



Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft

Potenzialstudie 2011

Impressum**Projektleiter**

Erich Büscher, Amt für Energie und Verkehr Graubünden

Autor

Dr. Jürg Kappeler, Kappeler Concept AG, Chur

Bezugsquelle

Amt für Energie und Verkehr Graubünden
www.aev.gr.ch

Chur, Dezember 2011

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	2
RESUMAZIUN	4
RIASSUNTO	6
VORWORT	8
PREFAZIUN	9
PREFAZIONE	10
1 EINLEITUNG	11
1.1 Ausgangslage	11
1.2 Zielsetzung der Potenzialstudie	11
2 STROM-PRODUKTIONSZIELE GRAUBÜNDENS	12
3 METHODIK	14
4 FÖRDERPROGRAMME	15
4.1 Kostendeckende Einspeisevergütung KEV	15
4.2 Bündner Energiegesetz BEG	17
4.3 Förderung durch Elektrizitätswerke	17
5 ELEKTRIZITÄTSSTATISTIK	18
5.1 Stromproduktion und –verbrauch in der Schweiz	18
5.2 Stromproduktion und –verbrauch in Graubünden	18
6 POTENZIALE	22
6.1 Wasserkraft	22
6.2 Photovoltaik	28
6.3 Windenergie	32
6.4 Tiefe Geothermie	37
6.5 Biomasse	40
6.6 Weitere Technologiegruppen	53
6.7 Zusammenfassung	54
7 FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE	56
7.1 Eidgenössische Technische Hochschule ETH	56
7.2 HTW Chur	57
7.3 Institute der Academia Raetica	57
7.4 Eignung der Bündner Institute zur Energieforschung	57
8 STOSSRICHTUNGEN	58
8.1 Regierungsprogramm 2009 – 2012	58
8.2 Interessen des Kantons Graubünden	58
8.3 Bewertung der erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft	59
8.4 Stossrichtungen für Kanton Graubünden	60
9 QUANTITATIVE ZIELE	63
10 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	66

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bündner Energiegesetz bezweckt eine effiziente und nachhaltige Energienutzung, eine wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung, die Substitution von fossilen Energieträgern sowie eine verstärkte Nutzung einheimischer und erneuerbarer Energie. Als Folge des vom Grossen Rat des Kantons Graubünden anlässlich der August-Session 2011 überwiesenen Auftrags Heiz betreffend *Ziele und Strategie der bündnerischen Strompolitik* aktualisiert die Bündner Regierung auf August 2012 den Bericht zur Strategie der Bündner Strompolitik. Da abgesehen von den mittelgrossen und grossen Wasserkraftanlagen die Ausbaupotenziale der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien weitgehend unbekannt sind, ist für den Kanton Graubünden eine Potenzialstudie *Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft* als Teil des Berichts zur Bündner Strompolitik zu erarbeiten.

Zur Zeit werden in Graubünden ca. 600 GWh/a Strom aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft produziert. Gut 90% davon stammen aus Kleinwasserkraftwerken, 5% aus dem Holzkraftwerk in Domat/Ems und 3% aus der Kehrichtverbrennungsanlage in Trimmis. Die restlichen 2% verteilen sich auf Photovoltaikanlagen, Kläranlagen sowie Biogasanlagen für Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben und Hofdünger.

Das Potenzial zur zukünftigen Stromproduktion aus erneuerbaren Energien wird einerseits durch die Verfügbarkeit der einzelnen Ressourcen (z.B. Höhendifferenz und Wassermenge für Wasserkraftanlagen etc.) bestimmt. Andererseits schränken ökologische, technische und politische Faktoren dieses theoretische Potenzial ein (z.B. geschützte Landschaften etc.), so dass das realistische Potenzial üblicherweise kleiner ist als das theoretische. Unter Berücksichtigung verschiedener einschränkender Faktoren kann davon ausgegangen werden, dass in Graubünden zusätzlich noch ca. 600 GWh/a Strom aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft produziert werden können. Dabei stellen die Photovoltaik und die Windenergie mit je ca. 200 GWh/a sowie die Kleinwasserkraftwerke mit ca. 135 GWh/a die grössten Potenziale dar.

Unter der Berücksichtigung von Kosten/Nutzen-Überlegungen, wobei eine möglichst hohe zusätzliche Stromproduktion prioritär ist, resultieren für den Kanton Graubünden folgende Stossrichtungen:

- ökologisch unproblematische Windkraftwerke sollen an geeigneten Standorten als Windparks prioritär erstellt werden
- ökologisch unproblematische Ausleit- und Durchlaufkraftwerke mit einer installierten Leistung von mindestens 1 MW sollen prioritär realisiert werden
- die zusätzliche Förderung der Photovoltaik durch weitere Anreize soll geprüft werden; entsprechende Forschungsaktivitäten in Graubünden sollen unterstützt werden
- die Intensivierung der Stromproduktion zulasten der Wärmeproduktion in der Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis soll geprüft werden
- die Machbarkeit der hydrothermalen Tiefen Geothermie im Churer Rheintal soll geprüft werden, allenfalls zusammen mit der Unterstützung von Forschungsaktivitäten
- sofern wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll sollen Anlagen der anderen Technologiegruppen, wie beispielsweise Trinkwasserkraftwerke, realisiert oder energetisch optimiert werden

Sofern diese Stossrichtungen verfolgt werden, kann davon ausgegangen werden, dass die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft von heute ca. 600 GWh/a bis zum Jahr 2025 v.a. durch den Zubau von Kleinwasserkraftwerken und Windanlagen auf ca. 1'000 GWh/a zunimmt. Bis zum Jahr 2035 erhöht sich die Stromproduktion v.a. infolge eines signifikanten Zubaus von Photovoltaikanlagen um weitere 200 GWh/a, so dass im Jahr 2035 ca. 1'200 GWh/a Strom aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft zur Verfügung stehen.

Gemäss der vom Bundesrat veröffentlichten *Energieperspektiven 2050* sollte der Kanton Graubünden mindestens 1'050 GWh/a Strom zusätzlich produzieren. Eine solche Zunahme ist mit den oben definierten Stossrichtungen bis 2035 ohne zusätzliche Stromproduktion aus Grosswasserkraftwerken nicht zu erreichen.

RESUMAZIUN

L'intent da la lescha d'energia dal chantun Grischun è quel da duvrar l'energia en moda efficacia e persistenta, d'avair in provediment d'energia economic ed ecologic, da substituir ils purtaders d'energia fossils sco er da duvrar en moda pli intensiva l'energia indigena e regenerabla. Sco consequenza da l'incumbensa Heiz ch'il cussegl grond dal chantun Grischun ha acceptà en sia sessiun d'avust 2011 e che concerna *las finamiras e la strategia da la politica d'electricitat dal Grischun* actualisescha la regenza grischuna per l'avust 2012 il rapport davart la strategia da la politica d'electricitat dal Grischun. Perquai ch'il potenzial per extender la producziun d'electricitat sin basa d'energias regenerablas è – abstrahà da las ovras idraulicas mezgrondas e grondas – per gronda part nunenconuscent, sto vegnir elavurà in studi da potenzial «*Producziun d'electricitat sin basa d'energias regenerablas senza ovras idraulicas grondas*» per il chantun Grischun sco part dal rapport davart la politica d'electricitat dal Grischun.

Actualmain vegnan producids circa 600 GWh/a electricitat sin basa d'energias regenerablas senza ovras idraulicas grondas. Bundred 90 % da quels derivan d'ovras idraulicas pitschnas, 5 % da l'ovra da laina a Domat e 3 % dal stabiliment per arder ruments a Trimmis. Ils ulteriurs 2 % èn repartids sin implants da fotovoltaica, sin sereneras sco er sin implants da biogas per rument verd, per ruments da manaschis ch'elavuran vinternalias e per ladim natural.

Il potenzial da la producziun futura d'electricitat sin basa d'energias regenerablas vegn determinà d'ina vart da la disponibladad da las singulas resursas (p.ex. differenza d'autezza e quantitat d'aua per ovras idraulicas e.u.v.). Da l'autra vart limiteschan facturs ecologics, tecnics e politics quest potenzial teoretic (p.ex. cuntradas protegidas e.u.v.), uschia ch'il potenzial realistic è normalmain pli pitschen ch'il potenzial teoretic. Resguardond differents facturs limitants poi vegnir partì dal fatg ch'i pon vegnir producids supplementarmain anc circa 600 GWh/a electricitat en il Grischun sin basa d'energias regenerablas senza ovras idraulicas grondas. En quest connex represchentan la fotovoltaica e l'energia dal vent cun mintgamai circa 200 GWh/a sco er las ovras idraulicas pitschnas cun circa 135 GWh/a ils potenzials ils pli gronds.

Resguardond las ponderaziuns dals custs e dal niz – cun metter la prioritad sin ina producziun d'electricitat supplementara uschè gronda sco pussaivel – resultan per il Grischun las suandantas direcziuns:

- Implants d'energia dal vent ecologicamain nunproblematics duain vegnir construids en lieus adattads sco parcs da vent.
- Ovras idraulicas che lavuran cun aua che vegn deviada dal flum ed ovras electricas construidas en il flum, tuttas duas ecologicamain nunproblematicas, che han ina prestaziun installada d'almain 1 MW duain vegnir realisadas prioritarmain.
- Ulteriurs stimuls per promover supplementarmain la producziun solara d'electricitat (p.ex. fotovoltaica) duain vegnir examinads; activitads da perscrutaziun respectivas en il Grischun duain vegnir sustegnidias.
- L'intensivaziun da la producziun d'electricitat sin donn e cust da la producziun da chalur en il stabiliment per arder ruments a Trimmis duai vegnir examinada.
- La realisabladad da la geotermia idrotermala profunda en la Val dal Rain grischuna duai vegnir examinada, eventualmain cun sustegnair activitads da perscrutaziun.
- Sche quai è raschunaivel dal puntg da vista economic ed ecologic, duain implants da las autres gruppas tecnologicas, sco p.ex. ovras idraulicas d'aua da baiver, vegnir realisadas u optimadas energeticamain.

Sch'i vegn progredi en questas direcziuns pon ins far quent che la producziun d'electricitat sin basa d'energias regenerablas senza ovas idraulicas grondas possia vegrir augmentada dad actualmain circa 600 GWh/a a 1'000 GWh/a fin l'onn 2025, e quai en spezial cun construir ovas idraulicas pitschnas ed implants d'energia dal vent. Fin l'onn 2035 s'augmenta la producziun d'electricitat en spezial grazia a l'amplificaziun significanta cun implants da fotovoltaica per ulteriurs 200 GWh/a, uschia ch'i stattan a disposiziun l'onn 2035 circa 1'200 GWh/a electricitat sin basa d'energias regenerablas senza ovas idraulicas grondas.

Tenor las *Perspectivas energeticas 2050*, publitgadas dal cussegli federal, duess il chantun Grischun producir supplementarmain almain 1'050 GWh/a electricitat. In tal augment na po betg vegrir realisà fin l'onn 2035 cun las direcziuns definidas qua survart, senza che er las ovas idraulicas grondas produceschian dapli electricitat.

RIASSUNTO

La legge sull'energia del Cantone dei Grigioni mira a uno sfruttamento efficiente e sostenibile dell'energia, a un approvvigionamento energetico economico e rispettoso dell'ambiente, alla sostituzione di vettori energetici fossili, nonché a una maggiore utilizzazione di energie indigene e rinnovabili. Quale conseguenza dell'incarico Heiz concernente *gli obiettivi e la strategia della politica grigionese in materia di elettricità*, accolto dal Gran Consiglio in occasione della seduta di agosto 2011, il Governo grigionese aggiornerà per agosto 2012 il rapporto relativo alla strategia della politica grigionese in materia di elettricità. Siccome, a prescindere dagli impianti idroelettrici di medie e grandi dimensioni, i potenziali di sviluppo per la produzione di elettricità da energie rinnovabili sono in ampia misura sconosciuti, per il Cantone dei Grigioni va elaborato uno studio sui *potenziali di produzione di elettricità da energie rinnovabili, senza i grandi impianti idroelettrici*, quale parte del rapporto sulla politica grigionese in materia di elettricità.

Attualmente nei Grigioni vengono prodotti circa 600 GWh/anno di elettricità da fonti rinnovabili, senza contare i grandi impianti idroelettrici. Di questi, un buon 90% proviene da mini centrali idroelettriche, il 5% dalla centrale a legna di Domat/Ems e il 3% dall'impianto di incenerimento di rifiuti urbani di Trimmis. Il rimanente 2% è distribuito tra impianti fotovoltaici, impianti di depurazione, nonché impianti a biogas per scarti verdi, per rifiuti di aziende di produzione di derrate alimentari e per concimi di fattoria.

Il potenziale per la futura produzione di elettricità da energie rinnovabili è determinato da un lato dalla disponibilità delle singole risorse (p.es. dislivello e quantità d'acqua per gli impianti idroelettrici, ecc.). D'altro lato, fattori ecologici, tecnici e politici limitano questo potenziale teorico (p.es. paesaggi protetti, ecc.), di modo che il potenziale realistico è solitamente inferiore a quello teorico. In considerazione di diversi fattori limitanti, si può partire dal presupposto che nei Grigioni possano essere prodotti all'incirca altri 600 GWh/anno di elettricità da energie rinnovabili, senza contare i grandi impianti idroelettrici. I potenziali maggiori sono rappresentati dal fotovoltaico e dall'energia eolica con circa 200 GWh/anno ciascuno, nonché dalle mini centrali idroelettriche, con circa 135 GWh/anno.

In considerazione di riflessioni relative al rapporto costi/benefici, che mantengono in primo piano la maggiore produzione supplementare possibile di elettricità, per il Cantone dei Grigioni risultano gli orientamenti seguenti:

- realizzare prioritariamente centrali eoliche che non presentano problemi di carattere ecologico in siti idonei, quali parchi eolici
- realizzare prioritariamente centrali idroelettriche con utilizzo di acque di deflusso che non presentano problemi di carattere ecologico, con una potenza installata di almeno 1 MW
- esaminare la promozione supplementare, tramite ulteriori incentivi, della produzione di elettricità con energia solare (p.es. fotovoltaico); vanno sostenute le relative attività di ricerca nei Grigioni
- esaminare l'intensificazione della produzione di elettricità attraverso il calore prodotto nell'impianto di incenerimento di rifiuti urbani di Trimmis
- esaminare la fattibilità della geotermia idrotermale profonda nella Valle grigione del Reno, eventualmente insieme al sostegno ad attività di ricerca
- per quanto economicamente ed ecologicamente sensato, realizzare od ottimizzare dal profilo energetico impianti degli altri gruppi tecnologici, quali ad esempio centrali idroelettriche che sfruttano l'acqua potabile

Se questi orientamenti saranno perseguiti, si può partire dal presupposto che la produzione di elettricità da energie rinnovabili, senza contare i grandi impianti idroelettrici, passerà entro il 2025 dagli attuali 600 GWh/anno a circa 1'000 GWh/anno, soprattutto a seguito della realizzazione di mini centrali idroelettriche e di impianti eolici. Entro il 2035 questa produzione di elettricità aumenterà di altri 200 GWh/anno, soprattutto a seguito di un significativo aumento degli impianti fotovoltaici, di modo che nel 2035 saranno a disposizione circa 1'200 GWh/anno di elettricità da fonti rinnovabili, senza contare i grandi impianti idroelettrici.

Conformemente alle *prospettive energetiche 2050* pubblicate dal Consiglio federale, il Cantone dei Grigioni dovrebbe produrre almeno 1'050 GWh/anno supplementari di elettricità. Con gli orientamenti definiti sopra, un simile aumento non può essere raggiunto entro il 2035 senza una produzione supplementare di elettricità da grandi impianti idroelettrici.

VORWORT

In einer Zeit wie der heutigen, in der die Schweiz nach dem bundesrätlichen Entscheid zum schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie die "Energiewende" schaffen will, stellen sich im Bereich der Stromproduktion neue Herausforderungen. Der Ausfall des 40%-igen Anteils an Strom aus Kernenergie kann durch Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz oder die Erhöhung des heute schon 55%-igen Anteils an Strom aus Grosswasserkraft schweizweit nicht kompensiert werden. Substituierende Stromproduktion durch andere Energieträger ist deshalb notwendig.

Der Kanton Graubünden nimmt dieses Gebot der heutigen Zeit ernst. Dies ungeachtet der an sich komfortablen Ausgangslage, dass im Kanton Graubünden heute, vollständig und ausschliesslich aus erneuerbaren Energien, rund 8'000 GWh/a Strom produziert werden und nur rund ein Viertel davon innerhalb des Kantonsgebiets selber konsumiert wird.

Der Strombereich ist, dies wird gerne verkannt, ein stark international geprägtes Feld. Auch in Graubünden gibt es über das Jahr verteilt Phasen, während welchen Strom ausserkantonal oder gar aus dem Ausland bezogen wird. Der Glaube, jede und jeder könne sich mit Strom selber versorgen und sich stromseitig autark organisieren, ist wirklichkeitsfremd. Diese Feststellung ist nicht neu und sie wird auch künftig weiter gelten, wird man zu Recht einwenden. Der Ansatz erhält als ein möglicher Wegweiser infolge der "Energiewende" aber eine neue Bedeutung.

Die "Energiewende" ist - richtig verstanden - zu einer Geisteshaltung mutiert, die uns nicht nur im energetischen Verhalten und im Umgang mit der Umwelt, sondern auch gesellschaftlich und wirtschaftlich zunehmend prägt. Sie basiert auf einem energiepolitischen Paradigmenwechsel und setzt die Bereitschaft von Gesellschaft, Wirtschaft und Interessenvertretern aus Natur- und Umweltschutz, Raumplanung und Strombranche voraus, sich einem grundsätzlichen und breiten Konsens zu verpflichten. Der Politik kommt in diesem Prozess eine Schlüsselfunktion zu.

Die vorliegende Potenzialstudie ist ein Beitrag, der die "Energiewende" aus Sicht des Kantons Graubünden unterstützen kann. Sie zeigt das Ausbaupotenzial im Bereich der erneuerbaren Energieträger Sonne, Wind, Biomasse, Geothermie und Kleinwasserkraft auf und bildet gleichzeitig einen Ansporn zu weiterem Engagement, das von uns allen ausgehen kann.

Dr. Mario Cavigelli, Regierungsrat
Vorsteher Bau-, Verkehrs- und Forstdepartement Graubünden

PREFAZIUN

En in temp sco noss, en il qual la Svizra vul dumagnar – suenter la decisiun dal cussegl federal da sortir pass per pass da l'energia nucleara – la "vieuta energetica", sa mussan novas sfidas en il sectur da la producziun d'electricitat. La perdita da la part d'electricitat da 40 % che deriva d'ovras nuclearas na po betg vegnir cumpensada en tut la Svizra tras mesiras per megliarar l'effizienza energetica u cun augmentar la quota d'electricitat che deriva d'ovras idraulicas grondas e che importa gia oz 55 %. Pervia da quai èsi necessari da substituir la producziun d'electricitat tras auters pertaders d'energia.

Il chantun prenda serius questa pretensiun da noss temp. E quai independentamain da la situaziun confortabla ch'i vegnan producidas actualmain en il chantun Grischun circa 8'000 GWh/a electricitat complettamain ed exclusivamain ord energias regenerablas e che mo circa in quart da quellas vegn consumà entaifer il territori chantunal sez.

Il sectur d'electricitat è – quai vegn savens emblidà – in champ cun in caracter fermamain internaziunal. Er en il Grischun datti fasas durant l'onn, en las qualas electricitat vegn importada dad auters chantuns u schizunt da l'exterior. L'idea che mintgina u mintgin possia sa proverder sez cun electricitat e s'organisar en moda autarca en quest regard n'è betg realistica. Che questa constataziun na saja betg nova e ch'ella vegnia a valair er en l'avegnir, pon ins remartgar cun dretg. Sco consequenza da la "vieuta energetica" survegn questa idea però ina nova impuranza sco in eventual mussavia.

La "vieuta energetica" è – chapida endretg – sa mutada ad ina mentalidad che n'ans caracterisescha betg mo pli e pli en noss cumpormentament envers l'energia ed envers l'ambient, mabain er en dumondas socialas ed economicas. Ella sa basa sin ina midada da paradigma areguard la politica d'energia e premetta la prontezza da la societad, da l'economia e dals represchentants d'interess da la protecziun da l'ambient e da la natira, da la planisaziun dal territori e da la branscha d'electricitat da s'obligar ad in consens general e vast. En quest process survegn la politica ina funcziun da clav.

Il studi da potenzial qua avant maun è ina contribuziun che po sustegnair la "vieuta energetica" ord vista dal chantun Grischun. Ella mussa il potenzial d'engrondiment en il sectur da las funtaunas d'energia regenerabla suegl, vent, biomassa, geotermia e forza idraulica pitschna e dat il medem mument in impuls ad in ulteriur engaschi che po vegnir da nus tuts.

Dr. Mario Cavigelli, cusseglie guvernativ
Schef dal departament da construcziun, traffic e selvicultura dal Grischun

PREFAZIONE

In un periodo come quello attuale, in cui la Svizzera dopo la decisione del Consiglio federale di abbandonare gradualmente l'energia nucleare vuole riuscire ad attuare la "svolta energetica", nel settore della produzione di elettricità si presentano nuove sfide. A livello svizzero, la compensazione della quota del 40% della corrente proveniente da energia nucleare non può avvenire solo con misure volte a migliorare l'efficienza energetica o con l'aumento della quota di corrente proveniente da grandi impianti idroelettrici, che raggiunge già oggi il 55%. Si rende dunque necessario produrre elettricità sostitutiva con altri vettori energetici.

Il Cantone dei Grigioni prende molto sul serio questa necessità attuale, indipendentemente dalla comoda situazione di partenza in cui si trova oggi: nei Grigioni vengono prodotti circa 8'000 GWh/a di corrente esclusivamente e completamente da fonti rinnovabili e solo un quarto circa viene consumato nel Cantone.

Nonostante ciò non venga riconosciuto volentieri, il settore energetico è un campo fortemente caratterizzato dall'internazionalità. Anche nei Grigioni, durante l'anno vi sono fasi in cui viene importata energia elettrica da fuori Cantone o addirittura dall'estero. Credere che ognuno possa provvedere autonomamente al proprio fabbisogno di energia elettrica e che in questo campo sia possibile un'organizzazione autarchica è ben lontano dalla realtà. Qualcuno obietterà a ragione che questa constatazione non è nuova e varrà anche in futuro. Tuttavia, a seguito della "svolta energetica", l'approccio assume un nuovo significato quale possibile indicatore.

Intesa nel modo corretto, la "svolta energetica" è mutata in un atteggiamento che non ci influenza più solo nel nostro comportamento energetico e nei rapporti con l'ambiente, bensì sempre più anche dal punto di vista sociale ed economico. Essa si basa su un cambiamento di paradigma della politica energetica e presuppone la disponibilità di società, economia e rappresentanti dei gruppi d'interesse dei settori protezione della natura e dell'ambiente, pianificazione territoriale ed elettricità a impegnarsi per raggiungere un ampio consenso sostanziale. In questo processo la politica assume una funzione chiave.

Il presente studio sui potenziali è un contributo che secondo il Cantone dei Grigioni è in grado di sostenere la "svolta energetica". Esso mostra il potenziale di sviluppo nel settore dei vettori energetici rinnovabili sole, vento, biomassa, geotermia e mini-idroelettrico e rappresenta al contempo un incentivo per l'ulteriore impegno che ci si può attendere da ognuno di noi.

Dr. Mario Cavigelli, Consigliere di Stato
Direttore del Dipartimento costruzioni, trasporti e foreste dei Grigioni

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Der Bund verfolgt mit seiner energie- und klimapolitischen Zielsetzung, dass der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen reduziert und der Anteil erneuerbarer Energien signifikant gesteigert werden (BFE, 2010a).

Aufgrund der tragischen Ereignisse im japanischen Fukushima, welche den Bundesrat am 25. Mai 2011 dazu bewogen haben, den mittelfristigen Ausstieg aus der Atomenergie zu beschliessen, hat sich der Bedarf nach Energieeffizienz und zusätzlicher Stromproduktion aus erneuerbaren Energien weiter akzentuiert.

Auch der Kanton Graubünden bezweckt mit seinem Energiegesetz eine effiziente und nachhaltige Energienutzung, eine wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung, die Substitution von fossilen Energieträgern sowie eine verstärkte Nutzung einheimischer und erneuerbarer Energie (BEG, 2010). Im Energiegesetz ist festgehalten, dass die Regierung ein Energiekonzept für jeweils vier Jahre zu erarbeiten hat, welches u.a. den aktuellen Stand, den zukünftigen Bedarf, das Angebot sowie daraus abgeleitet die anzustrebende Entwicklung der Energieversorgung und –nutzung beinhaltet.

Mit der Überweisung der Aufträge Heiz¹ und Augustin² an die Regierung hat diese dem Grossen Rat einen Bericht zur Strategie der Bündner Strompolitik zu unterbreiten. Aufgrund der stark veränderten Ausgangslage (insbesondere steigende Strompreise und neues Stromversorgungsgesetz) ist eine neue Standortbestimmung gemäss Regierung richtig und notwendig. Der entsprechende Bericht wird voraussichtlich im August 2012 publiziert. Da abgesehen von mittelgrossen und grossen Wasserkraftanlagen keine Übersicht besteht bezüglich des Ausbaupotenzials der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, ist für den Kanton Graubünden eine Potenzialstudie *Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft* als Teil des Berichts zur Bündner Strompolitik zu erarbeiten.

1.2 Zielsetzung der Potenzialstudie

Mit der Potenzialstudie soll einerseits die aktuelle Stromproduktion aus erneuerbaren Energien dokumentiert werden. Andererseits sind die Potenziale der erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft aufzuzeigen. Daraus sollen dann die Prioritäten resp. die Stossrichtungen für den Kanton Graubünden bezüglich der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft abgeleitet werden³.

Die verschiedenen Massnahmen zur Energieeffizienz sind explizit nicht Bestandteil der Potenzialstudie. Geeignete Strategien und Massnahmen zur Energieeffizienz werden durch den Bund mit dem Aktionsplan Energiestrategie 2050 (BFE, 2011a) und den Kanton Graubünden mit dem Bündner Energiegesetz (BEG, 2010) sowie mit dem bereits oben erwähnten Bericht zur Bündner Strompolitik aufgearbeitet.

¹ Auftrag Heiz betreffend Ziele und Strategie der bündnerischen Strompolitik, GRP 2011/2012, Seiten 9, 69

² Auftrag Augustin betreffend Heimfallstrategie, GRP 2011/2012, Seiten 9, 78

³ Demzufolge sind Back-up-Kraftwerke wie Pumpspeicherkraftwerke oder Gaskraftwerke nicht Bestandteil der Potenzialstudie

2 STROM-PRODUKTIONSZIELE GRAUBÜNDENS

Das anfangs 2008 in Kraft gesetzte revidierte eidgenössische Energiegesetz (EnG, 1998) hält fest, dass bis zum Jahr 2030 die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien um mindestens 5'400 GWh/a zu erhöhen ist⁴, wobei der Anteil aus Wasserkraft mindestens 2'000 GWh/a betragen soll. Im Rahmen der *Energieperspektiven 2050* wird vorgeschlagen, bezüglich der Wasserkraftnutzung ein neues Ausbauziel von 4'000 GWh/a festzulegen (BFE, 2011b)⁵. Die vom National- und Ständerat überwiesene Motion Killer (11.3345) verlangt sogar einen Ausbau um mindestens 5'000 GWh/a.

Bezüglich der zukünftigen Produktionsziele ist somit zwischen *Wasserkraft* und *Neuen erneuerbaren Energien* zu unterscheiden. Um die Produktionsziele Graubündens abzuschätzen, wird einerseits angenommen, dass sich die Kantone proportional zur aktuellen Stromproduktion aus Wasserkraft am Ausbau der Wasserkraft zu beteiligen haben⁶. Andererseits wird bezüglich der zusätzlichen Stromproduktion aus *Neuen erneuerbaren Energien* davon ausgegangen, dass die Kantone proportional zum aktuellen Stromverbrauch beizutragen haben⁷. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen resultiert für den Kanton Graubünden das Ziel, zukünftig zusätzlich ca. 1'050 GWh/a⁸ Strom aus erneuerbaren Energien zu produzieren. Obwohl der Begriff *Energieperspektiven 2050* eine erhöhte Stromproduktion erst für das Jahr 2050 suggeriert, wird infolge des Verzichts auf den Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke⁹ davon ausgegangen, dass die Erhöhung der Stromproduktion bereits früher zu erfolgen hat¹⁰.

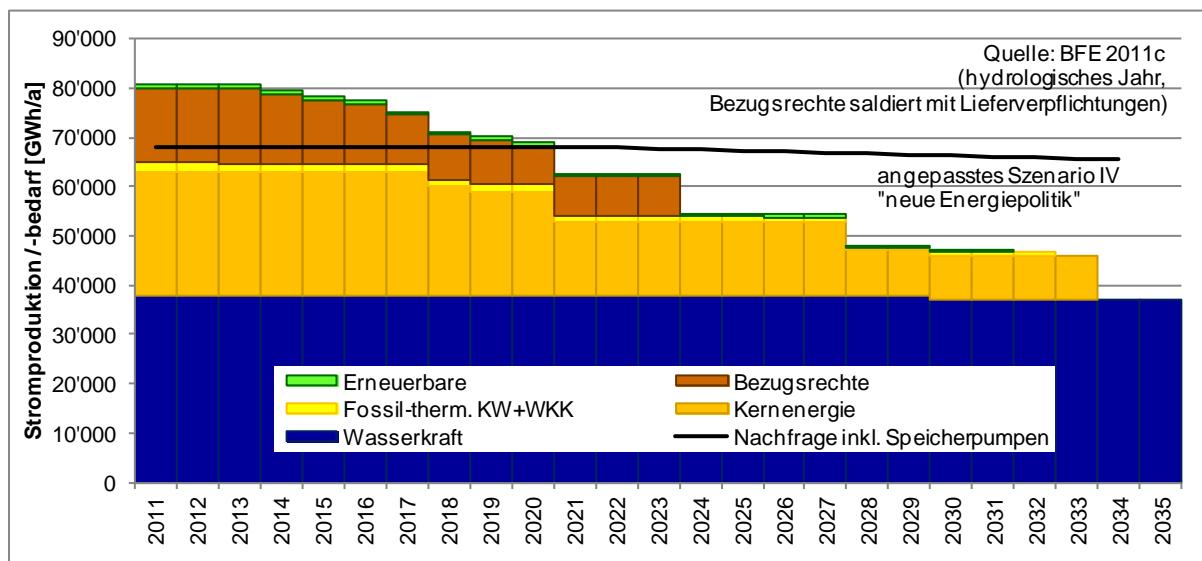


Abb. 1: Stromproduktion des bestehenden Kraftwerksparks der Schweiz, hydrologisches Jahr (BFE, 2011c)

Um grob abzuschätzen, ab wann die zusätzliche Stromproduktion benötigt wird, ist der Stromverbrauch der Produktion durch den bestehenden Kraftwerkspark der Schweiz gegenüber gestellt, wobei der Verzicht auf den Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke sowie das Auslaufen der Bezugrechte berücksichtigt sind (BFE, 2011c). Bezüglich des zukünftigen Stromverbrauchs wird vom angepassten Szenario IV „Neue Energiepolitik“ (BFE, 2011c)

⁴ Gegenüber dem Jahr 2000

⁵ Minderproduktion infolge moderater Umsetzung der Restwasserbestimmungen berücksichtigt; die verschiedenen Annahmen und Abschätzungen sind noch zu plausibilisieren und mit den Kantonen abzulegen

⁶ Aktueller Anteil Graubündens an Stromproduktion aus Wasserkraft: 23.2%

⁷ Aktueller Anteil Graubündens an Stromverbrauch: 3.4%

⁸ 23.2% * 4'000 GWh/a + 3.4% * (7'400 GWh/a - 4'000 GWh/a)

⁹ Jeweils am Ende der sicherheitstechnischen Betriebsdauer

¹⁰ Damit zukünftig nicht viel Strom aus dem Ausland importiert werden muss

ausgegangen, wonach der Stromverbrauch in den nächsten Jahren noch etwas ansteigt, dann aber leicht abnimmt¹¹. Aus Abb. 1 folgt, dass ab dem Jahr 2020 zusätzlich Strom¹² zu Verfügung gestellt werden muss.

Es ist noch nicht klar, ob der Stromverbrauch durch das geplante Pumpspeicherwerk im Puschlav¹³ von ca. 500 GWh/a zusätzlich zu kompensieren ist. Aus Abb. 2 geht hervor, wie viel Strom unter den oben genannten Voraussetzungen aus erneuerbaren Energien in den nächsten Jahren voraussichtlich in Graubünden zusätzlich zu produzieren ist.

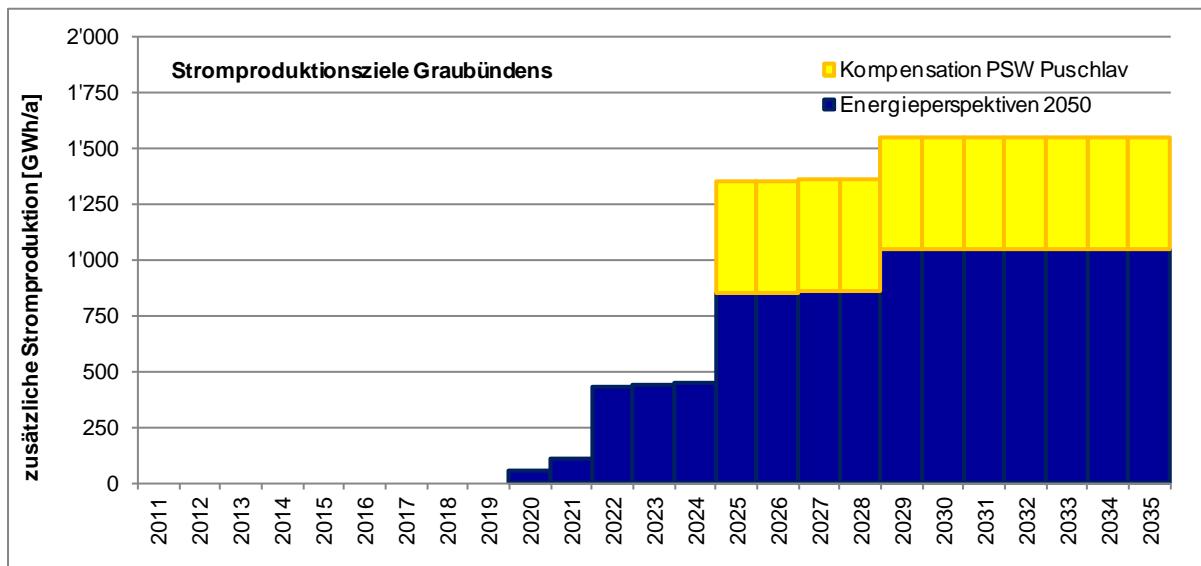


Abb. 2: Stromproduktionsziele Graubündens

¹¹ Trotz Bevölkerungswachstum, Mehrfachausstattungen (Zweitgeräte und –fahrzeuge), Elektrifizierung des Verkehrs und Energieverbrauch neuer Pumpspeicherwerk; mit Effizienzmassnahmen

¹² Zur Abdeckung der niedrigeren Produktion aus Wasserkraft im Winterhalbjahr etc.

¹³ Projekt Lago Bianco, voraussichtlich ab 2025

3 METHODIK

Bis anhin wurden schweizweit Daten betreffend Energieproduktion und –verbrauch weder einheitlich erfasst noch zentral mit einer bestimmten Datenstruktur verwaltet. Deshalb sind einige Daten bei verschiedenen Stellen der kantonalen Verwaltung vorhanden, andere nicht. Die vorhandenen Datensätze weisen auch unterschiedliche Genauigkeiten auf und stammen oft nicht aus der gleichen Erhebungsperiode¹⁴. Deshalb ist ein pragmatisches Vorgehen mit an die einzelnen Bereiche angepassten Methoden sinnvoll. Infolge der speziellen Topografie und Besiedlung Graubündens ist die Verwendung schweizerischer Mittelwerte nicht zielführend.

Im Gegensatz zu den Energieperspektiven des Bundes (BFE, 2007) werden nachfolgend nicht verschiedene Szenarien diskutiert, sondern es wird anhand bereits existierender Informationen abgeleitet, wie viel Elektrizität zukünftig durch erneuerbare Energien ohne Grosswasserkraft produziert werden kann.

Dazu werden in einem ersten Schritt für die einzelnen Technologiegruppen die aktuelle Stromproduktion ermittelt und die theoretischen sowie die realistischen Potenziale zum Ausbau der Stromproduktion abgeschätzt. Dabei wird unter dem theoretischen Potenzial jenes Potenzial verstanden, welches aufgrund der Ressource eigentlich genutzt werden könnte¹⁵. Da diese theoretische Stromproduktion infolge verschiedener einschränkender ökologischer, technischer und politischer Faktoren¹⁶ mit den meisten Technologiegruppen gar nicht erreicht werden kann, wird aus dem theoretischen Potenzial ein realistisches abgeleitet¹⁷. Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit resp. Rentabilität fliessen jedoch nicht in die Abschätzung des realistischen Potenzials mit ein. Ebenfalls bleibt bei der Herleitung die Zeitdauer bis zur Nutzung des realistischen Potenzials unberücksichtigt¹⁸. Bei der Potenzialermittlung sind weder Katastrophen, noch technische Revolutionen oder die demografische Entwicklung berücksichtigt.

In einem zweiten Schritt werden die zukünftigen Stossrichtungen zur *Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft* anhand von für den Kanton Graubünden relevanten Kriterien festgelegt. Basierend auf diesen Stossrichtungen wird dann die entsprechende Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft als Zielvorgabe abgeleitet.

Das konkrete Vorgehen und die notwendigen Annahmen sind bei der Aufarbeitung der einzelnen Technologiegruppen erläutert.

Beim vorliegenden Bericht geht es nicht darum, einzelne Standorte oder Anlagen zu bewerten oder zu optimieren, sondern die Grössenordnungen der Potenziale der verschiedenen Technologiegruppen zu ermitteln und die Potenziale selbst zu charakterisieren. Mit den vorhandenen Datengrundlagen können die Ziele des Berichts, nämlich das Erarbeiten von geeigneten Grundlagen sowie das Festlegen der zukünftigen Stossrichtungen zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, erreicht werden. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist jedoch die unterschiedliche Qualität der vorhandenen Grundlagen angemessen zu berücksichtigen.

¹⁴ Zur Erfolgskontrolle des Bündner Energiegesetzes (BEG) wird ein Energie-Datenmodell geschaffen; dadurch wird die Datenerhebung zukünftig einfacher und zuverlässiger

¹⁵ Z.B. aus Strahlungsintensität der Sonne und zu Verfügung stehender Fläche theoretisches Potenzial der Photovoltaik

¹⁶ Z.B. bauliche Ausschlusskriterien bei Photovoltaikanlagen

¹⁷ Dies impliziert jedoch nicht direkt die Bewilligungsfähigkeit solcher Projekte (z.B. Konzessionen, Plangenehmigungen oder Baubewilligungen)

¹⁸ Z.B. Steigerung des Zubaus von Photovoltaik-Fläche

4 FÖRDERPROGRAMME

4.1 Kostendeckende Einspeisevergütung KEV

Wie bereits oben erwähnt, wurde anlässlich der Revision des Energiegesetzes (EnG, 1998)¹⁹ eine Erhöhung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 um schweizweit mindestens 5'400 GWh/a beschlossen. Wichtigste Massnahme zur Förderung der erneuerbaren Energien ist dabei die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV). Diese ist für die Stromerzeugung aus Wasserkraft²⁰ (für Anlagen bis 10 MW Leistung), Photovoltaik, Windenergie, Geothermie, Biomasse und Abfälle aus Biomasse²¹ vorgesehen²² (Abb. 3). Die Inanspruchnahme der KEV schliesst den gleichzeitigen Stromverkauf durch den Eigentümer der Produktionsanlage aus.

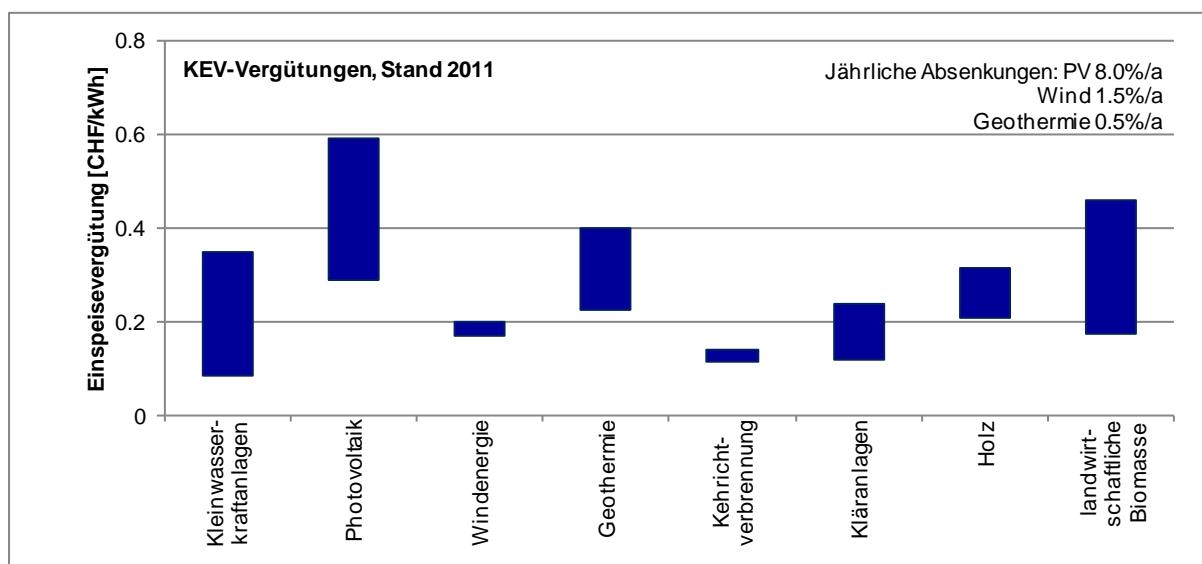


Abb. 3: Kostendeckende Einspeisevergütung

Über die eingereichten Gesuche zur kostendeckenden Einspeisevergütung wird eine Anmeldestatistik geführt (KEV, 2011). Aus Datenschutzgründen werden lediglich kantonsweise zusammengezogene Daten publiziert.

In der Schweiz werden aufgrund der kostendeckenden Einspeisevergütung bereits über 700 GWh/a Strom erzeugt²³. Bereits positive Bescheide erhielten Anlagen, welche zusammen voraussichtlich weitere 3'400 GWh/a Strom produzieren werden²⁴. Weitere Anlagen mit einer voraussichtlichen Stromproduktionskapazität von über 3'700 GWh/a befinden sich auf der Warteliste.

In Abb. 4 sind die Strommengen je Technologieart dargestellt, für welche aus Graubünden bis Ende 2010 Gesuche zur kostendeckenden Einspeisevergütung eingereicht wurden. Unter den bereits in Betrieb stehenden Anlagen dominiert die Stromgewinnung aus Biomasse. Relativ viele geplante Kleinwasserkraftwerke haben bereits positive Bescheide erhalten. Aus

¹⁹ Mit zugehörender Verordnung (EnV, 1998)

²⁰ Ausleit- und Durchlaufkraftwerke (Nicht-Infrastrukturkraftwerke) sowie Trinkwasser-, Abwasser- und Dotierkraftwerke (Infrastrukturkraftwerke)

²¹ Kehrichtverbrennungsanlagen, Schlammverbrennungsanlagen, Klärgas- und Deponiegasanlagen, übrige Biomasseanlagen und Kombinationen

²² Nur Unterstützung von Projekten, welche nach 01.01.06 neu gebaut oder erheblich erweitert wurden

²³ V.a. Wasserkraft und Biomasse; bereits in Betrieb stehende Anlagen

²⁴ V.a. Windenergie und Wasserkraft

Graubünden wurden über 80 Gesuche für Windenergieanlagen eingereicht, von denen sich jedoch fast alle auf der Warteliste befinden. Bis anhin ist die Bedeutung der kostendeckenden Einspeisevergütung für die Stromproduktion aus Photovoltaik- oder Geothermie-Anlagen gering.

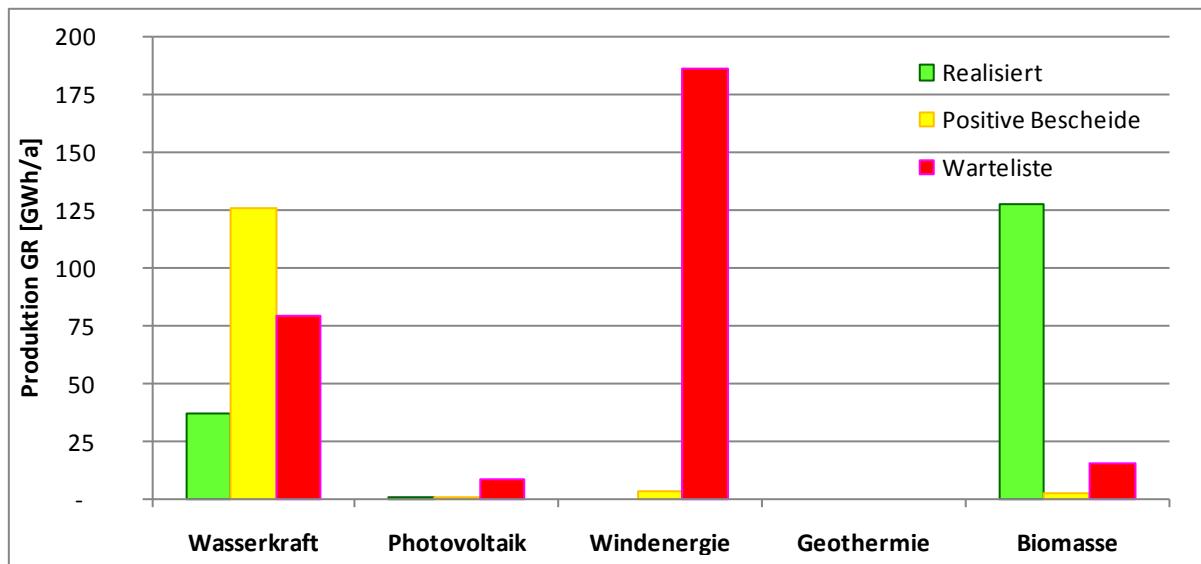


Abb. 4: Produktionsmengen der Bündner KEV-Gesuche (Stand 01.01.11)

Aus Abb. 5 geht der Produktionsanteil der KEV-Gesuche aus Graubünden im Vergleich zur gesamten Schweiz hervor. Rund 10% der KEV-geförderten Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken erfolgt in Graubünden. Deutlich wird die schweizweite Bedeutung der bereits in Betrieb stehenden Biomassekraftwerke. Obwohl aus Graubünden relativ viele Gesuche für Windenergieanlagen mit einer vergleichsweise hohen Stromproduktion eingereicht wurden, ist deren Bedeutung schweizweit eher gering.

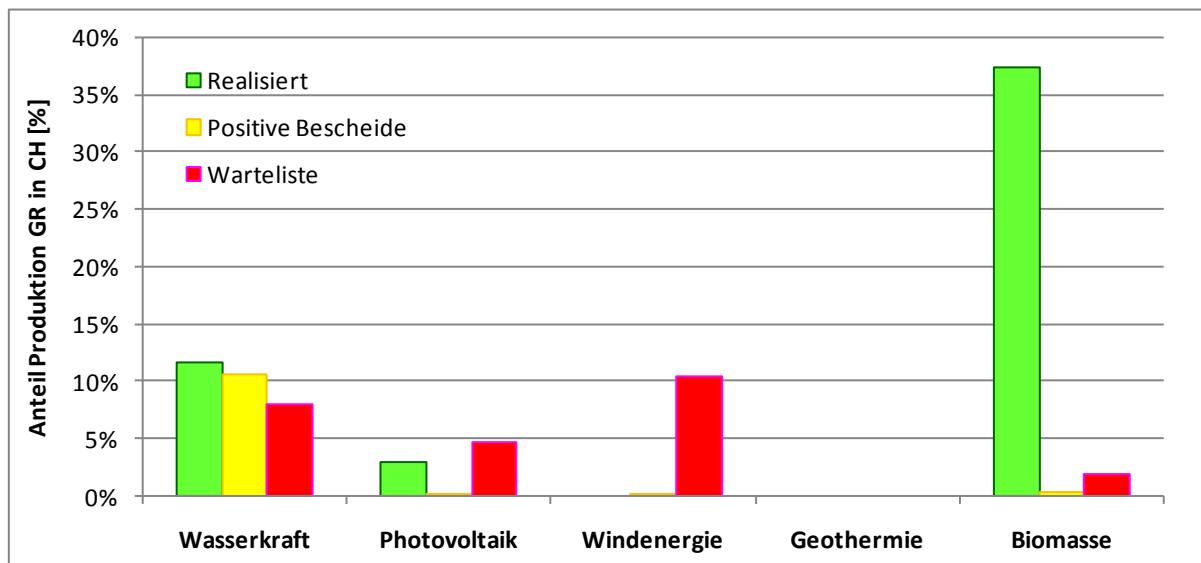


Abb. 5: Produktionsanteil der Bündner KEV-Gesuche (Stand 01.01.11)

Bezüglich der Interpretation der KEV-Gesuche ist zu berücksichtigen, dass einzelne Projekte teilweise mehrfach, jedoch von verschiedenen Gesuchstellern mit zum Teil unterschiedlichen Produktionskennzahlen, eingereicht wurden²⁵.

²⁵ Z.B. haben verschiedene Kraftwerksbetreiber oder Private ähnliche Projektideen für dieselben Fluss- oder Bachabschnitte eingereicht

4.2 Bündner Energiegesetz BEG

Das Energiegesetz des Kantons Graubünden (BEG, 2010) enthält detaillierte Ziele zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Energien für die Beheizung von Gebäuden und die Aufbereitung von Warmwasser. Die Aussagen zur Produktion von Strom aus erneuerbaren Energieträgern sind demgegenüber eher allgemein gehalten. Die Art. 23, 25 und 26 betreffen die Förderung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (Abb. 6).

	Art. 23
<i>Pilot- und Demonstrationsanlagen</i>	Der Kanton kann an Anlagen zur Erforschung, Nutzung und Erprobung erneuerbarer Energien oder energiesparender Systeme Beiträge gewähren.
	Art. 25
<i>Grossanlagen</i>	¹ Der Kanton kann im Interesse der nachhaltigen Energieversorgung und der effizienten Energienutzung im Rahmen der Finanzkompetenz gemäss Kantonsverfassung Grossanlagen von kantonaler oder regionaler Bedeutung für die Erzeugung, Umwandlung, Speicherung, den Transport und die Verteilung von Energie erwerben, erstellen oder betreiben. ² Er kann sich an solchen Anlagen auch beteiligen oder dafür Beiträge gewähren.
	Art. 26
<i>Studien</i>	Der Kanton kann Beiträge bis 50 000 Franken an Studien gewähren, wenn damit neue Erkenntnisse im Sinne der Zielsetzungen dieses Gesetzes zu erwarten sind.

Abb. 6: Artikel des BEG zur Förderung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern

Die verschiedenen aus dem BEG zitierten Artikel zeigen, dass die Gesetzesgrundlagen für eine Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie von Grossanlagen, welche einer nachhaltigen Energieversorgung entsprechen, mitsamt Studien vorhanden sind.

4.3 Förderung durch Elektrizitätswerke

Verschiedene Elektrizitätswerke fördern die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen im eigenen Versorgungsgebiet, indem sie beispielsweise den Bau der Anlagen finanziell unterstützen oder den Strom zu einem höheren Preis übernehmen. Die Elektrizitätswerke schliessen grundsätzlich eine Kombination einer solchen Finanzierungsart mit der kostendeckenden Einspeisevergütung KEV aus.

5 ELEKTRIZÄTSSTATISTIK

5.1 Stromproduktion und –verbrauch in der Schweiz

Im Jahr 2010 wurden in der Schweiz 63'758 GWh/a Strom²⁶ produziert (BFE, 2011d). Aus Abb. 7 geht hervor, dass der Anteil von Wasserkraftanlagen und Kernkraftwerken ca. 95% beträgt. Im Jahr 2010 wurden 59'785 GWh/a Elektrizität verbraucht.

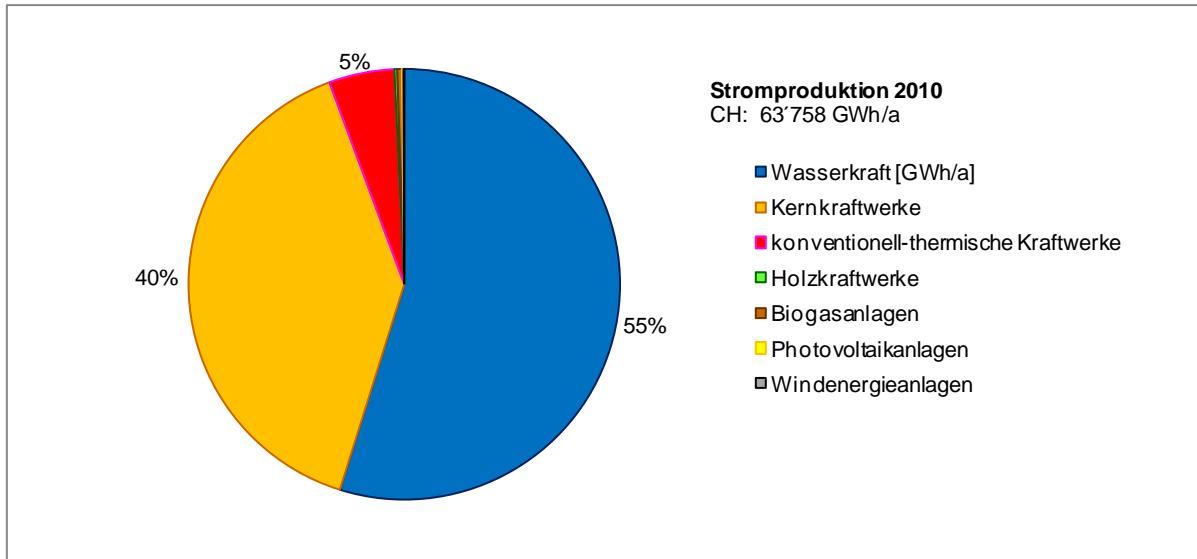


Abb. 7: Nettostromproduktion in der Schweiz 2010

5.2 Stromproduktion und –verbrauch in Graubünden

5.2.1 Stromproduktion

Die gesamte Strommenge, welche aktuell in Graubünden produziert wird, geht aus Abb. 8 hervor²⁷. Die Stromproduktion aus Grosswasserkraftwerken²⁸ dominiert. Die Produktion aus erneuerbaren Energien ohne Wasserkraft ist marginal. Den Standorten der Grosswasserkraftwerke entsprechend wird zur Zeit über 60% des Stroms in den Bezirken Hinterrhein, Inn und Surselva produziert (Abb. 9).

²⁶ Nach Abzug des Stromverbrauchs durch Pumpspeicherwerke von 2'494 GWh/a

²⁷ Z.T. Mittelwerte über mehrere Jahre; Angaben zur Stromproduktion aus den verschiedenen Energieträgern folgen unten

²⁸ > 10 MW installierte Leistung; nach Abzug der Stromverbrauchs durch Pumpspeicherwerke von ca. 107 GWh/a (nur CH-Anteil)

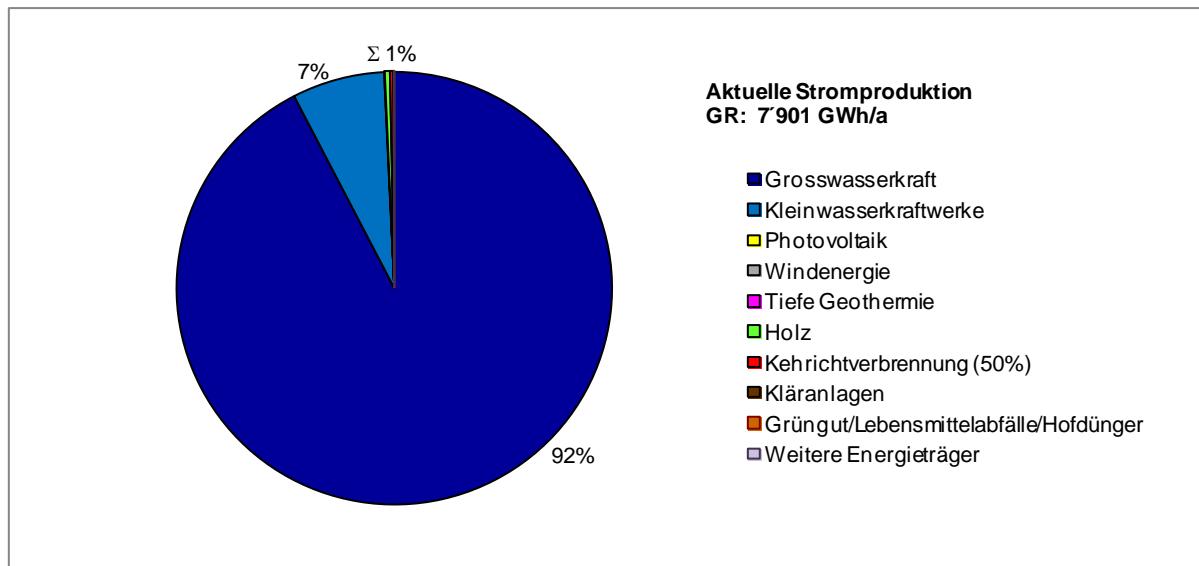


Abb. 8: Anteil aller Technologiegruppen an der aktuellen Stromproduktion in Graubünden

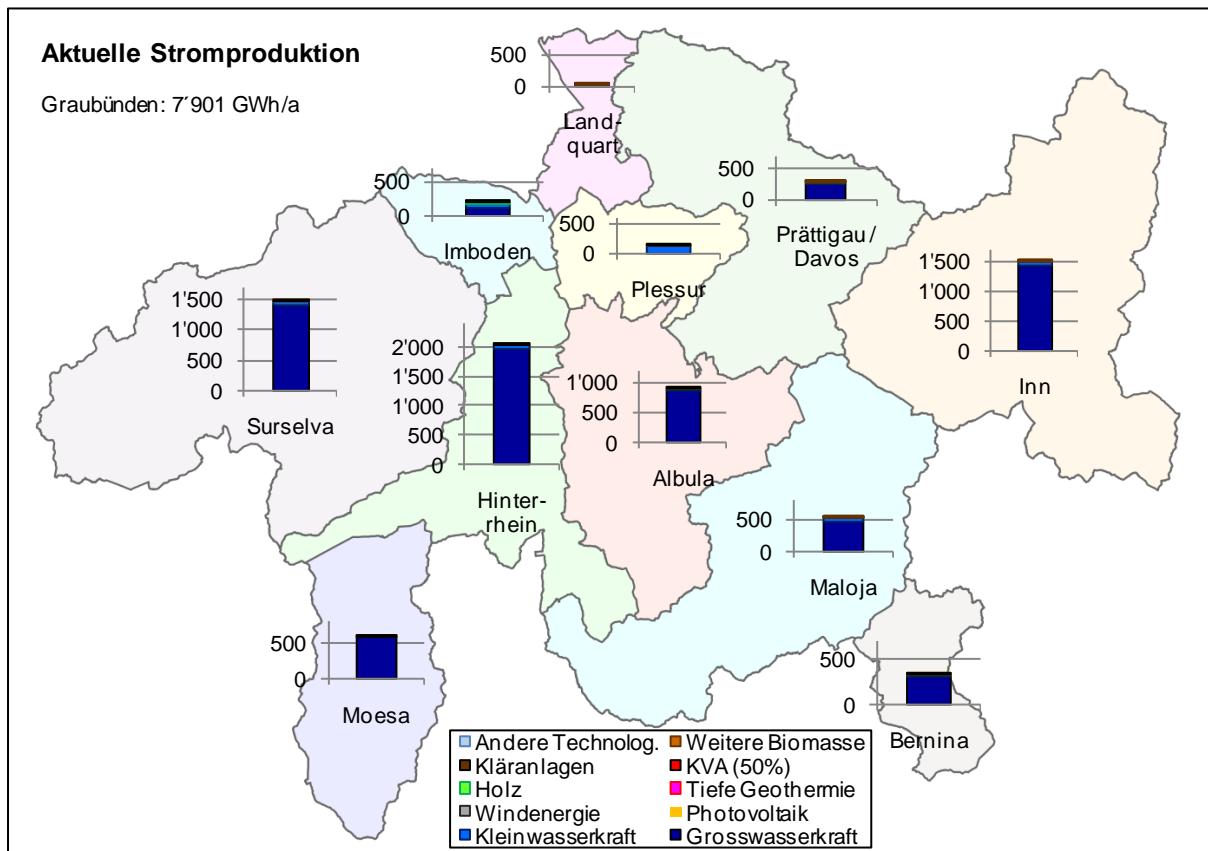


Abb. 9: Aktuelle Stromproduktion in Graubünden

Die Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft ist in Abb. 10 dargestellt. Nebst den Kleinwasserkraftwerken haben zur Zeit auch die Stromproduktion aus Holz und der Kehrichtverbrennungsanlage mengenmässig eine gewisse Bedeutung. Das massgebende Holzkraftwerk ist in Domat/Ems in Betrieb, die einzige Kehrichtverbrennungsanlage im Kanton Graubünden steht in Trimmis (Abb. 11).

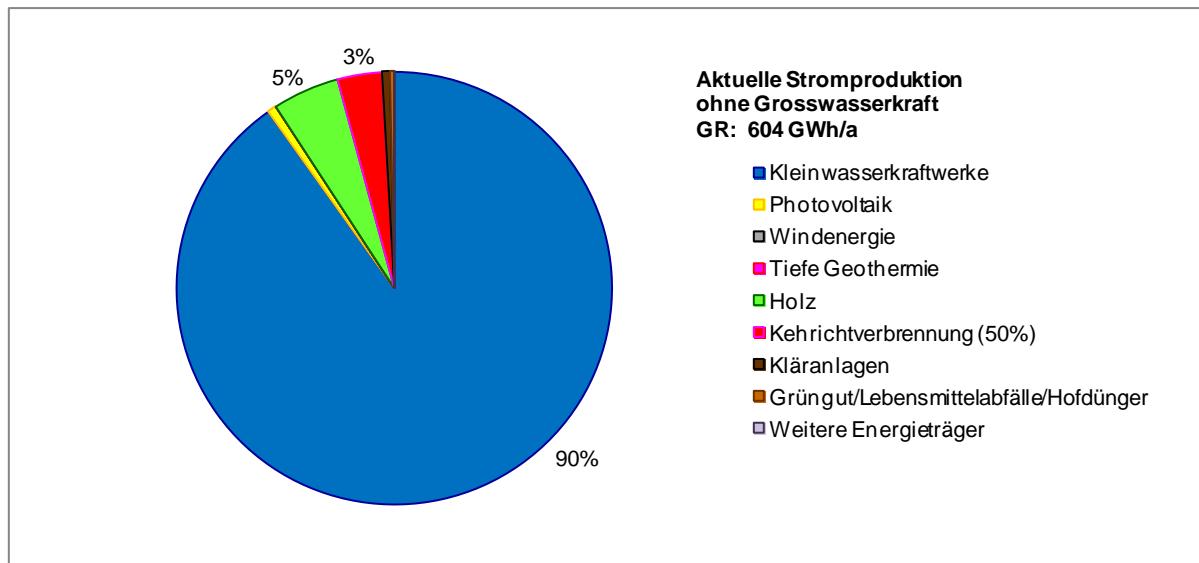


Abb. 10: Aktuelle Bedeutung der erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft

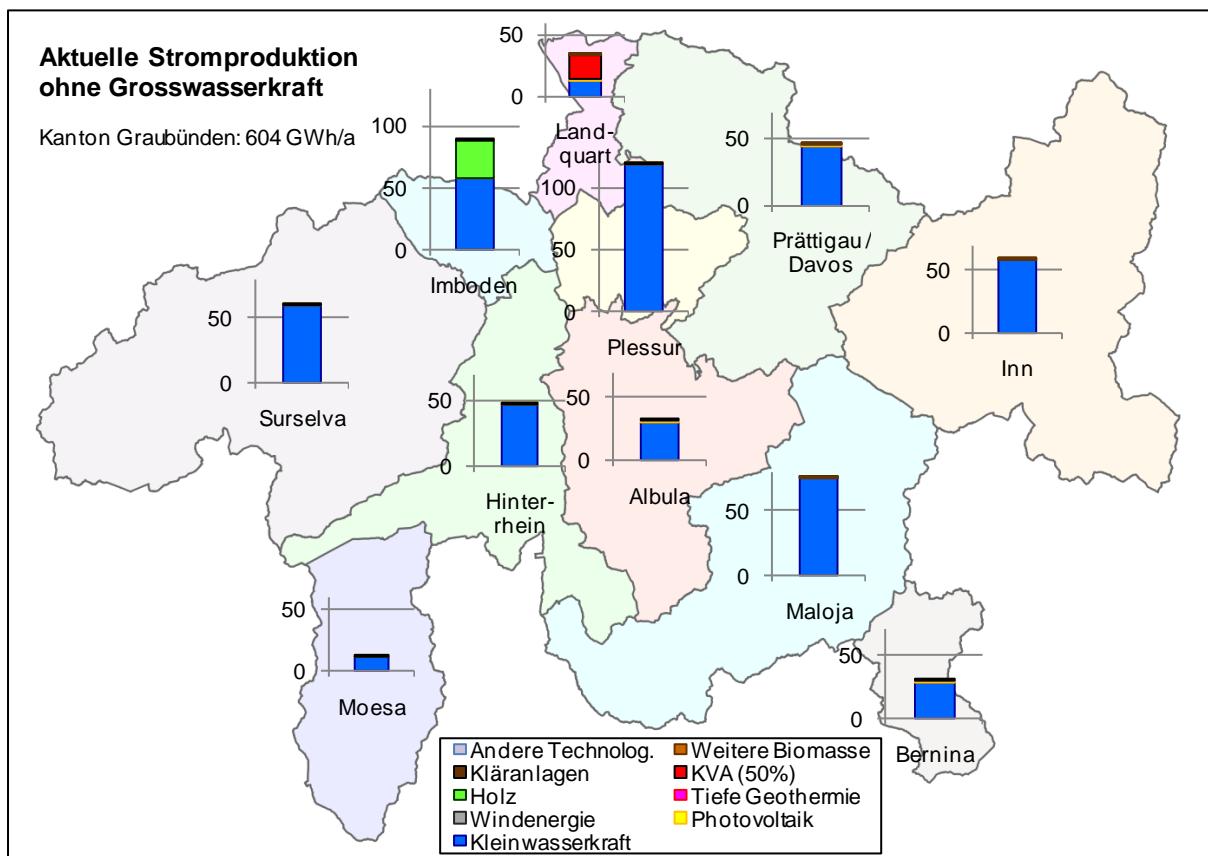


Abb. 11: Aktuelle Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft

5.2.2 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch ist in Abb. 12 bezirksweise dargestellt²⁹. Im hydrologischen Jahr 2008/2009 wurden im Kanton Graubünden 1'935 GWh/a Elektrizität bezogen³⁰. Es ist zu beachten, dass die Zusammensetzung des Stromverbrauchs nicht der Zusammensetzung der Stromproduktion entspricht³¹.

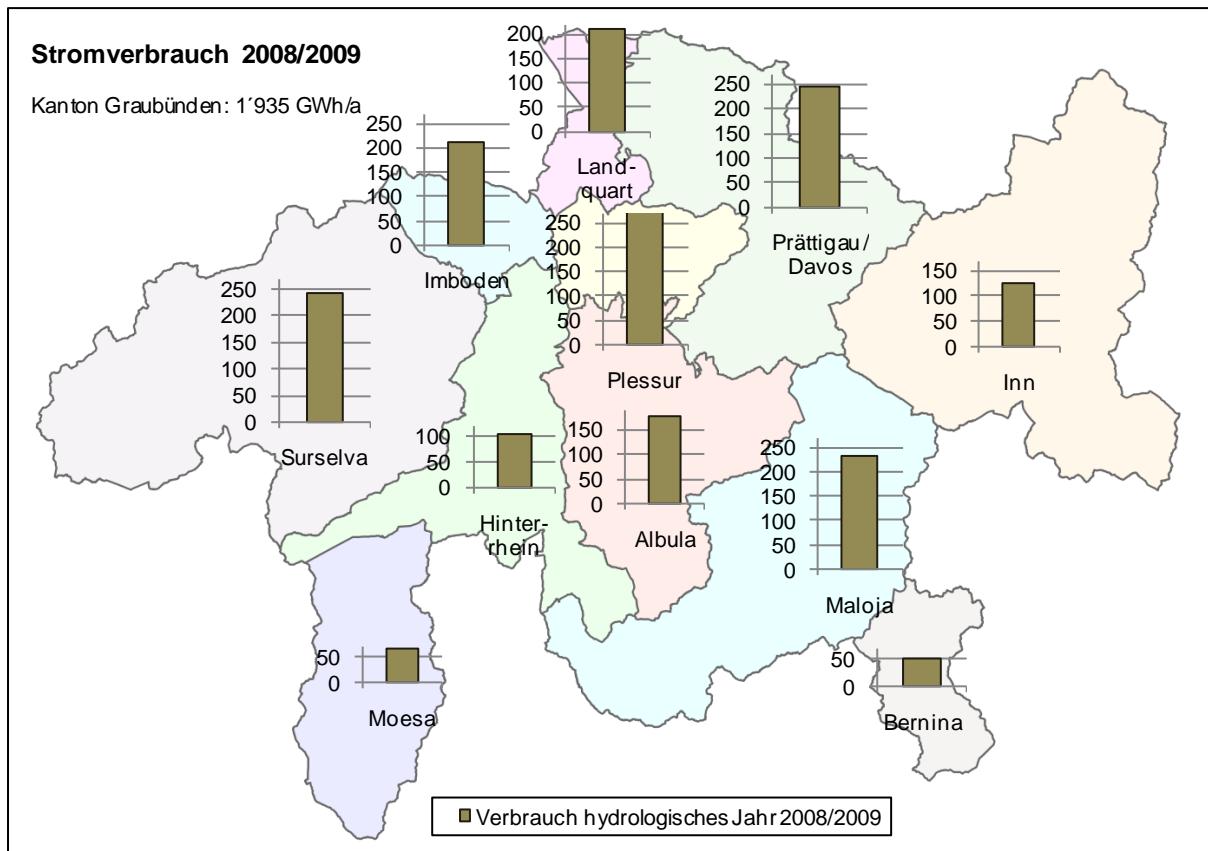


Abb. 12: Stromverbrauch in Graubünden 2008/2009

²⁹ Grundlage: Stromverbrauch je Regionalverband (AEV); Annahme für Bündner Rheintal: je 1/3 auf Bezirke Imboden, Landquart und Plessur

³⁰ Stromverbrauch im hydrologischen Jahr 2009/2010: 1'976 GWh/a (davon von RhB 102 GWh/a)

³¹ Ein wesentlicher Anteil der Stromproduktion aus Wasserkraft wird als Zertifikate ins Ausland verkauft; im Gegenzug wird „grauer“ Strom, d.h. Strom ohne Herkunftsachweis, importiert

6 POTENZIALE

6.1 Wasserkraft

6.1.1 Aktuelle Stromproduktion

Kleinwasserkraftwerke sind Wasserkraftwerke bis 10 MW³² installierter Leistung. Zu den betrachteten Wasserkraftanlagen gehören die folgenden Gruppen:

- Ausleit- und Durchlaufkraftwerke³³
- Trinkwasser- und Abwasserkraftwerke
- Weitere Wasserkraftwerke (Tunnelwasser, Beschneiungsanlagen³⁴)

Durchlaufkraftwerke sind Anlagen, bei denen das gefasste Wasser nach einer „Ausleitstrecke“ von weniger als 50 m dem Gewässer zurückgegeben und der Fuss des Wehres fischgängig angespült wird³⁵. Ausleitkraftwerke sind dementsprechend Anlagen mit einer Gewässer-Restwasserstrecke (BFE, 2011e).

Die gesamte Stromproduktion aus den etwa 200 Kleinwasserkraftwerken beträgt in Graubünden zur Zeit 544 GWh/a resp. 7% der gesamten aus Wasserkraft erzeugten Strommenge.

Aus Abb. 13 und Abb. 14 geht hervor, dass die Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken von relativ wenigen Ausleit- und Durchlaufkraftwerken mit einer hohen installierten Leistung dominiert werden. Über 80% der produzierten Strommenge stammt aus weniger als 20% der Kleinwasserkraftwerke. Dieses Verhältnis resultiert auch aus einer Auswertung der bei der KEV angemeldeten Kleinwasserkraftanlagen. Die Stromproduktion aus Anlagen mit einer Leistung unter 0.3 MW fällt äusserst gering aus (BAFU, 2009).

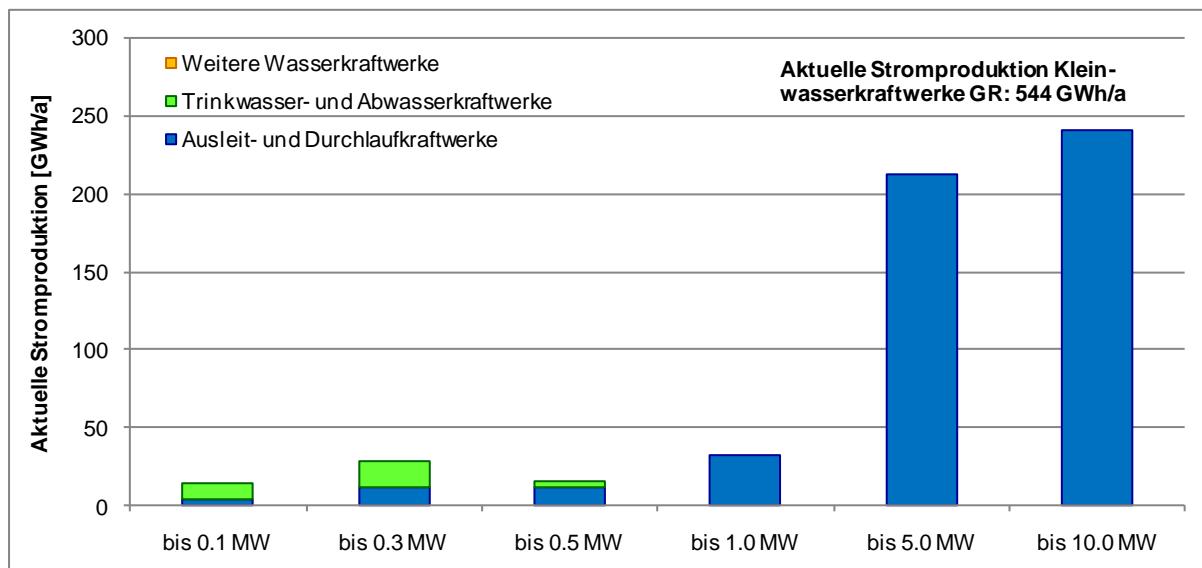


Abb. 13: Aktuelle Stromproduktion in Abhängigkeit der installierten Leistung

³² Haus- und Kleingewerbe-Kraftwerke bis 5 kW, Pico-Wasserkraftwerke bis 50 kW, Kleinst-Wasserkraftwerke bis 300 kW, Kleinwasserkraftwerke bis 10 MW

³³ Sowie allfällige Wasserwirbelkraftwerke; Dotierwasserkraftwerke, welche zu einem Grosswasserkraftwerk gehören, sind nicht bei den Kleinwasserkraftwerken erfasst, auch wenn Leistung < 10 MW (Dotierwasserkraftwerke stets als Bestandteil der Ausleit- oder Durchlaufkraftwerke betrachtet)

³⁴ Abgrenzung zu Trinkwasserkraftwerken oft nicht eindeutig

³⁵ Kein Restwasser, bei Fischgewässer Fischlock- und Aufstiegswasser

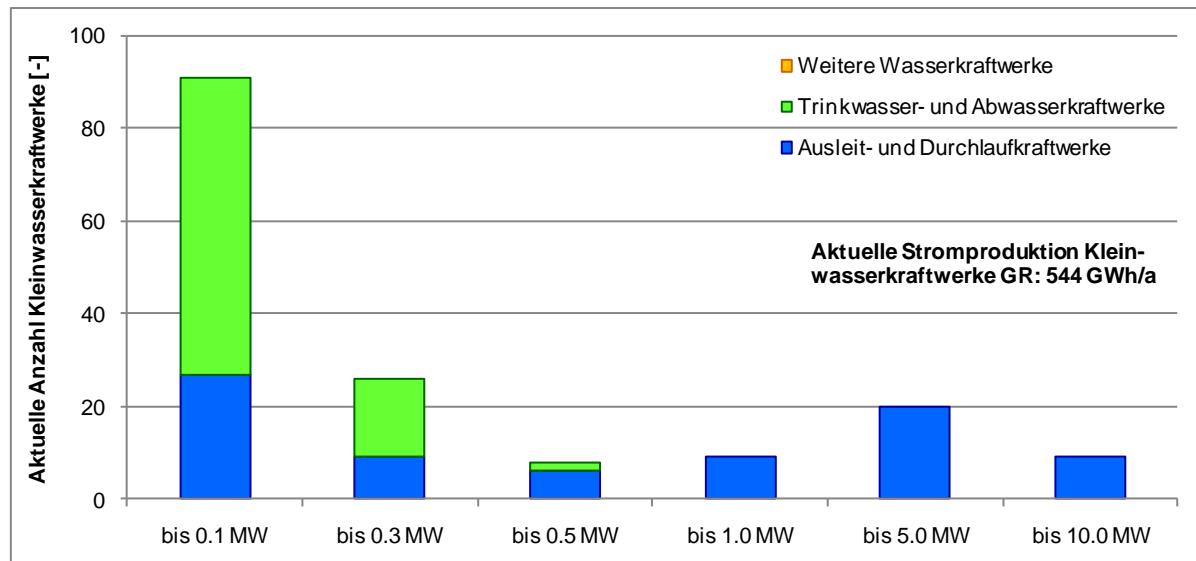


Abb. 14: Anzahl Kleinwasserkraftwerke in Abhängigkeit der installierten Leistung

Die 82 Trinkwasserkraftwerke produzieren ca. 30 GWh/a und das einzige Abwasserkraftwerk ca. 2 GWh/a. Weitere Anlagen zur Stromerzeugung, z.B. im Zusammenhang mit Tunnelwasser oder mit Beschneiungsanlagen, sind erst in der Planungs- oder Realisierungsphase.

6.1.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Vorgehen

Als Ausgangsbasis für die Beurteilung des realistischen Steigerungspotenzials wird zuerst die Zunahme der Stromproduktion abgeschätzt, welche aufgrund vorhandener Daten und Informationen eigentlich möglich sein sollte. Allfällige ökologische Einschränkungen sind in diesem theoretischen Steigerungspotenzial nicht berücksichtigt³⁶.

Die Potenzialabschätzung erfolgt anhand der folgenden Methoden:

- Schätzung anhand der beim Amt für Energie und Verkehr (AEV) vorhandenen Daten
- Schätzung aufgrund der KEV-Anmeldungen
- Hochrechnung aufgrund der Potenzialstudie Mittelbünden

Schätzung anhand der beim Amt für Energie und Verkehr vorhandenen Daten

Da sämtliche Wasserkraftwerke vom Kanton resp. der Regierung zu genehmigen sind, besteht beim AEV eine umfassende Übersicht über sämtliche bereits realisierten Kleinwasserkraftwerke. Das AEV verfügt ebenfalls über eine Liste mit Anlagen, welche bereits im Bau oder in einem formellen Genehmigungsprozess³⁷ sind oder für die eine Projektidee besteht, welche dem AEV mitgeteilt worden ist. Da das AEV jedoch nicht Kenntnis von allen Projekten hat, welche sich in einer frühen Planungsphase befinden, sind auch die vom WWF publizierten Kleinwasserkraftwerksprojekte (WWF, 2010a) in der Schätzung berücksichtigt.

Verschiedene Bündner Fliessgewässer sind in den nächsten Jahren hinsichtlich der Fischdurchgängigkeit zu sanieren. Aus kantonsweit durchgeführten Untersuchungen (ANU, 2007)

³⁶ Erfolgt erst bei der Abschätzung des realistischen Steigerungspotenzials

³⁷ KEV-Anmeldung meistens vor Gesuch beim AEV

geht beispielsweise hervor, dass im Kanton Graubünden über 300 Sohlenabstürze oder Schwellen mit einer Niveaudifferenz über 1.0 m die Fischdurchgängigkeit verunmöglichen. Da erste Untersuchungen an Wasserwirbelkraftwerken (Foto 1) zu positiven Ergebnissen geführt haben, wird für die Potenzialabschätzung angenommen, dass das Potenzial für Wasserwirbelkraftwerke in Graubünden etwa 10 bis 20 GWh/a beträgt³⁸.



Foto 1: Wasserwirbelkraftwerk (Pilotanlage Schöftland AG)

Von vereinzelten kleineren Anlagen und Projekten fehlen die Stromproduktionsdaten. Für diese Anlagen sind für die Potenzialanalyse Annahmen zu treffen. Für Ausleit- und Durchlaufkraftwerke ohne Angaben zur potenziellen Stromproduktion wird als jährliche Stromproduktion 2.0 GWh/a³⁹ und für Trinkwasserkraftwerke 0.35 GWh/a⁴⁰ zugrunde gelegt. Bei den verschiedenen anderen Kleinwasserkraftwerken wird von einem Potenzial zwischen 10 und 20 GWh/a⁴¹ ausgegangen. Der Anteil der prognostizierten Stromproduktion aus den Anlagen ohne konkrete Produktionsdaten beträgt etwa 20% des gesamten Potenzials. Die Auswirkungen einer allfälligen Fehleinschätzung der unbekannten Anlagen sind vor dem Hintergrund der verschiedenen anderen Unsicherheiten wie Realisierbarkeit etc. für die Potenzialbeurteilung von untergeordneter Bedeutung.

Das anhand der Daten und Informationen des AEV ermittelte Stromproduktionspotenzial ist zusammen mit den Ergebnissen der anderen Prognosemethoden in Abb. 15 aufgeführt.

Schätzung aufgrund der KEV-Anmeldungen

Das Potenzial für zukünftige Erhöhungen der Stromproduktion kann aufgrund der Gesuche für eine kostendeckende Einspeisevergütung (KEV, 2011) abgeschätzt werden. Allerdings ist keine Unterteilung in die verschiedenen Wasserkraftwerksgruppen möglich.

³⁸ Annahme, dass nur 20% der Standorte geeignet sind, somit ca. 70 Anlagen mit 0.1 GWh/a (Sohlenabsturz zwischen 1.0 und 1.5 m) resp. 0.2 GWh/a (Sohlenabsturz über 1.5 m) Jahresproduktion; basierend auf Pilotanlage in Schöftland AG

³⁹ Mittelwert der Anlagen mit installierter Leistung < 2 MW mit bekannter Stromproduktion

⁴⁰ Mittelwert aller Anlagen mit bekannter Stromproduktion

⁴¹ Z.B. Abwasserdruckleitung Churwalden – Chur 0.6 GWh/a, RhB-Tunnel Vereina-Klosters 0.3 GWh/a, Kraftwerke bei Be-schneiungsanlagen 9 GWh/a (Annahme: 6 zusätzliche Anlagen)

Die KEV-Statistik unterscheidet u.a. zwischen Projekten mit positiven Bescheiden und Projektgesuchen, welche auf die Warteliste gesetzt werden mussten.

Das aufgrund der KEV-Anmeldungen ermittelte zusätzliche Stromproduktionspotenzial ist ebenfalls in Abb. 15 aufgelistet.

Hochrechnung aufgrund Potenzialstudie Mittelbünden

Die Region Mittelbünden liess zusammen mit der Axpo AG und ewz Produktion eine Potenzialstudie für Mittelbünden (HMQ, 2010) erarbeiten. Dabei wurden u.a. auch die Möglichkeiten zur Stromproduktion aus Ausleit- und Durchlaufkraftwerken sowie aus Trinkwasserkraftwerken⁴² beurteilt.

Bei der Ermittlung der Potenziale wurden gewisse Ausschlusskriterien⁴³ berücksichtigt.

Bezüglich der Ausleit- und Durchlaufkraftwerke wurde das Potenzial für kleine Anlagen⁴⁴ auf 22 GWh/a⁴⁵, für grosse Kraftwerke⁴⁶ auf 63 GWh/a geschätzt. Hinsichtlich der Trinkwasserkraftwerke wurde ein Potenzial von ca. 2.5 GWh/a ermittelt. Dies bedeutet, dass vorläufig mit einer zusätzlichen Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken der Region Mittelbünden von 88 GWh/a gerechnet wird.

Das anhand der AEV-Daten für die Region Mittelbünden abgeschätzte Potenzial beträgt für die kleinen Anlagen⁴⁷ 4 GWh/a, für die anderen Ausleit- und Durchlaufkraftwerke 33 GWh/a und für Trinkwasserkraftwerke 0.6 GWh/a. Die in der Potenzialstudie Mittelbünden ermittelten zukünftigen Potenziale sind für die verschiedenen Kleinwasserkraftwerksguppen rund zwei- bis fünfmal grösser. Um die Erkenntnisse aus der Potenzialstudie Mittelbünden in einen Bezug zu den anderen Abschätzungsmethoden zu bringen, werden die Daten aus der Region Mittelbünden für den ganzen Kanton Graubünden entsprechend⁴⁸ extrapoliert⁴⁹.

Die anhand der Prognosen für die Region Mittelbünden extrapolierten Schätzungen für den Kanton Graubünden sind ebenfalls in Abb. 15 dargestellt.

Bewertung

In Abb. 15 sind die nach den verschiedenen Methoden ermittelten theoretischen Potenziale der Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken dargestellt. Die Prognosen aufgrund der AEV-Daten und der KEV-Anmeldungen sind ähnlich. Obwohl bei der Erarbeitung der Potenzialstudie Mittelbünden gewisse Ausschlusskriterien berücksichtigt wurden, führt die Hochrechnung der Potenzialstudie Mittelbünden zu einem deutlich höheren Potenzial für Kleinwasserkraftwerke.

⁴² Sowie auch Biomasse-Biogas und Biomasse-Energieholz

⁴³ Bestehende Nutzungen ohne Ausbaupotenzial, ökologische Vorbehalte (Landschaften, Flach- und Hochmoore oder Auen von nationaler Bedeutung) sowie technische und wirtschaftliche Schwächen (schwierige Topografie, kleine Einzugsgebietsgrösse, ungeeignete geodätische Verhältnisse, problematische Erschliessung)

⁴⁴ Maximal 2 GWh/a resp. mit einer installierten Ausbauleistung von maximal 0.6 MW

⁴⁵ Summe der installierten Leistung rund 6'200 kW

⁴⁶ Jahresproduktion > 2 GWh/a

⁴⁷ Bis maximal 2 GWh/a Produktion

⁴⁸ Ausleit- und Durchlaufkraftwerke bis maximal 2 GWh/a Produktion Faktor 3.0; andere Ausleit- und Durchlaufkraftwerke Faktor 5.5, Trinkwasserkraftwerke Faktor 12.8 (AEV-Daten: Verhältnis von GR/Bezirk Albula)

⁴⁹ Wohl wissend, dass Potenziale in den einzelnen Regionen stark unterschiedlich sein können (natürliches Wasserangebot, bereits realisierte Projekte, Restwassersituation, andere Ausschlusskriterien wie BLN-Gebiete, Naturschutzgebiete, Auenlandschaften etc.)

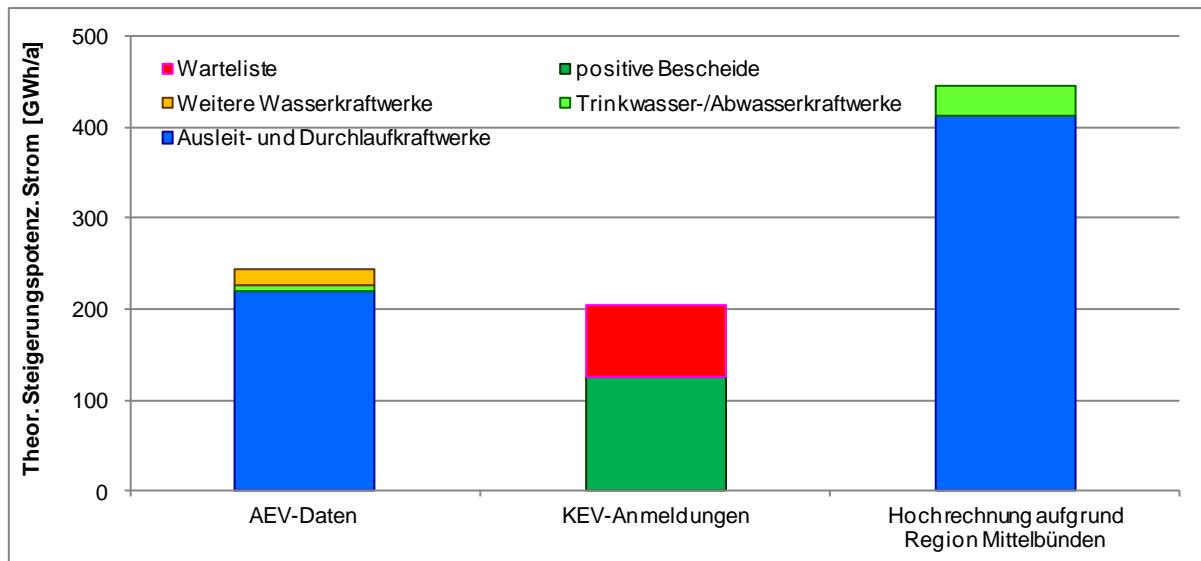


Abb. 15: Theoretische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken (Vergleich der verschiedenen Methoden)

Unter der Annahme, dass die zukünftig theoretisch möglichen Kleinwasserkraftwerke mehrheitlich bekannt sind, ist aufgrund der Daten von Abb. 15 davon auszugehen, dass das theoretische Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken in Graubünden zwischen 250 und 450 GWh/a beträgt⁵⁰.

6.1.3 Zukünftige Veränderungen

Von erheblicher Bedeutung für die Stromproduktion aus Wasserkraftwerken sind die Anpassungen an die Bestimmungen der eidgenössischen Gewässerschutzgesetzgebung bezüglich Restwassermengen⁵¹. Die Bündner Regierung hat bezüglich Verhältnismässigkeit und Zutatbarkeit⁵² von Restwassersanierungsmassnahmen bereits einen Entscheid mit Pilotcharakter (GR, 2009) gefällt, der jedoch von den Umweltorganisationen angefochten wurde⁵³.

Verschiedene Kraftwerksgesellschaften schätzten die Verminderung der Stromproduktion infolge des revidierten Gewässerschutzgesetzes im Zuge von Neukonzessionierungen auf ca. 7% (VBE, 1992). Die meisten Stromproduktions-Gesellschaften sind bei ihren Berechnungen jedoch von den Mindestrestwassermengen ausgegangen, womit sie die gesetzliche Pflicht des Kantons, gegebenenfalls höhere als die minimalen Restwassermengen anzugeben, nicht berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung der Anforderungen bezüglich ausreichender Restwassermengen und der revidierten Gewässerschutzgesetzgebung bezüglich Neukonzessionierungen ist davon auszugehen, dass die Energieeinbussen ca. 10% betragen werden. Zumindest ein Teil dieser Einbussen ist in der Regel durch Optimierungsmassnahmen wettzumachen. Zur Zeit wird davon ausgegangen, dass die Netto-Energieeinbisse bei Neukonzessionierungen ca. 4% beträgt (BFE, 2011f).

Neben den Restwasservorschriften hat auch die Klimaveränderung einen Einfluss auf die Stromproduktion der Wasserkraftwerke. Es ist davon auszugehen, dass sowohl auf der Alpennordseite als auch auf der Alpensüdseite die Niederschläge im Winter zunehmen, im

⁵⁰ Unter angemessener Würdigung der Unsicherheiten wie Doppelzählungen, unbekannte Projekte und Potenziale etc.

⁵¹ Sanierungen eigentlich bis 2012 umzusetzen

⁵² Produktionseinbussen ca. 2%, Erlösminderung ca. 5%

⁵³ Abweisung der Beschwerde durch Verwaltungsgericht, Weiterzug ans Bundesgericht, Verfahren derzeit pendent

Sommer hingegen abnehmen (MeteoSchweiz, 2009). Infolge der allgemein erwarteten Temperaturerhöhung dürfte sich zumindest ein Teil der Schneeschmelze vom Frühling in den Winter zurück verschieben. Eine allgemeine Prognose, ob die Klimaveränderung eine zusätzliche Einschränkung oder eine Begünstigung der Wasserkraftnutzung bedeutet, kann nicht gemacht werden. Die Auswirkungen sind fallweise zu prüfen⁵⁴.

6.1.4 Realistisches Steigerungspotenzial

Da seit der Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung der Druck auf kleinere Fließgewässer durch neue Projekte für Ausleit- und Durchlaufkraftwerke zugenommen hat⁵⁵, liess der WWF Schweiz eine Studie zur Beurteilung des Potenzials aus Kleinwasserkraftprojekten mit KEV-Anmeldung an ökologisch geeigneten Standorten erarbeiten (WWF, 2010b). Nach der Anwendung verschiedener ökologischer Ausschlusskriterien⁵⁶ resultierte, dass höchstwahrscheinlich nur knapp 50% der KEV-Gesuche für Ausleit- und Durchlaufkraftwerke aus ökologischen Gründen geeignet sind. Der entsprechende Anteil an der Stromproduktion beträgt gar nur etwa 35%.

Das kantonale Amt für Jagd und Fischerei machte schon verschiedentlich die Beobachtung, dass bei Kleinwasserkraftwerkprojekten die Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit der minimalen Restwassermenge vorgenommen werden. Im Falle von Fließgewässern ist eine solche Restwassermenge teilweise nicht ausreichend. Ebenfalls zu wenig Beachtung findet der Umstand, dass Fließgewässer in BLN-Gebieten⁵⁷ oder in Landschaften von regionaler oder lokaler Bedeutung in der Regel nicht beziehungsweise nur mit Einschränkungen genutzt werden können.

Es ist davon auszugehen, dass auch in Graubünden nur ein Teil der theoretisch möglichen neuen Ausleit- und Durchlaufkraftwerke realisiert werden kann. Für die weiteren Analysen wird angenommen, dass das realistische Steigerungspotenzial für die Stromproduktion aus Ausleit- und Durchlauf-Kleinwasserkraftwerken 50% des theoretisch möglichen Potenzials beträgt, welches aufgrund der AEV-Daten abgeschätzt wurde⁵⁸. Da die Stromproduktion aus Trinkwasser- und Abwasserkraftwerken sowie aus der Gruppe der weiteren Kleinwasserkraftwerke ökologisch unproblematisch ist, entspricht das realistische Potenzial gerade dem theoretischen gemäss AEV.

Das Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken beträgt demzufolge ca. 135 GWh/a. Davon stammen ca. 110 GWh/a aus Ausleit- und Durchlaufkraftwerken, ca. 8 GWh/a von Trinkwasser- und Abwasserkraftwerken und ca. 17 GWh/a aus weiteren Kleinwasserkraftwerken.

Die Aufteilung der Strompotenziale auf die einzelnen Bezirke geht aus Abb. 16 hervor. Bei der Reduktion des Potenzials zur Stromproduktion aus Ausleit- und Durchlaufkraftwerken wurden keine projektspezifischen Abminderungen vorgenommen, sondern es wurden sämtliche Potenziale pauschal mit dem oben erwähnten Faktor von 50% reduziert.

⁵⁴ Auch Berücksichtigung einer allfälligen Temperaturerhöhung in den Fließgewässern

⁵⁵ Die baulichen Anlagen der Ausleit- und Durchlaufkraftwerke sowie die Veränderung des Abflussregimes können auf den Gewässerlebensraum nachteilig wirken (Konflikt mit Biodiversitäts- und Gewässerschutz)

⁵⁶ Gewässerökonomorphologie, Laichgebiete nationaler Bedeutung, Moore und Auen, Nationalpark-, Unesco-Welterbe-, Ramsar- und BLN-Schutzgebiete

⁵⁷ BLN: Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung

⁵⁸ Die Erhöhung gegenüber dem Ergebnis der WWF-Studie ist derart zu interpretieren, dass in Graubünden wohl noch weitere Potenziale gemäss Hochrechnung aus Potenzialstudie Region Mittelbünden bestehen

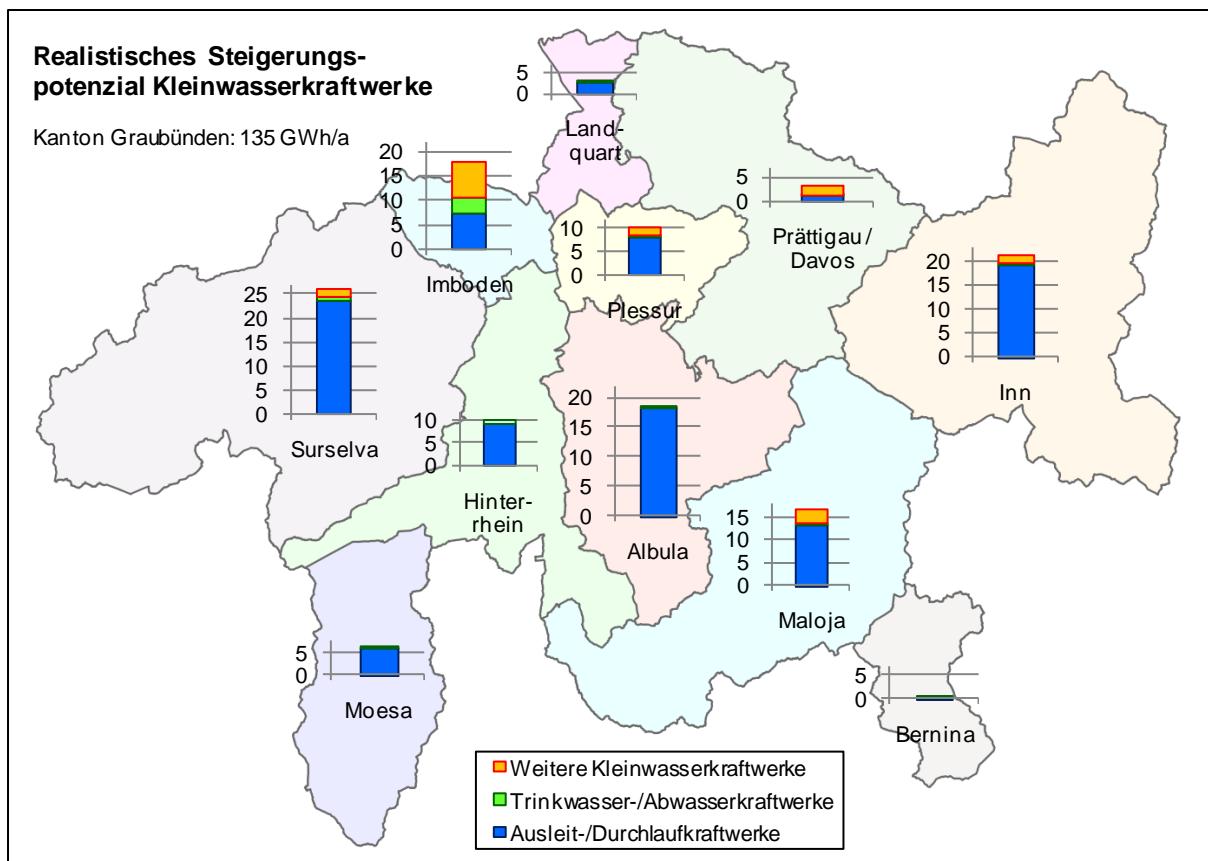


Abb. 16: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken

Infolge der Dominanz der vergleichsweise grossen Ausleit- und Durchlaufkraftwerke ist davon auszugehen, dass das Steigerungspotenzial aus den Kleinwasserkraftwerken eine deutliche Jahresganglinie mit geringerer Produktion in den kalten Wintermonaten aufweist. Signifikante Tagesganglinien sind nicht zu erwarten.

Aufgrund der in der Regel bescheidenen Rückstaumöglichkeiten weist die Stromproduktion aus Kleinwasserkraftwerken keine signifikanten Strom-Speichermöglichkeiten auf.

6.2 Photovoltaik

6.2.1 Aktuelle Stromproduktion

In Graubünden existiert keine aktuelle Übersicht über die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen. Im Richtplan 2010 ist die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen für das Jahr 2007 mit 1 GWh/a angegeben (GR, 2010). Aus der Publikation der KEV-Gesuche (KEV, 2011) ist zu entnehmen, dass in Graubünden KEV-unterstützte Projekte mit einer jährlichen Stromproduktion von ca. 0.7 GWh/a realisiert wurden.

Für die weiteren Abschätzungen wird davon ausgegangen, dass in Graubünden zur Zeit ca. 4 GWh/a Strom aus Photovoltaikanlagen hergestellt werden⁵⁹.

⁵⁹ Erhebung AEV, Sept. 11

6.2.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Vorgehen

Das theoretische Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Photovoltaik wird mit den folgenden Methoden ermittelt:

- Schätzung aufgrund Strahlungsenergie und Siedlungsgebiet
- Schätzung aufgrund KEV-Anmeldungen
- Schätzung aufgrund Faustregel „Potenzial des Solarstroms in der Gemeinde“

Schätzung aufgrund Strahlungsenergie und Siedlungsgebiet

Die Europäische Kommission stellt Satelliten gestützte Strahlungsintensitätsmessungen zu Verfügung (EU, 2011). Die aufgrund der langjährigen Messreihe⁶⁰ ermittelten durchschnittlichen Strahlungsintensitäten sind in Abb. 17 bezirksweise als Mittel der einzelnen Gemeinden dargestellt.

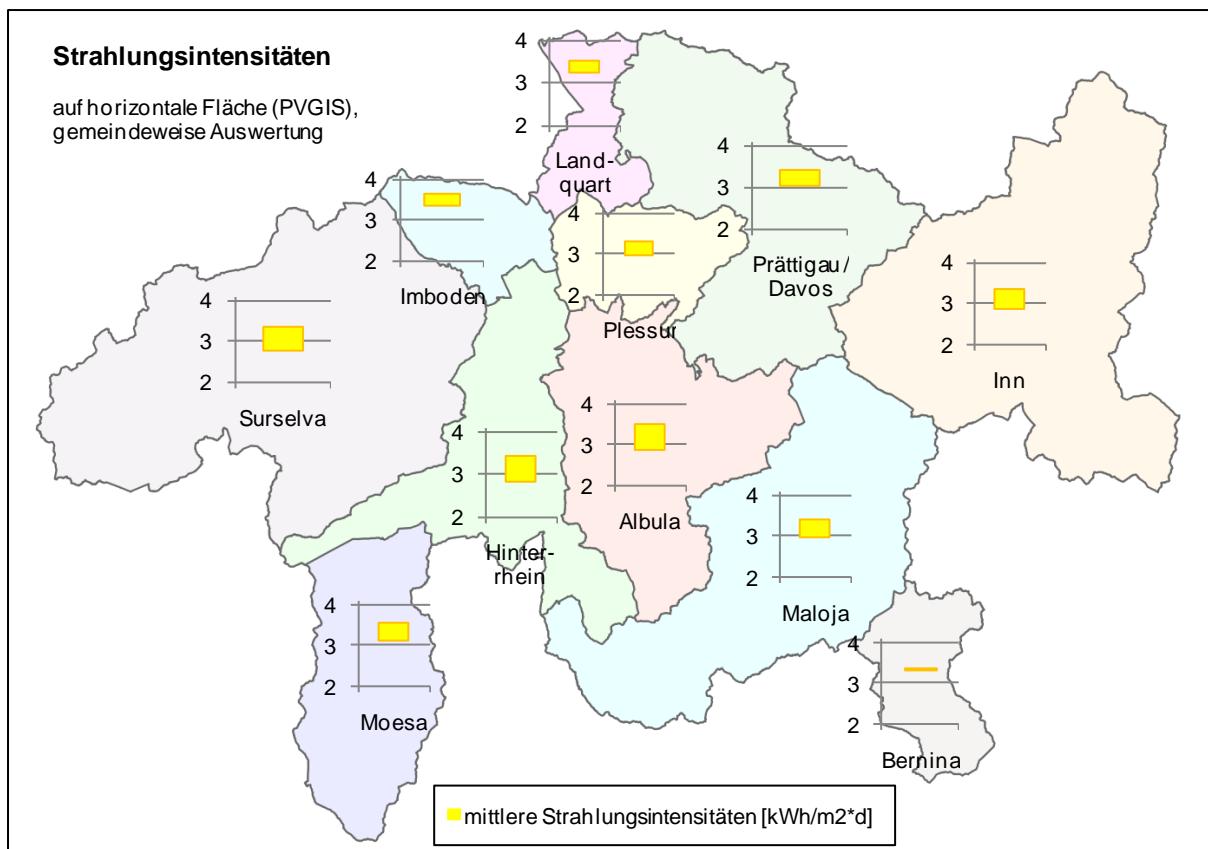


Abb. 17: Mittlere Strahlungsintensitäten in Graubünden (Quelle: PVGIS, European Union)

Aus der statistischen Auswertung der Nutzungspläne (ARE, 2010) folgt, dass das Siedlungsgebiet mit baulicher Nutzung⁶¹ in Graubünden ca. 7'200 ha beträgt. Unter der Annahme, dass davon theoretisch ein Viertel für die Stromproduktion aus Photovoltaik zu Verfügung steht, und dass der elektrische Wirkungsgrad 10% beträgt, resultiert eine theoretische Stromproduktion von ca. 2'000 GWh/a.

⁶⁰ Messreihe 1998 bis 2010; Berücksichtigung der Beschattung durch Gebirge, nicht jedoch durch Nachbargebäude, Bäume etc.

⁶¹ Überbaut und noch nicht überbaut

Schätzung aufgrund KEV-Anmeldungen

Bei der KEV-Stiftung sind noch fast 300 Gesuche aus dem Kanton Graubünden mit einer Gesamtproduktion von über 8 GWh/a registriert, welche entweder einen positiven Bescheid erhielten, aber noch nicht realisiert wurden, oder noch auf der Warteliste sind.

Schätzung aufgrund Faustregel „Potenzial des Solarstroms in der Gemeinde“

Das BFE publizierte eine Faustregel zur groben Abschätzung des Potenzials von Solarstrom (BFE, 2006). Demnach beträgt das spezifische Potenzial ca. 1 MWh pro Einwohner und Jahr⁶². Hochgerechnet für den Kanton Graubünden resultiert somit ein theoretisches Potenzial von ca. 200 GWh/a.

Bewertung

In Abb. 18 sind die anhand der verschiedenen Ansätze ermittelten theoretischen Potenziale dargestellt. Die Diskrepanz zwischen dem aufgrund der Siedlungsfläche theoretisch ermittelten Potenzial und den KEV-Anmeldungen ist für die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen typisch. Die Gestehungskosten von Photovoltaikstrom sind vorläufig noch nicht konkurrenzfähig, so dass in der Schweiz grössere Anlagen in der Regel nur mit Förderbeiträgen realisiert werden (NET, 2009). Die Schätzung anhand der BFE-Faustregel entspricht eher dem realistischen als dem theoretischen Potenzial⁶³.

Die Internationale Energie Agentur (IEA, 2008) kommt zum Schluss, dass in der Schweiz der Anteil von Photovoltaikstrom am Gesamtstromverbrauch langfristig gegen 35% betragen kann. Dies würde für Graubünden einer Stromproduktion aus Photovoltaik von knapp 700 GWh/a entsprechen.

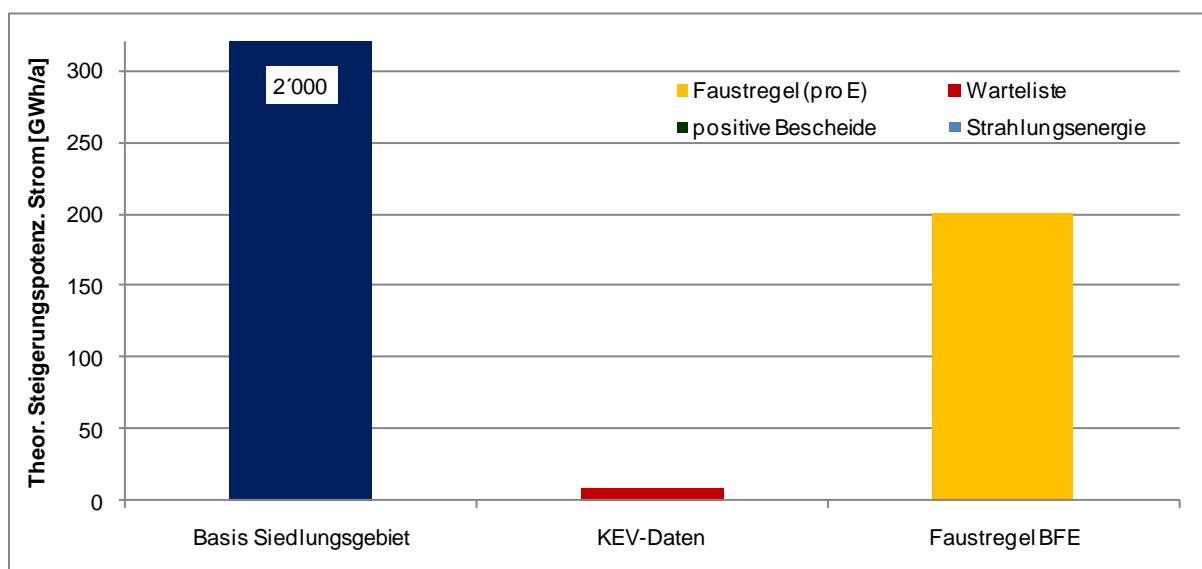


Abb. 18: Theoretische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Photovoltaik (Vergleich der verschiedenen Methoden)

Im Gegensatz zu den anderen Technologiegruppen ist bezüglich der solaren Stromproduktion davon auszugehen, dass das Potenzial nicht innert weniger Jahre tatsächlich realisiert werden kann. Sofern an der heute in der Schweiz üblichen Praxis festgehalten wird, wonach

⁶² Basierend auf einer geeigneten Dachfläche von 10 m²/Einwohner

⁶³ Herleitung aufgrund „geeigneter“ Dachflächen aus Fallstudien

Photovoltaikanlagen auf oder an Gebäuden installiert werden, ist die solare Stromproduktion Wachstums- und nicht Ressourcen-limitiert.

In den letzten Jahren wurden in einigen Ländern bezüglich der Installation von Photovoltaikanlagen Wachstumsraten von über 40% pro Jahr erreicht. Da davon auszugehen ist, dass in Graubünden Photovoltaikanlagen nicht auf Freiflächen, sondern v.a. auf Dächern und in Fassaden installiert werden, sind solch hohe Wachstumsraten nicht realistisch⁶⁴. Sofern eine jährliche Wachstumsrate von 20% erreicht wird, dauert es gegen 30 Jahre, bis mit Photovoltaikanlagen ca. 700 GWh/a Strom produziert wird.

Da einige europäische Länder eine wesentlich höhere Pro-Kopf-Photovoltaik-Leistung aufweisen⁶⁵ (IEA, 2009), wird am oben hergeleiteten theoretischen Potenzial von 200 GWh/a festgehalten. Mit einer Wachstumsrate von 20% pro Jahr würde eine solche Photovoltaik-Stromproduktion in ca. 25 Jahren erreicht.

6.2.3 Zukünftige Veränderungen

Die Entwicklung der Photovoltaik resp. der solaren Stromproduktion hängt stark von Produktionsfortschritten und Fördermitteln ab. Die europäische Photovoltaik-Industrie geht davon aus, dass Photovoltaikstrom in Europa gegen 2020 ohne Fördermittel wettbewerbsfähig sein wird (EPIA, 2009). Die zusätzliche Bereitstellung von Fördermitteln in der Schweiz ist vorläufig ungewiss.

In der Gemeinde St. Antönien ist eine in die Lawinenverbauungen integrierte Photovoltaikanlage geplant, welche jährlich ca. 4.5 GWh/a Strom produzieren soll⁶⁶ (Meier, 2010). Wie oben erläutert, hängt die Umsetzung solcher Projekte von den zur Verfügung stehenden Fördermitteln ab.

Nebst der Installation von einzelnen Photovoltaikanlagen auf oder an Gebäuden werden im Ausland auch eigentliche Photovoltaik-Parks erstellt⁶⁷.

6.2.4 Realistisches Steigerungspotenzial

Da mit der vorliegenden Studie die Potenziale zur Steigerung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien aufgezeigt werden sollen, wird davon ausgegangen, dass das realistische Potenzial gerade dem gemäss BFE-Faustregel ermittelten Potenzial entspricht⁶⁸. Da die aktuelle Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen äusserst bescheiden ist, stellt das Steigerungspotenzial (Abb. 19) gerade auch etwa die potenzielle zukünftige Produktion dar.

Die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen weist neben der offensichtlichen Tagesganglinie auch eine signifikante Jahresganglinie auf. Die Strahlungsintensität beträgt in den Wintermonaten oft nur 25% derjenigen der Sommermonate.

⁶⁴ Ressourcen, Qualität und Netzintegration

⁶⁵ Spanien, Deutschland und Luxemburg weisen eine rund zehnfach grössere installierte Pro-Kopf-Leistung auf; allerdings mit nahezu unbeschränkten Fördermitteln

⁶⁶ An ca. 12.5 km Lawinenverbauungen

⁶⁷ Gemäss gängiger Praxis ARE und ANU zur Zeit in Graubünden nicht realisierbar

⁶⁸ Eine ähnliche Grössenordnung resultiert, wenn angenommen wird, dass 1% vom überbauten Siedlungsgebiet (5'500 ha) und 10% des noch nicht überbauten Siedlungsgebiets mit baulicher Nutzung (1'700 ha) für Photovoltaik genutzt werden (total ca. 270 GWh/a)

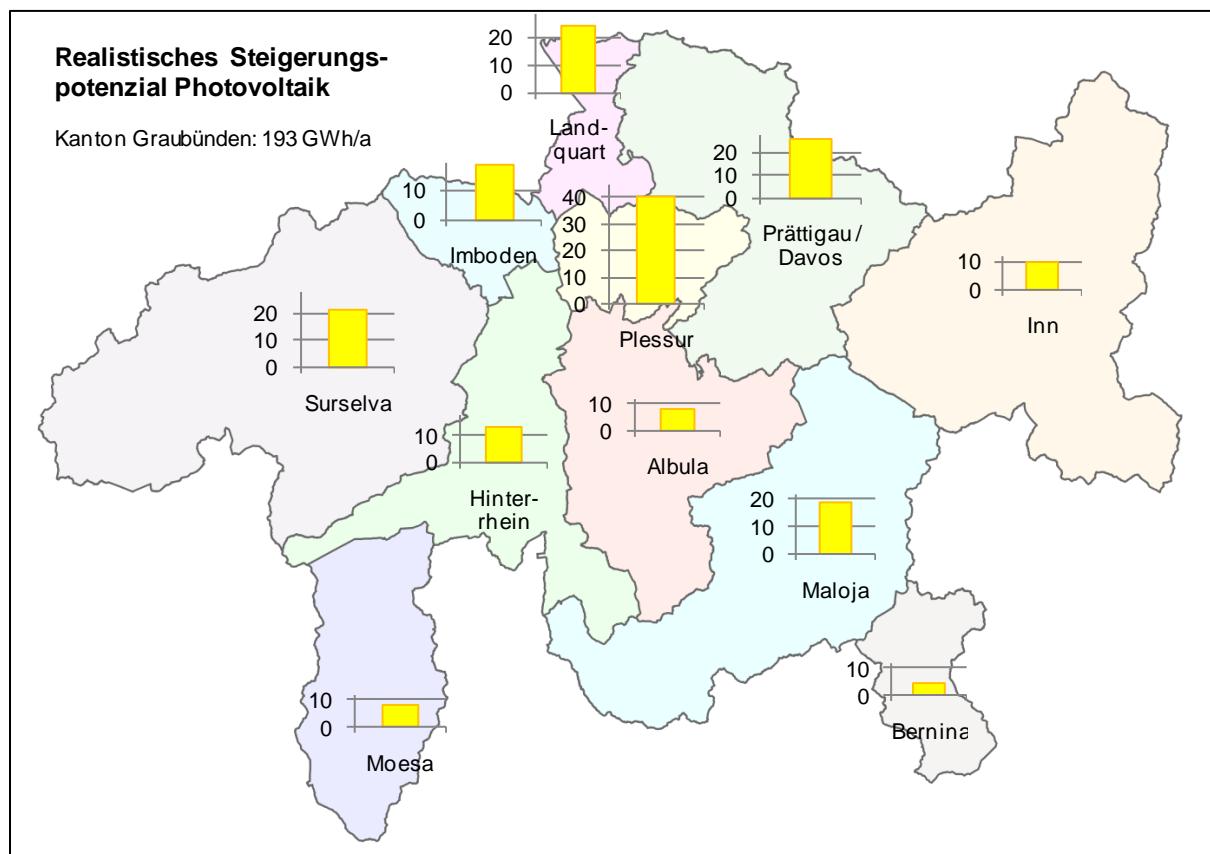


Abb. 19: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen

6.3 Windenergie

6.3.1 Aktuelle Stromproduktion

Die Stromproduktion aus Windkraft ist in Graubünden zur Zeit marginal. Die einzige bereits in Betrieb stehende Windkraftanlage in Graubünden steht in St. Moritz⁶⁹ (Foto 2) und produziert ca. 0.01 GWh/a Strom. Im Kanton Graubünden sind noch keine Windkraftwerke in Betrieb, welche eine kostendeckende Einspeisevergütung erhalten.

6.3.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Vorgehen

Das theoretische Potenzial der Stromproduktion aus Windkraft wird anhand der folgenden Methoden ermittelt:

- Konzept Windenergie Schweiz
- KEV-Anmeldungen
- In der Öffentlichkeit bekannte Projekte

⁶⁹ Windkraftanlage Chamanna, St. Moritz



Foto 2: Windkraftanlage St. Moritz (Quelle: Aventa AG)

Konzept Windenergie Schweiz

Im Rahmen des Konzepts Windenergie Schweiz (BFE, 2004) wurden im Jahr 2003 schweizweit Potenzialflächen ermittelt, auf denen Windparks installiert werden könnten. Für den Kanton Graubünden wurden diesbezüglich die folgenden Standorte ausgewiesen⁷⁰ (Abb. 20):

- Alp Nova⁷¹: mögliche Stromproduktion ca. 3 GWh/a
- Arosa⁷²: mögliche Stromproduktion ca. 4 GWh/a
- Bischofpass⁷³: mögliche Stromproduktion ca. 4 GWh/a
- Vorderalp⁷⁴: mögliche Stromproduktion ca. 3 GWh/a

⁷⁰ Realisierung jedoch nur von untergeordneter Priorität

⁷¹ Mittlere Windgeschwindigkeit 4.8 m/sec, 3 Anlagen à 1.1 GWh/a (Anlagen der 70 m Klasse, Nennleistung 1.25 MW)

⁷² Mittlere Windgeschwindigkeit 5.0 m/sec, 4 Anlagen à 1.1 GWh/a (Anlagen der 70 m Klasse, Nennleistung 1.25 MW)

⁷³ Mittlere Windgeschwindigkeit 5.2 m/sec, 4 Anlagen à 1.1 GWh/a (Anlagen der 70 m Klasse, Nennleistung 1.25 MW)

⁷⁴ Mittlere Windgeschwindigkeit 4.8 m/sec, 3 Anlagen à 1.1 GWh/a (Anlagen der 70 m Klasse, Nennleistung 1.25 MW)

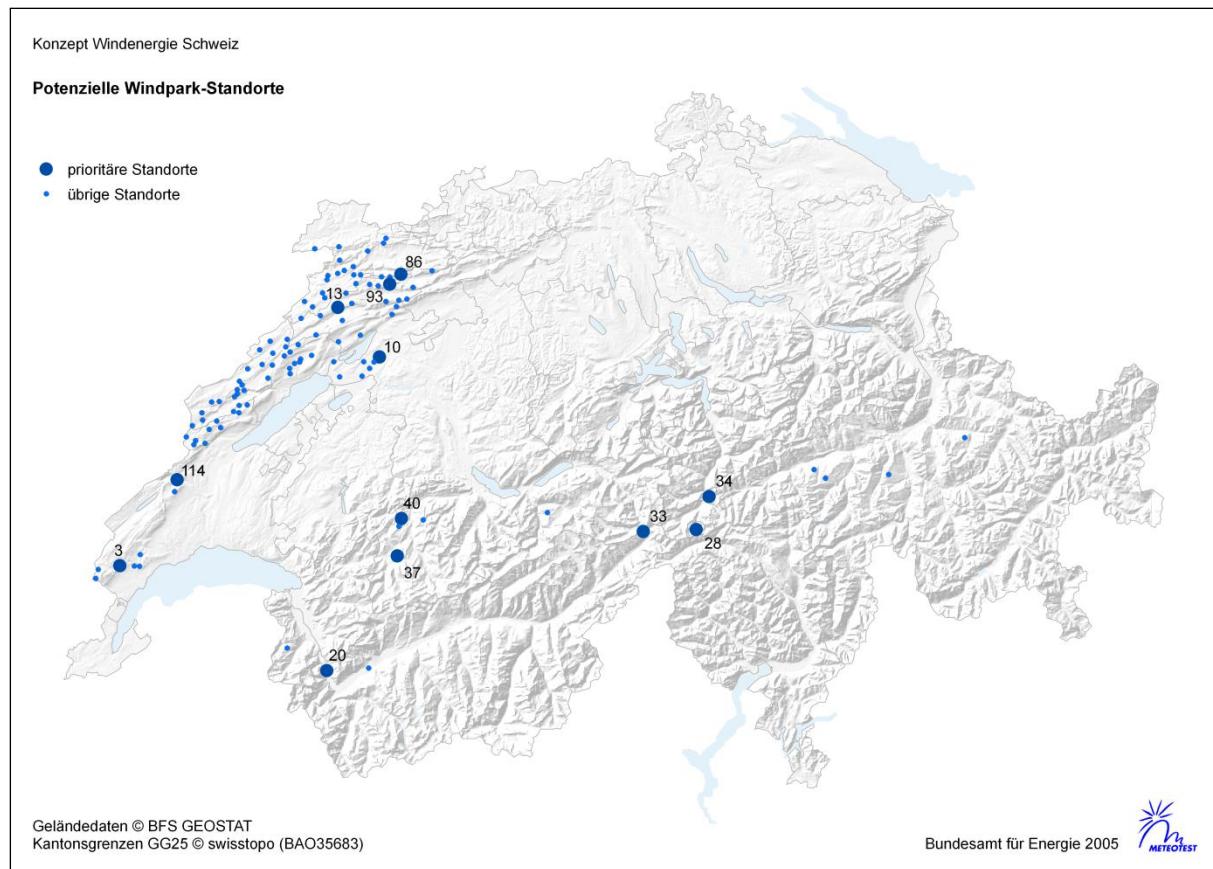


Abb. 20: Potenzielle Windpark-Standorte (BFE, 2004)

Die Auswertungen von 2003 wurden im Jahr 2010 unter Berücksichtigung der Empfehlungen zur Planung von Windenergieanlagen (BFE/BAFU/ARE, 2010) aktualisiert (BFE, 2010b). Dabei wurden Kriterien des Natur- und Landschaftsschutzes⁷⁵, des Windangebots⁷⁶, des Abstands zu Siedlungsgebieten und bewohnten Gebäuden sowie der Eignung der baulichen Flächen berücksichtigt. Aus Abb. 21 geht hervor, dass in Graubünden diverse Gebiete die gewählten Kriterien erfüllen. Zur möglichen Stromproduktion sind jedoch keine Angaben gemacht.

KEV-Anmeldungen

Aus der KEV-Statistik (KEV, 2011) geht hervor, dass aus Graubünden Projekte mit einer Stromproduktion von insgesamt ca. 3 GWh/a eingereicht wurden, welche bereits einen positiven Unterstützungs-Bescheid erhielten. Auf der Warteliste sind noch über 80 Projekte mit einer Gesamtstromproduktion von über 180 GWh/a. Wie bereits erwähnt ist jedoch nicht auszuschliessen, dass gewisse Vorhaben beim KEV mehrfach erfasst sind.

⁷⁵ Ohne Auerhuhn-Potenzialgebiete

⁷⁶ Mind. 4.5 m/sec auf 70 m

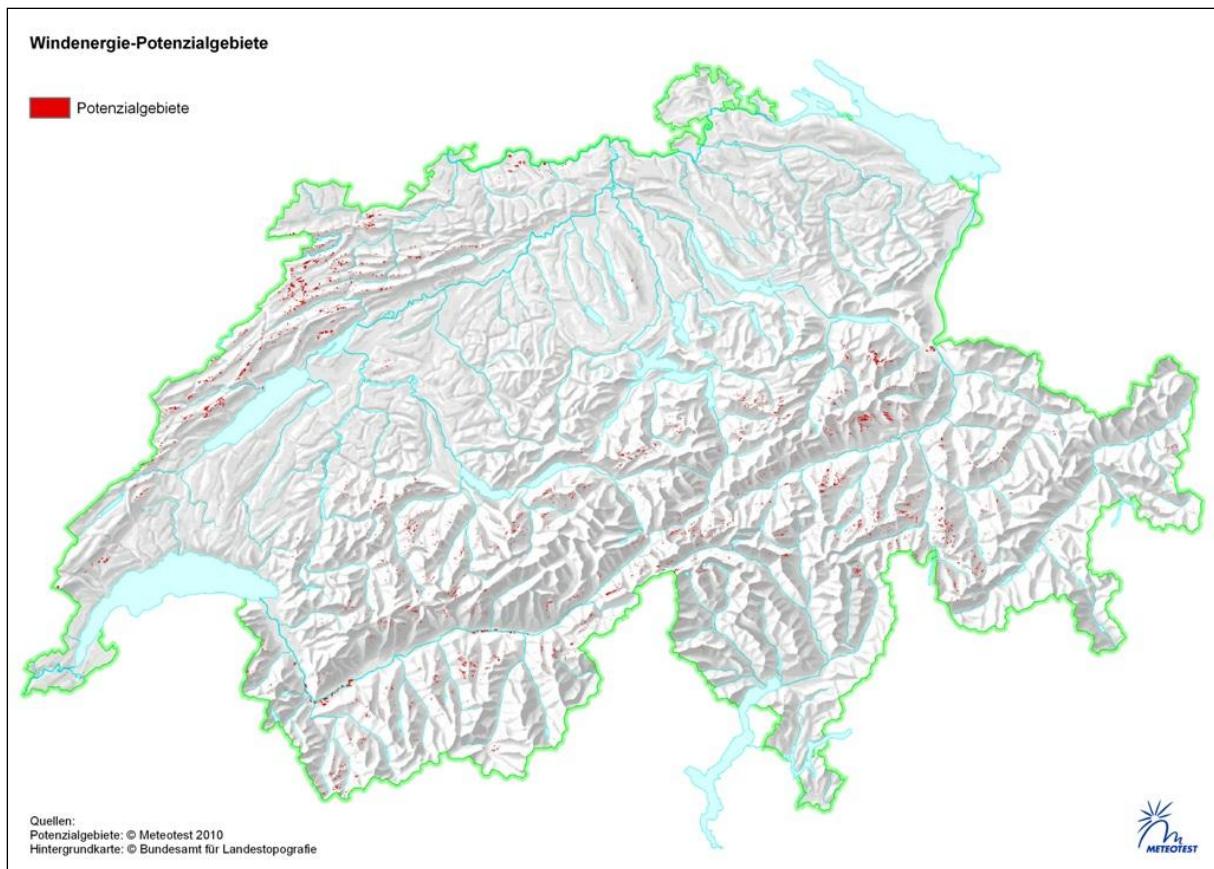


Abb. 21: Windenergie-Potenzialgebiete Schweiz (Quellen: Potenzialgebiete Meteotest 2010, Hintergrundkarte Bundesamt für Landestopografie)

In der Öffentlichkeit bekannte Projekte

In den letzten Monaten wurden verschiedene Windkraftprojekte in Graubünden öffentlich gemacht resp. diskutiert. Zu folgenden Vorhaben liegen Machbarkeitsabklärungen oder Projektierungsarbeiten vor:

- Windkraftanlage Haldenstein: geplante Stromproduktion ca. 3 GWh/a
- Windpark Lumbrein⁷⁷: geplante Stromproduktion mit 60 Windrädern ca. 180 GWh/a, mit 100 Windrädern ca. 300 GWh/a
- Windkraftanlagen Crap Sogn Gion – Crap Masegn⁷⁸: Windpark, Stromproduktion noch nicht kommuniziert
- Windkraftanlagen im Bezirk Hinterrhein⁷⁹: Windpark, Stromproduktion noch nicht kommuniziert

Aufgrund der allgemein bekannten Projekte ist davon auszugehen, dass das theoretische Steigerungspotenzial ca. 400 GWh/a beträgt.

⁷⁷ Kommunikation anlässlich Energie-Apéro GR vom 29.06.11, A. Imfeld, Altaventa AG, Ulrichen

⁷⁸ Kommunikation anlässlich Fachtagung *Die Herausforderungen der Windkraftrutzung: Netzanschluss von Windenergieanlagen im Berggebiet*, M. Maron, Flims Electric AG, 28.06.11; Projektgruppe Weisse Arena Gruppe und Sol-ESuisse

⁷⁹ Kommunikation anlässlich Energie-Apéro GR vom 29.06.11, A. Imfeld, Altaventa AG, Ulrichen

Bewertung

Die theoretischen Potenziale zur Produktion von Strom aus Windkraftwerken sind in Abb. 22 dargestellt. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Potenziale aus den neueren Studien deutlich grösser sind als diejenigen der ersten Publikation.

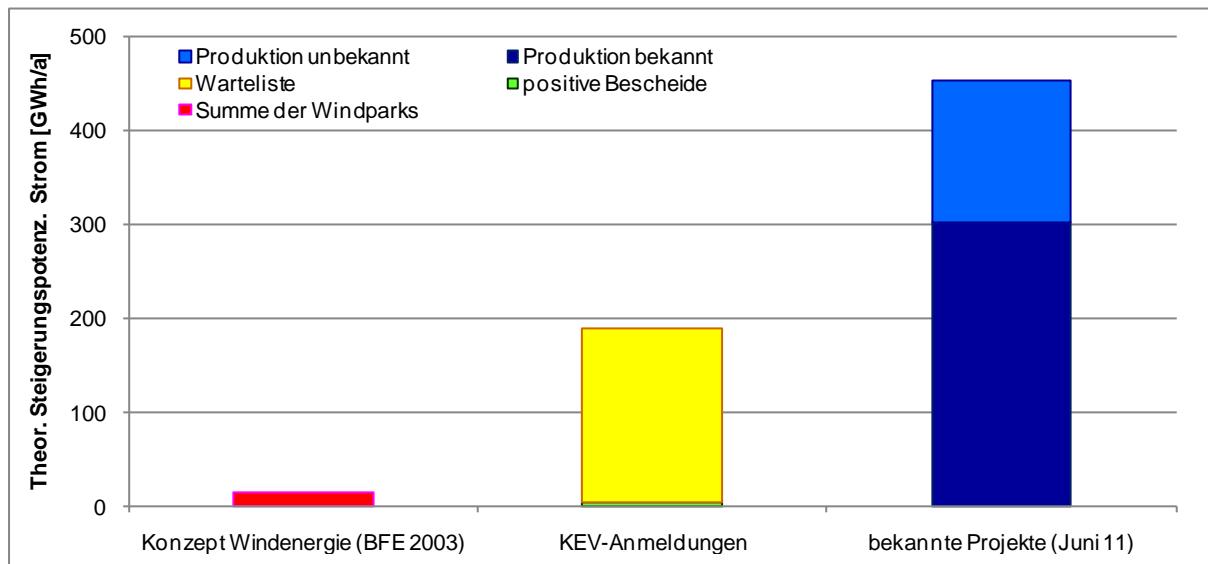


Abb. 22: Theoretische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Windkraftwerken (Vergleich der verschiedenen Methoden)

6.3.3 Zukünftige Veränderungen

Analog zur allgemeinen technischen Entwicklung kann auch bezüglich der Windkraftanlagen angenommen werden, dass die einzelnen Anlagen infolge Wirkungsgrad- und Leistungssteigerung zukünftig noch mehr Strom produzieren werden.

6.3.4 Realistisches Steigerungspotenzial

Bei der Abschätzung des realistischen Steigerungspotenzials wird von den in der Öffentlichkeit bekannten Projekten ausgegangen. Basierend auf den Erfahrungen mit dem Windpark Lumbrein wird das realistische Steigerungspotenzial zu 50% des theoretischen angenommen⁸⁰. Mit diesen Annahmen resultiert ein realistisches Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Windkraftanlagen von ca. 200 GWh/a (Abb. 23), was gerade auch etwa der zukünftigen realistischen Stromproduktion entspricht.

Es ist zu beachten, dass diese Strommenge zum grössten Teil vom geplanten Windpark Lumbrein erzeugt werden soll, was ein nicht zu vernachlässigendes Risiko darstellt.

⁸⁰ Annahme für Windpark Crap Sogn Gion – Crap Masegn: je 50% in Bezirk Imboden resp. Surselva; Erschliessung im Berggebiet kann limitierenden Faktor darstellen

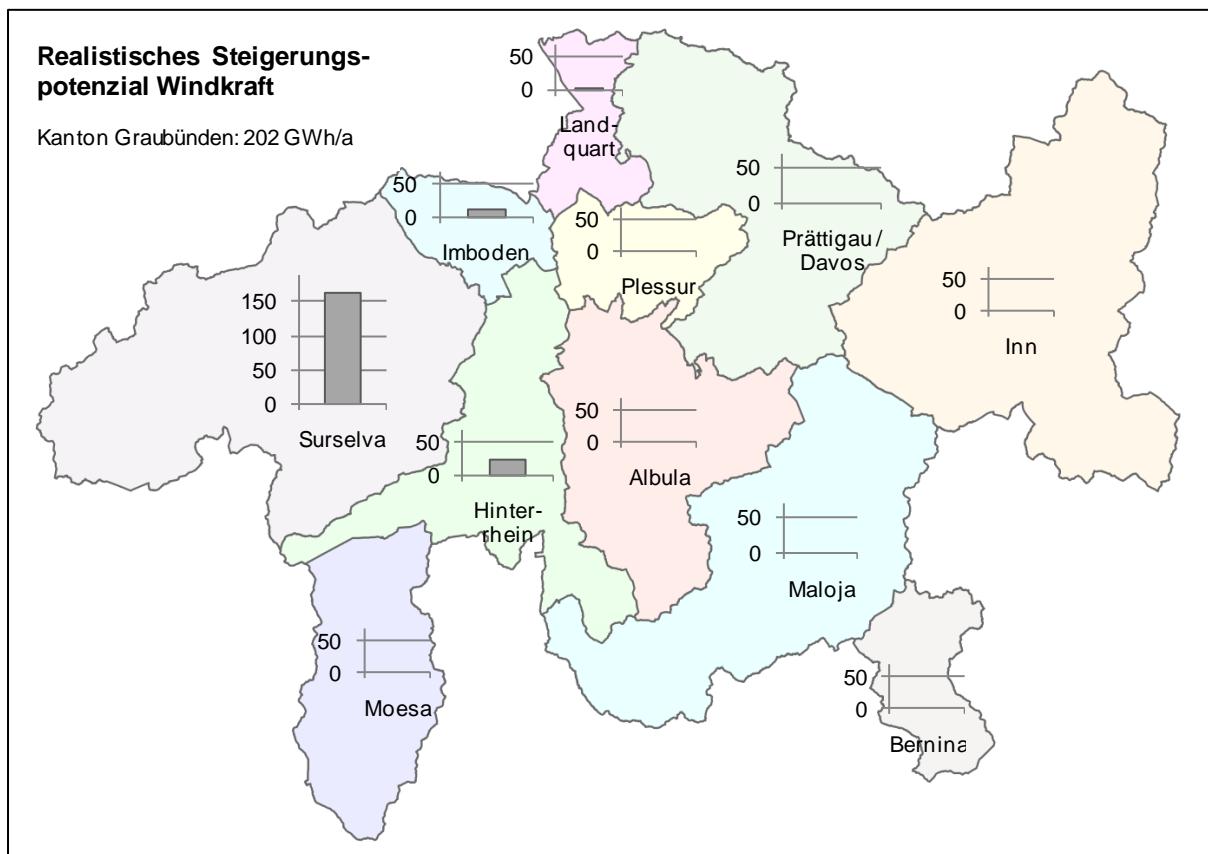


Abb. 23: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Windkraftwerken

Strom aus Windkraftanlagen fällt dem jeweiligen Windaufkommen entsprechend unregelmässig an.

6.4 Tiefe Geothermie

6.4.1 Einleitung

Da sich die Potenzialstudie nur mit der Stromproduktion, und nicht mit der Wärmeproduktion, befasst, beziehen sich die Angaben zur Tiefen Geothermie lediglich auf Projekte mit Stromproduktion. D.h. Projekte, welche nur die Gewinnung von Wärme ohne Stromproduktion bezoegen, werden nicht erwähnt.

Bezüglich der Nutzung geothermischer Energie zur Stromproduktion werden im Wesentlichen zwei verschiedene Technologien unterschieden⁸¹. So können Heisswasser führende Aquifere und Bruchstrukturen im Untergrund bei sehr günstigen Verhältnissen⁸² zur Stromproduktion genutzt werden⁸³. Weltweit wird jedoch für die *Enhanced* oder *Engineered Geothermal Systems*⁸⁴ ein wesentlich grösseres Potenzial prognostiziert, da solche Systeme

⁸¹ Wärmesonden nur zur Wärmegewinnung

⁸² Wassermengen, Temperatur und Produktivität

⁸³ Hydrothermale Tiefe Geothermie (nutzt direkt die warmen Grundwässer aus Aquiferen); bereits realisierte Projekte im Raum München, in Umgebung von Paris und in Gemeinde Riehen BS

⁸⁴ Petrothermale Tiefe Geothermie (entzieht dem Gestein Wärme über einen künstlichen Wasserkreislauf); z.B. Deep Heat Mining, Basel; Energiegewinnung aus ca. 5'000 m Tiefe

grundsätzlich in vielen Regionen realisierbar sind (BFE, 2010c). Dieses zweite Verfahren ist Bestandteil umfangreicher Forschungsarbeiten⁸⁵.

Im Rahmen des *Deep Heat Mining*-Projektes in Basel wurde im Jahr 2006 eine Bohrung zur petrothermalen Energienutzung auf 5'000 m Tiefe abgeteuft. Infolge der bei den Stimulationsprozessen entstandenen spürbaren Erschütterungen an der Oberfläche wurden die Versuche eingestellt. Aufgrund einer Risikoanalyse wurde das Projekt Ende 2009 definitiv abgebrochen. Der Standort Basel ist unter dem Aspekt des seismischen Risikos nicht zur energetischen Nutzung des tiefen geothermischen Reservoirs geeignet.

Die realistischen Möglichkeiten der petrothermalen Tiefen Geothermie sind zur Zeit noch nicht abschätzbar. Dazu sind weitere Untersuchungen notwendig. Infolge der bescheidenen aktuellen Informationen über die petrothermale Tiefe Geothermie beschränkt sich deshalb die Potenzialstudie auf die Energienutzung aus der hydrothermalen Tiefen Geothermie.

6.4.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Vorgehen

In der Schweiz wurden zur Tiefen Geothermie verschiedene Studien und Projekte durchgeführt, auf denen die Potenzialabschätzung für Graubünden basiert:

- Projekte mit Fündigkeits-Risikodeckung des Bundes 1987 - 1997
- Grundlagen zur geothermischen Energie des Kantons Zürich
- Forschungsprogramm Geothermie, Überblicksbericht 2010

Projekte mit Fündigkeits-Risikoabdeckung des Bundes 1987 - 1997

In den Jahren 1987 bis 1997 wurden schweizweit zwölf Bohrprojekte, u.a. zwei in Graubünden, für geothermische Tiefenbohrungen mit einer Fündigkeits-Risikodeckung des Bundes durchgeführt (Rybäck, 2005). Die Bohrung in Davos wurde abgebrochen, diejenige in St. Moritz wurde infolge zu geringer nutzbarer Wassermengen als Misserfolg bewertet⁸⁶. Das Potenzial zur Tiefen Geothermie in Graubünden wurde als gering eingeschätzt.

Grundlagen zur geothermischen Energie des Kantons Zürich

Der Kanton Zürich liess zur Geothermie eine umfassende Machbarkeitsstudie erarbeiten (AWEL, 2007). Dabei konnte sich die Machbarkeitsstudie auf umfangreiche Untersuchungen der NAGRA stützen⁸⁷. Die Machbarkeitsstudie kommt zum Schluss, dass in den meisten Gesteinsschichten eine thermische Entnahmleistung um 10 MW, im Süden des Kantons Zürich mit tief liegendem Kristallin⁸⁸ sogar über 50 MW möglich sein sollte⁸⁹. Bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 10% entspricht dies einer Stromproduktion von ca. 10 GWh/a⁹⁰

⁸⁵ Noch nicht reif für die Praxianwendung

⁸⁶ Tiefenbohrung auf 1'600 m (Thermalwasser), aber Energienutzung bis anhin nicht wirtschaftlich

⁸⁷ Aquifere sind Ausschlussgebiete für Endlager

⁸⁸ 4'000 m Tiefe

⁸⁹ Sofern zwei tiefengeothermische Anlagen Wärme aus demselben Aquifer abziehen, sollte deren Abstand mindestens 2 km betragen (Annahme: übliche Verhältnisse und Injektionsbohrung 1 km von Produktionsbohrung entfernt)

⁹⁰ Wärmeproduktion ca. 90 GWh/a; diese Wärmemenge ist beispielsweise grösser als die von der Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis im Jahr 2010 verkauften Wärme (52 GWh/a)

pro tiefengeothermische Anlage. Für den Kanton Zürich berechnet die Studie ein Strompotenzial von 3'200 GWh/a⁹¹.

Forschungsprogramm Geothermie, Überblicksbericht 2010

Vom Forschungsprogramm Geothermie werden jährlich Überblicksberichte erstellt. Im Bericht des Jahres 2010 (BFE, 2010c) sind verschiedene aktuelle Pilotprojekte erwähnt, welche nachfolgend kurz zusammengefasst sind⁹².

Bei einer Erkundungsbohrung in Zürich⁹³ auf eine Tiefe bis über 2'000 m fand das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich keine Hinweise auf Gesteinsschichten mit Wasser, welche zur wirtschaftlichen Energienutzung geeignet wären.

Die ersten Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt *Geothermie Brig-Glis* deuten darauf hin, dass die hydrothermalen Wasservorkommen sowohl zur Strom- als auch zur Wärmeproduktion genutzt werden können⁹⁴.

Im Fürstentum Liechtenstein laufen verschiedene Versuche zur Ermittlung des Nutzungspotenzials der hydrothermalen Tiefen Geothermie. Eine bereits durchgeführte Ressourcenanalyse ergab, dass im Raum Schaan in einer Tiefe von ca. 4'000 m mit einer nutzbaren Wassermenge von ca. 40 l/sec und 130°C gerechnet werden kann. Damit könnten neben Wärme auch ca. 5 GWh/a Strom erzeugt werden.

Die Stadt St.Gallen beabsichtigt, die Bohrarbeiten für ein hydrothermales Geothermiekraftwerk bis auf eine Tiefe von ca. 4'500 m im Winter 2011/2012 durchzuführen. Aufgrund der bereits durchgeführten Machbarkeitsanalyse gehen die Projektverantwortlichen davon aus, dass mit einer Fördermenge von 50 l/sec und 140°C ca. 9 GWh/a Strom produziert werden können⁹⁵.

Die Stadt Winterthur liess im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Erfolgschancen und geeignete Standorte für ein hydrothermales Geothermiekraftwerk abklären. Dabei zeigte es sich, dass der Untergrund in Winterthur für eine hydrothermale Nutzung wenig geeignet ist⁹⁶. Ausserdem bestätigte sich die Erkenntnis, dass die Nutzung der Tiefen Geothermie noch Forschungscharakter aufweist.

Bewertung

Die verschiedenen Forschungs- und Pilotprojekte zeigen, dass die Tiefe Geothermie noch erhebliche Risiken birgt. Aus dem Kanton Graubünden sind noch keine Gesuche um kosten-deckende Einspeisevergütung eingereicht worden.

Bezüglich des theoretischen Potenzials zur Stromproduktion wird davon ausgegangen, dass maximal in jedem Bezirk eine tiefengeothermische Anlage erstellt werden kann. Das theoretische Potenzial zur Stromproduktion beträgt somit 110 GWh/a.

⁹¹ Annahme: elektrischer Wirkungsgrad 10% bei Temperaturen über 100°C; ohne Berücksichtigung der Kosten (CHF 3'500/m')

⁹² Zusätzliche separate Detailabklärungen bei den Verantwortlichen der einzelnen Projekte

⁹³ Im Triemli-Quartier

⁹⁴ Synergien mit Thermalbädern

⁹⁵ Und ca. 81 GWh/a Wärme

⁹⁶ Kristalliner Untergrund beginnt bereits ab einer Tiefe von gut 2'000 m; deshalb nur Temperaturen von maximal 80°C zu erwarten, was für Stromnutzung zu niedrig; für reine Fernwärmennutzung zu teuer

6.4.3 Realistisches Steigerungspotenzial

Die verschiedenen bereits durchgeföhrten Machbarkeitsanalysen zeigen deutlich auf, dass für den Einsatz der hydrothermalen Tiefen Geothermie einerseits leistungsfähige Aquifere, andererseits ausreichend Wärmeabnehmer vorhanden sein müssen. Beziiglich des realistischen Steigerungspotenzials wird angenommen, dass Anlagen im Churer Rheintal, im Oberengadin und in der unteren Mesolcina⁹⁷ mit Stromproduktionen, welche den Projekten des Fürstentums Liechtenstein resp. von St. Gallen entsprechen, möglich sind. Dementsprechend wird das realistische Steigerungspotenzial und somit auch die zukünftige potenzielle Stromproduktion aus der Tiefen Geothermie auf ca. 15 GWh/a geschätzt (Abb. 24).

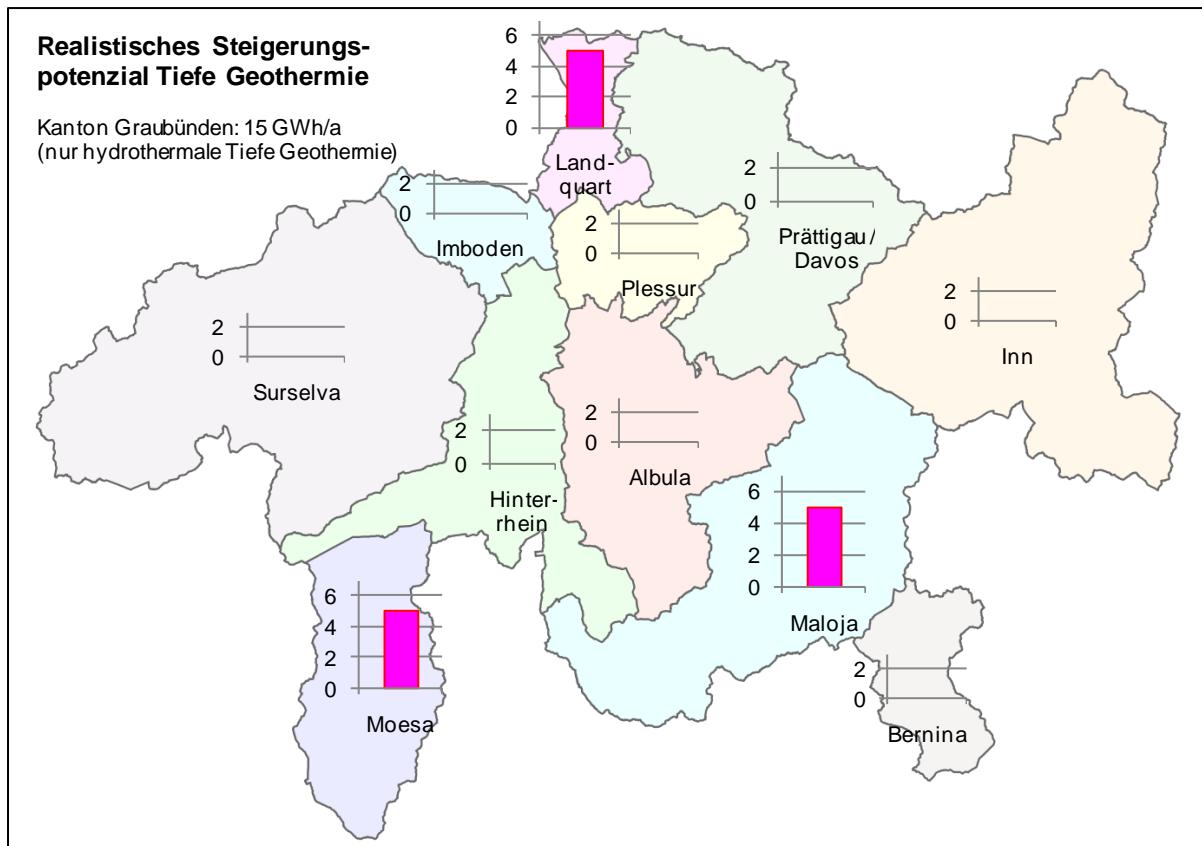


Abb. 24: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Tiefer Geothermie

Aus wirtschaftlichen Überlegungen sind die Möglichkeiten zur Speicherung des Strompotenzials eher gering. Aufgrund der Herkunft des heißen Wassers in den Aquiferen treten bezüglich der Stromproduktion keine Ganglinien auf.

6.5 Biomasse

6.5.1 Holz

6.5.1.1 Aktuelle Stromproduktion

Die Axpo Tegra AG betreibt in Domat/Ems⁹⁸ seit 2006 ein Holzkraftwerk, in welchem Strom, Wärme und Prozessdampf für die benachbarten Industrien produziert werden (Foto 3). Aus

⁹⁷ Im Verbund mit Agglo Bellinzona

⁹⁸ Bezirk Imboden

maximal 220'000 Tonnen Holzschnitzeln und 30'000 Tonnen Altholz können maximal ca. 130 GWh/a Strom und 220 MWh/a Wärme erzeugt werden⁹⁹. Rund 75% des Frischholzes und 50% des Altholzes stammen aus Graubünden. Infolge verschiedener Probleme¹⁰⁰ im Zusammenhang mit der Stilllegung des Sägewerkes Mayr Melnhof konnten im Jahr 2010 jedoch nur ca. 45 GWh/a Strom produziert werden¹⁰¹, wobei ca. 30 GWh/a Bündner Holz zuzurechnen sind.



Foto 3: Axpo Tegra AG, Domat/Ems (Quelle: Axpo Tegra AG)

6.5.1.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Vorgehen

Über das erschlossene Energieholzpotenzial existieren verschiedene Studien. So liegen Erhebungen von 1985 (BVFD, 1985), von 1996 (AEV, 1996) und auch von 2008 (SELVA, 2008) vor. Ausserdem liess die Region Mittelbünden zusammen mit der Axpo AG und ewz Produktion im Rahmen der Potenzialstudie für Mittelbünden (HMQ, 2010) auch die Möglichkeiten zur Stromproduktion aus Biomasse-Energieholz prüfen¹⁰². Die Abschätzung des Potenzials zur Steigerung der Stromproduktion aus Holz basiert auf diesen Studien:

- Energieholzpotenzial 1985
- Holzenergienutzung Mittelbünden / Moesano 1996
- Strategie Holzenergie plus 2008
- Potenzialstudie Mittelbünden 2010

⁹⁹ Elektrischer Wirkungsgrad maximal 25% (bei Wärmeauskopplung Reduktion auf 20%); damit Holzkraftwerke mit KEV-Fördergeldern unterstützt werden, ist ein minimaler Gesamtwirkungsgrad für Strom und Wärme von 70% zu erreichen (bei Multiplikation des elektrischen Wirkungsgrads mit Faktor 1.75)

¹⁰⁰ Reduktion der Wärmeabnahme (Konsequenzen auf Stromproduktion infolge KEV-Anforderungen), Wegfall von Rinde aus dem Sägewerk (Verteuerung Brennstoffeinkauf)

¹⁰¹ Elektrischer Wirkungsgrad 15%, thermischer Wirkungsgrad 45%

¹⁰² Neben Oberflächenwasserkraft, Trinkwasserkraft und Biomasse-Biogas

Energieholzpotenzial 1985

Aufgrund der Auswertung von 1985 wurden für Graubünden bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung eine jährliche Nettoholzernte von ca. 345'000 m³ und ein erschlossenes Energieholzpotenzial von knapp 50'000 m³/a ermittelt¹⁰³.

Holzenergienutzung Mittelbünden / Moesano 1996

Aufgrund der Erhebung für das Jahr 1995 wurde gefolgert, dass in den Regionen Mittelbünden / Moesano jährlich ca. 15'000 m³ erschlossenes Energieholz anfallen¹⁰⁴.

In den Erhebungen *Energieholzpotenzial 1985* und *Strategie Holzenergie plus 2008*¹⁰⁵ wurden die bereits erschlossenen Energieholzpotenziale für die Bezirke Albula, Hinterrhein und Moesa auf ca. 13'000 m³/a resp. auf 24'000 m³/a geschätzt.

Strategie Holzenergie plus 2008

Holzenergie Graubünden stellte aufgrund der Untersuchungen fest, dass im Jahr 2007 in Graubünden ca. 60'000 m³ Holz als Energieholz¹⁰⁶ genutzt wurde. Unter der Annahme, dass zukünftig vermehrt Industrieholz und auch Sägereiresholz energetisch verwertet wird, resultiert ein zukünftiges Potenzial für Energieholz von knapp 95'000 m³/a¹⁰⁷. Daraus errechnet sich das freie Energieholzpotenzial zu ca. 35'000 m³/a.

Potenzialstudie Mittelbünden 2010

Für die Region Mittelbünden¹⁰⁸ wird ein theoretisch nutzbares Potenzial an Energieholz¹⁰⁹ von ca. 15'000 m³/a berechnet¹¹⁰, wobei jedoch nur gut 2'000 m³/a effektiv freies Potenzial darstellen. Dieses Potenzial ist für neue grosse Holzverwertungsanlagen zur sicheren Versorgung aus der Region zu gering.

In den Studien *Energieholzpotenzial 1985* und *Holzenergienutzung Mittelbünden / Moesano 1996* wurden für den Bezirk Albula Potenziale von theoretisch nutzbarem Energieholz von ca. 5'000 m³/a berechnet.

Bewertung

Die neueren Studien weisen in der Regel höhere Energieholzpotenziale aus. Dies ist zumindest teilweise durch eine bessere Erschliessung und durch modernere Bewirtschaftungsmöglichkeiten bedingt.

¹⁰³ Mittlerer Erschliessungsgrad 55%

¹⁰⁴ Bezirk Albula ca. 7'000 m³/a, Bezirk Hinterrhein ca. 5'000 m³/a, Bezirk Moesa ca. 3'000 m³/a

¹⁰⁵ Annahme: Aufteilung auf die einzelnen Bezirke gemäss Auswertung Energieholzpotenzial 1985

¹⁰⁶ Ohne Industrieholz; Bezug durch Axpo Tegra AG berücksichtigt

¹⁰⁷ Als Summe von Brennholz (Nutzung 2005 plus ausgeschöpfter Hiebsatz plus 15% plus Abbau Einsparung) und Industrieholz

¹⁰⁸ Bezirk Albula

¹⁰⁹ Exkl. Industrieholz

¹¹⁰ Zusammensetzung: 67% Wald-, Flur- und Heckenholz, 33% Restholz (unter Einbezug der heute ungenutzten Menge an Schlagabraum); ca. 10'000 m³/a aus forstlich bereitgestelltem Wald- und Heckenholz, ca. 5'000 m³/a als Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben; im Jahr 2008 Verkauf von ca. 5'000 m³ an Axpo Tegra AG

Die Abschätzungen in *Strategie Holzenergie plus 2008* führen zu einem theoretisch nutzbaren Energieholzpotenzial, welches zwischen den Prognosen der älteren Studien und der Potenzialstudie Mittelbünden 2010 liegt. Für die weiteren Überlegungen wird vom in der *Strategie Holzenergie plus 2008* ausgewiesenen Energieholzpotenzial von ca. 95'000 m³/a ausgegangen.

Sofern sämtliches in Graubünden anfallende Energieholz verstromt würde, könnten dadurch ca. 40 GWh/a Strom produziert werden. Wenn sämtliches in den Bündner Wäldern anfallende Holz¹¹¹ direkt zur Stromgewinnung eingesetzt würde, könnten dadurch ca. 150 GWh/a Strom hergestellt werden.

6.5.1.3 Zukünftige Veränderungen

In den vergangenen Jahren waren die Stoffflüsse von Holz in Graubünden nicht besonders stabil. Fehlende Langfristverträge und sich stets ändernde Randbedingungen¹¹² führten zu einem relativ instabilen System.

Nach dem Verkauf der Produktionsmaschinen des Sägewerks Mayr Melnhof fällt in Zukunft in Domat/Ems kein Abfallholz mehr aus dem Sägewerk an.

Das Holzkraftwerk der Axpo Tegra AG verfügt über ausreichende Kapazitäten, um eigentlich sämtliches Bündner Energieholz energetisch zu verwerten. Es ist davon auszugehen, dass die Menge Energieholz zukünftig für die Stromproduktion limitierend sein wird¹¹³.

Infolge der Bestimmungen zur kostendeckenden Einspeisevergütung KEV werden Holzkraftwerke heute infolge der notwendigen Wärmeauskopplung bei einem elektrischen Wirkungsgrad zwischen 15% und 20% betrieben. Sofern Holzkraftwerke ohne Wärmeproduktion betrieben werden, erhöht sich der elektrische Wirkungsgrad auf 25%. Mit einer solchen Betriebsweise könnten jährlich zusätzlich ca. 15 GWh/a resp. insgesamt ca. 65 GWh/a Strom aus Bündner Energieholz produziert werden.

Bei der Diskussion geeigneter Standorte zur Stromproduktion aus Energieholz ist stets zu berücksichtigen, dass die anfallende Prozesswärme tatsächlich auch verwertet werden kann.

6.5.1.4 Realistisches Steigerungspotenzial

Bezüglich des realistischen Steigerungspotenzials wird davon ausgegangen, dass, wie oben erläutert, jährlich ca. 95'000 m³/a Bündner Energieholz zur Stromerzeugung zur Verfügung stehen. Ausserdem wird angenommen, dass das geplante Holzkraftwerk in Ilanz infolge der guten regionalen Verankerung die benötigten 3'000 m³/a Energieholz erhalten wird.

Infolge der relativ weiten Transportwege wird angenommen, dass aus den Bezirken Bernina, Inn, Maloja und Moesa kein Energieholz zur Axpo Tegra geliefert wird, sondern die entsprechenden Mengen Energieholz bezirksweise verstromt werden¹¹⁴.

Bezüglich des restlichen Energieholzes wird davon ausgegangen, dass es zur Axpo Tegra AG nach Domat/Ems transportiert und dort mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 20% verstromt wird.

¹¹¹ Annahme: 350'000 m³_{Holz}/a

¹¹² Z.B. Holzpreise, Wechselkurse, Konkurrenzdruck bezüglich Industrieholz etc.

¹¹³ Dies umso mehr, als dass in Ilanz ein kleines Holzheizkraftwerk mit ca. 3'000 m³/a Energieholz- und ca. 2'000 m³/a Altholz (Surseva) geplant ist; Jahresproduktion ca. 2 GWh/a Strom

¹¹⁴ Zusammen ca. 27'000 m³/a Energieholz

Diese Annahmen bedingen, dass keine grossen Holzheizwerke betrieben werden, welche ausschliesslich Wärme produzieren.

Die Aufteilung des realistischen Potenzials zur Steigerung der Stromproduktion aus Energieholz auf die Bezirke ist in Abb. 25 dargestellt. Das Potenzial zur Erhöhung der Stromproduktion aus Energieholz ist relativ gering.

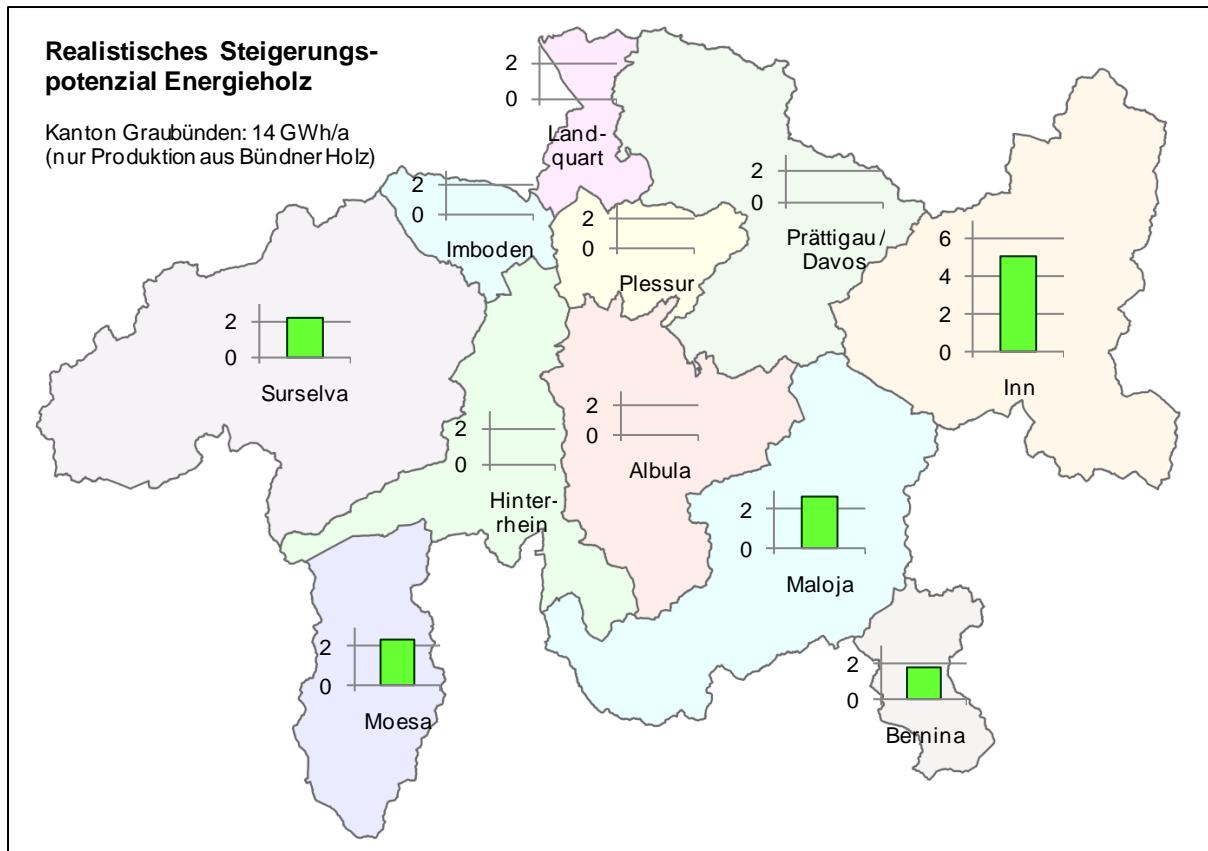


Abb. 25: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Energieholz

Aus Bündner Energieholz kann zukünftig ca. 45 GWh/a Strom erzeugt werden. Das Holzkraftwerk der Axpo Tegra AG in Domat/Ems hat eigentlich genügend Kapazität, um sämtliches im Kanton Graubünden anfallende Energieholz zu verstromen.

Das oben ermittelte eher bescheidene Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Energieholz deckt sich auch mit der Auswertung der KEV-Gesuche (Abb. 4). Für Biomasse-Anlagen liegen lediglich noch Gesuche für ca. 20 GWh/a vor¹¹⁵.

Solange die Holzkraftwerke infolge der kostendeckenden Einspeisevergütung von der Wärmeabgabe abhängig sind, ist anzunehmen, dass der Betrieb der Abnehmer von Prozesswärme die Jahresganglinie von Strom dominiert. Bezuglich der Wärmeabnehmer der Axpo Tegra AG ist davon auszugehen, dass keine eigentliche Jahresganglinie besteht. Signifikante Tagesganglinien sind nicht zu erwarten.

Sofern in den Prozesswärme abnehmenden Industrie- und Gewerbebetrieben grosszügige Wärmespeicher vorhanden sind, kann die Stromproduktion dem Bedarf mehr oder weniger angepasst werden.

¹¹⁵ Gesuche mit positivem Bescheid oder auf der Warteliste

6.5.2 Kehrichtverbrennung

6.5.2.1 Aktuelle Stromproduktion

Die in Kehrichtverbrennungsanlagen produzierte Energie stammt nur teilweise aus erneuerbaren Energieträgern. Da mit der vorliegenden Studie nur erneuerbare Energien betrachtet werden, sind bezüglich der Energieproduktion aus der Kehrichtverbrennung konsequenterweise nur jeweils 50% der gesamten Energiemengen berücksichtigt (EnV, 1998).

Die einzige Bündner Kehrichtverbrennungsanlage des GEVAG in Trimmis¹¹⁶ (Foto 4) verarbeitete im Jahr 2010 rund 91'000 to Abfall (GEVAG, 2011). Daraus wurden 40 GWh/a Strom ins öffentliche Elektrizitätsnetz eingespeist¹¹⁷.



Foto 4: KVA Trimmis, Ausbau 2009/2010 (Quelle: GEVAG)

6.5.2.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Die KVA Trimmis verfügt über eine Kapazität zur Verarbeitung von jährlich 125'000 to Abfall. Sofern die KVA Trimmis tatsächlich 125'000 to Abfall jährlich verwertet¹¹⁸, kann die Stromproduktion um ca. 15 GWh/a auf ca. 55 GWh/a gesteigert werden, wovon 50% als erneuerbar zu betrachten sind.

Die KVA Trimmis ist auf eine optimale Strom- und Wärmeleistung ausgelegt. Mit entsprechenden Anpassungsarbeiten ist es möglich, auf Kosten der Wärmeleistung mehr Strom zu erzeugen. Der elektrische Wirkungsgrad kann so auf 25% erhöht werden, wodurch sich die elektrische Stromproduktion etwa verdoppeln lässt¹¹⁹. Bei Verarbeitung von 125'000 to Abfall pro Jahr kann damit die Stromproduktion um ca. 65 GWh/a auf ca. 105 GWh/a erhöht werden, wobei 50% erneuerbar sind.

¹¹⁶ Gemeindeverband für Abfallentsorgung in Graubünden, Trimmis, Bezirk Landquart

¹¹⁷ Elektrischer Wirkungsgrad 12%, thermischer Wirkungsgrad bezüglich verkaufter Prozesswärme 16%

¹¹⁸ Stellt oberen Grenzwert für in Graubünden anfallenden Kehricht dar

¹¹⁹ Allerdings ist der Gesamtwirkungsgrad niedriger als bei der aktuellen Auslastung

6.5.2.3 Zukünftige Veränderungen

Da die KVA Trimmis nicht voll ausgelastet ist, resultieren infolge des relativ hohen Fixkostenanteils vergleichsweise hohe Verbrennungskosten. Zur Zeit laufen verschiedene Bestrebungen, damit die KVA Trimmis mittelfristig voll ausgelastet betrieben werden kann.

Es ist davon auszugehen, dass der Abfallverband Mesolcina/Calancatal (CRER), der seine Abfälle seit 2010 in der näher gelegenen Kehrichtverbrennungsanlage in Giubiasco verbrennen lässt, auch zukünftig seine Abfälle in der KVA Giubiasco verwerten lässt.

Obwohl mit dem Bau der Fernwärmeleitung nach Chur zukünftig mehr Wärme geliefert werden kann, ist fraglich, ob der aktuelle Gesamtwärmeverkauf gehalten werden kann¹²⁰.

6.5.2.4 Realistisches Steigerungspotenzial

Es kann davon ausgegangen werden, dass zukünftig die KVA Trimmis jährlich ca. 125'000 t Abfall verwertet. Ausserdem wird angenommen, dass die KVA Trimmis zukünftig auf maximale Stromproduktion umgerüstet wird.

Bei der Diskussion um Steigerung der Produktion von Strom aus erneuerbaren Energieträgern ist zu beachten, dass nur 50% der in der KVA produzierten Strommenge als erneuerbar betrachtet werden kann, und dass die zukünftig in der KVA Trimmis zusätzlich verarbeitete Abfallmenge bereits heute in ausserkantonalen Kehrichtverbrennungsanlagen verwertet wird. Da die vorliegende Studie das Ausbaupotenzial der Stromproduktion innerhalb Graubündens zum Ziel hat, wird die zusätzlich in der KVA Trimmis produzierte Strommenge als effektives Steigerungspotenzial betrachtet.

Dies bedeutet, dass in der KVA Trimmis zukünftig ca. 105 GWh/a resp. ca. 65 GWh/a mehr Strom produziert wird. Davon werden 50% den erneuerbaren Energieträgern zugerechnet.

Als Entsorgungsbetrieb weist die KVA Trimmis keine eigentliche Jahresganglinie der Stromproduktion auf. Sofern die KVA Trimmis maximal ausgelastet ist, können nur geringe zusätzliche Mengen Abfall verarbeitet und somit Tertiärregelstrom zusätzlich ins Netz eingespeist werden.

6.5.3 Kläranlagen

6.5.3.1 Aktuelle Stromproduktion

Im Kanton Graubünden werden die Abwässer der Bevölkerung sowie aus Industrie- und Gewerbe in über 100 Kläranlagen gereinigt. In den 23 vorwiegend grösseren Kläranlagen werden der aus der Abwasserreinigung anfallende Klärschlamm ausgefault und das entstehende Faulgas in Blockheizkraftwerken oder Mikrogasturbinen verwertet, wodurch im Kanton Graubünden ca. 4 GWh/a Strom produziert werden¹²¹.

6.5.3.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Der Eigenversorgungsgrad bezüglich Elektrizität beträgt in den Bündner Kläranlagen mit Stromproduktion durchschnittlich 34%. Solche Eigenversorgungsgrade sind für kleinere Kläranlagen durchaus typisch. Vereinzelte ausserkantonale Kläranlagen weisen jedoch be-

¹²⁰ Allenfalls Rückgang von bezogener Prozesswärme durch Industrie- und Gewerbebetriebe

¹²¹ Anteile aus Co-Vergärung enthalten (z.B. Küchen- und Speiseabfälle)

reits einen Eigenversorgungsgrad bezüglich Elektrizität um 80% aus¹²². Bei der Ermittlung des theoretischen Potenzials wird deshalb von einem Eigenversorgungsgrad bezüglich Elektrizität von 80% ausgegangen¹²³.

Drei weitere Kläranlagen, welche nicht in den oben erwähnten 23 Kläranlagen erwähnt sind, weisen zusätzlich noch Steigerungspotenziale auf. In der ARA Chur (Foto 5), wo auch ein Teil des Klärschlamm der ARA Tuma Lunga verarbeitet wird, wird zwar Faulgas produziert. Allerdings wird das Faulgas nicht für die Stromgewinnung eingesetzt, sondern als Prozesswärme für die Klärschlamm-Trocknungsanlage¹²⁴. Bezuglich des theoretischen Potenzials wird davon ausgegangen, dass sämtliches Klärgas zukünftig verstromt wird¹²⁵.

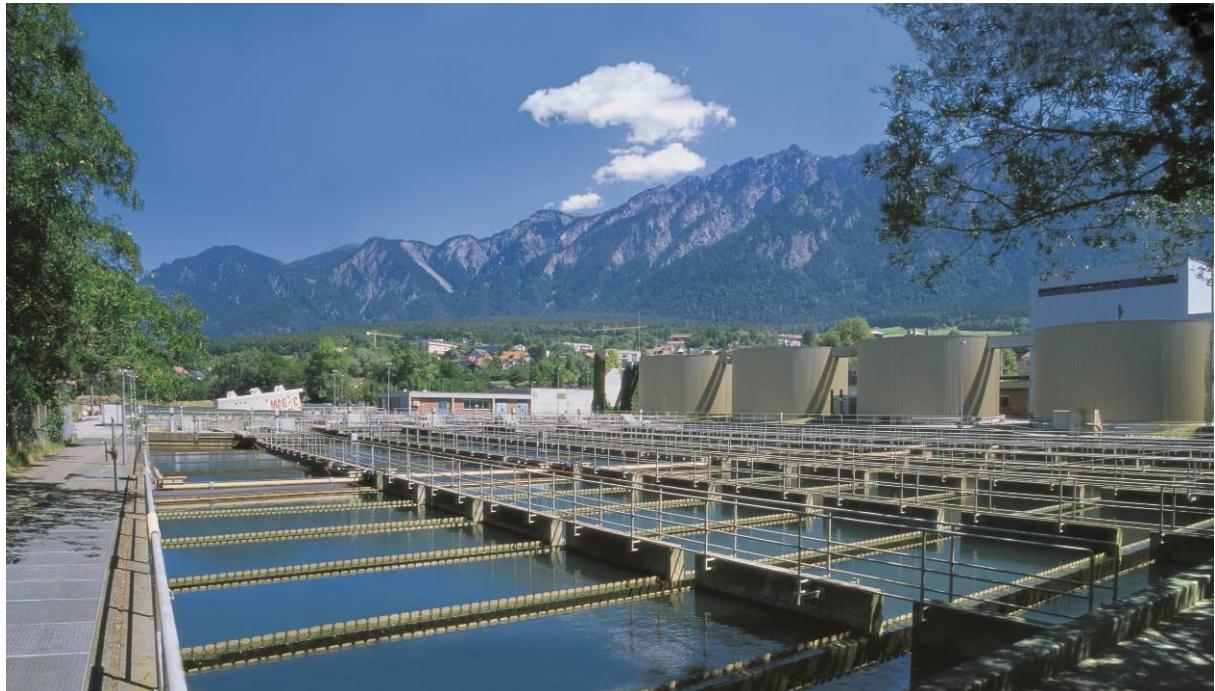


Foto 5: ARA Chur (Quelle: ARA Chur)

Die ARA Tuma Lunga, welche die Abwässer der Gemeinden Bonaduz, Rhäzüns und Tamins sowie der Ems-Chemie AG reinigt, lässt einen Teil des anfallenden Klärschlamm in der ARA Chur, den restlichen Teil in einer ausserkantonalen Kläranlage weiter behandeln. Mit der Definition, wonach Biomasse, welche aktuell ausserhalb des Kantons Graubünden verwertet wird, zukünftig in Graubünden energetisch genutzt werden kann, stellt der Klärschlamm der ARA Tuma Lunga ebenfalls ein Potenzial zur Stromproduktion dar¹²⁶.

In der Kläranlage der Papierfabrik Landqart fällt Bioschlamm an, welcher zur Zeit ebenfalls ausserkantonal entsorgt wird. Auch dieser Schlamm könnte zukünftig für die Stromproduktion genutzt werden¹²⁷.

Das maximale theoretische Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Kläranlagen beträgt somit ca. 8 GWh/a.

¹²² Ohne Co-Vergärung externer C-Quellen

¹²³ Zusätzliche Stromproduktion ca. 5.2 GWh/a

¹²⁴ Dadurch geringerer Erdgasbedarf für Trocknung

¹²⁵ Stromproduktion ohne Schlamm aus ARA Tuma Lunga ca. 1.8 GWh/a; allerdings Kompensation durch Erdgas notwendig

¹²⁶ Stromproduktion ca. 0.6 GWh/a

¹²⁷ Stromproduktion ca. 0.8 GWh/a

6.5.3.3 Zukünftige Veränderungen

Es ist anzunehmen, dass zukünftig verschiedene Kläranlagen an eine grössere Anlage angeschlossen oder gemeinsam eine neue Anlage erstellen werden¹²⁸. Ausserdem ist denkbar, dass mittelfristig Änderungen bezüglich der Klärschlamm-trocknungsanlage in Chur sowie allenfalls langfristig bezüglich eines eigentlichen Abwasserentsorgungszentrums in der Nähe der Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis diskutiert werden¹²⁹. Solange der Klärschlamm energetisch in Graubünden verwertet wird, ändert sich jedoch die Gesamtenergiebilanz nicht signifikant.

In den letzten Jahren wurden von den Herstellern von Blockheizkraftwerken und Mikrogasturbinen bezüglich der Wirkungsgrade enorme Fortschritte gemacht. Es kann davon ausgegangen werden, dass zukünftig die elektrischen Wirkungsgrade noch weiter gesteigert werden¹³⁰.

6.5.3.4 Realistisches Steigerungspotenzial

Da sowohl Energieproduktion als auch –verbrauch von kleineren Kläranlagen betriebsbedingt auch zukünftig kaum signifikant verbessert werden können, wird für die Abschätzung des realistischen Potenzials davon ausgegangen, dass nur die 16 grösseren Kläranlagen zukünftig einen Eigenversorgungsgrad bezüglich Elektrizität von 80% aufweisen werden¹³¹.

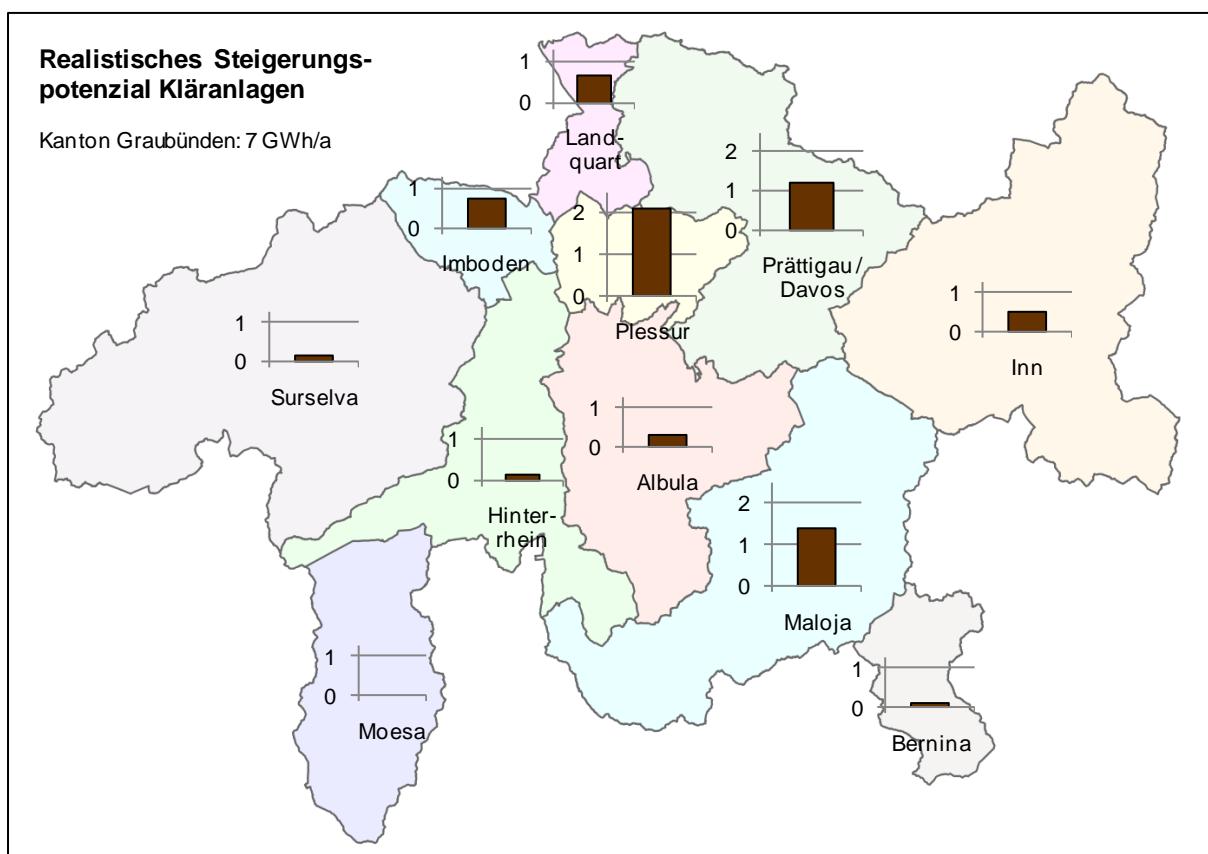


Abb. 26: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Kläranlagen

¹²⁸ Z.B. Aufhebung der Kläranlagen Staz, Sax und S-chanf und Neubau einer Regional-ARA in S-chanf

¹²⁹ Z.B. Mono-Verbrennung von Klärschlamm

¹³⁰ Z.B. von heute 35% auf 40%; der Einsatz von Brennstoffzellen scheint demgegenüber noch weit entfernt

¹³¹ Kleinere Kläranlagen mit gegenüber heute unverändertem Eigenversorgungsgrad

Ausserdem ist anzunehmen, dass einige Industriebetriebe produktionsseitige Optimierungsmaßnahmen vorantreiben, so dass bei der Abwasserreinigung weniger Klärschlamm anfällt¹³². Mit diesen Annahmen resultiert bezüglich der Steigerung der Stromproduktion aus Kläranlagen für Graubünden ein Potenzial von ca. 7 GWh/a (Abb. 26) resp. eine zukünftige Stromproduktion von ca. 11 GWh/a.

6.5.4 Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, Hofdünger

6.5.4.1 Aktuelle Stromproduktion

Zur Gruppe *Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, Hofdünger* gehören folgende Gruppen:

- Grüngut: kommunales Grüngut und agroindustrielle Reststoffe
- Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben: Ausschüsse aus Lebensmittel produzierenden und verarbeitenden Betrieben¹³³, Abfälle aus Gastronomiebranche
- Hofdünger: Gülle und Mist

Zur Zeit sind in Graubünden fünf Anlagen in Betrieb, welche aus Grüngut, Abfällen aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben¹³⁴ und Hofdünger zusammen knapp 2 GWh/a Strom produzieren und teilweise auch die anfallende Wärme nutzen (Foto 6).



Foto 6: Biogasanlage in Silvaplana (Quelle: Axpo Genesys AG)

¹³² Annahmen: ARA Tuma Lunga gleichbleibender Schlammfall (Kompensation von innerbetrieblichen Massnahmen und Produktionssteigerung), ARA Landqart Reduktion auf 50%

¹³³ Inkl. Schotte; Vernachlässigung von Stechblut aus Metzgereien

¹³⁴ Bereits heute in Kläranlagen behandelte Küchen- und Speiseabfälle (Co-Vergärung) sind bei den Kläranlagen erfasst; die entsprechende Energiemenge wird nicht nochmals bei *Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, Hofdünger* aufgeführt

6.5.4.2 Theoretisches Steigerungspotenzial

Vorgehen

Da das realistische Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Grüngut, Abfällen aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben und Hofdünger unbekannt ist, wird zuerst das theoretische Potenzial anhand verschiedener Methoden abgeschätzt und daraus dann das realistische Steigerungspotenzial abgeleitet. Zur Abschätzung des theoretischen Potenzials stehen folgende Methoden zur Verfügung:

- Schätzung anhand Studien ANU
- Schätzung aufgrund KEV-Anmeldungen
- Hochrechnung aufgrund Potenzialstudie Mittelbünden 2010

Schätzung anhand Studien ANU

Aus den Mengenerhebungen des ANU über Kompostieranlagen geht hervor, dass die fünf Biogasanlagen im Kanton Graubünden im Jahr 2010 zusammen ca. 1'000 to Grüngut, ca. 3'000 to Speiseabfälle und ca. 8'000 to Hofdünger verwerteten.

Aufgrund früherer Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass im Kanton Graubünden jährlich ca. 28'000 to Grüngut¹³⁵ (ANU, 2000) und ca. 7'000 to Rüst- und Speiseabfälle sowie ca. 29'000 m³ Schotte anfallen (ANU, 1998).

Für die Ermittlung des theoretischen Potenzials wird davon ausgegangen, dass sämtliches Grüngut und alle Speiseabfälle vergärt werden. Bezuglich der zur Stromproduktion zur Verfügung stehenden Menge Schotte ist zu berücksichtigen, dass signifikante Frachten in den Kläranlagen Sax und Samnaun co-vergärt¹³⁶ sowie grössere Mengen weiterverarbeitet¹³⁷ werden. Der Verwertung von Schotte wird deshalb eine maximale Menge von 17'000 m³/a zugrunde gelegt.

Über die Menge des maximal verwertbaren Hofdüngers liegen keine Untersuchungen vor. Es wird angenommen, dass die maximal verwertbare Menge gerade derjenigen Menge entspricht, welche bereist heute vergärt wird.

Bei einigen weiteren Betrieben der Lebensmittelbranche fallen beträchtliche Mengen organischer Stoffe als flüssiges oder festes Ausschussmaterial an. Auch diese Reststoffe lassen sich vergären.

Das anhand dieser Mengen abgeschätzte theoretische Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion ist in Abb. 27 dargestellt¹³⁸.

Schätzung aufgrund KEV-Anmeldungen

Die Gesuche für kostendeckende Einspeisevergütung werden bezüglich der Biomasse nur summarisch publiziert (KEV, 2011). Mit der oben erläuterten Folgerung, dass das zusätzliche Potenzial aus der Verwertung von Energieholz in Graubünden eher gering ist, und unter der

¹³⁵ Aus Haushalten, kommunalen Grünflächen und öffentlichen Anlagen, Gewerbe- und Landwirtschaftsbetrieben sowie aus dem Strassenunterhalt

¹³⁶ Somit bereits bei der Stromproduktion aus Kläranlagen miterfasst

¹³⁷ Z.B. zu Milchpulver

¹³⁸ Annahmen für spezifische Stromproduktion: 130 kWh/to, Spezialsubstrate mittels CSB-Bilanz

begründeten Annahme, dass weder von der Kehrichtverbrennungsanlage in Trimmis noch von den Bündner Kläranlagen Gesuche gestellt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die in Abb. 4 gezeigten Biomasse-Beitragsgesuche¹³⁹ Gesuche mit den Energieträgern Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben sowie Hofdünger darstellen¹⁴⁰.

Das aufgrund der KEV-Anmeldungen prognostizierte theoretische Stromsteigerungspotenzial geht ebenfalls aus Abb. 27 hervor.

Hochrechnung aufgrund Potenzialstudie Mittelbünden 2010

Die Region Mittelbünden liess zusammen mit der Axpo AG und ewz Produktion AG u.a. auch eine Potenzialstudie zur Stromproduktion aus Biomasse erarbeiten (AXPO, 2010).

Im Rahmen der äusserst detaillierten Studie wurden fünf potenzielle Standorte in Mittelbünden auf ihre Eignung hinsichtlich einer Biogasanlage beurteilt. Aus der Mengenerhebung bezüglich verfügbarem Hofdünger und weiterer Substrate resultierte, dass in der Region Mittelbünden jährlich etwa 1'000 to Grüngut, 13'000 to Hofdünger und ca. 350 to Gastroabfälle¹⁴¹ in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage verwertet werden können. Daraus lassen sich etwa 2 GWh/a Strom erzeugen. Die Studienverfasser kamen zum Schluss, dass trotz KEV-Beiträgen nur eine bis maximal zwei der fünf untersuchten Biogasanlagen wirtschaftlich zu betreiben sind.

Sofern die Ergebnisse auf den Kanton Graubünden extrapoliert werden¹⁴², kann davon ausgegangen werden, dass zukünftig maximal ca. 23 GWh/a Strom landwirtschaftlich erzeugt werden kann (Abb. 27).

Bewertung

In Abb. 27 sind die mit den verschiedenen Methoden ermittelten theoretischen Potenziale dargestellt. Der bedeutende Einfluss des Hofdüngers auf die Stromproduktion führt dazu, dass mit der Methode, welche auf den Daten des ANU basiert, die Stromproduktion signifikant unterschätzt wird. Da aufgrund der KEV-Anmeldungen ein ähnliches theoretisches Potenzial wie aufgrund der Hochrechnung aus der Potenzialstudie Mittelbünden resultiert, wird im Folgenden von einem theoretischen Potenzial von 20 GWh/a ausgegangen.

6.5.4.3 Zukünftige Veränderungen

Es ist davon auszugehen, dass infolge strengerer Umweltvorschriften¹⁴³ an den Betrieb von landwirtschaftlichen Biogasanlagen zukünftig erhöhte Bedingungen gestellt werden.

¹³⁹ Mit positivem Bescheid oder auf Warteliste

¹⁴⁰ Allenfalls mit Mehrfachnennungen

¹⁴¹ Zumindest teilweise schon heute in Biogasanlagen vergärt

¹⁴² Z.B. anhand der in der Land- und Forstwirtschaft Beschäftigten 2008: Faktor 13; Abzug der bereits heute produzierten Strommenge

¹⁴³ Z.B. Vermeidung der Ausbreitung von Neophyten durch Ausbringen der Feststoffe auf Landwirtschaftsflächen, Vermeidung von Methanschlupf etc.

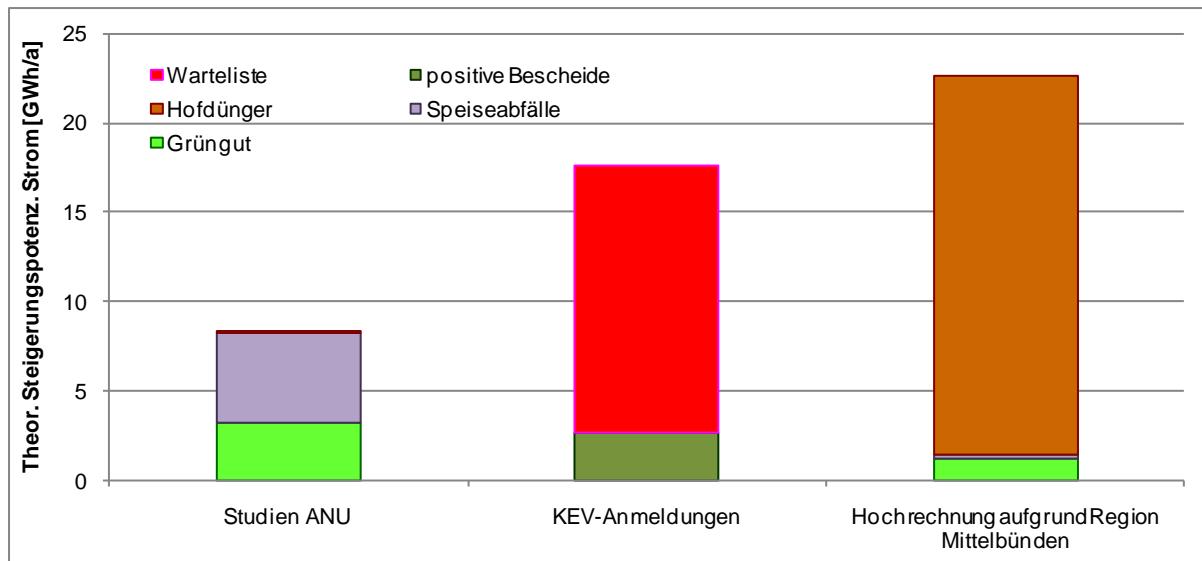


Abb. 27: Theoretische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Biomasse (Vergleich der verschiedenen Methoden)

6.5.4.4 Realistisches Steigerungspotenzial

In der Potenzialstudie Mittelbünden wurde aufgezeigt, dass lange Transportwege die Wirtschaftlichkeit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen signifikant verschlechtern¹⁴⁴. Bezuglich des Potenzials zur Steigerung der Stromproduktion aus Biomasse wird deshalb angenommen, dass realistischerweise nur 50% des theoretischen Potenzials genutzt werden können¹⁴⁵. Somit beträgt das realistische Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Biomasse ca. 10 GWh/a. D.h. es ist davon auszugehen, dass zukünftig ca. 12 GWh/a Strom in landwirtschaftlichen Biogasanlagen produziert werden. Bezuglich der Stromproduktion ist der Anteil Hofdünger von grosser Bedeutung.

Die Aufteilung des Steigerungspotenzials aus Grüngut, Abfällen aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben und Hofdünger auf die einzelnen Bezirke ist in Abb. 28 dargestellt.

Fallweise kann die Stromproduktion aus Biogasanlagen saisonale Schwankungen aufweisen¹⁴⁶. Infolge der langen Aufenthaltszeiten in den Fermentern, verbunden mit relativ trügen biologischen Prozessen, sind landwirtschaftliche Biogasanlagen nicht zur Stromspeicherung geeignet.

¹⁴⁴ Gesetzliche Bestimmungen in Eidg. Raumplanungsverordnung, Art. 34a

¹⁴⁵ Proportionale Abminderung über alle Energieträger

¹⁴⁶ Z.B. saisonaler Anfall von Grüngut oder Speiseabfällen

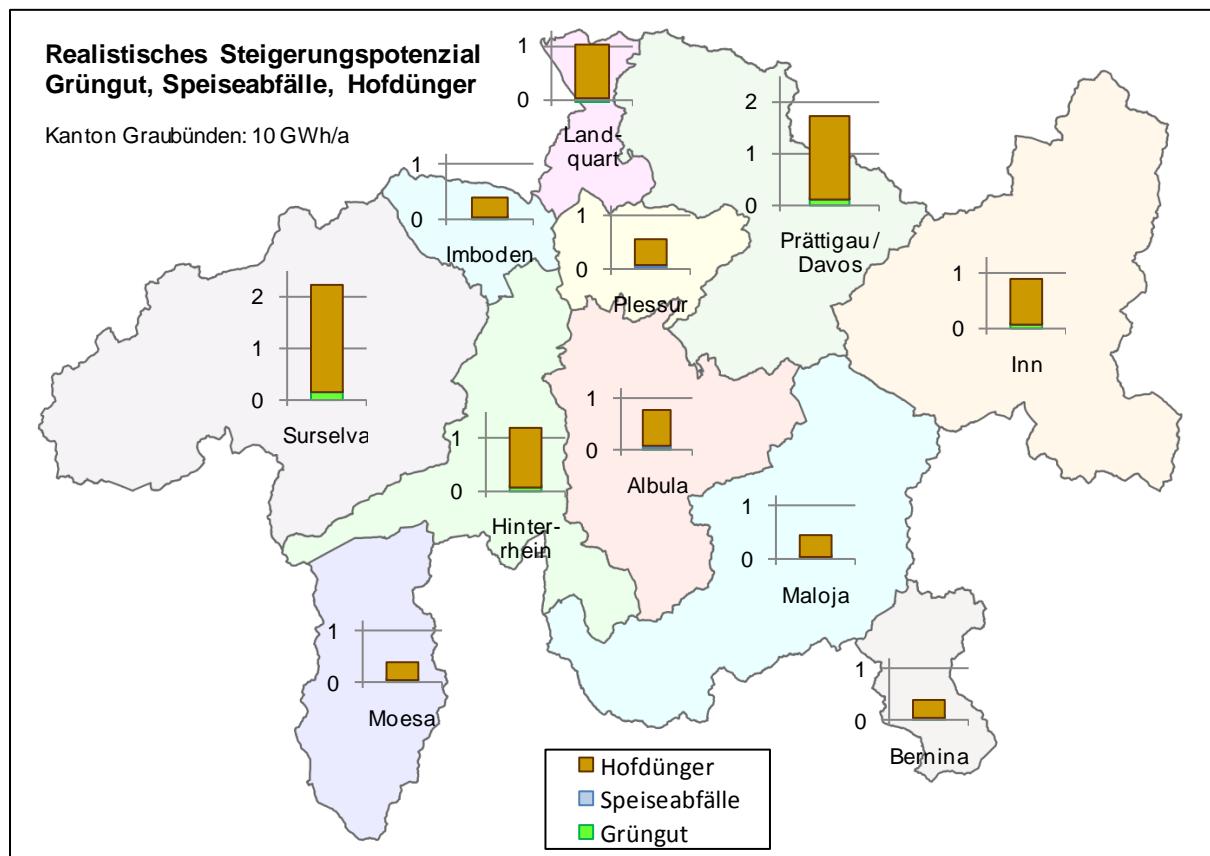


Abb. 28: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus Biomasse (Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, Hofdünger)

6.6 Weitere Technologiegruppen

Je nach der Definition der erneuerbaren Energien wird bereits heute und in vermehrtem Ausmass auch zukünftig noch Strom von anderen Technologiegruppen produziert. So hat die Rhätische Bahn beispielsweise bereits Lokomotiven im Einsatz, welche Strom bei Bremsvorgängen rekuperieren und ins interne Netz einspeisen¹⁴⁷. Allerdings sind zur Rekuperation weder Messungen noch Abschätzungen der Grössenordnung vorhanden.

Das Zementwerk Untervaz realisiert zur Zeit ein Projekt zur Verbesserung des Energiehaushalts (Holcim, 2011). Ab dem Jahr 2012 soll durch den Einsatz eines neuartigen Wärme-Rückgewinnungssystems¹⁴⁸ mit Ofenabwärme eine Turbine angetrieben werden, welche jährlich ca. 15 GWh/a Strom produzieren soll. Da als Brennstoff u.a. auch der in der Klärschlamm-trocknungsanlage Chur getrocknete Klärschlamm verwendet wird, kann davon ausgangen werden, dass ca. 5 GWh/a erneuerbaren Strom darstellen.

Aufgrund des aktuellen Kenntnisstands ist davon auszugehen, dass solche technischen Potenziale v.a. in Gebieten mit relativ grossen Industrie- und Infrastrukturbetrieben bestehen. Für die Potenzialabschätzung wird angenommen, dass in den Bezirken Imboden und Landquart insgesamt ca. 10 GWh/a zusätzlich produziert werden können.

¹⁴⁷ Abhängig vom Fahrzeugtyp; im Idealfall speisen drei abwärts fahrende Züge Strom für einen aufwärts fahrenden Zug ein

¹⁴⁸ Flüssigkeit mit tieferem Siedepunkt als Wasser im Einsatz (ABB)

6.7 Zusammenfassung

Aufgrund der oben zusammengestellten Überlegungen ist davon auszugehen, dass im Kanton Graubünden Kleinwasserkraftwerke, Photovoltaikanlagen, Windkraftanlagen und die Kehrichtverbrennungsanlage in Trimmis das Ausbaupotenzial der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien¹⁴⁹ bestimmen (Abb. 29, Tab. 1). Das Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion beträgt mittelfristig ca. 620 GWh/a. Bezüglich der Kehrichtverbrennungsanlage ist zu beachten, dass nur 50% des eigentlichen Steigerungspotenzials berücksichtigt sind, da generell nur 50% des Stroms als erneuerbar betrachtet werden.

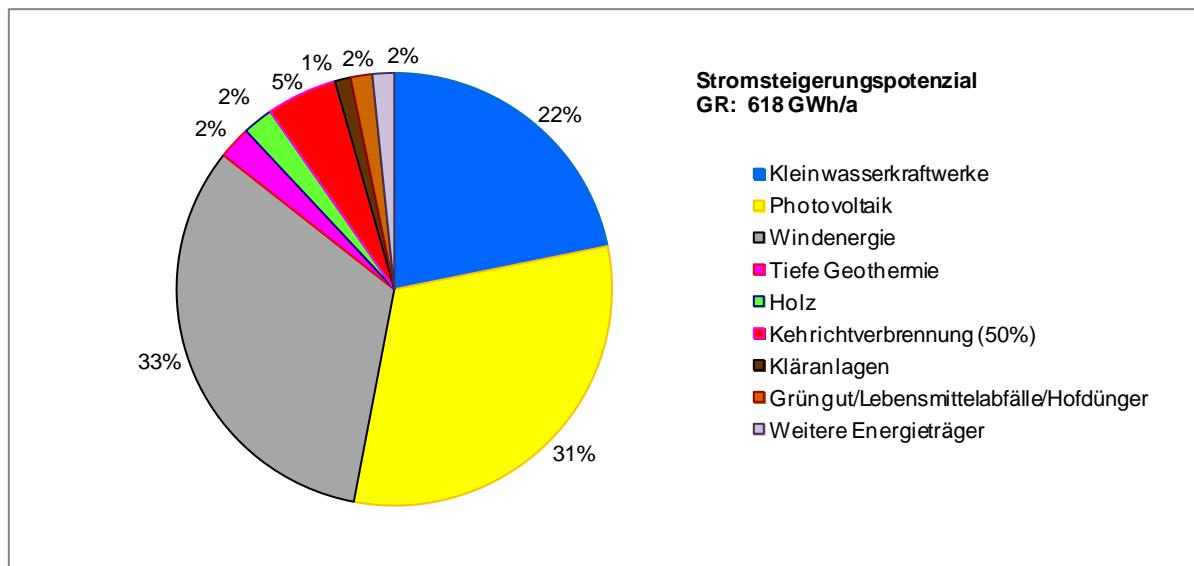


Abb. 29: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien

Tab. 1: Realist. Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft

Technologiegruppe	Realistisches Steigerungspotenzial [GWh/a]
Kleinwasserkraftwerke	135
- Ausleit- und Durchlaufkraftwerke	110
- Trinkwasser- und Abwasserkraftwerke	8
- Weitere Kleinwasserkraftwerke	17
Photovoltaik	193
Windenergie	202
Tiefe Geothermie	15
- petrothermale Tiefe Geothermie	0
- hydrothermale Tiefe Geothermie	15
Biomasse	63
- Holzkraftwerke	14
- Kehrichtverbrennung (nur 50%-Anteil)	32
- Kläranlagen	7
- Grüngut/Lebensmittelabfälle/Hofdünger	10
Weitere Energieträger	10
Total	618

Aus Abb. 30 geht hervor, dass die in der Surselva diskutierten resp. geplanten Windparks hinsichtlich der Steigerung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien für den Kanton Graubünden von relativ grosser Bedeutung sind. Abgesehen vom Bezirk Landquart, wo sich die Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis befindet, dominiert in den anderen Bezirken keine Technologiegruppe das Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion.

¹⁴⁹ Ohne Grosswasserkraft

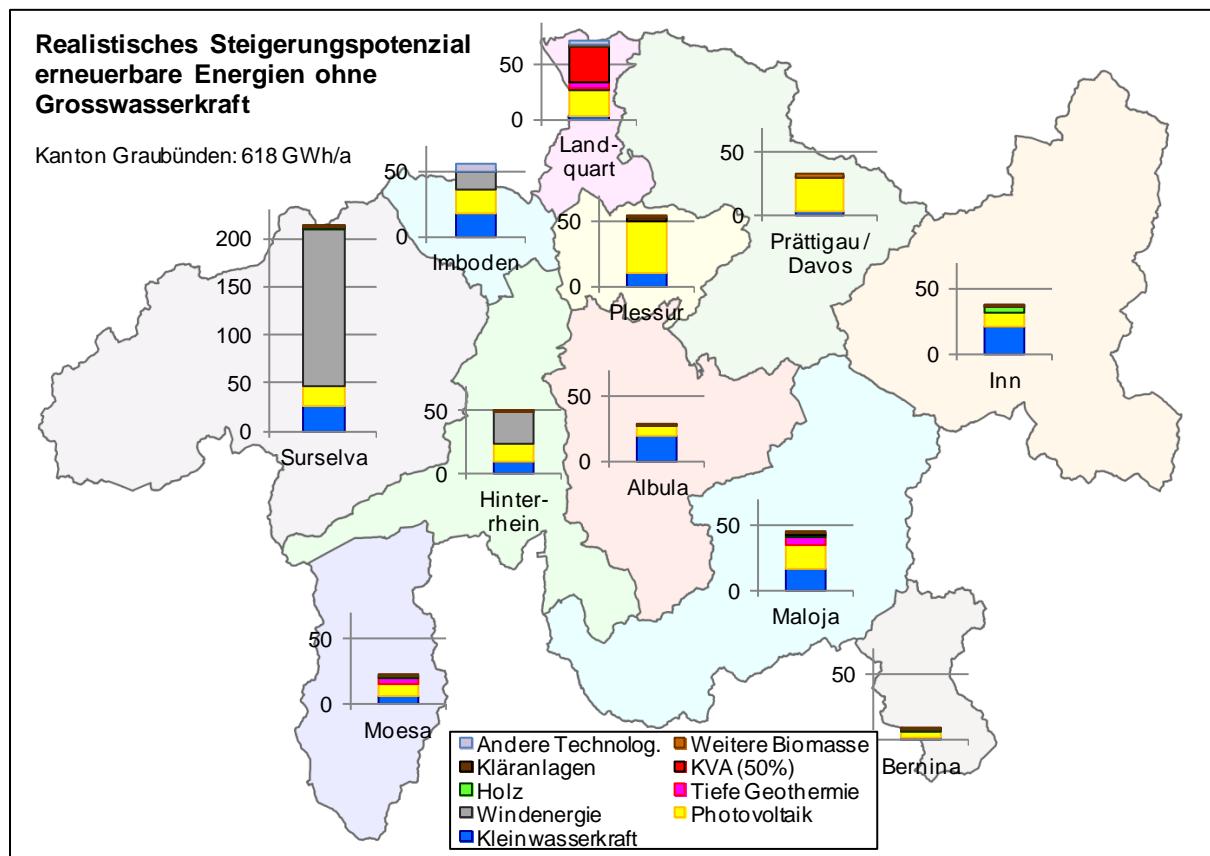


Abb. 30: Realistische Steigerungspotenziale der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien

Sofern das oben abgeleitete Potenzial volumfähiglich realisiert wird, können in Graubünden zukünftig ca. 1'200 GWh/a Strom aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft produziert werden.

Sofern sämtliche oben erwähnten Potenziale genutzt werden, wird die Surselva infolge der Windparks für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien von grosser Bedeutung sein.

7 FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

7.1 Eidgenössische Technische Hochschule ETH

Das Energy Science Center der ETH Zürich entwickelte Strategien hin zum übergeordneten Ziel, die Treibhausgasemissionen auf eine Tonne CO₂ pro Kopf zu senken, und leitete daraus die zukünftigen ETH-Forschungsschwerpunkte ab (ETH, 2008). Für die kommenden Jahrzehnte ist davon auszugehen, dass die Steigerung der Energieeffizienz sowie die erhöhte Stromproduktion aus Wasser, Wind und Sonne¹⁵⁰ die Schwerpunkte der zukünftigen Energiepolitik darstellen werden. Ab der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird die solare Stromproduktion weltweit eine besondere Rolle übernehmen, da langfristig nur die solar erzeugte Elektrizität das Potenzial besitzt, den grössten Anteil des Energiebedarfs zu liefern. Dazu sind allerdings enorme technologische Fortschritte und massive Kostenreduktionen erforderlich. In der Schweiz kommt der Wasserkraft als hauptsächlicher Quelle zur Erzeugung von erneuerbarer Elektrizität eine besondere Bedeutung zu¹⁵¹.

In Tab. 2 sind diejenigen Themenbereiche dargestellt, deren Bedeutung für die Zukunft als überaus hoch eingestuft wird. Massgebende Beurteilungskriterien waren der Beitrag zum zukünftigen Energiesystem, die akademische Herausforderung sowie die Relevanz für die schweizerische Industrie.

Tab. 2: Forschungsfelder mit zukünftig hoher Bedeutung

Forschungsbereiche mit starker Wettbewerbsposition der ETH	Noch wesentlich zu verstärkende Forschungsbereiche der ETH
Solare Brennstoffe	Speicherung von elektrischer Energie
Elektrische Versorgungsnetze	Photovoltaik (Grundlagenforschung, neue Konzepte, kostengünstige Massenproduktion, Entwicklung neuer Solarzellen (Erhöhung Wirkungsgrad, maximale Materialnutzung, günstige Investitionskosten))
Technologien für einen umweltfreundlichen Verkehr	hybride Systeme und kombinierte thermodynamische Zyklen (Hochtemperaturspeicherung, effiziente Nutzung von Mittel- und Niedertemperaturwärm)
Leistungselektronik	Materialwissenschaften (Materialien für Energiewandlung und -speicherung, für Photovoltaik (organische sowie Nanopartikel- oder Quantentopf-Zellen), für Katalysatoren (Verbrennungsprozesse), für Wind- und Wasserturbinen sowie für Höchstspannungssysteme)
Intelligente Sensoren und Regelungstechnik	Entwicklung neuer BioTechnologiegruppen (Pflanzenwachstum und -nutzung)
Energieökonomie	Integrierte Abscheidung und sichere Lagerung von CO ₂ (Lösungsansätze für Kraftwerke und grossindustrielle Energieumwandlungsanlagen)
Nuklearenergie (zusammen mit PSI)	Rechnergestützte Methoden zur Beschreibung und Optimierung von Multiskalenprozessen
Brennstoffzellen (zusammen mit PSI / EMPA)	Realisierung intelligenter Algorithmen und Sensoren (Überwachung, Funktionsbeeinflussung und Gesamt-optimierung komplexer energietechnischer Systeme)
Verbrennungssysteme (zusammen mit PSI / EMPA)	Energiesystemanalyse (energetisch und stofflich effiziente industrielle Prozesse, Einsatz von sauberen und ökonomisch konkurrenzfähigen Systemen zur dezentralen Energieerzeugung)
Niedrigst-Energie-Gebäude (zusammen mit EMPA)	Entwicklung von wirksamen Instrumenten zur Umsetzung der energiepolitischen Ziele
	Empfehlungen für den Aufbau der schnell wachsenden Energiesysteme in Entwicklungsländern

¹⁵⁰ Und zum Zeitpunkt der Studie auch noch die Kernkraft

¹⁵¹ Grosswasserkraft; gleichzeitig auch Stabilisierung des mitteleuropäischen Stromnetzes (Ausgleich von witterungs- und ortsabhängig erzeugter Sonnen- und Windenergie)

7.2 HTW Chur

Die aktuellen Kompetenzen der HTW Chur bezüglich der Produktion erneuerbarer Energien liegen derzeit im Wesentlichen in raumplanerischen, städtebaulichen und gestalterischen Bereichen¹⁵². Die HTW könnte das Thema erneuerbare Energien allenfalls als Dienstleistungsangebot oder als angewandte Forschung entwickeln.

7.3 Institute der Academia Raetica

Einige der Academia Raetica angeschlossene Institutionen verfügen bezüglich der erneuerbaren Energien Kompetenzen zu Risiko-Analysen und „International Best Practice“¹⁵³, Energieflüssen im Zusammenhang mit der Sonne¹⁵⁴ sowie zu Windenergie¹⁵⁵. Die Academia Raetica könnte zusammen mit den relevanten Institutionen allenfalls ein Forschungsprogramm beim Schweizerischen Nationalfonds initiieren¹⁵⁶.

7.4 Eignung der Bündner Institute zur Energieforschung

Aufgrund der Kommentare der beiden Hochschul- resp. Forschungsorganisationen ist davon auszugehen, dass keine in Graubünden angesiedelte Organisation mit dem aktuellen Know-how und den vorhandenen Ressourcen direkt Forschung hinsichtlich der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien betreibt. Allerdings sind die HTW als auch einige Institutionen der Academia Raetica in verwandten Gebieten¹⁵⁷ tätig.

Voraussetzung für entsprechende Aktivitäten ist, dass das Portfolio, welches die Hochschul- und Forschungs-Prioritäten Graubündens darstellt und zur Zeit im Zusammenhang mit dem neuen Gesetz über Hochschulen und Forschungseinrichtungen diskutiert wird, entsprechend ergänzt wird.

¹⁵² Gemäss Mitteilung vom 12.08.11, J. Kessler

¹⁵³ GRF Davos

¹⁵⁴ PMOD/WRC

¹⁵⁵ SLF/WSL

¹⁵⁶ Gemäss Mitteilung vom 05.09.11, Prof. Dr. E. Schneider

¹⁵⁷ Z.B. Photovoltaik, Windenergie und Tiefe Geothermie

8 STOSSRICHTUNGEN

8.1 Regierungsprogramm 2009 – 2012

Im aktuell gültigen Regierungsprogramm 2009 – 2012 (GR, 2008) ist unter dem Leitsatz F „Dem Klimawandel aktiv begegnen“ festgehalten, dass die Stromproduktion aus Wasserkraft ökologisch verantwortbar zu erhöhen und die Holzenergienutzung zu optimieren sind¹⁵⁸. Andere Entwicklungsschwerpunkte, welche die Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Energien betreffen, sind im Regierungsprogramm nicht enthalten. Dies bedeutet, dass allenfalls zweckmässige Programmschwerpunkte zur Stromproduktion neu ins nächste Regierungsprogramm 2013 – 2016 aufzunehmen sind.

8.2 Interessen des Kantons Graubünden

Das wichtigste energiepolitische Ziel bezüglich Elektrizität des Kantons Graubünden ist das Gewährleisten einer sicheren Stromversorgung. Aus verschiedenen Gründen bestehen bezüglich der Bündner Energiepolitik noch weitere, z.T. sich widersprechende Erwartungen. Diese lassen sich im Wesentlichen in den drei Gruppen *gesellschaftliche Aspekte*, *Ökologie und Raumplanung* sowie *Wirtschaftliche Interessen* zusammenfassen:

Gesellschaftliche Kriterien¹⁵⁹

- erschwingliche Preise für alle¹⁶⁰
- Sicherstellung von Arbeitsplätzen in der Peripherie
- Partizipation der Bevölkerung

Ökologische und raumplanerische Kriterien

- geringe gesamte ökologische Beeinträchtigung¹⁶¹
- Fokussierung auf bereits beeinträchtigte Gebiete¹⁶²
- Konzentration von Windkraftanlagen an geeigneten Standorten (BFE, 2004)¹⁶³

Wirtschaftliche Kriterien

- grosses Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion
- niedrige Produktionskosten
- weitgehende Wertschöpfung in Graubünden¹⁶⁴
- Flexibilität bezüglich der Stromproduktion¹⁶⁵
- Vermeidung ungerechtfertigter Marktverfälschung durch staatliche Eingriffe
- Eignung zur Stärkung der Forschung in Graubünden
- Unabhängigkeit der Stromproduktion von externen Dritten¹⁶⁶

¹⁵⁸ Entwicklungsschwerpunkt 20: Energieeffizienz

¹⁵⁹ Auch soziale Nachhaltigkeit genannt

¹⁶⁰ Elektrizität darf kein Luxusgut werden

¹⁶¹ U.a. Life Cycle Assessment

¹⁶² Resp. Schutz unbeeinträchtigter, ökologisch wertvoller Gebiete

¹⁶³ Keine Streuung von einzelnen Windkraftanlagen

¹⁶⁴ Sowohl bei Erstellung des Werks als auch bei Betrieb

¹⁶⁵ Möglichst keine Tages- oder Jahresganglinien; Möglichkeit der Speicherung des Energieträgers

¹⁶⁶ Z.B. Vermeidung der Abhängigkeit vom Verkauf von Wärme

8.3 Bewertung der erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft

Die einzelnen Technologiegruppen werden anhand der oben definierten Kriterien bezüglich Kosten und Nutzen beurteilt. Als Kosten wird den Technologiegruppen der mittlere KEV-Ansatz (vgl. Abb. 3) zugrunde gelegt.

Die Bewertung der Kriterien *Erschwingliche Preise* und *Partizipation der Bevölkerung* hängt nicht von den einzelnen Technologiegruppen ab, sondern von übergeordneten Rahmenbedingungen¹⁶⁷. Deshalb sind diese beiden Kriterien nachfolgend nicht weiter diskutiert. Da die ökologischen und raumplanerischen Kriterien nicht pauschal je Technologiegruppe, sondern fallweise resp. projektspezifisch zu bewerten sind, erfolgt die Abschätzung des Nutzens ohne Bewertung dieser Kriterien¹⁶⁸. Da das Kriterium *Vermeidung ungerechtfertigter Marktverfälschung durch staatliche Eingriffe* nicht Technologiegruppen-spezifisch zu bewerten ist, sondern die Vermeidung der Subventionierung einzelner Technologiegruppen bedeutet, ist es ebenfalls nicht in die Kosten/Nutzen-Analyse aufgenommen.

Die Ermittlung des Nutzens der verschiedenen Technologiegruppen geht aus Abb. 31 hervor¹⁶⁹. Der Gewichtung der einzelnen Kriterien ist zugrunde gelegt, dass aus Sicht des Kantons Graubünden das Kriterium *Grosses Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion* von besonderer Bedeutung ist. Dementsprechend ist dieses Kriterium höher gewichtet¹⁷⁰.

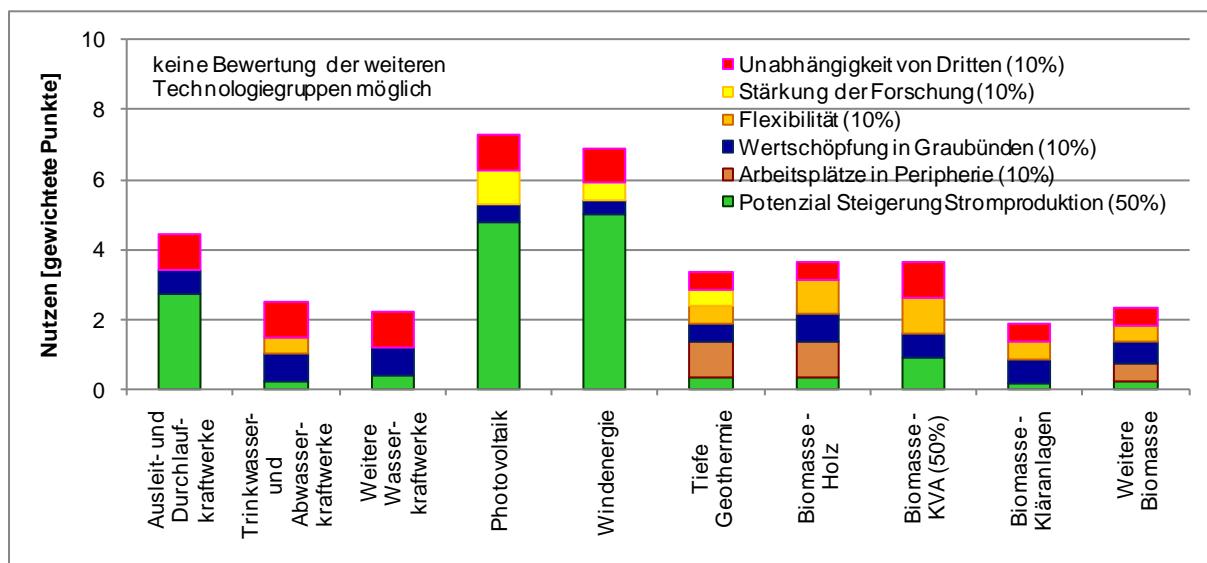


Abb. 31: Nutzwerte der einzelnen Technologiegruppen (weitere Technologiegruppen nicht bewertbar)

Die Photovoltaik und die Windenergie weisen infolge der relativ hohen Produktionspotenziale die höchsten Nutzwerte auf. Diese beiden Technologiegruppen sind zusammen mit den Ausleit- und Durchlaufkraftwerke sowie der Kehrichtverbrennungsanlage¹⁷¹ für die Steigerung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft in den nächs-

¹⁶⁷ Z.T. mit Bericht der Regierung auf Auftrag Heiz diskutiert

¹⁶⁸ Stellen Projekt-Randbedingungen dar

¹⁶⁹ Jeweils 10 bis 0 Punkte: Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion (proportional zum höchsten realistischen Potenzial); Sicherstellung von Arbeitsplätzen in der Peripherie (zusätzliche Arbeitsplätze bei Normalbetrieb 10, keine zusätzlichen Arbeitsplätze 0); weitgehende Wertschöpfung in Graubünden (falls Investition und Betrieb über Lebenszyklus in GR hohe Wertschöpfung, dann 10, sonst entsprechend weniger); Flexibilität bezüglich der Stromproduktion (wenn keine Tages- oder Jahresganglinien und Speichermöglichkeit 10, sonst entsprechend weniger); Eignung zur Stärkung der Forschung in Graubünden (passend zu vorhandenen Forschungsaktivitäten 10, ähnlich zu vorhandenen Forschungsaktivitäten 5); Unabhängigkeit der Stromproduktion von externen Dritten (keine Abhängigkeit 10, völlige Abhängigkeit vom Wärmeverkauf 0)

¹⁷⁰ 50%, andere Kriterien je 10%

¹⁷¹ Nur 50% der zusätzlich produzierbaren elektrischen Energie als erneuerbar berücksichtigt

ten Jahren von grosser Bedeutung. Die anderen Technologiegruppen sind hinsichtlich der kantonalen Energiepolitik nicht priorität¹⁷².

Grundsätzlich interessante Themen für die Forschung sind die Photovoltaik¹⁷³, die Windenergie sowie die Tiefe Geothermie.

Aus Abb. 32 mit der Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen geht hervor, dass die Technologiegruppen Windenergie, Kehrichtverbrennung sowie Ausleit- und Durchlaufkraftwerke die besten Kosten/Nutzen-Verhältnisse aufweisen.

Die Photovoltaik weist zwar ein beinahe unbegrenztes Potenzial auf, ist jedoch zur Zeit noch relativ teuer. Eine signifikante Stromproduktion in den nächsten Jahren bedingt einen massiven Mitteleinsatz.

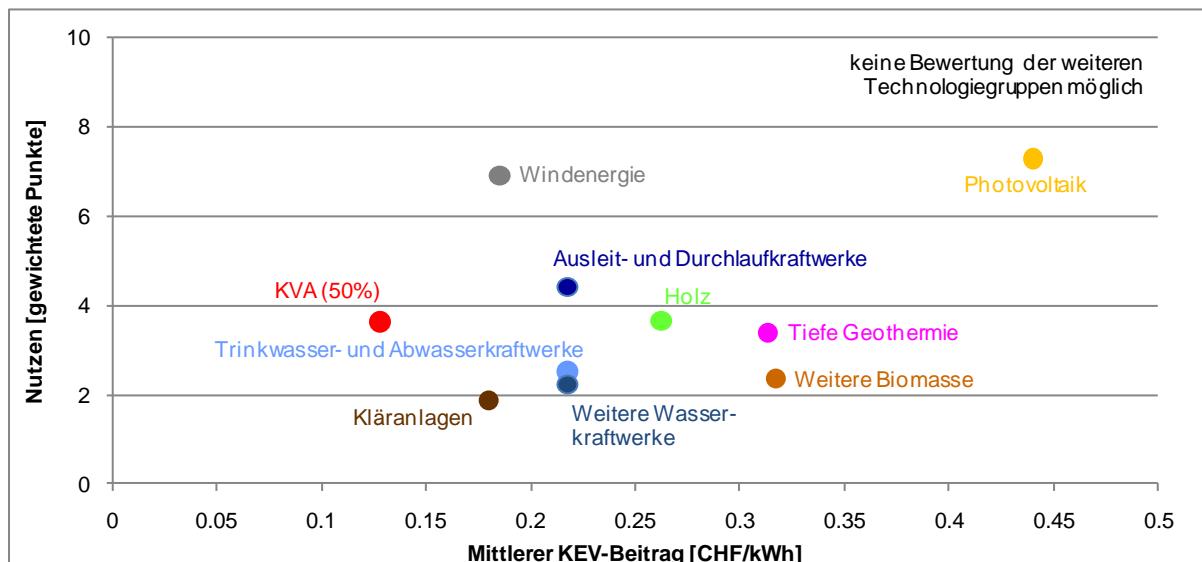


Abb. 32: Kosten/Nutzenverhältnisse der einzelnen Technologiegruppen

8.4 Stossrichtungen für Kanton Graubünden

Aus den oben zusammengestellten Überlegungen sind für den Kanton Graubünden bezüglich der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft folgende Stossrichtungen abzuleiten:

- ökologisch unproblematische Windkraftwerke sollen an geeigneten Standorten als Windparks prioritätär erstellt werden
- ökologisch unproblematische Ausleit- und Durchlaufkraftwerke mit einer installierten Leistung von mindestens 1 MW sollen prioritätär realisiert werden
- die zusätzliche Förderung der Photovoltaik durch weitere Anreize soll geprüft werden¹⁷⁴; entsprechende Forschungsaktivitäten in Graubünden sollen unterstützt werden

¹⁷² Das Potenzial zur Steigerung der Stromproduktion aus Holz im Vergleich zum Jahr 2010 ist nur scheinbar relativ gross; im Jahr 2010 war die Stromproduktion der Axpo Tegra infolge begrenzter Verfügbarkeit von Bündner Energieholz sowie von beschränkter Wärmeabnahme (KEV-Bedingung) reduziert

¹⁷³ Und generell die solare Stromproduktion

¹⁷⁴ Da die Installation ausreichender Flächen für eine signifikante Stromproduktion viele Jahre dauert, wäre eine Beschleunigung sinnvoll, wobei die Produktionskosten zur Zeit noch hoch sind

- die Intensivierung der Stromproduktion zulasten der Wärmeproduktion in der Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis soll geprüft werden¹⁷⁵
- die Machbarkeit der hydrothermalen Tiefen Geothermie im Churer Rheintal soll geprüft werden¹⁷⁶, allenfalls zusammen mit der Unterstützung von Forschungsaktivitäten
- sofern wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll sollen andere Anlagen, wie beispielsweise Trinkwasserkraftwerke, realisiert oder energetisch optimiert werden

Für den Kanton Graubünden führt das Befolgen der oben definierten Stossrichtungen zum in Tab. 3 zusammengestellten Handlungsbedarf.

Tab. 3: Handlungsbedarf aus Sicht des Kantons Graubünden

Strategieelement	Handlungsbedarf Kanton Graubünden
Prioritäre Erstellung ökologisch unproblematischer Windparks	Es ist davon auszugehen, dass für die potenziell geeigneten Standorte bereits Projekte ausgearbeitet werden oder in Vorbereitung sind. Deshalb ist es nicht notwendig, eine „Positiv-Karte“ zu erarbeiten. Da in der Schweiz noch kaum Erfahrungen bestehen bezüglich der Erstellung von Windparks, ist es allenfalls hilfreich, die potenziellen Investoren bei der Projekterarbeitung begleitend zu unterstützen.
Prioritäre Realisierung ökologisch unproblematischer Ausleit- und Durchlaufkraftwerke mit installierter Leistung von mindestens 1 MW	Aufgrund der KEV-Anmeldungen mit positiven Bescheiden ist davon auszugehen, dass ausreichend Investoren vorhanden sind, um die Kleinwasserkraftwerke zu realisieren. Aus Sicht des Kantons besteht somit vorläufig kein Bedarf, Projekte zu fördern. Es ist darauf zu achten, dass nur ökologisch unproblematische Kraftwerke realisiert werden (Ökofilter mit Gewichtung der Produktionsmenge).
Zusätzliche Förderung der Photovoltaik	Es soll geprüft werden, ob Massnahmen zur zusätzlichen Förderung der Photovoltaik sinnvoll sind. Dabei ist zur Zeit der Aufbau einer leistungsfähigen Branche wichtiger als die Installation möglichst grosser Flächen.
Unterstützung von Forschungsaktivitäten zur solaren Stromproduktion (z.B. Photovoltaik)	Im Jahr 2012 wird voraussichtlich ein neues kantonales Gesetz über Hochschulen und Forschungseinrichtungen erlassen. Dabei sollen Forschungsaktivitäten zur solaren Stromproduktion ins Portfolio der HTW Chur resp. der Institute der Academia Raetica integriert werden.
Prüfung der Intensivierung der Stromproduktion in der KVA Trimmis	Die Abklärungen sollen in Zusammenarbeit mit dem GEVAG, der für die Kehrichtverbrennungsanlage in Trimmis zuständig ist, vorgenommen werden (allfällige Einflüsse der Gemeinde- und Gebietsreform berücksichtigen).
Durchführung einer Machbarkeitsstudie zur hydrothermalen Tiefen Geothermie im Churer Rheintal	Die Machbarkeitsstudie soll in Zusammenarbeit mit dem GEVAG, der für die Kehrichtverbrennungsanlage in Trimmis zuständig ist, durchgeführt werden (allfällige Einflüsse der Gemeinde- und Gebietsreform berücksichtigen).
Unterstützung Forschungsaktivitäten Tiefe Geothermie	Im Jahr 2012 wird voraussichtlich ein neues kantonales Gesetz über Hochschulen und Forschungseinrichtungen erlassen. Dabei sollen Forschungsaktivitäten zur Tiefen Geothermie ins Portfolio der HTW Chur integriert werden.
Realisierung oder Optimierung der anderen Kraftwerkstypen, sofern wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll	Die zuständigen kantonalen Stellen sollen geeignete unterstützende Massnahmen in die Wege leiten.

¹⁷⁵ Zusammen mit Erhöhung des verarbeiteten Abfalls auf 125'000 to

¹⁷⁶ Prioritär im Bereich der Kehrichtverbrennungsanlage (Fernwärmesystem vorhanden, v.a. wenn Umstellung KVA auf reine Stromproduktion, Substitution der wegfallenden Wärmeproduktion bei KVA)

Im Zusammenhang mit den Stossrichtungen *Erneuerbare Energien ohne Grosswasserkraft* ist zu beachten, dass eine aktive Kommunikation aufgebaut werden sollte. Die periodische Aktualisierung des Energiekonzepts (BEG, 2010) bietet dafür eine geeignete Plattform.

In der Richtplankarte (GR, 2010) ist unter der Rubrik *Übrige Raumnutzungen und weitere Infrastrukturen* die Kehrichtverbrennungsanlage in Trimmis erwähnt. Infolge der zukünftigen Bedürfnisse der öffentlichen Infrastruktur¹⁷⁷ wäre es allenfalls sinnvoll, für das Gebiet um die KVA Trimmis eine „Zone öffentlicher Infrastrukturbauten“ zu diskutieren.

¹⁷⁷ Z.B. Tiefe Geothermie, aber auch regionale Abwasserreinigungsanlage mit weitergehender Schlammbehandlung und -verwertung (gemeinsames Energiekonzept mit KVA sinnvoll)

9 QUANTITATIVE ZIELE

Unter der Annahme, dass die oben beschriebenen Stossrichtungen *Erneuerbare Energien ohne Grosswasserkraft* verfolgt werden, lässt sich die Steigerung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft als Zielgrösse ermitteln. Dabei wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Kleinwasserkraftwerke: gleichmässig verteilte Realisierung des oben ermittelten Potenzials von 135 GWh/a ab 2011 während fünfzehn Jahren
- Photovoltaik: jährliche Steigerung der Stromproduktion um 10%, ab dem Jahr 2020 um 20%, im Jahr 2020 einmalige Installation von 4 GWh/a
- Windenergie: Aufbau der Infrastruktur von 2016 bis 2025 für 200 GWh/a
- Tiefe Geothermie: Inbetriebnahme einer Anlage im Jahr 2020 mit 5 GWh/a
- Biomasse – Holz: Zunahme der Stromproduktion aus Energieholz in den Jahren 2015 bis 2019 um insgesamt 10 GWh/a
- Biomasse – KVA: Zunahme der Stromproduktion um 5 GWh/a im Jahr 2015 und um weitere 25 GWh/a im Jahr 2020 (nur 50% als Strom aus erneuerbaren Energien berücksichtigt)
- Biomasse – Kläranlagen: kontinuierliche Zunahme der Stromproduktion in den Jahren 2014 bis 2020 um insgesamt 7 GWh/a
- Biomasse – Grüngut, Abfälle aus Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, Hofdünger: kontinuierliche Zunahme der Stromproduktion in den Jahren 2016 bis 2020 um insgesamt 5 GWh/a
- Weitere Technologiegruppen: keine Zunahme der Stromproduktion

Die mit den oben definierten Annahmen abgeschätzte zusätzliche Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft geht aus Abb. 33 hervor. Der Verlauf der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft ist in Abb. 34 resp. Tab. 4 dargestellt. Es sollte möglich sein, die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft bis zum Jahr 2025 von aktuell ca. 600 GWh/a auf ca. 1'000 GWh/a zu steigern. Dies setzt jedoch u.a. voraus, dass der Windpark Lumbrein realisiert wird. Die Zunahme von 400 GWh/a entspricht ca. 65% des oben ermittelten realistischen Potenzials zur Steigerung der Stromproduktion.

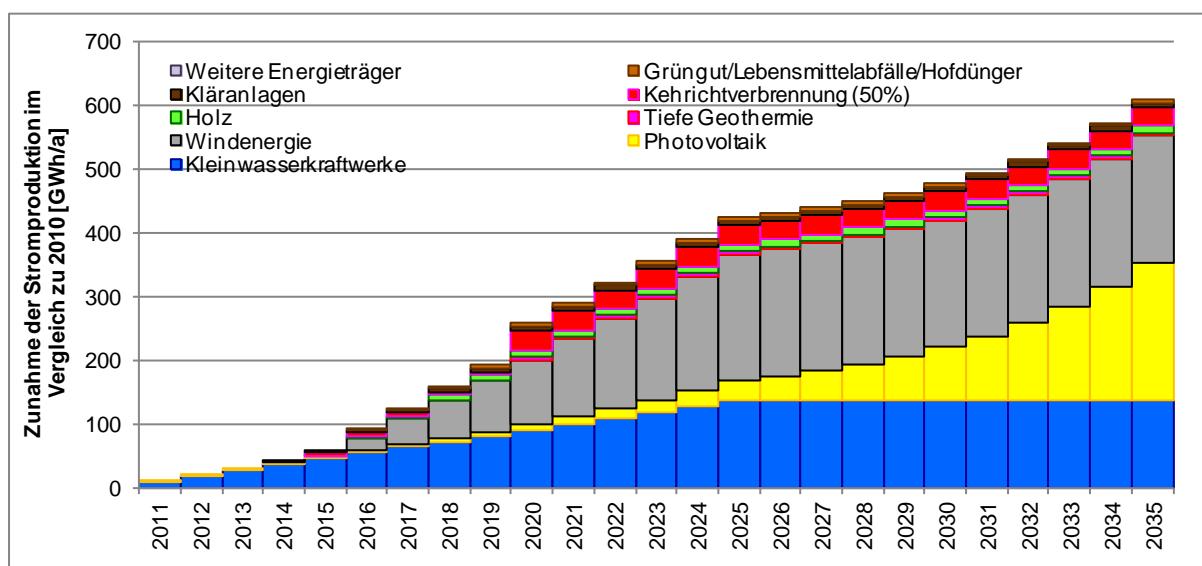


Abb. 33: Zunahme der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft gegenüber 2010

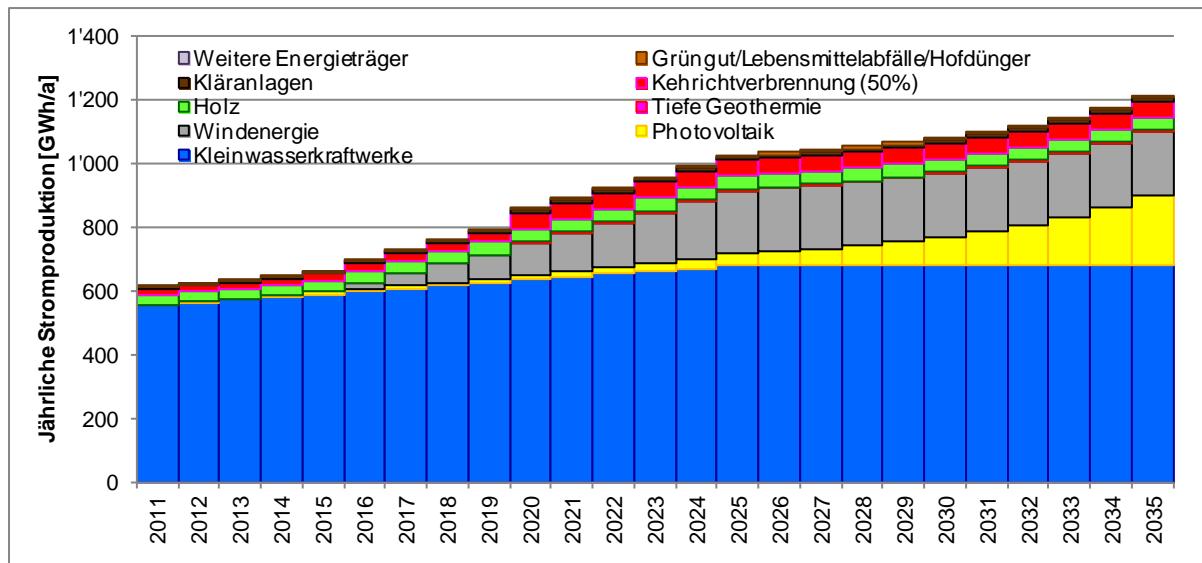


Abb. 34: Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft (Zielgrössen)

Tab. 4: Zielvorgaben zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft

Technologiegruppen	Ist-Prod.	Zielgrössen der Stromproduktion [GWh/a]						
		2010	2014	2018	2022	2026	2030	2034
Kleinwasserkraftwerke								
- Ausleit- und Durchlaufkraftwerke	513	540	568	596	623	623	623	623
- Trinkwasser- und Abwasserkraftwerke	31	34	36	38	38	38	38	38
- Weitere Kleinwasserkraftwerke	0	6	12	18	18	18	18	18
Photovoltaik	4	6	9	21	43	89	185	
Windenergie	0	0	60	140	200	200	200	
Tiefe Geothermie								
- petrothermale Tiefe Geothermie	0	0	0	0	0	0	0	0
- hydrothermale Tiefe Geothermie	0	0	0	5	5	5	5	5
Biomasse								
- Holzkraftwerke	30	30	38	40	40	40	40	40
- Kehrichtverbrennung (nur 50%-Anteil)	20	20	25	50	50	50	50	50
- Kläranlagen	4	5	9	11	11	11	11	11
- Grüngut/Lebensmittelabf./Hofdünger	2	2	5	7	7	7	7	7
Weitere Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	604	643	762	926	1'035	1'081	1'177	

Sofern die oben definierten Annahmen zutreffen, nimmt die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft bis zum Jahr 2035 infolge neu installierter Photovoltaikanlagen um weitere 200 GWh/a zu.

Es ist davon auszugehen, dass die Kleinwasserkraftwerke auch zukünftig mehr als die Hälfte des Stroms aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft produzieren werden. Sofern der Stromverbrauch in Graubünden auch zukünftig ca. 2'000 GWh/a beträgt, kann mittelfristig rund 60% aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft gedeckt werden.

Die in Tab. 4 aufgelisteten Produktionsmengen sind Zielgrössen und somit als Controllinggrössen für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft zu betrachten.

Mit den Stossrichtungen *Erneuerbare Energien ohne Grosswasserkraft* kann die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft in den nächsten 25 Jahren um ca. 600 GWh/a gesteigert werden. Das oben abgeleitete Ziel des Bundes, wonach in Graubünden zukünftig 1'050 GWh/a resp. 1'550 GWh/a¹⁷⁸ mehr Strom aus erneuerbaren Ener-

¹⁷⁸ Sofern Strombedarf des PSW Puschlav zusätzlich zu kompensieren ist

gien produziert werden sollen, ist mit dieser Strategie somit mittelfristig ohne Grosswasserkraft nicht zu erreichen. In Abb. 35 ist der Bedarf nach zusätzlicher Stromproduktion aus Grosswasserkraft dargestellt.

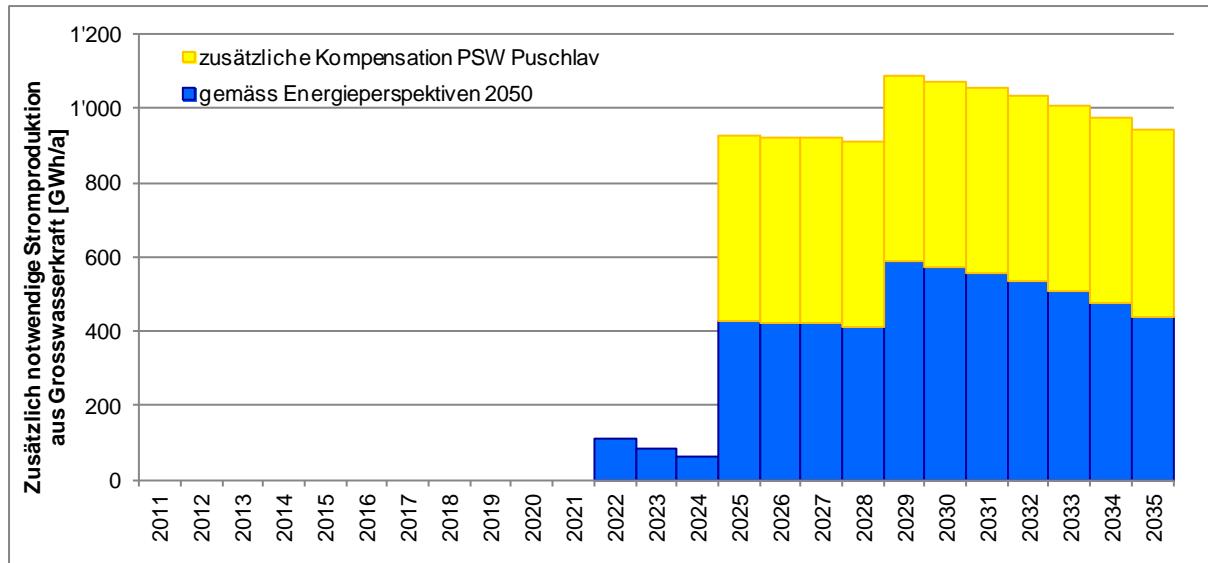


Abb. 35: Zusätzlich notwendige Stromproduktion aus Grosswasserkraft

Aufgrund des heutigen Kenntnisstands ist anzunehmen, dass eine Steigerung der Stromproduktion um 1'050 GWh/a möglich ist. D.h. es kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz von 450 GWh/a durch Grosswasserkraftwerke produziert werden kann.

Hingegen ist fraglich, ob zusätzlich 950 GWh/a Strom durch Grosswasserkraftwerke erzeugt werden können. D.h. das Ziel von zusätzlichen 1'550 GWh/a Strom lässt sich mit den oben beschriebenen Stossrichtungen und der Mehrproduktion aus Grosswasserkraftwerken kaum erreichen. In diesem Fall ist die Installation von Photovoltaikanlagen frühzeitig zu intensivieren.

Es ist davon auszugehen, dass die nutzbaren Potenziale zur Steigerung der Stromproduktion aus Kleinwasserkraft und Windenergie innerhalb der nächsten 20 Jahre realisiert werden. Sofern in der Zwischenzeit nicht revolutionäre technische Entwicklungen erreicht werden, kann anschliessend in Graubünden die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Grosswasserkraft nur noch durch Photovoltaik signifikant gesteigert werden¹⁷⁹. Dieser Umstand ist bei der Festlegung der zukünftigen Strategien angemessen zu berücksichtigen.

¹⁷⁹ Potenziale der anderen Technologien zur solaren Stromproduktion sowie der petrothermalen Tiefen Geothermie noch unbekannt

10 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

- AEV. (1996). *Bericht über die Holzenergienutzung Mittelbünden / Moesano, Forstingenieurgemeinschaft Hannes Barandun, Davos, René Müller, Knonau, Paul Barandun, Summaprada, April 1996.*
- ANU. (1998). *Abfallplanung Graubünden - Speiseabfälle: Erhebung der Mengen und Entsorgungswege, Amt für Umweltschutz Graubünden und Kantonales Veterinäramt Graubünden, November 1998.*
- ANU. (2007). *Fischwanderhindernisse im Kanton Graubünden, Dokumentation und Beurteilung 2007, Amt für Natur und Umwelt, Januar 2007.*
- ANU. (2000). *Klärschlamm-Entsorgungsplan Graubünden, April 2000.*
- ANU. (2000). *Kompostierbare Abfälle, ANU, Büro für angewandte Ökologie, Dezember 2000.*
- ARE. (2010). *Grundlagen Richtplanung Siedlung, ARE, 31.12.10.*
- ARE. (2007). *Siedlungsbericht Graubünden, Analyse der Siedlungsentwicklung seit 1980, Amt für Raumentwicklung Graubünden, Sept. 2007.*
- AWEL. (2007). *Machbarkeitsstudie des AWEL "Geothermische Energie im Kanton Zürich - Grundlagen und Potenziale", Oktober 2007, Verfasser: Geowatt AG, Zürich.*
- AXPO. (2010). *Potentialevaluation Erneuerbare Energien, Landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Region Mittelbünden, Studie zur Standortabklärung und Wirtschaftlichkeitsberechnung mehrerer Biogasanlagen, Axpo Genesys AG, 11.06.10.*
- BAFU. (2009). *Analyse der KEV-Anmeldungen, Monitoring der geförderten Kleinwasserkraft, 22.04.09.*
- BEG. (2010). *Energiegesetz des Kantons Graubünden (BEG), 20.04.10, BR 820.200.*
- BFE. (2007). *Die Energieperspektiven 2035, Bundesamt für Energie BFE, Januar 2007.*
- BFE. (2011b). *Energieperspektiven 2050, Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen, Faktenblatt, 10.06.11.*
- BFE. (2011f). *Energieperspektiven 2050, Bundesamt für Energie, 10.06.11.*
- BFE. (2010a). *EnergieSchweiz 2011-2020, Detailkonzept, Entwurf vom 01.10.10.*
- BFE. (2011c). *Energieszenarien für die Schweiz bis 2050; Erste Ergebnisse der angepassten Szenarien I und IV aus den Energieperspektiven 2007; Energienachfrage, energiebedingte CO2-Emissionen, Zwischenbericht I; BFE; Prognos, 18.05.11.*
- BFE. (2010c). *Forschungsprogramm Geothermie - Überblicksbericht 2010, BFE Forschungsprogramm Geothermie, Minder Energy Consulting, 2010.*
- BFE. (2011e). *Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung, Bau und Betrieb, Ausgabe 2011.*

- BFE. (2004). *Konzept Windenergie Schweiz, BFE/Suisse éole, METEOTEST, August 2004*.
- BFE. (2006). *Potenzial des Solarstroms in der Gemeinde, BFE, April 2006*.
- BFE. (2011d). *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2009, Bundesamt für Energie BFE, Juli 2011*.
- BFE. (2011a). *Skizze des Aktionsplans Energiestrategie 2050, Bundesamt für Energie BFE, 2011*.
- BFE. (2010b). *Windenergie-Karte der Schweiz, BFE / suisse.éole, METEOTEST, www.wind-data.ch, 2010*.
- BFE/BAFU/ARE. (2010). *Empfehlung zur Planung von Windenergieanlagen - Die Anwendung von Raumplanungsinstrumenten und Kriterien zur Standortwahl; BFE, BAFU, ARE, März 2010*.
- BVFD. (1985). *Jährliches Energieholzpotenzial in den Gemeinden des Kantons Graubünden, Bau- und Forstdepartement Graubünden, Bericht zur Auswertung 1985*.
- EnG. (1998). *Energiegesetz (EnG), vom 26.06.98, Stand 01.01.11, SR 730.0*.
- EnV. (1998). *Energieverordnung (EnV), 07.12.98, Version 01.06.11, SR 730.01*.
- EPIA. (2009). *SET FOR 2020 Report, www.setfor2020.eu, 2009*.
- ETH. (2008). *Energiestrategie für die ETH Zürich, Energy Service Center ECS, Februar 2008*.
- ETS. (2010). *Energie-Strategie 2050, Impulse für die schweizerische Energiepolitik, Energie Trialog Schweiz ETS*.
- EU. (2011). *Photovoltaic Geographical Information System, Einstrahlungsdatenbank CM-SAF, 1998-2010, European Union, 1995-2011*.
- GEVAG. (2011). *35. Geschäftsbericht 2010, Gemeindeverband für Abfallentsorgung in Graubünden, Trimmis*.
- GR. (2010). *Der Kantonale Richtplan, Kanton Graubünden, 2010*.
- GR. (2008). *Regierungsprogramm 2009 - 2012, Botschaft der Regierung an den Grossen Rat, Heft Nr. 13 / 2007-2008, Februar 2008*.
- GR. (2009). *Restwassersanierung der Misoxer Kraftwerke AG, Beschluss der Regierung 1134, 24.11.09*.
- GR. (2011). *Statistischer Atlas Graubünden, 2011, www.statistik.gr.ch/geoclip*.
- HMQ. (2010). *Potenzialevaluation Erneuerbare Energien; Region Mittelbünden, Axpo AG, ewz Produktion, Juli 2010*.
- Holcim. (2011). *Nachhaltigkeitsbericht, Daten und Fakten 2008 - 2010, Holcim (Schweiz) AG*.
- IEA. (2008). *ETP Energy Technology Perspectives 2008, Scenarios & Strategies to 2050, IEA International Energy Agency*.

IEA. (2009). *Trends in Photovoltaic Applications, Survey Report of Selected IEA countries between 1992 and 2008, IEA PVPS, September 2009.*

KEV. (2011). *Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), Anmeldestatistik, Stiftung KEV, Januar 2011.*

Meier, E. (2010). *Solarkraftwerke an Lawinenverbauung Chüenihorn St. Antönien, grösstes Solarkraftwerk der Schweiz, Christian Meier Energiebüro AG, Mai 2010.*

MeteoSchweiz. (2009). *Klimabericht Kanton Graubünden, Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 228, 2009.*

NET. (2009). *Würdigung der Kernaussagen des SET FOR 2020 Reports der EPIA / A.T. Kearney aus Schweizer Sicht, Bericht zuhanden Swissolar, NET Nowak Energie & Technologie AG, November 2009.*

Rybach. (2005). *Die Schweizer Risikodeckung für Geothermiebohrungen 1987 -1997 - Ausgestaltung und Erfahrungen im Rückblick, GtV-Jahrestagung 2005.*

SELVA. (2008). *Strategie für die Entwicklung der Holzenergie im Kanton Graubünden, Holzenergie plus, Holzenergie Graubünden, Mai 2008.*

VBE. (1992). *Auswirkungen des revidierten Gewässerschutzgesetzes auf die Wasserkraftwerke in Graubünden; Quelle: Angaben der jeweiligen Gesellschaften an die VBE, Herbst 1991, Bereinigung im März 1992.*

WWF. (2010b). *Kleinwasserkraft - zusätzliches Potenzial an ökologisch geeigneten KEV-Standorten, Ernst Basler + Partner AG, 16.11.2010.*

WWF. (2010a). *Riverwatch, 23.04.10.*