasst, im Speziellen mit den Gemeinden Crans-Montana und Sierre. Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit ist der Kanton Graubünden, da ein Fünftel des in der Schweiz produzierten Strom aus Wasserkraft aus diesem Kanton stammt. Der grösste Anteil davon wird in Speicherkraftwerken produziert. Speicherkraftwerke sind in Bezug auf eine MZN interessanter als Laufwasserkraftwerke, da sie die Fähigkeit haben, Wasser in grossen Mengen zu speichern und bei Bedarf wieder abzugeben. Entsprechend ist der Kanton Graubünden für eine derartige Studie besonders gut geeignet.

2 Forschungsfragen

1. Wie weit verbreitet ist eine Mehrzwecknutzung von den Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden?
2. Welche Herausforderungen ergeben sich aus der Mehrzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken aus Sicht der Bündner Kraftwerksbetreiber und wie kann diesen begegnet werden?
3. Welche Rolle spielt die MZN von Speicherkraftwerken in der Klimaanpassungsstrategie des Kanton Graubünden?
4. Inwiefern werden Neukonzessionierungen dazu genutzt, zukünftig eine gesamteinheitliche Bewirtschaftung von Wasserkraftwerken zu ermöglichen?

3 Wasser in der Schweiz

Die Ressource Wasser hat eine herausragende Bedeutung für Mensch und Umwelt. Die Schweiz profitiert von überdurchschnittlich viel Niederschlägen und grossen Wasserspeichern. Insgesamt sechs Prozent der Süsswasservorräte Europas sind in der Schweiz gespeichert (Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 2012, p. 3). Im Artikel 76 der Bundesverfassung (Art. 76 BV) legt der Bund die Rahmenbedingungen für einen haushälterischen Umgang mit diesen Wasserressourcen fest. Der Bund definiert dafür Vorschriften für die Erschliessung der Wasservorkommen und deren Nutzung. Eine der Nutzungsmöglichkeiten betrifft die Energieerzeugung. Die Kantone haben die Verfügungsgewalt über die Wasservorkommen. Für die Wassernutzung können sie Abgaben erheben, welche durch die Bundesgesetzgebung geregelt sind.

3.1 Wasserverbrauch

Der gesamte Wasserverbrauch im Jahr 2006 betrug 2'141 Mio. m³ (BAFU, 2014b, p. 36). Grund- und Quellwasser wird in der Wasserversorgung dem Wasser aus Oberflächengewässern vorgezogen, da letzteres grösseren Störfaktoren ausgesetzt und die Aufbereitung deshalb aufwendiger ist. In der Schweiz erfolgt die Trinkwasserversorgung entsprechend zu 80 Prozent aus dem Grundwasservorkommen und Quellen (BAFU, 2019a, p. 10). Grössere Ausnahmen bilden Genf und Zürich, wo über 40 Prozent des Trinkwassers aus Seen bezogen wird (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 15). Der jährliche Wasserverbrauch in der Schweiz wird vor allem, durch die Sektoren Fertige Industrie (31.2 %), Dienstleistungen (22.5 %), Haushalte (21.9%) und Landwirtschaft (18.8%) bestimmt. Anteilsmässig kleinere Verbraucher sind Tourismus, Kühltürme, Bergbau und Bau. Seit den 1980er Jahren ist der Wasserverbrauch in der Tendenz rückläufig. Ausnahmen bildeten jedoch die Trockenjahre 1994, 2003, 2006 und 2015 (SVGW, 2018, p. 21). In diesen Jahren kam es lokal zu Versorgungsengpässen mit Trinkwasser.

Besonders die Landwirtschaft ist von Sommertrockenheit stark beeinträchtigt. In den Sommermonaten ist der Wasserbedarf der Landwirtschaft überdurchschnittlich gross, bei Knappheit wird jedoch die Trinkwasserversorgung priorisiert, weshalb es zu Versorgungsengpässen in der Landwirtschaft kommen kann. In der Schweiz stammen 46 Prozent des für die landwirtschaftliche Bewässerung aufgewendeten Wassers aus Bächen, Flüssen und Seen sowie 37 Prozent aus dem Grundwasser (Fuhrer & Calanca, 2014, p. 256). Eine Umfrage des Bundesamts für Landwirtschaft im Jahr 2007 hat ergeben, dass 43'000 ha regelmässig und weitere 12'000 ha in Jahren mit Sommertrockenheit bewässert werden (Weber & Schild, 2007, p. 8). Für ein Trockenjahr würde dies schätzungsweise einem Wasserbedarf von 144 Mio. m³ entsprechen (Weber & Schild, 2007, p. 6). Voraussichtlich wird der Wasserbedarf für die Landwirtschaft in naher Zukunft aufgrund des Klimawandels auf 170 Mio. m³ ansteigen. Durch eine Vernetzung der Versorgungssysteme könnten die Versorgungsengpässe in Zukunft vermindert werden.

Die geographische Verteilung der Wassernachfrage ist in der Schweiz stark heterogen (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 28). Dominiert wird die Wassernachfrage von der Ökologie und der Wasserkraft. Generell lässt sich feststellen, dass im östlichsten Teil des Kantons Graubünden und in der Nordostschweiz die Wassernachfrage eher tief ist, während in den Kantonen Freiburg, Zürich und Tessin die Nachfrage über dem Schweizer Durchschnitt liegt (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 28). Beim Dargebot sind grossräumigere Muster zu erkennen. In den alpinen Gebieten und der Südschweiz steht relativ viel Wasser zur Verfügung, im Mittelland dagegen ist das Dargebot deutlich geringer (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 22).

3.2 Wasserspeicher

In den natürlichen Seen der Schweiz sind 130 km³ Wasser gespeichert (Blanc & Schädler, 2013, p. 25). Das Nutzvolumen, d. h. der Anteil, der tatsächlich für andere Zwecke entnommen werden kann, ist jedoch viel geringer. Die Schweizer Seen erfahren oft eine vielfältige Nutzung, so wird der Grossteil der Seen zwecks Hochwasserschutz reguliert. Sie können aber auch zur Trinkwasserversorgung beitragen, ökologische Ansprüche erfüllen, touristisch und zu Kühl- oder Heizzwecken genutzt werden (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 12).

Das Gletschervolumen betrug im Jahr 2008 ungefähr 65 km³ und ist damit der drittgrösste Wasserspeicher der Schweiz (Farinotti et al., 2009, p. 230). Das in den Gletschern gespeicherte Wasser ist für den Menschen nicht direkt verfügbar, hat aber dennoch eine wichtige Funktion. Winterniederschläge werden langfristig im Gletschereis gespeichert und in den Sommermonaten als Schmelzwasser wieder abgegeben. Gletscher bestimmen nicht nur das Abflussregime in den Berggebieten, sondern wirken sich auch im Tiefland auf die Abflüsse aus. In einem normalen Jahr führt der Rhein bei Basel beispielsweise neun Prozent Gletscherwasser. Im Hitzesommer 2003 stieg der Anteil sogar auf 23 Prozent an (Bjørnsen Gurung & Stähli, 2014, p. 41).

Weitaus geringer sind die Wasservorkommen in den künstlichen Reservoirien. Sie befinden sich fast ausschliesslich in den alpinen Regionen der Schweiz. Speicherseen für die Wasserkraft verfügen mit ungefähr 4 km³ über die grössten Wasserreserven aller künstlichen Reservoirien (Wüest, Bruder, Peter, & Vollenweider, 2012, p. 22). Erbaut wurden diese primär für die Produktion von elektrischer Energie, weitere Nutzungen sind jedoch theoretisch möglich. Trinkwasserreservoirien, Bewässerungs- und Beschneigungsteiche sind im Vergleich zu den Speicherseen sehr kleine Speicher. Trinkwasserreservoirien sind darauf ausgelegt den Trinkwasserbedarf für mehrere Tage bis einige Wochen zu decken. Überschüsse werden teilweise zur Produktion von Strom genutzt. Zusätzlich halten einige Trinkwasserreservoirien Löschwasserreserven (Brunner, Gurung, et al., 2019, pp. 13 & 14).

Der gesamte Wasserspeicher der Schweiz beträgt 340 km³. Rund 150 km³ davon ist Grundwasser, welches in Hohlräumen im Untergrund gespeichert wird. Zehn Prozent des gesamten Grundwassers ist jährlich erneuerbar (Sinreich et al., 2012, p. 16). Stand heute

werden jährlich 1.3 km^3 Grundwasser entnommen. Die Trinkwasserversorgung aus Grundwasser dürfte deshalb auch in Zukunft gesichert sein, nur lokal und saisonal könnte es zu Engpässen kommen. Im Gegensatz zu den Gletscherreserven beispielsweise, hat der Klimawandel bisher keine langfristigen Auswirkungen auf die Grundwasservorkommen in der Schweiz gehabt.

3.3 Wasserdefizit

Ein Wasserdefizit liegt dann vor, wenn der Wasserbedarf die zur Verfügung stehenden Ressourcen übersteigt. Die statistisch gesehen, geringen Niederschlägen im Trockenjahr 2018 führten im Jura, den Voralpen und in der Ostschweiz teilweise zu Wasserdefiziten (BAFU, 2019a, p. 10). Die Abb. 1 gibt Aufschluss darüber in welchen Gebieten der Schweiz es heute unter normalen und extremen Bedingungen Überschüsse (grün) gibt und wo mit einem Defizit (braun) gerechnet werden muss.

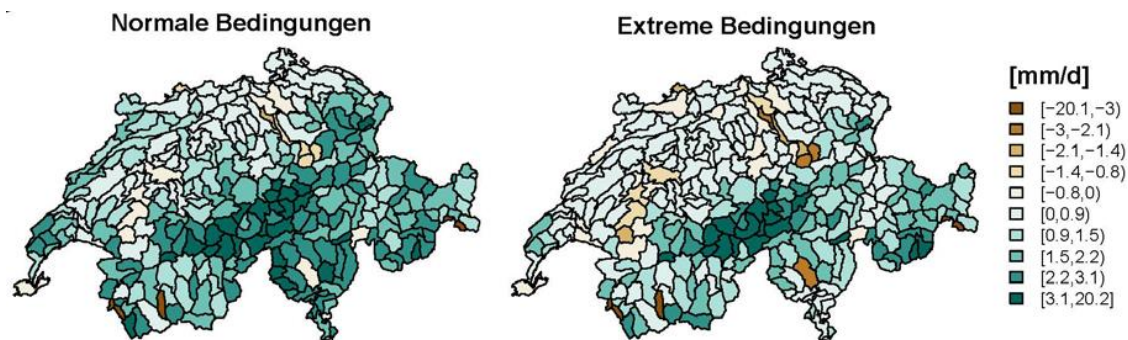


Abbildung 1: Geschätzte jährliche Wasserknappheit respektive -überschuss für heutige normale und extreme Bedingungen (Brunner, Björnsen Gurung, et al., 2019, p. 33)

Besonders im Mittelland und im Jura kann es unter extremen Bedingungen zu teilweise grossen Wasserengpässen kommen. Vereinzelt muss auch im alpinen Gebieten, trotz extrem grosser Wasservorkommen, mit Engpässen gerechnet werden. Dies hat vor allem mit dem hohen Wasserbedarf der Wasserkraft zu tun.

Genau diese Speicher der Wasserkraftbetreiber und weitere Wasserspeicher könnten in Zukunft genutzt werden, um Engpässe zu vermeiden oder zu vermindern. Brunner et al. kamen zu dem Ergebnis, dass vor allem die Seen im Mittelland ein grosses Potenzial haben Wasserdefizite in Zukunft zu vermindern, aber auch in Alpinen Regionen könnten lokale Defizite durch eine MZN der Speicher entspannt werden (2019, p. 37).

3.4 Wasserkraft

55.4 Prozent der produzierten Elektrizität in der Schweiz stammt aus der Wasserkraft. Die Wasserkraft ist damit ein Eckpfeiler in der Elektrizitätsversorgung der Schweiz und zurzeit die wichtigste einheimische Energiequelle. Die Wasserkraft zeichnet sich zudem durch geringe Betriebs- und Unterhaltskosten aus, hat einen hohen Wirkungsgrad und eine lange Lebensdauer. Ausserdem ist die Wasserkraft im Betrieb CO₂ neutral. In Zukunft wird sie aufgrund des Atomausstiegs der Schweiz und dem dafür nötigen Ausbau erneuerbaren Energien zusätzlich an Bedeutung gewinnen (BFE, 2018, p. 39). Über 1'352 Wasserkraftwerke versorgen die Schweiz mit Strom. Mehr als die Hälfte davon sind Kleinwasserkraftwerke (< 10 GWh), die hier aufgrund ihres geringen Speichervolumen nicht näher betrachtet werden. Die Wasserkraft verbraucht kein Wasser, d.h. beinahe das gesamte Betriebswasser wird wieder in die Oberflächengewässer zurückgespeist. Dennoch steht das Wasser besonders bei Speicherkraftwerken räumlich und zeitlich anderen Nutzergruppen nicht zur Verfügung. Die jährliche Wassernutzung für die Stromproduktion ist mit 550'000 Mio. m³/Jahr 258-mal grösser als der jährliche Wasserverbrauch (Björnsen Gurung & Stähli, 2014, p. 21).

Besonders in den alpinen Regionen haben die Speicherkraftwerke nicht nur eine grosse energiewirtschaftliche, sondern auch eine grosse volkswirtschaftliche Bedeutung. Sie generieren Einnahmen und schaffen Arbeitsplätze in oft peripheren, wirtschaftlich schwachen Regionen. Der Bau und Unterhalt der Kraftwerke trägt zur Erschliessung der Berggebiete bei. Steuern und Einnahmen aus der Vergabe von Konzessionen leisten einen grossen Beitrag an den Finanzhaushalt der Kantone und Gemeinden in diesen Regionen. Eine MZN würde das Potenzial der Wasserkraftproduktion einschränken, weshalb aus rein finanzieller Sicht eine MZN sowohl für die Konzessionsgemeinden als auch den Kanton nicht attraktiv wären.

Typen von Wasserkraftwerken

Aufgrund der Betriebsweise lassen sich die Wasserkraftwerke in der Schweiz in drei Kategorien unterteilen. Lauf- und Speicherkraftwerke unterscheiden sich in ihrem Speichervermögen. Laufwasserkraftwerke haben eine sehr geringe Speicherkapazität und sind daher von einem konstanten Zufluss abhängig. Speicherkraftwerke haben hingegen die Möglichkeit, Zuflüsse zu speichern und damit die Energieproduktion zeitlich vom Zufluss zu entkoppeln (BFE, 2004, p. 26). Sie ermöglichen deshalb tägliche und jahreszeitliche Schwankungen der erneuerbaren Energien auszugleichen und bei Knappheit kurzfristig Energie bereitzustellen (BFE, 2004, p. 25). Sie erfüllen damit nebst der Produktion von elektrischer Energie wichtige Netzwerkdienstleistungen und decken rund die Hälfte der Stromproduktion aus der Wasserkraft ab (BFE, 2004, p. 28). Die Speicherfähigkeit von Speicherkraftwerken ist jedoch nicht nur für die Produktion von Strom interessant, sondern auch für diverse andere Nutzungen. Gerade im Hinblick auf die zu erwarteten klimatischen Veränderungen, wird das Interesse an den grossen Wasserspeichern voraussichtlich

zunehmen. Das BAFU will deshalb eine MZN von Wasserkraftwerken als mögliche Anpassungsmassnahme auf den Klimawandel prüfen (BAFU, 2012a, p. 23).

Pumpspeicherkraftwerke haben die zusätzliche Option, Energie in Form von potentieller Energie zu speichern. Bei einem Überangebot von Energie im Stromnetz wird mittels Pumpen Wasser aus dem Tiefbecken ins Speicherbecken gepumpt. Das Wasser wird dann bei Spitzenlast turbinert. Reine Pumpspeicherkraftwerke dienen in erster Linie der Regulierung des Stromnetzes und nicht primär der Stromproduktion (Blanc & Schädler, 2013, p. 16).

Konzessionen und Heimfall von Wasserkraftwerken

In der Schweiz ist die Konzessionsdauer für die Wasserkraft durch das Wasserrechtsgesetz (Art. 58) auf maximal 80 Jahre begrenzt. Sie erlaubt der Betriebsgesellschaft das Wasser des Gemeinwesens zu nutzen. Die Konzessionen sind in der Regel so ausgelegt, dass die Betriebsgesellschaft vollumfänglich über die in der Konzession bestimmten Gewässer und/oder Gewässerabschnitte verfügen kann. Die Konzession verleiht der Betriebsgesellschaft, sofern nicht anders festgehalten, ein Monopol auf die in der Konzession festgeschriebenen Gewässer, eine Allokation des Wassers zwischen unterschiedlichen Nutzerinnen und Nutzern obliegt deshalb alleinig der Betriebsgesellschaft. Andere Nutzerinnen und Nutzer sind deshalb auf die Kooperationsbereitschaft der Betriebsgesellschaft angewiesen, sofern die Nutzung nicht schon in der Konzession festgeschrieben wurde (Branche, 2015, p. 14). Das verliehene Nutzungsrecht kann nur «aus Gründen des öffentlichen Wohles und gegen volle Entschädigung zurückgezogen oder geschmälert werden» (WRG Art. 43).

Die relativ lange Laufzeit von Wasserrechtskonzessionen ist mit den hohen Investitionskosten beim Bau eines Kraftwerks oder einer Neukonzessionierung zu begründen. Die lange Zeitdauer der Konzession soll es der Betreibergesellschaft erlauben die hohen Investitionen zu amortisieren (SWV, 2016, p. 1). Gleichzeitig profitiert sowohl der Konzessionsnehmende als auch der Konzessionsgebende bei einer langen Konzessionsdauer von Planungssicherheit. Da die Mehrheit der Wasserkraftwerke jedoch in den 1960er und 1970er Jahren gebaut wurden, also in einer Zeit als der Klimawandel noch nicht im Fokus der Öffentlichkeit war, konnten aktuelle Herausforderungen der Wasserversorgung, des Hochwasserschutzes, der Ökologie und des Tourismus noch nicht vorausgesagt werden. Die Konzessionen decken deshalb heute nur teilweise die Bedürfnisse der unterschiedlichen Interessengruppen ab. Der Bau der meisten Grosswasserkraftwerke fällt in die Zeitperiode zwischen 1955 und 1970. In den 1990 erfolgte der letzte grosse Ausbau der Wasserkraft mit der Realisierung der Anlage Cleuson-Dixence. Weil die Mehrzahl der Kraftwerke in einem relativ kleinen Zeitraum entstanden sind, kommt es in den kommenden Jahren zum Heimfall oder Neukonzessionierung von dutzenden von Wasserkraftwerken.

Bei den Neukonzessionierungen stellen sich rechtliche und wirtschaftliche Fragen. Wird die Konzession nicht vorzeitig verlängert, geht die Anlage gegen eine relativ geringe Entschädigung in den Besitz des Kantons oder der Konzessionsgemeinden. Diese stehen dann

vor der Wahl, die Konzession an eine neue Betreibergesellschaft zu verleihen, die Anlagen selbst zu betreiben oder die Werke zurückzubauen (SWV, 2016, pp. 1–2). Unabhängig davon für welches Modell sich die Gemeinden und der Kanton entscheiden, sollte gemäss SWV (2016, p. 2) unbedingt vermieden werden, dass die Heimfälle und Konzessionserneuerungen die Stromproduktion gefährden, Investitionen verzögern oder die Wasserkraft verteuern. Die Höhe der Wasserzinsen wird bei den Neukonzessionierungen eine gewichtige Rolle spielen. Der Wasserzins ist eine öffentliche Abgabe der Konzessionäre von öffentlichen Gewässern. Sie muss jährlich bis zum Auslauf der Konzession entrichtet werden (BFE, 2004, p. 42). Das vom Bund festgelegte Wasserzinsmaximum beträgt 110 Fr. pro Kilowatt Bruttoleistung. Hohe Wasserzinsen sind im Interesse der Kantone, während die Wasserkraftbetreiberinnen und -betreiber sich für niedrige Wasserzinsen einsetzen.

Herausforderungen der Wasserkraft

Die ohnehin unter Druck stehende Wasserkraft-Branche muss sich vermehrt der Frage stellen, ob sie die Wasserressourcen zukünftig anders bewirtschaften sollte. Veränderungen des Klimas, der Nutzungsansprüche an die Ressource Wasser und ein Wandel der gesellschaftlichen Werte bezüglich der Nutzung von Wasserkraft konnten im Verlauf der letzten Jahrzehnte beobachtet werden. In den 1980er Jahren begann sich beispielsweise ein gesteigertes Umweltbewusstsein in der Schweiz zu entwickeln. Dies manifestierte sich in strengeren Verfahren für die Bewilligung zum Bau von neuen Wasserkraftwerken. Auch für die bestehenden Kraftwerke gelten seit der Verabschiedung des Gewässerschutzgesetzes von 1991 strengere Vorschriften bezüglich Restwassermengen. Diese müssen bei Neukonzessionierungen oder bei der Erneuerung bestehender Konzessionen eingehalten werden (BFE, 2012, p. 12). Bei Bedarf, z.B. @ der landwirtschaftlichen Bewässerung oder der Erhaltung des Artenreichtums, können die Kantone die Mindestrestwassermengen erhöhen.

Bei laufenden Konzessionen gelten die Sanierungsbestimmungen (Art. 80 ff. GSchG) die besagen, dass die Kantone dazu verpflichtet sind für die Restwasserstrecken eine angemessene Restwassermenge zu definieren und diese zu sanieren, sofern dies wirtschaftlich tragbar ist. Ende 2018 waren 87 Prozent der sanierungspflichtigen Wasserentnahmen saniert (BAFU, 2019b, p. 4). Da ein Grossteil der Konzessionen der bestehenden Grosswasserkraftwerke bis anhin jedoch noch nicht erneuert wurden, wird das Gesetz in vielen Fällen erst in Zukunft in vollem Umfang greifen. Auf die Stromproduktion der betroffenen Kraftwerke wird sich das Gewässerschutzgesetz von 1991 entsprechend negativ auswirken. Bis 2050 wird mit einer Minderproduktion von rund 1'400 GWh/a infolge der angepassten Restwasserbestimmungen gerechnet (BFE, 2012, p. 13), d. h. für eine 10 Prozentige Erhöhung der Wasserkraftproduktion, wie in der Energiestrategie 2050 vorgesehen, werden neue Speicher nötig.

Wasserkraft und die Energiestrategie 2050

Im Jahr 2011 haben Bundesrat und Parlament den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen. Das Defizit, welches sich durch die Stilllegung der fünf bestehenden

Kernkraftwerke ergibt, soll durch zusätzliche erneuerbare Energien gedeckt werden. Für den Umbau des Energiesystems hat der Bundesrat die Energiestrategie 2050 erarbeitet. Eine Massnahme ist der Ausbau der Wasserkraft. Bis 2050 wird ein Ausbau um 4 TWh/a angestrebt (BFE, 2012, p. 1). Gemessen an der Produktionserwartung der bestehenden Anlagen von 35.8 TWh/a entspricht das einer Steigerung um ca. 11 Prozent.

Unter den heutigen Nutzungsbedingungen wird das Ausbaupotenzial der Grosswasserkraft auf 870 GWh/a geschätzt und unter optimierten Nutzungsbedingungen auf 1'530 GWh/a (BFE, 2012, p. 11). Ein Um- und Ausbau umfasst Massnahmen wie die Erneuerung oder Ersatz alter Turbinen und Generatoren, Staumauererhöhungen und die Erschliessung neuer Zuflüsse (BFE, 2012, p. 10). Um- und Ausbauten bestehender Grosswasserkraftwerke erfahren im Vergleich zu Neubauprojekten eine relativ hohe Akzeptanz in Politik und Gesellschaft. Der Um- und Ausbau erfordert keine neuen Kunstbauten in der Landschaft und stellen deshalb einen vergleichsweise geringen Eingriff in die Umwelt dar (BFE, 2012, p. 9).

Durch den Atomausstieg fällt die zweitgrösste Quelle zur Produktion elektrischer Energie und der wichtigste Produzent von Bandenergie weg. Neue Photovoltaik- und Windkraft Anlagen sollen in Zukunft helfen die Atomkraft zu ersetzen. Die Erzeugung von Strom aus Wind und Solarstrahlung ist allerdings stark von den meteorologischen Gegebenheiten abhängig und die Produktion folglich nicht regelbar. Die Speicherfunktion von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken wird deshalb in Zukunft umso bedeutender für die Schweizer Energiepolitik, solange es keine geeignete Alternative gibt, um elektrische Energie in grossen Mengen zu speichern.

4 Mehrzwecknutzung als Klimaanpassungsmassnahme

4.1 Auswirkungen des Klimawandels

In den vergangenen 100 Jahren (1912-2011) hat die Durchschnittstemperatur in der Schweiz aufgrund des Klimawandels um 1.5 °C zugenommen, dies ist beinahe doppelt so viel wie im globalen Durchschnitt. In einigen Regionen wurde während den letzten 30 Jahren gar ein Anstieg von 0.5 °C pro Dekade beobachtet (BAFU, 2012b, p. 22). Auch hat die Anzahl der Sommer- und Hitzetage zugenommen (Temperaturen über 25 °C bzw. 30 °C), während die Anzahl der Eis und Frosttage abgenommen hat (maximale Tagestemperatur kleiner als 0 °C bzw. minimale Tagestemperatur unter 0 °C) (Meteo Schweiz, 2019). Die Erwärmung in der Schweiz wird unabhängig vom Emissionsszenario in allen Regionen zunehmen. Bis zum Ende des Jahrhunderts ist eine weitere Zunahme der mittleren Jahrestemperatur von 2 bis 3 °C möglich. Bis 2060 (Referenzperiode 1981-2010) werden die Sommertemperaturen um 2.5 bis 4.5 °C und die Wintertemperaturen um 2 bis 3.5 °C zunehmen. Bis 2100 werden die Sommertemperaturen sogar um 4 bis 7 °C zunehmen (NCCS, 2018, pp. 5–6). Von der Erwärmung wird die südliche Schweiz und das Alpengebiet am stärksten betroffen sein (CH2018, 2018, p. 57).

Im Gegensatz zu den Temperaturen wurden beim Niederschlag keine schweizweiten, signifikanten Veränderungen während den letzten 100 Jahren beobachtet (BAFU, 2012b, p. 22). Während die Niederschlagssumme auch in Zukunft wahrscheinlich gleich bleibt, wird es zu regionalen und saisonalen Veränderungen kommen. Bis 2060 werden die Sommerniederschläge lokal bis zu 25 Prozent abnehmen. Im gleichen Zeitraum sind jedoch auch Zunahmen von bis 10 Prozent möglich. Das Ausmass des jährlich extremsten Niederschlagsereignisses nimmt voraussichtlich um 10 Prozent zu (NCCS, 2018, p. 4). Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden die Sommerniederschläge abhängig von der Region gleich bleiben oder bis 40 Prozent abnehmen (NCCS, 2018, p. 6).

Die Erwärmung und Veränderungen der saisonalen und regionalen Verteilung der Niederschläge wirken sich auf den Wasserkreislauf in der Schweiz aus. Die steigenden Temperaturen beeinflussen sowohl die Evapotranspiration als auch die Speicherung von Wasser (BAFU, 2012b, p. 44). Die Formel zur Beschreibung des Wasserkreislaufs lautet wie folgt:

$$P \text{ (Niederschlag)} = ET \text{ (Evapotranspiration)} + Q \text{ (Abfluss)} + dS \text{ (Änderung der Speicherung)}$$

Im Hinblick auf eine MZN sind primär Veränderungen des Abflusses von Bedeutung. Der Abfluss lässt sich, abgeleitet aus der obenstehenden Formel, wie folgt berechnen:

$$Q \text{ (Abfluss)} = P \text{ (Niederschlag)} - ET \text{ (Evapotranspiration)} - dS \text{ (Änderung der Speicherung)}$$

Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welche Konsequenzen der Klimawandel auf den Abfluss in der Schweiz hat.

Die Schweiz ist trotz grosser Wasserreserven von Sommertrockenheit betroffen. Aufgrund des Klimawandels wird sich dieses Problem verschärfen. Die Temperaturen nehmen vor allem in den Sommermonaten zu, die mittleren Sommerniederschläge nehmen hingegen ab, besonders ab Mitte des 21. Jahrhunderts (BAFU, 2012a, p. 10). Die Anzahl der Regentage nimmt voraussichtlich ab und die Dauer der längsten jährlichen Trockenperiode um zwei bis neun Tage zu (NCCS, 2018, p. 6). Also Folge der Erwärmung steigt auch die Evapotranspiration (Summe aus Transpiration und Evaporation). Bodentrockenheit wird eine direkte Folge davon sein. Eine Abnahme der Sommerniederschläge und eine Zunahme der Evapotranspiration werden folglich zu einer Abnahme der Abflüsse während den Sommermonaten führen, was durch die Entwicklung bei den natürlichen Speichern noch verstärkt wird.

Die sich abzeichnenden Abnahmen des Schnee- und Gletscherspeichers führen längerfristig ebenfalls zu reduzierten Abflüssen. Die aufgrund der steigenden Temperatur zunehmende Gletscherschmelze könnte zwar kurzfristig eine ausgleichende Wirkung haben. Im Vergleich zur letzten kleinen Eiszeit nahm das Volumen der Schweizer Gletscher jedoch bereits um die Hälfte ab, bis im Jahr 2100 werden nur noch 20-30% des heutigen Gletschervolumens übrig sein (BAFU, 2012b, p. 31). Aufgrund der Klimaerwärmung steigt die Schneefallgrenze zudem weiter an (BAFU, 2014a, p. 32). Bei einer Temperaturzunahme um ein Grad Celsius steigt die Schneefallgrenze um etwa 150 Meter (BAFU, 2012b, p. 45). Deshalb ist auch in höheren Lagen im Winter vermehrt mit Regen anstelle von Schnee zu rechnen. Bis im Jahr 2100 werden die in Schnee gebundenen Wasserreserven deshalb voraussichtlich um 40% abnehmen (BAFU, 2012b, p. 40). Ab Mitte des 21. Jahrhunderts wird deshalb mit signifikant geringeren Sommerabflüssen gerechnet, was die Sommertrockenheit weiter verschärft. Die bisher natürliche Verlagerung von Abflüssen vom Winter in den Sommer wird durch eine geringere Schneedecke und eine reduzierte Gletscherschmelze spätestens ab Mitte dieses Jahrhunderts deutlich geringer ausfallen.

Während die mittleren Abflüsse im Sommer geringer werden, nimmt die Gefahr von extremen Abflüssen (Hochwasser) aufgrund von heftigeren Starkniederschlägen zu. Seit 1901 hat die Niederschlagssumme von individuellen Starkniederschlägen um 12% zugenommen. Dies hat mit den wärmeren Temperaturen zu tun. Wärmere Luft kann um 6 bis 7 Prozent mehr Wasser pro Grad Celsius speichern (NCCS, 2018, p. 8). Die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen könnte daher in Zukunft steigen (BAFU, 2014a, p. 15). Jahrhundertniederschläge fallen voraussichtlich bereits 2060 10 bis 20 Prozent heftiger aus (NCCS, 2018, p. 6). Ein 10-jährliches Hochwasserereignis am Vorderrhein entspricht heute beispielsweise 550 m³/s, in Zukunft wird ein solches etwa 700 m³/s betragen (BAFU, 2012b, p. 63). Wenn sich Starkniederschläge mit der Schnee- und Gletscherschmelze überlagern, kann es in den Berggebieten zu sehr grossen Abflüssen kommen. Das Hochwasserrisiko wird zudem bis in den Herbst hinein bestehen bleiben (BAFU, 2012a, p. 11).

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftwerke

Auch die Wasserkraft ist durch den Klimawandel betroffen. Kurzfristig ist mit zunehmendem oder zumindest gleichbleibendem Zufluss durch das Abschmelzen der Gletscher bis zum Ende

der Konzessionsperioden zu rechnen (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:44:49-1#). Langfristig wird die Stromproduktion von hoch gelegenen Speicherkraftwerken wegen fehlender Schnee- und Gletscherabflüssen abnehmen (BFE, 2012, p. 13). Auch im Kanton Graubünden ist ein Rückgang von Gletschern seit längerem zu beobachten (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:41:20-7#; Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:33:59-1#, Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:42:01-3#). Dadurch wird feines Material freigelegt, welches bei Starkniederschlägen ins Wasser gelangt (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:25:23-2#; Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:41:20-7#). Die Turbinen erfahren dadurch mehr Erosion und die Standzeit (Lebensdauer von Turbinen) verringert sich. Zudem müssen die Fassungen durchschnittlich öfters gespült werden, um das Material weiter flussabwärts zu bringen, was ebenfalls einen Verlust für die Betreibenden der Wasserkraftwerke darstellt

Die in der Klimaforschung festgestellte Zunahme der lokalen Starkniederschlägen wurde im Kanton Graubünden von einigen Kraftwerksbetreibenden bestätigt (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:25:23-2#; Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:23:15-8#). Weil bei Starkniederschlägen extrem grosse Wassermengen innert kürzester Zeit anfallen, werden die Fassungsgrößen der Anlagen teilweise überschritten (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:26:25-4#; Kraftwerkgruppe Misox, 2019 #00:09:03-8#; Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:14:07-9#). Teilweise müssen aufgrund des mitgeführten Geschiebematerials Wasserfassungen aus Sicherheitsgründen geöffnet werden. Weil das Wasser dadurch weder gespeichert noch turbinieren werden kann, geht es aus Sicht der Kraftwerksbetreibenden ungenutzt verloren. Dies ist besonders ärgerlich, da aufgrund der höheren Sommertemperaturen der Energiebedarf für die Kühlung und Klimatisierung von Wohn- und Bürohäusern grösser wird (BAFU, 2014a, p. 17). Ab einer Temperatur von 20 Grad Celsius kann ein sprunghafter Anstieg der Stromnachfrage beobachtet werden. Der Wert des Wassers steigt deshalb besonders in trockenen Sommern (Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:31:59-4#; Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:32:58-9#). Dadurch haben die Wasserkraftbetreibenden ein geringeres Interesse, das Wasser an andere Nutzerinnen und Nutzer abzugeben, was die Konkurrenzsituation zwischen den verschiedenen Nutzergruppen während der Sommerzeit zusätzlich verschärft.

4.2 Formen der Mehrzwecknutzung von Speicherkraftwerken

Grundsätzlich ermöglicht ein Speichersee die künstliche Regulierung von Abflüssen. Dadurch ergeben sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Nutzung von Speicherseen. Sie können Abflüsse aus dem Einzugsgebiet der Speicher zurückhalten und so einen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten, da dadurch die Abflussspitzen in den Unterläufern gebrochen werden. Umgekehrt kann während länger andauernden Trockenperioden gespeichertes Wasser in die unterliegenden Oberflächengewässer gespeist oder aus den Wasserkraftanlagen an andere Nutzergruppen abgegeben werden. Die Fähigkeit Abflüsse zu regulieren, ermöglicht folglich eine MZN der Speicherkraftwerke. Bisher gibt es keine allgemeingültige Definition für die Begriffe Mehrzweckspeicher und MZN. Branche, welcher

ein Management und Governance Modell zur Bewirtschaftung von Speicherkraftwerken ausgearbeitet hat, schlägt folgende Definition eines Wasserkraft-Mehrzweckspeichers vor:

Multipurpose hydropower reservoirs are designed and/or operated to provide services beyond electricity generation, such as water supply, flood and drought management, irrigation, navigation, fisheries, environmental services and recreational activities, etc. (Branche, 2015, p. 8)

In Anlehnung an diese Definition, definiere ich eine MZN von Speicherkraftwerken wie folgt:

Mehrzweckgenutzte Speicherkraftwerke erfüllen neben der Energieversorgung (Produktion und Speicherung) weitere gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Funktionen. Eine Mehrzwecknutzung wirkt sich einschränkend auf den Betrieb des Speicherkraftwerks aus und/oder verringert die dem Kraftwerkbetreibenden zur Verfügung stehende Wassermenge.²

Mit der Zunahme von Extremwetterereignissen wie Starkniederschlägen, Trockenperioden und Hitzewellen, könnte die MZN von Speicherkraftwerken zukünftig an Bedeutung gewinnen (Branche, 2015, p. 13). So sind die alpinen Regionen in der Schweiz besonders stark vom Klimawandel betroffen. Veränderte Abflussregimes in den Alpen können zu Konkurrenzsituation zwischen den unterschiedlichen Nutzergruppen um die Ressource Wasser führen (BAFU, 2014a, pp. 26 & 32). Der Umgang mit den Wasserressourcen muss daher angepasst werden, wobei eine Verlagerung von einer nachfrageorientierten hin zu einer angebotsorientierten und sektoren-übergreifenden Bewirtschaftung der Wasserressourcen angestrebt werden soll. Die Wasserverfügbarkeit kann durch eine bessere Wasserspeicherung und Wasserverteilung optimiert werden. Eine MZN von Speicherkraftwerken könnte in diesem Unterfangen eine wichtige Rolle zukommen, indem sie zukünftige Wasserknappheit durch intelligent vernetzte Systeme ausgleichen (BAFU, 2012a, p. 10). Der Synthesebericht zu den «Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserressourcen in der Schweiz» empfiehlt den Bau zusätzlicher (Mehrzweck-) Speicher abklären (BAFU, 2012b, p. 64).

Zurzeit weist die Gesamtheit der Schweizer Stauseen eine Speicherkapazität von 4 km³ auf. Dieser Wert mag im Vergleich zum Grundwasservorkommen von (150 km³) und der Kapazität der natürlichen mit Seen (130 km³) vergleichsweise gering erscheinen. Aufgrund des viel höheren Nutzvolumens sollte das Potential der Speicherseen dennoch nicht unterschätzt werden. In natürlichen Seen sind durchschnittlich zwei Prozent des Speichervolumens nutzbar, während dieses bei Speicherseen ungleich grösser ist (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 23). Für welche Zwecke das Wasser in Zukunft genutzt werden könnte und welche weiteren Dienstleistungen Speicherkraftwerke erfüllen können, wird im Folgenden beschrieben.

² Die Nutzung für die Stromproduktion mit zusätzlichen Photovoltaikanlagen (schwimmend oder an der Staumauer installiert) und touristische Aktivitäten werden in dieser Arbeit ebenfalls berücksichtigt, obwohl diese den Kraftwerkbetrieb nicht oder kaum beeinträchtigen.

Hochwasserschutz

Die schiere Existenz von Speicherseen hat einen positiven Effekt auf den Hochwasserschutz. Das Wasser aus dem Einzugsgebiet wird durch den Speichersee zurückgehalten und gelangt zeitlich und in der Regel räumlich versetzt zurück in den Unterlauf der entsprechenden Flüsse, wodurch Hochwasserspitzen gebrochen werden. Das Ausmass der Schutzfunktion ist abhängig von der Art und Grösse des Einzugsgebiets und der Grösse des Speichervolumens, respektive des freien Speichervolumens zur Zeit des Hochwassers. Die Schutzfunktion nimmt mit zunehmender Distanz zum Speicherkraftwerk ab. Durch eine aktive Bewirtschaftung der Speicherseen, d. h. einer frühzeitigen Absenkung bei Hochwasserereignissen oder einem fixen Freihaltvolumen, kann die Schutzfunktion erhöht werden (Kellner & Weingartner, 2018, p. 102).

Bedingt durch den Klimawandel wird das Hochwasserrisiko sowohl im Winter (Zunahme der Winterniederschläge) als auch im Sommer (grössere Schneeschmelze und Zunahme von Starkniederschlägen) zunehmen (BAFU, 2012a, p. 11). Die Bedeutung der Speicherkraftwerke für den Hochwasserschutz könnte deshalb im Verlauf des 21. Jahrhunderts an Bedeutung gewinnen. Wie eine aktive, intelligente Bewirtschaftung der Speicherseen in der Praxis umgesetzt werden kann, zeigt das von der ETH Lausanne entwickelte Hochwasservorhersagesystem MINERVE. Das System verknüpft Wetterprognosen, Abflussdaten und Information zum Füllungsstand der Speicherseen, um die Abflussspitzen im Voraus abzuschätzen. Ziel ist es, im Vorfeld von extremen Niederschlägen durch vorsorgliche Entleerung oder Turbinierung genügend Speichervolumen in den Speicherseen zu schaffen. Dadurch können die Abflussspitzen gebrochen und somit das Hochwasserrisiko gesenkt werden (DWFL, 2016, pp. 28–31). Das System trägt im Walliser Rhonetal bereits effektiv zum Hochwasserschutz bei. Zudem hat der Bundesrat das BAFU damit beauftragt, eine nationale Lösung auszuarbeiten, wie die Kraftwerkbetreibenden für ihren Beitrag an den aktiven Hochwasserschutz in Zukunft finanziell entschädigt werden können. Ein solches Modell könnte für die Kraftwerkbetreibenden eine attraktive Einnahmequelle in Zeiten von niedrigen Strompreisen darstellen (Kellner & Weingartner, 2018, p. 102)

Trinkwasser

Speicherseen können grosse Mengen an Wasser speichern und so zu einer sicheren Trinkwasserversorgung beitragen (Branche, 2015, p. 13). In der Schweiz spielen Speicherseen nur eine sehr untergeordnete Rolle in der Sicherung der Trinkwasserversorgung, da Quell- und Grundwasser in ausreichender Menge und in guter Qualität zur Verfügung stehen. Dennoch beziehen beispielsweise einige Gemeinden der Region Crans-Montana-Sierre Trinkwasser aus dem Stausee Lac de Tseuzier (Reynard & Bonriposi, 2012, p. 290). Besonders in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird eine deutliche Abnahme der Sommerniederschläge vorausgesagt (BAFU, 2012a, p. 10). Durch eine Verknüpfung der

Wasserkraft mit der Trinkwasserversorgung könnte das Problem der Sommertrockenheit, zumindest lokal, teilweise entschärft werden.

Landwirtschaftliche Bewässerung

Die Herausforderungen der Landwirtschaft werden durch den Klimawandel zunehmen. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird aufgrund geringerer Schnee- und Gletscherschmelze auch vermehrt mit Frühjahrstrockenheit gerechnet werden müssen. Langanhaltende Trockenheit beeinträchtigt die Bodenqualität negativ. Nur durch eine schonende Bewirtschaftung der Böden kann ihre Wasserspeicherfunktion langfristig erhalten bleiben. Trotz unterschiedlichen Anpassungsmassnahmen wie beispielsweise dem Anbau von trockenheitsresistenteren Sorten, wird die Nachfrage nach Bewässerungswasser in der Landwirtschaft voraussichtlich zunehmen. Unter landwirtschaftlicher Bewässerung versteht man die Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen mit Oberflächen- oder Grundwasser. Gründe einer landwirtschaftlichen Bewässerung können die Steigerung oder Sicherung von Ernteerträgen und -qualität sein. Landwirtschaftliche Ernteerträge sind direkt von den regionalen klimatischen Bedingungen abhängig. Langanhaltende Trockenheit führt daher zu massiven Ertragseinbussen. Bewässerungsanlagen zur Qualitäts- und Ertragssicherung in stark von Trockenheit betroffenen Regionen (z.B. inneralpine Trockentäler) werden vom Bund und von den Kantonen unterstützt (Suissemelio, 2011, p. 15).

Der Klimawandel setzt auch die grossen landwirtschaftlichen Regionen unter Druck. Im Berner Seeland werden über 50 Prozent des Schweizer Gemüses produziert, weshalb die Region als die Gemüsekammer der Schweiz gilt (Jordan et al., 2018, p. 9). Obwohl das Wasservorkommen in der Region sehr gross ist, kommt es bereits heute teilweise zu Wasserknappheit. Im Hitzejahr 2003 betrug der Bedarf für die landwirtschaftliche Bewässerung in der Region zwischen 5-10 Prozent des Dargebots (Fuhrer & Calanca, 2014, p. 260). Während grösseren Trockenperioden im Sommer liegt der Abfluss der Broye schon heute regelmässig unter der gesetzlich vorgeschriebenen Restwassermenge, weshalb der Bewässerungsbedarf für die Landwirtschaft nicht mehr aus der Broye und ihren Oberläufern gedeckt werden darf (Jordan et al., 2018, p. 5). Bis im Jahr 2050 würden voraussichtlich 15 Prozent des mittleren Monatsabflusses im Juli für die landwirtschaftliche Bewässerung benötigt werden. Im Rahmen des Projekts «Integrales Wassermanagement Region Broye und Seeland» wird deshalb ein Wasserbezug aus dem Neuenburger- oder Murtensee abgeklärt (Jordan et al., 2018, p. 15).

Bewässerungswasser wird weiter für den Unterhalt von Golfanlagen und im Rahmen von weiteren Freizeitaktivitäten nachgefragt. Die Golfanlage in Crans-Montana verbrauchte im Jahr 2010 85'000 m³ Wasser, im Trockenjahr 2011 sogar 92'000 m³ (Weingartner et al., 2014, p. 14). Besonders in Trockenzeiten ist der Bewässerungsbedarf für die Landwirtschaft und wasserintensiven Freizeitaktivitäten wie Golf besonders hoch. Eine Wasserentnahme aus den Oberflächengewässern ist jedoch gerade dann aus ökologischer Sicht kritisch zu beurteilen und teilweise auch verboten. In solchen Notsituationen, könnte ein Verknüpfung mit Wasserkraftwerken sinnvoll sein.

Löschwasser

Die Trockenheit fordert auch die Waldwirtschaft heraus. Wälder an Standorten mit zukünftig häufigeren und längeren Trockenperioden, müssen gezielt gepflegt und Verjüngungseingriffe vorgenommen werden, um das Risiko von Waldbränden zu vermindern (BAFU, 2014a, p. 17). Doch auch bei entsprechenden Massnahmen wird aufgrund der zukünftigen Häufigkeit und Intensität der Trockenperioden die Walbrandgefahr zunehmen. Deshalb ist es von grosser Bedeutung, dass auch das Triebwasser von Wasserkraftwerken für die Bekämpfung von Waldbränden genutzt werden kann. Für die Bekämpfung von grossräumigen Waldbränden kommt vor allem eine Entnahme direkt aus den Speicherseen in Frage. Anpassungen müssen dafür in der Regel keine gemacht werden. Löschwasser-Entnahmestellen können aber auch schon oberhalb des Speichersees an den Wasserfassungen angebracht werden. Unterhalb der Kraftwerke ist eine Entnahme aus den Fensterstollen, Ausgleichbecken und bei entsprechenden Installationen aus dem Druckstollen möglich. Besonders in abgelegenen Gebieten, können die Kraftwerke zum abwehrenden Brandschutz beitragen. In der Praxis wird insbesondere der Bezug von Löschwasser aus Speicherseen praktiziert. Bei neueren Anlagen wurden teilweise Anschlüsse für den Wasserbezug eingerichtet.

Künstliche Beschneigung

Aufgrund der steigenden Schneefallgrenze sehen sich immer mehr Wintersportdestinationen dazu veranlasst, ihre Pisten technisch zu beschneien. Besonders während der Weihnachtszeit, wo in vielen Wintersportdestination ein Viertel des gesamten Umsatzes gemacht wird, ist eine ausreichende Schneerversorgung ökonomisch überlebenswichtig (Zegg, 2012; Präsident Sportanlagen Bivio, 2019, #00:00:32-5#). Rund 49 Prozent aller Schweizer Pisten sind heute technisch beschneibar, Tendenz steigend (Widmer, 2016, p. 25). Dies verursacht kurzfristig einen extrem hohen Wasserverbrauch.

In einer Studie zum Ausmass der künstlichen Beschneigung in der Schweiz wurde 2015 mittels einer Online Umfrage die Anzahl Beschneiungsbecken ermittelt. Damals gab es 80 Beschneiungsbecken und weitere 18 waren in Planung. Die tatsächliche Anzahl dürfte jedoch grösser sein, da ca. 25 Prozent der Schweizer Skigebiete (darunter vor allem die grösseren Skigebiete) den Fragebogen nicht ausgefüllt haben (Iseli, 2015, p. 34). Bei entsprechender Lage und Infrastruktur kann auch Wasser aus den Speicherseen, Wasserfassungen oder den Druckstollen für die künstliche Beschneigung verwendet werden. Dies setzt allerdings die entsprechende Rückhaltung der Wassermenge in Speicherseen und Reservoiren voraus, was ohne zusätzliche Entschädigung nicht im Interesse der Kraftwerkbetreibenden sein dürfte. Der grosse Vorteil dieser MZN ist allerdings, dass kein weiterer Kunstbau erstellt werden muss und die Trinkwasserspeicher, welche teilweise auch zur künstlichen Beschneigung verwendet werden, geschont werden können.

Erholungs- und Freizeitaktivitäten

Speicherseen können bei einer entsprechenden Bewirtschaftung für unterschiedliche Erholungs- und Freizeitaktivitäten genutzt werden, wie zum Beispiel Fischen, Segeln, Windsurfen oder Schwimmen. Ein entsprechendes Angebot kann positiv zur Attraktivität einer Region beitragen. Eine touristische Nutzung trägt zudem zur Wertschöpfung bei und generiert Arbeitsplätze. Der Sommertourismus könnte von höheren Temperaturen und anhaltenden Trockenperioden profitieren. Während in vielen Teilen der Schweiz die Menschen unter den hohen Temperaturen leiden, sind diese in den alpinen Regionen meistens um ein paar Grad tiefer. Zudem wirken erfahrungsgemäss auch Seen besonders anziehend auf Menschen. Eine Erweiterung des Sommerangebots mit Aktivitäten auf und um die Speicherseen herum könnte die Abhängigkeit der Regionen vom Wintertourismus etwas mindern und die Entwicklung hin zum Ganzjahrestourismus erleichtern. Die Erholungs- und Freizeitaktivitäten werden der Einfachheit halber mit dem Begriff Tourismus zusammengefasst.

Ökologie

Der Klimawandel beeinflusst die Standorteigenschaften und die Funktionsweise von Ökosystemen (BAFU, 2014a, p. 18). Insbesondere die Bedingungen für Lebensräume, welche auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen sind, werden sich verschlechtern (BAFU, 2014a, p. 19). Die Gefahr von Niedrigwasser im Frühjahr und Sommer wird ab Mitte dieses Jahrhunderts zunehmen. Niedrigwasser stellt für die Flora und Fauna immer eine grosse Belastung dar, während natürliche Hochwasser sich positiv auf die Ökologie in Gewässerräumen auswirken. Nimmt jedoch die Intensität und Frequenz von Hochwassern aufgrund des Klimawandels zu, kann dies auch eine zerstörerische Auswirkung auf die Ökologie von Flussgebieten haben. Eine aktive Regulierung der Abflüsse in Extremsituationen kann sich deswegen die Ökologie positiv beeinflussen. Durch eine vorausschauende Bewirtschaftung der Speicherseen kann während Trockenheitsperioden ausreichend Wasser abgelassen und bei Starkniederschlägen zurückgehalten werden. Durch kontrollierte Hochwasser lässt sich ausserdem die Gewässerstruktur von Restwasserstrecken unterhalb von Speicherseen verbessern (Rey et al., 2002, pp. 20–23).

Fischerei

Speicherseen können für Freizeitfischerei und auch für die kommerzielle Fischerei genutzt werden. Eine fischereiliche Bewirtschaftung ist teilweise sogar wünschenswert, damit der Speichersee als Ersatzbiotop für die durch die Wasserentnahme beeinträchtigten Fliessgewässer fungieren kann (Forstenlechner et al., 1997, p. 52). Nebenbei erfährt der Speichersee dadurch nebst der primären energiewirtschaftlichen Nutzung einen gewissen Erholungs- und Freizeitwert. Im Untersuchungsgebiet Kanton Graubünden wird der Fischbesatz vom Amt für Jagd und Forschung (AJF) organisiert. Von den in dieser Arbeit erforschten Seen findet in den folgenden Speicherseen und Ausgleichbecken ein Fischbesatz

statt: Brigelsersee, Curnera, Davosersee, Lago Bianco, Lago di Poschiavo, Lago Isola, Stausee Lai Burvagn, Stausee Sufers, Stausee Marmorera, Stausee Nalps, Panixersee, Sontga Maria und Stausee Zervreila (AJF, 2014, pp. 21–22). Der Lago di Livigno und der Lago di Lei liegen grösstenteils auf italienischem Boden und werden deshalb nicht vom AJF bewirtschaftet. Im Lago di Livigno findet jedoch ein Fischbesatz von Livigno (ITA) aus statt (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:15:49-8#). Bei der Besichtigung der Staumauer am Lago di Lei konnten mehrere Personen beim Fischen beobachtet werden, was darauf schliessen lässt, dass auch dort ein aktiver Besatz stattfindet. In den Ausgleichsbecken und Tagesspeichern findet mehrheitlich kein Fischbesatz statt (AJF, 2014, pp. 21–22). Allgemein findet in allen grösseren in dieser Arbeit untersuchten Speicherseen ein Fischbesatz statt. Die Ausnahme bildet der Stausee Albigna. Auch dort versuche das AJF Fische anzusiedeln, aufgrund der Nährstoffarmut des Gewässers blieb der Versuch jedoch erfolglos (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:16:34-8#).

Photovoltaik

Sowohl die Oberfläche eines Speichersees als auch die Staumauer eines Stausees können theoretisch zur Installation von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) genutzt werden. Die Voraussetzungen zur Produktion von Solarenergie sind in den alpinen Regionen besonders gut. Verhältnismässig viele Sonnenstunden, hohe Sonneneinstrahlung und eine hohe Oberflächenreflexion durch Schnee oder Wasser haben einen positiven Effekt auf die Ergiebigkeit von PV-Anlagen. PV-Anlagen mit direktem Kontakt zum Oberflächenwasser sind dank einer besseren Wärmeableitung effizienter (Piana, 2019, p. 6). Die Vereinigung der Stromerzeugung aus Wasserkraft und Photovoltaik zu einem Solar-Wasser-Hybridfaktor hat den Vorteil, dass die Infrastruktur des bestehenden Wasserkraftwerks doppelt genutzt werden kann. Bei einer Installation an der Kraftwerksmauer entsteht ausserdem kein neuer Kunstbau und der visuelle Eingriff in das Landschaftsbild ist somit gering.

Die erste schwimmenden PV-Pilotanlage wurde 2007 in Aichi, Japan gebaut. Nach einer Reihe von Versuchsanlagen in verschiedenen Ländern, wurde 2016 die erste etwas grössere Anlage mit einer maximalen Leistung von rund 10 MWp in Betrieb genommen. Die bis dato grösste Anlage hat eine maximale Leistung von 150 MWp. Die erste «Floating PV» der Schweiz wurde 2012 auf dem Lac des Toules gebaut. Im Herbst dieses Jahrs soll nach Jahren der Forschung und Optimierung die Anlage grossflächig ausgebaut werden. Dank der hohen Energieeffizienz kann dieser Typ von PV-Anlagen bis zu 50 Prozent mehr Energie produzieren als herkömmliche PV-Anlagen im Flachland (Piana, 2019, p. 3). Weitere PV-Anlagen könnten auf den 45 grösseren Speicherseen in der Schweiz in Zukunft installiert werden und so einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung der Schweiz leisten (Piana, 2019, p. 6)

5 Untersuchungsgebiet Kanton Graubünden

Der Kanton Graubünden ist der flächenmässig grösste Kanton der Schweiz. Insgesamt stammt ein Fünftel des Schweizer Wasserkraftstroms aus dem Bergkanton. Der Grossteil davon wird

in den 55 im Kantonsgebiet liegenden Speicherkraftwerken produziert. Diese haben ein gesamtes Nutzvolumen von 0.89 km³, wobei die 19 grössten Stauseen 99 Prozent des Nutzvolumens ausmachen (AEV, 2009, p. 6). Die Speicher- und Laufwasserkraftwerke des Kantons Graubünden produzieren in einem Durchschnittsjahr 8'000 GWh Strom. Nur 25 Prozent davon dient dem Eigengebrauch, der Rest wird in die übrige Schweiz und ins Ausland exportiert (AEV, 2009, p. 6). Der Kanton Graubünden und seine Gemeinden generieren jährliche Einnahmen von rund 86 Mio. Fr. aus den Wasserzinsen (AEV, 2009, p. 9). Zusätzliche Einnahmen im Zusammenhang mit der Wasserkraftproduktion ergeben sich aus der Gewinn- und Kapitalsteuer, der Kultussteuer, der Zuschlagssteuer und der Liegenschaftsteuer (AEV, 2009, p. 9).

Die Grosswasserkraft in Graubünden setzt sich aus 33 Speicherkraftwerken und drei Laufwasserkraftwerken zusammen. Die Grenze zwischen Lauf- und Speicherkraftwerken ist nicht immer einfach zu ziehen. Die Kraftwerke Tinizong und Tiefencastel Ost operieren beispielsweise im Tandembetrieb. Das heisst, dass das Wasser des Stausees zwei hintereinander geschalteten Kraftwerken zugeführt wird. Das zweite Kraftwerke hat somit selbst keine grössere Speicherkapazität und wäre deshalb nach der im Beginn der Arbeit eingeführten Definition ein Laufwasserkraftwerk. Weil das Kraftwerk Tiefencastel Ost das Wasser aus dem Stausee Marmorera jedoch turbinieren und in seiner Funktionsweise deshalb mehr einem Speicherkraftwerk entspricht, ordnet diese Arbeit dieses und weitere Kraftwerke dieser Art den Speicherkraftwerken zu. Die Albula-Landwasser Kraftwerkgruppe und das Kraftwerk Reichenau wurden aufgrund ihres grossen Produktionsvermögen für die vorliegende Arbeit berücksichtigt, obwohl es sich dabei um Laufwasserkraftwerke handelt.

5.1 Gesetzliche Grundlagen

Für die Nutzung von öffentlichem Wasser ist auch im Kanton Graubünden eine Konzession erforderlich. Regulär ist die Konzession bei einem Neubau auf 60 Jahre beschränkt (ab Inbetriebnahme des Kraftwerks). Werden bei einer Neukonzessionierung wesentliche Teile der bestehenden Anlage weiterverwendet, beträgt die Konzessionsdauer 40 Jahre. Der Kanton kann jedoch eine abweichende Konzessionsdauer genehmigen (BWRG Art. 24).

Eine MZN von Wasserkraftwerken für die Nutzungen Löschwasser, Bewässerung und Trinkwasserversorgung ist im Wassergesetz des Kantons Graubünden geregelt. Den Gemeinden steht es zu, während dem Bau eines Kraftwerkes, dieses auf eigene Kosten mit der Trink- und Löschwasserversorgung sowie der Bewässerung dienende Anlagen zu verknüpfen (BWRG Art. 18a). Auch nach dem Bau des Kraftwerkes steht der Gemeinde das Recht zu, den ausgewiesenen Bedürfnissen entsprechend Wasser aus dem Wasserkraftwerk und ihren Speichern zu beziehen. Anrechenbare Bedürfnisse sind die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung und in ausserordentlichen Situationen der Bezug von Lösch- und Bewässerungswasser. Wird der Wasserkraftbetreiber durch die Entnahme des Wassers wesentlich beeinträchtigt, gilt es diesen zu entschädigen (BWRG Art. 18b).

5.2 Klima

Temperatur

Innerhalb des Kantons Graubünden gibt es sehr grosse Temperaturunterschiede, diese reichen von mediterran (Val Poschiavo, Val Bregaglia und Valle Mesolcina) bis arktisch im Hochgebirge. Die Temperaturunterschiede ergeben sich aus den Nord-Süd-Unterschieden und den Höhenlagen (Meteo Schweiz, 2012, p. 15). Im südlich gelegenen Grono wurde im Jahr 2003 mit einer gemessenen Temperatur von plus 45°C gar ein Temperaturrekord für die Schweiz aufgestellt (ANU, 2015: 39). Die Jahresmittelwerte reichen von -5.4°C (Piz Corvatsch) bis 12.4°C (Grono) (ANU, 2015c, p. 124). Eine Erwärmung des Klimas ist für den Kanton Graubünden eindeutig nachweisbar. Es gibt jedoch ausgeprägte saisonale und regionale Unterschiede. Seit 1900 nimmt die Temperatur im Kanton Graubünden durchschnittlich um 0.1 °C bis 0.2 °C pro Jahrzehnt zu. Für die Regionen Nordbünden ist dieser Trend für den Winter noch ausgeprägter, dort beträgt die Zunahme seit 1961 durchschnittlich 0.2°C bis 0.4°C pro Jahrzehnt, während in Davos für die gleiche Zeitperiode keine signifikante Temperaturveränderung festgestellt wurde. Für den Sommer beträgt die Temperaturzunahme im Kanton Graubünden durchschnittlich 0.4°C bis 0.5°C pro Jahrzehnt (MeteoSchweiz, 2012: p. 18).

In allen aktuellen Klimamodellen wird eine weitere Zunahme der Temperaturen sowohl für die Alpennord- als auch die Alpensüdseite prognostiziert. Für die Alpennordseite wird bis 2060, abhängig von der Jahreszeit und dem Klimamodell, mit einer Zunahme zwischen 0.7 bis 3.4°C gerechnet, auf der Alpensüdseite beträgt die Zunahme 0.8 bis 3.7 °C (Meteo Schweiz, 2012, pp. 45-46). Die Temperatur hat einen direkten Einfluss auf die Konsistenz des Niederschlags, Schnee- und Gletscherschmelze. Mit Ausnahme der höchstgelegenen Messstationen, verzeichnen alle weiteren einen Rückgang der Gesamtschneehöhe (ANU, 2015b, p. 48). Auch die von Gletscher bedeckte Fläche nimmt stetig ab. Heute bedecken die 444 Gletscher noch 2.5 Prozent der Kantonsfläche, was einer Fläche von ca. 183 km² entspricht (ANU, 2015c, p. 47). Aufgrund des vergleichsweise geringen Albedo der Erdoberfläche im Vergleich zu Schnee und Eis wird es zu einer Erhöhung der Energiebilanz in den Alpen kommen (ANU, 2015c, p. 47; BAFU, 2012b, p. 22). Deshalb wirkt sich die Klimaerwärmung in den alpinen Regionen deutlicher aus.

Niederschlag

Nicht nur die Temperaturen, sondern auch die Niederschläge weisen in Graubünden grosse räumliche und jahreszeitliche Unterschiede auf. Auf Basis der Niederschlagsverteilung, lässt sich Graubünden in die drei grösseren Gebiete Rheinbünden, Engadin und Südtäler unterteilen (Gensler, 1978, p. 112). Während einige Ortschaften im Engadin weniger als 800 Millimeter (mm) Jahresniederschlag aufweisen, werden im Hinterrhein mehr als das doppelte an Jahresniederschlag erreicht (ANU, 2015: 39). Die Verteilung der mittleren Jahresniederschläge für den Kanton Graubünden zeigt die Abb. 2.

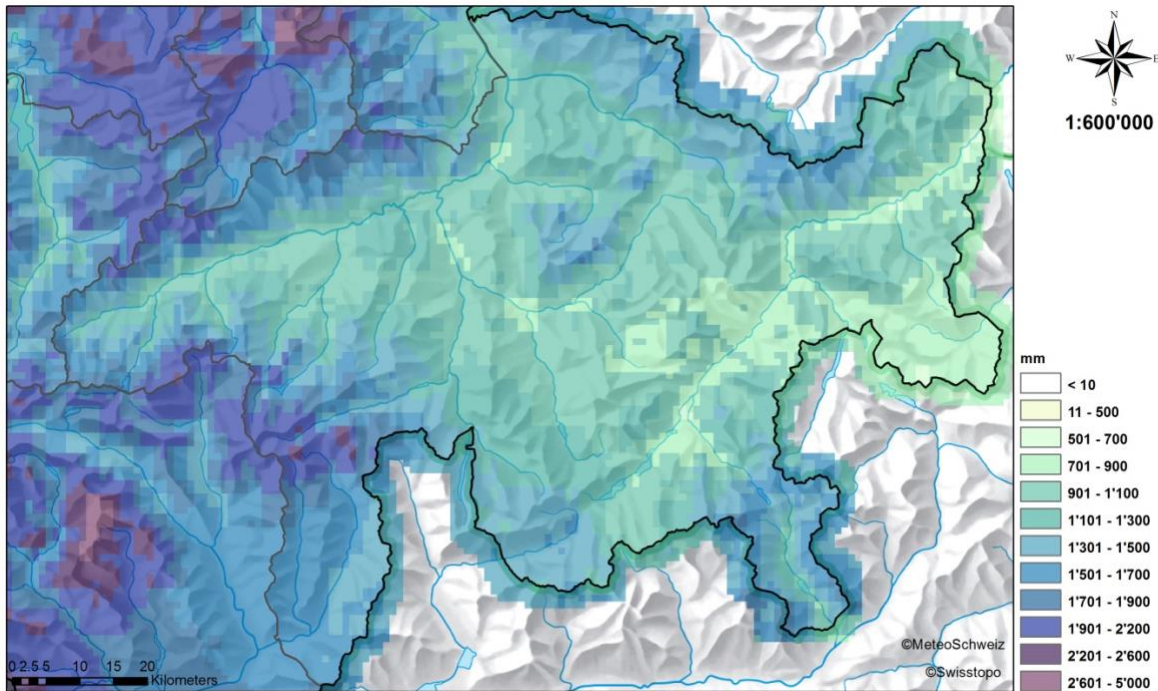


Abbildung 2: Mittlerer Jahresniederschlag im Kanton Graubünden in mm auf Basis der Normperiode 1981 – 2010 (Quelle: Meteo Schweiz, 2012, p. 16)

In den meisten Regionen nahmen die Niederschläge von 1982 bis 2011 ab, jedoch nicht signifikant (BAFU, 2012b, p. 24). Generell wird angenommen, dass sich das Wasserdargebot bis zum Ende des 21. Jahrhunderts nicht massgebend verändert. Die regionalen und jahreszeitlichen Unterschiede werden allerdings grösser werden. Niederschläge in den Sommermonaten nehmen mit grosser Wahrscheinlichkeit im Verlauf des 21. Jahrhunderts ab und in den Wintermonaten zu (BAFU, 2012b, p. 27, vgl. Kapitel 4.1). Auf die MZN bezogen, dürfte die Nachfrage für die landwirtschaftliche Bewässerung damit in Zukunft zunehmen (vgl. Kapitel 4.2).

Extremwetterereignisse

In den Südtälern des Kantons Graubünden sind heftige Regenfälle in den Sommermonaten ein altbekanntes Phänomen (ANU, 2015, p. 45; Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:01:42-8#). Zwischen 1991 und 2015 haben Hochwasser und damit verbundene Murgänge Schäden in der Höhe von 31 Mio. Fr. an Infrastruktur und Gebäuden verursacht. Die Frequenz und das Ausmass von Hochwasserereignissen werden wahrscheinlich in Zukunft zunehmen und bis in den Herbst hineinreichen (ANU, 2015c, p. 51, vgl. Kapitel 4.1). Dazwischen wird es voraussichtlich immer wieder zu ausgedehnten Trockenperioden kommen. Trockenheit ist in Graubünden grundsätzlich keine neue Erscheinung, besonders Mittelbünden und das Engadin sind lange und intensive Trockenperioden gewohnt (Meteo Schweiz, 2012, p. 15). Die Häufigkeit von Hitzewellen im Sommer und eine Verlängerung der sommerlichen Trockenperioden sind sehr wahrscheinlich. Im 20. Jahrhundert traten im Kanton Graubünden insgesamt drei grössere Dürreperioden auf (1947, 1949 und 1976) (Schorer, 2000, p. 3). In diesem Jahrhundert kam es bereits zu Beginn des Jahrhunderts zu grösseren Trockenperioden

(2003, 2004 und 2005) (Göpfert, 2007, p.1), im Jahr 2018 sogar zu einem Jahrhundertereignis. Die Zunahme von Extremwetterereignissen hat Auswirkungen auf die Landwirtschaft, den Gefahrenschutz, die Wasserwirtschaft und die Biodiversität (ANU, 2015c, p. 46)

5.3 Wasser und Nutzergruppen im Kanton Graubünden

Unter normalen Bedingungen wird im Kanton Graubünden auch in Zukunft grundsätzlich nicht mit Wasserknappheit gerechnet werden müssen. Nur in Extremsituationen wird die Nachfrage das Dargebot übersteigen. Die Wasserspeicher im Kanton hätten das Potenzial, diese Knappheiten geringfügig zu mindern (Brunner et al., 2019, pp. 36-37). In der Studie von Brunner et al. (2019) wird jedoch davon ausgegangen, dass das Dargebot allen Nutzergruppen uneingeschränkt zur Verfügung steht, was jedoch heute nicht der Fall ist. Die Wasserkraft «verbraucht» momentan in weiten Teilen des Kantons Graubünden am meisten Wasser (Brunner, Gurung, et al., 2019, p. 31). Den übrigen Anspruchsgruppen steht hingegen nicht immer genügend Wasser zur Verfügung. Deshalb sollte in Zukunft eine integrale Bewirtschaftung der Wasserspeicher angestrebt werden, so dass bei Bedarf deren Potenzial auch effektiv für andere Interessensgruppen zur Verfügung steht.

Landwirtschaftliche Bewässerung

Die landwirtschaftliche Bewässerung im Kanton Graubünden lässt sich bis ins frühe Mittelalter zurückverfolgen. Bei den bewässerungsbedürftigen Gebieten handelt es sich vornehmlich um inneralpine Trockentäler, welche durch ein ganz eigenes Klima geprägt sind, weil sie sowohl von den Niederschlagsaktivitäten aus dem Norden als auch dem Süden abgeschirmt sind (Göpfert, 2007, p. 3). Die Bewässerungsbedürftigkeit ist in erster Linie abhängig von der Niederschlagsmenge und deren saisonalen Verteilung. Nach Fuhrer und Jasper liegt eine Bewässerungsbedürftigkeit vor, wenn durch eine Bewässerung einer Fläche durchschnittlich mindestens jedes dritte Jahr eine positive Wirkung auf die Ernteerträge erreicht werden kann (2009, p. 399). Göpfert (2007) hat in einer Studie untersucht, welche Gebiete im Kanton Graubünden bewässerungsbedürftig sind (Abb. 4).

Im Jahr 2010 wurden im Kanton Graubünden 2'633 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewässert (Marbot, Schneider, & Flury, 2013, p. 16). Dies entspricht nicht ganz ca. 4.9% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche, womit der Kanton Graubünden über dem gesamtschweizerischen Schnitt von 3.4% liegt (Fuhrer & Calanca, 2014, p. 256). In Graubünden entfallen 80 Prozent der bewässerten Fläche auf Dauergrasland (Marbot et al., 2013, p. 16). Die folgende Karte gibt Aufschluss darüber, wo im Kanton Graubünden Wiesenbewässerung betrieben wird.

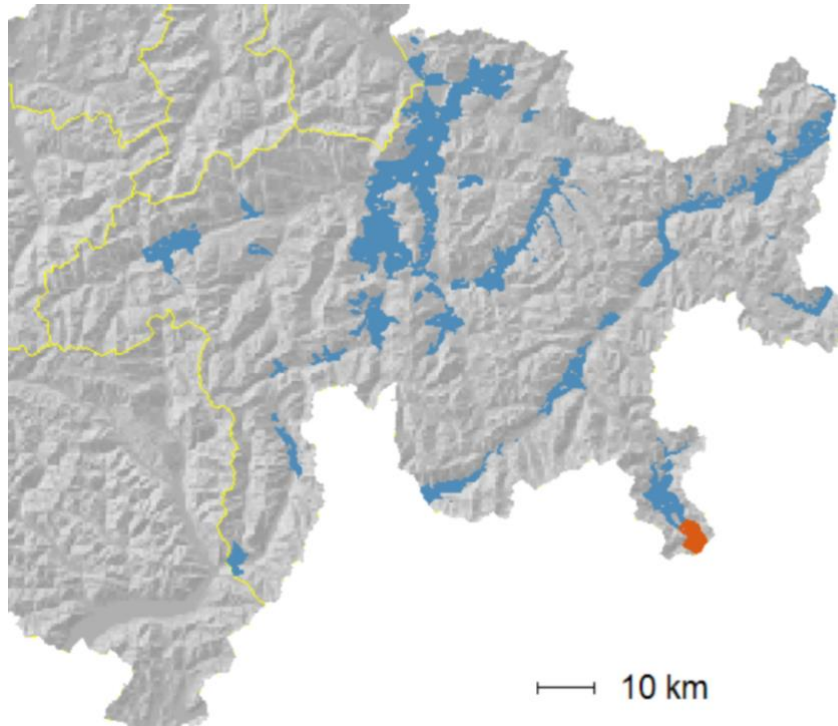


Abbildung 3: Überblick Beregnung (blau) und Berieselung (orange) in Berggebieten, Ausschnitt Graubünden (Flury, Schneider & Marbot, 2013: p.16)

Ein Vergleich der Abb. 3 mit der Abb. 4 zeigt, dass bei weitem noch nicht alle bewässerungsbedürftigen Gebiete bewässert werden, weshalb ein Anstieg der landwirtschaftlichen Bewässerung in Zukunft vermutet werden kann. Bewässerungsbedürftig sind vor allem die Gebiete Churer Rheintal, Ilanz, Domleschg, Mittelbünden, Ober- und Unterengadin, Bergell und Puschlav.

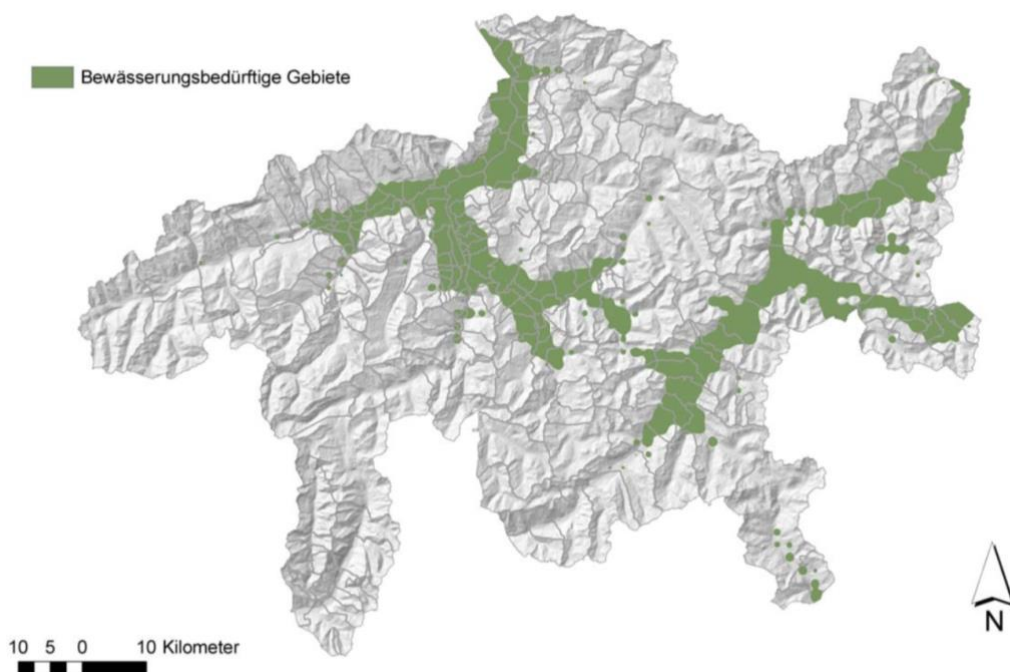


Abbildung 4: Überblick Wiesenbewässerung in Berggebieten, Ausschnitt Graubünden (Quelle: Flury, Schneider & Marbot, 2013: p.16)

Auf dem Kantonsgebiet sind 1'470 ha mit ortfesten Leistungsnetzen ausgerüstet (Weber & Schild, 2007, p. 6). Im Jahr 2007 wurden insgesamt 2'872'000 m³ Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung benötigt. Der Wasserbedarf in den kritischen Monaten von Juni bis August entspricht weniger als einem Prozent des Dargebots im Kanton (Fuhrer & Calanca, 2014, p. 259). Im Extremjahr 2003 wurden jedoch in den Regionen Prättigau, Oberengadin und Bergell Werte zwischen 2-5 Prozent erreicht (Fuhrer & Calanca, 2014, p. 260).

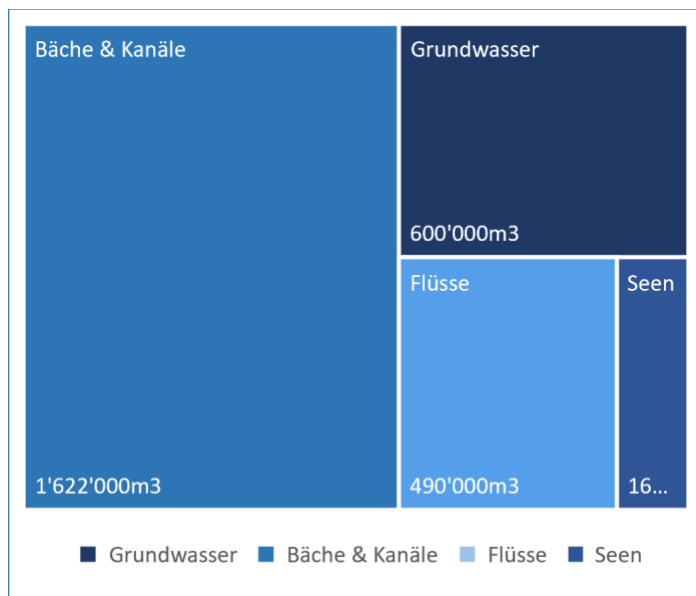


Abbildung 5: Verteilung des Wasserbezugs nach Gewässertyp für die Landwirtschaftliche Bewässerung (Eigene Darstellung, Datenquelle: Weber & Schild, 2007, p. 6)

Bei gleichbleibender Bewirtschaftung werden zukünftig mehr landwirtschaftliche Nutzflächen bewässerungsbedürftig werden. Betroffen sind vor allem das das Churer Rheintal, die Region Ilanz, Domleschg, Ober- und Unterengadin, das Münstertal und die Region Puschlav (ANU, 2015b, p. 82). Interessant ist eine Verknüpfung der landwirtschaftlichen Bewässerung mit den aufgegebenen Landwirtschaftsbetrieben. Die Anzahl der Betriebe im Kanton Graubünden mit Bewässerung nahm für die Zeitperiode 2000 bis 2010 weniger stark ab (-1.8%) als landwirtschaftliche Betriebe ohne Bewässerung (-2.4%) (Marbot et al., 2013). Ob ein signifikanter Zusammenhang besteht ist nicht gesichert, jedoch lässt sich das gleiche Phänomen im Kanton Wallis beobachten. Grund dafür könnte eine erhöhte Anpassungsfähigkeit der Betriebe mit Bewässerung auf sich verändernde Bedingungen sein.

Löschwasser

Der Kanton Graubünden ist stark von Waldbränden gefährdet. Zwischen 1980 bis 2015 haben Waldbrände in Graubünden eine Fläche von 700 ha Wald beschädigt. Die Folgekosten beliefen sich auf über 9 Mio. Fr. (ANU, 2015c, p. 54). 2003, 2006 und 2007 haben lange andauernde Hitzeperioden, geringe Niederschläge die Waldbrandgefahr auf ein kritisches Niveau ansteigen lassen (AWN, 2008, p. 1). Ausgelöst werden Waldbrände in den meisten Fällen durch Gewitter mit Blitzeinschlag oder durch Menschen. Da für den Kanton

Graubünden mehr Trockenphasen und weniger Sommerniederschläge prognostiziert werden, werden die Frequenz und Intensität von Waldbränden zunehmen. Um Waldbrände möglichst effektiv bekämpfen zu können, sollten deshalb Wasserbezugsstellen an strategisch wichtigen Standorten geschaffen werden (AWN, 2008, p. 3).

Künstliche Beschneigung

Der Wintertourismus ist aus einfach nachvollziehbaren Gründen besonders klimasensitiv. Gemäss einer Studie der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) wird die Schneesicherheit der 35 Skigebiete im Kanton Graubünden trotz Klimaerwärmung bis auf weiteres gegeben sein. Bei einer Zunahme der Temperatur um zwei Grad Celsius wird die Schneesicherheit von einem Skigebiet nicht mehr gegeben sein, bei einer Zunahme um vier Grad Celsius wären fünf Skigebiete betroffen (Abegg, Elsasser & Bürki, 2008, p. 75). Sowohl auf regionaler als auch auf nationaler Ebene wird der Kanton aufgrund der Lage in den Hochalpen vergleichsweise relativ schneesicher sein. Trotzdem ist die technische Beschneigung auch im Kanton Graubünden von grosser Bedeutung und wird wahrscheinlich aufgrund des Klimawandels weiter ausgebaut werden.

Erholungs- und Freizeitaktivitäten

Der Wintertourismus im Kanton Graubünden gerät zunehmend unter Druck. Die Schneefallgrenze steigt und die Winter werden kürzer. Zukünftige Unsicherheiten aufgrund des Klimawandels und Klimavariabilität sind eine Herausforderung für die Wintertourismusdestinationen. Es sind deshalb nicht nur Anpassungen im Bereich des Wintertourismus nötig sondern auch eine verstärkte Ausrichtung auf den Sommertourismus (Abegg et al., 2008, p. 76; ANU, 2015a; Tourismusrat Graubünden, 2017, p. 31). Da Seen eine besondere Anziehungskraft auf den Menschen haben, könnte die touristische Nutzung von Speicherseen eine Chance für den Sommertourismus darstellen. Der Davosersee bietet während den Sommermonaten ein breites Angebot an Freizeit- und Wasseraktivitäten. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit zum Baden, Wakeboarden, Wind- und Kitesurfen, Segeln und Fischen. Weitere Destinationen könnten diesem Beispiel folgen.

5.4 Klimawandel und -adaption in den Regierungsprogrammen des Kantons Graubünden

2012 wurde der Klimabericht für den Kanton Graubünden veröffentlicht. Darin wird die historische Klimaentwicklung im Kanton Graubünden aufgearbeitet und Prognosen für die zukünftige Entwicklung gemacht. Zwei Jahre später wurde die Verwaltung von der Regierung beauftragt, eine kantonale Klimastrategie zu erarbeiten. Das Amt für Umwelt und Natur kam dieser Forderung nach und erarbeitet vier Arbeitspapiere zum Klimawandel in Graubünden, welche im Jahr 2015 veröffentlicht wurden. Darin werden die Klimaanpassung, der Klimaschutz, Risiken und Chancen des Klimawandels und eine Klimastrategie für den Kanton Graubünden diskutiert. Ein integrales Risikomanagement von Naturgefahren, die Anpassung

der touristischen Angebote an die klimatischen Bedingungen und die Stärkung der Versorgungssicherheit bezüglich Wasser gehören zu den zehn Handlungsschwerpunkten der Bündner Klimastrategie (ANU, 2015a, p. 8). Alle drei sind mit dem Thema MZN verknüpft, eine MZN wird jedoch nicht explizit erwähnt.

Das Risikomanagement von Naturgefahren wurde als ein Handlungsfeld identifiziert, da sich die Gefahr durch Hochwasser, Murgänge und Waldbrände aufgrund des Klimawandels zunehmen wird. Durch ein integrales Risikomanagement soll ein ganzheitlicher, sozial, ökonomisch und ökologisch vertretbarer Schutz vor Naturgefahren erreicht werden (ANU, 2015a, p. 17). Der Einfluss des Klimawandels auf Hochwasser wird im Arbeitspapier 1 (Anpassungen) als mittel, der Handlungsbedarf als hoch eingeschätzt (ANU, 2015b, p. 88). Der Einfluss des Klimawandels und der Handlungsbedarf werden für das Trinkwasser als mittel und für die Bewässerung als gross eingeschätzt (ANU, 2015b, pp. 81 & 82). Man ist sich bewusst, dass es in Zukunft sowohl im Sommer als auch im Winter zu Versorgungsengpässen kommen könnte. Die Wasserversorgung soll deshalb besser vernetzt und regionalisiert werden. Das ANU empfiehlt dafür die Erarbeitung eines Massnahmenpakets, welches Wassermengen und Wasserverwendung qualitativ und quantitativ regelt (ANU, 2015a, p. 22).

Die Bereitstellung von Wasser für die künstliche Beschneigung wird dabei auch eine Rolle spielen. Die zukünftig wärmeren Wintertemperaturen und ein damit eingehender Anstieg der Schneefallgrenze wird eine grosse Herausforderung für die zahlreichen Wintersportdestinationen des Kantons. Kurzfristig können Massnahme wie die künstliche Beschneigung oder Snowfarming Abhilfe schaffen, langfristig muss jedoch umgedacht werden: «Das touristische Angebot im Kanton Graubünden soll auf ein neues Fundament gestellt werden. Es braucht vor allem eine verstärkte Ausrichtung auf den Sommertourismus.» (ANU, 2015a, p. 20). Im angestrebten Strategiewechsel könnte die touristische Nutzung von Speicherseen einen Beitrag leisten. Passend dazu hat der Bund die gesamtheitliche Bewirtschaftung von Speicherseen in der Klimaanpassungsstrategie als ein Handlungsfeld der Anpassung identifiziert (BAFU, 2012a, p. 23). Eine MZN wird als neues Modell der Bewirtschaftung vorgeschlagen. In der Klimastrategie des Kantons Graubünden wird zwar erwähnt, dass der Bund eine gesamtheitliche Bewirtschaftung fordert, darauf eingegangen wird jedoch nicht (ANU, 2015b, p. 83).

6 Datenerhebung und methodisches Vorgehen

Die Grosswasserkraftwerke im Kanton Graubünden sind allesamt Teil von Kraftwerksgruppen. Eine Kraftwerksgruppe besteht in den meisten Fällen aus mehreren, technisch zusammenhängenden Kraftwerksanlagen. Es ist jedoch auch möglich, dass eine Kraftwerksgruppe aus einem regionalen Zusammenschluss technisch nicht zusammenhängender Kraftwerksanlagen besteht (Piot, 2017, p. 230). Die Kraftwerke werden motiviert durch betriebliche und wirtschaftliche Überlegungen als Kraftwerksgruppen bewirtschaftet. Die Mehrheit der zehn Bündner Kraftwerkgruppen besteht aus technisch zusammenhängenden Kraftwerken. Deshalb ist es oftmals nicht möglich, eine MZN nur einem einzelnen Kraftwerk oder Speicher zuzuschreiben. Das gesetzlich festgelegte Freihaltvolumen im Stausee Albigna hat beispielsweise einen Einfluss auf alle Kraftwerke des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich im Bergell, da durch das Freihaltvolumen nicht der gesamte Speicher des Stausees effektiv genutzt werden kann. In dieser Arbeit wurden die Kraftwerksgruppen deshalb als Einheit untersucht und nicht die einzelnen Speicher und Kraftwerke.

Die Kraftwerkgruppen sind fast ausschliesslich als Partnerwerkgesellschaften organisiert, d.h. die Aktien sind im Besitz mehrerer Gesellschaften. Der Betrieb wird von der Partnerwerkgesellschaft selbst geleitet oder von einem der Mitbesitzer übernommen. Ausnahme stellen die Kraftwerke Mittelbünden und die Bergeller Kraftwerke dar, welche vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (Dienstabteilung) betrieben werden und alleinig im Besitz der Stadt Zürich sind. Für jede Kraftwerksgruppe ist ein Betriebsleiter verantwortlich. Ein Betriebsleiter kann mehrere Kraftwerksgruppen leiten, was jedoch der Ausnahme entspricht (z.B. Kraftwerkgruppen Davos/Prättigau & Puschlav). Die Betriebsleiter wurden aufgrund ihrer detaillierten Kenntnisse über die Kraftwerkgruppen im Verlauf der Arbeit als die am besten geeigneten Interviewpartner ausgemacht, um in qualitativen, leitfadengestützten Experteninterviews die benötigten Daten für die Forschungsarbeit zu erheben

6.1 Qualitative Experteninterviews mit quantitativen Elementen

Um die Fragen zur Verbreitung und zu den Herausforderungen der Merzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken zu beantworten, sowie deren Bedeutung in der Klimaanpassungsstrategie und bei der Neukonzessionierung zu eruieren, wurden Daten anhand von Experteninterviews generiert. Experten verfügen über Spezialwissen des zu verfolgenden Sachverhalts (Gläser & Laudel, 2009, p. 12). Das Experteninterview ist ein Instrument, um diese Sachverhalte zu erforschen. Den Experten kommt dabei eine exklusive Stellung in dem Kontext zu, weil sie über besonders Wissen verfügen. In diesem Fall ist das unter anderem Wissen über die Wasserkraftanlagen, einer MZN der Infrastruktur und Speicher, Herausforderungen der MZN und die Implementierung von MZN in den Betrieb von Wasserkraftwerken. Die Kraftwerksgruppen sind die Untersuchungsobjekte der Fallstudie. Unter einer Fallstudie versteht Kaiser: «[...] eine Untersuchung, die sich nur auf einen

einzelnen oder höchstens wenige, vielfach vergleichbare, Fälle bezieht» (2014, p. 4). Deskriptive und/oder kausale Erkenntnisse sind dabei im Zentrum des Interesses.

Experteninterviews gehören aufgrund der Offenheit der Fragen und der gewöhnlich geringen Anzahl der Befragten zu den qualitativen Forschungsmethoden. Kaiser definiert qualitative Experteninterviews wie folgt: «Qualitative Experteninterviews können definiert werden als ein systematisches und theoriegeleitetes Verfahren der Datenerhebung in Form der Befragung von Personen, die über exklusives Wissen [...] verfügen» (Kaiser, 2014, p. 6). Die Information kann dabei nicht gemessen werden, was eine quantitative Analyse verunmöglicht (Helfferich, 2004, p. 21). Qualitative Experteninterviews können deshalb auch nicht die Anforderungen der intersubjektiven Nachprüfbarkeit erfüllen. Eine andere Forscherin oder ein anderer Forscher könnte im Gespräch mit den gleichen Expertinnen und Experten und dem gleichen Erhebungsinstrument zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Die intersubjektive Nachvollziehbarkeit muss jedoch gegeben sein. Dafür müssen Annahmen, Verfahrensschritte der Datenerhebung, Analyse und Interpretation transparent dokumentiert werden, so dass die Vorgehensweise klar nachvollziehbar ist (Kaiser, 2014, p. 6).

Der für diese Arbeit gewählte Zugang zum Thema unterscheidet sich von klassischen qualitativen Interviews insofern, dass die qualitativ erhobenen Informationen durch quantitative Angaben ergänzt werden. So wird zum einen der Ist-Zustand der MZN in Graubünden (quantitativ) erfasst, zum anderen werden auch die Einstellungen der Kraftwerksbetreiber sowie Herausforderungen und Lösungsansätze einer MZN erhoben (qualitativ). Der folglich gewählte Mixed-Methods Ansatz wird von Kuckartz wie folgt definiert:

Unter Mixed-Methods wird die Kombination und Integration von qualitativen und quantitativen Methoden im Rahmen des gleichen Forschungsprojekts verstanden. Es handelt sich also um eine Forschung, in der die Forschenden im Rahmen von ein- oder mehrphasig angelegten Designs sowohl qualitative als auch quantitative Daten sammeln. Die Integration beider Methodenstränge, d.h. von Daten, Ergebnissen und Schlussfolgerungen, erfolgt je nach Design in der Schlussphase des Forschungsprojektes oder bereits in früheren Projektphasen. (Kuckartz, 2014a)

Die als Grundlage dieser Arbeit dienenden qualitativen Experteninterviews wurden in Form von Leitfadeninterviews durchgeführt. Diese Form des Interviews bietet sich für Untersuchungen an, in denen mehrere unterschiedliche Themen behandelt aber auch einzelne, genau bestimmbare Informationen erhoben werden sollen (Gläser & Laudel, 2009, p. 111). Die Themen werden dabei nicht durch die Antworten des Experten bestimmt, sondern durch das Ziel der Untersuchung. Im Leitfaden werden die Forschungsfragen operationalisiert, also in die Erfahrungswelt der Experten übersetzt (Kaiser, 2014, p. 4). Der Leitfaden ist jedoch nicht bindend, im Interview darf daher gegebenenfalls von den Formulierungen und der Reihenfolge abgewichen werden (Helfferich, 2004, p. 36). Die

Leitfragen haben die Funktion, den Impuls für die freie Erzählung des Interviewpartners zu geben, aber auch bei Bedarf den Gesprächsverlauf auf das Problem hinzuleiten.

Die offenen Fragen (qualitativ) wurden durch einfache Ja-/Nein Fragen ergänzt (quantitativ). Diese lassen sich statistisch auswerten und sind ein Instrument in Umfragen. Oftmals werden solche Umfragen online oder postalisch durchgeführt, eine Befragung face-to-face ist jedoch auch möglich.

6.2 Datenerhebung Qualitative Experteninterviews

Methodologische Prinzipien

Die methodologischen Prinzipien geben allgemeine Forderungen vor, die bei Untersuchungen erfüllt werden müssen, damit sich andere Forscherinnen und Forscher auf die Qualität der Ergebnisse verlassen können (Gläser & Laudel, 2009, p. 16). Gütekriterien für qualitative Interviews sind die intersubjektive Nachvollziehbarkeit, theoriegeleitete Vorgehensweise und Neutralität und Offenheit der Forschenden (Kaiser, 2014, p. 9). Die intersubjektive Nachvollziehbarkeit soll durch eine systematische Vorgehensweise garantiert werden. Das Verfahren der Datenerhebung und Datenanalyse muss deshalb für andere Personen nachvollziehbar sein (Kaiser, 2014, p. 6). Dies betrifft zum Beispiel die Expertenauswahl, die Dokumentation des Leitfadens, die Beschreibung der Interviewsituation und die Auswertungsmethode (Kaiser, 2014, p. 6). Die Offenheit des Forschenden ist ein weiteres zentrales Prinzip, welches eingehalten werden muss. Darunter versteht man die Offenheit gegenüber neuen Erkenntnissen sowie anderen Relevanzsystemen und Deutungsmustern (Helfferich, 2004, p. 114; Kaiser, 2014, p. 7). Um die Neutralität zu wahren, sollte unter allen Umständen auf Suggestivfragen verzichtet werden (Kaiser, 2014, p. 8). Eine Ausnahme besteht dann, wenn die Suggestivfrage als Instrument für ein soziales Experiment dient (Helfferich, 2004, p. 106). Die methodologischen Prinzipien wurden in dieser Arbeit befolgt.

Wahl der Experten und Kontaktaufnahme

Ziel zum Beginn der Arbeit war die Erstellung eines Inventars für alle Grosswasser-Speicherkraftwerke des Kanton Graubünden und eine Fallstudie zur Gemeinde Surses. Die Experten wurden aufgrund ihres Bezugs zu den zu untersuchenden Themen ausgesucht. Zweck des Inventars suchte ich zum Beispiel Personen, welche ein grosses Betriebswissen und einen guten Kenntnisstand über Inhalte der Konzessionen der zehn grössten Kraftwerkgruppen im Kanton Graubünden haben. Der erste Kontakt kam über eine Mitarbeiterin des WSL mit Lucien Stern, Betriebsleiter der EWZ Kraftwerke Mittelbünden, zustande. Parallel wurde durch Astrid Bjørnsen Gurung der Kontakt zu Mitarbeitern der Axpo AG hergestellt. Über E-Mailverkehr konnte ein Doppelinterview mit einem Projektleiter und dem Leiter des Ressorts Talsperren der Axpo AG vereinbart werden. Das Interview mit den beiden Mitarbeitern der Axpo zeigte, dass diese zu weit vom täglichen Betrieb entfernt sind und deshalb keine geeigneten Interviewpartner für diese Arbeit sind. Deshalb wurde fortan versucht, direkt Kontakt mit den Kraftwerkbetreibern aufzunehmen. Die Kontaktdaten von

gleich drei Kraftwerksbetreibern wurden von den Interviewpartnern der Axpo AG bereitgestellt. Weitere Kontakte wurden von den bereits interviewten Kraftwerksbetreibern zur Verfügung gestellt. Die übrigen Betriebsleiter konnten über die Betreiberfirmen ausfindig gemacht werden.

Die erste Kontaktaufnahme fand jeweils per E-Mail statt. Dabei wurden die potenziellen Interviewpartner über das Ziel dieser Forschungsarbeit informiert und es wurde ihnen aufgezeigt, welchen Beitrag sie zur Beantwortung der untersuchten Forschungsfragen leisten können. Grösstenteils war die erste Kontaktaufnahme bereits erfolgreich und es konnte schnell ein Interviewtermin vereinbart werden. Wenn die Kontaktaufnahme über E-Mail nicht funktioniert hatte, erfolgte ein weiterer telefonischer Versuch. So war es möglich, mit allen neun Betriebsleitern der zehn grössten Kraftwerksgruppen in Kontakt zu kommen (die beiden Kraftwerkgruppen der Repower AG werden von demselben Betriebsleiter geführt). Sieben Betriebsleiter stellten sich für ein Experteninterview zur Verfügung, die übrigen zwei Kraftwerksbetreiber beantworteten einen elektronisch zugestellten schriftlichen Fragebogen. Die Experteninterviews fanden jeweils in den Zentralen der Wasserkraftwerke statt.

Für die Gemeinde Surses waren Interviews mit den unterschiedlichen Anspruchsgruppen der Ressource Wasser vorgesehen. Einige Kontakte konnten über Mitarbeitende bei der WSL hergestellt, andere Kontaktdaten durch eine Internetrecherche ausfindig gemacht werden. So war es möglich Interviews mit einem lokalen Bauern, dem Präsident der Sportanlagen Bivio, dem Leiter für die künstliche Beschneidung der Savognin Bergbahnen und einem Mitarbeiter der Wasserversorgung Savognin zu vereinbaren. Die Fallstudie Surses wurde im Verlauf der Arbeit durch eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Klimastrategie des Kantons Graubünden ersetzt. Einige Inhalte der Interviews lieferten dennoch einen wertvollen Beitrag zu dieser Studie. Ein weiteres Interview konnte mit Beat Hunger, Abteilungsleiter Energieproduktion und -versorgung im AEV, geführt werden. Zuerst wurde dafür das Sekretariat des AEV per E-Mail angeschrieben. Der Termin wurde dann telefonisch mit Herr Hunger vereinbart.

Planung

Das wichtigste jeglicher Form der Untersuchung ist, dass keine der beteiligten Personen zu Schaden kommen. Deshalb müssen bei der Durchführung der Untersuchungen einige Punkte beachtet werden. Im Vorfeld des Interviews müssen die Untersuchenden darüber aufgeklärt werden, dass eine Teilnahme freiwillig ist. Zudem müssen die Teilnehmenden ausreichend über das Ziel der Untersuchung und ihre Rolle darin aufgeklärt werden. Die informierte Einwilligung war in diesem Fall einfach zu erreichen, da die Interviewpartner bei der Aufnahme des Kontakts bereits über die Untersuchung informiert wurden. Den Experten wurde zudem die Wahl gelassen, ob in der Arbeit direkt Bezug auf Sie genommen, die Kraftwerkgruppe zitiert oder das Interview anonymisiert werden soll.

Parallel zur Kontaktaufnahme wurde mit der Ausarbeitung der Leitfäden begonnen. Diese wurden nach dem SPSS-Prinzip von Helfferich erstellt (2004, pp. 182–184). Im ersten

Schritt wurden so viele Fragen wie möglich gesammelt. Als Basis dienten die Forschungsfragen, welche für den Interviewleitfaden operationalisiert wurden. Im zweiten Schritt wurden die Fragen bezüglich ihrer Eignung für das Interviewvorhaben überprüft. Fragen mit denen implizite Erwartungen verbunden sind, Fragen mit Präsuppositionen und abstrakte Fragen wurden entweder umformuliert oder gestrichen. Danach wurden die Fragen nach inhaltlichen Aspekten sortiert und bestimmten Themenblöcken zugeordnet. Im vierten und letzten Schritt wurden alle Fragen eines bestimmten Themenblocks einer einfachen Erzählaufforderung untergeordnet. Die Erzählaufforderung soll den Experten dazu animieren, möglichst viele Aspekte der Untersuchung selber anzusprechen. Entgegen der Empfehlung von Helfferich wurden Faktenfragen in den Leitfaden aufgenommen, um die quantitativen Daten zu sammeln.

Die Leitfäden wurden ausführlich mit den Betreuungspersonen Astrid Björnsen Gurung und Manuela Brunner besprochen und danach nochmals grundlegend überarbeitet. Im Verlauf der Arbeit wurden die Leitfäden aufgrund der gesammelten Erfahrungen stetig verfeinert und angepasst.

Durchführung der Interviews

Die Experteninterviews mit Herr Hunger und den Kraftwerksbetreibern wurden jeweils vor Ort in den jeweiligen Büros oder Konferenzräumen durchgeführt. Der Lärmpegel war überall sehr gering und die Qualität der Tonaufnahmen deshalb gut. Bei den übrigen Interviews wurde die Wahl des Standorts dem Interviewpartner überlassen. Ein Kaffee, das Eigenheim, ein Wasserreservoir und ein Pausenraum wurden als Interviewstandorte ausgesucht. Zu Beginn der Interviews wurden die Experten abermals kurz über den Zweck des Interviews aufgeklärt und gefragt, ob die Gespräche aufgezeichnet werden dürfen. Alle Interviewpartner zeigten sich einverstanden. Die Aufnahmen wurden zur Sicherheit jeweils doppelt mit dem Notebook und dem Mobiltelefon gemacht.

6.3 Datenauswertung: Qualitative Inhaltsanalyse

Aufgrund der Transkripte wurde eine inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2014b) durchgeführt. Dabei wurde ein mehrstufiges Verfahren der Codierung und Kategorienbildung angewandt. Zuerst wurden einige Hauptkategorien bestimmt und nach diesen codiert. Nach dem Codieren aller Daten wurden die Kategorien verfeinert und Subkategorien gebildet. Das gesamte Datenmaterial wurde danach abermals codiert. Das siebenteilige Ablaufschema der strukturierten qualitativen Inhaltsanalyse sieht aus wie folgt:

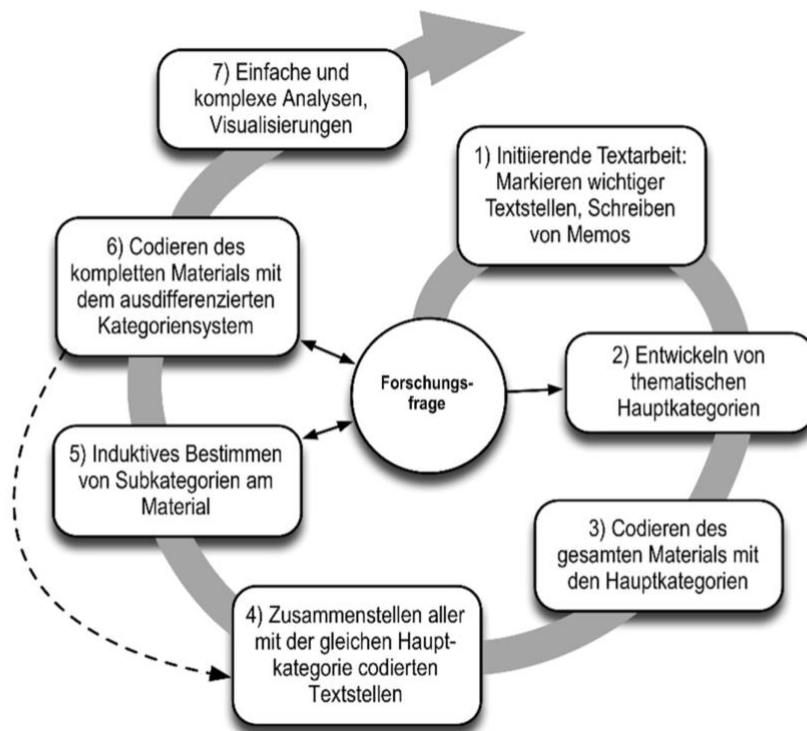


Abbildung 6: Ablaufschema einer strukturierenden qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016, p. 100)

Die Codierung wurde mit Hilfe des Programms MAXQDA durchgeführt. Die Hauptkategorien konnten von den Forschungsfragen abgeleitet werden. Diese wurden jedoch beim ersten Codieren nochmals hinterfragt und allenfalls angepasst. Zudem wurden Subkategorien gebildet. Mit dem ausdifferenzierten Categoriesystem wurden die ganzen Daten ein weiteres Mal codiert. Die während des Codierens gebildeten Haupt- und Subkategorien sind im Anhang 1 übersichtlich abgebildet. Nach dem Codieren konnte mit der Analyse begonnen werden, die Resultate welcher in den folgenden Kapiteln dargestellt sind.

7 Resultate MZN Graubünden

Die Analyse der Experteninterviews mit den Kraftwerksbetreibern hat ergeben, dass alle zehn Kraftwerkgruppen mehrzweckgenutzt sind. Die künstliche Beschneidung war dabei weniger verbreitet, als aufgrund der geographischen Lage des Forschungsgebiets hätte angenommen werden können. Dagegen fand eine touristische Nutzung in neun von zehn Fällen statt. Die Kraftwerksbetreiber beschrieben in den Interviews einige exemplarische Formen der MZN, welche aufgrund ihres Vorbildcharakters in Kapitel 7.3 beschrieben wurden. Bei den Herausforderungen wurde von den Interviewpartnern wie erwartet besonders der finanzielle Aspekt einer MZN thematisiert. Es muss jedoch festgehalten werden, dass die Kraftwerksbetreiber sich im Falle einer entsprechenden finanziellen Entschädigung offen gegenüber einer MZN äusserten. Das Gespräch mit Herr Hunger vom Amt für Energie und Verkehr hat ergeben, dass obwohl der Kanton Graubünden stark vom Klimawandel betroffen ist, viele Konzessionen in naher Zukunft auslaufen (siehe Abb. 7) und obwohl eine Bereitschaft der Kraftwerksbetreiber für eine MZN grundsätzlich vorhanden ist, es keine Strategie für die MZN der Wasserkraftwerke gibt. Die Prüfung und Umsetzung von MZN findet zurzeit punktuell und reaktiv statt.

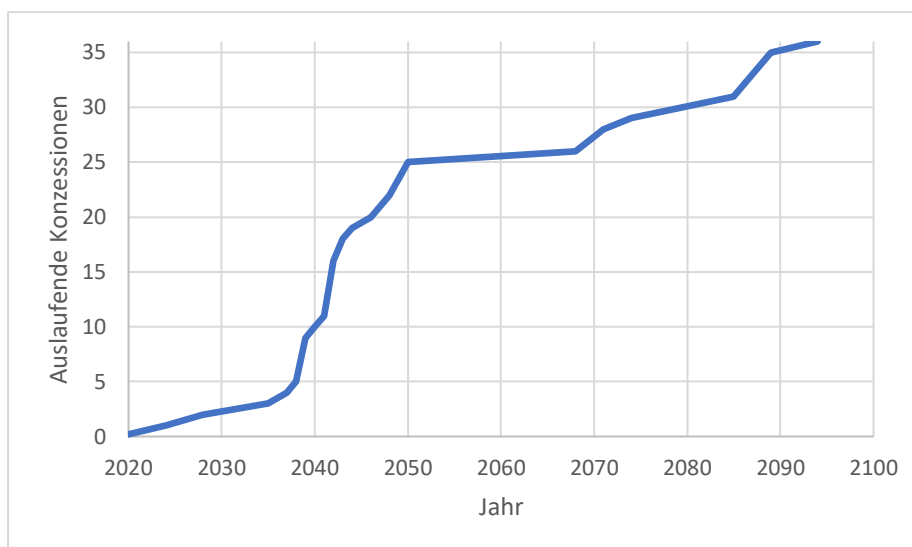


Abbildung 7: Verlauf der Heimfälle aller untersuchten Wasserkraftwerke im Kanton Graubünden (eigene Darstellung)

7.1 Übersicht Mehrzwecknutzungen Kanton Graubünden

Die Abb. 8 gibt Auskunft über die MZN aller Grosswasserkraftanlagen im Kanton Graubünden. Die grüne Füllfarbe bedeutet, dass eine MZN besteht. Die orange Farbe signalisiert, dass eine MZN in konkreter Planung ist. In Sufers gibt es beispielsweise ein Projekt für die touristische und fischereiliche Nutzung des Speichersees. Die gelbe Markierung gilt für den Fall, dass eine Kraftwerksgruppe für eine bestimmte Nutzung angefragt wurde, der Kraftwerksbetreiber aber noch keine Entscheidung darüber gefällt hat. Blau markierte Felder bedeuten, dass eine MZN aus Sicht des Kraftwerksbetreibers möglich ist, diese jedoch nicht wahrgenommen wird (z.B. wegen zu hohen Erschliessungskosten). Eingestellte MZN wurden mit grauer Farbe markiert.

Trifft keiner der beschriebenen Fälle auf die Kraftwerksgruppe zu, wurde das Feld leer gelassen. Wurde ein Feld mit zwei Farben markiert, treffen beide Fälle zu.

Neun von zehn Kraftwerksgruppen gaben an, dass eine touristische MZN der Kraftwerkgruppe besteht. Auch in neun von zehn Kraftwerken findet zudem eine fischereiliche Nutzung der Kraftwerksanlagen statt. Diese beiden Nutzungen waren damit die Meistgenannten. An dritter Stelle folgt die Löschwasserversorgung mit sechs Nennungen. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da eine Abgabe von Löschwasser in ausserordentlichen Fällen gesetzlich vorgeschrieben ist (BWRG Art. 18b). Es ist auffällig, dass Nutzungen öfters vorkommen, wenn dabei kein Wasser oder Wasser in geringen Mengen verbraucht wird. Dies im Gegensatz zu konkurrenzierenden Nutzungen wie Bewässerung, künstliche Beschneidung oder Trinkwasserversorgung. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Anzahl der MZN die Erwartungen übertraf. Kellner & Weingartner schreiben zum Beispiel in einem erst kürzlich veröffentlichten Artikel über die Verbreitung der MZN: «Während Wasserspeicher in umliegenden Ländern wie Frankreich, Österreich, Italien, Deutschland sowie in aussereuropäischen Ländern bereits für verschiedene Zwecke genutzt werden, kommt die Mehrzwecknutzung in der Schweiz noch kaum vor» (2018, p. 101). Überraschend war nicht nur die Anzahl der MZN, sondern auch die Tatsache, dass viele Nutzungen bereits in der Konzession verankert waren (siehe Tab. 1). Gebrauch vom Nutzungsrecht wurde teilweise erst in der jüngeren Vergangenheit gemacht.

Zur besseren Orientierung dient die folgende Karte. Sie bietet eine Übersicht der untersuchten Kraftwerksgruppen. Die einzelnen Kraftwerke sind als Punkte dargestellt. Ergänzt wurde die Karte durch die untersuchten Speicherseen sowie den grössten natürlichen Seen und Flüsse.

Kraftwerksgruppen Graubünden

- Albulal-Landwasser
- Bergeller
- Mittelbünden
- Engadiner
- Hinterrhein
- Vorderrhein
- Misox
- Prättigau/Davos
- Puschlav
- Zervreila

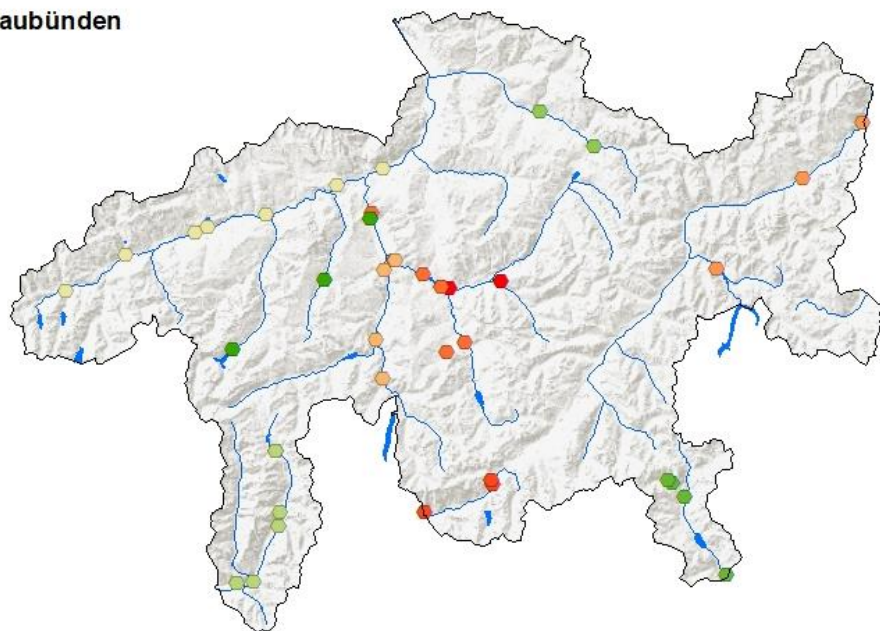


Abbildung 8: Übersicht der untersuchten Kraftwerksgruppen im Kanton Graubünden (eigene Darstellung)

	Bewässerung	Löschwasser- versorgung	Trinkwasser- versorgung	Künstliche Beschneigung	Hochwasser- schutz	Tourismus	Fischerei	Ökologie ³	PV-Anlagen
Bergeller Kraftwerke									
Engadiner Kraftwerke									
Kraftwerke Hinterrhein									
Kraftwerke Mittelbünden									
Kraftwerke Zervreila									
Kraftwerksgruppe Misox									
Kraftwerksgruppe Prättigau/Davos									
Kraftwerksgruppe Puschlav									
Kraftwerksgruppe Vorderrhein									
Albula Landwasser Kraftwerke ⁴									

	MZN vorhanden
	MZN in Planung
	MZN in Abklärung
	MZN möglich aber nicht genutzt
	MZN eingestellt
	Keine MZN

Tabelle 1: Inventar der MZN aller untersuchten Kraftwerkgruppen im Kanton Graubünden (eigene Darstellung)

³Ökologische Massnahmen von Kraftwerkbetreibern, die über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehen wurden als Mehrzwecknutzung erfasst.

⁴Reine Laufwasser-Kraftwerkgruppe, Hochwasserschutz und schwimmende PV-Anlagen deshalb nicht möglich.

7.2 Übersicht Speichervolumen Kraftwerkgruppen, Kraftwerkstufen & Mehrzwecknutzungen

Kraftwerkgruppe & Betreiber	Wasserspeicher & Speicherraum in Mio. m ³		Kraftwerkstufen (Laufdauer) & installierte Leistung in MW		Mehrzwecknutzungen Grau: Vertraglich festgehalten Grün: Freiwillig (K): In Konzession festgehalten
Kraftwerkgruppe Misox (Axpog AG)	Lago d'Isola	6.5	Spina Isola (2043)	20	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ganzjährige Minimalkote Lago d'Isola (K) ▪ Löschwasserbezugsstelle oberhalb von San Vittore & Löschwasserentnahme aus den Seen ist möglich ▪ Regulierung der Speicherseen vor Starkniederschlägen ▪ Erhöhung der Restwassermengen bei extremem Niedrigwasser zum Schutz der Ökologie ▪ Langlaufloipe über die Staumauer Isola im Winter ▪ Klettern an der Staumauer Isola ▪ Freizeitfischerei
	Lagh de Buseno	0.8	Spina Valbella (2043)	4	
	Lago d'Arbola	0.5	Soazza (2041)	83	
			Lostallo (2038)	25	
			Grono (2044)	38	
		Sassello (2028)	21		
	Gesamtvolumen	7.8			
Kraftwerksgruppe Vorderrhein (Axpog AG)	Lai da Sontga Maria	67.3	Sedrun (2048)	3*50	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Touristenkote Brigelsersee 1'253 m.ü.M. von 1. Juni – 15. August (K) ▪ Entnahme von Bewässerungswasser oberhalb einiger Wasserfassungen für die Landwirtschaft (K) ▪ Trinkwasserversorgung aus den Wasserfassungen bei Brigels, Tuma, Val Val und oberhalb Lai da Sontga Maria (K) ▪ Erhöhung der Restwassermenge bei Niedrigwasser für River Rafting in Ruinaulta ▪ Freizeitfischerei ▪ Klettern an der Staumauer Pigniu
	Lai da Nalps	44.5	Tavanasa (2048)	4*45	
	Lai da Curnera	40.8	Frisal (2040)	13	
	Panixersee	7.3	Russein (2094)	10	
	Ausgleichsbecken Runcahez	0.5	Pintrun (2024)	7	
	Ausgleichsbecken Tavanasa	0.4	Ilanz I (2071)	35	
	Brigelsersee	0.3	Ilanz II (2071)	50	
	Stausee Barcuns	0.1	Reichenau (2042)	19	
	Gesamtvolumen	161.2			
Engadiner Kraftwerke AG	Lago di Livigno	164.0	Ova Spin (2050)	50	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Löschwasserbezugsstelle an den Fensterstollen zwischen den Kraftwerkstufen Pradella und Martina (K) ▪ Unentgeltliche Abgabe von Bewässerungswasser in Sent (K) ▪ Die Engadiner Kraftwerke sind NatureMade zertifiziert
	Ausgleichsbecken Ova Spin	6.2	Pradella (2050)	288	
	Pradella	0.3	Martina (2074)	72	
	Gesamtvolumen	170.5			

					<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bootsbetrieb, Kanu und Stand Up Paddle im Sommer (K)
					<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sportfischen im Lago di Livigno (mit Fischbesatz) ▪ Schneemobilfahren auf dem Lago di Livigno ▪ Anpassung des Abflussregime zwischen dem Lago di Livigno und dem Ausgleichsbecken Ova Spin
Kraftwerke Mittelbünden (EWZ)	Lai da Marmorera	60.0	Tinizong (2035)	69	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kraftwerke Mittelbünden sind NatureMade zertifiziert
	Stausee Solis	4.1	Tiefencastel Ost (2050)	52	
	Ausgleichsbecken Burvagn	0.2	Tiefencastel West (2022)	7	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bergseetauchen im Lai da Marmorera ▪ Freizeitfischerei
			Solis (2057)	26	
			Sils i. D. (2057)	38	
Gesamtvolumen	64.1	Rothenbrunnen (2057)	135		
Bergeller Kraftwerke (EWZ)	Albigna	67.0	Löbbia (2039)	36 + 50	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freihaltevolumen Albigna von 4 Mio. m³ ohne Vergütung (K) ▪ Kraftwerke Bergell sind NatureMade zertifiziert
	Gesamtvolumen	67.5	Bondos (2039)	7	
			Lizun (2039)	7	
			Castasegna (2039)	2*25	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Photovoltaik Pilotanlage an der Staumauer Albigna ▪ Führungen Staumauer Albigna Juni – Oktober
Kraftwerke Hinterrhein AG	Lago di Lei	197.0	Ferrera (2042)	185	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uferfischen ist in den Seen gestattet (K) ▪ Ausserhalb der Sperrzone ist das Baden im gesamten Sufnersee erlaubt (K) ▪ Bootsbetrieb ohne Maschinenantrieb ist auf dem Sufnersee gestattet (K) ▪ Löschwasserbezug teilweise möglich ▪ Sömmerlingseinsatz entschädigt durch die Kraftwerke Hinterrhein (K) ▪ Die Kraftwerke Hinterrhein sind NatureMade zertifiziert
	Sufnersee	17.5	Bärenburg (2042)	220	
	Bärenburg	1.0	Sils i. D. (2042)	240	
	Ausgleichsbecken Preda	0.4	Thusis (2042)	5	
	Gesamtvolumen	215.9			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inforama und Besichtigung der Staumauer im Sommer ▪ Höhenttraining für Rudersportler

⁵ Aufgrund des Bergsturzes von 2017 ausser Betrieb.

Kraftwerksgruppe Puschlav (Repower AG)	Lago Bianco	18.6	Cavaglia (2089)	10 + 9	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bereitstellung von Löschwasserbecken für die Wasserentnahme per Helikopter (K) ▪ Unentgeltliche Abgabe von Bewässerungswasser von April bis September (K) ▪ Unentgeltliche Abgabe von Trinkwasser (K) ▪ Minimalkote für das Landschaftsbild (K) ▪ Fischereiliche Bewirtschaftung (K) ▪ Die in der Konzession verhandelten Massnahmen zum Schutz der Ökologie gehen über die gesetzlichen Rahmenbedingungen hinaus (K) ▪ Bootsbetriebe und andere Wasseraktivitäten auf den Seen (K)
	Lago di Poschiavo	15.0	Palü (2089)	7	
	Tagesspeicher Palü	0.5	Robbia (2089)	27	
			Campocologno (2089)	50	
	Gesamtvolumen	34.1			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserrückhalt in den Speichern in Hochwassersituationen sofern möglich
Kraftwerksgruppe Prättigau/Davos (Repower AG)	Davosersee	11.5	Klosters (2085)	17	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abmachungen bezüglich des Hochwasserschutz in Klosters und Davos (K) ▪ Entnahme von Löschwasser aus den Ausgleichsbecken mit Helikopter möglich (K) ▪ Wasser für die künstliche Beschneidung wird an die örtlichen Bergbahnen abgegeben ▪ Minimalkote für das Landschaftsbild (K) ▪ Fischereiliche Bewirtschaftung des Speichersees (K) ▪ Bootsbetriebe und andere Wasseraktivitäten auf den Seen (K)
			Küblis (2085)	45	
	Gesamtvolumen	11.5			keine
Kraftwerke Zervreila	Stausee Zervreila	100	Zervreila (2037)	22	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bezug von Löschwasser in Trieg und Balveins (Vereinbarung mit der Gemeinde Cazis)
	Ausgleichsbecken Zervreila	0.1	Safien (2037)	90	
	Ausgleichsbecken Safien	0.2	Rothenbrunnen (2037)	135	
	Ausgleichsbecken Egschi	0.6	Realta (2037)	26	
	Gesamtvolumen	100.9			

Albula- Landwasser Kraftwerke (Axpo AG)	Laufwasserkraftwerk	Filisur	2046	46	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasser für die künstliche Beschneidung wird aus der Wasserfassung Ava de Tours an die Kraftwerke Davos/Klosters Bergbahnen AG und die Sportbahnen Bergün abgegeben. Die Kraftwerke bekommen einen Fixpreis pro 1'000 m³ und ein Anteil des Wasserzinses wird rückerstattet. Geregelt wurde die Zusammenarbeit in einem Nachtrag zur Konzession (K)
		Tiefencastel West	2068	24	

Tabelle 2: Speichervolumen, Kraftwerkstufen und Mehrzwecknutzungen nach Kraftwerksgruppen (eigene Darstellung)

Die obenstehende Darstellung gibt einen Überblick über die untersuchten Kraftwerksgruppen. In Klammer neben der Kraftwerkgruppe wird jeweils die Betreibergesellschaft genannt, sofern die Partnergesellschaft nicht selbst den Betrieb leitet. Die meisten Kraftwerkgruppen werden von der Axpo AG betrieben. Das grösste Speichervolumen bewirtschaftet jedoch die Kraftwerke Hinterrhein AG. Ein Zusammenhang zwischen dem Speichervolumen der Kraftwerkgruppen und der Anzahl MZN konnte nicht gefunden werden. Auch die Anzahl der Speicher scheint keinen direkten Einfluss auf die MZN zu haben. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die Untersuchungsmenge relativ klein ist und deshalb höchstens Tendenzen ausgemacht werden können.

Etwas überraschend ist, dass die Albula-Landwasser Kraftwerke mehrere MZN vorzuweisen haben, obwohl es sich dabei um ein zweistufiges Laufwasserkraftwerk handelt. Laufwasserkraftwerke sind aufgrund ihres geringeren Speicherpotenzials weniger prädestiniert für eine MZN. Besonders die künstliche Beschneidung beeinflusst den Betrieb der Albula-Landwasser Kraftwerke massgeblich. Weil die Anlage über keinen grossen Speicher verfügt und der kurzzeitige Wasserbedarf der künstlichen Beschneidung sehr gross ist, müssen die Turbinen teilweise aufgrund der künstlichen Beschneidung kurzzeitig abgestellt werden. Die übrigen Kraftwerkgruppen bestehen primär aus Speicherkraftwerken.

7.3 Exemplarische Mehrzwecknutzungen

In den Gesprächen mit den Betriebsleitern wurden exemplarisch einige MZN beschrieben. Diese werden im Folgenden vorgestellt. Die Beispiele zeigen, wie unterschiedliche Nutzungen in der Praxis sinnvoll in den Betrieb von Wasserkraftwerken integriert werden können oder parallel dazu laufen können. Teilweise sind die Fallbeispiele gut dokumentiert und allgemein bekannt. Diese wurden mit Kommentaren der Kraftwerksbetreiber ergänzt. Andere Beispiele waren bisher noch relativ unbekannt und die Dokumente zu den Projekten nicht öffentlich zugänglich oder gar vertraulich. Zwei nicht öffentlich zugängliche Dokumente wurden mir für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Der Bericht «Tourismuszukunft Rheinwald – Teilprojekt Sufnersee» kann von der Gemeinde Sufers bezogen. Ein Dokument über das Pilotprojekt Albignasolar enthält vertrauliche Informationen und darf deshalb nicht in dieser Arbeit veröffentlicht werden. Der interessierte Leser kann sich für nähere Informationen an die Bergeller Kraftwerke wenden.

Tourismus & Fischerei

Im Jahr 1962 wurde der Stausee Sufers von den Kraftwerken Hinterrhein AG fertiggestellt. Der Stausee liegt zum grössten Teil im Hoheitsgebiet der Gemeinde Sufers, nur der westliche Teil des Sees gehört zur Gemeinde Rheinwald (ehemalig Splügen). Da das Projekt noch vor der Gemeindefusion lanciert wurde, werden die ehemaligen Gemeindefüramen genutzt. Das Wasser aus dem Hinterrhein wird in Sufers von einer 58 Meter hohen Bogenmauer gestaut. Eine grosse touristische Bedeutung hat der Stausee seit seinem Bau nicht erlangt. Die grösste Attraktion ist heute ein um den See führender, durchgängiger Wanderweg mit einem kleinen

Inforama auf der Staumauer. Ausserdem ist der Stausee bei Fischerinnen und Fischern sehr beliebt. Aufgrund beschränkter Zugangsmöglichkeiten zur Wasserfläche konzentriert sich die Nutzung jedoch auf einige wenige Standorte. Durch das von den sechs Gemeinden im Rheinwald initiierte Projekt «Tourismuszukunft Rheinwald» soll der Stausee Sufers in Zukunft zu einer Attraktion für die Einwohner der Region und Besucher werden. Die wichtigsten Stakeholder in diesem Unterfangen sind die Standortgemeinden Sufers und Splügen sowie die Kraftwerke Hinterrhein. Letztere haben aufgrund des Konzessionsvertrags das Nutzungsrecht des Stausees. Eine zukünftig touristische Nutzung darf deshalb dieses Nutzungsrecht und den Kraftwerksbetrieb nicht massgeblich einschränken (Naturpark Beverin, 2018, p. 4).

Ein von den Standortgemeinden und den Kraftwerken Hinterrhein im Jahr 2016 angefordertes Rechtsgutachten hat ergeben, dass eine gewerbsmässige Nutzung des Stausees Sufers bewilligungsfrei zulässig ist. Im Gutachten wird jedoch auch folgendes festgehalten:

Setzt die Gemeinde Sufers schiffahrtsrechtliche Regeln und eine Benutzungsordnung fest, hat sie vorgängig die KHR, als Wasserrechtskonzessionärin anzuhören. Hierbei gilt es mitunter sicherzustellen, dass die KHR in ihren Nutzungsrechten und im vorbestehenden, konzessionierten Kraftwerksbetrieb nicht eingeschränkt wird. (Naturpark Beverin, 2018, pp. 10)

Die Gemeinden Sufers und Splügen haben deshalb zusammen mit den Kraftwerken Hinterrhein ein Gesetz zur Nutzung des Sufnersees ausgearbeitet, in welchem die Eckpfeiler einer touristischen Nutzung festgehalten wurden. Darin geregelt sind unter anderem die Ausweisung von Sperrzonen, und Vorschriften zur Fischerei, Wassersport, Bade- und Bootsbetrieb.

Einschränkend für eine touristische Nutzung sind die Gefahrenbereiche eines Stausees. Dazu zählen die Ablassorgane und die Staumauer, welche durch Sperrzonen abgegrenzt werden. Auch der tägliche Betrieb hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den See. So sind tägliche und wöchentliche Seespiegelschwankungen von sechs Metern im Bereich des Möglichen, welche bei einer touristischen Nutzung berücksichtigt werden müssen (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:04:25-3#). Der Stausee Sufers ist dahingehend besonders, dass er Teil eines Pumpspeicherkraftwerks ist. Wasser kann in Niederlastzeiten vom Stausee Sufers über die Zentrale Ferrera in den Lago di Lei gepumpt werden, was zusätzlich zu den natürlichen betrieblichen Schwankungen berücksichtigt werden muss. Im Jahr werden so durchschnittlich 60 Mio. m³ Wasser in den Lago di Lei gepumpt. Positiv gilt es jedoch aus Sicht einer touristischen Nutzung zu erwähnen, dass von dem theoretisch nutzbaren Wasserstand von 30 Metern im Stausee Sufers, nur 5-8 Meter genutzt werden (Naturpark Beverin, 2018, p. 5). Dies ermöglicht die Installation eines Stegs und Bootanlegestellen. Ein schwimmender Steg ist Teil des Projekts Sufnersee (Teilprojekt des Gesamtprojekts Tourismus Rheinwald). Der geplante Steg passt sich automatisch dem

Seespiegel an und würde so gleich mehreren Nutzergruppen zugutekommen. An acht Anlegestellen sollen kleine Ruderboote Platz finden, welche zwischen Mai und Oktober gemietet werden können. Das Angebot ist besonders für Fischerinnen und Fischer und Naturliebhaberinnen und Naturliebhaber attraktiv. Zudem soll am Kopf des Stegs eine 27 m² grosse Plattform zum Verweilen einladen. Mittels einer Badeleiter ist der Ein- und Ausstieg für Schwimmer auch bei sehr niedrigem Pegel möglich. Abb. 9 zeigt einen Plan der projektierten Steganlage mit Verweilzone.

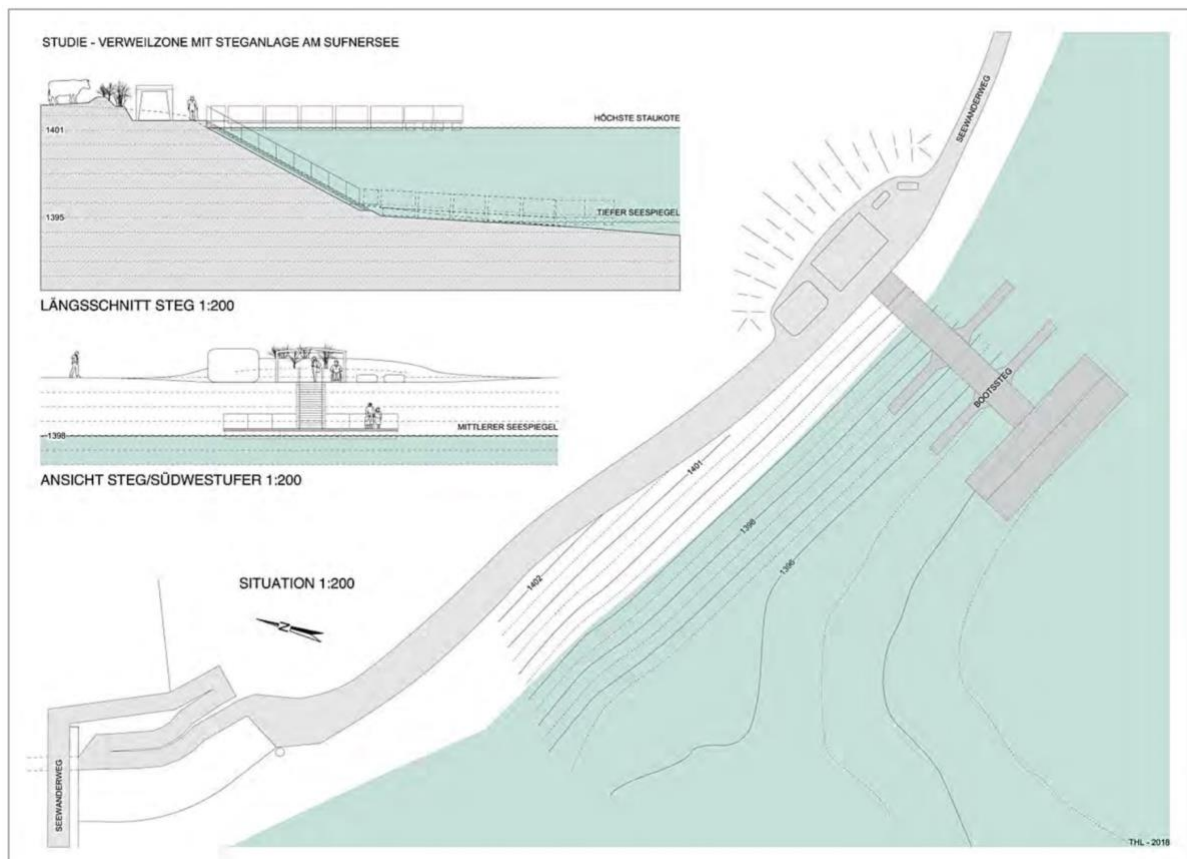


Abbildung 9: Verweilzone mit Steganlage Stausee Sufers (Naturpark Beverin, 2018, p. 13)

Der See wird bisher nur von wenigen Anwohnerinnen und Anwohner und Urlaubsgästen als Badesee genutzt. Grund dafür sind unter anderem die ganzjährig tiefen Temperaturen des Sees und ungenügende Zugangsmöglichkeiten für Schwimmerinnen und Schwimmer. Zudem besteht sowohl unter der einheimischen Bevölkerung wie auch bei den Urlaubsgästen die Meinung, dass das Baden in einem Stausee nicht erlaubt sei. Am Südufer soll deshalb ein vom Stausee getrennter Badebereich entstehen. Eine 900 m² grosse Lagune soll dafür mit einem wasserdichten Damm vom See getrennt werden. Bei Hochwasser wird der Damm überflutet, wobei es zu einem Wasseraustausch zwischen dem Badesee und dem Sufensee kommt. Ist der Seepiegel tiefer, wird das Wasser im Badesee gestaut. Zusätzlich wird der See von einem kleinen Bergbach mit Frischwasser versorgt. Aufgrund der geringen Tiefe von maximal 3 Metern, erwärmt sich das Wasser im Badesee relativ schnell (Naturpark Beverin, 2018, p. 17). Die Kraftwerke Vorderrhein stehen dem Projekt grundsätzlich positiv gegenüber, solange sie

in der Nutzung (auch finanziell) nicht massgeblich beeinträchtigt werden (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:05:11-7#).

Wie bereits angesprochen, erfreut sich der Stausee Sufers unter Fischerinnen und Fischer bereits heute grosser Beliebtheit. Zusätzlich zum Uferfischen soll in Zukunft auch das Fischen vom Boot ermöglicht und damit eine neue Attraktion für Fischerinnen und Fischer geschaffen werden. Dafür braucht es eine entsprechende Bewilligung des Bau-, Forst- und Fischereidepartements (BVFD) des Kantons Graubünden. Dem Stausee Isola in San Bernardino wurde eine solche bereits ausgestellt. Gespräche für den Stausee Sufers sind zurzeit am Laufen (Naturpark Beverin, 2018, p. 20). Obwohl die Umsetzung des Projekts Sufers noch Zeit in Anspruch nehmen wird, zeigt das Beispiel wie eine touristische und fischereiliche Nutzung mit dem Betrieb eines Wasserkraftwerks trotz der Herausforderungen für die Betreibergesellschaft in Zukunft vereint werden könnten.

Ökologie

Die Nutzung der Wasserkraft stellt auch immer einen Eingriff in das Ökosystem dar. Dabei gilt es, Kompromisse zwischen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Interessen zu finden. Die 13 km lange Bachstrecke des Spöls zwischen der Staumauer Punt dal Gall und dem Ausgleichsbecken Ova Spin zeigt anschaulich den negativen Einfluss, welcher die Nutzung der Wasserkraft auf die Ökologie haben kann. Das Beispiel zeigt jedoch auch, wie durch eine Zusammenarbeit zwischen den Interessensgruppen Synergieeffekte erzielt werden können.

Der Bau der Staumauer Punt dal Gall im Jahr 1968 veränderte das Abflussregime des Spöls drastisch. Während Hochwasser von über 140 m³ vor dem Kraftwerkbau keine Seltenheit war, traten seit der Fertigstellung der Kraftwerksgruppe nur noch sporadisch, betriebstechnisch bedingte Hochwasser auf. Die Restwassermengen wurden zudem, auf Kosten der Ökologie, auf ein sehr geringes Niveau beschränkt. Konkret bedeutete das einen Abfluss von 2.47 m³/s am Tag und 1.0 m³/s in der Nacht für das Sommerhalbjahr und einen konstanten Abfluss von 0.55 m³/s im Winterhalbjahr. Dieses Abflussregime hatte drastische Folgen für das Ökosystem (Schlüchter, 2014). Da der Bach nicht mehr die nötige Energie hatte, um das Bachbett von Sedimenten und Muren zu befreien, kam es zu Veralgungen und Vertümpelungen auf der Bachstrecke (Rey et al., 2002, p. 20). Es entwickelte sich zunehmend eine atypische Zusammensetzung des Zoobenthos, dominiert vom Bachflohkrebs. Für die Bachforelle hatte das neue Abflussregime sowohl positive als auch negative Folgen. Das Nahrungsangebot hatte sich aufgrund des Abflussregimes und dem damit eingehenden Populationswachstum der Bachflohkrebs verbessert, die Fortpflanzungsbedingungen jedoch verschlechtert. Das grobkörnige, lockere Substrat, welches für die Sauerstoffversorgung des Wassers und als Laichgruben wertvoll ist, wurde zunehmend von feinem Material aus dem Stausee bedeckt (Rey et al., 2002, p. 22). Geeignete Orte für Laichgruben wurden somit rarer. Gleiches wurde auch im Bergell beobachtet (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:40:06-7#).

1990 nahm sich die eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) dem Problem eines veränderten Abflussregimes an. In einer langjährig angelegten Studie wurde erforscht, wie durch

künstliche Hochwasser die natürliche Flussdynamik und Lebensgemeinschaften wieder hergestellt werden können. Die grösste Veränderung war wahrscheinlich die Anpassung des Abflussregimes im Jahr 2000. Im Sommerhalbjahr werden seitdem 1.45 m³/s, im Winterhalbjahr 0.55 m³/s auf die Restwasserstrecke entlassen. Hinzu kommen noch ein bis drei Hochwasser pro Jahr mit einem Abfluss von 10 bis 40 m³/s (Schlüchter, 2014). Das Abflussregime wurde damit dynamischer, ohne den jährlichen Abfluss zu erhöhen. Auch der Sedimenttransport findet seit der Anpassung wieder statt und die Schuttkegel wurden abgebaut. Die Gewässerstruktur entwickelte sich zurück in Richtung eines naturnahen Fließgewässers und die alpinen Lebewesen sind rasch wieder in dem Bachabschnitt zurückgekehrt (Rey et al., 2002, pp. 20–23). Jachen Gaudenz, Betriebsleiter der Engadiner Kraftwerke sagte dazu:

Das hat drei Vegetationsperioden gebraucht und der ganze Flussteil, welcher zuvor mehr oder weniger tot war, war wieder ein Wildbach, ohne dass man irgendetwas gemacht hätte, ausser immer in etwa gleich viel Wasser abzulassen und zwei bis drei Mal pro Jahr ein richtiges Hochwasser zu erzeugen. (2019, #00:31:51-2#)

Da der Abfluss nicht erhöht werden musste, war die Renaturierung aus Sicht des Kraftwerkbetreibers ohne Produktionsverlust möglich. Das Projekt hat sogar mehrere positive Nebeneffekte für die Kraftwerke. Die künstlichen Hochwasser ermöglichen eine regelmässige Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Grundwasserorgane, ohne dabei einen Verlust zu verzeichnen, da das Wasser in das gesetzlich vorgeschriebene Restwasservolumen miteinfliesst. Das Projekt ist ein anschauliches Beispiel, wie sich die Interessen von Kraftwerkbetreibern und der Ökologie vereinbaren lassen. Dazu Herr Gaudenz von den Engadiner Kraftwerken:

«[...] es ist wirklich auch als eine Win-win-Situation bewertet worden. Wir verlieren nichts, haben aber ein gutes Image. Und auf der anderen Seite haben die Natur und der Nationalpark eine Aufwertung der ganzen Bachstrecke» (2019, #00:32:52-5#).

Landwirtschaftliche Bewässerung in Sent

In der Konzession der Engadiner Kraftwerke wurde der Gemeinde Sent das kostenlose Bezugsrecht für die landwirtschaftliche Bewässerung zugesprochen. Die Gemeinde machte durch den Bau eines Bewässerungsnetzes von diesem Recht Gebrauch. Das Wasser wird von der Zentrale Pradella bezogen. Das Wasser steht im Stollen unter einem Druck von 50 Bar. In einer ersten Phase wurde das Wasser mittels Druckentspanner entspannt. Aufgrund des hohen Schwebstoffgehalts des Betriebswassers, nahmen die Druckentspanner und Bewässerungsanlagen innerhalb kürzester Zeit Schaden (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:19:47-3#). Man hat sich deshalb dafür entschieden, ein Reservoir für das Bewässerungswasser zu bauen, welches höher gelegen ist als die Zentrale Pradella. Die 50 Bar Wasserdruck können dafür genutzt werden, das Wasser mittels Zuleitung und ohne weiteren

Energieaufwand zum Reservoir zu bringen. Gleichzeitig wird es auf dem Weg dorthin entspannt. Im Reservoir wird das Wasser entsandet. Es kann dann aufgrund der Höhenlage ohne Pumpen zu den tiefergelegenen Wiesen befördert werden (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:20:13-8#).

Hochwasserschutz der Bergeller Kraftwerke

Das Bergell ist ein sehr enges und schmales Tal im Süden des Kantons Graubünden. Auf Schweizerseite erstreckt es sich von Maloja nach Castasegna. Dabei fällt das Tal um 1'100 Höhenmeter auf einer Luftlinie von 17 Kilometern. Unter anderem aufgrund dieses grossen Gefälles eignet sich das Tal sehr gut für Wasserkraftanlagen. Vor dem Bau dieser Anlagen wurde das Tal immer wieder von Hochwasser heimgesucht. Die Kombination aus Starkniederschlägen und Gletscherschmelze im Sommerhalbjahr führte dazu, dass die vier Wildbäche Orlegna, Albigna, Bondasca und Maira immer wieder über die Ufer traten und in den Dörfern des Tals grosse Schäden anrichteten. Zwischen 1827 und 1954 alleine kam es zu mehr als 16 Hochwasserkatastrophen. Das Hochwasser von 1927 richtete besonders grosse Schäden an. Die Orlegna überschwemmte das Dorf Casaccia und liess dabei viel Geschiebe im Dorf zurück. Die Bevölkerung musste von der St. Moritzer Feuerwehr gerettet werden. In Casaccia und Stampa trat die Maira über die Ufer. Das Haus der Künstlerfamilie Giacometti wurde dabei besonders schwer beschädigt (siehe Abb. 10).



Abbildung 10: Vom Hochwasser zerstörtes Haus der Künstlerfamilie Giacometti
(<http://www.centrogiacometti.ch/de/aktuelles/773-hotel-piz-duan>)

In den 1930ern errichteten die Bergeller daraufhin an genau der Stelle, wo sich heute die Albigna Staumauer befindet, eine Hochwasserschutzmauer, (Jecklin & Jecklin, 2019, pp. 26–28). Die Bevölkerung sprach sich schon früh und vehement für eine Nutzung der Wasserkraft aus, da sie sich von dem Bau eines Wasserkraftwerks sowohl Schutz als auch einen wirtschaftlichen Aufschwung versprach. Nach vielen gescheiterten Projekten, bewilligten die Zürcher Stimmbürger 1954 schlussendlich einen Kredit von 197.5 Millionen Franken, woraufhin mit dem Bau der Bergeller Kraftwerke begonnen werden konnte (Jecklin & Jecklin, 2019, p. 35). Die Hochwasserschutzmauer wurde erhalten und kann noch heute im Bauch der Albigna Staumauer besichtigt werden.

Vor dem Bau der Albigna Staumauer durch die Stadt Zürich, wurde in der Konzession festgehalten, dass dieselbe Menge Wasser, welche zuvor von der Hochwasserschutzmauer zurückgehalten wurde (2 Mio. m³), von nun an in Form eines Freihaltevolumen garantiert werden muss (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:01:42-8#). Einige Jahre später beschloss der Bund mittels einer Verfügung, dass bei der Berechnung des Rückhaltevolumens nicht nur ein Jahrhundert-Hochwasser berücksichtigt werden muss, sondern auch ein Jahrtausend-Hochwasser. Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich wurde vor die Wahl gestellt, die Staumauer zu erhöhen oder das Stauziel um 1.60 Meter abzusenken, was einem weiteren Freihaltevolumen von 2 Mio. m³ entspricht. Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile hat das EWZ sich für die zweite Option entschieden. Das damals festgelegte Freihaltevolumen hat bis heute Bestand (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:02:35-0#). Anders als beim Mattmark Stausee werden die EWZ für die betriebliche Einschränkung nicht vergütet. Weitere Vorkehrungen zum Hochwasserschutz wurden danach noch weiter unten im Tal vorgenommen, so dass heute das Hochwasserrisiko im Vergleich zu früher relativ moderat ist (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:05:12-2#).

Pilotprojekt Albignasolar

Vergangenes Jahr am 14. Juni 2018 wurde an der Staumauer Albigna im Bergell eine PV-Pilotanlage mit 12 Panels in Betrieb genommen. Für die Zeitperiode vom Juni 2018 bis Mai 2019 wurde ein ausserordentlich hoher, spezifischer Ertrag von 1'242 kWh/kWp/Jahr erreicht (inklusive Abregelungsverlusten) (Szacsvey, 2019, p. 7). Der Ertrag der 12 Solarpanels entsprach damit etwa einem Viertel des Verbrauchs eines Schweizer Durchschnittshauses mit vier Personen. Der hohe Ertrag kann vor allem auf die aussergewöhnlichen Standortbedingungen der Anlage zurückgeführt werden. Die Staumauer des auf über 2'100 m.ü.M. liegenden Stausees Albigna ist in Richtung Süden ausgerichtet und somit optimal für die Gewinnung von Solarenergie. Aufgrund seines mediterranen Klimas und der Höhenlage liegt die Anzahl der Sonnenstunden im Bergell über dem Schweizer Durchschnitt. Durch die alpine Lage ergeben sich jedoch auch Nachteile. Durch die Höhe steigt das Risiko von Schwergewittern, was bei der Installation berücksichtigt werden muss (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:10:21-0#)

Der schneereiche Winter bringt sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich. Durch den Schneefall im Winter können die Solarpanels über eine kurze Zeit partiell oder ganz mit Schnee bedeckt sein und damit die Produktion einschränken. Da die Panels jedoch beinahe vertikal an der Staumauer montiert sind, rutscht der Schnee erfahrungsgemäss nach kurzer Zeit wieder ab. Zudem hat der Schnee auch einen positiven Effekt. Durch Reflexionen des Schnees können im Winter sehr hohe Erträge erzielt werden (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:09:00-0#). Während der einjährigen Pilotphase wurden 48 Prozent des Stromertrags im Winterhalbjahr produziert, also in dem Zeitraum, wo die Nachfrage und der Preis hoch sind.



Abbildung 11: Pilotanlage Solaralbigna im Winter 2019 (Szacsvey, 2019, p. 15)

Im Vergleich dazu produziert eine durchschnittliche Flachdachanlage im Mittelland nur 25 Prozent der Energie im Winterhalbjahr und eine durchschnittliche Flachdachanlage in den Alpen sogar nur deren 12 (Szacsvey, 2019, p. 7).

Eine Kombination aus Speichersee und PV-Anlage ist ferner vorteilhaft, weil die Infrastruktur doppelt genutzt werden kann. Dies betrifft sowohl die Staumauer selbst, woran die Panels direkt installiert werden können, als auch die technische Infrastruktur wie Mittelspannungskabel, Datenleitung und Lichtwellenleiter. Das Landschaftsbild wird somit nicht durch weitere Kunstbauten beeinträchtigt und die Gestehungskosten der Anlage können tief gehalten werden (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:09:00-0#). Im Moment läuft die Finanzierungphase für einen substantiellen Ausbau der Anlage.

Trinkwasser

Es gab eine grosse Übereinstimmung unter den Kraftwerkbetreibern, dass eine grossräumige Trinkwasserversorgung aus den Speicherkraftwerken nicht sinnvoll ist. Deshalb wird hier kein spezifisches Projekt vorgestellt, sondern es werden die Gedanken der Kraftwerkbetreiber bezüglich einer Trinkwasserversorgung mit Triebwasser zusammengefasst. Keine der untersuchten Kraftwerksgruppen versorgt grössere Siedlungen mit Trinkwasser. Die im Untersuchungsgebiet liegenden Haushalte werden überwiegend mit qualitativ gutem, leicht

zu erschliessendem Quellwasser versorgt (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:26:24-1#; Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:17:35-1# & Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:06:11-4#). Nur in wenigen Ausnahmefällen wird in Knappheitssituationen Grundwasser gepumpt, wie das beispielsweise in den Engadiner Dörfern Zernez und Susch der Fall ist (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:17:35-1#). Eine grossflächige Trinkwasserversorgung durch die Stauseen ist aufgrund des reichen Vorkommens an Quell- und Grundwasser nicht sinnvoll. Das Betriebswasser der Kraftwerksanlagen weist in den meisten Fällen nicht Trinkwasserqualität auf und müsste deshalb teuer aufbereitet werden (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:26:24-1#; Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:06:11-4#, Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:41:35-9#). Dazu kämen zusätzliche Opportunitätskosten, weil das Wasser nicht zur Stromerzeugung genutzt werden kann.

Während grossflächige Trinkwasserversorgungen aus den Stauseen nicht erstrebenswert sind, kann eine kleinräumige Versorgung durchaus Sinn ergeben und wird teilweise auch so praktiziert. Dies betrifft vor allem Alpen und Weiler, die aufgrund ihrer Abgelegenheit nicht ans Versorgungsnetz der entsprechenden Gemeinden angeschlossen sind. In solchen Fällen ist es durchaus sinnvoll, die Infrastruktur der Kraftwerksbetreiber zur Trinkwasserversorgung zu nutzen. Teilweise wurde in den entsprechenden Konzessionen die Betreiber dazu verpflichtet, die Trinkwasserversorgung für ausgewählte Alphütten und Weiler zu garantieren, wie das bei der Kraftwerksgruppe Vorderrhein der Fall ist. Diese versorgt Brunnen, Alpen, Weiler und militärische Anlagen in der Region mit Wasser aus ihrem Netz (Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:28:41-2#). Das Wasser wird dabei nicht direkt den Stauseen entnommen, sondern aus nahegelegenen Wasserfassungen, weil diese näher beim Verbraucher liegen und Trinkwasserqualität aufweisen. Auch die Albula-Landwasser Kraftwerke versorgen einen Weiler mit Trinkwasser (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:18:51-1). Die Kraftwerksgruppe Vorderrhein hat in der Vergangenheit ebenfalls einige Alphütten mit Wasser versorgt. Die Versorgung musste jedoch eingestellt werden, da die Qualität nicht garantiert werden konnte (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:26:24-1#).

Künstliche Beschneigung

Nur zwei der zehn Kraftwerkgruppen gaben an, Wasser für die künstliche Beschneigung abzugeben. Dieser Wert ist überraschend niedrig, hat doch über die letzten Jahre hinweg auch im Kanton Graubünden ein grosser Ausbau der Beschneigungsanlagen stattgefunden. Die Savognin Bergbahnen haben bereits 1978, als erstes Skigebiet in Europa, eine grossflächige Beschneigungsanlage in Betrieb genommen (Imwinkelried 2010). Die dafür jährlich aufgewendete Wassermenge von 100'000 bis 150'000 m³ stammt zu grossen Teilen aus dem Fluss Julia, wo das Wasser in der Nähe der Talstation der Savogniner Bergbahnen entnommen wird (Leiter künstliche Beschneigung Savognin Bergbahnen, 2019, #00:08:50-3#). Der im Jahr 1978 ausgehandelte Vertrag erlaubt es den Bergbahnen 75 l/s der Julia zu entnehmen (Casanova 2016: 27). Zu diesem Zweck wird der Fluss im Dorf ab Ende Oktober gestaut, in ein Reservoir gleitet und gelangt von dort aus in das Beschneigungsnetz (Leiter künstliche Beschneigung Savognin Bergbahnen, 2019, #00:07:35-5#). Das Wasser wird in diesem Fall nicht

direkt aus den Leitungen der Kraftwerke Mittelbünden entnommen. Dennoch ist es aus Sicht des Kraftwerkbetreibers verlorenes Wasser, da der Zufluss zum Ausgleichsbecken Burvagn durch die Wasserentnahme der Bergbahnen direkt vermindert wird.

Die Wasserentnahme aus der Julia findet ohne Absprache mit dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich statt und ist für die Bergbahnen kostenlos (Leiter künstliche Beschneigung Savognin Bergbahnen, 2019, #00:09:12-3#). Zurzeit befinden sich die Savogniner Bergbahnen und die EWZ im Austausch für eine MZN der Fassung Nandroz (Teil der Kraftwerke Mittelbünden). Dort wollen die Bergbahnen in Zukunft im Winter Wasser entnehmen, um einen Ausbau der Beschneigungsanlagen realisieren zu können. Bisher konnte man sich auf einen Vertrag mit einem Fixpreis pro Kubikmeter einigen, zuzüglich einer Pauschale für den Betriebsaufwand. In Zukunft könnten den Savogniner Bergbahnen pro Saison somit 150'000 m³ Wasser für die Produktion von künstlichem Schnee abgegeben werden (Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:17:07-3#). Auch die Albula-Landwasser Kraftwerke haben sich erst kürzlich mit den Skigebieten Bergün und Davos/Klosters über eine Zusammenarbeit geeinigt. Die Albula-Landwasser AG wird ebenso wie die EWZ von den Bergbahnen mit einem Fixpreis vergütet. Zusätzlich wird ihnen die Wasserwerksteuer zurückerstattet (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:14:46-2#). Die aktuellen Beispiele zeigen, dass eine Nachfrage von Seiten der Sportbahnen nach Wasser besteht und dass die Kraftwerkbetreiber grundsätzlich kooperativ sind.

7.3 Herausforderungen & Lösungsansätze MZN Speicherkraftanlagen

Das vorangehende Kapitel hat gezeigt, dass MZN eine Reihe von Bedürfnissen befriedigen können, ohne dabei den Betrieb der Wasserkraftbetreiber massgeblich zu beeinflussen. Die Implementierung von MZN kann jedoch auch mit Herausforderungen, sowohl für die Betreibergesellschaft als auch für die Nutzenden, verbunden sein. Im folgenden Kapitel sollen zuerst einige Herausforderungen detailliert besprochen werden, bevor diese gemeinsam mit möglichen Lösungsansätzen übersichtlich in einer Tabelle gegenübergestellt werden.

Art und Höhe der Vergütung

Die Wahrscheinlichkeit einer Umsetzung von konkurrenzierenden MZN ist stark abhängig davon, ob der Betreiber für die Abgabe des Wassers und den damit verbundenen Betriebsaufwand entschädigt wird. Obwohl bei der künstlichen Beschneigung ein Teil des Wassers wieder zurück in das System fließt, wurde die Nutzung als Verlust eingestuft. Das Wasser steht dem Betreiber zeitlich nur verzögert zur Verfügung und ein Teil des Wassers entweicht dem System durch Sublimation und Evaporation (Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:14:00-4#). Die Abgabe von Löschwasser ist weit weniger problematisch, da es sich dabei generell um sehr geringe Mengen handelt und die Betreiber sich verpflichtet fühlen, Nothilfe zu leisten (Kraftwerke Zervreila, 2019, p.2; Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:07:05-2#; Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:16:38-1#). Bei einer entsprechenden Vergütung waren viele Kraftwerkbetreiber der Meinung, dass eine MZN generell möglich sei (Albula-

Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:12:13-2#; Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:04:56-4#; Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:03:10-1#), vorausgesetzt dass die Wirtschaftlichkeit der Kraftwerke weiterhin gegeben ist (Kraftwerke Zervreila, 2019, p.2; Kraftwerksgruppen Prättigau/Davos & Puschlav, 2019, p.1; Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:11:41-4#).

Nebst der Höhe der Vergütung, ist die Art der Vergütung ein entscheidender Aspekt in der Realisierung einer MZN. Während die Abnehmerinnen und Abnehmer gerne bekannte Preise hätten, bevorzugen die Kraftwerksbetreiber flexible Preise. Dies erlaubt es dem Betreiber, für den effektiven Wert der «verlorenen» gegangenen Energie entschädigt zu werden. Ein Fixpreis mit Änderungsklausel ist ein Kompromiss zwischen den beiden Optionen, welcher in der Praxis Anwendung findet (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:10:18-2#). Eine weitere Möglichkeit ist ein Fixpreis zuzüglich einer Rückerstattung des Wasserzinses (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:13:42-2#). Wurde eine Nutzung in der Konzession festgehalten, erfolgt die Abgabe des Wassers zumeist ohne Entschädigung (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:20:45-6#; Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:27:25-0#). Jedoch werden in solchen Fällen die Erträge der Gemeinden und der Kantone durch geringere Einnahmen aus Wasserzinsen geschmälert (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:13:21-1#).

Geographische Lage und Zugang

Der Grossteil der Bündner Stauseen liegt in hochalpinen Gebieten. Aufgrund der isolierten Lage gibt es oftmals keine Möglichkeit, das Wasser vor Ort für weitere Zwecke zu nutzen oder eine Zusatznutzung ist mit zu hohem finanziellem Aufwand verbunden (Bergeller Kraftwerke 2019, #00:09:00-0#, Engadiner Kraftwerke, 2019 #00:08:56-6#). Eine MZN ist deshalb meist erst unterhalb der Stauseen interessant für die verschiedenen Nutzergruppen. Es besteht dort die Möglichkeit, das Wasser aus den Druckwasserstollen zu entnehmen, welche dieses vom Speichersee zu den Kraftwerksanlagen bringen. Da die Druckwasserstollen zu grossen Teilen in massivem Felsen eingebettet sind, ist dort eine Erschliessung nur durch grosse bauliche Massnahmen möglich und somit mit hohen Unkosten verbunden (Engadiner Kraftwerke, 2019: #00:08:56-6# & #00:23:39-2#). Eine Wasserentnahme ist deswegen meist nur im Bereich von Fensterstollen und Ausgleichsbecken wirtschaftlich sinnvoll und die Nutzung somit stark ortsgebunden.

Infrastruktur

Teilweise ist die Infrastruktur der Kraftwerksbetreiber nur auf die Produktion von Elektrizität ausgerichtet (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:14:59-9#; Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:17:35-1#). Die Abgabe von Wasser für andere Nutzungen kann somit mit hohem Aufwand und hohen Kosten verbunden sein. Das Wasser im Druckstollen der Engadiner Kraftwerke in Scuol steht zum Beispiel unter einem Druck von 50 Bar. Um das Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung nutzbar zu machen, muss das Wasser zuerst entspannt

werden. Ein Versuch mit Druckentspannern scheiterte am hohen Schlammanteil des Betriebswassers. Deshalb wurde ein neues Konzept entwickelt und das Wasser wird mit den 50 Bar in ein höhergelegenes Reservoir gebracht. Das Wasser wird somit entspannt und im Reservoir werden die Feststoffe durch einen Entsander dem Betriebswasser entnommen (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:17:35-1# - #00:20:13-8#). Eine Nutzung von Wasser aus den Kraftwerksstollen ist also möglich, ist jedoch oft mit grossem baulichem Aufwand und somit mit so hohen Kosten verbunden, dass von einer Nutzung abgesehen wird (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:21:27-4#)

Seespiegelschwankungen und Abflussschwankungen der Unterlieger

Tägliche und wöchentliche Seespiegelschwankungen sind eine Herausforderung für die touristische Nutzung eines Speichersees. Der Seespiegel kann je nach Anlage um mehrere zehn Meter schwanken, weshalb es schwierig ist, einen dauerhaften Zugang zum See zu garantieren (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:08:59-3#; Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:04:52-2#; Engadiner Kraftwerke 2019, #00:07:15-8#). Die durch den Betrieb von Wasserkraftwerken verursachten Seespiegelschwankungen und Teile der Wasserkraftanlagen selbst stellen eine Gefahr für Nutzerinnen und Nutzer des Sees dar. Eine Abgrenzung gegenüber Gefahrenbereichen wie der Staumauer und Hochwasserentlastungsorganen ist deshalb unerlässlich (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:04:25-3#; Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:06:00-0#; Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:07:42-1#). In einigen Stauseen ist ein Badebetrieb trotzdem möglich (z.B. Stausee Sufers und Davos), während in anderen aufgrund der betrieblichen Gefahren ein generelles Badeverbot gilt. Beim Stausee Marmorera gibt es beispielsweise einen Stolleneinlauf, bei dem es zu einer Sogwirkung kommen kann, wenn die Anlagen im Betrieb sind. Wenn die Anlagen nicht in Betrieb sind, kann es hingegen dazu kommen, dass das Wasser zurückdrückt und es dadurch zu einer Art Whirpool-Effekt kommt. In der Nähe zur Staumauer besteht die Gefahr von Überlauf bei Unwettern (Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:07:42-1#; Calvadetscher, 2019, #00:04:25-3#).

Durch Spülungen und Hochwasserentlastung gelangen grosse Mengen Wasser aus den Speicherbecken in die Unterläufer. Dies kann bei einer touristischen Nutzung eine Gefahr für die Nutzerinnen und Nutzer darstellen. Teilweise erfolgen solche Spülungen automatisch, weshalb eine Frühwarnung nicht immer möglich ist. Zudem sind nicht alle Nutzungen institutionalisiert und deshalb müssen es sich die Kraftwerksbetreiber auch vorbehalten können, jederzeit und ohne Vorwarnung Wasser zu entlasten (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:12:35-0#). Bei geplanten Spülungen und teilweise auch bei Hochwasserentlastungen können potenziell betroffene Unternehmen und Privatpersonen über unterschiedliche Medien vorgewarnt werden (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:12:35-0#; Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:09:06-1#). Grundvoraussetzung dafür ist eine gute Kommunikation mit den betroffenen Akteuren. Zudem kann in einem ersten Schritt eine geringe Menge Wasser abgegeben werden, um mögliche Nutzerinnen und Nutzer zu warnen, bevor die

eigentliche Spülung vorgenommen wird (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:05:39-4#; Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:12:21-9#).

Geringe Abflussmengen können für die touristische Nutzung ebenso eine Herausforderung darstellen wie Hochwasser. In der Ruinaulta Schlucht wird deshalb beispielsweise während den Sommermonaten, wenn der Wasserstand des Vorderrheins sehr gering wird, in Absprache mit der lokalen Kanuschule der Abfluss des Vorderrheins erhöht. Dies geschieht auf freiwilliger Basis und wird nicht entschädigt (Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:06:26-8# & #00:08:29-6#)

Ökologie

Grundsätzlich ist die Nutzung der Wasserkraft mit einem erheblichen Eingriff in lokale und regionale Gewässerökosysteme und Landschaften verbunden. Deshalb wird eine MZN im Sinne der Ökologie nie den natürlichen Zustand vor dem Eingriff wiederherstellen können. Ziel muss es deshalb sein, den Betrieb und die Anlagegestaltung möglichst umweltschonend zu gestalten. Eine Zertifizierung soll die ökologische Stromproduktion von Wasserkraftwerken bescheinigen. «Naturemade» ist das am weitesten verbreitete Gütesiegel für Ökostrom in der Schweiz. Grundvoraussetzung für eine Zertifizierung ist ein ökologischer Standard, der sich an dem Niveau einer schweizerischen Neuzkonzessionierung orientiert, und die Zahlung eines Beitrags (pro verkaufte Kilowattstunde) für den Schutz und/oder die Aufwertung des genutzten Gewässergebiets. Die ökologischen Schutz- und Aufwertungsmaßnahmen gehen über das Niveau der gesetzlichen Vorschriften hinaus. Der Produzent oder die Produzentin kann einen Teil der Mehrkosten auf den Verbraucher oder Verbraucherin abwälzen, indem der Ökostrom teurer verkauft wird.

Natürlichen Bedingungen

Die Höhe des Speicherbeckens kann ein limitierender, beziehungsweise ausschliessender Faktor für die fischereiliche Bewirtschaftung eines Speichersees darstellen (Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:15:14-7#; Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:16:34-8#). Beim Stausee Albigna ist beispielweise ein Fischbesatz aufgrund der Höhe und der damit eingehenden Nährstoffarmut des Sees gescheitert (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:16:34-8#). Auch im Lago d'Isola ist der Fischbestand aufgrund der Höhe und des Nährstoffmangels relativ gering (Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:15:14-7#).

Bei Spülungen von grösseren Becken müssen die Fischbestände im Voraus abgefischt werden (Kraftwerke Zervreila, 2019, p.1; Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:12:59-4#; Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:13:57-7#). Um das Ausgleichsbecken Runcahez der Kraftwerksgruppe Vorderrhein auf eine Spülung vorzubereiten, wurde beispielsweise der Wasserspiegel des Beckens abgesenkt, das Becken leergefischt und die Fische mittels Helikopter in den Stausee Zervreila umgesiedelt (Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:13:57-7#). Findet ein aktiver Fischbesatz statt, müssen dementsprechend mehr Fische gefangen und disloziert werden. Wenn in Gewässern ohne natürliche Fischvorkommen

künstlich eine Population angesiedelt wird, ist das für den Betreiber entsprechend mit zusätzlichem Aufwand verbunden, wie das vorangehende Beispiel gezeigt hat (Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:15:05-9#).

Extreme Wetterverhältnisse

Starker Wind, Vereisung, extreme Kälte und Blitzeinschläge sind im alpinen Gebiet eine grosse Herausforderung. PV-Anlagen müssen so installiert werden, dass sie einerseits den klimatischen Bedingungen standhalten, andererseits aber auch in der Installation und im Unterhalt nicht zu viel kosten (Bergeller Kraftwerke, 2019: #00:15:05-7#). Ausserdem ist eine günstige Ausrichtung der Staumauer (vorzugsweis in Richtung Süden) Grundvoraussetzung für die Realisierbarkeit einer solchen Anlage. Da es durch die Solarpanels zu Spiegelungen kommen kann, haben diese einen negativen Einfluss auf das Landschaftsbild. Da die Installation aber an einem bereits bestehenden Kunstbau erfolgt, halten sich die zusätzlichen landschaftlichen Auswirkungen in Grenzen (Bergeller Kraftwerke, 2009, #00:11:37-4#)

Aufgrund der schwierigen klimatischen Bedingungen mit sehr viel Schnee und Eis sowie grossen saisonalen Seespiegelschwankungen, haben sich die Bergeller Kraftwerke gegen sogenannte Waterlilies (mit Solarpanels versehene schwimmende Elemente) entschieden (Bergeller Kraftwerke, 2019, #00:13:39-5#). Die Installation wäre mit zu grossen Kosten verbunden gewesen. Im Oberhalbstein haben auch finanzielle Faktoren dazu geführt, dass ein Projekt zur Installation von Waterlilies auf dem Stausee Marmorera eingestellt wurde (Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:13:00-9#).

Konzession

Manche Konzessionen erlauben es der Betreibergesellschaft das zur Verfügung stehende Wasser für verschieden Zwecke zu nutzen, während andere vorschreiben, dass das Wasser ausschliesslich für die Produktion von elektrischer Energie verwendet werden darf. Trifft letzteres zu, darf ohne einen Nachtrag zu der bestehenden Konzession kein Wasser für weitere Nutzungen abgegeben werden (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:07:05-2#; Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:27:26-3#). Ein Nachtrag ist im Normalfall mit einem grossen administrativen Aufwand und hohen Kosten verbunden aber theoretisch möglich (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:07:05-2#, Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:04:52-5#; Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:06:11-1#; Kraftwerksgruppe Vorderrhein, 2019, #00:49:46-2#). Ein solcher Nachtrag muss weiter von der Gemeinde genehmigt werden. Die Entscheidung wird dann meist in einer Gemeindeversammlung gefällt, was einen zusätzlichen Zeitaufwand bedeutet (Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:06:11-1#).

Technische Herausforderungen		
Beschreibung der Herausforderungen	Betroffene MZN	Mögliche Lösung/en
Das Wasser in den Druckstollen steht unter hohem Druck. Das Wasser muss deshalb, je nach Nutzung, zuerst entspannt werden, bevor es alternativ verwendet werden kann.	Künstliche Beschneigung Bewässerung Löschwasser Trinkwasserversorgung	Wasser mit geringem Sedimentgehalt kann mit einem Druckentspanner auf den gewünschten Druck gebracht werden. Alternativ kann der Druck genutzt werden, um das Wasser in ein höher gelegenes Reservoir zu bringen und gleichzeitig zu entspannen.
Die Speicherseen sind aufgrund von täglichen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels nicht immer gut zugänglich.	Fischerei Tourismus	Der Zugang kann durch höhenverstellbare Stege und Bootanlagestellen dauerhaft garantiert werden.
Rechtliche Herausforderungen		
Beschreibung der Herausforderung	Betroffene MZN	Mögliche Lösung/en
Manche Konzessionen erlauben ausschliesslich die Nutzung des Wassers zur Produktion elektrischer Energie. Die Nutzung des Wassers für andere Zwecke erfordert einen Nachtrag zu der bestehenden Konzession und ist damit mit einem hohen administrativen und finanziellen Aufwand verbunden.	Künstliche Beschneigung Bewässerung Löschwasser Trinkwasserversorgung	Anpassung der Konzession. Bei Neukonzessionierungen können verschiedene Nutzungen von Beginn weg berücksichtigt werden.
Eine Fremdnutzung der Kraftwerkanlagen und Gewässer ist grundsätzlich aus Sicht der Betreiber aus Haftungsgründen unattraktiv.	Fischerei Tourismus	Da die Kraftwerksbetreiber grundsätzlich ein gutes Verhältnis mit den Konzessionsgemeinden haben möchten, sind sie meist bei entsprechenden Anliegen gesprächsbereit. Bei der Erneuerung von Konzessionen könnten die Nutzungen direkt festgehalten werden und versicherungstechnische Aspekte zur Haftung festgehalten werden.
Wasserkraftwerke müssen sich heute an relativ strenge ökologische Richtlinien halten. Anlagen in ökologisch wertvollen Lebensräumen unterliegen besonders strengen Kontrollen.	Ökologie	Im Gebiet des Schweizer Nationalparks konnten die Engadiner Kraftwerke in Zusammenarbeit mit dem Nationalpark durch eine Anpassung des Abflussregimes des Spöls den Gewässerraum ökologisch aufwerten, ohne dabei die Restwassermenge erhöhen zu müssen. Die Kraftwerke konnten dabei von dem ökologischen Knowhow des Nationalparks und seines Netzwerks profitieren.

<p>Ein grossräumiges Bewässerungssystem ist je nach Besitzverhältnissen nur schwer zu realisieren. Die Landwirte sind oft lediglich Pächter von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Ein Bewässerungsprojekt im Domleschg scheiterte beispielsweise am Veto der Grundstücksbesitzerinnen und Grundstückbesitzer.</p>	<p>Bewässerung</p>	<p>unklar</p>
<p>Finanzielle Herausforderungen</p>		
<p>Die Abgabe von Wasser für andere Nutzungen ist mit einer finanziellen Einbusse für den Kraftwerksbetreiber verbunden.</p>	<p>Künstliche Beschneigung Bewässerung Löschwasser Trinkwasserversorgung</p>	<p>Abgaben, welche in der Konzession geregelt sind, erfolgen meist unentgeltlich. Die Einnahmen der Gemeinden und Kantone werden jedoch durch geringere Erträge aus den Wasserzinsen geschmälert. Betriebsleiter sind aber grundsätzlich bereit, Wasser für andere Nutzungen abzugeben, sofern sie kostendeckend dafür vergütet werden. Flexible Preise werden dabei bevorzugt. Eine Kompromisslösung sind Fixpreise mit Änderungsklausel.</p>
<p>Eine Installation von Photovoltaikanlagen auf dem Speichersee ist aufgrund der täglichen und saisonalen Seespiegelschwankungen und der Vereisung in den Wintermonaten technisch aufwendig und teuer.</p>	<p>Photovoltaik (auf Seeoberfläche)</p>	<p>Im Bergell wurde in einem Pilotprojekt eine PV-Anlage direkt an der Staumauer installiert. Damit können die ausserordentlich guten lokalen Voraussetzungen genutzt werden (Reflexion Schnee, überdurchschnittlich Sonnentage etc.) und der finanzielle Aufwand lohnt sich dank der einfacheren Installation.</p>
<p>Wasserkraftwerke sind immer ein grosser Eingriff in die Ökologie. Massnahmen, welche über die gesetzlichen Rahmenbedingungen hinausgehen, sind fast immer mit zusätzlichen Kosten für den Betreiber verbunden.</p>	<p>Ökologie</p>	<p>Eine Zertifizierung von Kraftwerken (z.B. Nature Made) bietet den Betreibern einen Anreiz, strenge und umfassende ökologische Auflagen zu erfüllen. Die Kosten werden zu einem grossen Teil über einen Aufpreis für Naturstrom auf den Konsumenten abgewälzt.</p>
<p>In der Nähe von Staumauern besteht die Gefahr von Überlauf. Weitere Gefahren gehen von den Hochwasserentlastungsorganen aus, in deren Nähe es zu Sogwirkungen und dem sogenannten Whirlpool-Effekt kommen kann.</p>	<p>Tourismus Fischerei</p>	<p>Durch eine Abgrenzung der Gefahrenbereiche können verschiedene Wasseraktivitäten trotzdem zugelassen werden.</p>
<p>Die meisten Wasserkraftwerke wurden ausschliesslich zur Stromproduktion gebaut und die Infrastruktur wurde</p>	<p>Künstliche Beschneigung Bewässerung</p>	<p>Beim Neubau und bei der Erneuerungen von Wasserkraftwerken können Anschlüsse für weitere Nutzungen</p>

<p>dementsprechend geplant. Zu grossen Teilen sind die Druckwasserstollen in massivem Felsen eingebettet und nur schwer für andere Nutzungen erschliessbar. Die Erschliessung für zusätzliche Nutzungen erfordert meist eine Anpassung der Infrastruktur, was mit hohen Kosten verbunden ist.</p>	<p>Löschwasser Trinkwasserversorgung</p>	<p>geschaffen werden. Sofern die Interessensgruppen die Kosten für eine Erschliessung übernehmen, sind die Wasserkraftbetreiber in der Regel kooperationsbereit. Das Kosten-Nutzen Verhältnis muss dafür jedoch passen.</p>
<p>Für den aktiven Hochwasserschutz muss der Kraftwerksbetreiber zu jeder Zeit ein Freihaltvolumen garantieren können. Das nutzbare Speichervolumen wird dadurch verringert, was wirtschaftlich negative Folgen für den Kraftwerksbetreiber hat.</p>	<p>Hochwasserschutz</p>	<p>Der Kraftwerksbetreiber kann für seinen Beitrag am Hochwasserschutz vergütet werden.</p>
<p>Eine Touristenkote schränkt das nutzbare Speichervolumen des Kraftwerksbetreibers ein. Eine Touristenkote legt einen Mindestpegel von Speichern fest, welcher während einer definierten Zeit nicht unterschritten werden darf. Bei Nichteinhaltung der Vorgabe wird die Betreibergesellschaft gebüsst.</p>	<p>Tourismus Fischerei</p>	<p>Durch saisonale Touristenkoten kann der Einfluss auf die Tourismus Hauptsaison im Sommer beschränkt werden.</p>
<p>Betriebliche Herausforderungen</p>		
<p>Eine touristische Nutzung der Gewässer (Speicherseen & Flüsse) schränkt den Betrieb oft ein. Bei betrieblichen Abläufen wie Spülungen (erfolgen teilweise automatisch) und Hochwasserentlastung muss bei einer MZN Rücksicht auf solche Nutzerinnen und Nutzer genommen werden.</p>	<p>Tourismus Fischerei</p>	<p>Durch eine gute Kommunikation zwischen Wasserkraftbetreibern und anderen Akteuren, ist eine Nutzung mit gewissen Einschränkungen oftmals möglich. Die Nutzerinnen und Nutzer werden dabei von den Wasserkraftbetreibern über unterschiedliche Medien über betrieblich Vorgänge informiert. Im Vorfeld von Spülungen können Urlaubsgäste und Fischerinnen und Fischer durch einen «Warnschwall» oder durch ein entlang des Flusslaufes installiertes Frühwarnsystem vorgewarnt werden.</p>

<p>Ein Fischbesatz von Gewässern ohne natürliches Fischvorkommen ist für den Kraftwerksbetreiber mit einem höheren betrieblichen Aufwand verbunden. Bei einer Spülung der Speicherseen und Ausgleichbecken müssen die Speicher zuerst abgefischt werden.</p>	<p>Fischerei</p>	<p>unklar</p>
<p>Die Abgabe von Wasser ist mit einem zusätzlichen betrieblichen Aufwand für den Wasserkraftbetreiber verbunden.</p>	<p>Künstliche Beschneigung Bewässerung Trinkwasserversorgung</p>	<p>Ist der Verbraucher bereit für das An- und Ausschalten der Leitungen den Kraftwerksbetreiber zu vergüten, sollte eine MZN grundsätzlich dadurch nicht verhindert werden.</p>
<p>Natürliche Bedingungen</p>		
<p>Höher gelegene Speicherseen haben aufgrund der Höhenlage und dem damit verbundenen geringen Nährstoffeintrag kein oder nur ein geringes Fischvorkommen.</p>	<p>Fischerei</p>	<p>Durch Fischbesatz kann eine künstliche Population aufrechterhalten werden.</p>
<p>Viele Speicherseen sind aufgrund ihrer Lage nur schwer zugänglich und eignen sich deshalb nur begrenzt für eine touristische Nutzung.</p>	<p>Fischerei Tourismus</p>	<p>Kraftwerksbetreiber können ihre Transportanlagen, um zu den Speicherseen zu gelangen, der Öffentlichkeit zugänglich machen.</p>
<p>Nur wenige Speicherseen befinden sich in unmittelbarer Nähe von Skigebieten. Eine Vernetzung ist deshalb sehr kostenaufwendig.</p>	<p>Künstliche Beschneigung</p>	<p>Teilweise können nahe gelegene Wasserfassungen der Wasserkraftwerke für die künstliche Beschneigung verwendet werden. Bei einem Neubau von Wasserkraftanlagen können die Bedürfnisse unterschiedlicher Nutzergruppen bei der Planung der Leitungen berücksichtigt werden.</p>
<p>Das Wasser aus den Speicherseen ist in den meisten Fällen nicht von Trinkwasserqualität.</p>	<p>Trinkwasserversorgung Bewässerung</p>	<p>Oftmals wird Wasser in Wassererfassungen oberhalb der Speicherseen gefasst und in die Speicherseen geleitet. Dieses Wasser kann meist ohne weitere Aufbereitung als Trinkwasser verwendet werden. Zudem können so abgelegene Orte, welche nicht Teil des kommunalen Trinkwassernetzes sind, versorgt werden.</p>

Ökologie		
Speicherkraftwerke leisten einen Beitrag zum Hochwasserschutz, indem Hochwasserspitzen gebrochen werden. Die Staumauern wirken jedoch als Barriere für Lebewesen und grobkörnige Sedimente, während sandige Sedimente bei Hochwasser und Spülungen in hoher Konzentration in das Unterwasser gelangen und sich dort absetzen. Sandige Bachbette eignen sich nicht als Laichplatz für Fische, da die Fischeier aufgrund fehlender Haftung durch die Strömung weggeschwemmt werden können.	Ökologie Fischerei	Anpassungen im Ablauf von Spülungen und nach Hochwasser können den Abtransport des Sandes verbessern. Dies setzt jedoch voraus, dass der Kraftwerksbetreiber sich mit der Problematik beschäftigt (jedes Hochwasser ist unterschiedlich und somit sind es auch die notwendigen Massnahmen) und allfällige Produktionsverluste in Kauf nimmt.
Die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen und Freizeitanlagen ist aus ökologischer Sicht umstritten und erfährt deshalb oft Widerstand von Umweltschutzverbänden.	Bewässerung	unklar

Tabelle 3: Übersicht der Herausforderungen und Lösungsansätze von Mehrzwecknutzungen (eigene Darstellung)

Die obenstehende Tabelle zeigt, dass eine MZN mit vielen Herausforderungen verbunden sein kann, es jedoch auch viele differenzierte Lösungen gibt. Die meisten genannten Herausforderungen sind finanzieller Natur, einerseits für Kraftwerksgesellschaft selbst, andererseits auch für die Nutzenden, welche beispielsweise für die Erschliessungskosten aufkommen müssen. Die Erschliessungskosten sind hoch, weil die meisten Kraftwerksanlagen in den 60er Jahren ohne Rücksicht auf eine zukünftige MZN erbaut wurden. Die neuen Ansprüche gilt es beim Neubau und Erneuerungen von Wasserkraftwerken zu berücksichtigen, damit Querbezüge in Zukunft ohne grössere Kosten möglich sind.

Die technischen Herausforderungen sind nicht so zahlreich. Der hohe Wasserdruck in den Druckstollen und damit verbundene Schwierigkeiten bei der Entnahme von Wasser betreffen gleich vier potentielle Nutzungen. Die Kraftwerkstufe von Pradella nach Martina der Engadiner Kraftwerke wurde vor 25 Jahren erbaut und zeigt, wie diese Schwierigkeiten behoben werden können. Die Infrastruktur wurde so ausgelegt, dass Wasser unter einem normalen Druck von zwei Bar entnommen werden kann. Dadurch kann im Vergleich zu den restlichen Stufen in diesem Abschnitt der Kraftwerksanlage Wasser direkt von den Fensterstollen bezogen werden. (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:18:20-6#). Weitere Erneuerungen von Grosswasserkraftanlagen werden in absehbarer Zeit fällig sein, womit die Weichen für eine zukünftige integrative Bewirtschaftung der Bündner Wasserkraftanlagen gestellt werden könnten.

Eine touristische Nutzung von Wasserspeichern und den Unterläufern ist fast immer mit betrieblichen Einschränkungen oder einem betrieblichen Mehraufwand verbunden. Es gilt jedoch festzuhalten, dass die Betriebsleiter grundsätzlich eine offene Haltung gegenüber touristischen Nutzungen haben. Im Inventar wurde dies so bestätigt. Neun der zehn Kraftwerkgruppen werden in irgendeiner Form touristisch genutzt. In den Interviews war auffällig, dass viele Betriebsleiter im erweiterten Umkreis der Kraftwerke aufgewachsen sind, oder aber zumindest in unmittelbarer Nähe der Anlagen wohnhaft sind. Dies ist aus betrieblichen Gründen notwendig, da die Betriebsleiter in Notfällen innerhalb kürzester Zeit vor Orte sein müssen. Die Gespräche haben aber zudem gezeigt, dass bei der Ausschreibung der Stellen speziell nach aus der Region stammenden Betriebsleitern gesucht wurde. Die Verbundenheit mit der Region könnte mit ein Punkt sein, weshalb die Betriebsleiter sehr bedacht darauf sind, ein gutes Verhältnis mit der Lokalbevölkerung zu haben.

Aufgrund der topographischen Bedingungen sind nicht alle Anlagen für sämtliche MZN geeignet. Eine MZN sollte deshalb auch nur dann in Betracht gezogen werden, wenn es keine passendere Alternative gibt. Denn bei allen Vorteilen, welche eine MZN mit sich bringen kann, sollte der Beitrag, welche die Wasserkraft an die Mitigation des Klimawandels und zur Stabilität des Stromnetzes in der Schweiz leistet, nicht vergessen werden.

7.4 Die Zukunft der MZN im Kanton Graubünden

In den Interviews mit den Kraftwerksbetreibern hat sich herausgestellt, dass die Betreiber der Grosswasserkraftwerke grundsätzlich offen gegenüber MZN eingestellt sind. Die Betreiber wissen um ihre Wichtigkeit als Arbeitgeber und Einnahmequelle der Konzessionsgemeinden. Sie sind sich aber auch bewusst, dass es gerade im Hinblick auf auslaufende Konzessionen wichtig ist, ein gutes Verhältnis mit den Konzessionsgemeinden zu pflegen. Viele Mitarbeitende stammen aus der unmittelbaren Gegend der Wasserkraftanlagen. Die Schaffung lokaler Arbeitsplätze ist teilweise sogar in den Konzessionen vereinbart. Die Wasserkraftbetreiber fühlen sich in der Regel mit der Region verbunden und nehmen deshalb auch Rücksicht auf andere Nutzerinnen und Nutzer, sofern deren Anliegen einen gewissen Rahmen nicht sprengt. Folgende Zitate begründen diesen Befund. Herr Stern, Betreiber der Kraftwerke Mittelbünden, sagt zum Beispiel über die Möglichkeit zukünftiger Wasserabgaben für die landwirtschaftliche Bewässerung in Surses:

Normalerweise bietet man Hand. Man fühlt sich verpflichtet solche Nutzungen zuzulassen, weil es eben auch auf einem tiefen Niveau ist. (Stern, 2019, #00:26:00-1#)

Das nächste Zitat stammt aus dem Gespräch mit Herr Albula-Landwasser Kraftwerke, Betriebsleiter der Kraftwerkgruppe Albula-Landwasser. Er berichtet dabei von Konkurrenzsituation zwischen der künstlichen Beschneidung und dem Betrieb des Wasserkraftwerks.

Es ist natürlich immer ein Thema. Im Winter haben wir relativ wenig Zufluss und sie wollen natürlich möglichst viel Wasser entnehmen. Das heisst, dass es gewisse Zeiten gibt, in denen kein Wasser für uns übrigbleibt, dann müssen wir das Kraftwerk abstellen. Aber das haben wir eigentlich gut organisiert, dass es eigentlich gut klappt. (Albula-Landwasser Kraftwerke, 2019, #00:15:42-6#)

Das folgende Zitat stammt aus dem Interview mit Herr Gaudenz, Betriebsleiter der Engadiner Kraftwerke. Zum Zeitpunkt dieses Interviews ging es um eine zukünftige MZN der gesamten Kraftwerkgruppe.

Wenn ich jetzt [...] 20 Prozent des Wassers nicht mehr habe: Ob ich das jetzt nicht mehr habe, weil es wärmer wird oder man es anderweitig nutzt, bleibe mal dahingestellt, dann müsste das irgendwie auch zurückfliessen oder das ganze müsste von einer Gemeinschaft unterhalten werden. Nicht, dass plakativ gesagt, der eine bezahlt und der andere nutzt. Das dürfte nicht sein. Aber sonst, wieso nicht? Ich wüsste nicht, was das verhindern sollte. (Engadiner Kraftwerke, 2019, #00:11:41-4#)

Auch die Misoxer Kraftwerke geben sich kooperativ, wenn es um Anliegen der Gemeinden geht.

Wenn irgendetwas in der Umgebung ist, wo wir helfen können, dann sind wir sofort dabei. Wenn die Behörden zu uns kommen und uns um Wasser fragen, sind wir kooperativ. Wir sind hier auf dem Land und müssen auch kooperieren. Für uns gibt es keine Diskussion. (Kraftwerkgruppe Misox, 2019, #00:17:55-4#)

Stellvertretend für alle Kraftwerksgruppen passt folgendes Zitat des, Betriebsleiters der Kraftwerksgruppen Puschlav und Prättigau/Davos.

Mit den nötigen Abmachungen ist vieles möglich. (Kraftwerksgruppen Prättigau/Davos & Puschlav, 2019, p.1)

Dass es sich dabei nicht nur um leere Worte handelt, zeigt das nach Abschluss aller Interviews erstellte MZN-Inventar. Alle Kraftwerksgruppen hatten drei oder mehr MZN zu verzeichnen. Im Vergleich zu den MZN im Ausland handelt es sich dabei aber eher um kleinere Nutzungen.

Bei geringen Abgaben von Wasser waren viele Kraftwerksbetreiber entgegenkommend, die Abgabe von Trinkwasser an einen Weiler fiel unter die Kategorie «Sickerwasser» (Kraftwerke Hinterrhein, 2019, #00:27:25-0#). Im Gespräch gab der Betriebsleiter von den Kraftwerken Hinterrhein noch an, dass sie bereit sind, bis zu einem Prozent des zur Verfügung stehenden Wassers abzugeben. Im Fall der KHR entspräche das 7.23 Mio. m³ Wasser pro Jahr. Die Kraftwerke Mittelbünden gaben an, dass sie sich vorstellen könnten, ein bis maximal fünf Prozent des verfügbaren Wassers anderen Nutzergruppen zur Verfügung zu stellen (Kraftwerke Mittelbünden, 2019, #00:27:46-4#9), jedoch nur gegen eine entsprechende finanzielle Entschädigung. Generell ist es so, dass eine finanzielle Entschädigung aus Sicht der Kraftwerksbetreiber Grundvoraussetzung für die Realisierung konkurrenzierender Nutzungen ist. Der Grossteil der Herausforderungen von MZN sind auch finanzieller Natur, wie ich im Kapitel «Herausforderungen & Lösung/en» festgestellt habe.

Die Interviews haben insofern gezeigt, dass eine MZN der Grosswasserkraftwerke im Kanton Graubünden verbreitet ist und dass eine Erweiterung, sofern finanziell angemessen entschädigt, in Zukunft denkbar ist. Die MZN in den offiziellen Klimaanpassungsstrategien des Kantons Graubünden wurde in Kapitel 5.4 abgehandelt. In einem Gespräch mit Herr Hunger, Abteilungsleiter Energieproduktion und Energieversorgung im AEV, war es mir möglich, ihn auf die Diskrepanz zwischen der Rolle der MZN in der Klimastrategie und den Ergebnissen der Experteninterviews anzusprechen. Im Folgenden sind die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Gespräch zusammengefasst.

Die für die Wasserkraft und MZN relevanten Folgen des Klimawandels (höhere Sommerabflüsse aufgrund der Gletscherschmelze, tendenzielle Abnahme der jährlichen Gesamtniederschlagssumme, grössere Abflüsse im Winterhalbjahr und Zunahme von Extremwetterereignissen) sind identisch mit den Beobachtungen von Herr Hunger und mit kantonalen Untersuchungen (Hunger 2019, #00:03:05-1#). Die Folgen des Klimawandels haben teilweise eine konkrete Auswirkung auf den Betrieb von Wasserkraftwerken. Anlagen mit verhältnismässig kleinen Speichern, wie die der Kraftwerkgruppe Misox, können zum Beispiel die bei Starkniederschlägen anfallenden Wassermengen nicht mehr verarbeiten. Das

Wasser durchläuft deshalb die Anlagen unturbiniert. Das Potenzial kann damit nicht voll ausgeschöpft werden und die Anlagen können in solchen Fällen keinen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten. Ein Ausbau der Speicher oder aber leistungsfähigere Turbinen könnten eine mögliche Anpassung an die Zunahme von Starkniederschlägen darstellen. Momentan wird die Initiative für mögliche Anpassungen frei dem Betreiber überlassen. Im Hinblick auf den Heimfall und die Neukonzessionierung vieler Anlagen sollen jedoch die heutigen und zukünftigen Anforderungen neu evaluiert werden, sodass entsprechende Massnahmen eingeleitet werden können (Hunger, 2019, #00:05:40-2#).

Die MZN als Instrument zur Anpassung an den Klimawandel wurde entgegen der Empfehlung des BAFUs in der kantonalen Klimastrategie des Kanton Graubünden aussen vorgelassen. Dasselbe ist bezüglich den aktuell grösseren Ausbau- und Erneuerungsprojekten im Kanton Graubünden zu beobachten, wo eine MZN kein Thema ist (Hunger, 2019, #00:12:35-5#). Das Projekt Chlus sieht ein ergänzendes Kraftwerk im Prättigau/Bündner Rheintal vor. Man will dabei die Wasserkraft der Landquart mittels einer zusätzlichen Stufe zwischen Küblis und dem Rhein nutzen. Da die Anlage in einer bewässerungswürdigen Region realisiert werden soll, wäre eine möglich Verknüpfung mit lokalen Bewässerungsanlagen und Anschlüsse entlang der Druckstollen für Löschwasser und Bewässerungswasser sensibel. Das Projekt «Überleitung Lugnez» von den Kraftwerken der Zervreila AG sieht eine Überleitung von Wasser aus dem oberen Lugnez in das Ausgleichbecken Zervreila vor. Das Vorhaben stiess auf Widerstand lokaler Wassersportler, des Fischereiverbands und mehrerer Umweltverbänden, woraufhin letztere gegen den Genehmigungsentscheid der Regierung Einspruch erhoben haben. Der Fall ging bis vor das Bundesgericht, welches die von der Bündner Regierung erteilte Genehmigung wieder aufgehoben hat. Die Kraftwerke Zervreila AG sind weiterhin bestrebt, die Überleitung zu realisieren. Momentan wird deshalb an einer Koordination mit der Restwassersanierung und an ökologischen Studien zu den betroffenen Auen gearbeitet. Dieses Beispiel zeigt, dass im Genehmigungsverfahren die Anliegen mehrerer Nutzergruppen nicht ausreichend gewürdigt wurden. Das dritte Projekt ist die Erneuerung des Kraftwerks Robbia im Puschlav. Auch hier wurde keine MZN vorgesehen. Es gab jedoch auch keinen konkreten Anspruch, welcher geäussert wurde.

Die drei Beispiele widerspiegeln die aktuelle Situation im Kanton Graubünden bezüglich MZN. Wenn lokal Bedürfnisse auftreten, wird auf diese punktuell reagiert. Es ist nachvollziehbar, dass Konzessionen, welche im Normalfall für 80 Jahre ausgestellt werden, im Verlauf der Zeit gewisser Anpassungen bedürfen. Die in den letzten Jahren realisierten oder sich in der Umsetzung befindenden Projekte Sufers, Bewässerung Ausser-Domleschg und die künstliche Beschneigung in Davos/Klosters, Savognin und Bergün, zeugen von einem funktionierenden System. Die Möglichkeit, neue Nutzungsansprüche zu implementieren ist durch die Möglichkeiten von Nachträgen zur Konzession und Konzessionsanpassungen gegeben. Von dieser Möglichkeit wird Gebrauch gemacht, wie die zuletzt erwähnten Beispiele zeigen. Beim Neubau, der Erweiterung und der Erneuerung von Wasserkraftanlagen sollten die unterschiedlichen Interessengruppen jedoch von Anfang an in die Projekte miteinbezogen

werden. Dies geschah, soweit dies anhand der letzten drei grösseren Projekte der Grosswasserkraft beurteilt werden kann, in der jüngsten Vergangenheit zu wenig.

Eine Kooperation zwischen den kantonalen Ämtern findet rund um die Thematik MZN nicht statt. Auch innerhalb der Ämter gibt es keine konkrete Strategie bezüglich einer MZN, wie ich auf Anfrage bei den Ämtern für Natur und Umwelt, Wald und Naturgefahren, Landwirtschaft und Geoinformation, Energie und Verkehr und Tiefbauamt erfahren habe. Im Gespräch mit Herr Hunger habe ich erfahren, dass die MZN innerhalb des AEV ein Thema ist, die Schwerpunkte jedoch woanders liegen. Angesprochen darauf, dass konträr zu der Empfehlung des BAFU eine gesamteinheitliche Bewirtschaftung von Wasserkraftwerken in der Klimaanpassungsstrategie des Kantons Graubünden nicht aufgenommen wurde, erklärte er das Vorgehen wie folgt: «Bezüglich einer MZN gibt es Fragestellungen, welche kommen können, jetzt aber nicht hochaktuell sind» (Hunger, 2019, #00:19:31-4#). Er ergänzte jedoch auch, dass punktuell zukünftige Herausforderungen und Nutzungsansprüche bei der Erneuerung von Konzessionen berücksichtigt werden sollen.

Die Gespräche für Neukonzessionierungen beginnen normalerweise 10 bis 15 Jahre vor Ablauf der laufenden Konzession. Normalerweise werden zuerst mit dem aktuellen Betreiber Gespräche geführt, bevor allenfalls noch Gespräche mit anderen Interessenten geführt werden. Die Verhandlungen lassen sich in zwei unterschiedliche Prozesse unterteilen. Am Anfang des Prozesses werden finanzielle und strategische Gespräche zwischen den Gemeinden und dem Betreiber geführt. Es wird generell festgehalten, wie der Weiterbetrieb aussehen soll. In der Folge wird die Zusammenarbeit mit dem zukünftigen Betreiber definiert. Teil davon ist normalerweise ein Runder Tisch mit den verschiedenen Interessensgruppen, der genaue Ablauf ist jedoch auch stark abhängig von der Betreibergesellschaft. Ziel nach diesen zwei Schritten ist es, ein breit akzeptiertes Projekt zu präsentieren. Der Kanton ist die Konzessionsgenehmigungsbehörde, ist entsprechend für die Konzessionsvergabe verantwortlich, sofern diese alle Anforderungen erfüllt. Der Kanton nimmt zudem bei allfälligen Interessenkonflikten die Interessensabwägung vor (Hunger, 2019, #00:33:38-8#).

Diese Arbeit zeigt, dass die Neukonzessionierung eine grosse Chance böte, sich mit den künftigen Herausforderungen des Klimawandels auseinanderzusetzen und durch eine sektorenübergreifende Bewirtschaftung der Wasserkraftwerke einen Schritt in Richtung integratives Wassermanagement zu machen. Im Unterengadin, wo Wasserknappheit bereits ein Thema ist, ist die Transformation hin zu einem sektorenübergreifenden Wassermanagement bereits im Gang (Hunger, 2019, #00:22:13-3#). Im Vorfeld von Neukonzessionierungen von Grosskraftwerken könnte der Kanton zukünftig abklären, wie die Kraftwerksanlagen heute und in Zukunft zum Hochwasserschutz und zum Umgang mit zukünftigen Situationen der Wasserknappheit beitragen können. Im Kanton Bern wurde in Erwartung der Einreichung des Konzessionsgesuchs für den Bau eines neuen Kraftwerks im Gebiet Trift eine derartige Studie von dem geowissenschaftlichen Büro geo7 AG durchgeführt (geo7 AG, 2017). Diese Studie soll als Diskussionsgrundlage im Grossen Rat dienen. Derartige Untersuchungen, auch im Vorfeld von Neukonzessionierungen, sind besonders in Anbetracht der sich veränderten klimatischen Bedingungen und der langen Laufzeit von Konzessionen

sinnvoll. Themen wie der Tourismus und die künstliche Beschneigung könnten in solchen Studien zusätzlich mitberücksichtigt werden. Interessant wäre es auch, die Konzessionen in Zukunft flexibler zu gestalten, und verschiedene Szenarien bereits in den Konzessionen festzuhalten, wie das zum Beispiel fürs Restwasser bereits praktiziert wird (Hunger, 2019, #00:18:36-3#).

8 Schlussfolgerung

Das Ziel dieser Arbeit war, die Verbreitung und Herausforderungen von MZN der Grosswasserkraftwerke des Kantons Graubünden zu untersuchen. Da die Grosswasserkraftwerke Teil von komplexen Systemen mit Wasserspeichern, Ausgleichsbecken und verschiedenen Kraftwerkstufen sind, wurden die Kraftwerksgruppen als Untersuchungsobjekt bestimmt. Neun leitfadengestützten Experteninterviews (zwei davon schriftlich) mit den Betriebsleitern der zehn Kraftwerkgruppen dienen als Grundlage für diese Arbeit. Um die Ergebnisse aus der Analyse der Interviews in den Kontext der Klimaanpassungsstrategie des Kantons Graubünden zu bringen, wurden diese mit Beat Hunger, dem Abteilungsleiter für Energieproduktion und -versorgung in einem weiteren Experteninterview besprochen. Auf Grundlage dieser Daten und Analysen konnten die Eingangs der Arbeit gestellten Forschungsfragen beantwortet werden.

Das erstellte Inventar der MZN von Grosswasserkraftwerken hat ergeben, dass eine MZN in den zehn Kraftwerksgruppen weit verbreitet ist. Das Ergebnis war überraschend, da die MZN von Wasserkraftwerken in der Schweiz als ein neues Phänomen gilt und die wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema MZN keine weite Verbreitung vermuten lassen. Die Fischerei und der Tourismus sind jeweils in neun von zehn Kraftwerksgruppen vertreten. Besonders beim Tourismus gibt es sehr grosse Unterschiede bezüglich der Nutzungsmöglichkeiten der verschiedenen Speicherseen. Während im Stausee Marmorera das Bergseetauchen die einzige touristische MZN ist, können auf dem Davosersee viele Freizeit- und Wassersportaktivitäten praktiziert werden. Das Thema Bewässerung ist das aktuellste aller MZN. Drei Kraftwerksgruppen stellen Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung zur Verfügung und weitere Anfragen und Umsetzungspläne sind am Laufen. Positiv gilt es dabei zu erwähnen, dass die Engadiner Kraftwerke und die Kraftwerksgruppe Prättigau/Davos über Installationen verfügen, welche eine Wasserentnahme für die künstliche Bewässerung zulässt. Damit kann in Zukunft flexibel auf die Veränderung von Nutzungsbedürfnissen eingegangen werden. Das zu Verfügung stellen von Wasser für künstliche Beschneigung ist weniger verbreitet als es die geographische Lage des Untersuchungsgebiet vermuten lässt. Vier Kraftwerkgruppen gaben an, dass sie aktiv Hochwasserschutz betreiben, jedoch nur eine davon mit einem gesetzlich vorgeschriebenen Freihaltvolumen. Zwei weitere Kraftwerkgruppen sind im Prozess Gespräche zu führen, ob und wie die Speicher zukünftig zum Hochwasserschutz in den jeweiligen Regionen beitragen können.

Die Kraftwerksbetreiber haben in den Gesprächen Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze für die MZN beschrieben. Oft wurden dabei Praxisbeispiele oder Projekte zur Erläuterung herangezogen, einige davon wurden aufgrund ihres Vorbildcharakters in dieser Arbeit vorgestellt. Die Herausforderungen wurden sechs Oberthemen zugeordnet: Technischen, rechtlichen, finanziellen und betrieblichen Herausforderungen, die natürlichen Bedingungen und die Ökologie. Potenzielle Lösungsansätze wurden den Herausforderungen gegenübergestellt. Die finanziellen Herausforderungen waren am stärksten repräsentiert. Die Tatsache, dass eine MZN (fast) immer eine Einschränkung in den Betrieb darstellt oder das zur Stromproduktion verfügbare Wasser vermindert führt potenziell zu den grössten finanziellen Einbussen. Eine weitere Erkenntnis aus diesem Kapitel ist ausserdem, dass in den Konzessionen festgehaltene Nutzungen normalerweise nicht vergütet wurden. In Nachträgen zu den in Konzessionen vereinbarte Nutzungen mussten dagegen mehrheitlich von den Nutzern vergütet werden.

Eine Untersuchung aller offiziellen Klimapapiere des Kantons Graubünden hat ergeben, dass es keine kantonale Strategie für die MZN von Wasserkraftwerken gibt und eine MZN als mögliches Anpassungsinstrument auf den Klimawandel nicht untersucht wurde. Dies obwohl der Kanton Graubünden vollständig im Gebiet der Alpen liegt und deswegen besonders stark vom Klimawandel betroffen ist und der Bund in den Klimaanpassungsstrategien der Schweiz eine MZN als Instrument zur Anpassung an den Klimawandel explizit vorschlägt. Es findet auch keine ämterübergreifende Zusammenarbeit zum Thema MZN statt. In den kommenden Jahren wird es auch im Kanton Graubünden zu einer Anhäufung von Heimfällen der Wasserkraftwerke kommen. Im Vorfeld der Neukonzessionierung wäre eine Prüfung der MZN besonders interessant, da viele klimabedingte Herausforderungen auf den Kanton Graubünden zukommen werden und eine MZN einen Beitrag zur Bewältigung dieser Probleme leisten könnte. Dass eine MZN ein aktuelles Bedürfnis ist, zeigt die Anhäufung von Anfragen für eine MZN von unterschiedlichen Interessengruppen (z.B. Bewässerungsprojekt Domleschg, künstliche Beschneidung Savognin und Tourismus Sufers).

Das Fehlen einer kantonalen Strategie bezüglich MZN zeigen die jüngsten grösseren Ausbau- und Erneuerungsprojekte des Kantons, in welchen eine MZN kein Thema war. Erst nachdem Umweltverbände gegen die kantonale Genehmigung des Projekt Lugnez Einsprache erhoben, fanden gezwungenermassen Gespräche mit den Anspruchsgruppen und ökologische Untersuchungen statt. Das Beispiel steht exemplarisch für den Umgang mit MZN im Kanton Graubünden. Es wird nur punktuell und reaktiv anstelle von grossräumig und proaktiv auf die verschiedenen Bedürfnisse der Anspruchsgruppen eingegangen. Positiv gilt es jedoch zu erwähnen, dass die Kraftwerksbetreiber grundsätzlich MZN offen gegenüberstehen und die meisten Anfragen für MZN bisher umgesetzt werden konnten. In Zukunft wäre eine eingehende Prüfung potenzieller MZN heute und in Zukunft sinnvoll, wie das im Vorfeld der Abstimmung über ein Speicherkraftwerk im Oberhasli der Fall war. Ein ähnliches Vorgehen im Vorfeld von Neukonzessionierungen könnte in Anbetracht der langen

Laufzeiten von Wasserkraftwerken und den kommenden Herausforderungen und Unsicherheiten durch den Klimawandel eine Überlegung wert sein.

8.1 Weiterer Forschungsbedarf

In dieser Arbeit wurde ein Überblick über die MZN der Grosswasserkraftwerke im Kanton Graubünden geschaffen. Die darin gesammelten Daten und Erkenntnisse könnten die Grundlage für eine kantonale Strategie für die MZN von Wasserkraftwerken im Kanton Graubünden sein. Quantitative Daten zur Wasserabgabe der Wasserkraftgesellschaften an die verschiedenen Nutzergruppen müssten dabei noch erhoben werden. Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich diese vollständig zu erheben, da die Kraftwerksbetreiber teilweise keine Kenntnisse über die effektiven Zahlen hatten oder aber sich nicht konkret dazu äusseren wollten. Der Kanton hätte jedoch die Möglichkeit die Betreiber in Zukunft anzuhalten diese Zahlen zu erfassen und für Forschungszwecke zur Verfügung zu stellen.

Weitere kantonale Inventare der MZN von Wasserkraftwerken würde in Zukunft Vergleiche zwischen den Kantonen ermöglichen. Es könnte unter anderem erforscht werden, ob die kantonal unterschiedlichen Strategien beim Heimfall von Wasserkraftwerken eine Auswirkung auf die Verbreitung der MZN hat. Ein nationaler Vergleich der länderspezifischen Regelwerke der umliegenden Alpenländern wäre auch interessant. Auch hier könnte ein nationales Inventar konkrete Vergleiche des Ausbaustands von MZN zwischen den verschiedenen Ländern ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- Abegg, B., Elsasser, H., & Bürki, R. (2008). Climate Change and Tourism in the Alps. In A. Borsdorf, J. Stötter, & E. Veulliet (Eds.), *Managing Alpine Future* (pp. 73–80). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Amt für Energie und Verkehr Graubünden AEV. (2009). *Volkswirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftwerke in Graubünden*. Retrieved from <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/aev/dokumentation/Wasserkraft1/Erlaeuterungen.pdf> (Accessed: 09.04.2019)
- Amt für Jagd und Fischerei Graubünden AJF. (2014). *Besatzstrategie 2020. Konzept zur Neuausrichtung Fischereilicher Besatzmassnahmen in den Gewässern des Kantons Graubünden*. Retrieved from https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/ajf/fischerei/projekte/Documents/Besatzstrategie2020_kantonal.pdf (Accessed: 29.10.2019)
- Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU. (2015a). *Klima in Graubünden – Quo Vadis?* Retrieved from https://www.gr.ch/DE/Medien/Mitteilungen/MMStaka/Dokumente2015/LandkarteKlimastrategie_D_2015_Einelseiten_low.pdf (Accessed: 09.04.2019)
- Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU. (2015b). *Klimawandel Graubünden. Arbeitspapier 1: Klimaanpassung. Analyse der Herausforderungen und Handlungsfelder*. Retrieved from https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/ekud/anu/ANU_Dokumente/ANU-409-80d_Arbeitspapier1.pdf (Accessed: 09.04.2019)
- Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU. (2015c). *Klimawandel Graubünden. Arbeitspapier 3: Risiken und Chancen*. Retrieved from https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/externe-studienberichte/klimawandel_graubuenden-analysederrisikenundchancen.pdf.download.pdf/klimawandel_graubuenden-analysederrisikenundchancen.pdf (Accessed: 09.04.2019)
- Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden AWN. (2008). *Waldbrände Graubünden. Wenn Feuer Wälder fressen*. Retrieved from https://grat.ch/system/media/1838/original/faktenblatt_02_waldbrand_dt.pdf?1421160829 (Accessed: 23.08.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2012a). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder*. Retrieved from www.bafu.admin.ch/ud-1055-d (Accessed: 16.03.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2012b). *Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer*. Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/auswirkungen-klimaaenderung-wasserressourcen-gewaesser.html> (Accessed: 16.03.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2012c). *Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“*. Retrieved from <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=46701> (Accessed: 03.06.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2013). *Anpassung an den Klimawandel: Sektor*

- Wasserwirtschaft*. Retrieved from https://www.nccs.admin.ch/dam/nccs/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/anpassung_sektorwasserwirtschaftfaktenblatt.pdf.download.pdf/anpassung_sektorwasserwirtschaftfaktenblatt.pdf (Accessed: 17.08.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2014a). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Aktionsplan 2014-2019*. Retrieved from www.bafu.admin.ch/ud-1081-d (Accessed: 10.03.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2014b). *Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen*. Retrieved from www.bafu.admin.ch/uw-1404-d (Accessed: 16.03.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2019a). *Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2018. Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer*. Retrieved from www.bafu.admin.ch/uz-1907-d
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2019b). *Restwassersanierung nach Art. 80 ff. GSchG: Stand Ende 2018 und Entwicklung seit Ende 2016*. Retrieved from https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik/_jcr_content/par/tabs/items/tab/tabpar/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGJjYX/Rpb24vZG93bmxvYW (Accessed: 18.09.2019)
- Bundesamt für Energie BFE. (2012). *Wasserkraftpotenzial der Schweiz*. Retrieved from <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/27057.pdf> (Accessed: 22.04.2019)
- Bundesamt für Energie BFE. (2018). *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2012*. Retrieved from https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik/_jcr_content/par/tabs/items/tab/tabpar/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGJjYX/Rpb24vZG93bmxvYW (Accessed: 24.08.2019)
- Björnsen Gurung, A., & Stähli, M. (2014). *Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung - heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung."* Retrieved from http://www.nfp61.ch/SiteCollectionDocuments/nfp61_thematische_synthese_1_d.pdf (Accessed: 12.01.2019)
- Blanc, P., & Schädler, B. (2013). *Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission*. Retrieved from http://www.akademien-schweiz.ch/dms/D/Publikationen/Berichte/Wasser_in_der_Schweiz.pdf (Accessed: 16.07.2019)
- Branche, E. (2015). *Multipurpose Water Uses of Hydropower Reservoirs*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.06.001>
- Brunner, M. I., Björnsen Gurung, A., Zappa, M., Zekollari, H., Farinotti, D., & Stähli, M. (2019). Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes. *Science of the Total Environment*, 666, 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.169>
- Brunner, M. I., Gurung, A. B., Speerli, J., Kytzia, S., Bieler, S., Schwere, D., & Stähli, M. (2019). *Hydro-CH2018 Wasserspeicher: Welchen Beitrag leisten Mehrzweckspeicher zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit?* (nicht publizierter Forschungsbericht) CH2018. (2018). *CH2018 - Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services*. Zürich. Retrieved from

- https://naturwissenschaften.ch/uuid/9081ee9e-9a07-5ffc-a720-4031feb879b1?r=20190807115818_1565138729_947a7370-149b-5b30-afd6-a22c38db1c60 (Accessed: 06.07.2019)
- Dienststelle für Wald, Flussbau und Landschaft Wallis DWFL. (2016). *Das Wallis angesichts des Klimawandels. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren*. Retrieved from www.vs.ch/web/sfp/dangers-naturels (Accessed: 03.02.2019)
- Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. (2012). *Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*. Retrieved from <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A13774/datastream/PDF/view> (Accessed: 27.09.2019)
- Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A., & Funk, M. (2009). An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps. *Global and Planetary Change*, 68(3), 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.05.004>
- Forstenlechner, E., Hütte, M., Bundi, U., Eichenberger, E., Peter, A., & Zobrist, J. (1997). *Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung im alpinen Raum*. Zürich: Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Fuhrer, J., & Calanca, P. (2014). Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defzitanalyse. *Agrarforschung Schweiz*, 5(6), 256–263. Retrieved from https://www.agrarforschungschweiz.ch/artikel/download.php?filename=2014_06_1987.pdf (Accessed: 18.07.2019)
- Fuhrer, J., & Jasper, K. (2009). Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrar Forschung*, 16(10), 396–401.
- Gensler, G. A. (1978). *Das Klima von Graubünden*. Zürich: Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt.
- geo7 AG. (2017). *Multifunktionsspeicher im Oberhasli*. Retrieved from https://mountainwilderness.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente/Alpenschutz/Praktikumsarbeiten/https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awaf/formulare_bewilligungen/wasserkraft.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/WASSER/Wasserkraft/BE01k_map%252 (Accessed: 10.09.2019)
- Gläser, J., & Laudel, G. (2009). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse* (3rd ed.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Göpfert, R. (2007). *Ermittlung der Bewässerungsbedürftigkeit Landwirtschaftlicher Nutzflächen im Kanton Graubünden*. Retrieved from https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/alg/dokumentation/meliorationen/Dokumentliste%20Meliorationen/Bericht_Bewaesserung.pdf (Accessed: 18.07.2019)
- Helfferich, C. (2004). *Die Qualität qualitativer Daten* (4. Auflage). <https://doi.org/10.1007/978-3-322-93445-1>
- Iseli, G. (2015). *Künstliche Beschneidung in der Schweiz: Ausmass und Auswirkungen*. Retrieved from https://mountainwilderness.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente/Alpenschutz/Praktikumsarbeiten/Praktikumsarbeit_Ku__nstliche_Beschneidung_Iseli_Gabriela.pdf (Accessed: 20.08.2019)
- Jecklin, U., & Jecklin, A. (2019). *Das Bergell und die Kraftwerke*. Chur: Bündner Monatsblatt.
- Jordan, F., Diebold, M., Ménétrey, F., Stegemann, R., & Sydler, P.-A. (2018). *Integrales*

- Wassermanagement in der Region Broye und Seeland. Synthesebericht*. Retrieved from http://www.hydrique.ch/sites/default/files/technical_sheets/SyntheseberichtIWM.pdf (Accessed: 02.08.2019)
- Jossen, L., & Gurung, A. B. (2018). Mehrzweckspeichern in der Schweiz und ihr Beitrag zur regionalen Resilienz. *Energie Wasser Luft*, 2, 108–112.
- Kaiser, R. (2014). *Qualitative Experteninterviews. Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Kellner, E., & Weingartner, R. (2018). Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern als Anpassung an den Klimawandel. *Wasser Energie Luft*, 110(2), 101–107.
- Kuckartz, U. (2014a). *Mixed Methods : Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Wiesbaden: Springer VS.
- Kuckartz, U. (2014b). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. (2nd ed.). Basel: Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3rd ed.). Weinheim: Beltz Juventa.
- Marbot, B., Schneider, M., & Flury, C. (2013). *Wiesenbewässerung im Berggebiet*. Retrieved from <http://www.agroscope.admin.ch/agrimontana> <http://bewaesserung.omeka.net/> (Accessed: 16.07.2019)
- Meteo Schweiz. (2012). *Fachbericht MeteoSchweiz: Klimabericht Kanton Graubünden 2012*. Retrieved from <https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/Ungebundene-Seiten/Publikationen/Fachberichte/doc/fb242klimaberichtgr2012.pdf>
- Meteo Schweiz. (2019). Klimawandel Schweiz. Retrieved August 21, 2019, from <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html> (Accessed: 16.07.2019)
- Naturpark Beverin. (2018). *Tourismuszukunft Rheinwald - Teilprojekt Sufnersee*. (nicht publizierter Bericht)
- National Centre for Climate Services NCCS. (2018). *CH2018 - Climate Scenarios for Switzerland*. National Centre for Climate Services. Zürich.
- Piana, V. (2019). *Floating PV in mountain artificial lakes: a sustainable contribution?* Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Valentino_Piana/publication/335841803_Floating_PV_in_mountain_artificial_lakes_a_sustainable_contribution/links/5d849344a6fdc8fd6fb2f34/Floating-PV-in-mountain-artificial-lakes-a-sustainable-contribution.pdf (Accessed: 25.09.2019)
- Piot, M. (2017). Wem gehört die Schweizer Wasserkraft – ein Werkstattbericht. *Wasser Energie Luft*, 109(4), 229–235.
- Rey, P., Lott, C., Uehlinger, U., Robinson, C., Schlüchter, C., Mürle, U., ... Molinari, P. (2002). Der Spöl-Lebensraum und Energielieferant. *Cratschla : Informationen Aus Dem Schweizerischen Nationalpark*, (2), 20–23. Retrieved from <http://doi.org/10.5169/seals-418717%0ANutzungsbedingungen>
- Reynard, E., & Bonriposi, M. (2012). Water Use Management in Dry Mountains of Switzerland. The Case of Crans-Montana-Sierre Area. In M. Neményi & H. Balint (Eds.), *The Impact of Urbanization, Industrial, Agricultural and Forest Technologies on the Natural Environment*. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem.
- Schlüchter, C. (2014). *Dynamik dank Hochwasser im regulierten Spöl*. Retrieved from

- https://naturwissenschaften.ch/uuid/5c436730-253d-5fe2-83aa-3a0feb002672?r=20190205110021_1549338628_902fec3c-630f-5a35-879b-20fc55b1cb0e (Accessed: 20.08.2019)
- Schorer, M. (2000). Klimaänderung in der Schweiz. *Trockenheit in der Schweiz. Workshopbericht*. Bern. Retrieved from <http://www.occc.ch/pdf/1348.pdf> (Accessed: 12.09.2019)
- Sinreich, M., Kozel, R., Lützenkirchen, V., Matousek, F., Jeannin, P.-Y., Löw, S., & Stauffer, F. (2012). Grundwasserressourcen der Schweiz. Abschätzung von Kennwerten. *Aqua & Gas*, 9, 16–28. Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/hydrologie/fachinfo-daten/grundwasserressourcenschweiz.pdf.download.pdf/grundwasserressourcenderschweiz.pdf> (Accessed: 07.08.2019)
- Suissemelio. (2011). Suissemelio Glossar. Retrieved May 7, 2019, from http://www.suissemelio.ch/files/glossar/212c_suissemelio_Glossar_24febr2011.pdf (Accessed: 06.06.2019)
- SVGW. (2018). *Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz Betriebsjahr 2017*. Retrieved from <https://epaper.svgw.ch/Epaper/Viewpaper/?editionId=65a617f6-51f8-e811-80de-005056012bcd&startPage=1> (Accessed: 01.09.2019)
- SWV. (2016). *Heimfall und Neukonzessionierung von Wasserkraftwerken*. Retrieved from https://www.swv.ch/wp-content/uploads/2018/03/Faktenblatt-Heimfall-Wasserkraftanlagen_SWV.pdf (Accessed: 04.03.2019)
- Szacsuvay, T. (2019). *Albignasolar: Auswertung erstes Betriebsjahr Pilotanlage und Ausblick*. Zürich. (nicht publizierter Bericht)
- Thut, W. K., Weingartner, R., & Schädler, B. (2016). Zur Bedeutung von Mehrzweckspeichern in der Schweiz. *Wasser Energie Luft*, 108(3), 179–186.
- Tourismusrat Graubünden. (2017). *Weissbuch für den Bündner Tourismus*. Chur: Somedia Production.
- Weber, M., & Schild, A. (2007). *Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006*. Retrieved from http://www.wikimelio.ch/dok/Bericht_zur_Umfrage_Stand_der_Bewaesserung.pdf (Accessed: 30.05.2019)
- Weingartner, R., Reynard, E., Graefe, O., Herweg, K., Homewood, C., Kauzlaric, M., ... Schneider, F. (2014). MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel - Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. In *Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms Nfp 61*. Retrieved from http://www.nfp61.ch/SiteCollectionDocuments/nfp61_projekt_montanaqua_broschue_re_d.pdf (Accessed: 19.08.2019)
- Widmer, S. (2016). *Tourismus & Recht. Transportunternehmen*. Retrieved from https://www.snowsports.ch/fileadmin/autoren/files/education/tr/2015-16/71_Seilbahnen_CH_Novembre2016_SuW.pdf (Accessed: 12.08.2019)
- Wüest, A., Bruder, A., Peter, A., & Vollenweider, S. (2012). Potenzial und Grenzen der Wasserkraft. *Eawag News*, 72, 22–25. https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A10016/datastream/PDF/W%C3%BCest-2012-Potenzial_und_Grenzen_der_Wasserkraft-%28published_version%29.pdf (Accessed: 21.09.2019)

Zegg, R. (2012). Sind Beschneigungsanlagen die umweltfreundlichen Stromerzeuger von morgen? Retrieved from <https://www.grischconsulta.ch/sind-beschneigungsanlagen-die-umweltfreundlichen-stromerzeuger-von-morgen/> (Accessed: 27.09.2019)

