

Nachhaltiges Wasser- management im Oberengadin unter Berücksichtigung des Klimawandels

Falldossier zur Lehrveranstaltung Umweltproblemlösen 2019/2020

Samira Amos, Daniel Andersen,
Fabian Bättig, Tobia Lezuo (Hrsg.)



Abkürzungen

AJF	Amt für Jagd und Fischerei, Kanton Graubünden
ALT	Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit, Kanton Graubünden
ANU	Amt für Natur und Umwelt, Kanton Graubünden
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ARO	Abwasserreinigung Oberengadin
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
AWN	Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
DOC	dissolved organic carbon
EKW	Elektrizitätskraftwerk
EZG	Einzugsgebiet
ESTM AG	Engadin St. Moritz Tourismus AG
GSchG	Gewässerschutzgesetz
KGSchG	Kantonales Gewässerschutzgesetz des Kantons Graubünden
KRG	Kantonales Raumplanungsgesetz des Kantons Graubünden
KWBG	Kantonales Wasserbaugesetz des Kantons Graubünden
NADUF	Nationale Daueruntersuchung Fließgewässer
POP	langlebige organische Schadstoffe
TOC	total organic carbon
WaG	Waldgesetz
WBG	Wasserbaugesetz
WRG	Wasserrechtsgesetz

Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	2
Vorwort	3
Beteiligte in der Lehrveranstaltung Umweltproblemlösen I	3
1 Einleitung	4
2 Vorgehensweise	5
3 Wasserbilanz	6
4 Grundwasser	11
5 Wassernutzung	16
6 Wasserqualität und -entsorgung	22
7 Revitalisierungen	28
8 Risiken durch Wasser	33
9 Rechtliche Grundlagen	40
10 Stakeholder	42
11 Schlussworte	44
12 Referenzen	45
Anhang	49

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1.1	Das Fallgebiet im Oberengadin	4
Abbildung 3.1	Die Einzugsgebiete im Oberengadin	6
Abbildung 3.2	Die verschiedenen Abflussregimetypen	6
Abbildung 3.3	Abflussverhalten des Inns	7
Abbildung 3.4	Abflussverhalten des Berninabachs	7
Abbildung 3.5	Abflussverhalten des Rosegbachs	7
Abbildung 3.6	Wasserbilanz des EZG Flaz	8
Abbildung 3.7	Wasserbilanz des EZG Inn/Samedan	8
Abbildung 3.8	Wasserbilanz des EZG Inn/S-chanf	8
Abbildung 4.1	Natürliche Grundwasser Jahresspiegelschwankungen in Zuoz in 2018	12
Abbildung 4.2	Gesamt Wasserbedarf im Jahresverlauf im Fallgebiet	12
Abbildung 4.3	Schutzzonen um die Grundwasserfassung	14
Abbildung 5.1	Jährliche mengenmässige Wassernutzung	16
Abbildung 5.2	Ausleitkraftwerke	17
Abbildung 5.3	Trinkwasserverbrauch am Beispiel der Gemeinde Celerina	19
Abbildung 6.1	Verteilung der ARAs im Oberengadin	22
Abbildung 6.2	Funktionsweise einer Kläranlage	23
Abbildung 6.3	Entwicklung der Abwasserreinigung der ARO	24
Abbildung 7.1	Ökomorphologische Zustandsklassen im Oberengadin	29
Abbildung 7.2	Wasserspiegelvergleich von kanalisiertem und aufgeweitetem Gerinne	30
Abbildung 7.3	Geplante Revitalisierungsprojekte	30
Abbildung 7.4	Schweizer Temperatur im Jahresmittel seit 1864	31
Abbildung 8.1	Hochwasserschutzprojekt Samedan	34
Abbildung 8.2	Renaturierung des Inns	35
Abbildung 8.3	Abgrenzung des Murganges	35
Abbildung 8.4	Schutzdamm Pontresina	35
Abbildung 8.5	Gefahrenkarte entlang des Inns	37
Abbildung 8.6	Risikomatrix	37
Abbildung 8.7	Gefährdung der Gemeinde Zuoz	39

Tabellen

Tabelle 4.1	Schutzmassnahmen in den unterschiedlichen Bereichen.....	13
Tabelle 5.1	Wasserkraftwerke im Oberengadin.....	17
Tabelle 5.2	Trinkwasserverbrauch am Beispiel der Gemeinde Celerina	19
Tabelle 5.3	Wasserbedarf für die Beschneigung.....	20
Tabelle 6.1	Saisonalität der Stoffkonzentrationen.....	25
Tabelle 7.1	Ökomorphologische Zustände.....	29
Tabelle 7.2	Kostenvergleich Dammsanierung und Revitalisierung in Bever	31
Tabelle 8.1	Gefährdungs- und Risikosituation pro Gemeinde	38
Tabelle 9.1	Übersicht über die relevanten Gesetze	41
Tabelle 10.1	Übersicht über die relevanten Stakeholder.....	42
Tabelle A.1	Gruppeneinteilungen der Teilanalysegruppen	49

Vorwort

Die Vorlesung «Umweltproblemlösen» begann im Herbstsemester 2019 mit einer Fallstudie zum Thema «Nachhaltiges Wassermanagement im Oberengadin unter Berücksichtigung des Klimawandels». Im Rahmen dieses Überthemas wurden die Erstsemester des Studiengangs Umweltnaturwissenschaften einer von sechs Teilanalysen zugeteilt. Zum Thema ihrer Teilanalyse haben die Studierenden recherchiert und ihre Erkenntnisse in einem Bericht zusammengetragen. Die Teilanalysen sind namentlich: Wasserbilanz, Grundwasser, Wassernutzung, Wasserqualität und -entsorgung, Revitalisierungen und Risiken durch Wasser. Das vorliegende Falldossier ist eine Zusammenfassung des gesammelten Fachwissens zur Fallstudie und soll insbesondere als Grundlage für die Prüfung der Vorlesung dienen.

Das Falldossier wurde von den Tutorierenden Samira Amos, Daniel Andersen, Fabian Bättig und Tobia Lezuo auf Grundlage der Arbeiten der Studierenden zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren der Teilanalysen sind im Anhang aufgelistet. Soweit möglich wurden im Dossier die Originalquellen angegeben, alle restlichen Aussagen sind in den Teilanalyse-Berichten wiederzufinden.

Da sich Teile der rechtlichen Grundlagen der jeweiligen Teilanalyse überschneiden, wurden die gesetzlichen Bestimmungen in einem separaten Kapitel zusammengefasst. Das Gleiche gilt für die Stakeholder und das Vorgehen.

Wir wünschen euch viel Spass beim Lesen und eine erfolgreiche Prüfungsvorbereitung!

Beteiligte in der Lehrveranstaltung Umweltproblemlösen I

Dozierende

Christian Pohl, Marlene Mader, BinBin Pearce, Felix Keller, Christine Levy

Tutorierende

Samira Amos, Daniel Andersen, Fabian Bättig, Anne-Cécile Brunner, Livia Hess, Ben Kriesel, Rachel Kunstmann, Tobia Lezuo, Rachel Linley, Judith Scherrer, Yuri Schmid, Jan Streit

Mitglieder der UPL Begleitgruppe

ETH extern

Martin Aebli (Gemeinde Pontresina), Fadri Guidon (Gemeinde Bever), Marco Cortesi (Repower AG), Remo Fehr (Amt für Natur und Umwelt Graubünden), Anita Mazzetta (WWF Graubünden), Christopher Robinson (eawag);

ETH intern

Dozierenden-Team, Vertreterinnen der Tutorierenden (Rachel Kunstmann, Rachel Linley), Vertreterinnen und Vertreter der Studierenden (Tessa Stuker, Oliver Abo el Fateh)

Expertinnen und Experten der Teilanalysen

Jakob Grünenfelder (Ecowert): *Teilanalyse Wasserbilanz*

Francesca Parolini Glutz (Amt für Natur und Umwelt GR): *Teilanalyse Grundwasser*

David Schmid (Amt für Natur und Umwelt GR): *Teilanalyse Wassernutzung*

Gottfried Blaser (Abwasserverband Oberengadin): *Teilanalyse Wasserqualität und Wasserentsorgung*

Benno Zarn (Hunziker, Zarn & Partner)

Teilanalyse Revitalisierungen

Eva Frick (tur gmbh): *Teilanalyse Risiken durch Wasser*

Michelangelo Giovannini (Vincenz & Partner Rechtsanwälte und Notare): *Rechtsexperte*

Weitere Beteiligte an der ETH Zürich

Urs Brändle, Bettina Etzel, Raymond Grenacher, Miklos Frank, Ulrich Fischer, Andreas Müller, Carmenza Robledo Abad Althaus

1 Einleitung

Das Fließgewässermanagement im Oberengadin steht durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren vor Herausforderungen: Einerseits sind Flüsse schweizweit wichtige Biodiversitätsgebiete, andererseits gerieten eben diese Gebiete in den letzten Jahrzehnten durch Landnutzungskonflikte unter Druck. Die Flüsse im Oberengadin wurden als Folge zu einem grossen Teil begradigt. Das Oberengadin ist heute ein Vorreiter der Revitalisierungen und hat eine gute Gewässerqualität. Dennoch stellt sich die Frage, ob und wie auch in Zukunft in Anbetracht des Klimawandels und des wachsenden Bevölkerungsdrucks ein nachhaltig funktionierendes Gewässersystem erhalten werden kann.

Das betrachtete System beschränkt sich auf das Oberengadin mit seinen elf Gemeinden, vom Malojapass bis S-chanf. Die einwohnerstärksten Gemeinden St. Moritz, Samedan und Pontresina umfassen eine Fläche von 998m² und werden von 17 000 Personen bewohnt. Während der Tourismus-Hochsaison steigt die Zahl der Bewohnenden auf bis zu 100 000 Personen. Nach Chur ist das Oberengadin die zweitwichtigste Region des Kanton Graubündens: 12% des kantonalen Bruttoinlandsproduktes werden hier generiert (vgl. Guidon 2019a). Der Hauptfluss des Oberengadins ist der Inn, welcher mit dem Silsersee, dem Silvaplannersee, dem Champfèrersee und dem St. Moritzersee vier grosse Seen durchfließt und in Samedan von Flaz und Beverin gespeisen wird. Verschiedene Gletscher befinden sich in diesem Gebiet, wobei der Morteratschgletscher der grösste ist (siehe Abbildung 1.1). Ihr Schmelzwasser fließt ebenfalls in den Inn. In der Talsohle wurden der Inn und Flaz im 19. Jahrhundert eingedämmt um das Gebiet um Samedan bewohnbar zu machen (Bischof 2005).

Der wirtschaftlich äusserst wichtige Tourismussektor macht im Fallgebiet einen grossen Teil des Wasserverbrauchs aus. Während das Oberengadin auch in Zukunft auf den Tourismus angewiesen sein wird, werden die damit verbundenen Herausforderungen grösser. Hotellerie und Beschneigung werden mit der künftig wachsenden Anzahl an Touristinnen und Touristen und dem gleichzeitig wärmer werdenden Klima die Wasserkapazitäten auf die Probe stellen. Aus dem Klimawandel gehen weitere Unsicherheiten hervor: Es werden trockenere Sommer, schmelzende Gletscher und extremere Niederschlagsereignisse erwartet (CH2018, 2018). Die erhöhte Gefahr von Hochwasser ist nur eine der zahlreichen Folgen. Um den verschiedenen Bedürfnissen der Stakeholder unter diesen Rahmenbedingungen langfristig gerecht

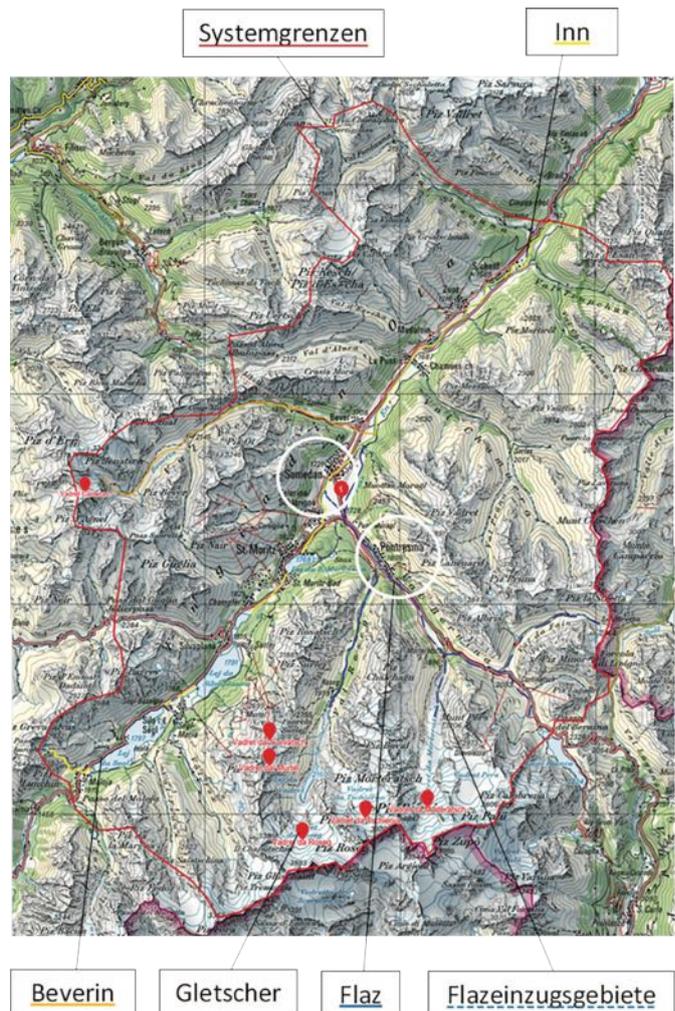


Abbildung 1.1
Das Fallgebiet Oberengadin mit den drei Flüssen Inn (gelb), Beverin (orange) und Flaz (blau), den Gletschern (rote Punkte) und der Systemgrenze (rot) (Abo el Fateh u. a. 2019:9).

zu werden, ist ein nachhaltiges Fließgewässer- und Grundwassermanagement unerlässlich. Dies setzt ein breites Verständnis des Gesamtsystems der Region voraus. Die durchgeführten Teilanalysen stellen dieses Systemwissen bereit.

2 Vorgehensweise

Die Teilanalysegruppen haben eine Literaturrecherche durchgeführt, welche sich hauptsächlich auf online Suchmaschinen (z.B. NEBIS, Web of Science, Google Scholar) und der zur Verfügung gestellten Primärliteratur stützte. Dabei wurden die Schneeballmethode und systematische Suche angewendet (Krämer 1995). Ergänzt wurde das Wissen durch Expertinnen- und Expertenbefragungen an der Exkursion im Oberengadin oder durch persönliche Gespräche. Zusätzlich wurde eine Stakeholderanalyse basierend auf dem Konzept von Ackermann & Eden (2011:183) durchgeführt, um die relevanten Interessensgruppen zu identi-

fizieren. Probleme ergaben sich vor allem durch (1) die limitierte Verfügbarkeit von ortsspezifischer und aktueller Literatur respektive Messdaten aus dem Fallgebiet und (2) den Umgang mit widersprüchlichen Aussagen in der Literatur oder von Stakeholdern.

Das Falldossier ist wie folgt strukturiert: Für jede Teilanalyse werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der Einleitung, den Resultaten, der Diskussion und den Schlussfolgerungen erläutert. Im Anschluss findet sich eine Übersicht über die rechtlichen Grundlagen und die wichtigsten Stakeholder.

3 Wasserbilanz

3.1 Einleitung

Die Wasserbilanz ist eine wichtige Messgrösse, die Aufschluss über die verfügbaren Wasserressourcen in einem bestimmten Gebiet und über einen bestimmten Zeitraum gibt (Spreatico und Weingartner 2005). Sie ist für das Oberengadin von besonderer Relevanz, da zu erwarten ist, dass die Wasserressourcen in dieser Region durch den Klimawandel verändert werden. Die veränderten Wasserressourcen werden einen grossen Einfluss auf das Abflussregime haben. Dieses beschreibt den Jahresverlauf des Abflusses eines Flusses (Weingartner und Aschwanden 1992).

Um die Wasserbilanz des Oberengadins möglichst umfassend zu beschreiben, sind in diesem Kapitel folgende thematische Schwerpunkte gesetzt:

- Charakterisierung des Abflussregimes von Inn und Flaz
- Darstellung der Wasserbilanz der drei Einzugsgebiete (EZG) Flaz, Inn/Samedan und Inn/S-chanf
- Beschreibung der Wasserbilanzänderung in den letzten 100 Jahren sowie der erwarteten Veränderung in den nächsten 100 Jahren durch den Klimawandel

3.2 Resultate

3.2.1 Charakterisierung Untersuchungsgebiet

Die beiden Einzugsgebiete (EZG) Inn/Samedan und Flaz liegen im EZG Inn/S-chanf (siehe Abbildung 3.1). Dieses beinhaltet das ganze Untersuchungsgebiet und ist 675.7m² gross, Inn/Samedan

umfasst 189.5 km² und Flaz 178.9m². Das EZG Flaz ist am höchsten gelegen und weist flächenmässig die grösste Vergletscherung (21%) sowie die kleinste Vegetationsbedeckung (17%) auf. Im EZG Inn/Samedan sind 5% von Gletscher sowie 39% von Vegetation bedeckt, im EZG Inn/S-chanf 8% von Gletscher und 33% von Vegetation (HADES, 2019). Wie aus Abbildung 3.1 ersichtlich wird, sind die EZG so hoch gelegen, dass sie keinen Zufluss aus anderen EZG haben.

3.2.2 Abflussregime

Abflussregime bezeichnet in der Hydrologie die Schwankungen des Abflusses über einen bestimmten Zeitraum, oft während einem Jahr. In der Schweiz gibt es drei Grundtypen, welche noch weiter spezifiziert werden (siehe Abbildung 3.2). Diese Spezifikation erfolgt anhand eines Entscheidungsdiagramms des BAFU (2019a), wobei die zur Bestimmung «die Lage des Einzugsgebiets in den Grundregionen der Schweiz, die mittlere Höhe und der Vergletscherungsgrad des Einzugsgebiets» verwendet werden. Der Name des Regimes benennt in der Regel den Faktor, welche den Jahresverlauf des Abflusses am stärksten beeinflusst (vgl. BAFU, 2019a; Weingartner & Aschwanden, 1992).

Die beiden zu bestimmenden Flüsse, der Inn und der Flaz, sind beide aufgrund ihrer Höhe und der geografischen Lage im Grundtyp «Alpines Regime» einzuordnen (BAFU, 2019a). Typisch für diesen Grundtyp ist eine deutliche Abflussspitze im Spätsommer aufgrund der Schnee- und Gletscherschmelze sowie ein deutlicher Rückgang im Winter, da das Wasser dann in Form von Schnee- und Eis liegenbleibt (Levy & Levy, 2018).



Abbildung 3.1 Die drei EZG; Inn/Samedan (rot), Flaz (blau), Inn/S-chanf (grün) (Gerzner u. a. 2019:5).

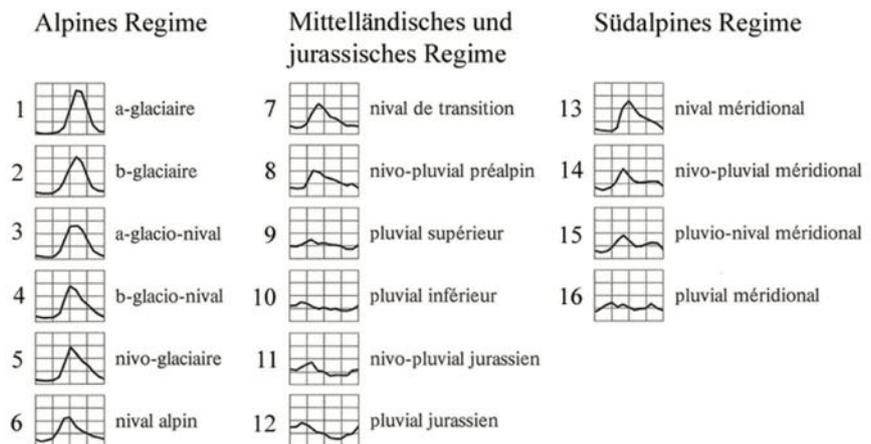


Abbildung 3.2 Die 16 Abflussregimetypen der Schweiz unterteilt in die drei Grundtypen (BAFU, 2019a).

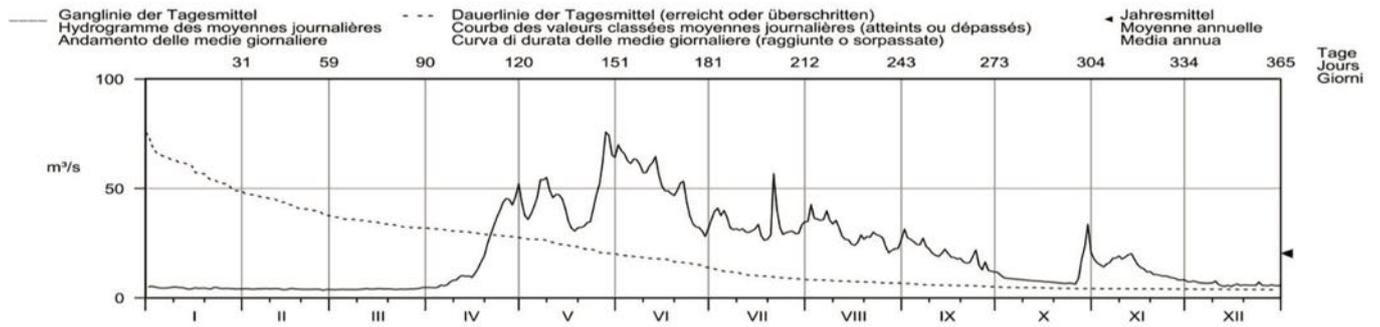


Abbildung 3.3
 Abflussverhalten des Inns bei S-chanf 2018 (BAFU, 2020b).

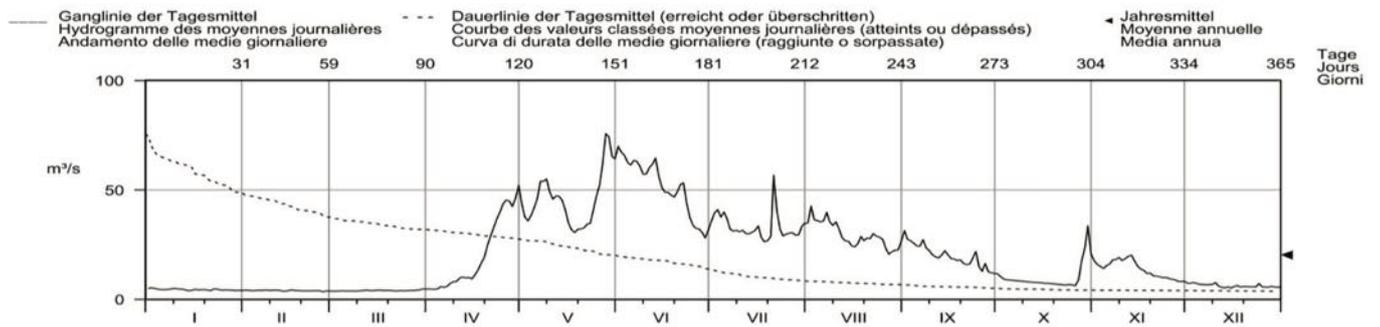


Abbildung 3.4
 Abflussverhalten des Berninabachs im Jahr 2018 (BAFU, 2020b).

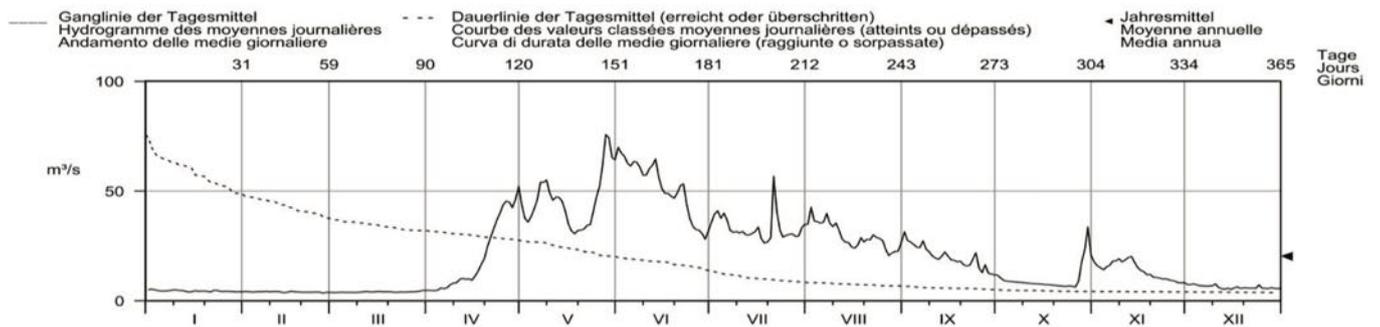


Abbildung 3.5
 Abflussverhalten des Rosegbachs im Jahr 2018 (BAFU, 2020b).

Da das EZG Inn bis in S-chanf tiefer liegt als das EZG Flaz und weniger vergletschert ist, unterscheiden sich die Abflussregimtype der beiden EZG: Der Inn bei S-chanf ist dem Typ b-glacio-nival zuzuordnen, der Flaz b-glaciaire. Folglich unterscheidet sich auch das Abflussverhalten der beiden Flüsse (siehe Abbildungen 3.3–3.5). Der Inn erreicht seine Abflussspitze früher als der Flaz, da im EZG Inn/S-chanf das Wasser mehr in Form von Schnee und weniger als Gletscher gespeichert ist und die Schneeschmelze früher einsetzt. Ausserdem fliesst der Inn ruhiger und gleichmässiger als der Flaz, da der Inn durch drei Seen geht, welche eine puffernde Wirkung haben. Diese Seen sorgen zudem dafür, dass das Geschiebe des Inns abgelagert wird und er deshalb viel weniger Geschiebe mit sich führt als der Flaz (vgl. Levy und Levy 2018).

3.2.3 Definition Wasserbilanz

Die Wasserbilanz wird in einem klar definierten EZG und Zeitraum erstellt. Der Zeitraum erstreckt sich meist über mehrere Jahre, damit einzelne Extremereignisse weniger stark gewichtet werden. Für die Wasserbilanz wird dann der Jahresdurchschnitt verwendet. Sie ist folgendermassen definiert:

$$\text{Gebietsabfluss} = \text{Zufluss} + \text{Niederschlag} - \text{Verdunstung} \pm \text{Speicheränderung}$$

Gebietsab- und Zufluss sind diese Wassermengen, die in einem ober- oder unterirdischen Fliessgewässer aus dem betrachteten Gebiet ab- oder zufließen. Niederschlag umfasst alles Wasser, welches aus der Atmosphäre als Schnee oder Regen auf das Gebiet fällt. Schnee, der über das ganze Jahr hinweg liegenbleibt, wird zur Speicheränderung dazugezählt. Als Speicher dienen im Oberengadin neben dem ganzjährigen Schnee auch Seen, Gletscher und Grundwasser. Die Speicheränderung bezeichnet demnach die Änderung der Wassermengen in diesen Speichern. Sie kann somit sowohl positiv als auch negativ sein (vgl. Blanc

und Schädler 2013; Grünenfelder 2019c; Spreafico und Weingartner 2005).

3.2.4 Wasserbilanz der drei EZG

In den Abbildungen 3.6–3.8 sind die Wasserbilanzen für die einzelnen EZG dargestellt. Die Daten wurden aus verschiedenen Teilanalysen genommen, damit einzelne Fehler nicht so stark gewichtet werden. Wo es eine Diskrepanz zwischen den Werten der Teilanalysen gab (>10% Unterschied) und deshalb eine Annahme getroffen werden musste, ist die Zahl mit einem Asterisk (*) markiert. Die Werte von Gerzner et al. (2019) beziehen sich auf den Zeitraum von 1993–2012, wobei die Zeiträume der einzelnen Werte gemässe den Autoren 'nicht ganz überschneidend' sind, was jedoch gemäss der Definition der Wasserbilanz eigentlich sein sollte. Die Daten von Balestra et al. (2019) beziehen sich auf die folgenden Zeiträume: Abfluss von 1999–2018, Niederschlag von 1981–2020, Verdunstung von 1973–1992 und Speicheränderung, wobei nur Gletscher berücksichtigt wurden, von 1989–2008. Ausserdem wurden einzelne Grössen der Wasserbilanz aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt. Gerzner et al. (2019) etwa haben den Grundwasserabfluss nicht berücksichtigt, Balestra et al. (2019) haben für die Speicheränderungen nur die Gletscherschmelze betrachtet.

Wie in den Abbildungen 3.6–3.8 zu sehen ist, charakterisiert ein verhältnismässig hoher Abfluss alle drei EZG. Die Speicheränderung ist ebenfalls in alle drei EZG negativ. Klar am grössten ist sie im Gebiet mit den meisten Gletschern, dem EZG Flaz, und annähernd konstant im Gebiet Inn/Samedan.

3.2.5 Veränderung der Wasserbilanz

Veränderungen seit 1990

Betrachtet man die Wasserbilanz des Oberengadins über die letzten hundert Jahre hinweg, hat die um 1.5° C gestiegene mittlere Jahrestemperatur den grössten Einfluss (BAFU 2012). Sie

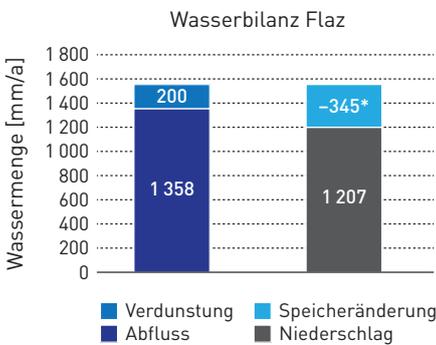


Abbildung 3.6 Wasserbilanz des EZG Flaz (eigene Darstellung nach Balestra u. a. 2019; Gerzner u. a. 2019).

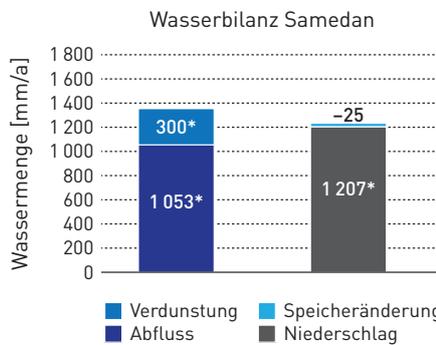


Abbildung 3.7 Wasserbilanz des EZG Inn/Samedan (eigene Darstellung nach Balestra u. a. 2019; Gerzner u. a. 2019).

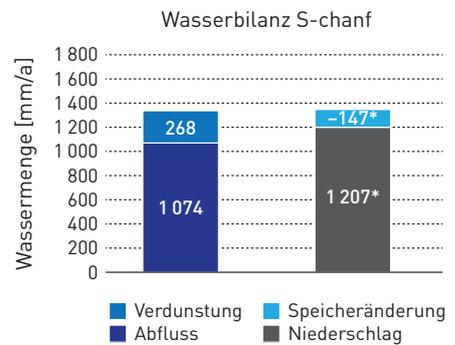


Abbildung 3.8 Wasserbilanz des EZG Inn/S-chanf (eigene Darstellung nach Balestra u. a. 2019; Gerzner u. a. 2019).

hat einerseits dazu geführt, dass die Gletscher zurückgegangen sind. Von 1990 bis 2008 ist die Eismasse im Oberengadin um 30% geschrumpft, besonders stark davon betroffen sind die grösseren Gletscher mit viel Oberfläche pro Volumen wie der Morteratsch-, der Roseg- und der Tschiervagletscher. Dies führte zu einer stärkeren negativen Speicheränderung in der Wasserbilanz des Oberengadins. Andererseits haben die höheren Temperaturen auch eine stärkere Verdunstung bewirkt (Huss u. a. 2010). Der Abfluss ist im stark vergletscherten EZG Flaz leicht angestiegen, für das EZG Inn Samedan und Inn S-chanf, wobei beim letztgenannten nur Messwerte der letzten 20 Jahre zur Verfügung standen, ist der Abfluss rückläufig (BAFU 2020b). Für den Niederschlag über diese Zeitspanne konnte im Oberengadin keine Tendenz festgestellt werden (MeteoSchweiz 2020).

Zukünftige Veränderungen durch den Klimawandel

Durch den Klimawandel werden Veränderungen beim Niederschlag und der Temperatur erwartet. Gemäss Prognosen wird der Niederschlag in Oberengadin bis 2100 im Sommer um etwa 15–20% zurückgehen, in den anderen Jahreszeiten aber zunehmen. Im Jahresmittel steigt er damit um höchstens 5% an. Die Temperatur wird von heute bis 2085 in der Schweiz um 2 bis 4° C zunehmen (vgl. BAFU 2012).

Diese Temperaturzunahme beeinflusst die Speicher. Höhere Temperaturen führen zu einer höheren Schneefallgrenze, pro Grad Erwärmung steigt sie um etwa 150 m an. Dadurch wird im Oberengadin mehr Wasser direkt abfliessen anstatt als Schnee liegenbleiben. In Samedan beispielsweise wird dies vor allem in der ersten Hälfte des Winters (Dezember, Januar) und um den Frühlingsbeginn (März, April) bemerkbar sein (MeteoSchweiz 2020). Modellrechnungen für das Einzugsgebiets des Ova da Morteratsch, einem Nebenfluss des Berninabachs, gehen davon aus, dass zwischen 2009 bis 2100 ungefähr 15% weniger Schnee im Verhältnis zum Gesamtniederschlag fallen wird. Ausserdem wird die Schneedecke kleiner und die Schneeschmelze dadurch früher und weniger stark einsetzen. Auch auf die Gletscher wirkt sich der Temperaturanstieg aus. Der Morteratschgletscher, welcher der grösste im Oberengadin ist, wird bis 2100 beinahe vollständig geschmolzen sein, die kleineren Gletscher werden in den nächsten Jahrzehnten komplett abschmelzen (Bauder und Funk-Salamí 2009). In Zukunft werden die Abflussmengen der Gletscher im Oberengadin jedoch nicht mehr zunehmen. Der Grund dafür ist, dass die kleineren Gletscher in der Schweiz, zu denen auch alle Gletscher im Fallgebiet gehören, bereits in den letzten 100 Jahren stark geschmolzen und so ihre Abflussspitzen schon erreicht haben. Für den Morteratschgletscher etwa wird ein Abflussrückgang von aktuell 1450 mm/a auf 1100 mm/a bis 2100 erwartet (vgl. BAFU 2012; Huss u. a. 2010).

Die Verdunstungsrate wird gemäss Bundesamt für Umwelt (2012) durch den Klimawandel nicht gross verändert werden. Zwar steigt die grösstmögliche Verdunstung (potenzielle Evapotranspiration) durch die höheren Temperaturen, aber die reelle Verdunstung

nimmt im Sommer wegen dem Niederschlagsrückgang ab. In den anderen Jahreszeiten wird die Verdunstung leicht zunehmen und sich damit im Durchschnitt, verglichen mit den anderen Grössen der Wasserbilanz, nicht signifikant verändern.

Die Veränderungen des Niederschlags und des Speichers beeinflussen auch den Abfluss. Dieser wird im Sommer aufgrund der kleineren Schnee- und Gletscherschmelze sowie der geringeren Niederschlagsmenge, abnehmen und in den anderen Jahreszeiten, bedingt durch mehr Niederschläge und weniger Rückhalt des Wassers als Schnee und Eis, zunehmen. In den nächsten Jahren wird die Abflussspitze kleiner und früher stattfinden, da sowohl Schnee- als auch Eisschmelze früher einsetzen und weniger stark ausfallen werden. Bis 2085 wird sich auch der Abflussregimetyyp verändert haben; der Flaz wird dann voraussichtlich nival alpin und der Inn bei S-chanf nivo-pluvial meridional sein (vgl. BAFU 2012).

3.3 Diskussion

Das Abflussregime der Flüsse Inn und Flaz ist beide Male ein alpines Regime mit der typisch hohen, durch Schmelzwasser verursachte Spitze im Spätfrühling oder Sommer (Weingartner und Aschwanden 1992). Weiter können für die Flüsse Abflussregimetyypen bestimmt werden. Inn und Flaz waren durch die vorhandenen Daten zum EZG klar zuordenbar. Besonders der unterschiedliche Vergletscherungsgrad in den EZG führt dazu, dass der Inn dem Abflussregimetyyp «b-glacio-nival» und der Flaz «b-glaciaire» zugeordnet wird (Levy und Levy 2018).

Die drei EZG im Oberengadin sind alle durch einen hohen Abfluss und tiefe Verdunstung charakterisiert. Dies ist typisch für alpine EZG, da sie wenig Vegetation und somit eine geringe pflanzenbedingte Verdunstung haben (Spreatico und Weingartner 2005). Dass im EZG Flaz der Abfluss am grössten und die Verdunstung am kleinsten ist, ist vermutlich auf die hohe Lage des EZG und die daraus resultierenden tieferen Temperaturen sowie auf die vergleichsweise kleine Vegetationsbedeckung zurückzuführen. Das EZG Flaz weist ebenfalls die grösste Speicheränderung auf, welche durch die hohe Vergletscherung, u.a. durch den Morteratschgletscher, erklärt werden kann. Diese Wasserbilanzen der drei EZG sind jedoch mit Vorsicht zu geniessen, weil die dafür verwendeten Daten mit viel Unsicherheit behaftet sind.

Diese Unsicherheit fällt bei der Betrachtung der Wasserbilanz auf, da die zwei Säulen Einträge (Niederschlag, negative Speicheränderung) und Austräge (Abfluss, Verdunstung) nicht gleich gross sind, was aber gemäss der Definition der Wasserbilanz erfüllt sein sollte (siehe Kapitel 3.2.3). Mögliche Gründe für diese Ungenauigkeit der Daten sind gemäss Balestra et al. (2019) und Gerzner et al. (2019), dass die einzelnen Parameter über unterschiedliche Zeiträume gemessen worden sind, was nicht der Definition einer Wasserbilanz entspricht. Ausserdem sind gewisse Komponenten der Wasserbilanz wie Grundwasserflüsse oder die

Speicheränderung von Seen und des Grundwasserstandes nicht berücksichtigt worden, weil sie schwer zu messen sind und deshalb keine Daten dazu verfügbar waren. Dass aber zum Beispiel der Grundwasserstand einen Einfluss hätte, zeigt sich zum Beispiel beim Flugplatz Samedan, wo der Grundwasserspiegel von 1998 bis 2017 um 25 cm gestiegen ist (BAFU 2020b).

Durch den Klimawandel werden sich die verfügbaren Wasserressourcen des Oberengadins verändern, da der Niederschlag im Winterhalbjahr zunehmen und vermehrt direkt abfliessen wird, anstatt als Schnee oder Eis liegenzubleiben (BAFU 2012). Im Sommer nimmt die Niederschlagsmenge hingegen ab, was zu mehr Konflikten bezüglich Wassernutzung führen kann. Insbesondere, da der Wasserverbrauch wegen den höheren Temperaturen höchstwahrscheinlich zunehmen wird. Für die Beschneigung in den Wintermonaten sowie generell den Tourismus könnte der Klimawandel vorteilhaft sein, weil durch ihre hohe Lage die Skigebiete relativ schneesicher sind. Ausserdem werden die Sommer verglichen mit den Städten im Mittelland angenehm kühl sein, was zu mehr Touristinnen und Touristen im Oberengadin führen könnte (Fehr 2019; Sieber 2019b). Die Zunahme des Sommertourismus wiederum könnte den Wassernutzungskonflikt in den Sommermonaten noch verstärken. Die Prognosen für den Klimawandel sind aber mit Vorsicht zu betrachten, da bei der Temperaturzunahme sowie der jahreszeitlichen Umverteilung der Niederschläge Unsicherheiten bestehen. Grund für diese Unsicherheiten ist vor allem das unklare Ausmass des Klimawandels, weil es kaum vorhersehbar ist, wie sich die Treibhausgasemissionen in diesem Jahrhundert entwickeln werden (BAFU 2012).

3.4 Schlussfolgerungen

Im Oberengadin mit seinen grossen Wasserressourcen besteht in den kommenden Jahren noch keine Gefahr für eine akute Wasserknappheit, auch wenn das Gebiet durch Gletscherschmelze an Wasser verliert. Jedoch besteht längerfristig die Gefahr von Wasserstress, besonders im Sommer, wobei der Zeitpunkt und das Ausmass des Wasserstresses durch die zukünftigen Treibhausgasemissionen und den politischen Willen, diese zu reduzieren, bestimmt werden. Nach Lanz (2016) sollte das Oberengadin deshalb einen verstärkten Fokus auf ein längerfristig nachhaltiges Wassermanagement legen, damit die Region trotz Klimawandel ganzjährig genügend Wasser zur Verfügung haben wird. Bezogen auf die Wasserbilanz kann versucht werden, die negative Speicheränderung zu verkleinern und das Wasser so im Gebiet zu halten. Dazu könnte das Wasser anderweitig gespeichert oder der Rückgang der Gletscherspeicher abgebremst werden. Dass dies möglich ist, zeigen Projektvorschläge und Machbarkeitsstudien von Felix Keller zu Ice Stupas, bei denen Wasser im Winter gefroren gespeichert und im Frühling wieder verfügbar gemacht wird, oder dem Projekt MortAlive, wo der Rückgang des Morteratschgletschers mittels Beschneigung gebremst werden könnte (Oerlemans, Haag, und Keller 2017).

Dieses Verkleinern der Speicheränderung kann die Wasserknappheit nur hinauszögern und verringern, aber nicht ganz verhindern. Weil der Klimawandel schlussendlich ein nur global lösbares Problem darstellt, muss die Region Oberengadin und insbesondere die wirtschaftsstärkste Branche, der Tourismus, längerfristig lernen, mit weniger verfügbaren Wasserressourcen auszukommen.

4 Grundwasser

4.1 Einleitung

In der Schweiz werden rund 80% des Trink- und Brauchwassers aus dem Grundwasser bezogen (BAFU 2019d). Das Grundwasser ist ein wichtiger Teil des Wasserkreislaufs und somit mit einzubeziehen, wenn man sich mit der Thematik des nachhaltigen Wassermanagement auseinandersetzen will. Die Studierenden der Teilanalysegruppen Grundwasser haben sich deshalb mithilfe der folgenden Forschungsfragen einen Überblick über das Grundwassermanagement verschafft:

- Welche Herausforderungen wirken auf die Grundwasservorkommen im Oberengadin?
- Wie wird sich die Situation durch den Klimawandel verändern?
- Welche Rolle spielt der Tourismus?

Dazu kamen weitere Teilaspekte, welche die Studierenden beachtet haben: Grundwasserspiegelschwankungen, und wie sie zustande kommen können, die Qualität des Grundwassers mit einem Augenmerk auf die Arsenproblematik, die Trinkwasserversorgung und die thermische Nutzung des Grundwassers. Zusätzlich wurde darauf eingegangen, wie die Grundwasserschutzzonen einen planerischen Schutz des Trinkwassers ermöglichen können, und wie sie allenfalls zu Nutzungskonflikten führen.

4.2 Resultate

4.2.1 Grundwasserqualität

Da das Grundwasser im Oberengadin eine wichtige Rolle im Bereich des Trinkwassers einnimmt, ist die Qualitätssicherung von grossem öffentlichem Interesse. Im Gegensatz zum Mittelland ist das Grundwasser hier weitgehend unbelastet (ANU 2019b). Trotzdem bedrohen, wie nachfolgend gezeigt, Schadstoffeinträge die momentan gute Qualität des Trinkwassers.

Anthropogene Stoffeinträge

In Siedlungen entstehen Schadstoffeinträge verschiedener Art. Der grösste Teil davon wird von Kläranlagen erfasst, aber nicht alles: Regen kann Dinge wie Russ von Dächern, Farben von Gebäuden oder Öltropfen von Parkplätzen direkt in die Gewässer waschen (Lanz 2016; Parolini Glutz 2019a). Fliesst der Regen nicht in die Kanalisation, gelangen die Schadstoffe in die Böden. Dort können sie teilweise, je nach Stoffbeschaffenheit, nicht abgebaut werden. Ähnliches gilt für Verkehrswege: Brems-, Kup-

plungs- und Pneuabriebe, sowie Schmiermittel, Katalysatoren und Treibstoffe können zu Schadstoffeinträgen in Gewässern führen (Braun u. a. 2015).

Stoffeinträge durch den Ackerbau wie Düngung, Pflanzenschutzmittel oder Pestizide spielen im Oberengadin nur eine Nebenrolle, da es wenig Landwirtschaftsbetriebe hat. Laut Lanz (2016) können pathogene Keime aus der Tierhaltung eine wichtigere Rolle einnehmen, da sie durch die Beweidung direkt in geschützte Quellen einsickern und die Qualität des Trinkwassers so beeinflussen können.

Arsen

Arsen ist ein kanzerogenes Schwermetall, welches natürlicherweise in gewissen Gesteinsarten vorkommt (Siegl 2019). Im Oberengadin haben einige kristalline Gesteine einen hohen Arsenwert, was die teilweise erhöhten Messwerte in einigen Oberengadiner Quellen erklärt (Parolini Glutz 2019c). Gemäss Denoth (2019) sind die erhöhten Werte allerdings nicht bedenklich für die Gesundheit der Bevölkerung.

4.2.2 Grundwasserquantität

Grundwasser bildet sich hauptsächlich aus der Versickerung von Niederschlag und der Infiltration von Oberflächengewässern (Triplet u. a. 2018). Die Neubildung ist abhängig von der Durchlässigkeit der Gesteinskörper, wobei es sich im Oberengadin um einen Lockergestein-Grundwasserleiter handelt (Trösch u. a. 2016). Dadurch ergibt sich die vorteilhafte Lage für das Gebiet, denn die gute Durchlässigkeit sorgt für eine ergiebige Grundwasserbildung (Triplet u. a. 2018).

Der Pegel des Grundwassers ist von verschiedenen Faktoren abhängig: Faktoren wie Niederschlag, Lufttemperatur, Schneeschmelze, die Anbindung an Oberflächengewässer oder die Eigenschaften des Grundwasserleiters beeinflussen den Grundwasserspiegel. Auch bauliche Eingriffe oder der Klimawandel können Schwankungen verursachen (vgl. BAFU 2019c).

Die Oberflächengewässer und das Grundwasser sind eng miteinander verknüpft und stehen in ständiger Interaktion. Liegt der Grundwasserspiegel unter dem Oberflächenwasser, so bereichert das Oberflächengewässer das Grundwasser – dieser Vorgang wird Infiltration genannt. Bei der Exfiltration liegt der Grundwasserspiegel über dem Oberflächengewässer und das Grundwasser fliesst ins Oberflächengewässer (vgl. Trösch u. a. 2016).

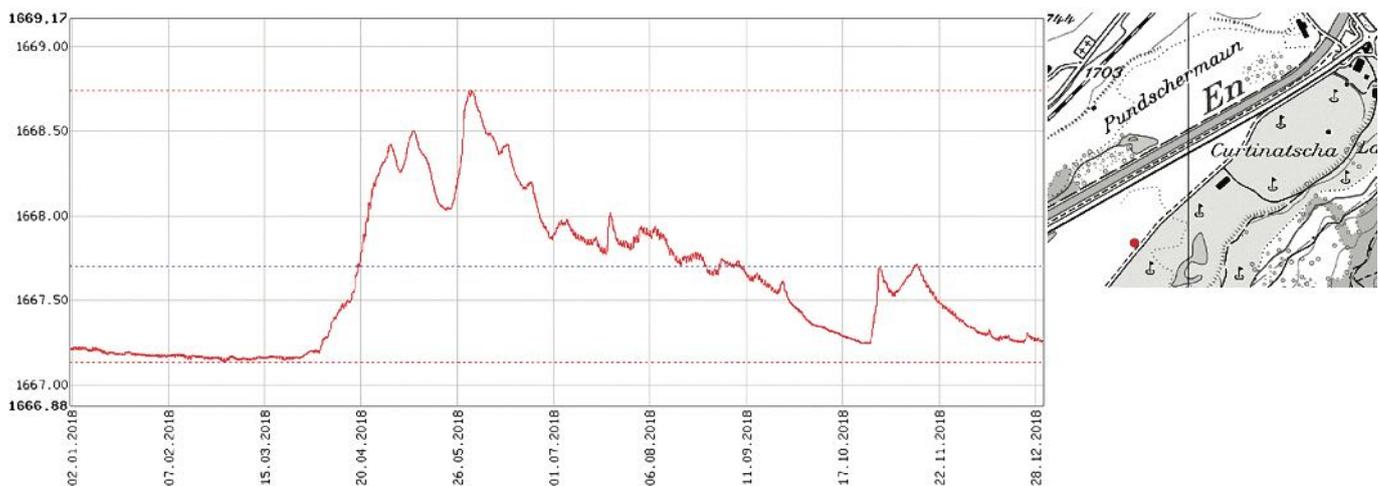


Abbildung 4.1

Natürliche Grundwasser Jahresspiegelschwankungen von ca. zwei Meter beim Pumpwerk Zuoz von 01.01.2018 bis 31.12.2018 (Messung in m.ü.M.) (ANU, 2019c).

Von Sils bis St. Moritz interagiert das Grundwasser vor allem mit den vier grossen Seen (Silsersee, Silvaplannersee, Champfèrersee, St. Moritzersee), weniger mit Flüssen. Bis S-chanf erfolgt der Austausch mit dem Inn (vgl. Parolini Glutz 2019b).

Wenn Niederschlag im Boden versickert bildet er neues Grundwasser (Sinreich u. a. 2012). Im Oberengadin ist der Grundwasserstand vor allem durch die Schneeschmelze geprägt, wie dies in Abbildung 4.1 gut ersichtlich ist.

Durch die grössere Fläche, die bei Flussrevitalisierungen entsteht, kann mehr Flusswasser in den Boden versickern. Somit haben Flussrevitalisierungen auch Einfluss aufs Grundwasser. Wegen der verstärkten Infiltration steigt der Grundwasserspiegel im Allgemeinen leicht an. Bei der Flaz-Umleitung sowie bei der Inn-Revitalisierung kam es zu Zwischenfällen, bei welchen Teilflächen aufgrund von zu hohen Grundwasserständen überschwemmt wurden (vgl. Guidon 2019b).

4.2.3 Trinkwasser

Verbrauch

Durch das Zunehmen des Tourismus im Oberengadin in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten nahm der Wasserverbrauch für die Produktion von Schnee und Kunsteis zu. Die Quellen des Oberengadins reichten nicht mehr aus, um den Wasserbedarf zu decken. Deshalb wurden unterirdische Wasserbecken gebaut, um das Wasser aus den Grundwasserleitern zu nutzen. Solche Grundwasserbecken bestehen in den Gemeinden Sils, St. Moritz, Celerina, Samedan, Bever und Zuoz. Die Qualität und Quantität der Wasserversorgung variieren abhängig von der Gemeinde und Saison – je mehr Hotels und Restaurants in einer Gemeinde, desto höher sind die saisonalen Schwankungen im Grundwasserverbrauch (vgl. Lanz 2016).

Abbildung 4.2 zeigt den aufgrund der Abwassermengen geschätzten Gesamt-Jahresbedarf über das Jahr im Oberengadin. Demnach ist der Wasserbedarf von Oktober bis Dezember am höchsten aufgrund des Beschneigungswassers. In der Vergangenheit kam es bisher zu keiner Versorgungsknappheit bezüglich Trinkwasserversorgung in der Region (Aliesch und Hartmann 2017:10).

Die Wasserversorgung ist keine gewinnorientierte Dienstleistung. Trotzdem soll sie kostendeckend sein. Im Oberengadin gibt es kaum Verbrauchsmessungen, sondern es dominiert die Pauschalbesteuerung; Die Steuer hängt also in den meisten Fällen nicht vom tatsächlichen Verbrauch eines Haushalts ab (Kappeler Concept AG 2011).

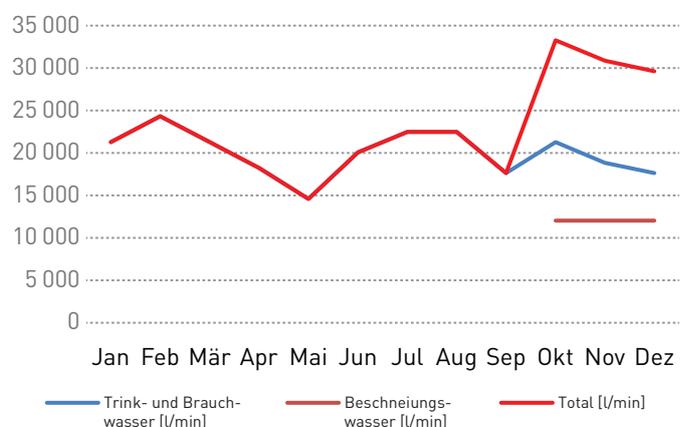


Abbildung 4.2

Gesamt-Wasserbedarf im Oberengadin über den Jahresverlauf (Aliesch & Hartmann, 2017).

4.2.4 Grundwasserschutz

Der Grundwasserschutz in der Schweiz besteht aus zwei Teilen: flächendeckend und nutzungsorientiert. Flächendeckend gilt für die ganze Schweiz. Nutzungsorientiert gilt nur in gefährdeten Bereichen, die einen direkten Zusammenhang mit dem Grundwasser haben (vgl. BUWAL 2004).

Flächendeckender Schutz

Das Grundwasser und die Grundwasserleiter sollen durch die flächendeckenden Massnahmen in möglichst naturnahem Zustand bleiben. Dieses Ziel wird durch drei Konzepte unterstützt: eine allgemeine Sorgfaltspflicht, ein Verunreinigungsverbot und die quantitative Erhaltung von Grundwasservorkommen (vgl. BUWAL 2004).

Nutzungsorientierter Schutz

Das Grundwasser von öffentlichem Interesse soll durch die nutzungsorientierten Schutzmassnahmen geschützt werden. Die Hauptinstrumente des nutzungsorientierten Schutzes sind kantonale Gewässerschutzkarten und die darauf basierenden Festlegungen von besonders gefährdeten Bereichen, Schutzzonen und Schutzarealen. Innerhalb dieser Zonen gelten strengere Vorschriften bezüglich Schutz und Nutzung von Grundwasser (vgl. BUWAL 2004).

In Tabelle 4.1 sind die drei Bereiche, die dem Grundwasserschutz dienen, ausführlich dargestellt. Die Bereiche sind von aussen nach innen beschrieben. Abbildung 4.3 zeigt die Grundwasserschutzzonen und wie sie um die Grundwasserfassung herum angelegt sind.

Tabelle 4.1
Schutzmassnahmen in den unterschiedlichen Bereichen (Eberle et al., 2019, S. 34).

	Name	Definition und Ziel	Massnahmen
Bereich	Übriger Bereich	Bereich, in dem es keine nutzbaren unterirdischen Gewässer gibt	<ul style="list-style-type: none"> • Sorgfaltspflicht • Verunreinigungsverbot • Erhaltung der Grundwasservorkommen
	Besonders gefährdete Bereiche	Gewässerschutzbereich A_U	Bereich, in dem es nutzbares Grundwasser gibt
Schutzzonen und -areale		Zuströmbereich Z_U	Bereich, aus dem etwa 90% des Grundwassers einer Fassung stammen. Dient dem präventiven und kurativen Schutz des Wassers.
	Zone S3	Die Zone S3 dient als Pufferzone für die Zone S2. Der Abstand zwischen S3 und S2 muss mindestens so gross sein wie der Abstand zwischen den Zonen S2 und S1.	Zusätzlich zu den Massnahmen in den besonders gefährdeten Bereichen: <ul style="list-style-type: none"> • Müssen Strassen abgedichtet und entwässert werden • Brauchen neue Anlagen eine Bewilligung des ANU • Dürfen Einbauten nicht tiefer als der höchste Grundwasserspiegel sein • Sind Deponien sowie der Abbau von Kies und Sand verboten
	Zone S2	Die Zone S2 soll die Grundwasserfassung vor Krankheitserregern und abbaubaren Stoffen schützen, eine Verunreinigung des Grundwassers durch Grabungen verhindern und die natürliche Filterwirkung des Bodens gewährleisten.	Zusätzlich zu den Massnahmen in S3: <ul style="list-style-type: none"> • Bauverbot (mit möglichen Ausnahmen, wenn sie sehr gut begründet sind) • Keine Grabungen • Keine mobilen und persistenten Pflanzenschutzmittel • kein flüssiger Hofdünger
	Zone S1	Die Zone S1 ist unmittelbar um die Grundwasserfassung herum. Ihre Grenze muss mindestens 10m vom äusseren Rand einer Fassung entfernt sein. Sie soll die Fassung selbst vor Beschädigung und Verschmutzung schützen.	Zusätzlich zu den Massnahmen in S2: <ul style="list-style-type: none"> • Zaun entlang der Zonengrenze • Allgemeines Nutzungsverbot
	Grundwasserareal	Umfasst Grundwasserleiter, die in der Zukunft als Trinkwasser benutzt werden könnten.	Wie in einer Zone S2

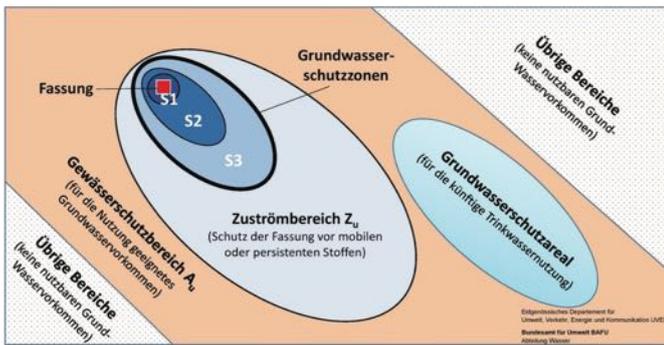


Abbildung 4.3
Darstellung der Schutzzone rund um die Grundwasserfassung (BAFU, 2012).

4.2.5 Thermische Nutzung

Die thermische Grundwassernutzung gehört zu den erneuerbaren Energien der Wärmegewinnung und gilt als eine der führenden Technologien der Geothermie. Als Geothermie bezeichnet man den Wärmeentzug aus dem Erdinnern (vgl. Geothermie Schweiz 2016).

Grundwasser kann wegen der konstanten Jahrestemperatur zwischen 5° C und 15° C zum Heizen und Kühlen von Gebäuden genutzt werden. Die Anlage besteht aus zwei Bohrungen, die das Grundwasser erschliessen: Die Entnahmebohrung leitet das Grundwasser an eine Wärmepumpe, die dem Wasser die Wärme entzieht, und diese weitergibt. Das genutzte Wasser wird durch den Rückgabeburgen wieder in den Untergrund geführt (vgl. Energie Schweiz 2017).

Um die nötigen Bewilligungen für den Bau einer solchen Anlage zu erhalten, müssen unter anderem folgende gesetzliche Vorgaben eingehalten werden:

- Wärmepumpen dürfen nicht in Grundwasserschutzzonen oder Schutzarealen betrieben werden
- Die Grundwasserentnahme darf langfristig zu keiner Beeinträchtigung des Grundwasserleiters und einer allfällig bereits bestehenden Grundwasserfassung führen. Dies ist per hydrologischem Gutachten zu beweisen.
- Die Grundwassertemperatur darf um höchstens 3° C im Vergleich zum ursprünglichen Zustand verändert werden (vgl. ANU, 2014).

Zurzeit besteht kein ganzheitliches Nutzungskonzept für die thermische Energie. Da aber das Grundwasser durch die thermische Nutzung um maximal 3° C seiner ursprünglichen Temperatur verändert werden darf, besteht durch das Fehlen eines Nutzungsplans die Gefahr, dass das Potenzial auf ineffiziente Art und Weise genutzt wird.

4.2.6 Klimawandel und Tourismus

Der im Oberengadin wichtige Tourismus bringt eine gewisse Abhängigkeit mit sich: Die touristischen Leistungsträger sind Hotels, Restaurants, Transportgewerbe, Reiseveranstalter, Tourismusverbände und der Bereich Unterhaltung/Sport/Kultur. Das Oberengadin ist im Kanton Graubünden die Region mit der höchsten touristischen Wertschöpfung (vgl. Kronthaler 2008).

Wegen der hohen Lage hat das Oberengadin weniger Klimawandel bedingte Herausforderungen als andere Regionen und kann mit diesen daher vermutlich besser umgehen (Sieber 2019a). Im Wintertourismus werden Anpassungen nötig sein, besonders in den Bereichen Beschneigung und Pistenpflege. Im Sommertourismus könnte das Oberengadin insofern profitieren, als das die vermehrte Trockenheit und Hitze im Mittelland vermehrt Gäste in den Alpenraum bringen werden. Die Attraktivität der Landschaft wird aber durch die Gletscherschmelze abnehmen (vgl. Gurung und Stähli 2014).

Da besonders der Wintertourismus im Oberengadin aufgrund des Wettbewerbsvorteils vom Klimawandel profitieren dürfte, werden die zusätzlichen Touristen und Touristinnen den Trinkwasserbedarf erhöhen. Weil die Region wärmer wird, wird auch das Beschneien von Pisten und Loipen öfters nötig sein, und den Wasserbedarf weiter erhöhen (vgl. Lanz 2016).

Die Qualität des Grundwassers wird zu einem grossen Teil von dessen Temperatur beeinflusst, da diese mitentscheidend für den Sauerstoffgehalt im Wasser ist. Ist der Sauerstoffgehalt zu niedrig, kann es zur Ausfällung von Eisen und Manganhydroxiden kommen, welche die Trinkwasserqualität beeinflussen (vgl. Gurung und Stähli 2014). Glücklicherweise ist die Grundwassertemperatur im Oberengadin genügend tief, so dass eine Erwärmung um ein bis zwei Grad keine Auswirkungen hat (Parolini Glutz 2019b). Probleme könnte es geben, wenn während längeren Trockenperioden der Grundwasserspiegel sinkt, und dann ein grösserer Anteil an möglicherweise belastetem Flusswasser ins Grundwasser aufgenommen wird (Schürch u. a. 2012).

4.3 Diskussion

Da sich die Probleme mit dem Grundwasser vor allem durch die Folgen des Klimawandels ergeben, fokussiert sich die Diskussion der Teilanalysegruppen auf eben diese Frage.

4.3.1 Klimawandel und die Frage nach der Beschneigung

Kurz- bis mittelfristig wird im Winter mit mehr Niederschlag (vermehrt als Regen) gerechnet, ausser in Gebieten über 2000 m.ü.M. Im Oberengadin liegen die meisten Dörfer unter 2000 m.ü.M., die meisten Skigebiete darüber. Die Teilanalysegruppe Grundwasser 1 (Eberle u. a. 2019) geht davon aus, dass die Skigebiete im Oberengadin im Januar und Februar einstweilen von grösseren Schneemengen profitieren könnten. In den restlichen Wintermonaten muss aber wahrscheinlich öfters beschneit werden. Unter dem Strich wird in Zukunft also mehr beschneit werden als dies gegenwärtig der Fall ist. Das für die Beschneigung benötigte Wasser stammt aus Bächen, dem Trinkwassersystem oder eben, dem Grundwasser. Langfristig stellt sich die Frage, auf welcher Höhe sich die Schneefallgrenze halten wird und demnach, wie sehr sich der Nutzungskonflikt der Grundwasserverfügbarkeit verstärkt.

Das im Winter für das Beschneien genutzte Wasser schmilzt im Frühjahr, oder bereits in den Wintermonaten, wieder. Dadurch, dass sich das Abfliessen über den Winter verteilt, je weiter fortgeschritten der Klimawandel ist, wird das Hochwasserrisiko durch die Schneeschmelze im Frühjahr kleiner werden.

4.3.2 Starkniederschläge und Gletscherschmelze

Die Starkniederschläge, die mit dem fortschreitenden Klimawandel zunehmen werden, werden vermutlich keine gravierenden Auswirkungen bezüglich der Grundwasserqualität haben, solange sie in die Nebensaison fallen. Dies hauptsächlich, weil die Abwasser- und Kläranlagen im Oberengadin während der Nebensaison nicht voll ausgenutzt sind, und dadurch genügend Kapazität haben, um auch Starkniederschläge fassen zu können. Während der Hauptsaison jedoch könnte es zu Problemen kommen, weil die Anlagen bereits ausgelastet sind (vgl. Eberle u. a. 2019).

Weil die Gletscherschmelze zu mehr Schmelzwasser führt, wird die Grundwasserknappheit kurz- bis mittelfristig wohl verringert werden. Langfristig, wenn die Gletscher geschmolzen sind, muss aber von einem Rückgang des Schmelzwassers gerechnet werden, was zu einer Verknappung des Grundwassers führen könnte.

4.3.3 Künftiger Wasserverbrauch

Die Teilanalysegruppen sind sich einig, dass der zunehmende Tourismus einen grossen Teil des Wasserverbrauchs ausmacht und dass dieser Teil künftig weiter steigen wird. Dies führt zu einem grösseren Druck auf die Grundwasserschutzzone. Werden nun Einbussen bei den Schutzzone hingenommen, wirkt sich dies negativ auf die Grundwasserqualität aus. Dann stellt sich die Frage, wie mit den Verunreinigungen umgegangen wird und ob die Trinkwasserpumpwerke aufgerüstet werden müssen.

4.4 Schlussfolgerungen

Die Teilanalyse Grundwasser veranschaulicht, dass es im Oberengadin wegen dem Klimawandel in Zukunft zu Wasserknappheit kommen könnte. Bedenkt man, dass die Schweiz gerne als Wasserschloss bezeichnet wird, klingt dies besorgniserregend und der Handlungsbedarf wird grösser, je weiter der Klimawandel voranschreitet. Besonders die Frage, wie die grössere Sommer-trockenheit kompensiert werden kann, wenn die Gletscher in Zukunft kein Schmelzwasser mehr abgeben können ist ein wichtiger Punkt, die die Region beschäftigen wird.

Um die erwähnte Wasserknappheit zu antizipieren müssen die Schutzmassnahmen in Zukunft durch Zusammenarbeit der beteiligten Stakeholder verschärft werden. Die Teilanalysegruppe Grundwasser 2 (Brunner u. a. 2019) erwartet besonders einen Interessenskonflikt zwischen der wirtschaftlich orientierten Tourismusbranche und dem nachhaltig interessierten ANU. Hier soll möglichst bald ein Kompromiss gefunden werden. Dies bedingte gute Kommunikation zwischen dem ANU und der Engadin St. Moritz Tourismus AG..

5 Wassernutzung

5.1 Einleitung

Für uns Menschen ist Wasser als Ressource unabdingbar. Vor tausenden von Jahren haben wir gelernt, die Kraft des Wassers zu unseren Zwecken zu nutzen. Heute macht die Wasserkraft in der Schweiz den Grossteil der erneuerbaren Energien aus und kann die Hälfte des schweizerischen Strombedarfs decken. Wir nutzen das Wasser für das Waschen und Kochen im Haushalt, für die Bewässerung in der Landwirtschaft und technologische Prozesse in der Industrie. In touristischen Regionen in der Schweiz gewinnt zudem die technische Beschneigung, vor allem wegen der steigenden Temperaturen, an Bedeutung. Nicht zuletzt, weil in diesen Gebieten der Tourismus wichtigster Wirtschaftszweig ist.

Die Aufgabe der Studierenden dieser Teilanalyse war es aufzuzeigen, wie die Wassernutzung im Oberengadin aussieht. Zusätzlich sollten folgende Aspekte miteinbezogen werden:

- Welche Stakeholder beeinflussen das Thema bzw. sind davon betroffen? Wer profitiert/zahlt dafür?
- Welches sind dafür die massgebenden gesetzlichen Grundlagen?
- Wie wird sich die Situation durch den Klimawandel verändern?
- Welche Rolle spielt der Tourismus?

5.2. Resultate

In diesem Kapitel werden zuerst die verschiedenen Nutzungsarten behandelt und schliesslich wird auf den Einfluss des Klimawandels eingegangen. Die Stakeholder sowie die gesetzlichen Grundlagen werden gemeinsam mit den anderen Teilanalysen in den Kapiteln 9 und 10 behandelt.

Im Oberengadin wird das Wasser für die Energieerzeugung, als Trink- und Brauchwasser und zur technischen Beschneigung von Skipisten, Bobbahnen und Loipen genutzt. Zudem werden die Wasserflächen der Oberengadiner Seen für den Wassersport genutzt. Dabei sind vor allem die Grossveranstaltungen wie das Pferderennen «White Turf» auf dem St. Moritzersee zu erwähnen. Diese Nutzungsart wurde von den Studierenden nur am Rande behandelt, weshalb folgend nicht weiter darauf eingegangen wird. Abbildung 5.1 zeigt eine mengenmässige Gegenüberstellung der verschiedenen Nutzungsarten.

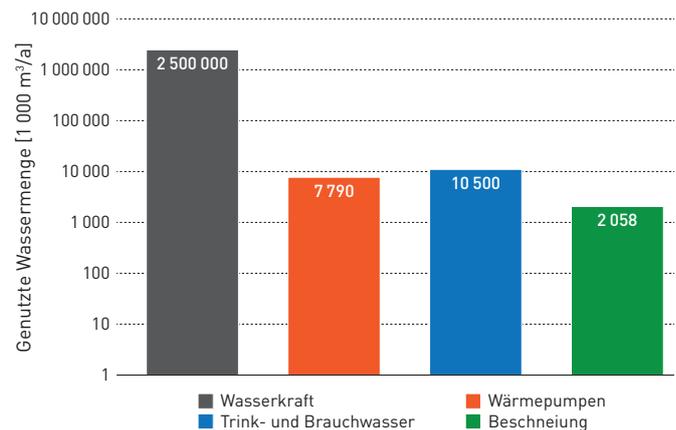


Abbildung 5.1
Jährliche mengenmässige Wassernutzung im Oberengadin im Vergleich (Graff u. a. 2019:19).

5.2.1 Energiegewinnung

Im Oberengadin wird die Wasserkraft für die Stromproduktion (acht Wasserkraftwerke) und für die Warmwassererzeugung (zwei Wärmepumpen) genutzt (Graff u. a. 2019). In diesem Abschnitt werden einerseits wichtige Grundlagen der Wasserkraftnutzung erläutert und andererseits die Situation im Oberengadin analysiert. Im Zusammenhang mit den ökologischen Auswirkungen werden auch die wichtigsten Gesetzesartikel erwähnt.

Tabelle 5.1 gibt eine Übersicht über die acht Wasserkraftwerke, ihre jährliche Stromproduktion, die installierte Turbinenleistung und die genutzte Wassermenge. Alle Oberengadiner Wasserkraftwerke gelten nach dem Bundesamt für Energie als Kleinwasserkraftwerke, da sie nicht die mittlere mechanische Bruttoleistung von 10 MW überschreiten (Bundesamt für Energie 2017). Laut Lanz (2016) tragen sie dabei nur zu einem geringen Anteil zur regionalen Stromproduktion bei.

Es gibt eine grosse Breite an Wasserkraftanlagen, welche anhand der Bewirtschaftung des Speichers in drei Kategorien eingeteilt werden können: Laufwasser-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke (Giesecke, Heimerl, und Mosonyi 2014). Im Oberengadin befinden sich ausschliesslich Laufwasserkraftwerke, genauer

Tabelle 5.1

Wasserkraftwerke im Oberengadin (Bär et al. 2019; Graff et al. 2019 basierend auf Amt für Energie und Verkehr Graubünden (AfEuVG) 2018).

Kraftwerk	Kraftwerksbetreibende	Genutzte Wassermenge [m ³ /s]	Durchschnittliche jährliche Stromproduktion [GWh]	Turbinenleistung [MW]
Champagna I	EW Samedan	0.07	1.37	0.36
Champagna II	EW Samedan	k.A.	0.16	0.06
Islas	St. Moritz Energie	4.60	16.00	4.40
Madulain	Repower AG	0.45	6.40	1.56
Morteratsch	Repower AG	1.50	7.00	1.60
Ovel	EW Samedan	0.15	0.23	0.05
Silvaplana	Repower AG	0.45	4.80	1.50
Roseg	EW Samedan	0.20	1.90	0.13

gesagt Ausleitkraftwerke (Proyer und Zarn 2014). Deshalb wird in diesem Kapitel nur auf diese Form der Wasserkraft eingegangen.

Ausleitkraftwerke (siehe Abbildung 5.2) leiten mittels eines Wehrs Wasser zur Zentrale, welche ausserhalb des Flussbettes liegt. Dort wird das Wasser turbinert und anschliessend ins Flussbett zurückgeleitet. Die im Fluss verbleibende Menge Wasser, die das Wehr passiert, wird als Restwassermenge bezeichnet. Das Restwasser wird auch für allfällige Fischtrepfen verwendet.

Die ökologischen und morphologischen Auswirkungen eines Kraftwerkes auf das Fließgewässer betreffen unter anderem die Bereiche

- Schwall und Sunk
- Beeinträchtigung des Geschiebehaushalts
- Beeinträchtigung der Fischgängigkeit
- Restwasser.

Schwall und Sunk bezeichnet das gezielte Aufstauen und Turbinieren des Wassers durch ein Kraftwerk zu ganz bestimmten Zeiten. Auswirkungen des Schwall-Abflusses sind das Verdriften von Jungfischen und Kleinlebewesen, sowie Ufer- und Tiefenerosion. Wassermangel in der Sunk-Phase führt zur Strandung

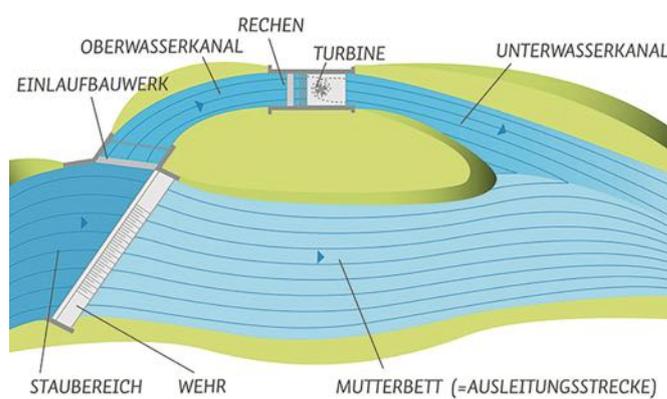


Abbildung 5.2
Ausleitkraftwerk (Bayerische Landeskraftwerke GmbH 2018).

von Fischen (Kohli et al., 2018). Der Bau von Ausgleichsbecken und eine behutsamere Abflusssteuerung können die negativen Auswirkungen minimieren und werden auch im Oberengadin eingesetzt (Lanz 2016).

Geschiebe (Sand, Kies, Steine) wird durch den Abfluss über die Flusssohle transportiert und verändert durch Erosion und Sedimentation die Flusssohle und Uferzone. Das Wehr eines Kraftwerks stellt für das Geschiebe eine Barriere dar. Im Unterlauf des Kraftwerks fehlt das Geschiebe, was zum Verschwinden von Lebensräumen für Wirbellose und Laichsubstraten für Fische führt. Ausserdem kann der Geschiebemangel im Unterlauf zu einer Sohlenabsenkung und damit zur Absenkung des Grundwasserspiegels führen. Die Folgen für Auen und Moore sind dabei irreversibel. Um das Ansammeln von Geschiebe im Oberlauf zu vermeiden, muss es regelmässig durch Spülungen entfernt werden (vgl. Kohli et al., 2018). Das Kraftwerk Pradella in Scuol leitet das Geschiebe beispielsweise mit dem Frühjahrshochwasser über einen Kiesspülkanal um das Wehr herum in den Unterlauf (Gaudenz 2020).

Auch für die Fliessgewässerfauna stellen Kraftwerke eine unpassierbare Barriere dar. Dadurch wird die Wandermöglichkeit der Fische zu Nahrungs- und Laichplätzen eingeschränkt, die Neubildung von Fischbeständen erschwert und es kann zur genetischen Verarmung von isolierten Fischpopulationen kommen. Deshalb sind zur Gewährleistung der Fischgängigkeit Fischtreppen zum Aufstieg und Abstiegsmöglichkeiten notwendig (Kohli u. a. 2018). Zudem müssen die Restwassermengen, welche je nach Ausleitungsmenge festgelegt werden, eingehalten werden (Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) (SR 814.20).

Kraftwerksbetreiber sind gesetzlich dazu verpflichtet, diese negativen ökologischen Folgen zu minimieren. Nach Gewässerschutzgesetz müssen Kraftwerksbetreiber sicherstellen, dass die einheimischen Tiere und Pflanzen, sowie deren Lebensräume durch ihre Aktivität nicht wesentlich beeinträchtigt werden. Dazu gehören die Wasserentnahme (Art.29 ff. GSchG), die kurzfristigen, künstlichen Änderungen des Wasserabflusses (Schwall und Sunk) (Art. 39a GSchG), Geschiebehaushalt und Spülungen (Art. 43a, Art.40 GSchG). Bei der Gesetzesrevision des GSchG 2011 wurden Sanierungsmassnahmen zur Gewährleistung der Fischgängigkeit, des nachhaltigen Geschiebehaushalts und der Eindämmung von Schwall- und Sunk-Abfluss verordnet.

Die Frage, ob die gesetzlichen Vorschriften zu Schwall- und Sunk, Geschiebehaushalt und Fischgängigkeit im Oberengadin eingehalten werden, konnten die Studierenden nur schwer beantworten, da sie sich auf persönliche Mitteilungen der Stakeholder verlassen mussten.

Die zwei Wärmepumpen im Oberengadin nutzen die Wärmeenergie des St. Moritzersees, um Fernwärme für wenige grosse Abnehmer zu produzieren und stellen somit einen nachhaltige, aber kostenintensive Alternative zu Heizungen mit Erdöl dar (Bär u. a.

2019). Das Wasser wird dadurch um 1–2° C abgekühlt und wieder in den See zurückgeführt. Auch Betreiber von Wärmepumpen sind wegen ihrer Wasserentnahme nach GSchG verpflichtet, negative Effekte ihrer Aktivitäten, wie Seespiegelschwankungen oder Beeinträchtigung der Strömungsverhältnisse, einzuschränken. Wissenschaftlich sind jedoch keine negativen ökologischen Folgen belegt, da das Wasser im Verwertungsprozess gekühlt wird (Graff u. a. 2019).

5.2.2 Trink- und Brauchwasser

Unter Brauch- oder Betriebswasser versteht man Wasser, welches nicht der Trinkwasserqualität entspricht, jedoch für industrielle Prozesse oder Gartenbewässerung eingesetzt werden kann (Reporteur 2020). Im Oberengadin werden die zwei Nutzungsarten nicht getrennt, weshalb von Trink- und Brauchwasser die Rede ist (Aliesch und Hartmann 2017). Neben Privathaushalten gibt es im Oberengadin wichtige Grossbezüger von Trink- und Brauchwasser. Dazu gehören das Krankenhaus Samedan, die Rhätische Bahn in Bever, Gewerbe und Industrie (Beispiel: Molkerei Lalaria Engiadinaisa in Bever), Hotellerie-Betriebe und touristische Infrastrukturen (Hallenbäder, Golfplätze, Beschneigung). Der Wasserverbrauch für landwirtschaftliche Bewässerung, Löschwasser und den Betrieb von Laufbrunnen ist gering und kann vernachlässigt werden (vgl. Aliesch und Hartmann 2017)

Hauptsächlich wird das Trink- und Brauchwasser im Oberengadin aus Quellen und aus dem Grundwasser bezogen, Seewasser spielt eine untergeordnete Rolle. Während Seen und Grundwasserkörper nur träge auf Trockenperioden reagieren und einen verlässlichen Bezug ermöglichen, unterliegen Quellschüttungen starken saisonalen Schwankungen. Dabei erreichen diese im Februar/März ein Minimum von 10–30% der Maximalschüttung. Trotzdem deckt das Wasserdargebot den derzeitigen Wasserbedarf über das ganze Jahr hinweg (Aliesch und Hartmann 2017). Eine genaue Quantifizierung des Trink- und Brauchwasserverbrauchs im Oberengadin ist schwierig, da durch die verbrauchs-unabhängige Verrechnung vieler Gemeinden keine systematischen Messungen zustande kommen und da die Qualität und Aussagekraft verfügbarer Daten stark variieren (Graff u. a. 2019). Die Teilanalyse-Gruppe Wassernutzung 1 (Graff u. a. 2019) hat die Wassernutzung in der Gemeinde Celerina genauer analysiert, um anhand dieser Beispiel-Gemeinde die quantitativen Bezugsmengen verschiedener Sektoren aufzuzeigen. Wie Tabelle 5.2 und Abbildung 5.3 zeigen, hat der Tourismus durch den Bezug für Beschneigung und Hotels einen grossen Einfluss auf den Trink- und Brauchwasserverbrauch. Aufgrund fehlender Daten kann die Amplitude saisonaler Schwankungen nur schwer erfasst werden, jedoch zeigt sich ein starker Anstieg der Abwassermenge in der touristischen Hochsaison (Graff et al., 2019 basierend auf Schmid, 2019).

Tabelle 5.2
Trinkwasserverbrauch am Beispiel der Gemeinde Celerina (Graff et al., 2019, S.14 basierend auf Lanz, 2015).

	Trinkwasser- verbrauch [m ³ /a]
Private Haushalte	196 000
Hotels	198 000
Kleingewerbe	1 440
Landwirtschaft	5 000
Bewässerung	1 440
Laufbrunnen	300
Abwasserreinigung	20 000
Beschneigung	131 948
Trinkwasser LL-Loipen	7 721
Verluste	63 457

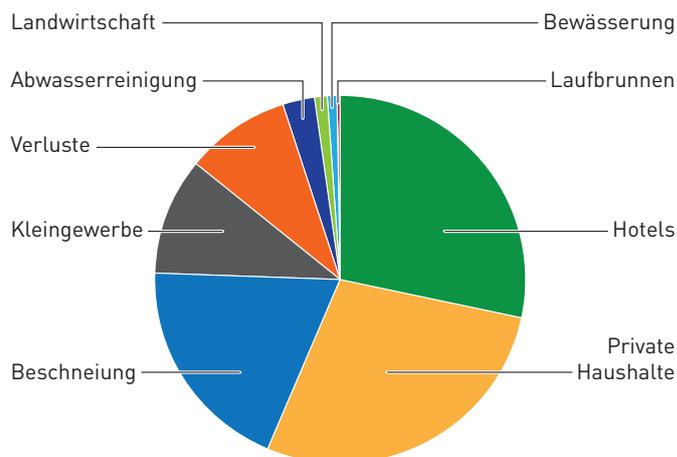


Abbildung 5.3
Trinkwasserverbrauch am Beispiel der Gemeinde Celerina (Graff et al., 2019:14 basierend auf Lanz, 2015).

5.2.3 Beschneigung

Eine Besonderheit des Wasserverbrauchs im Oberengadin sind die hohen Verbrauchsmengen für die technische Beschneigung von Skipisten, Langlauf-Loipen sowie Bob- und Eisbahnen. Das von den Bergbahn-Betrieben eigens gefasste Quell- und Bachwasser kann den Bedarf nicht decken, weshalb diese auch Wasser aus dem Trink- und Brauchwassersystem oder Grundwasserkörper nutzen, welches in die Beschneigungsgebiete gepumpt wird (Lanz 2016). Aus diesem Grund kann es zu kritischen Versorgungssituationen und somit Interessenskonflikten zwischen Trinkwasserversorgung und Beschneigung kommen (Aliesch und Hartmann 2017). Aliesch & Hartmann (2017) empfehlen deshalb eine strikte Trennung dieser zwei Fassungssysteme. Gemäss Raumordnung des Kantons Graubünden sind Beschneigungsanlagen stets der Trinkwasserversorgung und der Löschbereitschaft untergeordnet (Bär u. a. 2019). Auch Bergbahn-Betriebe müssen gemäss GSchG

Art. 29-34 die Anforderungen für die Wasserentnahme erfüllen. Nur ein geringer Teil des verbrauchten Wassers wird in den Wintermonaten gefasst und direkt verschneit; der Grossteil wird in künstlichen Seen gespeichert, damit es in den kälteren Monaten Oktober bis Dezember zur Verfügung steht (Aliesch und Hartmann 2017). Laut Lanz (2016) kann der Wasserverbrauch durch die Beschneigung wegen der komplexen Zusammensetzung der Bezugsmengen nicht exakt bestimmt werden. Auf der Basis der beschneiten Pistenfläche und des durchschnittlichen flächenspezifischen Wasserverbrauchs konnten einige Gruppen der Teilanalyse Wassernutzung den Wasserverbrauch für die Beschneigung abschätzen, welcher sich je nach Prämissen auf 1–3 Millionen Kubikmeter pro Jahr beläuft (Bär u. a. 2019; Graff u. a. 2019). Diese Ergebnisse widersprechen den Daten zu den für die Beschneigung maximal bewilligten Bezugsmengen (siehe Tabelle 5.3), was die Verlässlichkeit der Daten in Frage stellt (Bär u. a. 2019).

Tabelle 5.3

Wasserbedarf für die Beschneigung nach maximalen bewilligten Bezugsmengen nach Gemeinde (Aliesch und Hartmann 2017:9).

Gemeinde	Trinkwasser [m ³ /s]	Grundwasser [m ³ /s]	Quellen [m ³ /s]	Verwendung
Bregaglia (Maloja)	9 000			Langlauf-Loipe, Ponylift
Sils	20 000			Skigebiet
Silvaplana			Keine Angaben	
St. Moritz		150 000		
Pontresina			Keine Angaben	
Celerina		160 000	40 000	Skigebiet, Langlauf-Loipe
Samedan	45 000			Langlauf-Loipe, Winterfahrtraining, Skilift
Bever				Langlauf-Loipe in Zukunft
La Punt-Chamues-ch	1 000			Langlauf-Loipe
Madulain	5 000			Eisplatz
Zuoz		50 000		Skipiste, Langlauf-Loipe
S-chanf	3 600			Langlauf-Loipe
Total	83 600	360 000	40 000	
Total alles /gerundet)		480 000		

5.2.4 Klimawandel

Etablierte Klimaszenarien rechnen für den Kanton Graubünden mit einem Temperaturanstieg von 1–3° C im Zeitraum 2015 bis 2060 (ANU 2015). Der WSL analysierte die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Engadiner Inns: Aufgrund des Temperaturanstiegs werden Niederschläge in Form von Schnee seltener werden und schneebedeckte Flächen werden abnehmen. Durch die Änderung des Niederschlagsgeschehens, die Zunahme der Verdunstung und den Rückgang der Gletscher werden die jährlichen Abflussmengen im Einzugsgebiet des Inns bis 2050 um 5% und bis 2099 um 15% zurückgehen. Im Winter werden die Abflüsse steigen, weil es mehr Niederschlag in Form von Regen anstelle von Schnee geben wird. Im Sommer werden die Abflüsse durch das Ausbleiben des Schnee-Schmelzwassers, besonders stark (bis zu 30% bis 2050) zurückgehen (vgl. Bernhard, Rücker, und Zappa 2015).

Was diese Veränderungen für die verschiedenen Sektoren der Wassernutzung bedeuten, konnte in den Teilanalysen meist nur abgeschätzt werden. Die Abflusszunahme im Winter könnte sich positiv auf die Wasserkraftnutzung auswirken, da die höheren Pegelstände eine höhere Stromproduktion erlauben würden (Graff u. a. 2019). Ausserdem wird der Energieverbrauch für Heizungen durch die steigenden Temperaturen zurückgehen (ANU 2015). Laut Lanz (2016) könnte der Rückgang in der Wasserverfügbarkeit im Sommer lokal zu Engpässen in der Trink- und Brauchwasserversorgung führen. Mit einem Zusammenschluss der einzelnen kommunalen Trinkwassersysteme könnte dem entgegengewirkt werden (Lanz 2016). Der Rückgang des Schnee-Niederschlags wird den Bedarf nach technischer Beschneigung erhöhen und die Temperaturzunahme den Beschneigungszeitraum verkürzen. Dadurch wird die technische Beschneigung eine immer grössere Herausforderung, auf welcher mit dem Ausbau der Speicherseen und des Fassungssystems reagiert werden kann (vgl. Lanz 2016).

5.3 Diskussion

Bei der Wassernutzung im Oberengadin gilt es, das Wasser, das für die Nutzung gefasst wird (Trink- und Brauchwasser, Beschneigung) und Wasser, welches im natürlichen Kreislauf genutzt wird (Energieerzeugung) zu unterscheiden. So muss Trinkwasser nach der Nutzung aufbereitet werden während in Wasserkraftwerken turbiniertes Wasser direkt in den natürlichen Kreislauf zurückgespeist wird und flussabwärts wieder für ein weiteres Kraftwerk zur Verfügung steht. Eine quantitative Gegenüberstellung wie in Abbildung 5.1 ist aus diesem Grund problematisch und wegen der unterschiedlichen Folgen der Nutzungsarten wenig aussagekräftig.

Mengenmässig am meisten Wasser wird für die Energieerzeugung genutzt. Zwei Wärmepumpen liefern in der Energiestadt St. Moritz Fernwärme für einige grössere Abnehmer. Wie ihr Beitrag an die Energieversorgung der Region sind vermutlich auch ihre ökologischen Folgen vernachlässigbar. Die acht Laufkraftwerke im Oberengadin zählen als Kleinwasserkraftwerke mit geringer Turbinenleistung und können nur einen geringen Anteil der lokalen Stromnachfrage decken. Folglich stellt sich die Frage, ob angesichts der Einwirkungen auf die Fliessgewässer-Morphologie und dessen Lebensräume die ökologischen Kosten den Nutzen dieser Kleinwasserkraftwerke übersteigen. Diese Frage kann schlecht beantwortet werden, weil nicht geklärt werden konnte, ob die gesetzlichen Vorschriften zur Eindämmung der ökologischen Folgen im Oberengadin eingehalten werden. Durch den Klimawandel könnte jedoch die Wasserkraft auch im Winter bei höherem Abfluss einen grösseren Beitrag leisten. Die angeordnete Sanierung der Anlagen und dazugehöriger Restwasserstrecken wurde trotz Fristablauf teilweise noch nicht vollzogen.

Die Quantifizierung des Trink- und Brauchwasserverbrauchs stellte sich durch mangelnde und unverlässliche Daten als sehr schwierig heraus. Grund dafür sind die fehlende Transparenz, die unsystematische Erfassung der Bezugsmengen und die verbrauchsunabhängige Verrechnung des Verbrauchs, welche keine Anreize zur Reduktion der Bezugsmengen schafft. Der Pro-Kopf-Trinkwasserbedarf im Oberengadin ist höher als im schweizerischen Durchschnitt, was auf die grosse Bedeutung des Tourismus in der Region zurückzuführen ist. Dieser Einfluss ist vor allem an dem stark saisonal fluktuierenden Trink- und Brauchwasserbedarf zu erkennen, welcher in der touristischen Hauptsaison im Winter ein Maximum zeigt. Trotzdem ist der Trink- und Brauchwasserbedarf im Oberengadin derzeit über das gesamte Jahr gedeckt. In Zukunft könnte es jedoch durch den Klimawandel in den Sommermonaten lokal zu Engpässen kommen. Sollte der Sommertourismus im Oberengadin in Zukunft an Bedeutung gewinnen, wird der Druck auf die Trinkwasserversorgung im Sommer zusätzlich steigen.

Unabhängig vom Trink- und Brauchwassersystem fassen Bergbahnbetreiber Quell- oder Bachwasser für die technische Beschneigung von Pisten und Langlaufloipen. Teilweise wird auch aus dem Grundwasser und aus dem Trinkwassersystem Wasser für die Beschneigung entnommen, was jedoch zu Konflikten führen kann. Mit dem Klimawandel wird der Bedarf nach Beschneigungswasser zunehmen, da der natürliche Schnee vor allem in tieferen Lagen ausfallen wird. Dieser Trend hat sich schon in den letzten Jahren abgezeichnet, als die Fassungs- und Speichervermögen der Beschneigungsanlagen ausgebaut wurden, damit in der immer kürzer werdenden Beschneigungsperiode genügend Wasser zur Verfügung steht. Welche Auswirkung der Klimawandel auf die Tourismusbranche im Oberengadin generell haben wird, lässt sich schwer abschätzen. Der Wintertourismus könnte unter Schneemangel leiden, wogegen die hohe Lage der Oberengadiner Skigebiete spricht. Der Sommertourismus könnte aufgrund der zunehmenden sommerlichen Hitze in den Städten einen Zuwachs verzeichnen.

5.4 Schlussfolgerungen

Die Teilanalyse Wassernutzung zeigt auf, dass das Wasserdarangebot im Oberengadin die Nachfrage der verschiedenen Nutzungsarten decken kann. Es wird in der zweiten Hälfte des 21. Jh. jedoch wichtig, die Engpässe in der Trinkwasserversorgung im Auge zu behalten. Dabei könnten sich gemeindeübergreifende Lösungen als vorteilhaft erweisen, da die Wassernutzung zwischen Gemeinden variiert. Ausserdem sollten Bezugsmengen in jedem Sektor der Wassernutzung in Zukunft besser erfasst und transparenter kommuniziert werden.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass der Tourismus im Oberengadin die Hauptrolle bei der Wassernutzung spielt. Einerseits ist der Tourismus für die saisonalen Nachfrageschwankungen im Trinkwasserbedarf verantwortlich und andererseits gehören die Bergbahn-Betriebe wegen der technischen Beschneigung zu den wichtigsten Wasserverbrauchern. Steigender Bedarf an technischer Beschneigung und ein gleichzeitiger Rückgang des Beschneigungszeitraumes werden die Bergbahn-Betriebe und den Tourismus in Zukunft vor grossen Herausforderungen stellen. Hinzu kommt der Konflikt zwischen der Nutzung des Wassers für die Beschneigung und der Trinkwassernutzung, welcher sich durch den Klimawandel verschärfen könnte.

Die Oberengadiner Kleinwasserkraft trägt nur einen kleinen Beitrag zum Strommix des Oberengadins bei. Ob die Vorschriften zur Eindämmung der ökologischen Auswirkungen der Wasserkraftwerke eingehalten werden, muss Ziel zukünftiger Untersuchungen sein. Denn nur so kann beurteilt werden, ob der Nutzen der Kleinwasserkraft dessen Kosten übersteigen.

6 Wasserqualität und -entsorgung

6.1 Einleitung

Die Schweiz ist aufgrund ihrer hohen Süßwasservorräte als «Wasserschloss Europas» bekannt (BAFU 2019f). Als Oberlieger hat die Schweiz die Verantwortung, die nachhaltige Nutzung der grenzüberschreitenden Gewässer zu gewährleisten (BAFU 2019f). Lokal ist der nachhaltige Umgang mit den Gewässern ebenfalls von grosser Wichtigkeit: insbesondere die Trinkwasserversorgung, die Landwirtschaft und die Wirtschaft sind von einer hohen Qualität der Gewässer abhängig. In vielen Schweizer Bergregionen ist der Tourismus der grösste Wirtschaftszweig. So ist auch das Oberengadin stark von sauberen Gewässern für die Vermarktung der Region und den Winter- sowie Sommersport angewiesen. Durch den Klimawandel steht die sensible und endliche Ressource allerdings immer mehr unter Druck. Im Oberengadin ist eine fortschrittliche und gut organisierte Abwasserentsorgung daher essentiell für die Aufrechterhaltung der Wirtschaft und des Wohlbefindens der Bevölkerung (vgl. Antoniutti et al. 2019).

Diese Arbeit untersucht das nachhaltige Gewässermanagement in Bezug auf die Wasserqualität und -entsorgung in Zeiten des Klimawandels am Beispiel des Inns. Geografisch beschränkt sich die Arbeit auf Oberflächengewässer im Oberengadiner Einzugsgebiet des Inn und die Oberengadiner Seenplatte (Malojapass bis S-chanf). Konkret werden folgende Fragestellungen beantwortet:

- Wie ist die Wasserqualität der Oberengadiner Gewässer zu beurteilen und wie ist die Wasserentsorgung organisiert?
- Welche Stakeholder beeinflussen das Thema bzw. sind davon betroffen (inkl. wer profitiert/zahlt dafür)? (in separatem Kapitel)
- Welches sind dazu die massgebenden gesetzlichen Grundlagen? (in separatem Kapitel)
- Wie wird sich die Situation durch den Klimawandel verändern?
- Welche Rolle spielt der Tourismus?

6.2 Resultate

6.2.1 Organisation der Wasserentsorgung

Verteilung und Funktionsweise der ARAs

Die Abwasserentsorgung im Oberengadin ist heute durch fünf zentrale Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) gewährleistet (ARO 2016). Der Standort der fünf ARAs ist in Abbildung 6.1 ersichtlich. Nach der Reinigung gelangt das Abwasser der ARA Maloja und der ARA Silvaplana in den Silser- bzw. den Champfärersee (Deplazes, Blaser, und Quirin 2012). Das gereinigte Abwasser der restlichen ARAs Staz, Sax und Furnatsch wird in das Ausgleichsbecken Ova Spin des lokalen Elektrizitätskraftwerks (EKW) geleitet (Deplazes u. a. 2012).

Das Abwasser durchläuft in den fünf ARAs drei verschiedene Reinigungsstufen: die mechanische, biologische und chemische Reinigungsstufe (AWEL, 2006). In Abbildung 6.2 ist die Funktionsweise der fünf ARAs visualisiert. Die mechanische Stufe dient der Entfernung von Feststoffen (Blaser 2019a). In der biologischen Stufe werden N-Verbindungen über die Nitrifizierung durch Bakterien und Mikroorganismen abgebaut und als Klärschlamm oder Belebtschlamm aus dem System entfernt (VTA Engineering und Umwelttechnik GmbH o. J.). In der chemischen Stufe wird Phosphat durch Fällmittel (z.B. Aluminium- oder Eisensalzen) aus dem Abwasser eliminiert (AWEL 2006).

Herausforderungen

Diese Organisation der Abwasserreinigung sieht sich mit drei grösseren Herausforderungen konfrontiert: (1) dem zunehmenden Sanierungsbedarf der Anlagen, (2) der Gewährleistung der Nitrifikation und (3) dem Umgang mit den saisonalen Abwasserschwankungen (Deplazes 2003). Bezüglich (1) dem hohen Alter



Abbildung 6.1
Verteilung der ARAs im Oberengadin (Delbeke et al. 2019, basierend auf Tschubby 2019).

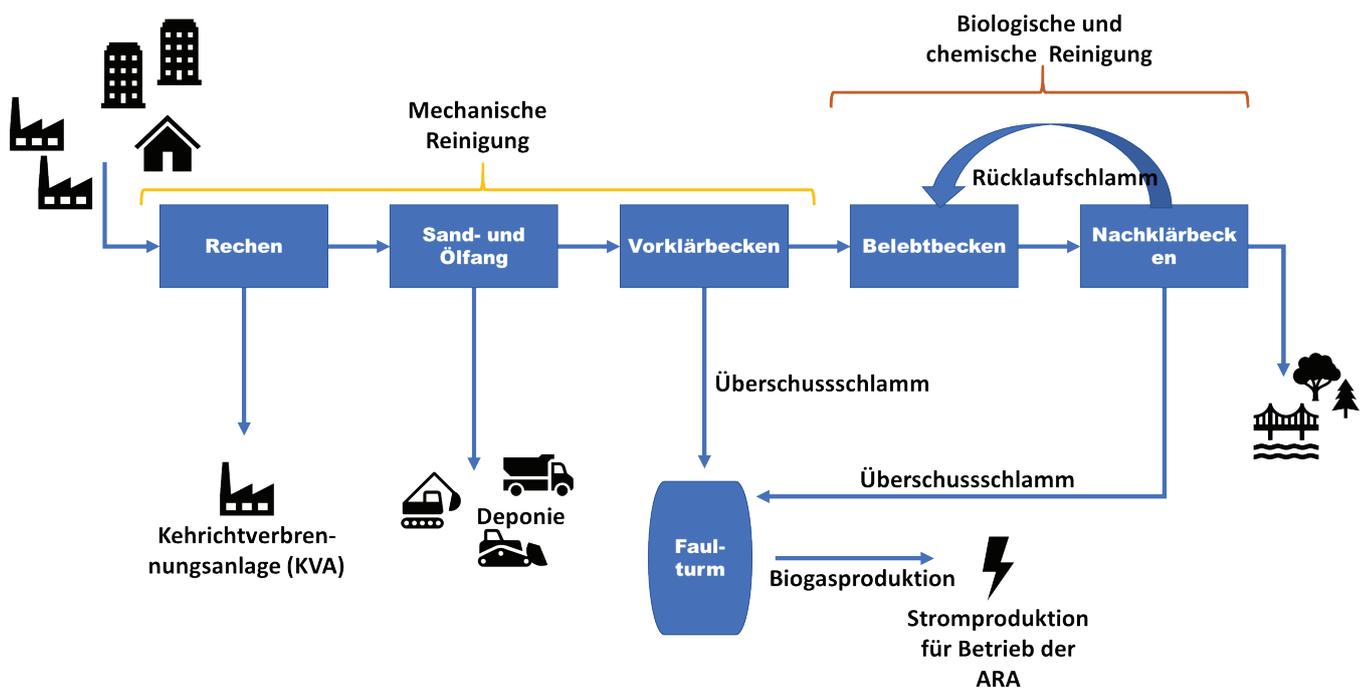


Abbildung 6.2 Funktionsweise einer Kläranlage (Barranco et al. 2019, basierend auf AWEL 2006; VTA Engineering und Umwelttechnik GmbH n.d.).

der Anlagen ist hervorzuheben, dass einige der heutigen Anlagen den mittlerweile revidierten gesetzlichen Anforderungen nicht mehr gerecht werden (ARO 2016). Gleichzeitig wäre die Sanierung und Aufrechterhaltung der ARAs mit hohen Kosten verbunden (ARO 2016). Dementsprechend erfüllen die ARAs auch (2) die gesetzliche Anforderungen bezüglich der Nitrifikation im Winterhalbjahr nicht (Blaser 2019b). Die Nitrifikation ist während der touristischen Wintersaison aufgrund der niedrigen Temperaturen und dem dadurch gehemmten Wachstum der Bakterien ungenügend (AWEL 2006). Dies ist problematisch, da die giftigen Zwischenprodukte der Nitrifikation NH_4 und NO_2 bei ungenügender Verdünnung im Gewässer zu einem Fischsterben führen können (AWEL 2006). Die Abwasserreinigung wird zusätzlich durch (3) die Schwankungen der Abwasserlast innerhalb eines Jahres erschwert (Deplazes u. a. 2012). Grund für die saisonale Variation der Schmutzstofffracht im Oberengadin sind einerseits die steigenden Einwohnerwerte durch Touristinnen und Touristen während den Hauptsaisons und andererseits die schwankende Wassermenge im Inn (Deplazes u. a. 2012; Hug, Mendler, und Ospelt

2016). Die Abflussmengen des Inns sind wichtig, da das Wasser die verschiedenen Schadstoffe im Abwasser verdünnt (Deplazes u. a. 2012). Der Inn hat vor allem im Frühjahr, aufgrund der Schneeschmelze und dem zunehmenden Niederschlag in Form von Regen, einen hohen Abfluss (Deplazes u. a. 2012). Somit fällt der Peak der Schmutzstofffracht (insbesondere in der Wintersaison) nicht mit dem höchsten Wasserstand des Inns zusammen (Hagenbach 2012).

Entwicklungen im Oberengadin

Als Hochwasserschutzmassnahme der Gemeinde Samedan wurde 2000 die Mündung des Flusses Flaz in den Inn flussabwärts verlegt. Folglich wurde die Wasserführung des Inns von der alten bis zur neuen Flazmündung um die Wassermenge des Flaz reduziert, wodurch die Verdünnung des Abwassers aus der ARA Staz nicht mehr genügend gewährleistet werden konnte. Aus diesem Grund und aufgrund der oben genannten Herausforderungen wurde das bestehende Kläranlagenkonzept überarbeitet. Insbesondere zwei Projekte wurden gestartet: Einerseits wurde ein Ab-

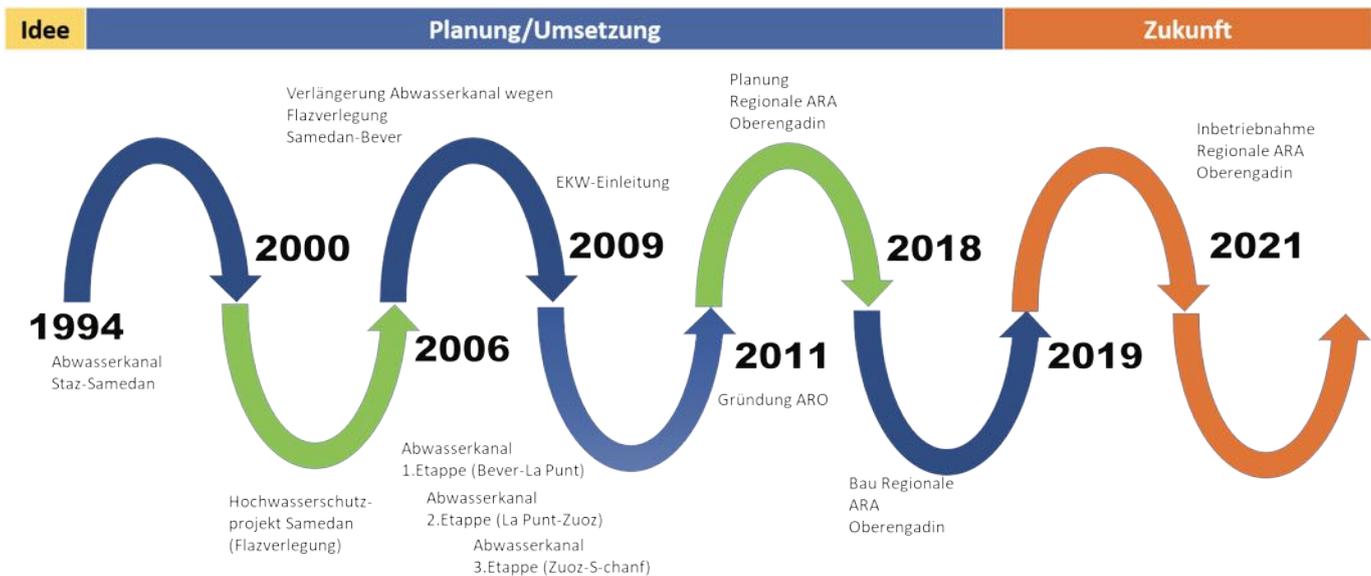


Abbildung 6.3

Zeitverlauf zur Entwicklung der Abwasserreinigung im Verbund der heutigen ARO (Barranco et al. 2019, basierend auf ARO 2016).

wasserkanal von Celerina nach S-chanf gebaut und andererseits wurde der Bau einer neuen ARA in S-chanf gestartet. Abbildung 6.3 gibt einen Überblick über die Entwicklungen der Abwasserorganisation im Oberengadin seit 1996 (vgl. Deplazes 2003).

Durch den neuen Abwasserkanal wird das gereinigte Abwasser der ARAs Staz, Sax und Furnatsch nicht mehr in den Inn, sondern in die Freispiegelstollen des EKW in S-chanf zur Stromproduktion eingeleitet. Erst bei der österreichischen Grenze wird das gereinigte Abwasser wieder in den Inn geleitet. Auf diese Weise bleibt der Inn im Oberengadin praktisch frei von Abwasser. Zudem kann die Ammoniumfracht verringert werden, da im Abwasser in den Stollen des EKW eine natürliche Nitrifikation abläuft (vgl. Deplazes et al. 2012). Das Abwasser der ARA Silvaplana wird weiterhin in den See geleitet, das Abwasser der ARA Maloja hingegen seit 2019 in die ARA Bregaglia im Bergell (Blaser 2019c).

Zusätzlich ist geplant, 2021 eine neue ARA in S-chanf in Betrieb zu nehmen (Blaser 2019b). Diese soll die drei alten ARAs Staz, Sax und Furnatsch effizient ersetzen (ARO 2016). Gebaut wird die ARA Oberengadin durch einen Verbund der betroffenen Gemeinden mit dem Namen «Verbund Abwasserreinigung Oberengadin» (ARO) (ARO 2019). Die neue ARA soll die Nitrifikation ganzjährig gewährleisten und die Phosphatfällung mittels biologischem Fällmittel betreiben (ARO 2016). Zudem wird sie modular gebaut werden, um den Reinigungsanforderungen trotz den Abwasserschwankungen gerecht zu werden (ARO 2016; Blaser 2019b).

6.2.2 Beurteilung der Wasserqualität

Für die Untersuchung und Beurteilung von Oberflächengewässern unterscheidet man chemische, physikalische und biologische Messgrößen. Zu den chemischen Messgrößen gehören hauptsächlich N- und P-Verbindungen (z.B. PO_4 , NH_4^+ , NO_2^-). Zusätzlich unterscheidet man beim organischen Kohlenstoff «dissolved organic carbon» (DOC) sowie «total organic carbon» (TOC), wobei letzteres partikulär gebundene organische Kohlenstoffanteile einschliesst, welche unter anderem in ARAs entstehen können (Liechti 2010). Zu den physikalischen Messgrößen zählt man unter anderem die Temperatur und den mittleren Abfluss (vgl. Liechti 2010). Zu den biologischen Messgrößen gehören Indikatorarten der aquatischen Flora und Fauna, wie zum Beispiel Makrozoobenthos (BAFU 2019b). Zusätzlich können Mikroverunreinigungen und Mikroplastik die Gewässerqualität beeinflussen (Büeler u. a. 2019; Eisenhut 2019). Die Analysen dieser Schadstoffquellen sind jedoch ungenügend und ihre Auswirkungen sind zurzeit noch schlecht untersucht (Fehr 2019).

Seit dem Bau des in Kapitel 6.2.1 beschriebenen Abwasserkanals nach S-chanf hat sich sowohl die Abwasserfracht in den Inn, als auch das Wasservolumen desselben verändert (Antoniutti u. a. 2019). Die Werte des Gesamt-Phosphors, Gesamt-Stickstoff sowie des organischen Kohlenstoffs sind seit dem Bau des Abwasserkanals im Inn bei S-chanf gesunken (Antoniutti et al. 2019, basierend auf NADUF 2018). Die Schwankungen der Abwasserfrachten im Inn bleiben bestehen (siehe Tabelle 6.1). Am Beispiel

Tabelle 6.1

Einfluss der saisonalen Variation auf die Stoffkonzentrationen des Inn im Jahr 2017 (Antoniutti u. a. 2019; basierend auf NADUF 2018).

Saison	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Weihnachten
Temperatur (BAFU) [° C]	1.05	6.79	9.53	5.88	0.42
Mittlerer Abfluss [Mio m ³]	4.08	24.32	38.54	16.45	5.11
pH (eawag)	7.41	7.72	6.82	6.81	8.00
Nitrat [mg N/l]	0.32	0.27	0.21	0.24	0.30
N _{tot} [mg N/l]	0.32	0.28	0.25	0.26	0.30
DRP [mg P/l]	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
P _{tot} [mg P/l]	0.006	0.016	0.063	0.016	0.006
Sulfat [mg SO ₄ /l]	126.43	62.99	28.36	65.65	106.77
TOC [mg C/l]	1.36	1.27	1.05	0.97	1.64
DOC [mg C/l]	0.77	0.82	0.52	0.73	0.92

des Jahres 2017 wird ersichtlich, dass Stickstoff-Verbindungen und TOC im Winter in höheren Konzentrationen vorliegen als in anderen Jahreszeiten (insbesondere Weihnachten) (Antoniutti et al. 2019, basierend auf NADUF 2018). Dies lässt sich auf den erhöhten Tourismus, den geringeren Wasserstand des Inns und der durch die tiefen Temperaturen beeinträchtigten Nitrifikation zurückführen (AWEL 2006; Deplazes u. a. 2012; Hug u. a. 2016). Im Gegensatz dazu ist die Phosphorkonzentration kleiner im Winter, die Konzentration von DOC bleibt in allen Monaten etwa ähnlich (Antoniutti et al. 2019, basierend auf NADUF 2018). Anhand der biologischen Indikatoren, genauer gesagt den Makrozoobenthos-Beständen, wurde der ökologische Zustand der Gewässer als gut befunden (BAFU 2019b). Allerdings ist die Äschenpopulation im Inn und die Seesaiblingpopulation in den Seen trotz der verbesserten Gewässerqualität gesunken (AJF 2018). Da die Grenzwerte der Schadstoffe im Inn nicht überschritten werden, kann die Gewässerqualität als gut beurteilt werden (BAFU 2019e). Dies gilt allerdings nicht für das gereinigte Abwasser, bevor es in das EKW eingeleitet wird: Berechnungen der Teilanalyse Gruppe 4 basierend auf ANU (2019e) zeigen, dass die Anforderungen an gereinigtes Abwasser bei der Einleitung für die Ammonium- und Nitrit-Konzentration nicht eingehalten werden.

Die Qualität der vier Oberengadiner Seen ist gut: Sowohl die chemischen als auch physikalischen Messgrößen sind unter den empfohlenen Grenzwerten (Vogel u. a. 2017). Allerdings ist die Sauerstoffkonzentration des St. Moritzersees und des Champfèrersees kritisch (Limnex AG 2017). Die Biomasse in den Seen ist durch die gesunkene Phosphorkonzentration zurückgegangen,

welche 1960 durch den Verbot von Phosphor in Waschmittel und einer verbesserten Siedlungsentwässerung erreicht wurde (Vogel u. a. 2017). Die Seen werden heute alle als oligotroph (nährstoffarm) beurteilt (Vogel u. a. 2017).

6.2.3 Einfluss des Klimawandels

Die Temperatur in der Schweiz ist infolge des Klimawandels bereits um 1.5° C angestiegen und wird in Zukunft weiter zunehmen (Schädler, Blanc, und Volken 2012). Die Auswirkungen des Temperaturanstiegs für das Oberengadin sind divers: Einerseits muss mit einer früheren und kleineren Schneeschmelze gerechnet werden (Scherrer u. a. 2013). Entsprechend wird auch die Gletscherschmelze verstärkt (Bogdal u. a. 2009). Langfristig wird der Gletscherwasseranteil des Gesamtabflusses dadurch sinken (Lanz 2016). Andererseits wird sich der Niederschlag verändern (Schär und Fischer 2016). Im Sommer ist mit einem Rückgang der Niederschläge zu rechnen und im Winter mit einem Anstieg von Niederschlag in Form von Regen (National Centre for Climate Services 2019). Zudem werden Starkniederschlagsereignisse häufiger und intensiver auftreten (Rajczak, Pall, und Schär 2013). Basierend auf den genannten Punkten wird prognostiziert, dass der Abfluss im Winter zunimmt und im Sommer abnimmt (Köplin u. a. 2012). Der Höchstwert des Abflusses wird kleiner sein und früher im Jahr erreicht werden (Köplin u. a. 2012). Über das ganze Jahr hinweg hat die Gesamtabflussmenge des Inns bis 2002 abgenommen und wird voraussichtlich weiter abnehmen, obwohl die geringeren Niederschläge im Sommer zurzeit noch teilweise mit den Reserven aus den Gletschern kompensiert werden können (Schädler u. a. 2012).

Für die Wasserqualität ist insbesondere relevant, dass die Gewässer aufgrund der geringeren Wassermenge anfälliger auf Verschmutzungen werden, weil Schadstoffe bei kleineren Wassermengen in den Gewässern weniger verdünnt werden (Lanz 2016). Ausserdem werden durch Starkniederschläge Schad- und Schmutzstoffe in die Gewässer getragen und die verstärkte Gletscherschmelze kann langlebige organische Schadstoffe (POP) freisetzen, die momentan in den Gletschern gebunden sind (Bogdal u. a. 2009). Diese Punkte müssen bei der Organisation der Wasserentsorgung berücksichtigt werden, da sich bei der Einleitung des gereinigten Abwassers in die Gewässer entsprechend auch die Konzentrationen der Nähr- und Schadstoffe erhöhen (Blaser 2019c). Zudem erwartet das Engadin im Sommer wie auch im Winter mehr Touristinnen und Touristen, was einen zusätzlichen Druck auf die Wasserentsorgung ausübt (Blaser 2019b). Weder die steigende Anzahl Touristinnen und Touristen, noch die prognostizierten Szenarien von den Klimamodellen wurden in die Planung der ARA Oberengadin miteinbezogen (Blaser 2019c). Allerdings wurde die neue ARA modular aufgebaut, um Abwasserschwankungen bewältigen zu können (Blaser 2019b). Zudem verfügt der neue Standort über genügend Baufläche, um Anpassungen vornehmen zu können, falls es zu einer starken Erhöhung des Abwassers kommen würde (Blaser 2019c).

6.2.4 Die Rolle des Oberengadins als Oberlieger

Unter Oberlieger Verantwortung versteht man die Verantwortung, die eine Region gegenüber den Ortschaften weiter flussabwärts hat. Diese Verantwortung begründet sich auf internationalem Recht, nach dem das aus der Schweiz fliessende Wasser genauso den Unterliegern gehört (Lanz 2009). Im Beispiel vom Inn hat das Oberengadin die Verpflichtung gegenüber dem Unterengadin, sowie später auch unter anderem gegenüber Österreich und Deutschland, den Inn nicht zu verschmutzen (Lanz 2009). Die ARAs müssen demzufolge einige europaweit geltende Gesetze bezüglich der Abwasserqualität einhalten (vgl. Artikel 4, 5 EWG 1991). Da die Höchstwerte der EU höher liegen als die der Schweiz, wird bei der Einhaltung der Schweizer Richtlinien auch die Oberliegerverantwortung erfüllt (vgl. Artikel 4, 5 EWG 1991). Abgesehen von den Stickstoff-Konzentrationen werden die Höchstwerte von den ARAs im Oberengadin bei der Einleitung ins EKW bei S-chanf eingehalten (vgl. Kapitel 6.2.2). Das Abwasser hat allerdings ein gewisses Selbstreinigungsvermögen, hält sich lange im EKW auf und wird bei dessen Durchlauf mehrmals verdünnt. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass auch die Stickstoff-Werte nach dem EKW bei der Rückführung des Abwassers in den Inn eingehalten werden (Deplazes 2003). Die Qualität des Inns bei S-chanf, kurz bevor er in das Unterengadin fliesst, entspricht immer den gesetzlichen Anforderungen (siehe Kapitel 6.2.2).

6.3 Diskussion

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Teilanalysen sind:

6.3.1 Momentan gute Wasserqualität im Oberengadin

Obwohl das Oberengadin mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert ist, namentlich dem zunehmenden Sanierungsbedarf der Abwasseranlagen, der ungenügenden Nitrifikation und dem Umgang mit den saisonalen Abwasserschwankungen, wurde mit Massnahmen zur Verbesserung erfolgreich reagiert. In den Seen der Oberengadiner Seenplatte werden die chemischen, physikalischen sowie biologischen Messgrössen eingehalten, mit Ausnahme des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser des St. Moritzer- und Champfèrersees. Die Wasserqualität des Inns wird ebenfalls als sehr gut bewertet. Durch den Bau des Ableitkanals konnte der Inn bis S-chanf abwasserfrei gehalten werden. Zudem fördert der Kanal den Selbstreinigungseffekt des Abwassers, wobei die noch vorhandenen Schadstoffe im Abwasser (insbesondere der Gesamtstickstoff, Ammonium und Nitrit) im EKW durch die Verdünnung, Rückhalte- und Abbauprozesse weiter vermindert werden. Daher wird angenommen, dass die Wasserqualität bei der Wiedereinleitung in den Inn gewährleistet ist und das Oberengadin seine Oberliegerverantwortung wahrnimmt. Mit der neuen ARA Oberengadin soll die Wasserentsorgung weiter verbessert werden.

6.3.2 Die neue ARA Oberengadin kann die Veränderungen durch den Klimawandel abfangen

Die neue ARA Oberengadin ist durch ihren modularen Aufbau und der zusätzlich vorhandenen Baufläche voraussichtlich für den Klimawandel gewappnet. Man geht davon aus, dass in beiden Saisons mehr Touristinnen und Touristen das Engadin besuchen werden, was die Abwassermengen erhöht. Zudem soll sich der Wasserabfluss des Inns für die Wasserentsorgung nachteilig verändern: Einerseits werden Starkniederschläge sowie Schnee- und Gletscherschmelze voraussichtlich zunehmen, wodurch vermehrt Schad- und Schmutzstoffe angeschwemmt werden. Andererseits soll im Sommer der Abfluss abnehmen und der Verdünnungsfaktor der Schadstoffe somit vermindert werden. Dadurch wird das Einhalten der Richtwerte schwieriger. Durch die mögliche Temperaturzunahme der Gewässer wird das Einhalten der Richtwerte zusätzlich erschwert, da gewisse Richtwerte von der Wassertemperatur abhängig sind (z.B. Ammoniumkonzentration). Diese Voraussagen stützen sich rein auf Prognosen und Klimamodelle, welche sich je nach gewählter Studie unterscheiden und eine gewisse Unsicherheit aufweisen.

6.3.3 Die Gewässer des Oberengadins sind weiteren Belastungen ausgesetzt, welche zurzeit zu wenig berücksichtigt werden

Einige Inputs in die Gewässer werden zurzeit vernachlässigt, obwohl sie einen erheblichen Einfluss auf die Gewässerqualität haben können. Dies, da die betreffenden Stoffe schwer quantifizierbar sind oder keine Daten vorliegen. Problematisch sind vor allem Mikroverunreinigungen. Diese sind enorm divers bezüglich Herkunft und Wirkung. Ausserdem sind sie schwer messbar und ihre Auswirkungen auf die Umwelt sind noch weitgehend unbekannt. Es gibt weder gesetzlich verankerte Grenzwerte zu Mikroverunreinigungen noch Messungen im Inn respektive in der Oberengadiner Seeplatte. Im Gesetz sind Massnahmen zur Verminderung von Mikroverunreinigungen vorgesehen. Diese sind für das Oberengadin aber nicht relevant, da die Bevölkerungsgrösse im Einzugsgebiet des Inns zu klein ist. Dabei wird jedoch die Anzahl Touristinnen und Touristen nicht berücksichtigt. Es werden momentan keine Massnahmen zur Elimination/Verminderung von Mikroverunreinigungen im Oberengadin unternommen. Obwohl die Wasserqualität des Inns als sehr gut beurteilt wurde, könnte es demzufolge sein, dass Mikroverunreinigungen oder andere unberücksichtigte Schadstoffe die Gewässer und die Umwelt erheblich verschmutzen. Die Verantwortung diesbezüglich Gesetze zu erlassen, liegt beim Bund (vgl. Toscano 2016).

6.3.4 Trotz verbesserter Gewässerqualität konnte das Fischsterben nicht gestoppt werden

Trotz des Baus des neuen Ableitkanals nimmt die Äschenpopulation im Inn und die Seesaiblingpopulation in den Oberengadiner Seen weiter ab. Die vier Teilanalysen liefern verschiedene Erklärungsansätze. Darunter fallen zum Beispiel: Einfluss von Schwall und Sunk der EKWs, erhöhte POP-Konzentration durch Gletscherschmelze, innerartliche Konkurrenz und Abnahme der Phosphorkonzentration in den Seen durch verbesserte Wasserentsorgung. Während der Rückgang der Seesaiblingpopulation hauptsächlich mit dem Nährstoffrückgang von Phosphor erklärt werden kann, sind die Gründe für den Rückgang der Äschen ungewiss (Mazetta 2019; Vogel u. a. 2017). Um den Populationsrückgang zu verstehen, müssen demzufolge weitere artspezifische Faktoren neben den Anforderungen an die Wasserqualität beachtet werden.

6.4 Schlussfolgerungen

Die Schweiz als «Wasserschloss Europas» trägt eine gewisse Verantwortung die nachhaltige Nutzung der grenzüberschreitenden Gewässer zu gewährleisten. Für viele Bergregionen ist der Tourismus der Haupteinfluss auf die Wasserqualität und -entsorgung. Die Bergregion Oberengadin hat die Wichtigkeit des nachhaltigen Umgangs mit der Ressource Wasser anerkannt und diverse Schritte zur Verbesserung der Wasserqualität und -entsorgung eingeleitet. Durch den Bau des neuen Abwasserkanals und der neuen ARA Oberengadin konnten grosse Verbesserungen erreicht werden. Der Oberengadin nimmt somit eine Vorbildfunktion für andere Bergregionen ein.

Nichtsdestotrotz werden in Zukunft neue Herausforderungen für die Wasserqualität und -entsorgung im Oberengadin aufkommen. Der Wasserhaushalt im Oberengadin und die Belastungen des Wassers durch Schmutzstoffe werden sich durch die Folgen des Klimawandels voraussichtlich verändern. Insbesondere müssen folgende Punkte weiter erforscht werden:

1. Genauere Vorhersagen zum Ausmass des Klimawandels auf die Ressource Wasser im Oberengadin,
2. verbesserte Messungen und Überwachung der Stoffeinträge in die Oberengadiner Gewässer um Massnahmen standort- und zeitgerecht umsetzen zu können (z.B. durch eine erhöhte Anzahl von Messstationen oder Berücksichtigung von diffusen Schadstoffquellen),
3. der Einfluss von Mikroverunreinigungen und anderen bisher unberücksichtigten Stoffeinträgen auf die Wasserqualität und
4. mögliche Synergien zwischen der Wasserentsorgung und der nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser (z.B. Nutzung des gereinigten Abwassers in der Landwirtschaft).

Falls das Oberengadin neue Erkenntnisse laufend einbezieht und eine gute Balance zwischen den verschiedenen Interessen der betroffenen Stakeholder findet, ist es auf einen guten Weg, die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser sicherzustellen.

7 Revitalisierungen

7.1 Einleitung

Das nachhaltige Gewässermanagement ist ein anspruchsvoller Auftrag, bei dem verschiedene Interessenskonflikte auftreten können. Hochwasserschutz, landwirtschaftliche Nutzungsansprüche und Biodiversität sind einige Beispiele davon. Ein Grossteil der heute begräbten oder kanalisierten Fliessgewässer in der Schweiz ist heute ökologisch in einem schlechteren Zustand, als sie dies vor den anthropogenen Eingriffen war – diese Eingriffe sind deshalb dort, wo sie nicht unbedingt notwendig sind, unerwünscht. Bei einer Revitalisierung handelt es sich gemäss Gewässerschutzgesetz Art. 4 um die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines zuvor verbauten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen.

Die Studierenden der Teilanalysegruppen Revitalisierungen haben sich deshalb mit den folgenden Fragen auseinandergesetzt:

- Welche Bedeutung haben Revitalisierungen für die Oberengadiner Gewässer?
- Wie wird sich die Situation durch den Klimawandel verändern?
- Welche Rolle spielt der Tourismus?

Wichtige Teilaspekte waren dabei der ökomorphologische Zustand der Oberengadiner Gewässer sowie der aktuelle Stand und ein Ausblick zu den geplanten Revitalisierungen. Zusätzlich sollten beobachtete und erwartete Auswirkungen von Revitalisierungen auf die Biodiversität und den Hochwasserschutz verglichen werden.

7.2 Resultate

7.2.1 Geschichtlicher Überblick

Gemäss Vischer (2003) wurde im 19. Jahrhundert in der Schweiz im grossen Rahmen damit begonnen, Gewässerverläufe zu korrigieren. Die Motivation dahinter lag unter anderem darin, dass die Bevölkerungszahlen sich zwischen dem 18. Jahrhundert und dem 20. Jahrhundert beinahe verdreifachten wodurch mehr Platz für Landwirtschafts- und Siedlungsfläche benötigt wurde. Die treibenden Kräfte hinter den Gewässerkorrekturen lagen daher im zunehmenden Raumbedarf und dem Hochwasserschutz. Die Flüsse wurden kanalisiert und ihre Läufe massiv gekürzt. Bachbetten wurden tiefer gelegt, Fliessgewässerebereiche eingeengt und Auen, welche landwirtschaftlich nicht nutzbar waren, wurden grossflächig trockengelegt (Müller u. a. 2018; Peter u. a. 2010). Durch diese Eingriffe haben Flüsse viele ihrer natürlichen Funktionen ganz oder teilweise verloren (Zeh Weissmann, Könitzer and Bertiller 2009).

Heutige Revitalisierungen sollen diese Verbauungen von früher wieder rückgängig machen: Die strukturarmen und durch Barrieren isolierten Gewässerabschnitte sollen wieder zu ihren ökologischen Funktionen zurückfinden (Peter u. a. 2010).

7.2.2 Ökomorphologie und Geschiebehaushalt

Als Ökomorphologie werden die strukturellen Gegebenheiten im Gewässer und in dessen Umgebung definiert. Dabei wird die Variabilität in der Wasserspiegelbreite, die Verbauung der Sohle und des Böschungsfusses sowie die Breite und die Beschaffenheit des Uferbereiches untersucht. In der Schweiz wurden die Fliessgewässer flächendeckend in die in Tabelle 7.1 stehenden Kategorien eingeteilt. Dadurch kann verhältnismässig schnell abgeschätzt werden, welche Gewässer noch Handlungsbedarf haben: Je höher die Klasse, in welche ein Gewässer eingeteilt ist, desto dringender ist der Handlungsbedarf. Ausgenommen sind Gewässer, die sich in Siedlungs- oder Steilgebieten befinden (Zeh Weissmann, Könitzer and Bertiller 2009).

Die Situation der ökomorphologischen Zustände im Oberengadin ist in Abbildung 7.1 dargestellt.

Obwohl die Zustandsklasse II als Revitalisierungsziel angestrebt wird, ist dies nicht in allen Fällen möglich. Zum Beispiel können Revitalisierungen in Siedlungsgebieten teilweise aus Platzmangel nicht durchgeführt werden. Auch steile Gewässerabschnitte (Gefälle >15%) werden nicht als revitalisierungsbedürftig betrachtet, da sie ökologisch weniger wertvoll sind als flachere Gewässer (vgl. Zeh Weissmann u. a. 2009).

Der Geschiebehaushalt hat grosse Auswirkungen auf die Merkmale eines Fliessgewässers. Bei einem Geschiebedefizit fehlen Kiesablagerungen am Gewässergrund und es kommt zur Verdichtung der Sohle. Bei einem Geschiebeüberschuss kann die Flusssohle durch Ablagerungen angehoben werden. Beide Vorgänge haben Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel (vgl. Schälchi und Kirchhofer 2012).

Je nach Situation gibt es verschiedene Revitalisierungsmethoden. Bei kleineren Flüssen werden oft die Verbauungen entfernt und dem Fluss mithilfe eines Baggers eine neue Struktur gegeben (Meuli und Edmaier 2017). Bei grösseren Flüssen werden oft die Uferdämme versetzt oder entfernt. Dadurch wird dem Fluss mehr Raum zur Verfügung gestellt, so dass er sich wieder in die ursprüngliche Morphologie entwickeln kann (vgl. Proyer und Zarn 2016).

Tabelle 7.1
Ökomorphologische Zustände (Bernath u. a. 2019:16; basierend auf Zeh Weissmann u. a. 2009).

Klasse	Beschreibung	Umgang
I. Natürlich/naturnah	<ul style="list-style-type: none"> • unverbaut • genügend Raum 	<ul style="list-style-type: none"> • müssen erhalten bleiben • der Eigendynamik zu überlassen • keinesfalls zu beeinträchtigen
II. Wenig beeinträchtigt	<ul style="list-style-type: none"> • teilweise befestigte Ufer • weniger Gehölz um das Gewässer als in Klasse I 	<ul style="list-style-type: none"> • sollen erhalten bleiben • Aufwertung durch mehr Gewässerraum und Dynamik
III. Stark beeinträchtigt	<ul style="list-style-type: none"> • grösstenteils verbaut • führen kein Gehölz mit sich • häufig begradigt 	<ul style="list-style-type: none"> • sollen mindestens zu Klasse II aufgewertet werden
IV. Künstlich/naturfremd	<ul style="list-style-type: none"> • teils kein Uferbereich • oft kanalisierte Abschnitte 	
V. Eingedolt	<ul style="list-style-type: none"> • in Untergrund verlegt 	<ul style="list-style-type: none"> • sollen offengelegt werden • sollen naturnah gestaltet werden

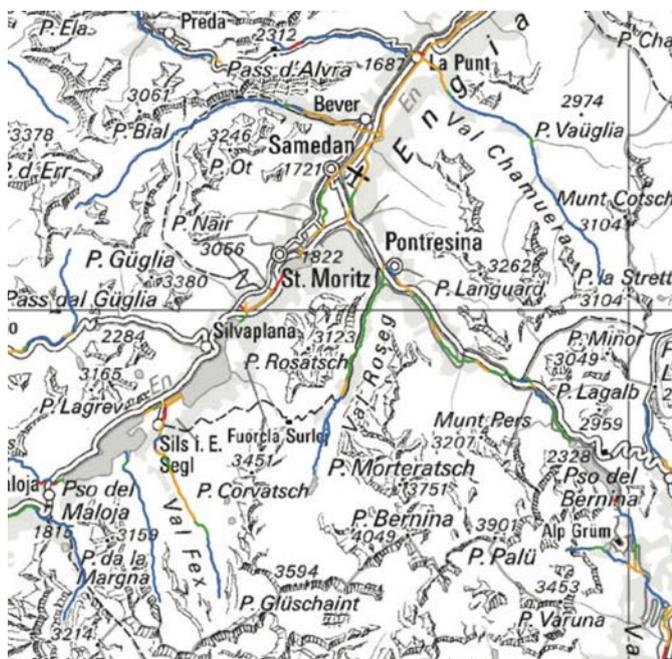


Abbildung 7.1
Kartenausschnitt des Oberengadins mit den ökomorphologischen Zustandsklassen. Die Farben sind den Kategorien 1 bis 5 in folgender Reihenfolge zugeordnet: (1) blau, (2) grün, (3) gelb, (4) rot, (5) violett (ANU 2019c).

7.2.3 Hochwasserschutz

Der Klimawandel führt zu extremen Wetterereignissen. Massnahmen zum Hochwasserschutz werden in Zukunft somit immer wichtiger. Revitalisierungen eignen sich gut als solche Massnahmen, da ein revitalisierter Fluss im Vergleich zu einem kanalisierten Fluss anderes Material besitzt, und eine komplexere Morphologie hat. Die Kombination dieser zwei Faktoren, zusätzlich zu den geringeren Fliessgeschwindigkeiten, führt dazu, dass in einem revitalisierten Fluss mehr Wasser versickert als in einem kanalisierten Fluss (vgl. Grünenfelder 2019a). Wenn mit der Revitalisierung zusätzlich Auen wieder in das Flusssystem eingebaut werden, wird der Hochwasserschutz zusätzlich gestärkt. Die Bewurzelung, die mit den Auen einhergeht, führt zu einer Auflockerung des Bodens. Auen haben im Hochwasserschutz einen Effekt, der einem Schwamm sehr ähnlich ist (vgl. Guidon 2019b).

Grundsätzlich führt eine Minimierung der Abflusskapazität durch die erhöhte Wasserrückhaltung zu einem steigenden Wasserstand. Das Gegenteil kann durch eine verstärkte Abflusskapazität erreicht werden. Im Hochwasserschutz sind die Anforderungen an die Abflusskapazität je nach Gebiet unterschiedlich (Patt 2013). Da wo es möglich ist, soll Wasser zurückgehalten werden, und da wo es nötig ist, soll das Wasser so schnell wie möglich durchgelassen werden (BAFU 2001).

Auch wenn Revitalisierungen gut vor Hochwasser schützen können, sind sie in Siedlungsgebieten aufgrund von Platzmangel oft keine Option. Um eine Anstauung zu vermeiden, soll das Wasser möglichst schnell durchgeleitet werden, während es ausserhalb der Siedlungsgebiete zurückgehalten werden soll. Das Zurückhalten von Wasser wird auch als Retention bezeichnet (Patt 2013). Flussaufweitungen allein führen jedoch nicht zu einer messbaren Retention (Rohde 2005). Sie haben eine andere Art von Auswirkung auf den Wasserspiegel: Sie können bei Hochwasser dafür sorgen, dass der Wasserstand im aufgeweiteten Gerinne tiefer bleibt, da der Fluss breiter ist (siehe Abbildung 7.2). Zu einer Retention führen kann beispielsweise das Errichten einer Aue: Wird die Aue überschwemmt, so kann sie die Fließgeschwindigkeit bedeutend verlangsamen und das Wasser wird zurückgehalten. Dabei wird als zusätzlicher Nutzen der Aue das Grundwasser gespeisen (Patt 2013).

7.2.4 Tourismus und Biodiversität

Auengebiete, die bei Revitalisierungen oft wieder ins Flusssystem eingebaut werden, machen ungefähr 0.5% der Schweizer Landesfläche aus und beherbergen die Hälfte der Schweizer Pflanzenarten. Die Anzahl Auen hat in den letzten Jahrzehnten allerdings aufgrund von Nutzungskonflikten abgenommen: Rund 90% der Schweizer Auen sind verschwunden (Roulier, Bonnard and Lussi 2005). Auch Fische profitieren von naturnäheren Gewässern. Zum Beispiel gab es vor der Inn-Revitalisierung in der Inn kaum Laichnester, aber bereits ein Jahr danach wurden rund zwölf mal mehr Laichplätze gesichtet als vor der Revitalisierung (Guidon 2019b). Gemäss Wehrli (2019) wurde 2016 erstmals wieder ein Biber und 2017 ein Fischotter in Samedan gesichtet. Für ihn ist der Zusammenhang zwischen der Revitalisierung und dem Zurückkommen dieser zwei Arten eindeutig.

Das Landschaftsbild im Oberengadin ist von besonders grosser Bedeutung. Dieser Landschaftswert wird von Flussrevitalisierungen gesteigert (Guidon 2019b). Viele ursprüngliche Gegnerinnen und Gegner von Revitalisierungen änderten ihre Meinung wegen den Verdienstmöglichkeiten im Tourismussektor (Meuli und Edmaier 2017).

7.2.5 Geplante Revitalisierungen

Die Bundesverfassung schreibt die Planung den Kantonen vor. Ab 2011 müssen die Kantone innerhalb von 12 Jahren die Planung von Revitalisierungen erstellt und beim Bund eingereicht haben. Danach haben sie 20 Jahre Zeit für die Umsetzung. Die Planung auf kantonaler Ebene umfasst eine Übersicht aller Gewässersysteme sowie deren Zustand und legt fest, wo Massnahmen ergriffen werden müssen. Zudem muss die Planung mit anderen Kantonen abgestimmt werden. Der Fokus wird jeweils auf den ökomorphologischen Zustand gelegt und es wird Bezug auf die Breitenvariabilität, also die bei mittlerem Wasserstand überspülte Fläche und wie variabel diese im Verlauf des Gewässers ist, genommen. Alle Verbauungen müssen beachtet und Störungen in der Durchgängigkeit angegeben werden (vgl. Göggel 2012).

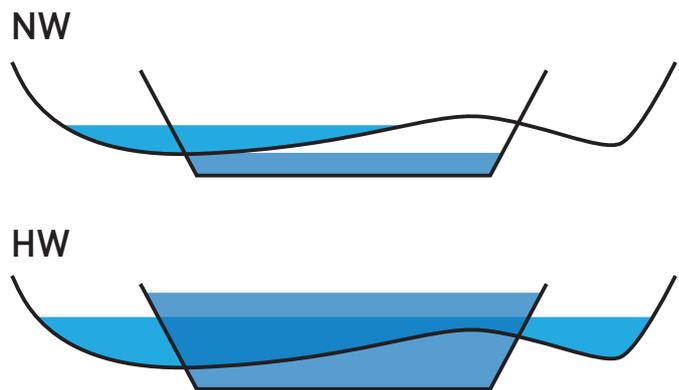


Abbildung 7.2
Der Wasserspiegel bei Niedrig- und Hochwasser in kanalisiertem Gerinne vs. im aufgeweiteten Gerinne (Hunzinger 2004:246).

Das Unternehmen, welches mit einem konkreten Revitalisierungsprozess beauftragt wird, muss dann eine Lösung erarbeiten, die einem guten Kompromiss zwischen den verschiedenen Interessen der Stakeholder entspricht (Hostmann u. a. 2005). Für Grünenfelder (2019c) stellt die Organisation die grösste Schwierigkeit bei einem Revitalisierungsprojekt dar. Fragen wie «In welchem Moment werden die Stakeholder miteinbezogen?» können erheblichen Einfluss darauf haben, ob das Projekt überhaupt durchgezogen wird. Ein weiterer Einfluss auf die Durchführung von Projekten haben die Kosten. Im Fall Bever wurde diskutiert, ob man eine Dammsanierung oder die Revitalisierung realisieren soll. Obwohl die Revitalisierung höhere Kosten ergab, musste die Gemeinde davon weniger tragen. Dies weil der Bund generell einen Teil von Revitalisierungskosten übernehmen muss und dies auch in diesem Fall gemacht hat. Dies war ausschlaggebend für die Umsetzung der Revitalisierung. Der Vergleich der beiden Massnahmen, sowie eine Übersicht der anfallenden Kosten, ist in Tabelle 7.2 dargestellt (vgl. Gemeinde Bever 2019).

In Abbildung 7.3 sind in grün die geplanten Revitalisierungsprojekte im Oberengadin eingezeichnet.

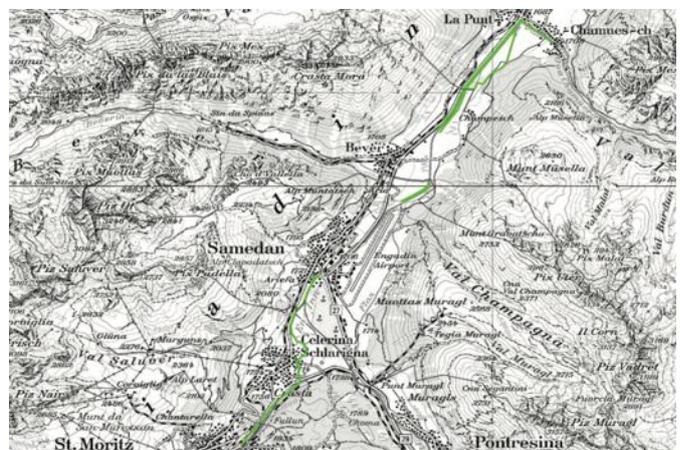


Abbildung 7.3
Geplante Revitalisierungsprojekte sind grün eingezeichnet (ANU 2019c).

Tabelle 7.2
Gegenüberstellung der möglichen Hochwasserschutz-Massnahmen der Gemeinde Bever (Bernath u. a. 2019:24).

	Sanierung Damm	Revitalisierung	
		CHF 11 Mio.	
Gesamtkosten	CHF 700 000	1. Etappe CHF 2.35 Mio.	2. Etappe CHF 8.6 Mio.
Gemeinde (Bever, Samedan)	CHF 700 000	CHF 225 000 (CHF 205 000, CHF 20 000)	CHF 610 000
Unterstützung	—	CHF 2.125 Mio.	CHF 8 Mio.
Bund und Kanton	—	CHF 1.675 Mio.	CHF 6.70 bis 7.74 Mio.
Fonds Landschaft Schweiz	—	CHF 250 000	unbekannt
Pro Natura	—	CHF 100 000	unbekannt
Ernst Göhner Stiftung	—	CHF 100 000	unbekannt
ewz	—	—	CHF 240 000
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Landbedarf • geringer Verlust von Landwirtschaftsland 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwertung Landschaft und Lebensräume • keine Dambruchgefahr bei Hochwasser • tiefe Unterhaltskosten • touristische Aufwertung 	
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Dambruchgefahr bei Hochwasser bleibt bestehen • erste Sanierung nach 20 Jahren fällig • hohe Unterhaltskosten • keine Renaturierung 	<ul style="list-style-type: none"> • grosser Landbedarf • Verlust von Landwirtschaftsland 	

7.2.6 Klimawandel

Die durchschnittliche Jahrestemperatur in der Schweiz hat im letzten Jahrhundert um mehr als 1.5° C zugenommen (siehe Abbildung 7.4). Seit 1980 sieht man eine verstärkte Zunahme der Durchschnittstemperatur.

Neuste Klimaszenarien zeigen, dass sich die Erde weiterhin global erwärmen wird, abhängig von den künftig ausgestossenen Treibhausgasen: Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl kalter Wintertage abnehmen wird, und es im Sommer öfters und zu längeren Hitzewellen kommen wird (Bader u. a. 2012).

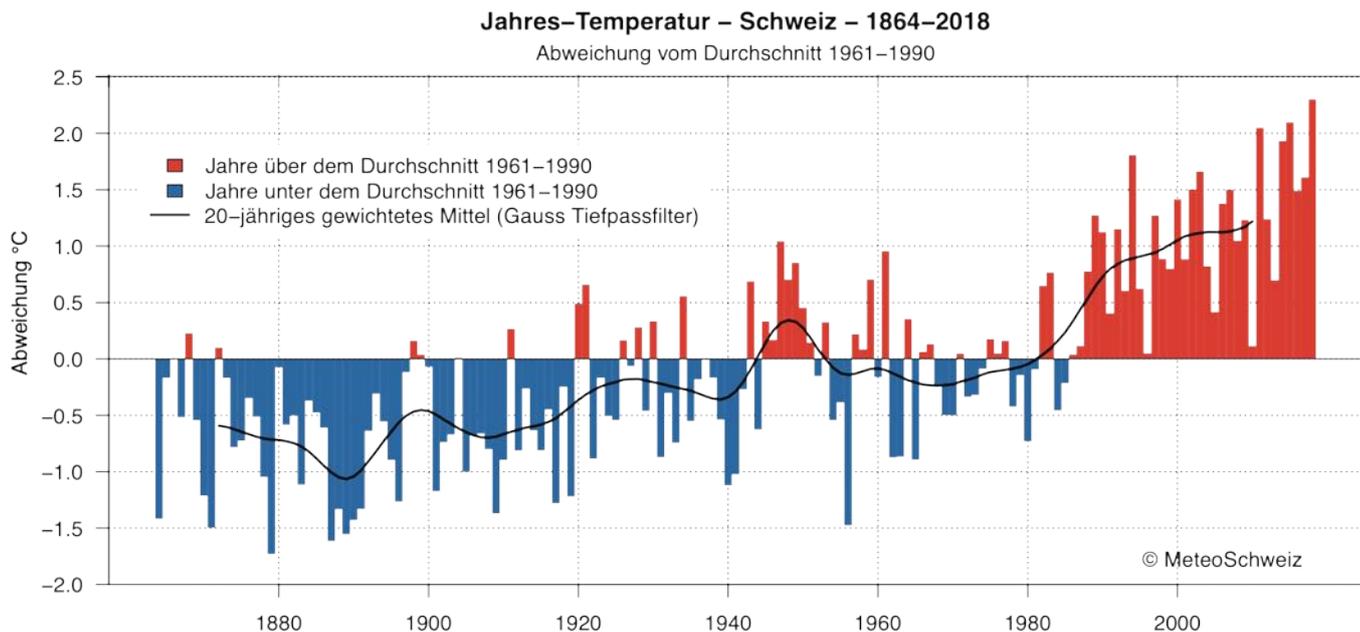


Abbildung 7.4
Entwicklung der Schweizer Jahresmittel-Temperatur seit 1864 (MeteoSchweiz, 2019).

Dadurch wird sich in Zukunft ein neues Abflussregime bilden. Häufigere starke Niederschläge (Evers 2019) lösen Erdbeben und Überschwemmungen aus. Das Wasser wird in den Wintermonaten nicht mehr in fester Form zwischengespeichert und dann während der Frühlingschmelze abtransportiert werden, sondern bereits im Winter vermehrt direkt abfliessen (BAFU 2012). Gerade im Engadin werden aufgrund der landschaftlichen Bedingungen diese Veränderungen stark spürbar sein. Deshalb müssen Revitalisierungs- und Hochwasserschutzprojekte nicht nur unter Berücksichtigung vergangener Ereignisse, sondern auch unter Berücksichtigung von möglichen Zukunftsszenarien geplant werden (National Centre for Climate Services 2018).

7.3 Diskussion

7.3.1 Gesetzgebung

Nach der Revision des Gewässerschutzgesetzes, sollen in der Schweiz bis 2090 rund 4000 km ökologisch verarmte Gewässer revitalisiert werden. Die Revitalisierung-Teilanalysegruppe 3 (Bernath u. a. 2019) sieht darin und in den damit verbundenen Subventionen den Hauptgrund für die Zunahme von Revitalisierungsprojekten. Dass im Kanton Graubünden die Gemeinden selbst die Initiative ergreifen müssen, habe dabei sowohl Schatten- als auch Sonnenseiten: Wird die Initiative nicht ergriffen, so wird die Zielsetzung im Kanton nicht erreicht. Dafür können angepackte Projekte so besser an lokale Gegebenheiten angepasst werden – dies wäre auf kantonaler Ebene nur schwierig realisierbar. Das Oberengadin ziehe mit der Gewässerschutzgesetzgebung mit und somit habe sich die momentane Handhabung im Kanton Graubünden bewährt.

7.3.2 Rolle der Bevölkerung

Die Revitalisierung-Teilanalysegruppe 1 (Burkhardt u. a. 2019) ist der Meinung, dass das Fundament für die Revitalisierungen im Oberengadin das Umdenken in der Bevölkerung ist. Möglicherweise, so vermuten sie, habe das mit dem besseren Wissensstand bezüglich Natur- und Artenschutz zu tun, da das Wissen auch immer besser zugänglich sei. Das grösste Konfliktpotenzial scheine in der Landnutzung zu liegen. Nicht alle Landbesitzer und Landbesitzerinnen seien bereit, ihr Land für die Revitalisierungsprojekte zur Verfügung zu stellen. Wichtig sei es daher besonders, die Stakeholder frühzeitig zu informieren und in die Projekte miteinzubeziehen.

7.3.3 Tourismus, Klimawandel und Biodiversität

Durch Revitalisierungen werden Naherholungsgebiete geschaffen, was zu zusätzlichen Einkommen für die Tourismusbranche führen kann. Die Revitalisierung-Teilanalysegruppe 2 (Cajochen u. a. 2019) argumentiert trotzdem, dass Revitalisierungen weniger Einfluss auf den Tourismus haben als sie zunächst angenommen hätten: Der Fokus des Tourismus im Oberengadin liegt nach wie vor auf dem Wintertourismus. Die Bedeutung von revitalisierten Flüssen könne jedoch in Zukunft wichtiger werden, wenn der ökonomische Aufwand zur Schneesicherheit aufgrund des Klimawandels immer grösser wird. Revitalisierte Flüsse können das ganze Jahr über Touristen und Touristinnen anlocken – allerdings sind sie frei zugänglich, weshalb weniger Umsatz gemacht werden kann. Ausserdem ist das Ziel der revitalisierten Gebiete eben nicht, dass möglichst viele Menschen sich in diesen Gebieten aufhalten, wodurch ein neuer Nutzungskonflikt entsteht. So erklärt die Revitalisierung-Teilanalysegruppe 4 (Bordoni u. a. 2019), dass durch Revitalisierung wieder hergestellte Auen Ökosystemdienstleistungen, darunter das Bereitstellen von Lebensräumen für Flora und Fauna, übernehmen können. Zusätzlich können durch Revitalisierungen einzelne Teile von ökologischen Systemen wieder vernetzt werden, was sich positiv auf die Artenvielfalt auswirkt. Die momentane Herausforderung besteht also darin, wie man die an Natur interessierten Menschen mit der eigentlichen Natur verbinden kann, ohne dass die Natur darunter leidet.

7.4 Schlussfolgerungen

Als grosse Hindernisse für die Revitalisierungsprojekte zeigen sich vor allem Nutzungskonflikte – verschiedene Stakeholder haben verschiedene Ziele und Ansprüche an Gebiete. Hinzu kommt, dass Revitalisierungen oft kostspieliger sind, als Verbauungen es sind. Trotz allem ist das Revitalisierungsziel von 4000 km revitalisierten Fliessgewässern im Gesetz vorgegeben. Mögliche Lösungen sind das frühzeitige Einbeziehen von Stakeholdern und die finanzielle Unterstützung von Bundeseite. Denn bei allen vier Teilanalysegruppen ist herausgekommen, dass sich die Revitalisierung von Fliessgewässern grundsätzlich positiv auf verschiedenste Aspekte auswirken kann, wenn vorab die richtigen Kompromisse mit den «Verlierern», hauptsächlich diejenigen, welche ihre Grundstücke zugunsten des Projekts abtreten müssen, der Revitalisierungen angestrebt werden.

Zu beachten sind mögliche Querverbindungen zu anderen Teilanalysen: Besonders die Teilanalysen «Risiken durch Wasser», «Wassernutzung» und «Grundwasser» können aufgrund der bei Revitalisierung entstehenden Retention, den Grundwasserspiegel verändernden Auen und den Naturschutzzonen tangiert werden.

8 Risiken durch Wasser

8.1 Einleitung

Das Oberengadin umfasst in der Hauptsaison bis zu 100 000 Personen (Guidon 2019b). 12% des kantonalen BIPs, was etwa 1 700 Millionen Franken entspricht, werden jährlich dort erarbeitet (BFS 2019). Diese Wertschöpfungskette, besonders aber die Menschenleben gilt es vor wasserverursachten Naturgefahren zu schützen. Im Oberengadin ist dieser Schutz von Relevanz, da das Oberengadin aufgrund seiner alpinen Lage schon seit langem durch wasserverursachte Naturgefahren bedroht ist (Academia Engiadina Samedan 2006; AWN 2020a; BAFU 2015a, 2018; Blatter 2015; Clavuot und Taisch 2017; Marty u. a. 2009; Vischer 2003) und in Zukunft durch den Klimawandel noch stärker bedroht sein wird (BAFU 2018; Clavuot und Taisch 2017).

Im folgenden Kapitel wird zuerst auf den Klimawandel eingegangen, anschliessend werden die durch Wasser (mit)verursachten Naturgefahren Hochwasser, Murgang, Lawinen, Rutschungen und Sturzprozesse beschrieben. Ausserdem wird erklärt, wie sich diese Gefahren durch den Klimawandel verändern werden und wie Schutzmassnahmen dagegen aussehen. Abschliessend wird aufgezeigt, welche Gemeinden und wie der Tourismus betroffen sind.

8.2 Resultate

8.2.1 Klimawandel

Aufgrund des Klimawandels hat die Temperatur in der Schweiz seit 1900 um ungefähr 1.5 °C zugenommen und wird in Zukunft weiter steigen (BAFU 2012; Brönnimann et al. 2018). Dieser Wandel beeinflusst verschiedene Parameter, welche indirekt auch die Gefahren, die durch Wasser verursacht werden, verändern.

Der Niederschlag wird aufgrund des Klimawandels stärker ausfallen und vermehrt als Regen anstatt Schnee fallen. Es ist vermehrt mit längeren Trockenperioden und darauffolgend kurze, heftige Niederschläge zu rechnen. Denn durch die Temperaturzunahme kann die wärmere Luft mehr Wasserdampf bis zur Sättigung aufnehmen und speichern. Dadurch dauert es länger, bis es zu regnen beginnt, dafür dann aber stärker, weil mehr Wasser in der Luft gespeichert ist. Bereits von 1904 bis 2014 haben die jährlichen Maximalniederschläge an 90% der Schweizer Messstationen um 5 bis 20% zugenommen und die Voraussage ist ein weiterer Anstieg der maximalen jährlichen Niederschläge (vgl. Brönnimann et al. 2018).

Im Winter wird durch die höher gelegene Nullgradgrenze mehr Regen und weniger Schnee fallen. Dadurch wird die Schneeschmelze weniger stark ausfallen und, aufgrund der höheren Frühlingstemperaturen, früher im Jahr beginnen. Ausserdem werden die Gletscher im Oberengadin weiter schmelzen. Weil sie aber schon heute deutlich an Masse verloren haben, wird in naher Zukunft trotz weiterer Gletscherschmelze nicht mit mehr Schmelzwasser als heute zu rechnen sein. Bis 2100 werden die Gletscher bis auf kleine Überreste im Fallgebiet verschwunden sein (vgl. BAFU 2012; Brönnimann et al. 2018).

Ebenso vom Klimawandel betroffen ist der Permafrost. Dieser wird von Martin und Eiblmair (2000) als Boden-, Sediment- oder Gesteinsschicht beschrieben, welche mindestens zwei aufeinanderfolgende Jahre gefroren ist. Diese Schicht, die bis 1500 m tief sein kann und noch aus der letzten Eiszeit stammt, taut jeweils in den obersten maximal zwei Metern auf und ermöglicht so Vegetation. Genaue Vorhersagen über das Verhalten des Permafrosts unter Berücksichtigung des Klimawandels zu machen ist beinahe unmöglich, so Haeberli und Maisch (2007). Sie gehen jedoch davon aus, dass höhere Temperaturen das thermische Gleichgewicht verändern, wodurch der Permafrost schmelzen und die Stabilität dieser Schicht reduziert wird.

8.2.2 Naturgefahren

Wasser kann verschiedene Naturgefahren verursachen. Zu den direkt durch flüssiges Wasser verursachten Naturgefahren, auch Wassergefahren genannt, zählen Hochwasser und Murgänge, wobei sich Murgänge durch einen wesentlich höheren Feststoffanteil von Hochwasser unterscheiden (AWN 2020b; Rickenmann 2014). Weitere durch Wasser mitverursachte Naturgefahren sind Rutschungen, Sturzprozesse und Lawinen (BAFU 2015a; Frick 2019). Alle fünf Naturgefahren sind sogenannte Wasserprozesse (BAFU 2015a). Der Fokus in diesem Kapitel liegt auf den zwei Wassergefahren Hochwasser und Murgänge.

Hochwasser

Ein Hochwasser ist dadurch definiert, dass der Wasserstand eines Gewässers das langjährige Mittel deutlich übersteigt, wobei zwischen einer statischen und einer dynamischen Überschwemmung zu unterscheiden ist (BAFU 2015a). Statische Überschwemmungen treten in flachem Gelände und entlang von Talflüssen auf, wobei das Wasser dabei nur sehr langsam fliesst (BAFU 2015a). Diese treten nach ausgiebigem Regen auf ein grosses Einzugsgebiet auf (Patt 2013). Das Ausmass des Schadens wird dabei von

der maximalen Überschwemmungstiefe bestimmt (BAFU 2015a). Im Gegensatz dazu treten dynamische Überschwemmungen in geneigtem Gelände, typischerweise entlang von Wildbächen oder Gebirgsflüsse, auf, wobei das Wasser entsprechend schnell fliesst (BAFU 2015a). Felsbrocken, Bäume, Sträucher oder auch ganze Talflanken können von den Wassermassen gemäss Patt (2013) mitgerissen werden. Laut ihm werden solche dynamischen Überschwemmungen von lokalen Starkregenereignissen auf kleine, steile Einzugsgebiete ausgelöst, wodurch der Abfluss des Fliessgewässers schnell stark ansteigt. «Der massgebende Schadenparameter wurde als Produkt aus mittlerer Fliessgeschwindigkeit und Wassertiefe festgelegt. Werden zusammen mit der dynamischen Überschwemmung auch noch Schutt und Geröll abgelagert, spricht man von Übersarung» (BAFU 2015a:2). Zusätzlich zum dynamischen Hochwasser können die Seiten des Fliessgewässers, besonders bei einem engen Flussbett oder an den Kurvenaussenseiten, erodiert werden und dadurch Uferrutschungen ausgelöst werden (BAFU 2015a). Bei genügend starker Seitenerosion geraten so Bauwerke nahe am Gewässer, die oberhalb des Hochwasserstandes stehen, wie z.B. Brücken oder Strassen, in Gefahr (PLANAT o. J.).

Durch den Klimawandel steigt die Gefahr für Hochwasser im Oberengadin. Denn stärkere Niederschläge steigern die Gefahr vor allem von dynamischen Hochwassern. Weitere Gefahren gemäss BAFU (2018) sind, dass die früher im Jahr beginnende Schneeschmelze sich mit den typischerweise im Frühsommer einsetzenden, intensiven Niederschlägen überlagert. Das führt zu einem grösseren Abfluss und deshalb einem höheren Überschwemmungsrisiko. Ausserdem können durch das Abschmelzen der Gletscher sogenannte Gletscherseen entstehen, welche teilweise sehr instabil sind. Falls so ein Gletschersee ausbricht, führt dies oftmals zu einer dynamischen Überschwemmung.

Ein Beispiel für Hochwasserschutz im Oberengadin ist die Kanalisierung und anschliessende Revitalisierung des Inns und des Flazs in Samedan. Nach dem glimpflich ausgegangenen Hochwasser von 1987, welches die Dämme, die den Inn und Flaz in einen geschlossenen Kanal führen, beinahe zum Einbruch gebracht hätte, wurde befürchtet, dass diese Dämme einem starken Hochwasser nicht standhalten könnten (Bischof 2005). Gemäss der Academia Engiadina Samedan (2006) wurde bei der darauffolgenden Untersuchung ein Gefährdungspotential festgestellt, da sich der Kanal als zu klein erwies, um die unter anderem durch den Klimawandel grösseren Abflussmengen des Inns und Flazs auch in Zukunft sicher abzuleiten. Daraufhin hat sich die Gemeinde Samedan für die Verlegung des Flazs in unbesiedeltes Gebiet entlang des Flugplatzes entschieden, sodass die beiden Flüsse erst nach dem Dorf Samedan zusammenfliessen (siehe Abbildungen 8.1 und 8.2). Durch diese Flussverlegung konnte der neue Flazverlauf möglichst naturnah und ökologisch gestaltet werden, gleichzeitig wurde der Abschnitt des Inns nach Zusammenfluss der beiden Flüsse bei Gravatscha renaturiert, was in Abbildung 8.2 zu sehen ist (Academia Engiadina Samedan 2006). Das Dorf ist

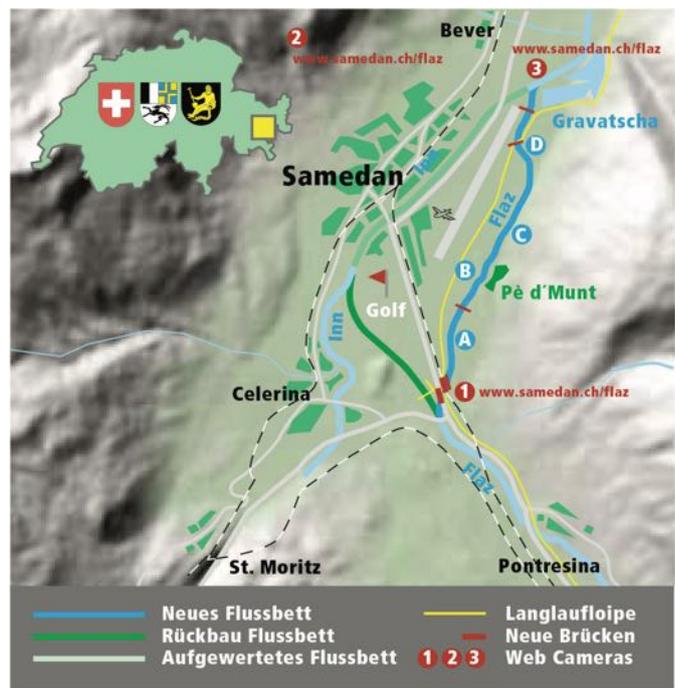


Abbildung 8.1
Übersichtskarte des Hochwasserschutzprojekts in Samedan (Academia Engiadina Samedan 2006:3).

dadurch vor Hochwasser geschützt. Sollte der Abfluss des Flazs die Dimensionierungsgrösse des neuen Fluslaufes einmal überschreiten, würde lediglich Landwirtschaftsland geflutet und das Schadensausmass bliebe gering (Bischof 2005). Für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts waren die gute Zusammenarbeit zwischen Bund, Kanton und den verschiedenen Gemeinden, die frühzeitige Einberufung einer ökologischen Begleitgruppe und die angemessene Entschädigung der Landwirtinnen und Landwirte wichtig (Academia Engiadina Samedan 2006).

Murgänge

«Ein Murgang [...] ist ein breiartiges, oft schnell fließendes Gemenge aus Wasser und Feststoffen (Sand, Kies, Steine, Blöcke, Holz) mit einem hohen Feststoffanteil von circa 30 bis 60%» (PLANAT o. J.). Murgänge sind deshalb, wie in Abbildung 8.3 dargestellt, eine Mischung aus Hochwasser, Erdbeben und Felsstürzen, wobei die Abgrenzung zwischen diesen schnellen Massenbewegungen nicht trennscharf ist (Rickenmann 2014). Dieses Gemenge kann Geschwindigkeiten von bis zu 60 km/h erreichen und Gesteinsblöcke von mehreren Kubikmetern, Baumstämme oder Autos mit sich führen (PLANAT o. J.). Voraussetzungen für einen Murgang sind grossen Mengen an Lockermaterial, ausreichend Gefälle (mindestens 25 bis 30%) und genügend Wasser wie beispielsweise nach einem heftigen Niederschlag oder intensiver Schneeschmelze, um das Lockermaterial zu verflüssigen (PLANAT o. J.; Rickenmann 2014).



Abbildung 8.2
Renaturierung des Inns in Gravatscha im Rahmen des Hochwasserprojekts von 2002 bis 2006 (Guidon 2019a slide 15; Academia Engiadina Samedan 2006:3).

Durch die, aufgrund des Klimawandels zu erwartenden, intensiveren Niederschläge steigt die Gefahr durch Murgänge. Ausserdem wird durch den wegen der Permafrostschmelze instabileren Boden mehr Erosionsmaterial abgetragen, was wiederum die Häufigkeit von Murgängen erhöht, weil mehr Lockermaterial vorhanden ist (Clavuot und Taisch 2017).

Exemplarisch für den Schutz vor Murgängen im Oberengadin wird der Schutzdamm von Pontresina vorgestellt (siehe Abbildung 8.4), welcher mit seiner totalen Länge von 460 m das Dorf vor Murgängen und Lawinen schützt (Blatter 2015). Laut Blatter (2015) wurde der 7.5 Millionen teure Damm gebaut, weil die Gemeinde aus Angst vor Lawinen in den 80er Jahren das Dorf mit Lawinenverbauungen im angrenzenden Hang schützen wollte. Vorabklärungen dazu ergaben, dass dieser Hang mit Permafrost durchzogen war, was Bohrungen für die Lawinenverbauungen verunmöglichte. Zudem stellte sich heraus, dass durch das Auftauen des Permafrosts Pontresina auch von Murgängen bedroht ist. Deshalb kam es zum Bau dieses damals schweizweit einzigartigen Schutzdamms, was der Gemeinde den Namen «Pionierin in Sachen Permafrost, Rufen und Lawinenschutz» einbrachte. Der Gemeindepräsident Aebli (2019) sagte dazu, dass die Bevölkerung zuerst negativ gegenüber des kostspieligen Schutzdamms eingestellt war und der Gemeinde ein «Geschäft mit der Angst» unterstellte. Doch durch Kommunikation der Schutzfunktion des Damms und der damit einhergehenden Verkleinerung der Gefahrenzonen, was zu einer Aufwertung der nun besser geschützten Liegenschaften führte, veränderte sich die öffentliche Meinung. Weiter spricht der Gemeindepräsident die Wichtigkeit der Medienkommunikation an. Denn diese haben zuerst nur über die Gefährdung der Region berichtet, was für die tourismusabhängige Gemeinde verheerende Folgen hätte haben können. Doch dank eines sorgfältigen Medienmanagements sei es gelungen, die mediale Aufmerksamkeit auf die Pionierrolle von Pontresina im Umgang mit Naturgefahren zu lenken.

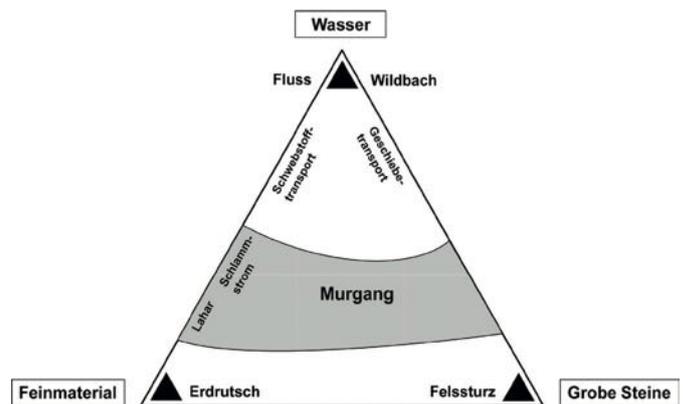


Abbildung 8.3
Hauptbestandteile eines Murgangs verglichen mit anderen Massenbewegungen in den Alpen (Rickenmann 2014:49).



Abbildung 8.4
Der Schutzdamm oberhalb von Pontresina 2011 (Blatter 2015:41).

Lawinen

«Ein Lawinenabgang ist ein Vorgang, bei dem sich im Anrissgebiet losgelöster Schnee oder Eis plötzlich und schnell in einer Sturzbahn als gleitende Masse oder wirbelndes Schnee-Luftgemisch abwärts bewegt und in einem Ablagerungsgebiet zum Stillstand kommt» (BAFU 2015b:1). Voraussetzungen für eine Lawine ist ein mehr als 30° steiles, unbewaldetes Gelände, eine kritische Schicht, auf welcher die darüberliegende Schneedecke abgleiten kann, sowie eine auslösende Kraft. Von Wind geschaffenen Treibschneeansammlungen, schnell steigende Temperaturen und Niederschlag können das Lawinenrisiko erhöhen (vgl. BAFU 2015b).

Die Dauer der Schneebedeckung und somit auch die Zeitspanne der Lawinengefahr wird durch den Klimawandel kürzer. Aussagen über mögliche Veränderungen der Lawinengefahr sind sehr schwierig, da vor allem kurzfristige Wetterverhältnisse das Lawinenrisiko bestimmen (Marty u. a. 2009). Es kann gemäss Marty et al. (2009) sein, dass durch die vom Klimawandel bedingte Zunahme intensiver Niederschläge und Stürme im Winter die Lawinengefahr steigen wird. Im Gegensatz dazu wird durch den Klimawandel auch die Baumgrenze ansteigen, weshalb Lawinenverbauungen durch zuverlässigeren Schutzwald ersetzt werden können (Aebli 2019).

Rutschungen

«Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Hangteilen aus Fest- und/oder Lockergestein auf einer Gleitfläche. [...] Grundsätzlich hat Bodenmasse in geneigtem Gelände die Tendenz, hangabwärts zu rutschen. Solange die einer Rutschung entgegenwirkenden Kräfte (Scherfestigkeit und Kohäsion) grösser sind als die treibenden Kräfte (Schwerkraft), bleibt ein Hang stabil» (BAFU 2015c:1). Scherfestigkeit beschreibt die Widerstandskraft des Bodens gegen eine Deformation, bei welcher zwei aufeinanderliegende Bodenschichten parallel in entgegengesetzte Richtung entlanggleiten (Martin und Eiblmaier 2000). Unter Kohäsion versteht man die zwischen den Bodenkörnern wirkenden Haftkräfte (Martin und Eiblmaier 2000). Solche Rutschungen können spontan und deshalb mit Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde oder kontinuierlich über mehrere Jahrhunderte und im Grössenbereich von Millimetern pro Jahr stattfinden (BAFU 2015c).

Wasser beeinflusst Rutschungen insofern, dass ein hoher Wasseranteil im Boden die Scherfestigkeit vermindert und gleichzeitig das Gewicht des Bodens und deshalb auch die Schwerkraft erhöht (BAFU 2015c). Aus diesem Grund gehören Schneeschmelze, Stark- oder Dauerniederschläge und zudem das Auftauen des Bodens zu den wichtigsten Auslösemechanismen für Rutschungen (BAFU 2015c). Der Klimawandel beeinflusst die Rutschungen insofern, dass stärkere Niederschläge und die Permafrostschmelze das Rutschrisiko erhöhen, die kleinere Schnee- und Gletscherschmelze das Risiko hingegen wiederum verringern.

Sturzprozesse

Bei einem Sturzprozess stürzt das aus dem Berg ausgebrochene Gestein mehrheitlich in der Luft in die Tiefe. Fallen einzelne Steine mit einem kleineren Durchmesser als 50 cm herunter, spricht man von einem Steinschlag. Bei einem Gesamtvolumen des herunterfallenden Gesteins von über 100 m³ spricht man von einem Felssturz, bei über 1 million m³ von einem Bergsturz (vgl. BAFU 2015d).

Wasser beeinflusst Sturzprozesse insofern, da es in Spalten eindringen kann und dabei einerseits einen Wasserdruck aufbaut, der auf das Gestein wirkt (BAFU 2015d). Andererseits kann das Wasser in den Spalten gefrieren, sich dabei ausdehnen und den Stein sprengen (BAFU 2015d). Besonders durch das Auftauen des Permafrosts und allenfalls auch durch häufigere Starkniederschläge sind im Oberengadin vermehrt Sturzprozesse zu erwarten. Hingegen dürfte in gewissen Höhenlagen das Risiko durch Frostsprengung sinken, da die Nullgradgrenze steigen wird.

8.2.3 Gefährdungssituation im Oberengadin

Gefahrenkarten

Wo genau die beschriebenen Naturgefahren durch Wasser (Hochwasser und Murgänge), Lawinen, Rutschungen und Sturzprozesse im Oberengadin passieren könnten, darüber geben die Gefahrenkarten Auskunft. Diese werden jeweils von spezialisierten Ingenieurbüros im Auftrag des Kantons erstellt (siehe Kapitel 10). Eine solche Gefahrenkarte für Wassergefahren ist in Abbildung 8.5 zu sehen. Das untersuchte Gebiet wird in verschiedene Kategorien eingeteilt:

- Rot – Erhebliche Gefährdung: Personen sind inner- und ausserhalb von Gebäuden gefährdet, Gebäude können zerstört werden, Bauverbot für neue Gebäude oder Anbauten
- Blau – Mittlere Gefährdung: Personen sind ausserhalb von Gebäuden gefährdet, Gebäude können beschädigt werden, Bauen nur mit Auflage
- Gelb – geringe Gefährdung / gelb-weiss – Restgefährdung: Personen und Gebäude sind kaum gefährdet, Empfehlungen für Bauten werden herausgegeben

Die Zuweisung in eine dieser Kategorien erfolgt anhand der Intensität und der Wahrscheinlichkeit der analysierten Naturgefahr (BAFU 2015e; vgl. Frick 2019).

Das Risiko durch Naturgefahren beschreibt, wie wahrscheinlich und wie stark Schäden für die Menschen sind. Im Gegensatz dazu beschreibt Gefährdung nur, wo etwas passieren kann. Risiko ergibt sich also durch die Gefährdung und das Schadenspotential, was in Abbildung 8.6 zu sehen ist (vgl. Frick 2019).

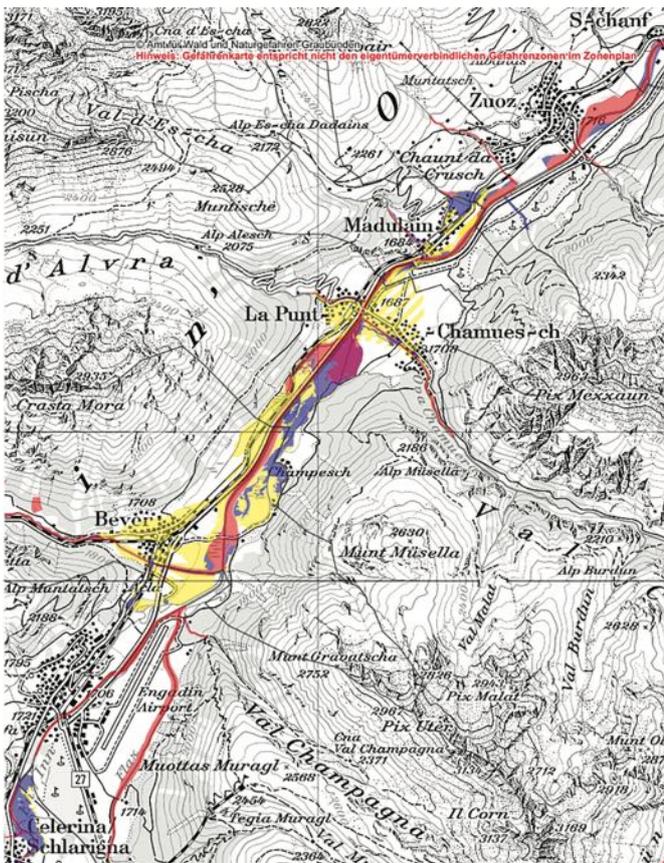


Abbildung 8.5 Gefahrenkarte für Wassergefahren entlang des Inns von Samedan bis S-chanf (AWN 2020a).

Lokalbevölkerung

Anhand der Gefahrenkarten des AWN des Kantons Graubünden hat die Teilanalysegruppe Risiken durch Wasser 1 (Aeberhard u. a. 2019) die prozentuale gefährdete Fläche pro Gemeinde und Naturgefahr berechnet. Weiter haben sie jeder Gemeinde und Naturgefahr anhand der dominierenden Gefährungskategorie (rot, blau, gelb) eine Gefährdung zwischen 1 bis 3 zugewiesen. Ausserdem haben sie in den gefährdeten Flächen die Häuserdichte berechnet und diese Dichte, ebenfalls von 1 bis 3 kategorisiert, als Indikator für das Schadenspotential genommen. Mithilfe der Risikomatrix in Abbildung 8.6 konnten sie anhand der Gefährdungs- und potenziellen Schadenskategorien jeder Naturgefahr pro Gemeinde eine Risikokategorie zuordnen (siehe Tabelle 8.1). Dabei steht eine 3 für die jeweils grösstmögliche Gefährdung, Schadenspotential oder Risiko (vgl. Aeberhard u. a. 2019).

Aus Tabelle 8.1 wird ersichtlich, dass die Gefahr durch Lawinen in den meisten Gemeinden das höchste Risiko darstellt sowie das grösste Gebiet betrifft. Die Risiken durch Wasser haben ein eher grosses Schadenspotential (Mittelwert aller Gemeinden = 2), dafür eine tiefere Gefährdung (Mittelwert = 1.18) und sorgen deshalb in der Mehrheit der Gemeinden für ein mittleres Risiko.

Tourismusbranche

Die Tourismusbranche ist der wichtigste Wirtschaftszweig im Oberengadin, welcher direkt und indirekt für gut 30% der Arbeitsplätze im Oberengadin verantwortlich ist (FIF 2011). Für die Vermarktung des Oberengadins als «Tal zum Verlieben» ist die Engadiner St. Moritz Tourismus AG zuständig, welche von den Gemeinden finanzielle Unterstützung dafür bekommt (Engadin St. Moritz Tourismus AG 2019).

Für den Tourismus können diese Risiken durch Wasser eine grosse Bedrohung darstellen. Aepli (2019) beispielsweise sorgt sich um die Sicherheit der Touristinnen und Touristen, welche gemässe ihm immer ignoranter gegenüber Naturgefahren in den Bergen werden. Besonders von Lawinen sind heutzutage mehrheitlich Touristinnen und Touristen und nicht mehr wie früher die Bergbevölkerung betroffen (Ammann, Buser und Vollenwyder 1997). Denn die Bergdörfer sind heutzutage mit Lawinenverbauungen geschützt und dafür haben die Aktivitäten (Skitouren, Freeriden, Schneeschuhwandern) im lawinengefährdeten Gelände stark zugenommen. Gemäss Sieber (2019b) ist der Schutz der Touristinnen und Touristen ein wichtiges Anliegen der Tourismusindustrie, weil das Vertrauen bezüglich der Sicherheit einer Region ein wichtiger Punkt für die Reiseentscheidung sei.

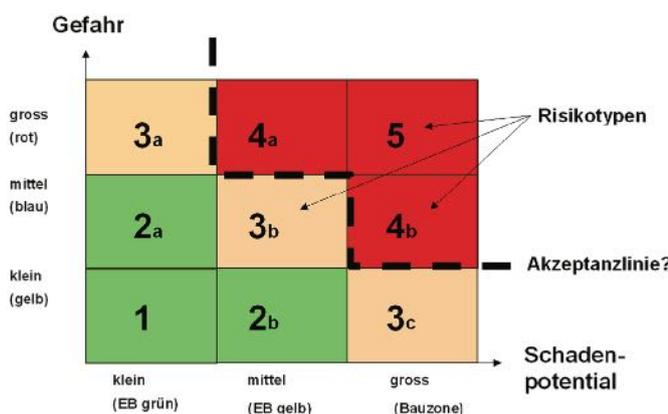


Abbildung 8.6 Risikomatrix (AWN 2003:1).

Tabelle 8.1
Die Gefährdung, das Schadenspotential und das daraus ermittelte Risiko pro Naturgefahr und Gemeinde im Oberengadin (Aeberhard u. a. 2019:14).

Gemeinde	Bever	Celerina	La Punt-Chamuesch	Madulain	Pontresina	St. Moritz	S-chanf	Samedan	Sils i. E.	Silvaplana	Zuoz	Total
Einwohner	598	1 506	712	209	2 195	4 994	685	2 956	691	1 117	1 207	16 870
Gesamtfläche	4 575	2 402	6 327	1 628	11 819	2 869	13 803	11 380	6 357	4 477	6 579	72 216
Gesamte gefährdete Fläche pro Gemeinde												
Sturz	0.37%	0.48%	0.00%	0.00%	0.68%	0.58%	0.47%	0.54%	1.40%	0.21%	0.00%	0.48%
Rutsch	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.82%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
Lawine	3.50%	1.25%	2.04%	0.41%	3.49%	3.59%	1.44%	1.44%	3.81%	2.95%	9.58%	3.06%
Wasser	3.36%	2.06%	2.94%	2.89%	0.40%	1.16%	0.87%	0.80%	0.91%	0.49%	1.11%	1.22%
Gesamt	7.23%	3.79%	4.98%	3.30%	4.57%	8.15%	2.78%	2.78%	6.12%	3.65%	10.69%	4.87%
Gefährdung												
Sturz	3	2	0	0	3	2	2	1	2	2	0	0
Rutsch	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Lawine	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
Wasser	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	3	3
Schadenspotential												
Sturz	3	1	0	0	3	1	1	2	1	2	0	0
Rutsch	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Lawine	3	1	1	1	3	3	1	3	2	1	3	3
Wasser	3	2	3	3	3	1	1	0	2	3	1	1
Risiko												
Sturz	3	1	0	0	3	1	1	1	1	2	0	0
Rutsch	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Lawine	3	1	1	1	3	3	1	3	2	1	3	3
Wasser	2	2	2	2	2	1	1	0	1	2	2	2

5.3 Diskussion

Das grösste Risiko durch Wasser im Oberengadin geht von Lawinen aus. Die beiden Wassergefahren Hochwasser und Murgänge haben in den meisten Gemeinden ein mittleres Risiko und eine mittelgrosse Ausbreitung. Sturzprozesse und Rutschungen variieren je nach Gemeinde, sind aber mehrheitlich kein oder nur ein kleines Risiko. Durch den Klimawandel werden sich die Wassergefahren Hochwasser und Murgänge, aber auch die anderen durch Wasser mitverursachten Naturgefahren grundsätzlich vergrössern, auch wenn in einzelnen Gebieten die Gefährdung sinken kann. Im Allgemeinen hat die Region Oberengadin die Naturgefahren durch beispielhafte Schutzprojekte wie die Umverlegung und Revitalisierung des Flazs und Inns in Samedan oder den Schutzdamm in Pontresina im Griff und kann das Risiko für die Region entsprechend klein halten.

Potential in den bebauten Gebieten gibt es sicherlich noch beim Schutz vor Lawinen, besonders in der Gemeinde Zuoz (siehe Abbildung 8.7). Zum Schutz vor Wassergefahren könnte der Inn ab Bever flussabwärts revitalisiert werden, was das Hochwasserisiko in den am Fluss liegenden Gemeinden minimieren würde (siehe Abbildung 8.5).

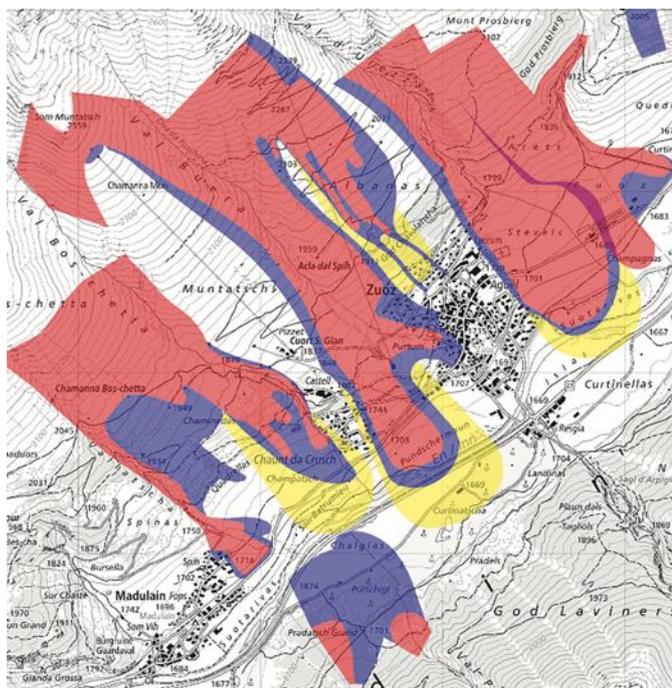


Abbildung 8.7
Gefährdung der Gemeinde Zuoz durch Lawinen (AWN 2020a).

Ein auch in Zukunft vorausschauendes Risikomanagement der Naturgefahren ist, gerade wegen dem Klimawandel, für das Oberengadin unerlässlich. Ohne dieses Risikomanagement könnten zukünftig vermehrt Infrastruktur oder Menschen zu Schaden kommen. Aufgrund von möglichen Mediennachrichten darüber könnte die für die Region wichtigen Touristenbesuche abnehmen oder ganz ausbleiben. Wenn beim Risikomanagement auf naturnahe Lösungen wie Revitalisierungen oder Schutzwälder gesetzt wird, könnte der Tourismus und somit die ganze Region profitieren. Denn solche Massnahmen führen oftmals zu einer Aufwertung des Landschaftsbildes. Wichtig ist demnach, dass solche Schutzprojekte wo immer möglich auch für Touristinnen und Touristen gut erreichbar und zugänglich gemacht werden.

Beim Bau von naturnahen Schutzmassnahmen könnte das Oberengadin vom Klimawandel profitieren, weil die Baumgrenze steigen und dadurch Schutzwälder vermehrt Verbauungen ablösen könnten. Ausserdem dürften gemäss Sieber (2019b) in den zukünftigen Wintern mehr Touristinnen und Touristen in das, verglichen mit anderen Winterferienorten, schneesichere Oberengadin kommen.

Ein weiterer Punkt wird sein, dass zukünftig Gefahrenkarten für unbewohnte Gebiete erstellt werden, was bis jetzt praktisch nicht geschehen ist (AWN 2020a). Der Grund dafür ist, dass sich Tourismusinfrastruktur wie z.B. Bike Trails, Erlebnispfade oder Schneeschuhwanderwegen in solchen Gebieten befindet. Diese Gebiete müssen ebenfalls ausreichend geschützt werden.

5.4 Schlussfolgerungen

Auch wenn das Oberengadin momentan ein gutes Risikomanagement für wasserbedingte Naturgefahren hat, muss die Region aufgrund des Klimawandels ihr Management ständig weiter verbessern, um auch in Zukunft gegen Naturgefahren gewappnet zu sein. Wenn immer möglich sollen ökologisch wertvolle, naturnahe und nachhaltige Massnahmen zum Schutz verwendet werden. Besonders geeignet dafür sind Schutzwälder, welche gegen Hochwasser, Murgänge und Lawinen wirksam sind, einen ökologischen Mehrwert generieren und zukünftig auch in höheren Lagen einsatzmöglich sind.

Fraglich wird sein, wie der Tourismus auf das Problem der steigenden Risiken durch Wasser reagieren wird. Einerseits ist die Tourismusbranche sehr an sicheren und naturnahen Schutzmassnahmen zum Schutz ihrer Gäste interessiert, welche das Gebiet idealerweise noch attraktiver machen. Andererseits können bei einer falschen Kommunikation der Gefahren die Medien schnell ein falsches Bild der Gefährdungssituation abbilden, wie das Beispiel des Schutzdammes von Pontresina zeigte. Dadurch könnten sich Touristinnen und Touristen aufgrund ihrer falschen Vorstellung der Gefahren gegen einen Besuch im Oberengadin entscheiden. Das Unterlassen jeglicher Gefahrenkommunikation durch die Tourismusbranche ist allerdings ebenfalls keine längerfristige Lösung, da die Gäste in den Bergregionen risikofreudiger werden.

9 Rechtliche Grundlagen

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die wichtigsten Gesetze und Verordnungen auf nationaler und kantonaler Ebene gegeben (siehe Tabelle 9.1). Je nach Teilanalyse wird noch vertieft auf die rechtliche Situation im Kapitel eingegangen.

9.1 Bundesebene

In der Schweizerischen Bundesverfassung (BV) (SR 101) sind verschiedene Grundsätze festgehalten, nach welchen sich die Kantone zu richten haben. So wird auf Bundesebene die Kompetenzverteilung zwischen dem Bund und den Kantonen geregelt. Auf kantonaler Ebene können Aufgaben an die Gemeinden delegiert werden. Gemäss BV verfügen die Kantone über die Wasservorkommen, wobei der Bund jedoch für eine häusliche Nutzung des Wassers und dessen Schutz zu sorgen hat (Art. 76). Bezogen auf das Wassermanagement im Oberengadin ist weiter wichtig, dass der Bund Grundsätze zur Fischerei und zum Artenschutz festlegt (Art. 73, 74 und 79). Zudem muss der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen Forschung und Entwicklung im Naturgefahrenmanagement betreiben (Art. 8).

Wichtig für das nachhaltige Wassermanagement ist das Gewässerschutzgesetz (GSchG) (SR 814.20), dessen Zweck der Schutz der Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen ist. Nachfolgend wird auf die wichtigsten Artikel für die Teilanalysen eingegangen. Bezüglich des Grundwassers besagt das GSchG, dass die Ausscheidung der Grundwasserschutzzonen durch den Kanton erfolgt (Art. 20 und 21). Diese Grundwasserschutzzonen stellen sicher, dass die Grundwasserfassung vor schädlichen Infiltrationen geschützt ist. Die Kantone sind ausserdem gemäss GSchG verantwortlich für die Wasserqualität (Art. 13) und die Abwasserreinigungsanlagen (Art. 10), wobei sie – wie im Oberengadin – diese Kompetenzen auch an die Gemeinden abgeben können. Das GSchG macht zudem Vorgaben zur Wassernutzung, konkret zur Entnahme von Wasser und zur Sicherung von Mindestrestwassermengen (Art. 31). Zusätzlich beinhaltet es Vorschriften zu naturnahen baulichen Gestaltungen an Gewässern, zu Schwall und Sunk, der Spülung und Entleerung von Stauräumen der Wasserkraftwerke sowie ihre Pflicht zur Entsorgung des Schwemmguts (Art. 38 – Art. 41). Für den Betrieb von Wasserkraftwerken ist neben dem GSchG das Wasserrechtsgesetz (WRG) (SR 721.80) wichtig, welches die Wasserkraftwerke dazu verpflichtet, zum Schutz der Fischerei Massnahmen zu treffen (Art. 23). Ausserdem steht im WRG, dass die Konzessionen für die Wasserkraftbetrie-

benden auf kantonaler Ebene verteilt werden (Art. 2). Schlussendlich schreibt das GSchG in mehreren Artikeln vor, dass Gewässer und Gewässerraum so gestaltet sein sollen, dass sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können. So zum Beispiel in Art. 36 und Art. 38: Der Gewässerraum ist extensiv zu gestalten und bewirtschaften respektive die Kantone haben für Revitalisierungen zu sorgen.

Die Gewässerschutzverordnung (GSchV) (SR 814.201) konkretisiert und präzisiert das GSchG. Einige für das Fallthema relevante Punkte sind Anforderungen an die Wasserqualität, Richtwerte für das Einleiten von Wasser aus der ARA, die Definierung der ökologischen Funktionen der Gewässer oder Schutzmassnahmen für das Grundwasser.

Zum Umgang mit Risiken durch Wasser ist im Wasserbaugesetz (WBG) (SR 721.100) festgehalten, dass die Kantone für den Hochwasserschutz zuständig sind. Ausserdem sind sie gemäss dem Waldgesetz (WaG) (SR 921.0) ebenfalls für den Schutz vor Lawinen, Rutschungen und Sturzprozesse zuständig. Bei den Schutzmassnahmen sollen wo immer möglich naturnahe oder raumplanerische Massnahmen, also z.B. Revitalisierungen oder Bauverbote, angewendet werden. Nur wenn diese beiden Arten von Massnahmen nicht möglich sind, sollen Schutzbauten wie Dämme oder Lawinenverbauungen erstellt werden.

9.2 Kantonale Ebene

Das kantonale Gewässerschutzgesetz des Kantons Graubünden (BR 815.100) (KGSchG) dient dem Vollzug des GSchG. Darin ist geregelt, dass es in der Zuständigkeit der Gemeinden liegt, die Kanalisation und ARAs zu betreiben (Art. 12 und 17). Auch sind die Gemeinden für die Aufsicht und Kontrolle über die Gewässerschutzvorschriften verantwortlich (Art. 2).

Das kantonale Raumplanungsgesetz (KRG, BR 801.100) regelt die Bauverbote und Auflagen für Bauten in Naturgefahrenzonen (Art. 38). Im Gesetz über den Wasserbau im Kanton Graubünden (KWBG, BR 807.70) ist ausserdem festgehalten, dass die Gemeinden für den Wasserbau zum Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten zuständig sind (Art. 3). Sie erhalten aber finanzielle Unterstützung von Bund und Kanton, sofern eine möglichst nachhaltige Schutzmassnahme gewählt wird (Art. 25).

Tabelle 9.1
Übersicht über die relevanten Gesetze (zusammengestellt von Giovanni 2019).

Gesetze		Betroffene Teilanalysen
Bund		
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24. Januar 1991 (SR 814.20)	WB, GW, WN, WQE, Re, RW
GSchV	Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (SR 814.201)	WB, GW, WQE Re
WRG	Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (Wasserrechtsgesetz) vom 22. Dezember 1916 (SR 721.80)	WB, WN,
EnG	Energiegesetz vom 30. September 2016 (SR 730.0)	WN
NHG	Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966 (SR 451)	Re
WBG	Bundesgesetz über den Wasserbau vom 21. Juni 1991 (SR 721.100)	RW
Kanton		
KGSchG	Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Kantonales Gewässerschutzgesetz) vom 8. Juni 1997 (BR 815.100)	GW, WQE
KGSchV	Verordnung zum Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Kantonale Gewässerschutzverordnung) vom 27. Januar 1997 (BR 815.200)	GW, WQE
BWRG	Wasserrechtsgesetzes des Kantons Graubünden vom 12. März 1995 (BR 810.100)	WN
KWBG	Gesetz über den Wasserbau im Kanton Graubünden (Wasserbaugesetz) vom 27. August 2008 (BR 807.700)	RW
Weitere		
KRG	Raumplanungsgesetz für den Kanton Graubünden vom 6. Dezember 2004 (BR 801.100)	GW, RW
NHV	Verordnung über den Natur- und Heimatschutz vom 16. Januar 1991 (SR 451.1)	Re
AuenV	Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung (Auenverordnung) vom 28. Oktober 1992 (SR 451.32)	Re
KWaG	Kantonales Waldgesetz vom 11. Juni 2012 (BR 920.100)	RW

10 Stakeholder

Die folgende Tabelle enthält jeweils eine kurze Beschreibung von Stakeholdern, die in den einzelnen Teilanalysen relevant sind. Die Stakeholder sind nach verschiedenen Kategorien geordnet.

Tabelle 10.1
Übersicht über die relevanten Stakeholder.

Name	Beschreibung	Teilanalyse
Öffentliche Ämter (Bund, Kantone, Gemeinde)		
Bundesamt für Umwelt (BAFU)	Das BAFU ist die Umweltfachbehörde des Bundes. In Bezug auf die Fallthematik ist sein Ziel die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser sowie der Schutz der Bevölkerung vor schädlichen Organismen oder Stoffen. Um dieses Ziel zu erreichen, setzt das BAFU die Gesetze bezüglich des Gewässerschutzes in Koordination mit regionalen Ämtern um (Antoniutti u. a. 2019). Zusätzlich führt das BAFU Umweltbeobachtungen durch und ist verantwortlich für den Schutz vor Naturgefahren (BAFU 2020a). (vgl. Organisationsverordnung für das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (OVUVEK) (SR 172.217.1)).	Wasserqualität und -entsorgung Revitalisierungen Grundwasser Wasserbilanz Risiken durch Wasser
Amt für Natur und Umwelt (ANU)	Das ANU ist das Kompetenzzentrum des Graubündens in Fragen rund um Umwelt, Natur, Landschaft und das Klima (ANU 2019a) und versucht die Umwelt bestmöglich zu schützen (ANU 2019c). Im Wassermanagement spielt das ANU eine entscheidende Rolle in der Überwachung der Einhaltung der Umweltschutzgesetzgebung (ANU 2019a). Beispielsweise beeinflusst es die Abwasserreinigung massgebend, da das Amt Anforderungen an die ARA stellt und des gereinigte Abwasser kontrolliert (Antoniutti u. a. 2019). Ausserdem erlässt das ANU Bewilligungen für neue Quelfassungen und Grundwasserbohrungen (ANU 2019d).	Wasserqualität und -entsorgung Revitalisierungen Grundwasser Wasserbilanz Wassernutzung
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit	Das Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit ist verantwortlich für die Sicherstellung der Trinkwasserqualität (ALT 2019).	Grundwasser
Amt für Wald und Naturgefahren	Das Amt für Wald und Naturgefahren pflegt die Schutzwälder des Kanton Graubünden. Ausserdem unterstützt es die Gemeinden beim Schutz vor Naturgefahren (vgl. AWN, n.d.)	Risiken durch Wasser
Gemeinde St. Moritz	Die Gemeinde St. Moritz steht repräsentativ für die politischen Gemeinden im Oberengadin. Sie besteht aus Legislative und Exekutive. Somit regelt sie das gesellschaftliche Zusammenleben und setzt die Gesetzgebungen von Bund und Kanton um (Gemeinde St. Moritz 2019). Dies bedeutet unter anderem, dass die Gemeinde finanzielle Mittel für das Wassermanagement zur Verfügung stellt (z.B. Finanzierung der ARA) (Antoniutti u. a. 2019). Zusätzlich ist das kommunale Bauamt zuständig für die Wasserversorgung, namentlich die lokalen Quellwasserfassungen und die Verwaltung der Grundwasservorräte (Lanz 2016). Zusammen mit den anderen Gemeinden des Oberengadins bildet St. Moritz die «Region Maloja». Diese erarbeitet Berichte zur Wasserbilanz des Oberengadins und koordiniert das Management der Ressource Wasser in der Region (Aliesch und Hartmann 2017).	Wasserqualität und -entsorgung Revitalisierungen Grundwasser Wasserbilanz Risiken durch Wasser Wassernutzung

Name	Beschreibung	Teilanalyse
Verbände und Vereine		
Vereinigung Bündner Umweltorganisationen (VBU)	Die VBU ist eine Dachorganisation, welche repräsentativ für die Umweltorganisationen im Kanton Graubünden steht (VBU 2019). Sie übernimmt verschiedene Funktionen: Einerseits informiert und bildet sie die Bevölkerung zu Umweltthemen, andererseits verfolgt sie eine politische Agenda (z.B. Verbandsbeschwerderecht, Kampagnen bei Abstimmungen) (WWF Graubünden 2019b). Im Kanton Graubünden setzt sich die VBU für die Revitalisierung von Flüssen und Bächen ein um die Biodiversität zu stärken (WWF Graubünden 2019a).	Wasserqualität und -entsorgung Revitalisierungen Wassernutzung
Bauernverein Alpina (Oberengadin)	Die landwirtschaftlichen Flächen der Oberengadiner Bäuerinnen und Bauer liegen häufig direkt am Fliessgewässer, weshalb sie für das Wassermanagement relevant sind (Grünenfelder 2019). Sie sind oft von Hochwasserschutzprojekten betroffen und werden bei deren Planung miteinbezogen (Jakob Grünenfelder 2019b). Dies äussert sich insbesondere in drei Punkten: Erstens wollen die Bauern den durch die Revitalisierungen drohenden Landverlust vermeiden und machen daher Druck auf die Politik (Kiener 2015). Zweitens wollen sie ihre landwirtschaftliche Fläche vor Hochwasser und Murgängen schützen (Kiener 2015). Drittens entnehmen sie Wasser zur Bewässerung (Kiener 2015). Dies könnte aufgrund des Klimawandels im Sommer problematisch werden, da weniger Abfluss und gleichzeitig ein höherer Bewässerungsbedarf prognostiziert wird (Lanz 2016).	Revitalisierungen Risiken durch Wasser Wasserbilanz
Hauseigentümerverband Graubünden	Der Hauseigentümerverband vertritt die Interessen der Hauseigentümer*innen auf politischer Ebene im Kanton Graubünden. Der Verband ist teilweise von Gefahrenkarten negativ beeinflusst, da Häuser, die innerhalb einer hohen Gefahrenstufe liegen, an Wert verlieren (vgl. Aebli 2019).	Risiken durch Wasser
Sonstige Stakeholder (ARAs, Unternehmen, Firmen, Forschung, Anwohner*innen etc.)		
Abwasserreinigung Oberengadin (ARO)	Die Gemeinden des Oberengadins haben sich zur ARO zusammengeschlossen, um den Bau einer neuen, regionalen ARA als Ersatz für die alten zu koordinieren (Toscano 2016). Dadurch wird eine nachhaltige, energieeffiziente und wirtschaftliche Reinigung gewährleistet, welche alle heutigen Anforderungen erfüllt (Toscano 2016). Die ARO arbeitet mit dem Abwasserverband Oberengadin (AVO) zusammen, welcher sich aus allen ARAs des Oberengadins zusammensetzt und die optimale Reinigung der Abwässer sicherstellt (ARO 2006).	Wasserqualität und -entsorgung
Engadin St. Moritz Tourismus AG	Die Tourismus AG ist verantwortlich für die Vermarktung der Region. Für diesen Zweck wird der AG von den Gemeinden jährlich CHF 10.6 Mio zur Verfügung gestellt. Für die Vermarktung der Region ist eine intakte Natur und sauberes Wasser unverzichtbar (vgl. Engadin St. Moritz Tourismus AG 2019). Die Tourismus AG ist der einflussreichste Wirtschaftszweig im Oberengadin, was die Bedeutung der Umwelt für die Wirtschaft des Oberengadin weiter untermauert (FIF 2011). Gleichzeitig nutzt die Tourismusbranche einen hohen Anteil des Trinkwassers (z.B. Hotellerie Suisse Graubünden) und führt zu beträchtlichen Abwasserschwankungen während den Hauptsaisons (Aliesch und Hartmann 2017; Lanz 2016). Zusätzlich wird für die Beschneidung der Wintersportregionen sehr viel Trinkwasser genutzt (Lanz 2016).	Wasserqualität und -entsorgung Revitalisierungen Risiken durch Wasser Wasserbilanz Wassernutzung

Name	Beschreibung	Teilanalyse
Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag)	Die Eawag ist das Wasserforschungsinstitut der ETH. Es beschäftigt sich mit Konzepten und Technologien für den nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser und dient als Verbindung zwischen der Wissenschaft und der Praxis (vgl. Eawag 2019).	Wasserqualität und -entsorgung
Tur gmbh	Die tur gmbh steht stellvertretend für die Umwelt-Ingenieurbüro des Kantons Graubündens. Diese werden vom Kanton beauftragt, Gefahrenkarten für bestimmte Regionen zu erstellen (vgl. Frick 2019).	Risiken durch Wasser
St. Moritz Energie	St. Moritz Energie ist zusammen mit Repower AG der wichtigste Kraftwerksbetreiber im Oberengadin mit dem Ziel, eine umwelt- und ressourcenschonende Energieproduktion zu gewährleisten (St. Moritz Energie 2019; Repower 2019). Die Kraftwerke können von der Verschiebung des Abflusses in den Winter profitieren, da sie dann mehr Strom in den Wintermonaten mit einer erhöhten Stromnachfrage produzieren können (Lanz 2016).	Wasserbilanz Wassernutzung

11 Schlussworte

Ach, das Oberengadin ist spitze,
mit dem Klimawandel kommt die Hitze,
es sprudelt aus der Quelle,
und wir reiten auf der UPL Welle!
Felix lässt es schneien,
darum können die Gletscher gedeihen.
Unser Bier kühlen wir im Speichersee,
bauen eine Frau im Kunstschnee.

Das Wassermanagement wurde (hoffentlich) optimiert,
wir haben das Oberengadin studiert.
Ach Inn ich danke Dir,
dass du gabst den Anlass mir.
Jetzt ist es endlich vorbei
mit dieser Texte-Leserei.
Das Falldossier ist nun am Schluss.
Ich gönne mir was, das ist ein Muss.



12 Referenzen

- Abo el Fateh, O., F. Duss, M. Gairing, H. Golling, J. Krauer und R. Messerli (2019). *Teilanalyse Risiken durch Wasser Gruppe 4*. Zürich.
- Academia Engiadina Samedan (2006). *Projekt Hochwasserschutz Samedan 2002 bis 2006*.
- Ackermann, F. und C. Eden (2011). Strategic Management of Stakeholders: Theory and Practice. *Long Range Planning* 44(3):179–96.
- Aeberhard, D., J. De Groote, M. Drzewicz, F. Regli, G. Saccavino und S. Willi (2019). *Teilanalyse Risiken durch Wasser Gruppe 1*. Zürich.
- Aebli, M. (2019). *Referat an der Exkursion in Pontresina [persönliche Mitteilung]*. Pontresina, Graubünden.
- AJF (Amt für Jagd und Fischerei). (2018). *Fischfangstatistik 2018 & Entwicklungen seit 2002*. Graubünden.
- Aliesch, B. und N. Hartmann (2017). *Projekt Wassermanagement Oberengadin (Inn/Flaz). Grundlagen und Auslegeordnung*. Chur / Parpan.
- ALT (Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit). (2019). *Über uns*. Abgerufen 4. Oktober 2019 (<https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/alt/ueberuns/Seiten/default.aspx>).
- Ammann, W., O. Buser und U. Vollenwyder (1997). *Lawinen*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Amt für Energie und Verkehr Graubünden (AfEuVG). (2018). *Alle Kraftwerke in Graubünden*.
- Antoniutti, N., L. Held, N. Högger, C. Lehmann, A. Niggeli, S. Sivakumar und A. Suter (2019). *Teilanalyse Wasserqualität und Wasserentsorgung Gruppe 1*. Zürich.
- ANU (2014). *Bewilligungspflicht von Wärmepumpen*. Chur.
- ANU (2015). *Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen*. Chur.
- ANU (2019a). *Geoportal der kantonalen Verwaltung*.
- ANU (2019b). *Grundwasser Interaktive Karte*. Abgerufen 13. Dezember 2019 (http://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Grundwasser).
- ANU (2019c). *Oberflächengewässer (Gewässerraum – Revitalisierungen – Ökomorphologie)*. Abgerufen 21. Oktober 2019 (http://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Oberflaechengewaeser (Gewaesserraum – Revitalisierungen – Ökomorphologie)).
- ANU (2019d). *Trinkwasser*. Abgerufen 22. April 2020 (<https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/ekud/anu/projekte/Wasser/trinkwasser/Seiten/Trinkwasser.aspx>).
- ANU (2019e). *Wasserqualitätsmessungen Oberengadiner ARA bis 2019*.
- ARO (2006). *Leitbild Abwasserverband Oberengadin AVO*. Abgerufen 12. Dezember 2019 (<https://www.arastaz.ch/download-files/leitbild-ara-staz.pdf>).
- ARO (2016). *ARA Oberengadin: Projekt regionale Abwasserreinigungsanlage*.
- ARO (2019). *Die ARA Oberengadin: Eine gemeinsame und regionale Lösung*. Abgerufen 14. Mai 2020 (<http://www.ara-oberengadin.ch/>).
- AWEL (2006). *Abwasserreinigung*.
- AWN (2003). *Risikomatrix. Gefahrenkommission*. Abgerufen 20. April 2020 (<https://www.gr.ch/DE/Seiten/Suche.aspx?k=risikomatrix>).
- AWN (2020a). *Gefahrenkarten*. Abgerufen 20. April 2020 ([http://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Naturgefahren – Gefahrenkarte](http://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Naturgefahren-Gefahrenkarte)).
- AWN (2020b). *Leitbild – Über uns – Amt für Wald und Naturgefahren*. Abgerufen 17. April 2020 (https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/ueberuns/Seiten/1_1_1_Auftrag.aspx).
- Bader, S., M. Begert, M. Croci-Maspoli, S. Scherrer und T. Schlegel (2012). *Klimabericht Kanton Graubünden 2012*. Chur.
- BAFU (2001). *Hochwasserschutz an Fliessgewässern*. Bern.
- BAFU (2012). *Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro)*. Bern.
- BAFU (2015a). *Hochwasser und Murgang. Faktenblätter Gefahrenprozesse*.
- BAFU (2015b). *Lawinen. Faktenblätter Gefahrenprozesse*.
- BAFU (2015c). *Rutschung. Faktenblätter Gefahrenprozesse*.
- BAFU (2015d). *Sturzprozesse. Faktenblätter Gefahrenprozesse*.
- BAFU (2015e). *Was sagen Gefahrenkarten aus?*
- BAFU (2018). *Naturgefahren und Klimawandel*. Abgerufen 17. April 2020 (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/gefahrenprozesse/naturgefahren-und-klimawandel.html>).
- BAFU (2019a). *Bestimmung des Abflussregimetyps*. Abgerufen 4. August 2020 (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--methoden/grobe-abschaetzung-hydrologischer-kenngrößen-ueberden-abfluss/bestimmung-des-abflussregimetyps.html>).
- BAFU (2019b). *Beurteilung des biologischen Gewässerzustandes: Makrozoobenthos*. Abgerufen (<https://map.geo.admin.ch/?lang=de&topic=bafu&X=190000.00&Y=660000.00&zoom=&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau>).
- BAFU (2019c). *Grundwasser Quantität*. Abgerufen 25. November 2019 (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-quantitaet.html>).
- BAFU (2019d). *Grundwasserschutz*. Abgerufen 14. April 2020 (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/grundwasserschutz.html>).

- BAFU (2019e). *Hydrologische Daten und Vorhersagen, Inn – S-Chanf*. 13.12.2019. Abgerufen (<https://www.hydrodaten.admin.ch/de/2462.html>).
- BAFU (2019f). *Wasser: Internationales*. 10.09.2018. Abgerufen (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/internationaler-gewaesserschutz.html#-130852741>).
- BAFU (2020a). *Das BAFU in Kürze*. Abgerufen 17. April 2020 (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/amt/das-bafu-in-kuerze.html>).
- BAFU (2020b). *Stationen und Daten*. Bundesamt für Umwelt BAFU – Hydrologische Daten und Vorhersagen. Abgerufen 8. April 2020 (<https://www.hydrodaten.admin.ch/de/stationen-und-daten.html>).
- Balestra, M., M. Goodall, N. Neeser, J. Nowak und M. van den Berg (2019). *Teilanalyse Wasserbilanz Gruppe 3*. Zürich.
- Bär, M., M. Cunningham, J. Hochuli, A. Meyer, C. Milesi, J. Monsees und L. Schlör (2019). *Teilanalyse Wassernutzung Gruppe 2*. Zürich.
- Barranco, R., I. Chesney, D. Elsener, R. Imboden, L. Senning und B. Wüthrich (2019). *Teilanalyse Wasserqualität und Wasserentsorgung Gruppe 3*. Zürich.
- Bauder, A. und F. Funk-Salamí (2009). *Gletscher und Klimawandel in Graubünden*. Faktenblatt 14.
- Bayerische Landeskraftwerke GmbH (2018). *Kraftwerkstypen*. Abgerufen 28. März 2020 (<https://www.lan-deskraftwerke.bayern/kraftwerkstypen.htm>).
- Bernath, M., E. Kappeler, M. Schlapbach, D. Steverlynck, S. Vautravers und F. Wirz (2019). *Teilanalyse Revitalisierungen Gruppe 3*. Zürich.
- Bernhard, L., A. Rücker und M. Zappa (2015). *Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Engadiner Inns und seiner Teileinzugsgebiete*. Birmensdorf.
- BFS (2019). *Bruttoinlandprodukt pro Kanton und Grossregion*. Abgerufen 20. April 2020 (<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/volkswirtschaft/volkswirtschaftliche-gesamtrechnung/bruttoinlandprodukt-kanton.html>).
- Bischof, A. (2005). Eine nachhaltige Lösung in Rekordzeit für den Hochwasserschutz von Samedan. *Wasser Energie Luft Heft 3/4(2)*.
- Blanc, P. und B. Schädler (2013). *Wasser in der Schweiz – ein Ueberblick*.
- Blaser, G. (2019a). *E-Mail [Persönliche Mitteilung Teilanalyse Wasserqualität und -entsorgung Gruppe 4]*.
- Blaser, G. (2019b). *Interview mit G.Blaser [Persönliche Mitteilung Teilanalyse Wasserqualität und -entsorgung Gruppe 3]*.
- Blaser, G. (2019c). *Rückmeldungsgespräch [Persönliche Mitteilung Teilanalyse Wasserqualität und -entsorgung Gruppe 1]*.
- Blatter, P. (2015). Pontresina: Pionierin im Umgang mit Permafrost. *Schweizer Gemeinde* (9):34–41.
- Bogdal, C., P. Schmid, M. Zennegg, F. Anselmetti, M. Scheringer und K. Hungerbühler (2009). *Blast from the past: Melting glaciers as a relevant source for persistent organic pollutants*.
- Bordoni, B., L. Ramacci, D. Schneider, A. Vogler und L. Whiting (2019). *Teilanalyse Revitalisierungen Gruppe 4*. Zürich.
- Braun, Ch., R. Gälli, Ch. Leu, N. Munz, Y. Schindler Wildhaber, I. Strahm und I. Wittmer (2015). *Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Quellen*. Bern.
- Brönnimann, S., C. Rohr, P. Stucki, S. Summermatter, M. Bandhauer, Y. Barton, A. Fischer, P. Froidevaux, U. Germann, M. Grosjean, F. Hupfer, K. Ingold, F. Isotta, M. Keiler, O. Martius, M. Messmer, R. Mülchi, L. Panziera, L. Pfister, C. C. Raible, T. Reist, O. Rössler, V. Röthlisberger, S. Scherrer, R. Weingartner, M. Zappa, M. Zimmermann und A. P. Zischg (2018). *1868 – das Hochwasser, das die Schweiz veränderte. Ursachen, Folgen und Lehren für die Zukunft*.
- Brunner, J., F. Gerber, N. Gredig, R. Martinetti, R. Müller, M. Riesterer und S. Visco (2019). *Teilanalyse Grundwasser Gruppe 2*. Zürich.
- Büeler, B., R. Moser, P. Wunderlin, A. Humi und B. Kobel (2019). *Leitfaden «Energie in ARA» Elimination Mikroverunreinigungen*. Winterthur.
- Bundesamt für Energie (2017). *Kleinwasserkraft*. Abgerufen 13. April 2020 (<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft/kleinwasserkraft.html>).
- Burkhardt, J., N. Fieldhouse, L. Flückiger, L. Messmer, C. Siegfried, J. Thoma und L. Zuliani (2019). *Teilanalyse Revitalisierung Gruppe 1*. Zürich.
- BUWAL (2004). *Wegleitung Grundwasserschutz*. Bern.
- Cajochen, F., L. Graf, L. Joray, K. Neuffer, S. Thüning und N. Zapfl (2019). *Teilanalyse Revitalisierung Gruppe 2*. Zürich.
- CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report*. Zürich.
- Clavuot, G. und C. Taisch (2017). *Gefährdungsanalyse der Gemeinde Pontresina*.
- Delbeke, J., R. Flückiger, R. Lex, S. Vögeli, S. Leys und V. Hart (2019). *Teilanalyse Wasserqualität und Wasserentsorgung Gruppe 4*. Zürich.
- Denoth, H. (2019). *Referat an der Exkursion im Oberengadin [persönliche Mitteilung]*.
- Deplazes, G. (2003). *Abwasserreinigung St. Moritz – S.chanf. Synthesebericht über die Entscheidungsgrundlagen für nachhaltige Gewässerschutzmassnahmen*. Chur.
- Deplazes, G., G. Blaser und Y. Quirin (2012). *Abwasserlast im Oberengadin*.
- Eawag (2019). *Auftrag und Strategie*. Abgerufen 30. November 2019 (<https://www.eawag.ch/de/ueberuns/portraet/auftrag-und-strategie/>).
- Eberle, W., M. Fischer, S. Hess, L. Koschitz, L. Krejci, S. Treyer und M. Wenger (2019). *Teilanalyse Grundwasser Gruppe 1*. Zürich.
- Eisenhut, A. (2019). *Mikroplastik in unseren Gewässern. Mikroplastik – ein genauer Blick auf ein wachsendes Problem*.
- Energie Schweiz (2017). *Geothermie in der Schweiz, eine vielseitig nutzbare Energiequelle*. Bern.
- Engadin St. Moritz Tourismus AG (2019). *Geschäftsbericht 2018 der Tourismusorganisation Engadin St. Moritz*.
- Evers, F. (2019). *Persönliche Mitteilung an Teilanalysegruppe Revitalisierung 2*.
- EWG (Europäische Wirtschaftsgemeinschaft) (1991). *Richtlinie des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser vom 21. Mai 1991*. Bd. 91/271.

- Fehr, R. (2019) *Interview an der Exkursion in Pontresina [Persönliche Mitteilung]*, November 9.
- FIF (Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus). (2011). *Der Schweizer Tourismus im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungen*.
- Frick, E. (2019). *Einführungsvortrag zur Teilanalyse Risiken durch Wasser [persönliche Mitteilung]*. Zürich, Schweiz: tur gmbh.
- Gaudenz, J. (2020). *Medienmitteilung Spülungen der Wasserfassungen im Inn*.
- Gemeinde Bever (2019). *Inn-Revitalisierung bei Bever*. Abgerufen 10. Oktober 2019 (<https://www.innauen.ch/von-der-idee-zum-abbruch-der-daemme.html>).
- Gemeinde St. Moritz (2019). *Gemeindeverwaltung St. Moritz*. Abgerufen 4. Dezember 2019 (<https://www.gemeinde-stmoritz.ch/gemeinde-st-moritz/verwaltung-organe/>).
- Geothermie Schweiz (2016). *Alles über Grundwassernutzung*.
- Gerzner, F., M. Gorbach, G. Odermatt, P. Rouiller und S. Schaub (2019). *Teilanalyse Wasserbilanz Gruppe 4*. Zürich.
- Giesecke, J., S. Heimerl und E. Mosonyi (2014). *Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb*. Springer Berlin Heidelberg.
- Giovanni, M. (2019). *Lehrveranstaltung Umweltproblemlösen (UPL) 2019/2020. «Nachhaltiges Wassermanagement im Oberengadin unter Berücksichtigung des Klimawandels» – Rechtliche Grundlagen*.
- Göggel, W (2012). *Revitalisierung Fließgewässer Strategische Planung*.
- Graff, D., E. Klein, D. Moser, T. Nussbaumer, B. Stocker, T. Stucker und D. Zidaric (2019). *Teilanalyse Wassernutzung Gruppe 1*. Zürich.
- Grünenfelder, J. (2019a). *Interview Teilanalysegruppe Revitalisierung 1 [persönliche Mitteilung]*.
- Grünenfelder, J. (2019b). *Referat an der Exkursion in Pontresina [persönliche Mitteilung]*. Pontresina, Graubünden.
- Grünenfelder, J. (2019c) *Vortrag: Einführung zur Wasserbilanz [persönliche Mitteilung]*, Oktober 3.
- Guidon, F. (2019a). *Einführung Fallpartner*. Zürich, Schweiz.
- Guidon, F. (2019b). *Referat an der Exkursion im Oberengadin [persönliche Mitteilung]*.
- Gurung, A. B. und M. Stähli (2014). *Wasserressourcen der Schweiz. Dargebot und Nutzung – heute und morgen*. Bern.
- HADES (Hydrologischer Atlas der Schweiz). (2019). «Daten- und Analyseplattform». Abgerufen 23. Oktober 2019 (https://hydromaps.ch/#de/8/46.830/8.193/bl_hds).
- Haeberli, W. und M. Maisch (2007). *Klimawandel im Hochgebirge*.
- Hagenbach, M. (2012). *Integrale Siedlungsentwässerung in Touristischen Regionen mit geprägter Wirtschaftsinfrastruktur*.
- Hostmann, M., M. Buchecker, O. Ejderyan, U. Geiser, B. Junker, S. Schweizer, B. Truffer und M. Zaugg Stern (2005). *Wasserbauprojekte Gemeinsam Planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten*.
- Hug, T., M. Mendler, und M Ospelt (2016). *ARA Oberengadin. Dimensierungsgrundlagen*. Zürich.
- Hunzinger, I. (2004). *Flussaufweitungen Möglichkeiten und Grenzen. Wasser Energie Luft, Heft 9/10, 243–49*.
- Huss, M., S. Usselman, D. Farinotti und A. Bauder (2010). *Glacier mass balance in the south-eastern swiss alps since 1900 and perspectives for the future*. Erdkunde.
- Kappeler Concept AG (2011). *Gebührenübersicht der Gemeinden des Kantons Graubünden*. Chur.
- Kiener, S. (2015). *Vom Hochwasserschutz sind viele Landwirte betroffen. Engadiner Post 24.11.15*.
- Kohli, A., R. Iten, A. Vettori, D. Sabathy und C. Erdin (2018). *Kleinwasserkraft Modul V*.
- Köplin, N., B. Schädler, D. Viviroli und R. Weingartner (2012). *Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types. Hydrology and Earth System Sciences 16(7):2267–83*.
- Krämer, W. (1995). *Wie schreibe ich eine Seminar-, Examens- und Diplomarbeit*.
- Kronthaler, F. (2008). *Wertschöpfung des Tourismus in den Regionen Graubündens – Stand und Entwicklung*. Chur.
- Lanz, K. (2009). *2. Wassertage Samedan*. Samedan.
- Lanz, K. (2015). *Wasserversorgung Celerina*.
- Lanz, K. (2016). *Wasser im Engadin – Nutzung, Ökologie, Konflikte*.
- Levy, C. und A. Levy (2018). *Revitalisierungs-Blog 2018: Wie viel Wasser fließt durch das Engadin? Gemeinde Bever*.
- Liechti, P. (2010). *Methoden zur Untersuchung von Fließgewässern*.
- Limnex AG (2017). *Gewässerzustand der vier Oberengadiner Seen von 2014–2016. Und mutmassliche Entwicklung in den letzten Jahrzehnten*. Brugg.
- Martin, C. und M. Eiblmaier (2000). *Lexikon der Geowissenschaften: Band 2*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Marty, C., M. Phillips, M. Lehning, C. Wilhelm und A. Bauder (2009). *Klimaänderung und Naturgefahren in Graubünden | Climate change and natural hazards in the Grisons. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 160(7). 201–209*.
- Mazetta, A. (2019). *Telefonat (WWF). [Persönliche Mitteilung Teilanalyse Wasserqualität und -entsorgung Gruppe 1]*.
- MeteoSchweiz (2020). *Messwerte. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz*. Abgerufen 10. April 2020 (<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/messwerte.html?param=messwerte-lufttemperatur-10min&station=SAM>).
- Meuli, K. und K. Edmaier (2017). *Gewässer aufwerten – für Mensch und Natur*. Bern.
- St. Moritz Energie (2019). *St. Moritz Energie*. Abgerufen 4. November 2019 (<https://www.gemeinde-stmoritz.ch/dienstleistungen/st-moritz-energie>).
- Müller, S., U. Sieber, R. M. Estoppey, S. Haertel-Borer, C. Leu und M. Schärer (2018). *Schutz und Weiterentwicklung der Gewässer*.
- NADUF (Nationale Daueruntersuchung Fließgewässer) (2018). *Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2017, Inn-S-Chanf*.
- National Centre for Climate Services (2018). *Klimaszenarien für die Schweiz*. Zürich.
- National Centre for Climate Services (2019). *Klimaszenarien CH2018 Alpen*.
- Oerlemans, J., M. Haag und F. Keller (2017). *Slowing*

- down the retreat of the Morteratsch glacier, Switzerland, by artificially produced summer snow: a feasibility study. *Climatic Change* 145(1–2):189–203.
- Parolini Glutz, F. (2019a). *Einführungsvortrag zur Teilanalyse Grundwasser* [persönliche Mitteilung].
- Parolini Glutz, F. (2019b). *Gespräch Teilanalyse Grundwasser Gruppe 1* [persönliche Mitteilung].
- Parolini Glutz, F. (2019c). *Gespräch Teilanalyse Grundwasser Gruppe 2* [persönliche Mitteilung].
- Patt, H. (2013). *Hochwasser-Handbuch: Auswirkungen und Schutz*. 2. Berlin: Springer Vieweg.
- Peter, A., V. Lubini-Ferlin, C. Roulier und C. Scheidegger (2010). *Gewässer und ihre Nutzung*.
- PLANAT (o. J.) *Murgang*. Abgerufen 19. April 2020a (<http://www.planat.ch/de/wissen/hochwasser/murgang/>).
- PLANAT (o. J.) *Ufererosion*. Abgerufen 17. April 2020b (<http://www.planat.ch/de/wissen/hochwasser/ufererosion/>).
- Proyer, D. und B. Zarn (2016). *Flaz und Inn im Oberengadin: Geschlebehaushalt und Auswirkungen der Innauflerung bei Bever*. Bever.
- Proyer, D. und B. Zarn (2014). *Sanierung Geschlebehaushalt*.
- Rajczak, J., P. Pall und C. Schär (2013). Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(9):3610–26.
- Reporteur, S. (2020). *Brauchwasser und Trinkwasser aus dem eigenen Brunnen*. *Hausjournal*. Abgerufen 10. April 2020 (<https://www.hausjournal.net/brauchwasser-und-trinkwasser>).
- Repower (2019). *Nachhaltigkeit*. Abgerufen 24. November 2019 (<https://www.repower.com/gruppe/uber-uns/nachhaltigkeit/>).
- Rickenmann, D. (2014). Methoden zur quantitativen Beurteilung von Gerinneprozessen in Wildbächen. *WSL Berichte* 9:105 S.
- Rohde, S. (2005). *Integrales Gewässermanagement Erkenntnisse aus dem Rhône-Thur Projekt: Synthesebericht Gerinneaufweitungen*. Birmensdorf.
- Roulier, C., L. Bonnard und S. Lussi (2005). *Die Auen der Schweiz*. Bern.
- Schädler, B., P. Blanc, und D. Volken (2012). Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. *Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro)*. Bern.
- Schälchi, U. und A. Kirchhofer (2012). *Sanierung Geschlebehaushalt Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer*. Bern.
- Schär, C. und A. M. Fischer (2016). Wasserkreislauf. *Swiss Academies Reports* 11(5):46–51.
- Scherrer, S. C., C. Wüthrich, M. Croci-Maspoli, R. Weingartner und C. Appenzeller (2013). Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009. *International Journal of Climatology* 33(15):3162–73.
- Schmid, D. (2019). *Expertenvortrag Gewässernutzung Oberengadin*.
- Schürch, M., E. Höhn, D. Hunkeler, F. Matousek und P. Turberg (2012). Klimaänderung und deren Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen – Resultate des gleichnamigen Workshops vom 11. Mai 2012. *Swiss Bulletin für angewandte Geologie* 17(2):85–92.
- Sieber, S. (2019a). *Gespräch mit Grundwasser Teilanalysegruppe 1* [persönliche Mitteilung].
- Sieber, S. (2019b). *Interview an der Exkursion in Pontresina* [Persönliche Mitteilung], November 9.
- Siegl, T. (2019). *Arsen*. Abgerufen 29. November 2019 (<https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/schwermetalle/arsen/>).
- Sinreich, M., R. Kozel, V. Lützenkirchen, F. Matousek und P. Y. Jeannin (2012). Grundwasserressourcen der Schweiz. Abschätzungen von Kennwerten. *Aqua & Gas* 92(9):16–28.
- Spreafico, M. und R. Weingartner (2005). Hydrologie der Schweiz. Ausgewählte Aspekte und Resultate. *Berichte des BWG*.
- Toscano, E. (2016). ARA Oberengadin; Projekt regionale Abwasserreinigung. *Botschaft der Delegiertenversammlung des Verbandes Abwasserreinigung Oberengadin (ARO) zum Kreditbegehren für die Erstellung der regionalen Abwasserreinigungsanlage, ARA Oberengadin im Gebiet S-chanf. St. Moritz*.
- Triplet, J. P., P. Aviolat, T. Bitterli, R. Brändli, R. Christe, S. Fracheboud und F. Matousek (2018). *Grundwasservorkommen. Wasser in der Lithosphäre*. Abgerufen 1. Juni 2020 ([https://hydromaps.ch/#de/11/46.5388/10.0851/bl_hds--d01_hydrogeology\\$0](https://hydromaps.ch/#de/11/46.5388/10.0851/bl_hds--d01_hydrogeology$0)).
- Trösch, J., M. Ballmer, A. Handke und P. Wille (2016). *Grundwassermodellierung Oberengadin. Modellpflege 2015*. Zürich.
- Tschubby (2019). *Karte Kreis Oberengadin*. 07.02.2017. Abgerufen (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/Karte_Kreis_Oberengadin_2016.png).
- VBU (Vereinigung Bündner Umweltorganisationen) (2019). *Was macht die vbu?* Abgerufen 30. November 2019 (<http://www.umweltgraubuenden.ch/vbu/VBU/dienstleistung.php>).
- Vischer, D. L. (2003). *Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz. Von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert*. Bern.
- Vogel, U., D. Tanno, A. Chevrolet und R. Gerber (2017). *Gewässerzustand Oberengadinerseen von 2014–2016 – Und mutmassliche Entwicklung in den letzten Jahrzehnten*. Chur.
- VTA Engineering und Umwelttechnik GmbH (o. J.) *Grundwissen für Betreiber von Kläranlagen*.
- Wehrli, T. (2019). *Mailkorrespondenz Gruppe Revitalisierung 2* [persönliche Mitteilung].
- Weingartner, R. und H. Aschwanden (1992). Discharge Regime – the Basis for the Estimation of Average Flows. in *Hydrological Atlas of Switzerland*.
- WWF Graubünden (2019a). *Revitalisierung – Breiter und lebendiger*. Abgerufen 6. Oktober 2019 (<https://www.wwf-gr.ch/themen-projekte/lebensraeume/gewaesser-und-auen/sanierung-der-gewaesser/revitalisierung/>).
- WWF Graubünden (2019b). *Wie wir arbeiten*. Abgerufen 30. November 2019 (<http://www.umwelt-graubuenden.ch/vbu/VBU/dienstleistung.php>).
- Zeh Weissmann, H., C. Könitzer und A. Bertiller (2009). *Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung*. Bern.

Anhang

Tabelle A1
Einteilungen der Studierenden in die Teilanalysegruppen.

Grundwasser			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Wolfgang Eberle, Mathias Fischer, Selina Hess, Lorenz Koschitz, Léa Krejci, Sira Treyer, Malin Wenger	Joelle Brunner, Frédéric Gerber, Nina Gredig, Robin Martinetti, Rahel Müller, Marine Riesterer, Sara Visco	Katja Ewald, Lina Gisler, Yael Götz, Noemi Oggier	Lisa Bachmann, Fabrice Keller, Raffaele Taparelli, Loukina Tille, Samuel Zweifel
Revitalisierungen			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Jakob Burkhardt, Nina Fieldhouse, Leandra Flückiger, Léonie Messmer, Clarissa Siegfried, Jan Thoma, Letizia Zuliani	Fadri Cajochen, Levi Graf, Leonie Joray, Karolin Neuffer, Sophie Thüring, Naomi Zapfl	Mark Bernath, Ellinor Kappeler, Matthieu Schlapbach, Dominique Steverlynck, Sibylle Vautravers, Fabian Wirz	Bruno Bordoni, Lena Ramacci, Deborah Schneider, Andrea Vogler, Luana Whiting
Risiken durch Wasser			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Dennis Aeberhard, Justine De Groote, Maria Drzewicz, Florian Regli, Gina Saccavino, Simona Willi	Lou Bucher, Virginia Molin, Meri Paula, Anna-Siri Rietmann, Elia Sartoris, Andreas Tobler	Manuel Bigler, Giulia Degiorgi, Silvan Liechti, Laura Meyer, Robyn Stäuble, Anna Weber	Oliver Abo el Fateh, Fabian Duss, Mona Gairing, Helena Golling, Julia Krauer, Roger Messerli
Wasserbilanz			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Sinia Gloor, Noee Knecht, Luca Meyer, Gaétane Sallard, Emanuel Schönbächler, Caroline von Mering, Noah Weber	Zeno Egli, Aurélie Holschneider, Annina Stoll, Ramona Stoll, Eugène Ton	Mattia Balestra, Marie Goodall, Nicolai Neeser, Johanna Nowak, Luana Olbrecht, Miro van den Berg	Mirco Gorbach, Karoline Harrer, Georg Odermatt, Paula Rouiller, Solène Schaub
Wassernutzung			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Darius Graff, Elena Klein, Dominik Moser, Tobias Nussbaumer, Bianca Stocker, Tessa Stuker, Danijela Zidarić	Mara Bär, Mia Cunningham, Jakob Hochuli, Alice Meyer, Camillo Milesi, Jessica Monsees, Lennard Schlör	Elias Berger, Raphael Berr, Frédéric Haffter, Linda Müller, Lina Muntwyler, Lena Probst	Charlotte Brombach, Julian Rieder, Leona Tauchmann, Karolina Utermann, Anna Wyss
Wasserqualität und -entsorgung			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Nico Antoniutti, Lina Held, Noel Högger, Corinne Lehmann, Adriana Niggeli, Sivahari Sivakumaran, Alina Suter	Zora Doppmann, Maeva Gremaud, Kristoffer Kaufmann, Anja Püntener, Samuel Seargent, Stefan Tobler	Rémy Barranco, Isabella Chesney, David Elsener, Robyn Imboden, Larissa Senning, Basil Wüthrich	Julien Delbeke, Remo Flückiger, Virginia Hart, Sebastiaan Leys, Ricarda Lex, Saira Vögeli

ETH Zürich
USYS TdLab
CHN K 78
8092 Zürich

www.tdlab.usys.ethz.ch