



Eidg. Forschungsanstalt für Wald,
Schnee und Landschaft WSL



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Erneuerbare Energien aus der Landschaft Schweiz

Potentialberechnung unter Berücksichtigung verschiedener landschaftlicher
Ausschlusskriterien und künftig nutzbarer Flächen



Masterarbeit

Von Rico Hergert
Am Departement Umweltsystemwissenschaften
ETH Zürich

Betreuer

Prof. Dr. Felix Kienast
WSL Birmensdorf

September 2012 – März 2013

Titelbild: (Windturbine in Le Peuchapatte JU; Foto: suisse-éole)

Abkürzungen:

GWh = Gigawattstunde (1 GWh = 1'000'000 kWh)

kWh = Kilowattstunde

MW = Megawatt (1 MW = 1000 kW)

kW = Kilowatt

Durchschnittlicher Stromverbrauch eines Schweizer Haushalts (2 Personen, Mehrfamilienhaus) 3500 kWh ohne Berücksichtigung eines Elektroboilers (Nipkow, Gasser, & Bush, 2007)

Erneuerbare Energien aus der Landschaft Schweiz

Potentialberechnung¹ unter Berücksichtigung verschiedener landschaftlicher Ausschlusskriterien und künftig nutzbarer Flächen

Zusammenfassung

Aufgrund des Klimawandels und des vom Bund beschlossenen Atomausstiegs (Bundesrat, 2011) sind erneuerbare Energien zu einem wesentlichen Thema unserer Zeit geworden. Es gibt bereits verschiedene Studien, die das Potential erneuerbarer Energieträger in der Schweiz berechnen (z.B. METEOTEST, 2012; Akademien der Wissenschaften Schweiz 2012a). In diesen Studien wurden aber die kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete nicht berücksichtigt, obschon Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien oft Konflikte mit verschiedenen anderen Interessen verursachen.

In der vorliegenden Arbeit wurden für die Berechnung der Energiepotentiale von Wind- und Kleinwasserkraftwerken verschiedene Filter mit Ausschlusskriterien gebildet, als Neuheit erstmals die kantonalen Schutzgebiete, die bisher nicht in nationale Abschätzungen einfließen. Anschliessend wurden die theoretisch möglichen Potentialflächen jedes Energieträgers mit den Ausschlusskriterien (Filter) kartografisch überlagert. Je mehr Ausschlusskriterien überlagert werden, desto stärker verringert sich die Potentialfläche und das resultierende Energiepotential. Für jede Kombination von Ausschlusskriterien kann nun angegeben werden, wie hoch das Energiepotential ist. Zusätzlich wurde mit einer GIS-gestützten Analyse nach konfliktarmen Flächen für Solaranlagen ausserhalb von Siedlungen und nach Flächen für die Nutzung von verholzter Biomasse gesucht. Verbuschte und aufgrund zukünftiger Landnutzungsszenarien einwachsende Flächen (nach Bolliger, Kienast, Soliva, & Rutherford, 2007) besitzen diese Voraussetzung. Weitere Flächen wie Siedlungsgebiete (für Solarenergie) oder produktive Wälder und Landwirtschaftsgebiete (für Holzproduktion und Solarfreiflächenanlagen) wurden nicht berücksichtigt. Die gleichen Filter wie bei Wind- und Wasserkraft wurden auch bei dieser Berechnung angewendet.

¹ Die Analyse schliesst für Windenergie und Kleinwasserkraft die Fläche der ganzen Schweiz ein. Für Photovoltaikanlagen und verholzte Biomasse beschränkt sich diese Arbeit auf möglicherweise nutzbare verbuschte Flächen und auf einwachsende Flächen, die künftig aufgrund landwirtschaftlicher Nutzungsaufgabe entstehen könnten.

Werden alle vier Energieträger unter Berücksichtigung aller Ausschlusskriterien kombiniert, beträgt das Potential erneuerbarer Energien in der Schweiz 23'409,4 GWh was 37,2 Prozent des heutigen Stromverbrauchs entspricht (BFE, 2012a). Dieser Wert schliesst für die Solarenergie die Siedlungsgebiete nicht ein und für die verholzte Biomasseproduktion wurden nur verbuschte und aufgrund zukünftiger Landnutzungsszenarien einwachsende Flächen berücksichtigt. Würden einzelne Filter mit Ausschlusskriterien weggelassen wäre das Potential entsprechend grösser.

Die Energiestrategie des Bundesrates sieht einen Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2050 auf 22'600 GWh vor (Bundesrat, 2012). Dieses Ziel könnte mit den untersuchten Energieträgern erreicht werden, insbesondere wenn man davon ausgehen kann, dass der Klimawandel bis Mitte Jahrhundert kaum einen entscheidenden Einfluss auf die Energieproduktion haben wird.

Es gilt allerdings zu beachten, dass in dieser Arbeit aufgrund von Berechnungsproblemen vorwiegend bei der Wasserkraft sowie Unsicherheiten bezüglich der politischen Entwicklung das Gesamtpotential erneuerbarer Energie in der Schweiz wohl eher leicht überschätzt wird. Trotzdem wird durch die erweiterte Analyse mit Kriterien, wie zum Beispiel den kantonalen Schutzgebieten, gut ersichtlich, in welchen Bereichen und in welchem Umfang Potentiale vorhanden sind.

Abstract

Due to climate change and the nuclear power exit strategy of the federal government (Bundesrat, 2011) renewable energies are getting more and more popular. Several studies calculated already the potential for renewable energies in Switzerland (e.g. METEOTEST, 2012; Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a). However cantonal conservation areas and protected landscapes were not considered so far. Renewable energies often cause conflicts between different interests. For the calculation of the energy potential of windpower plants and small hydropower plants different filters with exclusion criteria were set up. One of the filters includes the cantonal conservation areas. The potential area is getting smaller as more filters are overlaid with the theoretical potential. With this assessment many conflicts can be excluded at the planning phase and the conflicting amount of energy is not included in the calculation of the national energy potential. Additionally the present study proposes a method to search for low conflict areas for energy production of photovoltaics and wooden biomass. Based on future land use scenarios (according to Bolliger, Kienast, Soliva, & Rutherford, 2007) currently scrub-covered areas and expected abandoned land with ingrowing forests have that precondition. Other areas for photovoltaics such as settlements or productive agricultural areas for woody biomass are not considered in the present study. For the potential calculation the same filters as for wind- and hydropower were used. If all four energy types investigated are combined they have a potential of 23'409.4 GWh which is 37.2 percent of the electricity used in 2011 (BFE, 2012a). Without considering some of the filters the energy potential is considerably higher. The energy strategy of the federal government plans an expansion of the renewable energies of 22'600 GWh until 2050 (Bundesrat, 2012). This goal could be reached with the analyzed energy types. Also climate change shouldn't have a critical influence on the energy production until the middle of the century. Due to methodological problems with the calculation mainly for hydropower and political ambiguity for this subject, the calculated potential in this thesis might probably be slightly too high. Nevertheless this thesis shows where and how big the potentials are in consideration of further criteria like cantonal conservation areas.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Untersuchte Energietypen	4
1.2.1 Windenergie	4
1.1.1 Kleinwasserkraftwerke	4
1.1.2 Solarenergie	5
1.1.3 Energie aus Biomasse	5
1.3 Untersuchungsziele	7
2. Material und Methoden	8
2.1 Untersuchungsgebiet	8
2.2 Material	8
2.2.1 GIS Daten	8
2.3 Methoden	11
2.3.1 Filter	11
2.3.2 Zusätzliche Potentialgebiete aus Landnutzungsänderungen	12
2.3.3 Berechnung der Potentiale	13
2.3.4 Einfluss Klimawandel	19
3. Ergebnisse	20
3.1 Kantonale Schutzgebiete	20
3.2 Potentiale	21
3.3 Potentiale mit zukünftiger Landnutzung	27
3.4 Einfluss des Klimawandels	32
4. Diskussion	36
5. Ausblick	43
6. Schlussfolgerungen	45
7. Dank	47
8. Quellenverzeichnis	48
8.1 Literaturverzeichnis	48
8.2 GIS-Quellen	50
9. Anhang	52
9.1 Nationale Inventare	52
9.2 Kantonale Schutzgebiete	53
9.3 Potentiale aller Energietypen	54
9.3.1 Windenergie	55

9.3.2 Kleinwasserkraft.....	57
9.3.3 Solarenergie.....	59
9.3.4 Biomasse	61
9.4 Karten.....	64
9.4.1 Windenergie.....	64
9.4.2 Kleinwasserkraft.....	68
9.4.3 Solarenergie.....	71
9.4.4 Biomasse	75
9.5 Daten CD.....	77

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Gebiete mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 4,5 m/s.....	14
Abb. 2: Energiepotentialberechnung Windenergie.....	15
Abb. 3: Energiepotentialberechnung Kleinwasserkraft.....	16
Abb. 4: Energiepotentialberechnung Solaranlagen.....	17
Abb. 5: Energiepotentialberechnung verholzte Biomasse.....	18
Abb. 6: Kantonale Natur und Landschaftsschutzgebiete	20
Abb. 7: Potential für Windenergie in der Schweiz mit 120m hohen Turbinen.....	21
Abb. 8: Alle Windpotentialgebiete ohne Filter	23
Abb. 9: Windpotentialgebiete mit allen Filtern.....	24
Abb. 10: Energiepotential für Kleinwasserkraftwerke.....	25
Abb. 11: Alle Gewässer mit Potential für Kleinwasserkraftwerke ohne Filter	26
Abb. 12: Alle Gewässer mit Potential für Kleinwasserkraftwerke mit allen Filtern	26
Abb. 13: Energiepotential für Solaranlagen auf verbuschten Flächen.....	27
Abb. 14: Alle verbuschte Flächen aufgrund der drei Landnutzungsszenarien ohne Filter	28
Abb. 15: Potentialflächen für Solaranlagen mit allen Filtern.....	29
Abb. 16: Energiepotential für verholzte Biomasse auf einwachsenden Flächen	29
Abb. 17: Alle einwachsenden Flächen aufgrund der drei Landnutzungsszenarien ohne Filter	30
Abb. 18: Potentialfläche für verholzte Biomasse mit allen Filtern.....	31
Abb. 19: Änderung des Ertrags aus Photovoltaik aufgrund des Klimawandels nach Crook et al. (2011).....	34

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verwendete GIS Datensätze	9
Tab. 2: Die acht verwendeten Filter.....	11
Tab. 3: Potentialfläche für Windkraftwerke für verschiedene Turbinenklassen in km ²	21

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Als Folge des Reaktorunglücks in Fukushima im März 2011, beschloss der Bundesrat den Atomausstieg (Bundesrat, 2011). Generell werden aufgrund des Klimawandels neue erneuerbare Energieträger, die kein oder fast kein CO₂ ausstossen, immer interessanter. Sie gelten als klimafreundlich und sollen dazu beitragen, die Erderwärmung zu verzögern. Heute basiert die Stromversorgung in der Schweiz vor allem auf Wasser- und Kernkraftwerken. Die vier Kernkraftwerke lieferten 2011 41% des benötigten Stroms, wohingegen Solarstrom nur 0,2% und Windkraft nur 0,1% beitrugen (BFE, 2012a).

In Zukunft wird sich der Stromverbrauch der Schweiz ändern. Es wird angenommen, dass vermehrt von CO₂-intensiven Energieträgern wie Öl oder Gas auf Strom umgestiegen wird. Gemäss einer Studie der ETH Zürich wird in einem mittleren Szenario der Stromverbrauch bis 2050 um 25% ansteigen (Andersson, Boulouchos, & Bretschger, 2011). Zurzeit befinden sich die schweizerischen Stromimporte und -exporte etwa im Gleichgewicht. Es wird also etwa gleich viel Strom produziert wie verbraucht. In Zukunft werden sich durch die erhöhte Stromnachfrage und den Wegfall der Kernenergie Versorgungslücken bilden. Diese müssen durch neue Kraftwerke geschlossen werden, wenn die Schweiz in Elektrizitätsfragen nicht vom Ausland abhängig werden soll. Dazu soll der Strom hauptsächlich aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Ziele wie zum Beispiel die 2000 Watt Gesellschaft oder die generelle Senkung des CO₂ Ausstosses tragen dazu bei, den erneuerbaren Energieträgern eine prioritäre Stellung einzuräumen. Mögliche erneuerbare Energieträger sind Wasserkraft, Solarenergie, Windkraft, Geothermie und Strom aus Biomasse.

Die Wasserkraft besitzt heute schon einen sehr hohen Ausbaustandard indem sie 54% des gesamten Stroms 2011 liefert (BFE, 2012a). Bei der Wasserkraft liegt das Wachstumspotential eher nicht bei der Entwicklung neuer Grosskraftwerke, da hier das Potential schon gut ausgeschöpft ist, sondern vielmehr beim Ausbau der bestehenden

Potential ist in dieser Arbeit als die gesamte mögliche Energiemenge anzusehen, die mit einem Energieträger in den untersuchten Gebieten produziert werden kann. Das theoretische Potential bezeichnet alle Gebiete, die für die Energieproduktion verfügbar sind ohne Anwendung von jeglichen Ausschlusskriterien. Die Potentialfläche oder das Potentialgebiet bezeichnet ein Areal das für die Nutzung oder Erstellung von Anlagen zur Energieproduktion verfügbar ist.

Einleitung

Grossanlagen und beim Bau neuer Kleinkraftwerke. (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a). Der Bau dieser neuen Kleinkraftwerke wird somit in der Regel an Orten stattfinden, die bisher noch nicht für die Energieerzeugung genutzt wurden. Dies kann oft zu Konflikten mit verschiedenen anderen Nutzungen oder divergierenden Interessen führen.

Andreas von der Dunk hat in seiner Diplomarbeit (Von der Dunk, 2011) Landnutzungskonflikte untersucht. Landnutzungskonflikte wurden dabei als Konflikte definiert, die immer auftreten, wenn verschiedene Akteure nicht vereinbare Interessen bezüglich eines bestimmten Gebietes verfolgen. Dabei wurden mehrere Konflikttypen gefunden: „Lärm“, „Visuelle Verschandelung“, „Gesundheitsgefährdung“, „Naturschutz“, „Erhaltung der Vergangenheit“ und „Veränderungen in der Nachbarschaft“. Diese Konflikte und die dazu gefundenen Lösungsstrategien sind auch bei der Planung und Erstellung von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien zu berücksichtigen um Konflikte zu reduzieren oder gar zu verhindern (Von der Dunk, 2011).

Die verschiedenen Energieträger fördern unterschiedliche Konfliktfelder. Bei Biomassekraftwerken sind so eher Probleme mit Geruchsemissionen zu erwarten, bei Windkraftwerken Probleme mit Lärm oder der Sichtbarkeit. Es gibt viele Beispiele von Widerstand gegen Projekte zu erneuerbaren Energien was sich auch in den Medien zeigt. So findet sich zum Beispiel in der NZZ ein Artikel über ein Solarkraftwerk im Kanton Luzern, wo der Widerstand daraus entsteht, dass die Solaranlage auf gutem Landwirtschaftsland erstellt werden soll (Aschwanden & Wiget, 2012). Die Aargauer Zeitung schrieb in einem anderen Fall über den Widerstand zu einem geplanten Windpark in Oberhof (AG), wo die Probleme beim Natur- und Landschaftsschutz liegen und Wertverluste in der Umgebung befürchtet werden (Christen, 2012). Dass erneuerbare Energien neben einer hohen Attraktivität auch zu Problemen führen können ist bekannt. Vom Bund und verschiedenen Kantone gibt es Vorschriften oder Empfehlungen, die dazu beitragen sollen diese Konflikte zu minimieren. Widerstand lässt sich damit jedoch nicht generell ausschliessen, wie ein Windpark Projekt im Kanton Graubünden zeigt: Obwohl Graubünden Ausschlusszonen für Windkraftwerke auf kantonaler Ebene besitzt, erwächst einem geplanten Windpark in der Surselva Opposition, auch wenn dieser ausserhalb der Ausschlusszonen liegt. Ein Hauptgrund gegen dieses Projekt ist die Landschaftverschandelung (Interessengemeinschaft Sezner-UmSu-Grenerberg, 2011).

Ausser Bund und Kantonen befassen sich auch Organisationen wie die Akademie der Wissenschaften Schweiz mit der Problematik und präsentieren Lösungsvorschläge für

die Konflikte (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a). Weitere Studien, die zukünftige Energiepotentiale für die erneuerbaren Energieträger berechnen, versuchen ebenfalls gewisse Konfliktgebiete auszuschliessen, wie zum Beispiel die Studie von METEOTEST (2012). Diese Potentialberechnungen berücksichtigen aber nur nationale Inventare und Schutzgebiete als Ausschlussgebiete. Studien, die schweizweit kantonale Schutzgebiete berücksichtigen, gibt es bisher nicht. Die kantonale Planung Graubündens enthält zum Beispiel auch die kantonalen Schutzgebiete als Teil des Ausschlussgebietes für Windenergie (Amt für Raumentwicklung Graubünden, 2008). Dies führt zu Koordinationsproblemen zwischen Bund und Kantonen und zu einer Überschätzung gewisser Energiepotentiale.

Die Landschaft der Schweiz ändert sich ständig, sei dies durch neue Nutzungen wie zum Beispiel neue Bauzonen, Erstellen von erneuerbaren Energien oder durch Nutzungsaufgaben. Die Waldfläche der Schweiz hat beispielsweise zwischen 1995 und 2006 um 7% zugenommen (WSL, BAFU, 2010). Dieser Landschaftswandel kann dann zu einer Chance für erneuerbare Energien werden, wenn neue Flächen für eine Nutzung verfügbar werden. Diese Flächen besitzen im Allgemeinen ein tiefes Konfliktpotential, da nach der Aufgabe der früheren Nutzung oft noch kein neuer Nutzungsanspruch besteht. Der Anspruch auf diese Flächen ist somit gering.

Auch der Klimawandel beeinflusst die Landnutzung und kann zu einer Änderung der Attraktivität für die Nutzung eines Gebietes führen. Diese Einflüsse sind bisher nicht vollumfänglich erforscht. So könnte der Klimawandel auch einen Einfluss auf die erneuerbaren Energien haben und deren Potential schmälern oder vergrössern.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist genau bei dieser Problematik anzusetzen. Es geht hauptsächlich um eine Potentialanalyse für die landnutzungsintensiven, erneuerbaren Energieträger wie Windenergie, Kleinwasserkraftwerke oder Solaranlagen in der offenen Landschaft. Kantonale Schutzgebiete sollen dabei genauso berücksichtigt werden wie Flächen, die durch eine geänderte Landnutzung eine Chance für erneuerbare Energien darstellen.

1.2 Untersuchte Energietypen

Die in der Arbeit verwendeten Energieträger werden kurz näher beschrieben.

1.2.1 Windenergie

Zur Stromerzeugung nutzen Windkraftwerke die kinetische Energie des Windes. Die mechanische Energie der drehenden Rotoren wird mit einem Generator in elektrische Energie umgewandelt. Windkraftwerke sind sehr grosse, gut sichtbare Anlagen. Die Nabenhöhe kann bis zu 120m oder höher über dem Boden betragen, die Rotordurchmesser reichen bis über 100m. Grosse Anlagen sind viel effizienter als kleine, da der Wind in grosser Höhe in der Regel stärker weht und die Rotoren eine wesentlich grössere Fläche abdecken. So entspricht der jährliche Ertrag einer Anlage mit 80 Metern Nabenhöhe in etwa dem von 39 Anlagen mit einer Höhe von 30 Metern (Amt für Raumentwicklung Graubünden, 2008). Werden mehrere Anlagen, mindestens drei, an einem Standort platziert, spricht man von einem Windpark. In der Schweiz wird eine mittlere Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s für einen Windkraftstandort vorausgesetzt (BFE, BUWAL, ARE, 2004). Nicht die ganze Schweiz besitzt diese Anforderungen. Für Windenergie geeignete Gebiete befinden sich vor allem im Jura oder an exponierten Lagen in den Voralpen, in Alpentälern oder auf Alpenpässen. Der aktuell grösste Windpark der Schweiz befindet sich auf dem Mont Crosin im Berner Jura und die grösste Einzelanlage in Haldenstein im Bündner Rheintal. Im Jahr 2011 betrug die Stromproduktion aus Windkraft 70 GWh was 0,1% der gesamten Stromproduktion der Schweiz entspricht (BFE, 2012b).

Das Konfliktpotential der Windkraftwerke besteht vornehmlich in der Sichtbarkeit aufgrund ihrer Grösse, dem erzeugten Lärm und der Gefahr für Fledermäuse und Vögel (Suisse Eole, 2013).

1.1.1 Kleinwasserkraftwerke

Kleinwasserkraftwerke besitzen in der Schweiz laut Definition eine Leistung unter 10 Megawatt. Technisch funktionieren Kleinwasserkraftwerke gleich wie Grosswasserkraftwerke, wobei Kleinwasserkraftwerke im Normalfall nicht als Speicherkraftwerke erstellt werden. Meistens wird das Wasser in einem Gewässer gestaut und über eine Stufe turbinert, oder das Wasser wird dem Fluss entnommen und durch einen Kanal geleitet, turbinert und nachher wieder ins Gewässerbett zurückgegeben. Weitere Möglichkeiten von Kleinwasserkraftwerke sind Trinkwasser-, Abwasser-, oder Dotierkraftwerke wobei schon erstellte Infrastrukturen, wie Leitungen, zusätzlich für einen weiteren Zweck gebraucht werden. Diese Kraftwerke sind in der Regel als Kleinstwasserkraftwerke zu kategorisieren, da sie häufig eine Leistung kleiner

als 300 Kilowatt besitzen. 2004 wurden in der Schweiz etwa 3'400 GWh Strom aus Kleinwasserkraftwerken gewonnen, was etwa 9,5% der gesamten Produktion aus Wasserkraft entspricht. Allerdings sind diese Werte nur geschätzt, da eine aktuelle Statistik erst in Bearbeitung ist (BFE, 2013).

Konflikte bei Kleinwasserkraftwerken können vor allem mit dem Gewässer- und Naturschutz und den verbundenen Nutzungen auftreten, da Wasserkraftwerke die Struktur von Gewässern stark verändern können. Oft besitzen Gewässerabschnitte mit bisher geringer Nutzung ein hohes Potential für Wasserkraft, was die Konflikte noch vergrössert (BFE, 2013).

1.1.2 Solarenergie

Aus Sonnenenergie lässt sich Wärme und Strom gewinnen. Sonnenkollektoren tragen zur Unterstützung von Heizungen und zur Warmwasserproduktion bei. Für die Stromproduktion gibt es zwei verschiedene Systeme, Solarthermische Kraftwerke und Photovoltaik. Bei Solarthermischen Kraftwerken wird Sonnenlicht mittels Spiegeln konzentriert. Das konzentrierte Licht erhitzt ein Wärmeträgermedium, das eine Dampfturbine antreibt. Für Solarthermische Kraftwerke wird eine sehr hohe Einstrahlung benötigt, darum werden sie vorwiegend in südlichen Gebieten wie Nordafrika, Spanien, der USA oder Indien gebaut. Für die Schweiz ist die Photovoltaik besser geeignet, die auch für Einstrahlungswerte zwischen 1'000-1'400 kWh /a m², die in der Schweiz vorkommen, einen guten Ertrag besitzen. Es gibt verschiedene Photovoltaiksysteme wobei Dünnschichtsolarzellen ein Wirkungsrad von 8–12% besitzen und Siliziumsolarzellen einen von 15–20% (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012b). In der Schweiz betrug die Stromproduktion aus Photovoltaik 2011 149,2 GWh was 0,2% der gesamten Stromproduktion entsprach (BFE, 2012b).

Solarstromanlagen führen oft zu Ästhetik-Konflikten wenn sie auf Gebäuden montiert werden. Eine Montage auf dem freien Feld kann zusätzlich zur Konkurrenz zu anderen Dienstleistungen wie zum Beispiel der Landwirtschaft führen. Zudem sind Photovoltaikzellen aus vielen verschiedenen und zum Teil seltenen Materialien hergestellt, was zu Problemen der Verfügbarkeit führen kann (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012b).

1.1.3 Energie aus Biomasse

Biomasse bezeichnet alles Material, das durch Fotosynthese erzeugt wurde und zur Energiegewinnung verwendet werden kann. Bei der Verwertung kann nur so viel CO₂ freigesetzt werden wie bei der Erzeugung gespeichert wurde. Es gibt zwei verschiedene Typen von Biomasse, holzartige trockene Biomasse und wenig verholzte nasse

Einleitung

Biomasse. Im Normalfall wird holzartige Biomasse verbrannt um Wärme oder Strom zu erzeugen. Nasse Biomasse wie Hofdünger oder biogene Abfälle werden vergärt zur Gewinnung von Biogas, welches zur Wärme- oder Stromproduktion oder als Treibstoff genutzt werden kann (BFE, 2010). Die Stromproduktion aus Biomasse 2011 betrug 1'383 GWh was 2,2% der Gesamtproduktion entspricht. Der Hauptanteil davon stammt aus Kehrlichtverbrennungsanlagen, deren Energieerzeugung zu 50% der Biomasse zugerechnet wird (BFE, 2012b).

Die Konfliktfelder decken sich mit jenen der übrigen Holz- oder Landwirtschafts-Nutzung wie zum Beispiel Vereinheitlichung der Landschaft oder Unverständnis für Holzschlag. Ein zusätzliches Problem könnten die Geruchsemissionen von Biogasanlagen sein, die sich durch einen klar geregelten Betrieb jedoch vermeiden lassen (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a).

1.3 Untersuchungsziele

Studien wie die von METEOTEST (2012) haben gezeigt, welches Potential die Schweiz für erneuerbare Energien besitzt. Bei dieser Studie wurden allerdings verschiedene Faktoren noch nicht berücksichtigt, z.B. kantonale Schutzgebiete. Das Ziel dieser Masterarbeit ist es weitere, noch nicht berücksichtigte Faktoren in die Potentialberechnung einzubeziehen, nämlich:

- a) *Kantonale Schutzgebiete*: Eine Zusammenstellung aller kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete ist dringend erforderlich. Diese können als Ausschlussgebiet für erneuerbare Energien definiert werden.
- b) *Zusätzliche und in der Studie von METEOTEST (2012) teilweise nicht berücksichtigte Filter als Ausschlusskriterien*: Dazu gehören physikalische Restriktionen, sowie soziale und wirtschaftliche Faktoren wie Erreichbarkeit oder Abstand zu Gebäuden (siehe Projekt von Segura et al. (2012)). Durch diese Filter lässt sich die Potentialfläche für die verschiedenen Energieträger berechnen. Dabei stehen die Potentiale von Windenergie und Kleinwasserkraftwerken im Vordergrund, da diese bezüglich Eingliederung in die Landschaft häufig umstritten sind und trotzdem, im Unterschied zu Solarfreiflächenanlagen, politisch gefördert werden. Bei der Windenergie ist das Gesamtpotential das Ziel der Berechnung. Bei der Wasserkraft hingegen beschränkt sich die Berechnung auf Kleinwasserkraftwerke da für grosse Wasserkraftwerke das Potential schon weitgehend ausgeschöpft ist (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a).
- c) *Flächen die durch künftige Landnutzungsveränderungen möglicherweise für die Energieproduktion zur Verfügung stehen*: Auf verbuschten und einwachsenden Flächen (nach dem Modell von Bolliger et al. (2007)) kann analog zu den Flächen unter b) das Potential für erneuerbare Energien berechnet werden. Da dies als eine zusätzliche Möglichkeit aufgefasst wird, werden auch verholzte Biomasse und Solarfreiflächenanlagen berücksichtigt, deren Potentialberechnung sich auf diese Flächen beschränkt.
- d) *Klimaänderung*: Hier steht im Vordergrund, welchen Einfluss der Klimawandel auf die erneuerbaren Energieträger besitzt, ob er das Potential eher vergrössert oder verkleinert. Diese Untersuchung wird nur qualitativ durchgeführt.

Die Umsetzung wurde mit einer GIS-Analyse durchgeführt, die dazu diente, die Filter zu erstellen und die Potentiale zu berechnen. Des Weiteren wurde Literatur beigezogen um die Berechnungen durchzuführen und die Einflüsse des Klimawandels zu untersuchen.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet dient die ganze Schweiz mit einer Fläche von 41'285 km². Die Schweiz besteht aus 26 Kantonen und lässt sich in sechs biogeografische Regionen, nämlich Jura, Mittelland, Alpennordflanke, Westliche Zentralalpen, Östliche Zentralalpen und Alpensüdflanke unterteilen.

2.2 Material

Die Analyse für die Potentialberechnung basiert auf dem Projekt „The production of renewable energy in Switzerland: a spatial analysis of potential conflicts with landscape services“ von Segura et al. (2012). Inhaltlich befasst sich dieses Projekt mit erneuerbaren Energien als Landschaftsdienstleistung und den daraus folgenden Konflikten mit anderen Dienstleistungen wie Landwirtschaft, Erholung oder Biodiversität. Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, welchen Einfluss die erneuerbaren Energieträger auf die Landschaft besitzen und welche Konflikte mit anderen Landschaftsdienstleistungen entstehen können. Im Weiteren wird versucht herauszufinden, wo genau die Konflikte auftreten und wie diese räumlich verteilt sind. Dazu wird auf nationaler Ebene das Potential der erneuerbaren Energie ermittelt und auf Karten dargestellt. Danach werden die Konflikte aufgrund verschiedener Ausbauszenarien für erneuerbare Energien modelliert.

2.2.1 GIS Daten

Für diese Masterarbeit waren bei mehreren Analyseschritten verschiedene Datensätze erforderlich. Die ersten sechs GIS Datensätze dienten dazu, verschiedene Ausschlusskriterien für erneuerbare Energien zu erstellen. Die Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die verwendeten GIS Datensätze.

Geodaten	Quellen
1) Nationale Schutzgebiete und Pärke	- BAFU, diverse Datensätze - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
2) Kantonale Natur- und Landschaftsschutzgebiete	- Kantonale GIS - Stellen
3) swiss TLM 3D	- swisstopo - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
4) DHM	- swisstopo - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
5) Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STAPOP) ab 2010	- BFS - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
6) Schiessplätze Kernbestand	- armasuisse Immobilien
7) Landnutzungsszenarien	- Bolliger et al., 2007
8) Kleinwasserkraftpotentiale der Schweizer Gewässer	- BFE - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
9) Globalstrahlung Schweiz	- METEOTEST - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
10) Mittlere Windgeschwindigkeit auf verschiedenen Höhen.	- METEOTEST - Segura, Hersperger & Kienast, 2012

Tab. 1: Verwendete GIS Datensätze

Bis auf Punkt 2), 6) und 7) wurden die Daten grössten Teils aus Segura et al. (2012) übernommen und nur minimal verändert. Diese Analyse selbst wurde bereits basierend auf den von METEOTEST (2012) benutzten Anforderungen an Potentialgebiete erstellt.

Das Digitale Höhenmodell (DHM) und das Topografische Landschaftsmodell (TLM) wurden gebraucht, um physikalische Ausschlusskriterien zu erstellen, um den Wald und die Erreichbarkeit zu ermitteln. Mit dem STAPOP konnten bevölkerte Gebiete und mit den Schiessplätzen militärisch genutzte Gebiete ausgeschlossen werden.

Die Landnutzungsszenarien für die Ermittlung weiterer möglicher Flächen für erneuerbare Energien basieren auf dem Paper „Spatial sensitivity of species habitat patterns to scenarios of land use change (Switzerland)“ von Bolliger et al. (2007). Diese Szenarien ermöglichen die Ermittlung potentiell möglicher Flächen für erneuerbare Energien aufgrund von Landnutzungswechseln. Das Paper untersucht den Einfluss der Abnahme von Landwirtschaftsflächen auf verschiedene Tierarten die im offenen Land vorkommen, wie gewisse Vögel, Insekten oder Reptilien. Dazu werden drei verschiedene Landnutzungsszenarien erstellt, ein „business-as-usual-Szenario“ in dem die bisherige Entwicklung weitergeführt wird, ein „Liberalisierungs-Szenario“ mit weniger Regulierung und ein „Extensivierungs-Szenario“ mit verringerter landwirtschaftlicher Produktion bei stärkerer Beachtung des Naturschutzes. Die Resultate dieses Papers zeigen, dass die Möglichkeiten für Verbuschung oder für das Einwachsen von Flächen in abgelegenen bergigen Gebieten grösser sind als im dicht besiedelten Mittelland. So sind auch die Habitatsverluste für die untersuchten Tierarten in den Bergen höher als im Mittelland.

Material und Methoden

Die Nationalen Schutzgebiete und Parks beinhalten alle Nationalen Natur- und Landschaftsschutzinventare sowie den Nationalpark und den Naturpark Sihlwald (Tabelle mit allen nationalen Inventaren und Filter Zugehörigkeit befindet sich im Anhang 9.1). Diese Schutzgebiete besitzen einen Puffer von 200 Meter als Sicherheitsabstand zur Umgebung, der ebenfalls einbezogen wurde. Für die kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete besteht bisher kein für die ganze Schweiz verfügbarer Datensatz weshalb dieser zuerst erstellt werden musste. Die verschiedenen nationalen und kantonalen Schutzgebiete besitzen unterschiedliche Ziele und Regeln. Grundsätzlich ist es so, dass der jetzige Zustand des Gebietes erhalten oder verbessert werden soll. Dabei darf oder sollte, je nach Schutzgebiet, nichts erstellt werden, was das Schutzziel beeinträchtigt. Erneuerbare Energien fallen meistens genau in diesen Bereich da sie viel Platz benötigen und die Natur oder das Erscheinungsbild verändern.

Bei den kantonalen Schutzgebieten war der erste Schritt zu eruieren, welche Gebiete in den einzelnen Kantonen überhaupt in dieser Kategorie berücksichtigt werden konnten. Jeder Kanton der Schweiz kennt andere Schutzgebiete weshalb die Kriterien so festgelegt werden mussten, dass sie für alle Gegenden galten. Grundsätzlich galt als Kriterium die bereits vollzogene Umsetzung als Natur- und Landschaftsschutzgebiet. Je nach Kanton besitzen die Schutzgebiete unterschiedliche Namen. Deshalb musste über die Beschreibung der Daten die zutreffende Bedeutung herausgefunden werden. Zudem gibt es Kantone, die einer Kategorie mehrere Unterkategorien zuordnen. So ist im Wallis das geschützte Objekt ein Teil des Namens, also beispielsweise „Schutz des Gebietes von Pfyng“ und es gibt mehrere verschiedenen Objektkategorien. Genf dagegen besitzt spezielle Schutzbestimmungen für traditionelle Weinbaugebiete als Teil der Landschaftsschutzgebiete.

Nach der Auswahl der relevanten Gebiete mussten diese bei den jeweilig zuständigen GIS-Stellen bestellt werden. Bei gewissen Kantonen war zusätzlich eine Selektion aus dem Richtplan notwendig. Anschliessend liessen sich alle relevanten Gebiete der Kantone zu einem gemeinsamen Layer, den „Kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebieten“ zusammenfügen. Aufgrund dieses Layers lässt sich die unterschiedliche Verteilung der Schutzgebiete in den Kantonen oder biogeografische Regionen untersuchen.

Zusätzlich wurde als Grundlage für die Potentialberechnungen der ermittelten Gebiete die Datensätze „Globalstrahlung“ und „Mittlere Windgeschwindigkeit“ für Solar- und Windenergie sowie „Kleinwasserkraftpotentiale für Wasserkraft“ verwendet.

2.3 Methoden

2.3.1 Filter

Als Grundlage für die Analyse zur Berechnung der Energiepotentiale dienen verschiedene Filter von Ausschlussgebieten. Zu diesem Zweck wurden die schon genannten Ausschlusskriterien aus Segura et al. (2012) übernommen und neu in geeignete Filter gruppiert. Zusätzlich wurde ein Filter bestehend aus den kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebieten hinzugefügt. Durch das Hinzu- oder Wegschalten eines Filters kann das Potential für einzelne Energietypen berechnet werden, je nachdem welche Kriterien man berücksichtigt. Die Filter wurden zwar gemeinsam für alle untersuchten Energietypen erstellt, bei der Potentialberechnung einzelner Energiearten kam jedoch jeweils die relevante Selektion von Filtern zur Anwendung

Gesamthaft wurden acht Filter definiert. Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über alle Filter.

Filter 1	Physikalische Ausschlusskriterien
Filter 2	Strikte nationale Inventare
Filter 3	Weitere nationale Inventare
Filter 4	Bewohnte Gebiete
Filter 5	Erreichbarkeit
Filter 6	Militärisch genutzte Gebiete
Filter Kanton	Kantonale Natur- und Landschaftsschutzgebiete
Filter Wald	Wald

Tab. 2: Die acht verwendeten Filter

Der erste Filter berücksichtigt die physikalischen Ausschlusskriterien für die erneuerbaren Energien. Dabei werden Gebiete mit instabilem Baugrund wie Geröll, Feuchtgebiete, Seen, Flüsse und Gletscher und Gebiete mit einer Steigung über 20° ausgeschlossen.

Der zweite Filter beinhaltet nationale Natur- und Landschaftsschutzinventare, die unter keinen Umständen eine Änderung am Gebiet erlauben, wodurch eine Nutzung von erneuerbaren Energien auf diesem Gebiet ausgeschlossen ist (Tabelle mit einer Übersicht über die Inventare befindet sich im Anhang 9.1).

Der dritte Filter besteht aus den weiteren nationalen Natur und Landschaftsschutzinventaren, die im zweiten Filter nicht berücksichtigt wurden. Grundsätzlich ist auch in diesen Schutzgebieten eine Nutzung der erneuerbaren Energien kaum möglich, doch sind die Schutzbestimmungen nicht so strikt wie beim zweiten Filter, weshalb eine Nutzung nicht vollumfänglich ausgeschlossen werden kann (Tabelle mit einer Übersicht über die Inventare im Anhang 9.1).

Material und Methoden

Der vierte Filter bezeichnet die bevölkerten Gebiete. Um jedes bewohnte Haus wurde ein Puffer von 300m gelegt. Auch um nicht durchgehend bewohnte Gebäude wurde zusätzlich ein Puffer von 200m gelegt. Alle Gebiete, die nun in der Umgebung von Häusern liegen, gelten als Ausschlussgebiet für erneuerbare Energien, dies aufgrund der Lärmerzeugung der Kraftwerke oder auch aus ästhetischen Gründen

Der fünfte Filter schliesst nicht erreichbare Gebiete aus. Als erreichbar gilt ein Ort, wenn er maximal 500m von einer Strasse oder einem Weg, der nicht kleiner als 2m breit ist, entfernt liegt. Dazu wurde ein Puffer von 500m um alle Strassen und Wege bis hin zu Viertklass-Fahrwegen gelegt. Die Erreichbarkeit ist wichtig für die Erstellung und den Unterhalt der Anlagen.

Der sechste Filter befasst sich mit militärisch genutzten Gebieten. Dabei werden alle Schiessplätze verschiedener Kategorien als Potentialgebiet für erneuerbare Energie ausgeschieden. Durch das Erstellen von Kraftwerken auf Schiessplätzen könnten diese nicht mehr im gleichen Umfang genutzt werden, weshalb diese Plätze für die Gewinnung von erneuerbaren Energien nicht in Frage kommen.

Der Filter „Kanton“ beinhaltet alle kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete. Um die zusammengefügte Gebiete der einzelnen Kantone wurde ein Puffer von 200m gelegt, damit die kantonalen Gebiete die gleichen Kriterien wie die nationalen Gebiete erfüllen.

Der Filter „Wald“ berücksichtigt alle bewaldeten Gebiete der Schweiz. Gemäss METEOTEST (2012) ist der Wald als Ausschlussgebiet in die Berechnung einzubeziehen. In der Antwort auf ein Postulat beteuerte der Bundesrat zwar, dass Windkraftanlagen im Wald grundsätzlich möglich seien, weil nur unter Berücksichtigung aller am besten geeigneten Standorte die Ziele der Energiewende zu erreichen seien. Doch müssen die besonderen Umstände von Waldstandorten berücksichtigt werden (BFE, BAFU, ARE, 2012).

Je nach Analysegegenstand werden einzelne dieser acht Filter miteinbezogen oder weggelassen.

2.3.2 Zusätzliche Potentialgebiete aus Landnutzungsänderungen

Als Grundlage für die Erstellung von weiteren möglichen Flächen wurden, wie vorher erwähnt, die Daten von Bolliger et al. (2007) als Grundlage genommen. Bei diesem Projekt wurde die Arealstatistik von 1997 in fünf Gruppen zusammengefasst: Wald, offener Wald, Busch, extensiv genutztes Offenland und intensiv genutztes Offenland. Die

weissen Flächen auf der Karte bezeichnen jenes Gebiet, wo aufgrund der Höhenlage, von Siedlungen, Gewässern oder anderen Restriktionen keine dieser Kriterien vorkommen können.

Zuerst wurden die drei Szenarien, „business-as-usual“, „Liberalisierung“ und „Extensivierung“ mit der heutigen Arealstatistik verglichen. Dabei wurde untersucht wo die Unterschiede zwischen der heutigen Arealstatistik und den Landnutzungsszenarien liegen. Es wird angenommen, dass es bis zum möglichen Eintreten der drei Landnutzungsszenarien unterschiedlich lang dauert. Beim „business-as-usual“ rechnet man mit 20-30 Jahren, bei der „Extensivierung“ mit 30-50 Jahren und bei der „Liberalisierung“ mit 100 bis 200 Jahren (Bolliger, Kienast, Soliva, & Rutherford, 2007). Für Solarfreiflächenanlagen sind verbuschte Flächen gut geeignet und extensive Flächen mässig gut geeignet, da sie immer noch genutzt werden, wodurch es vermehrt zu Konflikten kommen kann. Das heisst, alle Flächen, die in Zukunft zu Busch werden oder heute schon Busch sind, sind gut geeignet für Solaranlagen. Analog gilt das Gleiche für extensive Landflächen, die mässig gut geeignet sind. Die drei verschiedenen Szenarien werden in einem nächsten Schritt zusammengefasst. Flächen, die bei allen drei Szenarien gut oder mässig gut geeignet sind, werden in der Analyse weiter betrachtet. In einer zweiten Version könnte man die Potentialfläche vergrössern, wenn nur bei zwei von drei Szenarien eine Eignung vorhanden sein müsste.

Das Erstellen der Flächen, die ein zusätzliches Potential für Biomasse besitzen, erfolgt grundsätzlich gleich wie jenes der Flächen für Solaranlagen. Der Unterschied besteht darin, dass für die Biomassenutzung Flächen, die von Nicht-Wald zu Wald oder zu offenem Wald werden, relevant sind. Es gibt nur Flächen mit Potential und keine Unterscheidung zwischen guter und mässiger Eignung. Schliesslich werden wieder zwei Versionen gebildet, wobei bei der einen alle drei Szenarien ein Potential besitzen müssen, und bei der anderen nur zwei.

Mit den Solar- und Biomasseflächen lassen sich nun die Energiepotentiale berechnen.

2.3.3 Berechnung der Potentiale

Durch das Erstellen der verschiedenen Filter lässt sich das Potential der erneuerbaren Energieträger mit Berücksichtigung verschiedener Konflikte und Einschränkungen berechnen. Mit Ausnahme der Kleinwasserkraftwerke sind bestehende, bis heute erstellte Anlagen, nicht berücksichtigt. Schon erstellte Anlagen müssten somit in die Errechnung eines Gesamtpotentials einbezogen werden, was vor allem bei Windkraftwerken relevant ist, da das Windkraftpotential im Gegensatz zu Solaranlagen

und Biomasse nicht nur auf Szenarien basierten Flächen berechnet wird, sondern auf allgemeinen Potentialflächen und somit gewisse Anlagen schon erstellt wurden.

Als Grundlage für die Berechnung des Windenergiepotentials diente die Karte mit den modellierten mittleren Windgeschwindigkeiten von METEOTEST auf 50m, 70m, 100m und 120m über Boden. Diese Karte wurde im Projekt von Segura et al. (2012) schon dahingehend verändert, dass nur noch Regionen mit einer Windgeschwindigkeit von grösser als 4,5 m/s dargestellt wurden. Dies ist die untere Grenze der Windstärke, in der sich Windkraftwerke noch wirtschaftlich betreiben lassen und somit auch genügend Energie gefördert wird (BFE, BUWAL, ARE, 2004). Abbildung 1 zeigt alle Gebiete, die eine Windgeschwindigkeit von über 4,5 m/s auf einer Höhe von 120m über Boden besitzen. Von diesen Karten mit den Windpotentialen lässt sich nun ein Filter mit Ausschlusskriterien nach dem anderen abziehen, so dass sich die mögliche Fläche zusehends verkleinert. Nach METEOTEST (2012) besitzt eine Windenergieanlage mit 100m Nabenhöhe einen durchschnittlichen Flächenbedarf von 230'000 m², eine Anlage mit einer Nabenhöhe von 120m einen von 360'000 m². Wie in der Beschreibung zur Windenergie gesehen, erzeugt eine grosse Anlage ein Vielfaches vom Strom kleiner Anlagen. So werden die Anlagen mit einer Nabenhöhe von 50m, 70m oder 100m für die Analyse nicht weiter berücksichtigt. Ob eine grössere Anlage einen höheren Ertrag besitzt, hängt auch von den lokalen Umständen ab. So weht beispielsweise der Wind in Tälern anders als auf Hügelkuppen. Die Berechnung der Energiepotentiale wird sich aber auf Anlagen mit 120m Nabenhöhe beschränken, da sie auch die grösstmögliche Potentialfläche besitzen.

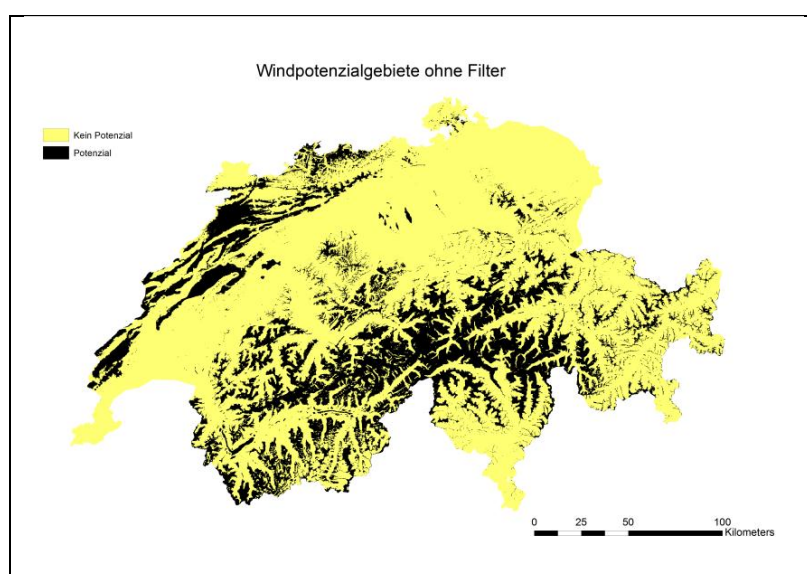


Abb. 1: Gebiete mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 4,5 m/s

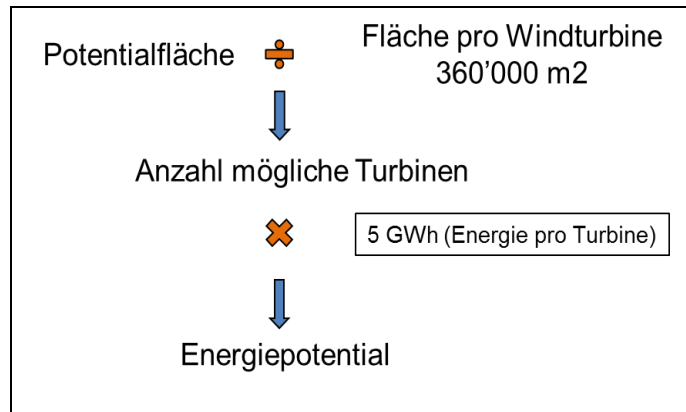


Abb. 2: Energiepotentialberechnung Windenergie

Abbildung 2 zeigt einen Überblick zur Energieberechnung pro Fläche. Der durchschnittliche Flächenbedarf berechnet sich aus den Faustregeln zu Abständen für Windkraftanlagen in Windparks, die bewirken, dass sich die Turbinen nicht gegenseitig abschatten. In Realität kann dieser Flächenbedarf auch klar kleiner oder grösser sein, je nach Position der Windkraftanlagen und der Hauptwindrichtung. Um die Anzahl möglicher Anlagen zu berechnen, wird nun die Fläche, die man nach Abzug der Filter erhält, durch die 360'000 m² geteilt. Aus der Anzahl Anlagen lässt sich nun der jährlicher Stromertrag errechnen. Nach den Akademien der Wissenschaften (2012a) produziert eine grosse Windkraftanlage etwa 5 GWh Strom pro Jahr. Dies lässt sich mit den Produktionszahlen der grössten Anlage der Schweiz, die schon seit einigen Jahren in Betrieb ist, belegen. Die Anlage in Martigny im Wallis erzeugt seit 2008 pro Jahr im Durchschnitt leicht mehr als 5 GWh Strom (Wind-Data, 2013). Als Basis für die Berechnung werden nun die 5 GWh Strom benutzt.

Zusätzlich zum Energiepotential wird auch die räumliche Verteilung der Potentialgebiete analysiert. Nach dem Konzept „Windenergie Schweiz“ (2004) sind Windkraftanlagen an geeigneten Standorten zu konzentrieren. Dazu wird für die Potentialflächen die „Patch density“ berechnet. „Patch density“ bezeichnet das Verhältnis des Perimeters zur Fläche eines Gebietes. Der Perimeter ist der Umfang um alle Potentialgebiete in der Schweiz. Ein grosses Gebiet besitzt im Normalfall einen kleineren Perimeter als viele kleine Gebiete mit der gleichen Fläche. Nimmt die „Patch density“ bei einer Änderung zu, ist das ein Indikator für eine grössere Fragmentierung der untersuchten Flächen (McGarigal & Marks, 1995). Nach dem Hinzufügen der einzelnen Filter wird nun bei jedem Schritt die „Patch density“ berechnet und untersucht, ob sich die Fragmentierung der Potentialflächen verändert. Dadurch lässt sich die Eignung der Gebiete für Windparks feststellen.

Für die Berechnung der Wasserkraftpotentiale wird mit der Karte „Kleinwasserkraftpotentiale der Schweizer Gewässer“ gearbeitet. Diese ist unterteilt in viele verschiedene Gewässerabschnitte von denen die Länge bekannt ist. Zusätzlich bekannt sind die gesamte Länge eines Gewässers, das theoretische Energiepotential dieses Gewässers und wie viel Energie bereits genutzt wird. Um die Potentiale der einzelnen Gewässerabschnitte zu berechnen wird angenommen, dass das gesamte Potential gleichmässig über die gesamte Länge eines Gewässers verteilt ist. Damit lässt sich das Verhältnis der Länge des Gewässerabschnittes zur Gesamtlänge des Gewässers berechnen. Mit diesem Verhältnis ergeben sich auch das theoretische Potential und die genutzte Energie pro Gewässerabschnitt. Wenn die genutzte Energie vom theoretischen Potential abgezogen wird, erhält man das ungenutzte Potential. Wird ein weiterer Filter hinzugefügt, verkürzen sich gewisse Gewässerabschnitte. Dadurch ergibt sich ein neues Verhältnis, mit dem sich die Potentiale erneut berechnen lassen. Dies passiert mit jedem Filter, der zusätzlich hinzugefügt wird. Dabei werden im Gegensatz zur Berechnung der Windenergie die Filter 1 „physikalische Ausschlusskriterien“, Filter 4 „bewohnte Gebiete“ und der Filter „Wald“ nicht berücksichtigt. Kleinwasserkraftwerke besitzen andere physikalische Kriterien als Windturbinen, deshalb entfällt der erste Filter. Weil Kleinwasserkraftwerke nicht den gleichen Lärm wie Windturbinen erzeugen, fällt auch der Filter mit den bewohnten Gebieten weg. Schliesslich überschneidet sich der Wald nicht mit Gewässer, weshalb auch dieser Filter weggelassen wird.

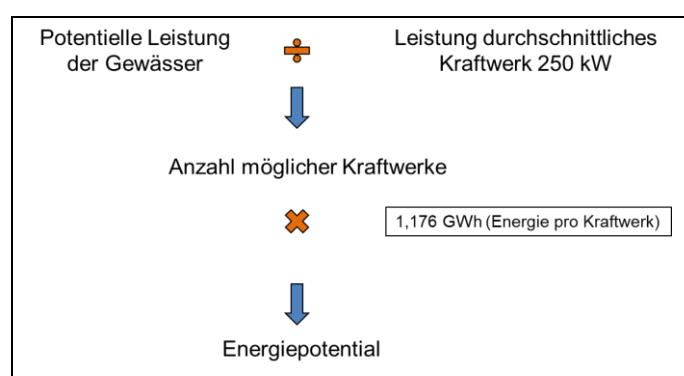


Abb. 3: Energiepotentialberechnung Kleinwasserkraft

Abbildung 3 zeigt schematisch wie das Energiepotential berechnet wurde. Die Akademie der Wissenschaften (2012a) rechnet mit einer durchschnittlichen Leistung von 250 kW pro Kleinwasserkraftwerk und einer jährlichen Stromerzeugung von 1.176 GWh pro Kraftwerk. Das ungenutzte Potential nach dem Hinzufügen der Filter mit den Ausschlusskriterien lässt sich nun durch diese 250 kW teilen um die Anzahl möglicher Kraftwerke zu ermitteln und dann mit den 1.176 GWh multiplizieren, um das jährliche

Energiepotential aus Kleinwasserkraftwerken in der Schweiz zu erhalten. Bei diesen Berechnungen muss man sich stets bewusst sein, dass rechnerische Werte hypothetisch sind, womit die Werte in der Realität möglicherweise davon abweichen.

Die Berechnung für Solarenergie und Biomassestrom auf nicht mehr genutzten Flächen erfolgt aufgrund der ermittelten Gebiete mit den drei verschiedenen zukünftigen Landnutzungsszenarien. Dies sind verbuschte Flächen für Solaranlagen und einwachsende Flächen für Biomasse. Weitere mögliche Potentialgebiete wie Flächen in Landwirtschaftsgebiet oder in Siedlungen werden nicht berücksichtigt da die Umsetzung in gewissen Gebieten sehr schwierig ist und Solaranlagen auf Dächern nicht direkt die Landschaft betreffen.

Für die Berechnung der Solarpotentiale wird die Globalstrahlung von METEOTEST (2012) als Grundlage verwendet. Sie zeigt an, wie viel Energie an einem bestimmten Ort auf den Boden trifft. Durch das Zusammenfügen mit den Potentialgebieten kann für jede Potentialfläche das mittlere Energiepotential berechnet werden. Wieder wurden einzeln die verschiedenen Filter hinzugefügt um das Potential unter verschiedenen Aspekten zu berechnen. Dabei wurden die Filter 4 „bewohnte Gebiete“ und der Filter „Wald“ nicht berücksichtigt, weil Solaranlagen keinen Lärm verursachen und es so keinen Abstand zu Gebäuden braucht und weil verbuschte Flächen nicht unter die Kategorie Wald fallen, wodurch auch dieser Filter entfällt. Nach Durchführung der Berechnung war bekannt, wie gross die gesamte Potentialfläche je nach Filter ist und wie viel Energie gesamthaft auf diese Flächen trifft.

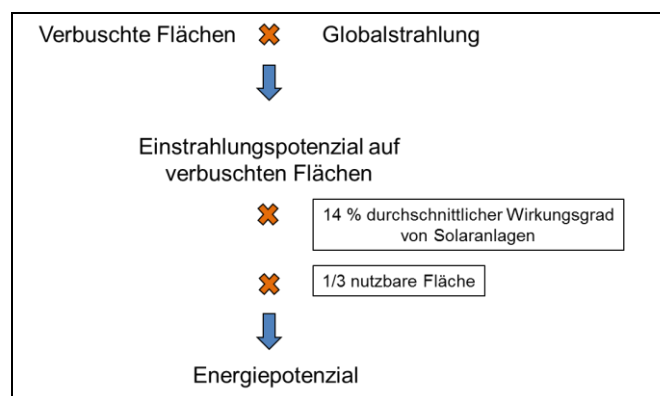


Abb. 4: Energiepotentialberechnung Solaranlagen

In Abbildung 4 wird die Berechnung anschaulich dargestellt. Nun können Solarzellen aber nicht die ganze auf die Erdoberfläche auftretende Energie in Strom umwandeln. Der durchschnittliche Wirkungsgrad von verschiedenen Solarzellentypen beträgt nur etwa 14%. Ebenso wenig kann die ganze Potentialfläche mit Solarzellen bestückt werden. Aufgrund möglicher Verluste wegen Schattenwurfs braucht es bestimmte

Abstände zwischen den Zellen. Die zudem benötigte Infrastruktur einer Solarfreiflächenanlage, wie Zufahrtswege oder Betriebsgebäude, beansprucht weitere Flächenanteile. Im Durchschnitt kann nur etwa ein Drittel der Potentialfläche mit Solarzellen bestückt werden. Diese Abminderungsfaktoren sind geschätzte Werte und unterscheiden sich je nach Standort, werden aber auch von der Akademie der Wissenschaften (2012a) benutzt. Mit den genannten Faktoren lässt sich nun das gesamte Potential für Solarenergie auf verbuschten Flächen berechnen.

Die Berechnung des Energiepotentials für verholzte Biomasse auf einwachsenden Flächen erfolgt ähnlich wie für die anderen Energieträger. Als Ausschlusskriterien für Biomassennutzung wurden aber nur die Filter 2, 3, 5 und „Kanton“ verwendet. Die anderen Filter wurden nicht berücksichtigt da für das Waldwachstum andere physikalische Beschränkungen bestehen als für eine Windturbine, der Abstand zu Gebäuden aus Lärmgründen keine Rolle spielt, Holznutzung in militärisch genutzten Gebieten keine Einschränkung für den Schiessbetrieb bedeutet und einwachsende Flächen noch nicht zur Kategorie Wald in der Arealstatistik gehören. Nach Hinzufügen der einzelnen Filter ergibt sich wieder eine Potentialfläche auf der sich das Energiepotential berechnen lässt.

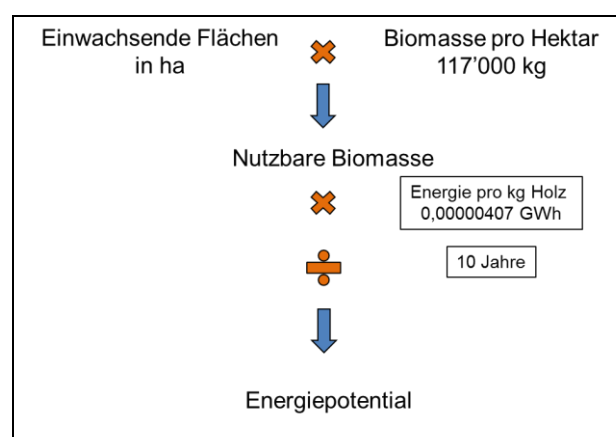


Abb. 5: Energiepotentialberechnung verholzte Biomasse

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht für die Berechnung des Potentials. Auf den Flächen, die zwischen 1996 und 2006 eingewachsen sind, stehen im Durchschnitt 117 Tonnen Holz pro Hektar. Dieser Wert beruht auf den Daten des „Schweizerischen Landesforstinventars“ (WSL, BAFU, 2010) und wurde durch Edgar Kaufmann berechnet. Die 117 Tonnen Holz dienen als Vergleichswert für den Biomasseanteil auf einwachsenden Flächen. Ein Kilogramm Holz mit 80% Trockensubstanz enthält 4.07 kWh Energie (Hersener & Meier, 1999). Mit diesen Werten lässt sich das

Energiepotential pro Jahr berechnen wenn man berücksichtigt, dass die 117 Tonnen über einen Zeitraum von 10 Jahren gewachsen sind.

Abschliessend wurde das gesamte Potential, unter Berücksichtigung aller Energietypen zusammen, berechnet. Dabei ist es möglich, dass eine Fläche Potentiale für mehrere Energiearten besitzt. Dies wurde ermittelt indem man die verschiedenen Karten der Energietypen miteinander addiert und schaut wo sich potenzielle Gebiete überlagern. Potentialgebiete für Kleinwasserkraftwerke sind davon nicht betroffen, da sie nicht mit den Energieträgern an Land konkurrieren. Auf jenen Flächen, die Potentiale für mehrere Energieträger besitzen, gilt die Regel, dass der Energieträger mit dem höchsten Ertrag pro beanspruchte Fläche vorrangig berücksichtigt wird. Dies bedeutet: Wind vor Solar vor Biomasse. Bei den einzelnen Potentialgebieten eines Energieträgers wurden somit all jene Flächen abgezogen, die gleichzeitig ein Potential für einen Energieträger mit höherem Ertrag pro Fläche besitzen. Durch addieren aller übriggebliebenen Potentiale liess sich in dieser Masterarbeit das Gesamtpotential der erneuerbaren Energien berechnen.

Um die Daten vergleichen zu können wurden die aktuellen Daten der schweizerischen Energiestatistik (BFE, 2012a) zu Hilfe genommen. Als Vergleichswert wurde berücksichtigt, wie gross der gesamte Strombedarf der Schweiz ist und wie viel Strom durch die Kernkraftwerke produziert wird. Auch wurde das Potential mit dem zukünftigen Stromverbrauch gemäss einer Studie der ETH Zürich (Andersson, Boulouchos, & Bretschger, 2011) verglichen. Gemäss dieser Studie beträgt der Strombedarf der Schweiz im Jahr 2050 voraussichtlich 79'000 GWh, unter Berücksichtigung eines mittleren Szenarios. Ebenfalls wurde untersucht, wie sich die Potentiale innerhalb der 26 Kantone oder den sechs biogeografischen Regionen verteilen.

2.3.4 Einfluss Klimawandel

Ein Grund für die Popularität von erneuerbaren Energien ist die Angst vor dem Klimawandel, dem man mit einer Reduktion des CO₂-Ausstosses begegnen möchte. Allerdings sind aber auch erneuerbare Energieträger stark vom Klima abhängig. So spielt es eine Rolle, wie oft die Sonne scheint oder wie stark der Wind weht. Eine Änderung dieser Faktoren kann bedeuten, dass die vorliegenden Potentialberechnungen zu hoch oder zu tief ausfallen. Deshalb wurde aufgrund einer Literaturanalyse untersucht, welchen Einfluss der Klimawandel auf die erneuerbaren Energieträger besitzt.

3. Ergebnisse

3.1 Kantonale Schutzgebiete

In der Schweiz sind 36,9% der Landesfläche kantonale Natur- oder Landschaftsschutzgebiete, dies entspricht einer Fläche von 15'222 km². Wie Abbildung 6 zeigt, sind diese Gebiete nicht gleichmässig über die ganze Schweiz verteilt. Gewisse Kantone wie Glarus, Zug, beide Basel, Appenzell Ausserrhoden, Graubünden und Aargau besitzen auf über 50% der Fläche kantonale Schutzgebiete. Der Spitzenreiter ist Appenzell Ausserrhoden wo 85,3% der Fläche als kantonale Schutzgebiete ausgewiesen sind. Im Gegensatz dazu sind im Jura oder Wallis weniger als zehn Prozent der Fläche kantonal geschützt. Im Wallis sind es sogar nur 1,6%. Die restlichen Kantone befinden sich zwischen diesen Werten. Die Unterschiede zwischen den Kantonen sind also beträchtlich. Ähnliches ist auch in den biogeografischen Regionen ablesbar: In den westlichen Zentralalpen ist der Anteil an geschützten Gebieten sehr tief, in den östlichen Zentralalpen dagegen sehr hoch. Dies erklärt sich wieder durch die Unterschiede zwischen Graubünden und Wallis. Über die restlichen biogeografischen Regionen sind die Schutzgebiete mehr oder weniger gleichmässig verteilt. Unterschiede sind auch in den Schutzgebieten zwischen einzelnen Kantonen erkennbar. So sind in den Kantonen Luzern und Waadt vereinzelt auch in Bern, Solothurn, Tessin oder Uri Flüsse oder Bäche geschützt. In anderen Kantonen sind sie nicht Teil der kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete. In Abbildung 6 sind alle kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete dargestellt.

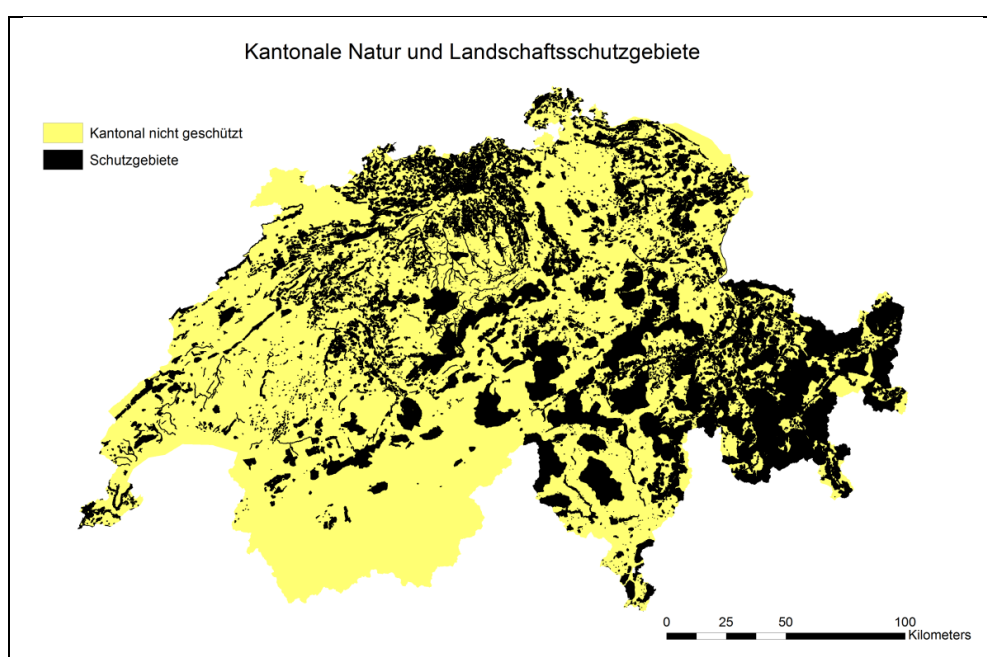


Abb. 6: Kantonale Natur und Landschaftsschutzgebiete

3.2 Potentiale

Wind: Ohne jeglichen Filter beträgt die Potentialfläche für Windturbinen mit einer Mindesthöhe von 120m (Windgeschwindigkeit mindestens 4,5 m/s) 10'320 km². Werden alle Filter mit Ausschlusskriterien berücksichtigt, ergibt sich eine Potentialfläche von 236.8 km². Dies entspricht etwa 2% der ursprünglichen Fläche. Wenn man die Potentialgebiete für kleinere Windturbinen betrachtet, sind diese vergleichsweise wesentlich kleiner, wie Tabelle 3 zeigt. Werden alle Filter berücksichtigt ist die Potentialfläche bei Windturbinen mit 50m Höhe weniger als halb so gross, als bei jenen mit 120m Höhe. Wenn man bedenkt, dass grosse Turbinen ein Vielfaches an Energie von kleinen Turbinen produzieren, ist es naheliegend, sich für die Potentialanalyse auf grosse Turbinen zu beschränken.

Turbinengrösse	Ohne Filter	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 4	Filter 5	Filter 6	Filter Kanton	Filter Wald
120m	10320.0	1943.9	1794.7	1286.5	597.7	468.1	460.0	351.3	236.8
100m	9285.7	1500.9	1380.1	959.5	487.0	367.7	360.5	276.8	184.1
70m	7860.8	1119.1	1036.5	697.2	392.2	281.7	275.9	212.6	144.5
50m	6495.6	768.8	712.6	460.0	293.5	191.7	187.1	146.7	112.4

Tab. 3: Potentialfläche für Windkraftwerke für verschiedene Turbinenklassen in km²

Ohne jeglichen Restriktionen, nur mit Betrachtung der Windgeschwindigkeit, beträgt das theoretische Potential für Windenergie auf 120m Höhe 143'333,6 GWh. Dieser Wert ergibt sich aus der Anzahl erstellbarer Windkraftanlagen auf der Potentialfläche, multipliziert mit 5 GWh jährlichem Ertrag pro Turbine. Bereits durch die Berücksichtigung von "physikalischen Kriterien" wie Gebiete mit instabilem Baugrund oder einer Steigung von über 20 Grad verringert sich das Potential auf 26'998,6 GWh, bei Einbezug aller Filter in die Berechnung, beträgt das Potential noch 3'288,3 GWh. Dies ist nur noch etwa 2% des Potentials ohne Filter!

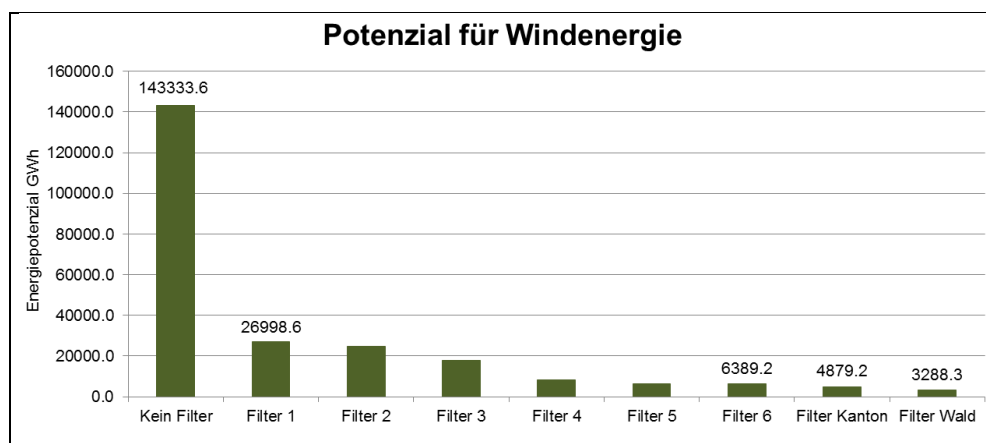


Abb. 7: Potential für Windenergie in der Schweiz mit 120m hohen Turbinen

Ergebnisse

Abbildung 7 zeigt wie die Grösse der Potentiale, je nachdem welche Filter mit Ausschlusskriterien hinzugefügt werden sich ändern und auf den beiden Abbildungen 8 und 9 ist der Unterschied zwischen keinem und allen Filtern gut erkennbar. Würden die Filter „Wald“ und „Kanton“ nicht hinzugefügt, wäre das Potential schon fast doppelt so gross. 2011 betrug der gesamte Stromverbrauch der Schweiz 63'002 GWh wovon 25'560 GWh mit Kernkraftwerken produziert wurde (BFE, 2012a). Unter Berücksichtigung aller Filter könnten 5,2% des heutigen Strombedarfs mit Schweizer Windenergie gedeckt oder 12,9% des Stroms aus Kernkraftwerken ersetzt werden. Die Studie Energiezukunft Schweiz der ETH Zürich sagt in einem mittleren Szenario einen Schweizerischen Stromverbrauch von 79'000 GWh im Jahr 2050 voraus (Andersson, Boulouchos, & Bretschger, 2011). Durch die Windkraft könnten 4,2% davon gedeckt werden. Verschiedene Studien zeigen ähnliche Resultate für ihre Potentialabschätzungen. So berechnete METEOTEST (2012) ein zukünftiges Windpotential zwischen 1'700 und 4'500 GWh und die Akademie der Wissenschaften (2012a) eines zwischen 1000 bis 4'000 GWh. Die Zahlen der Berechnung der vorliegenden Arbeit bewegen sich somit im gleichen Rahmen wie die Zahlen ähnlicher Berechnungen.

Räumlich sind die theoretischen Windpotentialgebiete nicht gleichmässig über die Schweiz verteilt, wie Abbildung 8 zeigt. Die Potentiale liegen vor allem im Jura und in den Alpen. Die grössten Potentiale ohne jeglichen Filter mit Ausschlusskriterien besitzen die Kantone Wallis, Graubünden und Bern, die alle etwa 20% des gesamten Windpotentials besitzen. Diese Kantone sind auch flächenmässig am grössten und sie liegen in Gebieten mit viel Wind, Graubünden und Wallis in den Alpen, Bern sowohl in den Alpen, als auch im Jura. Nach dem Hinzufügen aller Filter ergibt sich ein verändertes Bild: Das grösste Potential besitzt nun der Kanton Waadt mit über 20% des gesamten Potentials. Ohne Ausschlusskriterien waren es nur etwa 7%! Das Potential in Wallis und Graubünden wurde kleiner, wobei es vor allem im Kanton Graubünden stark abnahm. Dies liegt daran, dass viele Filter wie „Erreichbarkeit“ oder „physikalische Restriktionen“ in den Alpen stärker zum Tragen kommen als im Mittelland und Jura und weil Graubünden einen sehr hohen Anteil an kantonalen Schutzgebieten besitzt. Der Kanton Bern hat weiterhin ein sehr hohes Potential, weil Teile des Kantons im Jura liegen und diese Gebiete nicht den gleichen Restriktionen wie Gebiete in den Alpen ausgesetzt sind und der Schutz nicht so ausgeprägt ist, wie im Kanton Graubünden. Grosse Änderungen gibt es bei den Kantonen Jura und Neuenburg. Ohne Ausschlusskriterien besaßen beide nur etwa 3% des gesamten Potentials, unter Berücksichtigung aller Filter sind es nun über 12%. Gleiches zeigt sich auch in den

grösseren biogeografischen Regionen: Nur im Jura und im Mittelland ist das Potential unter Berücksichtigung aller Filter verhältnismässig grösser, als ohne Filter. In allen anderen Regionen nimmt das Potential auch verhältnismässig ab. Die Vorteile des Juras liegen in der hohen Windgeschwindigkeit, den weniger steilen Gebieten als in den Alpen und, davon abhängig, der guten Erreichbarkeit. Zusätzlich besitzen die Jurakantone einen eher tiefen Anteil an kantonal geschützten Gebieten im Vergleich zu anderen Kantonen.

Über die gesamte Schweiz gesehen erhöht sich die „Patch density“ der Potentialflächen. Ohne Filter beträgt sie 0,003 mit allen Filtern 0,018, also ein sechsmal höherer Wert. Die Fragmentierung der Potentialgebiete vergrössert sich also, je mehr Ausschlusskriterien berücksichtigt werden.

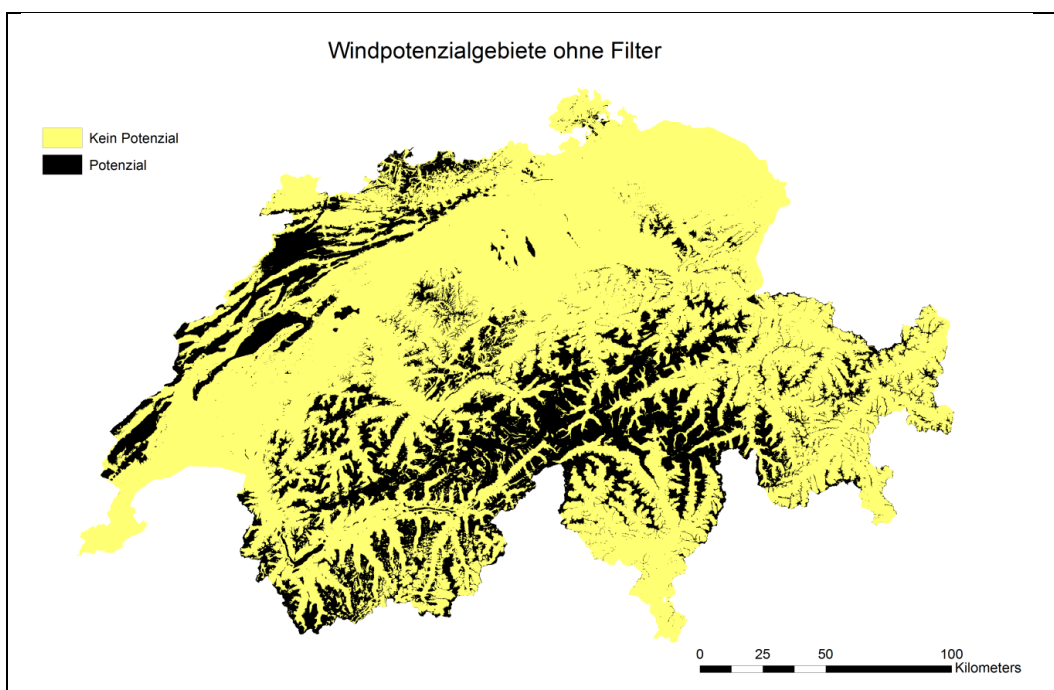


Abb. 8: Alle Windpotentialgebiete ohne Filter

Ergebnisse

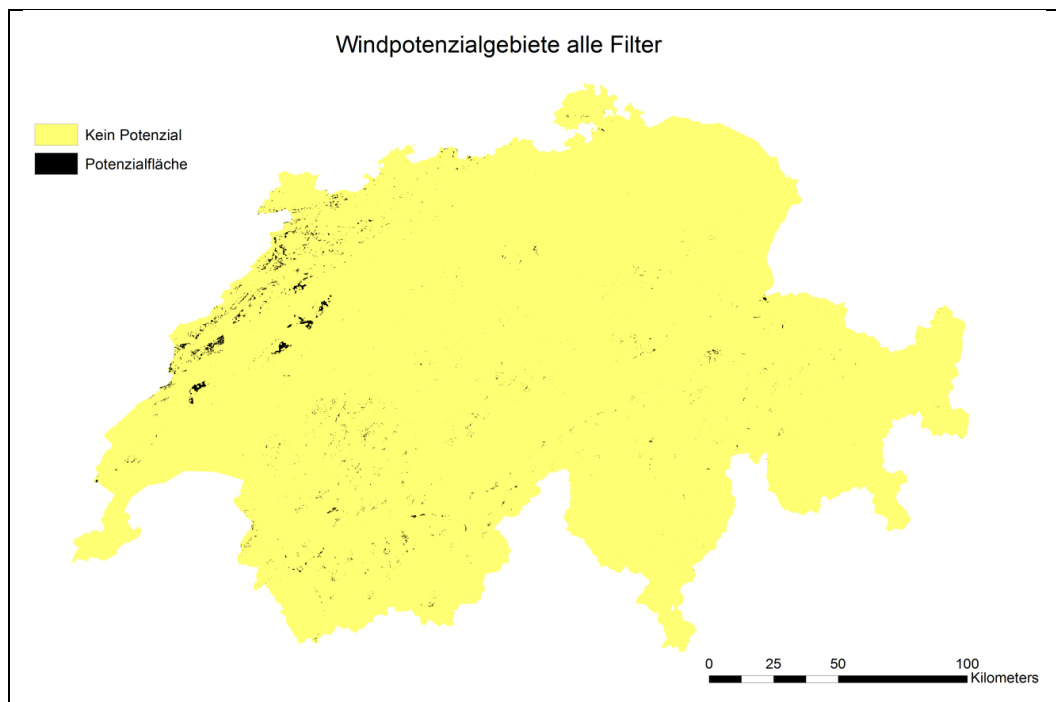


Abb. 9: Windpotenzialgebiete mit allen Filtern

Kleinwasserkraft: Das theoretische Potential für Kleinwasserkraftwerke in allen Gewässerabschnitten der Schweiz beträgt ohne Filter mit Ausschlusskriterien ungefähr 11'136,8 MW wovon 4'626,5 MW schon genutzt werden. Das ungenutzte Potential liegt somit bei 6'510,3 MW. Mit der Berechnung, dass ein durchschnittliches Kraftwerk eine Leistung von 250 kW besitzt, ergibt dies 26'041 Kraftwerke mit einer Stromproduktion von 30'624,6 GWh. Werden alle Filter hinzugefügt beträgt das ungenutzte Potential noch 1'938,1 MW. Dies entspricht einer Anzahl von 7'752 Kraftwerken mit einer Stromproduktion von 9'116,7 GWh wie Abbildung 10 zeigt. Das sind immer noch fast 30% des Potentials ohne Ausschlusskriterien. Dieser Prozentsatz ist wesentlich grösser als bei der Windkraft, wo mit allen Filtern nur noch 2% des ursprünglichen Potentials möglich sind! Der Unterschied liegt wohl darin, dass das Kleinwasserkraftpotential gleichmässiger über die ganze Schweiz verteilt ist und dass weniger Filter einbezogen wurden als bei der Windkraft.

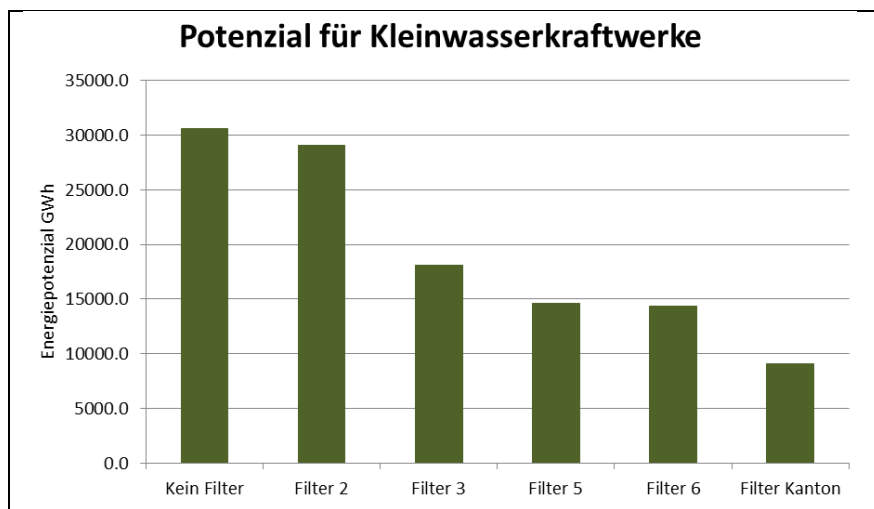


Abb. 10: Energiepotential für Kleinwasserkraftwerke

Die Berechnung des Wasserkraftpotentials besitzt aber mehrere Einschränkungen: So beinhaltet die Grundlagenkarte auch grosse Flüsse wie die Rhone oder den Rhein oder teilweise gar Seeachsen. Diese Gewässer besitzen aber nur ein kleines Potential für Kleinwasserkraftwerke da sie zu gross sind oder zu wenig Strömung aufweisen. Auch ist das Potential nicht gleichmässig über die Gewässerabschnitte verteilt, wie für die Berechnung angenommen wurde. Das Potential für Kleinwasserkraftwerke wird mit dieser Analyse somit eher überschätzt.

Trotzdem lassen sich diese Werte wieder mit dem aktuellen Stromverbrauch vergleichen. Durch Kleinwasserkraftwerke lassen sich 14,5% des aktuellen Stromverbrauchs decken, dies entspricht 35,7% der aktuellen Produktion der vier Kernkraftwerke. Auch 2050 liesse sich mit Kleinwasserkraft 11,5% des Stroms produzieren wenn man als Grundlage das Szenario der Studie der ETH Zürich nimmt (Andersson, Boulouchos, & Bretschger, 2011). Das grösste Potential für Kleinwasserkraftwerke liegt in den Gebirgskantonen. Dabei gibt es natürlich wieder Unterschiede, je nachdem, welcher Anteil der Fläche eines Kantons geschützt ist. Klar erkennbar ist wieder der Unterschied zwischen Graubünden und dem Wallis: Ohne Filter besitzt Graubünden das grösste Potential, mit Filtern das Wallis. Auf den Abbildungen 11 und 12 sind diese Unterschiede gut zu erkennen. Auch in den biogeografischen Regionen ist dieser Trend erkenntlich. Das grösste Potential besitzt hier die Alpennordflanke. Das kleinste Potential liegt im Jura und in den östlichen Zentralalpen, hier vor allem wegen dem hohen Anteil an Schutzgebieten des Kantons Graubünden. Das Mittelland besitzt entsprechend seiner Grösse auch ein eher tiefes Potential für Kleinwasserkraftwerke.

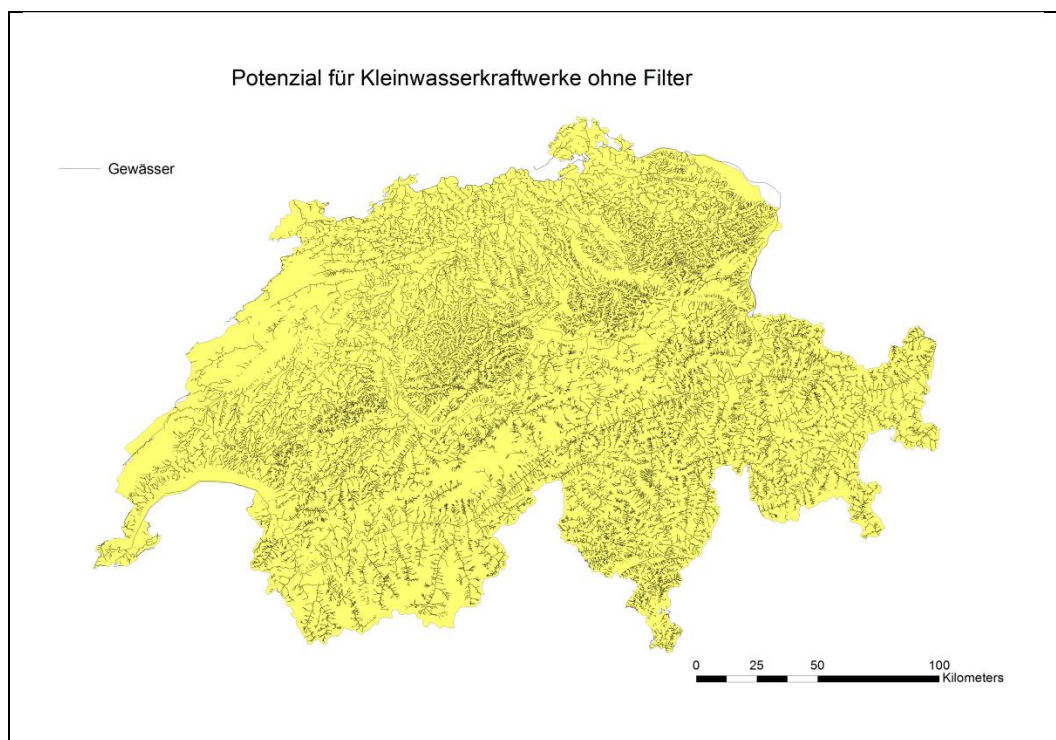


Abb. 11: Alle Gewässer mit Potential für Kleinwasserkraftwerke ohne Filter

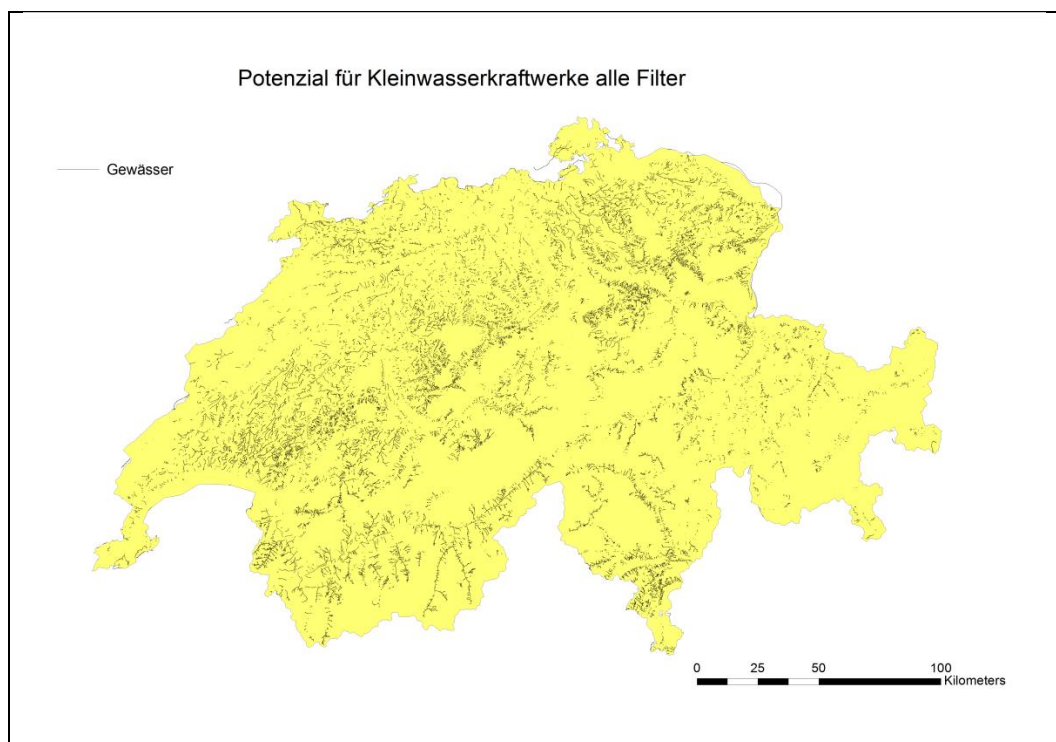


Abb. 12: Alle Gewässer mit Potential für Kleinwasserkraftwerke mit allen Filtern

3.3 Potentiale mit zukünftiger Landnutzung

Solaranlagen auf verbuschten Flächen: In die Berechnung, welche Energie mit Solaranlagen produziert werden kann, wurden nur verbuschte Flächen einbezogen. Für extensiv genutzte Wiesen wurde nur die Fläche ermittelt und nicht das Energiepotential, da diese Flächen nur eine mässig gute Eignung für Solaranlagen besitzen. Die verbuschten Gebiete bedecken, unter Berücksichtigung aller drei Landnutzungsszenarien, eine Fläche von 897,1 km². Durch die Addition aller Ausschlusskriterien reduziert sich die Fläche auf 218,9 km² dies entspricht 24,4% der ursprünglichen Fläche. Durch Energieproduktion auf allen verbuschten Flächen liesse sich 44'964,1 GWh Strom produzieren, dies entspricht dem theoretischen Potential ohne der Anwendung der Filter mit Ausschlusskriterien. Berücksichtigt man alle Filter beträgt die mögliche Produktion 11'141,6 GWh. Die Abnahme pro Filter ist auf Abbildung 13 ersichtlich. Einzelne dieser Flächen besitzen auch ein Potential für Windenergie. Da Windenergieanlagen einen höheren Energieoutput pro Fläche besitzen als Solaranlagen, kann man Windenergie bevorzugen. Ohne diese Flächen, die potentiell für Windenergie genutzt werden, beträgt das Solarpotential mit allen Filtern 10'970,7 GWh.

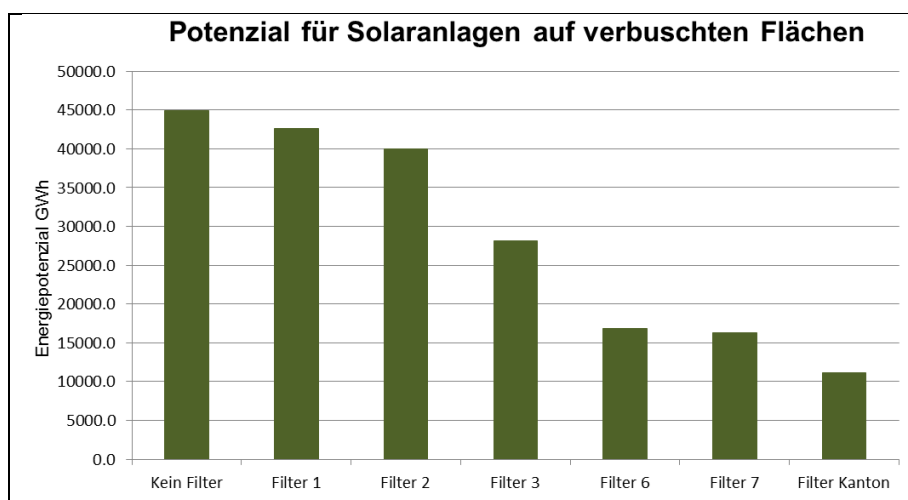


Abb. 13: Energiepotential für Solaranlagen auf verbuschten Flächen

Dazu kommen 4'515,9 km² extensiv genutzte Wiesen, die sich unter Einbezug aller Filter auf 1'424,4 km² reduzieren und eine mässig gute Eignung für Solarfreiflächenanlagen besitzen. Diese Fläche, die für die Stromproduktion zur Verfügung stehen würde, ist ähnlich gross wie der Kanton Luzern. Wegen des grossen Konfliktpotentials werden diese Flächen aber nicht weiter berücksichtigt.

Auch bei Solaranlagen ist der Unterschied zwischen der Fläche des theoretischen Potentials und dem Potential mit Berücksichtigung aller Filter nicht so gross wie bei Windkraftanlagen. Dies kann wieder daran liegen, dass nicht alle Filter für die Berechnung benutzt wurden und bewaldete Gebiete keine Relevanz besitzen. Mit

Ergebnisse

Solaranlagen auf potenziell verbuschten Flächen liessen sich 17,4% des Schweizer Stromverbrauchs produzieren oder, anders ausgedrückt, 42,9% der Kernkraftwerke liessen sich durch Solarstrom ersetzen. Auch bei einem geschätztem totalen Stromverbrauch von 79'000 GWh im Jahre 2050 liessen sich rechnerisch 13,9% mittels Solarstrom auf verbushtem Land produzieren. Auf Abbildung 14 und 15 ist die Verteilung der verbuschten Flächen ersichtlich. Sie finden sich fast ausschliesslich in den Alpen, am Rande der möglichen Waldflächen. Etwa 99% der Flächen finden sich in den vier alpinen biogeografischen Regionen. Dabei gibt es keinen wirklichen Unterschied, ob man die Filter anwendet oder nicht. Bei der Verteilung auf einzelne Kantone verhält es sich ähnlich, wie bei den anderen Energieträgern. So zeigt sich zum Beispiel beim Kanton Graubünden eine Abnahme am Gesamtbeitrag je mehr Filter man für die Analyse verwendet. Dabei ist zu beachten, dass alpine Gebiete eher abgelegen sind, dafür aber in der Regel eine höhere Einstrahlung aufweisen, als besser erreichbare Gebiete im Mittelland oder Jura, was für Solaranlagen positiv ist.

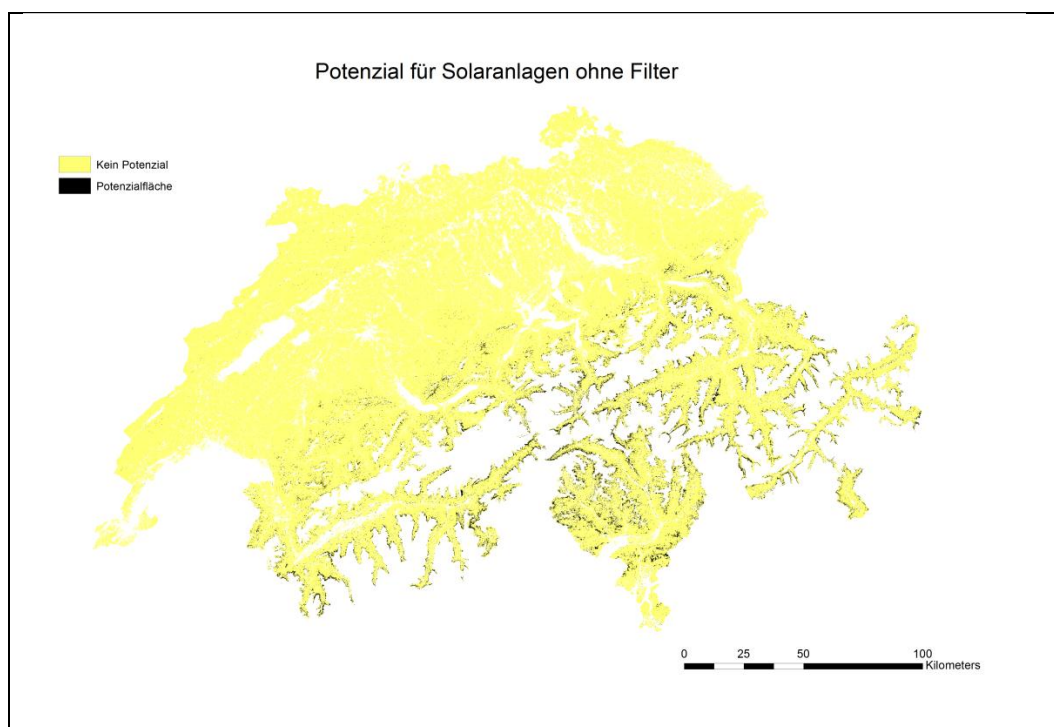


Abb. 14: Alle verbuschte Flächen aufgrund der drei Landnutzungsszenarien ohne Filter

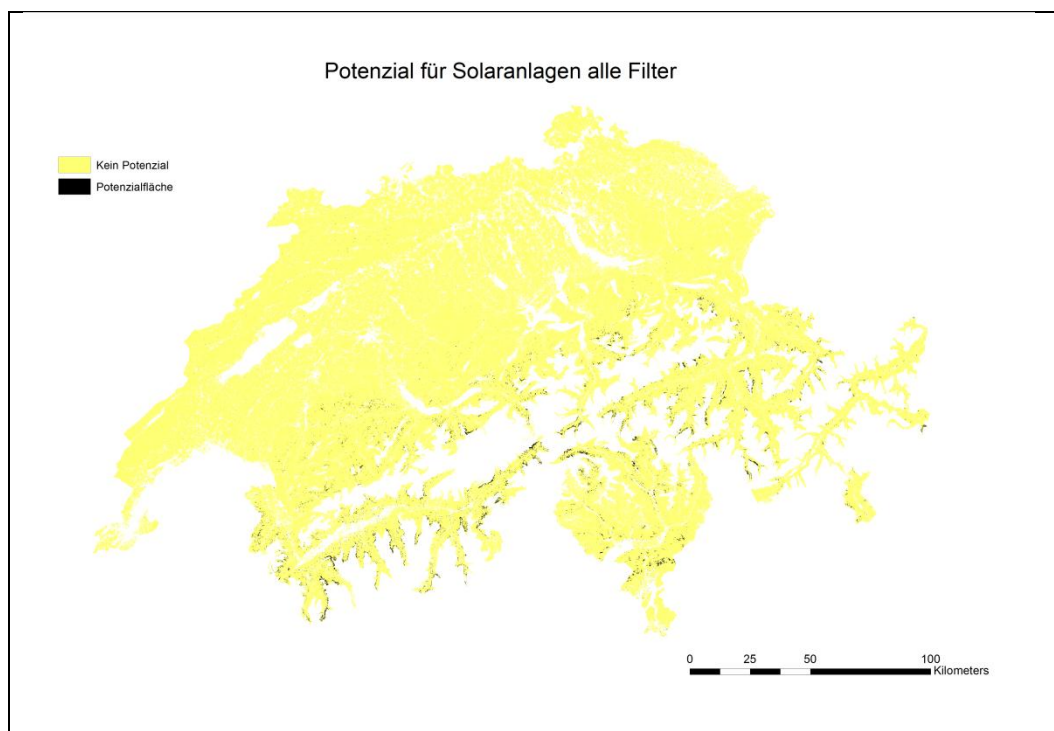


Abb. 15: Potentialflächen für Solaranlagen mit allen Filtern

Biomasse auf einwachsenden Flächen: Das Potential für Energie aus verholzter Biomasse auf einwachsenden Flächen ist im Vergleich zu den anderen Energietypen klein. Die Fläche, die bei allen drei Szenarien zusammen einwächst, beträgt 38,4 km². Durch das Hinzufügen der Filter mit Ausschlusskriterien verringert sich diese Fläche auf 17,7 km². Dies ist fast die Hälfte der ursprünglichen Fläche und bedeutet die geringste Abnahme aller bisher untersuchten Energieträger. Ohne Ausschlusskriterien lässt sich auf diesen Flächen Holz mit dem Gegenwert von 182,8 GWh ernten, mit allen Filtern 84,3 GWh wie Abbildung 16 zeigt.

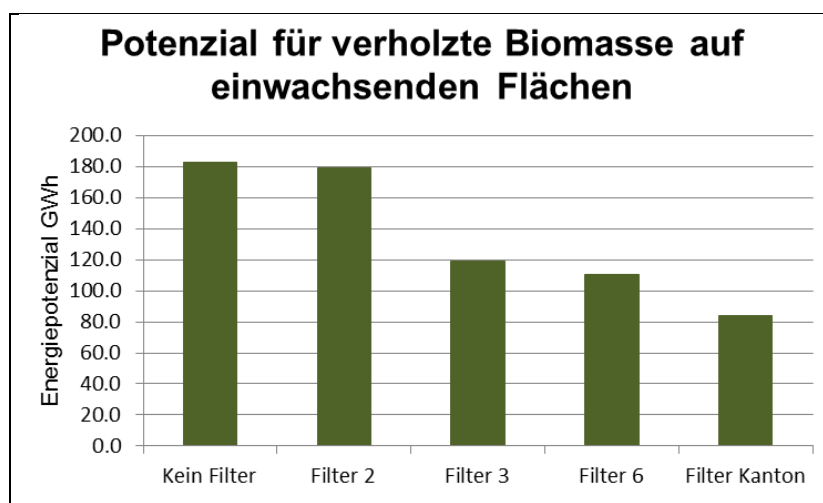


Abb. 16: Energiepotential für verholzte Biomasse auf einwachsenden Flächen

Ergebnisse

Berücksichtigt man auch andere Energieträger, die auf diesen Flächen Potentiale besitzen, beträgt das resultierende Potential mit allen Filtern noch 33,6 GWh. Die 84,3 GWh entsprechen 0,13% des heutigen Stromverbrauches oder 0,3% der heutigen Produktion der Kernkraftwerke. Vom geschätzten Verbrauch 2050 könnten 0,11% mittels verholzter Biomasse gedeckt werden.

Auf Abbildung 17 und 18 ist zu erkennen, dass sich diese Flächen vor allem in den Alpen befinden, mit Schwerpunkten in den Kantonen Wallis, Graubünden und Tessin. Wobei Graubünden mit der Berücksichtigung der Filter an Wichtigkeit abnimmt und sich 66,6% aller Flächen im Wallis befinden. Dies widerspiegelt sich auch in den biogeografischen Regionen, wobei erstaunlich ist, dass es im Mittelland keine einzige Hektare einwachsenden Waldes nach diesen Kriterien geben wird. Zu beachten gilt, dass keine Pflanzungen vorgenommen werden und die Flächen auch noch sehr jung sind und der Biomasseanteil daher tief. Mit Pflanzungen und einem grösserem Zeitraum könnte sich dieses Potential noch klar vergrössern.

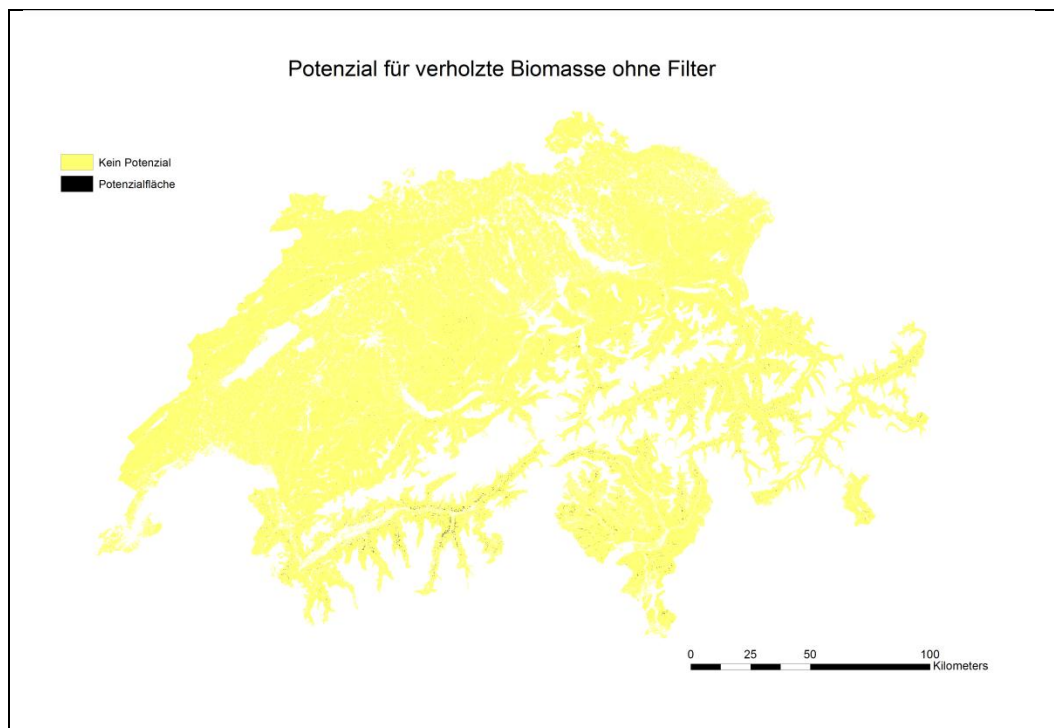


Abb. 17: Alle einwachsenden Flächen aufgrund der drei Landnutzungsszenarien ohne Filter

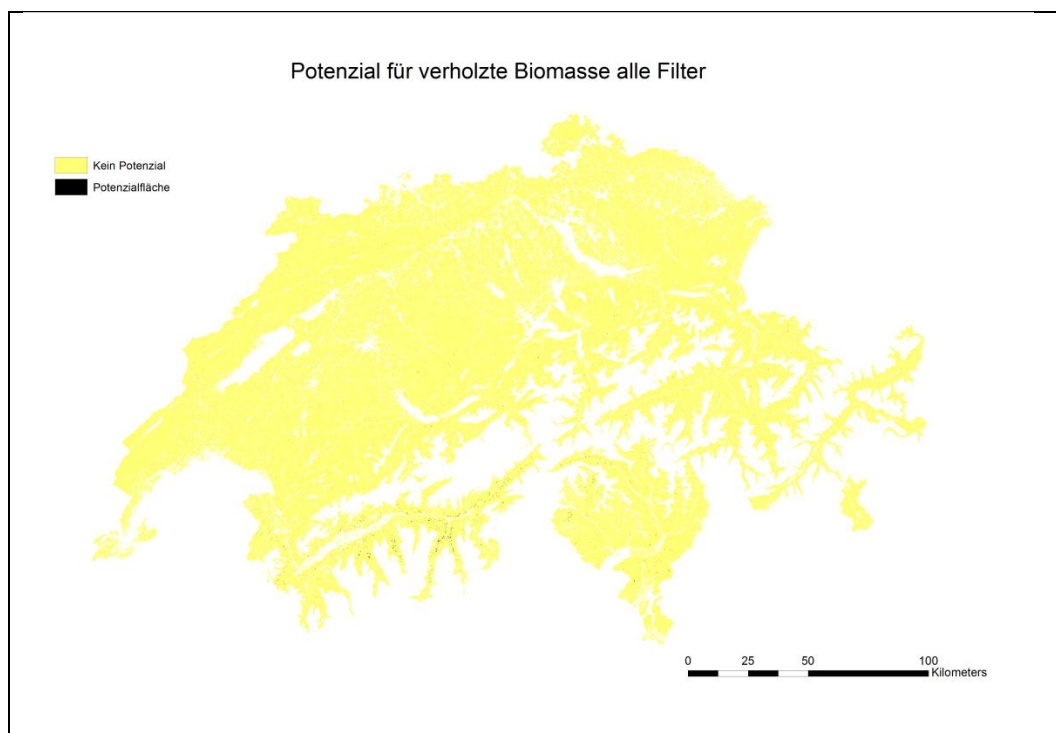


Abb. 18: Potentialfläche für verholzte Biomasse mit allen Filtern

Gemeinsame Betrachtung: Das kombinierte Potential aus allen vier Energieträgern (Wind, Wasser, Sonne, Biomasse) zusammen beträgt 23'409,4 GWh. Dies sind 37,2% des Stromverbrauchs 2011. Das bedeutet, dass sich mit allen vier Energieträgern zusammen die heutigen Kernkraftwerke beinahe ersetzen lassen. 91,6% des von Kernkraftwerken produzierten Stroms könnten mit diesen Energietypen ersetzt werden. Auch bei einem erhöhten Strombedarf im Jahr 2050 aufgrund der Studie der ETH Zürich (2011), könnten immer noch 29,6% gedeckt werden.

Das Ziel des Bundesrates in der Energiestrategie 2050 ist es, bis 2050 die erneuerbaren Energien auf 22'600 GWh auszubauen (Bundesrat, 2012). Wenn die Potentiale der vier untersuchten Energieträger unter Berücksichtigung aller Filter mit Ausschlusskriterien voll ausgebaut würden, könnte das Ausbauziel des Bundesrates schon erreicht werden.

3.4 Einfluss des Klimawandels

Der Klimawandel kann die Bewirtschaftung der erneuerbaren Energieträger verändern. Die natürlichen Grundlagen dieser Energieträger, wie Verfügbarkeit von Wind, Wasser oder Sonne, können durch den Wandel zu- oder abnehmen. Für die Windenergie wurde diese Problematik in einem Zeitungsartikel in der Wissenschaftsbeilage der NZZ behandelt, worin es darum ging, einen Überblick über die verschiedenen Forschungsergebnisse und deren Einfluss auf die Windenergienutzung zu geben (Bolliger R. , 2010). Die NZZ fasst zusammen, dass es grundsätzlich mehrere Studien gibt, die zum Schluss kommen, dass die mittleren Windgeschwindigkeiten abnehmen und Extremereignisse eher häufiger auftreten werden. Es gibt aber auch Studien, die keine Änderung der Verhältnisse voraussagen. Oft betreffen die Studien Nordeuropa, Grossbritannien oder Deutschland. Für die Schweiz gibt es keine expliziten Resultate. Auf die Planung von Windanlagen hätten diese Resultate allerdings keinen Einfluss. Windanlagen werden auch weiterhin auf lokalen Begebenheiten aufbauen, wie zum Beispiel Windmessungen über einen gewissen Zeitraum. Es gilt auch zu beachten, dass sich die Klimaänderung in einem grösseren Zeitraum abspielt, als die Lebensdauer einer Windturbine beträgt. Allenfalls könnten in Zukunft für böige Verhältnisse robustere Anlagen, wie sie heute schon in Andermatt stehen, relevanter werden (Bolliger R. , 2010). Eine für die Schweiz erstellte Studie erkennt keine klaren Änderungen in den mittleren Windgeschwindigkeiten. Es könnte jedoch zur Zunahme von Extremereignissen kommen (OcCC / ProClim-, 2007). Beide Berichte zielen in die gleiche Richtung: Eine allgemeine Änderung des Windenergiepotentials aufgrund der Klimaänderung kann nicht festgestellt werden. Somit treffen auch unter Berücksichtigung des Klimawandels die in der vorliegenden Studie berechneten Potentiale zu.

Für die Wasserkraftnutzung spielt der Niederschlag eine grosse Rolle. So wird davon ausgegangen, dass der Niederschlag im Winter und Frühling eher zu- und im Sommer und Herbst eher abnehmen wird (OcCC / ProClim-, 2007). Es wird davon ausgegangen, dass die veränderten Niederschläge kurzfristig keinen Einfluss auf die Wasserkraftproduktion besitzen, jedoch langfristig eher zu einer leichten Abnahme führen. An die Verschiebung der Niederschläge vom Sommer auf den Winter wird sich die Stromproduktion anpassen. Sie führt zu einer erhöhten Produktion im Winter und einer kleineren Produktion im Sommer (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012b). Zudem könnte sich das Potential kurzfristig erhöhen, da die Gletscher durch erhöhte Temperaturen schneller abschmelzen und so mehr Wasser zur Verfügung stehen würde. Doch ist dies nur eine vorübergehende Entwicklung, die kaum längerfristig anhalten wird (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a).

Der Bericht „Klimaänderung und die Schweiz (2007)“ geht von einer Abnahme des Wasserkraftpotentials aus, wobei kein Zeithorizont erwähnt wird. Hier sind auch weitere indirekte Faktoren, die durch den Klimawandel die Wasserkraft beeinflussen, aufgeführt. So können beispielsweise vermehrte Hochwasser und Hanginstabilitäten die Wasserkraftinfrastrukturen gefährden oder der Wasserkraftnutzung entsteht durch vermehrte Wasserknappheit im Sommer zunehmend Konkurrenz durch die Landwirtschaft, die einen erhöhten Bedarf an Wasser für die Bewässerung hat. Zusammenfassend lässt sich annehmen, dass sich aufgrund des Klimawandels das Potential bis 2050 wohl nicht gross verändern wird und die Potentialberechnung für Kleinwasserkraftwerke mit den vorliegenden Berechnungen richtig analysiert werden kann. In weiterer Zukunft, gegen das Ende des Jahrhunderts hin, wird sich voraussichtlich das Wasserkraftpotential eher verringern.

Entsprechend dem Bericht „Klimaänderung und die Schweiz (2007)“ wird die solare Einstrahlung aufgrund der Klimaänderung leicht zunehmen, wobei keine konkreten Grössenordnungen genannt werden. Eine weitere Untersuchung hat weltweit den Einfluss des Klimawandels auf Photovoltaik und Solarthermische Elektrizität untersucht. Dabei wurde für Europa eine leichte Zunahme von wenigen Prozenten für das Photovoltaikpotential festgestellt, wie Abbildung 19 zeigt. Für solarthermische Elektrizität beträgt die Zunahme in Europa sogar 10%. Durch die verglichen zu Südeuropa oder Nordafrika tiefe Gesamteinstrahlung in Mitteleuropa werden aber Photovoltaiksysteme immer noch die grössere Effizienz als Solarthermie aufweisen (Crook, Jones, Forster, & Crook, 2011). Gesamthaft wird sich der Klimawandel positiv auf die Solarenergie auswirken. Unter Berücksichtigung des Klimawandels müssten die berechneten Energiepotentiale tendenziell erhöht werden. Dabei ist aber nicht klar absehbar, in welchem Zeitrahmen diese Änderungen auftreten.

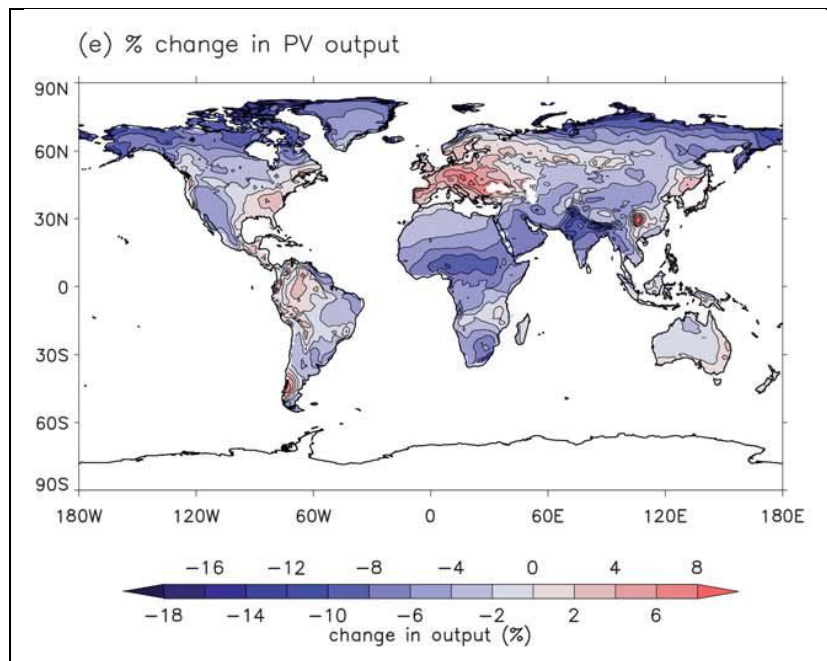


Abb. 19: Änderung des Ertrags aus Photovoltaik aufgrund des Klimawandels nach Crook et al. (2011)

In Bezug auf die Biomasse werden Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels relativ kompliziert, da die Energie aus Biomasse nicht direkt vom Klimawandel abhängt, sondern indirekt vom Einfluss des Klimawandels auf das Baumwachstum und auf die Verbreitung der Arten. Im Allgemeinen ist der Einfluss des Klimawandels auf verholzte Biomasse positiv. Die Waldflächen dehnen sich aus und es ist mehr Holz zur Nutzung verfügbar. Vermehrt auftretende Extremereignisse besitzen jedoch einen negativen Einfluss auf das Waldökosystem. Zum Beispiel können hohe Temperaturen zusammen mit einem tiefen Niederschlag zu einer verringerten Produktivität des Waldes führen. Die Verfügbarkeit von Wasser wird aufgrund von höheren Temperaturen in Zukunft wichtiger (OcCC / ProClim-, 2007). Limitierend für die Produktion von Elektrizität aus Biomasse könnten auch weitere Faktoren sein. Durch den Klimawandel steigt die Möglichkeit für Stürme leicht an. Der dadurch bedingte Windwurf kann das Potential für die Biomasseproduktion beeinträchtigen. Längere Trockenperioden können nicht nur zu einer tieferen Produktivität führen, sondern auch die Möglichkeit für Waldbrände erhöhen (Fuhrer, et al., 2006). Waldbrände wiederum verringern das Potential an Biomasse. Gesamthaft wird das Potential der Biomasse eher grösser sein als in der vorliegenden Berechnung. Doch wird es aufgrund des lokalen Klimas grosse regionale Unterschiede geben.

Der Einfluss des Klimawandels ist bei den verschiedenen Energieträgern unterschiedlich. Für Biomasse und Solar nimmt das Potential eher zu, für Wasser gibt es zuerst keine Änderung und später eine Abnahme und für Wind ist der Einfluss unbekannt. Doch sind diese Veränderungen nicht sehr gross. Die

Potentialberechnungen würden sich aufgrund des Klimawandels nur unbedeutend ändern. Deshalb kann man den Klimawandel bei der Potentialberechnung bis 2050 vernachlässigen. Für die fernere Zukunft könnten dann der Einfluss und die Relevanz des Klimawandels zunehmen.

4. Diskussion

Das Potential für erneuerbare Energie in der Schweiz ist beträchtlich. So könnte mit den vier untersuchten Energietypen das vom Bundesrat geplante Ausbauziel schon erreicht werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass es sich bei den einzelnen Energiepotentialen nur um modell-basierte Berechnungen handelt und die Potentiale in der Realität höher oder tiefer ausfallen können. Darüber hinaus ist die ganze Thematik ein äusserst politischer Gegenstand, der sich momentan im steten Wandel befindet. National oder kantonale sind bisher keine klaren Regeln definiert, worauf beim Bau von erneuerbaren Energieträgern zu achten ist und welche Gebiete als Ausschlussgebiete gelten. Durch klare Regelungen könnten die Konflikte minimiert werden, da von vornherein bekannt wäre, was wo erstellt werden kann. Durch die Berechnung der Potentiale unter Einbezug verschiedener Filter mit Ausschlusskriterien wird versucht, dieser möglichen Entwicklung Rechnung zu tragen. So kann je nach Entwicklung bezeichnet werden, welche Gebiete als Ausschlussgebiet für erneuerbare Energien gelten oder welche Filter zu- und weggeschaltet werden, wobei die Potentialberechnung stets angepasst wird.

Die Erstellung der Filter und die Berechnung sind sehr nahe am Vorgehen von METEOTEST (2012) und Segura et al. (2012) angelehnt. Die vorliegende Studie unterscheidet sich von den zitierten Studien durch die Nichtberücksichtigung des „IVS Inventars“ (Inventar der historischen Verkehrswege der Schweiz) bei Filter 2 und 3 sowie durch das Hinzufügen eines Filter mit militärisch genutzten Gebieten und eines Filters mit den Kantonalen Schutzgebieten. „IVS Inventare“ wurden nicht berücksichtigt, da sie durch ihre kleine räumliche Ausdehnung durch erneuerbare Energien nicht gefährdet sind. Die militärisch genutzten Gebiete wurden dazu genommen, weil sie ein erhebliches Konfliktpotential besitzen. So könnte ein Schiessplatz nicht mehr gleich genutzt werden, wenn eine Windturbine im Weg steht. Die grösste Änderung ist jedoch der neue Filter „kantonale Schutzgebiete“. Die kantonalen Schutzgebiete bedeuten eine zusätzliche Ausschlussfläche von 15'222 km². Trotz dieser neuen Ausschlussfläche, die bisher in keiner Potentialberechnung berücksichtigt wurde, sind die errechneten Potentiale vergleichbar mit den Resultaten anderer Studien. In den nachfolgenden Schritten wird nun auf die verschiedenen Elemente dieser Masterarbeit eingegangen.

(1) *Kantonale Schutzgebiete*: Zwischen den verschiedenen Kantonen bestehen grosse Unterschiede bei den Schutzgebieten. Würden gewisse Schutzgebiete weggelassen, wäre die für erneuerbare Energien verfügbare Fläche wesentlich

grösser. Dies trifft vor allem in Kantonen mit vielen Schutzgebieten wie dem Kanton Graubünden zu, der ohne Filter ein grosses Potential für alle untersuchten Energieträger besitzt. Der Kanton Genf, als weiteres Beispiel besitzt Schutzzonen für traditionelle Weinbaugebiete. Sind diese nun ähnlich zu gewichten wie die Landschaftsschutzgebiete im Kanton Zürich? Oder sollten sie einer anderen Kategorie zugeordnet werden. Zur Vereinheitlichung wurde versucht, all jene Gebiete zu berücksichtigen, die einen starken Schutzstatus im Bereich Natur oder Landschaft besitzen. So zeigt sich sehr deutlich, dass die unterschiedlichen kantonalen Regelungen für Schutzgebiete die räumliche Anordnung der verbleibenden Potentialgebiete extrem stark beeinflussen. Bei einer einheitlicheren Verteilung der definierten Schutzgebiete über die Schweiz würden selbstverständlich auch die Potentialgebiete anders verteilt. Ob Kantone mit wenig Schutzgebieten (z.B. Wallis) geringere Konflikte und Einsprachen gewärtigen müssen als Kantone mit vielen Schutzgebieten (Graubünden) ist unwahrscheinlich. Im Gegenteil einspruchsberechtigte Organisationen werden eine realistische Schutzgebiedichte eher akzeptieren als eine zu laxen.

(2) *Windkraftwerke*: Die Energiepotentiale der Windenergie lassen sich sehr gut mit anderen Potentialstudien wie METEOTEST (2012) oder der Studie der Akademie der Wissenschaften (2012a) vergleichen. Die Werte befinden sich im selben Bereich um die 4'000 GWh. In der Realität würden die Potentiale wohl leicht anders ausfallen. Die Potentialkarte in dieser Arbeit ist aus einem Rasterdatensatz im 100x100 Meter Format aufgebaut. Die schliesslich überbaute Fläche einer Anlage ist um ein Vielfaches kleiner als eine Hektare. So kann eine einzelne Zelle von einer Hektar Grösse gut eine Windenergieanlage beherbergen. Auf zwei benachbarten 100x100 Meter Zellen sind aber möglicherweise aufgrund von Windabschattung entsprechend der Hauptwindrichtung nicht zwingend zwei Anlagen realisierbar, wie dies eine rein rechnerische Lösung nahelegen würde. Der Grund dafür liegt darin, dass eine im Windschatten einer anderen Anlage stehende Windturbine ein vermindertes Energiepotential hat, da der Wind durch die davor stehende Anlage an Kraft verliert. Aus diesem Grund wird 360'000 m² / Turbine verwendet, was viel grösser als eine Hektar (100x100 Meter) ist. Ferner muss in der Realität das Gelände individuell angeschaut werden, um zu analysieren, wie viele Anlagen erstellt werden könnten. Die Umrechnung von Fläche zu Energie (Kap. 2.3.3) ist somit mit einer recht grossen Ungenauigkeit verbunden. Der Vergleich mit METEOTEST (2012) zeigt jedoch, dass die Grössenordnung stimmt.

Es gibt weiter auch den Fall, dass ein Gebiet welches ein Potential unter Berücksichtigung aller Filter aufweist, noch lange nicht konfliktfrei ist. Dies zeigt sich am Beispiel des geplanten Windparks Surselva, der grösstenteils in ausschussfreien Gebieten liegt. Trotzdem gibt es Widerstand aus verschiedenen Kreisen, die versuchen den Windpark zu verhindern (Interessengemeinschaft Sezner-UmSu-Grenerberg, 2011), nicht zuletzt mit dem Hinweis auf die sich überlagernden Landschaftsleistungen, ein Problem, das im Projekt von Segura et al. (2012) angegangen wird. Durch die Kontroverse, welche Gebiete als Ausschlussgebiete angesehen werden sollen, kann es auch beachtliche Unterschiede im Potential geben. Durch die Nichtberücksichtigung der Filter „Wald“ und „Kanton“ wird das Potential fast doppelt so gross. Für METEOTEST (2012) ist der Wald bekanntlich ein Ausschlussgebiet, doch der Bundesrat sieht das in einer Antwort auf ein Postulat anders (BFE, BAFU, ARE, 2012). Die Resultate der Potentialanalyse weisen trotz Einbezug der Filter auf jene Standorte, auf denen heute schon Windenergieanlage stehen wie Berner Jura oder Unterwallis oder auf denen Anlagen in Planung sind wie in der Surselva oder im Waadtländer Jura hin.

Die Analyse der „Patch density“ zeigt, dass die Potentialgebiete zerstückelter werden je mehr Filter man in die Berechnung miteinbezieht. Das Konzept Windenergie Schweiz (2004) sieht als Grundsatz, dass die Windturbinen an geeigneten Standorten zu konzentrieren sind. Durch eine hohe Fragmentierung der Potentialgebiete ist dies eher schwierig. Wenn nur Standorte in Betracht gezogen werden, die ein Potential für einen Windpark, also eine Klumpung von Windanlagen, besitzen, ist das Windenergiepotential dieser Masterarbeit zu hoch geschätzt, da viele Einzelstandorte ein Teil des Potentialgebietes sind. Die Realisierung von Einzelanlagen wie beim Griessee im Wallis oder in Haldenstein (GR) zeigt aber, dass dieser Grundsatz nicht vollumfänglich gilt. Aus diesen Gründen wird das Potential nicht hundertprozentig korrekt sein, zeigt jedoch die richtige Grössenordnung von Möglichkeiten auf.

(3) *Kleinwasserkraft*: Die Potentialberechnung bei Kleinwasserkraftwerken ist problematischer. Die Berechnung der Potentiale basiert auf einer Karte, die die Fliessgewässer und teilweise auch Seen beinhaltet. Gewisse Gewässer befinden sich zudem in dem an die Schweiz angrenzenden Ausland. Sie wurden trotzdem in die Berechnung miteinbezogen. Die grossen Flüsse wie der Rhein oder Aare sind zu gross um das ganze Potential mit Kleinwasserkraftwerken zu nutzen. Bei ihnen wird das Potential überschätzt. Auch die eingezeichneten Seen besitzen kein Potential für Kleinwasserkraft, da sie keine Strömung aufweisen. Für Grenzüberschreitende

Flüsse ist es schwierig, das Potential zu berechnen. Es ist nicht klar welches Land mit welchem Anteil an der Energiegewinnung beteiligt ist.

Das berechnete Potential von 9116,7 GWh ist um Einiges höher als die 2'000 GWh, die von der Akademie der Wissenschaften (2012a) geschätzt wurden. Auch der „Energie Dialog Schweiz (2009)“ schätzt das Potential von Kleinwasserkraftwerken nur auf etwa 1'500 GWh pro Jahr. Eine Annahme für die Berechnung war, dass das Potential gleichmässig über den ganzen Gewässerabschnitt verteilt ist. Dies gilt auch für das schon genutzte Potential. Verluste aufgrund von Nutzungen wurden nicht berücksichtigt. Wenn an einem Punkt das Wasser genutzt wird so besitzen die nachfolgenden Strecken nicht mehr das gleiche Potential. So könnten aufgrund der vorliegenden Analyse viele kleine Kraftwerke in einem Gewässerabschnitt erstellt werden. In Realität wird das Potential aber je nach Gefälle unterschiedlich sein. Mit der Berechnung dieser Masterarbeit könnten 7'752 Kraftwerke mit einer durchschnittlichen Leistung von 250 kW erstellt werden. Dies sind sehr viele, da alle Kraftwerke auch eine gewisse Infrastruktur brauchen. Das Potential wurde nur unter Berücksichtigung der erstellten Filter mit Ausschlusskriterien berechnet. Weitere Faktoren wie der Gewässerschutz oder die Restwassermengen spielen eine wichtige Rolle, sind in den Filtern aber nicht enthalten. Auch durch die mögliche Veränderung der Gewässerstruktur besitzen Kleinwasserkraftwerke ein hohes Konfliktpotential. So hätte ein Kraftwerk oberhalb eines Schutzgebietes einen Einfluss auf den ganzen folgenden Gewässerabschnitt. Dies wurde bei der Erstellung der Filter auch nicht berücksichtigt. Aus diesen Gründen ist das Potential zu hoch ausgefallen. Doch wurde mit den gleichen Methoden wie bei den anderen Energieträgern vorgegangen um die ganze Arbeit zu vereinheitlichen.

(4) *Landnutzungsszenarien*: Die Potentialgebiete für Solarenergie und Biomasse basieren auf drei verschiedenen Szenarien für eine zukünftige Landnutzung. Um die Chance zu erhöhen, dass diese Flächen wirklich Potentialgebiet sind, hat man nur die Gebiete ausgewählt, die bei allen drei Szenarien zusammen ein Potential besitzen. In Realität wird nur eines oder ein ähnliches Szenario eintreffen. Das Potentialgebiet und die Potentiale werden somit grösser sein, als wenn man nur die Gebiete, die für alle drei Szenarien ein Potential besitzen, betrachtet. Doch durch die angewendete Variante lässt sich die Sicherheit für das Entstehen dieser Potentialgebiete erhöhen und es wird auch einfacher, die Gebiete genau zu lokalisieren. Ein weiterer limitierender Faktor ist der Zeitraum indem diese Szenarien eintreffen sollten. Der Unterschied zwischen dem business-as-usual Szenario und dem Liberalisierungsszenario beträgt 80 bis 180 Jahre (Bolliger, Kienast, Soliva, &

Rutherford, 2007). Durch die Kombination aller drei Szenarien kann von einem Mittelwert ausgegangen werden. Wenn diese Flächen für erneuerbare Energien genutzt werden spielt es aber keine Rolle, zu welchem Zeitpunkt das Szenario eingetroffen ist, weil die Fläche dann ohnehin anders verwendet wird.

(5) *Solaranlagen*: Das Potential für Solarfreiflächenanlagen ist wiederum besser abschätzbar als jenes für Kleinwasserkraftwerke. Es gibt aber leider keine vergleichbaren Werte, da in den übrigen Studien nur das Potential für Solaranlagen auf Gebäuden berechnet wurde. Die Akademie der Wissenschaften (2012a) hat ein Gesamtenergiepotential für Photovoltaik von 15'000 GWh berechnet, beim Energie Dialog Schweiz (2009) sind das zwischen 8'000 und 12'000 GWh. Die hier berechneten 11'141,6 GWh sind im gleichen Grössenbereich, auch wenn sie nicht ganz vergleichbar sind, da verschiedene Flächen betrachtet werden. Limitierend für unsere Berechnung könnte eine nicht berücksichtigte Abschattung durch in der Nähe liegenden Wald oder andere Hindernisse sein. Auch wurde für die Berechnung eine Zellgrösse von einem Hektar verwendet. Oft ist das Gelände in einer Fläche uneben und somit variiert auch die Einstrahlung. Dadurch kann es zusätzliche Abstriche beim Potential geben. Im Weiteren besitzen häufig Gebiete, die sehr abgelegen sind, ein hohes Potential. Die Erreichbarkeit dieser Flächen wurde mittels „Filter 5“ ermittelt doch könnte der Netzanschluss ein bisher nicht einbezogenes Problem sein. Je weiter entfernt dieser liegt, desto unwirtschaftlicher ist eine an diesem Ort erstellte Anlage. Dies gilt auch für Wind- und Kleinwasserkraftwerke. Der „Filter 5“ berücksichtigt vorwiegend die Erreichbarkeit für die Erstellung und den Unterhalt der Anlage und nicht den Netzanschluss. Positiv für das Potential der Solaranlagen könnte die technische Entwicklung sein. So ist anzunehmen, dass die Wirkungsgrade in Zukunft um mehrere Prozentpunkte ansteigen werden, was einen höheren Ertrag zur Folge haben wird (METEOTEST, 2012).

Wenn man diese Werte zusätzlich zu den Werten von Solaranlagen auf Gebäuden addiert, wie von METEOTEST berechnet wurde, ist das Potential schon sehr gross. Zusammengezählt könnte das Potential über 20'000 GWh betragen, was etwa 1/3 der Stromproduktion 2011 bedeuten würde. Das grössere Problem ist dabei die Durchsetzbarkeit solcher Freiflächenanlagen. Politisch sind sie sehr umstritten. So wurde in Inwil im Kanton Luzern erst kürzlich ein Projekt für eine grosse Solarfreiflächenanlage begraben, allerdings war dieses auf sehr produktiven Böden geplant (Granwehr, 2013). Auch die Bundesregierung hält in einem Positionspapier zu freistehenden Photovoltaikanlagen fest, dass, solange genügend Potential auf bestehenden Bauten und Anlagen besteht, dieses auch prioritär behandelt werden

sollen (ARE, BAFU, BFE, BLW, 2012). Ausgeschlossen wird der Bau solcher Anlagen allerdings nicht, es wird aber auf Nutzungskonflikte hingewiesen und darauf, dass Freiflächenanlagen dem haushälterischen Umgang mit dem Boden widersprechen. Der Vorteil freistehender Anlagen auf diesen Flächen kann jedoch sein, dass verbuschte Flächen gerade keine grossen Konflikte erzeugen, weil sie nicht mehr genutzt werden. Natürlich sind trotzdem ästhetische oder ökologische Konflikte zu erwarten, doch das Konfliktpotential ist im Vergleich zu anderen Flächen geringer.

(6) *Biomasse*: Das Energiepotential aus verholzter Biomasse ist im Vergleich zu den anderen Energieträgern sehr gering. Die Gründe hierfür liegen in der geringen Fläche, die berücksichtigt wurde und dem betrachteten Zeitraum. Durch die Kombination aller drei Szenarien ist die einwachsende Waldfläche eher gering. In Realität wird diese grösser sein wenn man bedenkt, dass die Waldfläche schon in den Jahren zwischen 1995 und 2006 um 7% zugenommen hat was 59'455 ha entspricht (WSL, BAFU, 2010). Auch ist der Zeitraum von zehn Jahren für Biomasse eher gering. Damit viele Bäume eine beachtliche Grösse bekommen, braucht es oft mehrere Jahrzehnte. Dieser Faktor wirkt limitierend für die verholzte Biomasse. Das könnte durch Pflanzungen von schnell wachsenden Arten umgangen werden. Ebenso ist die Art, wie das Holz weiter verwendet wird entscheidend. Im Gegensatz zu den anderen Energieträgern muss das Holz zuerst transportiert und zum Teil verarbeitet werden bevor man es in Energie umwandeln kann. Es gibt verschiedene Formen, wie das Holz schliesslich zur Energiegewinnung gebraucht werden kann: Dies können Holzschnitzel, Pellets oder unbehandeltes Stückholz sein. Die Herstellung dieser Verwendungstypen und der Transport zum Nutzungsort verbrauchen zusätzlich Energie, die in der Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Trotzdem darf die Energie aus verholzter Biomasse nicht vernachlässigt werden. Etwa ein Drittel der Schweiz ist bewaldet (WSL, BAFU, 2010). Dadurch ist viel Holz zur Energienutzung vorhanden. Das geschätzte Potential für die Elektrizitätsproduktion aus Biomasse beträgt bis 2050 zwischen 3'200 und 4'200 GWh (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012b). Dies lässt sich nicht wirklich mit den berechneten Werten aus dieser Masterarbeit vergleichen, da bei den Akademien der Wissenschaften Schweiz (2012b) verschiedene Formen von Biomasse miteinbezogen werden und bei der verholzten Biomasse der ganze Wald und das Flurholz angeschaut werden. Dennoch kann das berechnete Biomasse Energiepotential dieser Arbeit von 84,3 GWh einen Teil dazu beitragen.

Der Filter „kantonale Schutzgebiete“ gilt wahrscheinlich nur teilweise als Ausschlussgebiet für Biomassenutzung. Kantonale Landschaftsschutzgebiete besitzen wohl kaum Einschränkungen für die Nutzung von verholzter Biomasse. Da im Filter „Kanton“ Natur- und Landschaftsschutzgebiete kombiniert vorkommen, lässt sich dieser Punkt nicht genau analysieren. Das Potential wäre wohl ein wenig höher wenn die Landschaftsschutzgebiete nicht berücksichtigt werden. Durch die geringe Konfliktnéigung, wie bei den verbuschten Flächen für Solaranlagen, sind einwachsende Flächen speziell zu betrachten. Neben der Energiegewinnung kann eine Holznutzung auf einwachsenden Flächen auch biodiversitätsfördernd wirken (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a). Dies ist ein positiver Faktor der Energiegewinnung aus Holz, was zeigt, dass andere Faktoren als der reine Energieertrag auch wichtig sein können. Dadurch kann auch eine Konfliktvermeidung stattfinden. Wenn nur der Energieertrag an sich betrachtet würde, wären andere Energieträger zu bevorzugen. Mit Photovoltaikanlagen liesse sich auf der gleichen Fläche bis zu 50-mal mehr Energie produzieren, als mit dem Anbau von Energiepflanzen (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2012a).

(7) *Allgemeine Betrachtung / Klimawandel:* Abgesehen von der Berechnung des Potentials von Kleinwasserkraftwerken, das zu hoch ausfällt, sollte es möglich sein die errechneten Energiemengen von Windenergie, Solarenergie und Strom aus Biomasse auf den berücksichtigten Flächen zu produzieren. Aufgrund des zu hoch berechneten Potentials für Kleinwasserkraftwerke lassen sich die Energieziele des Bundesrates, 22'600 GWh neuer erneuerbarer Strom bis 2050 (Bundesrat, 2012), nicht mehr erreichen. Doch unter Berücksichtigung weiterer Potentiale wie von Solaranlagen auf Gebäuden oder Geothermie, sollte dies trotzdem möglich sein. Der Einfluss des Klimawandels ist im Zeitraum bis 2050 vernachlässigbar. Die Potentiale für Wind, Wasser und Biomasse werden sich höchstens minimal verändern. Für Solarenergie kann der Ertrag leicht zulegen. Gesamthaft wird der Klimawandel aber nicht für grosse Änderungen sorgen. Vermehrte Extremereignisse könnten zu temporären Ausfällen führen, doch führt dies nicht zu einer gesamthaften Änderung des Potentials. Gegen Ende des Jahrhunderts könnte sich das jedoch ändern, wenn das Potential für Wasserkraft abnimmt, welches im Moment die Hauptlast der schweizerischen Stromproduktion trägt. Einen weitaus grösseren Einfluss auf die Potentiale als der Klimawandel besitzen politische Entscheidungen zu den erneuerbaren Energieträgern. Fragen, wie Energieträger zum Beispiel gefördert werden, welche Anforderungen an sie gestellt werden oder wie mit Konflikten zu den erneuerbaren Energien umgegangen wird.

5. Ausblick

Ein Hauptziel für zukünftige Potentialabschätzungen wäre es, folgende Berechnungsmängel zu beheben:

(1) Für die Berechnung der Kleinwasserkraftpotentiale müsste ein neuer Ansatz gefunden werden. Weitere Anforderungen, wie Restwassermengen oder Gewässerökologie und die lokalen Begebenheiten müssten vermehrt in die Analyse miteinbezogen werden. Auch müsste man den gegenseitigen Einfluss von mehreren Kraftwerken am selben Flussabschnitt untersuchen. Das Potential in den Gewässerabschnitten liesse sich durch eine grossmassstäbliche Analyse genauer untersuchen. Durch diese Erweiterungen gäbe es mehr Anhaltspunkte und die Analyse liesse sich genauer durchführen.

(2) Auch für die anderen Energieträger könnte die Analyse mit höherer Auflösung weitergeführt werden. Bei den Potentialgebieten für Windenergie liessen sich die lokalen Begebenheiten untersuchen wodurch die genaue Anzahl an möglichen Turbinen bestimmt werden könnte. Weiter könnte man den Netzanschluss in die Analyse miteinbeziehen um herauszufinden, wo sich der Bau lohnt und wo welche zusätzliche Infrastruktur erstellt werden müsste, um einen Netzanschluss zu ermöglichen. Das gleiche liesse sich auch für Solarfreiflächenanlagen und Kleinwasserkraftwerken machen.

(3) Wirtschaftliche Faktoren wurden nur teilweise mit der Windgeschwindigkeit und der Erreichbarkeit in die Analyse miteinbezogen. Durch eine ökonomische Analyse liesse sich das reale Potential besser abbilden. Das wären zum Beispiel Kosten für das Material oder den Unterhalt. Dies gilt auch für Biomasse, wo der Transport und die Verarbeitung miteinbezogen werden könnten.

(4) Wie schon erwähnt, besitzen politische Entscheide einen grossen Einfluss auf die Zukunft der erneuerbaren Energieträger. Es gibt weitere Konflikte, die in dieser Masterarbeit nicht berücksichtigt wurden: Die zu Beginn erwähnten Konfliktypologien aus der Dissertation von Andreas von der Dunk (2011) können insgesamt durch die durchgeführten Analysen noch nicht ausgeschlossen werden. So können Anlagen zur Energieproduktion immer noch Konflikte zwischen verschiedenen Landschaftsdienstleistungen hervorrufen. Die Anlagen sind teilweise sehr gross und lassen sich nicht ohne weiteres verstecken. Ein Ziel für die Zukunft wäre nun, die weiteren Konflikte im Zusammenhang mit erneuerbaren Energieträgern zu

erforschen und in eine Potentialberechnung einfließen zu lassen. Im Projekt von Segura et al. (2012) wird schon an dieser Problematik gearbeitet.

(5) Soziale Faktoren wurden bisher nur beschränkt betrachtet. So könnten Probleme mit der Landwirtschaft, Erholungssuchenden, dem Tourismus oder einfach mit der Sichtbarkeit auftreten. Durch eine Analyse, welche Konflikte genau in welchen Landschaftstypen auftreten, lässt sich eine genauere Potentialanalyse durchführen und der genauere Energieertrag besser berechnen. Zusätzlich wäre interessant zu untersuchen, was es braucht, um gewisse Konflikte zu vermeiden. Dadurch könnte diese Potentialberechnung viel umfassender und der Realität entsprechender analysiert werden.

6. Schlussfolgerungen

Diese Masterarbeit zeigt, welche Potentiale die erneuerbaren Energien Windkraft und Kleinwasserkraft unter Berücksichtigung verschiedener Ausschlusskriterien in der Schweiz besitzen. Durch die Zusammenstellung aller kantonalen Natur- und Landschaftsschutzgebiete wurde ein neues, in anderen Analysen nicht berücksichtigtes Ausschlusskriterium miteinbezogen. Zusätzlich analysiert es das Potential für Solarfreiflächenanlagen auf zukünftig verbuschten Flächen und für Energienutzung aus verholzter Biomasse auf zukünftig einwachsenden Flächen. Das gesamte Energiepotential aller vier Energieträger zusammen beträgt 23'409,4 GWh unter Berücksichtigung aller Ausschlusskriterien. Dies ist höher als das Ziel des Bundesrates, der eine Produktion von 22'600 GWh aus erneuerbaren Energien bis 2050 voraussieht (Bundesrat, 2012).

Das Potential in dieser Masterarbeit wurde zu hoch berechnet, da das Potential insbesondere der Kleinwasserkraftwerke überschätzt wird. Nichtsdestotrotz lässt sich ein beachtlicher Anteil des Ziels mittels der untersuchten Energieträger erreichen. Wenn die Filter mit den Ausschlusskriterien Wald und kantonale Schutzgebiete auch nur teilweise berücksichtigt werden, vergrößert sich das Potential auch schon beachtlich.

Auch wenn ein Grund für die Popularität der erneuerbaren Energien der durch CO₂ Ausstoss bedingte Klimawandel ist, besitzt dieser keinen unmittelbaren Einfluss auf das Potential der Energieträger in den nächsten Jahren.

Die Betrachtung von verlassenenem und einwachsendem Land als Energiepotentialfläche ist eine Chance für die Stromerzeugung in der Schweiz. Die Energieträger sind auch in jenen Gebieten, in denen sie ein Potential besitzen, noch vielen verschiedenen Konflikten ausgesetzt. Verbuschte und einwachsende Flächen besitzen hingegen ein tiefes Konfliktpotential und könnten bei allfälligem Bedarf zusätzlich zu anderen Flächen als Gebiet für die Produktion von Elektrizität genutzt werden.

Durch den Ansatz, das Potential durch Ausschliessen verschiedener Kriterien zu berechnen, wurden diverse Konflikte schon miteinbezogen. Weiter lässt sich durch das Hinzu- oder Hinwegschieben einzelner Filter mit Ausschlusskriterien das Potential nach Berücksichtigung einzelner Kriterien berechnen, je nach Bedarf. Gewisse, vor allem soziale Konflikte, sind in dieser Analyse nicht berücksichtigt. So

Schlussfolgerungen

wurden beispielsweise ästhetische Aspekte oder eine Veränderung der Landschaft nicht angeschaut. Da die neuen erneuerbaren Energieträger in der Schweiz noch nicht etabliert sind, gibt es viele Konflikte und Probleme, die bisher nicht untersucht wurden. Verschiedene Landschaftsdienstleistungen können trotz der Anwendung von Ausschlusskriterien immer noch in Konkurrenz stehen. Im Projekt von Segura et al. (2012) wird diese Problematik angegangen. Für eine ganzheitliche Analyse wären somit weitere Kriterien für die Berechnung der Potentiale notwendig.

Durch die verschiedenen erstellten Filter, insbesondere den „kantonalen Schutzgebieten“, kann aber ein weiterer Beitrag geleistet werden, um das Potential zu berechnen und die mögliche Standorte zu eruieren. Viele Konflikte können dabei schon ausgeschlossen werden. Dadurch vereinfacht sich die Planung für den Bau von neuen Kraftwerken für eine Stromzukunft mit erneuerbaren Energien.

7. Dank

Einen besonderen Dank geht an meinen Betreuer Prof. Dr. Felix Kienast. Mit seiner hilfsbereiten und motivierenden Art hat er viel beigetragen zur Erarbeitung dieser Masterarbeit. Weiter hat Lorena Segura viel zu dieser Masterarbeit beigesteuert. Sie war eine grosse Hilfe in der ganzen Thematik und hatte bei technischen Problemen stets eine Lösung parat. Hannes Webers Mithilfe bei der Beschaffung der verschiedenen kantonalen Geodaten hat Vieles erleichtert. Dank auch an Edgar Kaufmann, der die Grundlagen für die Berechnung der Biomassepotentiale geliefert hat. Roland Hergert hat durch das Gegenlesen dieser Arbeit viel zu deren literarischen Qualität beigetragen. Schlussendlich vielen Dank an alle Personen an der WSL für die Hilfsbereitschaft und Gastfreundschaft.

8. Quellenverzeichnis

8.1 Literaturverzeichnis

- Akademien der Wissenschaften Schweiz. (2012a). *Lösungsansätze für die Schweiz im Konfliktfeld erneuerbare Energien und Raumnutzung*. Bern.
- Akademien der Wissenschaften Schweiz. (2012b). *Zukunft Stromversorgung Schweiz*. Bern.
- Amt für Raumentwicklung Graubünden. (2008). *Windenergieanlagen (WEA), Leitfaden als Beurteilungsgrundlage für Behörden und Projektanten*. Chur: Amt für Energie und Verkehr Graubünden.
- Andersson, G., Boulouchos, K., & Bretschger, L. (2011). *Energiezukunft Schweiz*. Zürich: ETH Zürich.
- ARE, BAFU, BFE, BLW. (2012). *Positionspapier freistehende Photovoltaik-Anlagen*. Bern.
- Aschwanden, E., & Wiget, Y. (4. 10. 2012). Umwelt und Energie im Widerspruch, Skepsis gegen Solar-Grossprojekte. *NZZ*.
- BFE. (14. 9. 2010). *Bundesamt für Energie*. Abgerufen am 31. 1 2013 von <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00496/index.html?lang=de>
- BFE. (14. 9. 2010). *Bundesamt für Energie*. Abgerufen am 31. 1 2013 von <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00496/index.html?lang=de>
- BFE. (14. 9. 2010). *Bundesamt für Energie*. Abgerufen am 31. 1 2013 von www.bfe.admin.ch/themen
- BFE. (2012a). *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011*. Bern: Bundesamt für Energie.
- BFE. (2012b). *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2011*. Bern: Bundesamt für Energie.
- BFE. (7. 1. 2013). *Bundesamt für Energie*. Abgerufen am 31. 1 2013 von www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft
- BFE, BAFU, ARE. (2012). *Bericht in Erfüllung des Postulats "Erleichterung des Baus von Windkraftanlagen in Wäldern und auf Waldweideflächen" 10.3722 (Cramer Robert)*. Bern: UVEK.
- BFE, BUWAL, ARE. (2004). *Konzept Windenergie Schweiz, Grundlagen für die Standortwahl von Windparks*. Bern.
- Bolliger, J., Kienast, F., Soliva, R., & Rutherford, G. (2007). Spatial sensitivity of species habitat patterns to scenarios of land use change (Switzerland). *Landscape Ecology*.

- Bolliger, R. (21. 4. 2010). Verändert der Klimawandel die Windenergienutzung? *NZZ*.
- Bundesrat. (2011). *Faktenblatt Energieperspektiven 2050*. Bern.
- Bundesrat. (2012). *Faktenblatt 2, Fragen und Antworten zum Energiepaket 2050*. Bern.
- Christen, W. (20. 11. 2012). "Der Windpark auf den Jurahöhen ist ein rücksichtsloses Projekt". *Aargauer Zeitung*.
- Crook, J., Jones, L., Forster, P., & Crook, R. (2011). Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. *Energy & Environmental Science*(4), S. 3101-3109.
- Energie Dialog Schweiz. (2009). *Energie-Strategie 2050, Impulse für die schweizerische Energiepolitik*. Zürich.
- Fuhrer, J., Beniston, M., Fischlin, A., Frei, C., Goyette, S., Jasper, K., et al. (2006). Climate risk and their impact on agriculture and forests in Switzerland. *Climate Change*.
- Granwehr, P. (1. 2. 2013). Abschied vom "Leuchtturmprojekt". *Zürichsee-Zeitung*, 21.
- Hersener, J.-L., & Meier, U. (1999). *Energetisch nutzbares Biomassepotential in der Schweiz sowie Stand der Nutzung in ausgewählten EU-Staaten und den USA*. Bundesamt für Energie.
- Interessengemeinschaft Sezner-UmSu-Grenerberg. (2011). *Kritische Stimmen zum Windpark Surselva*. Abgerufen am 15. 2 2013 von www.surselva-no-windpark.ch
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Portland OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- METEOTEST. (2012). *Energiestrategie 2050, Berechnung der Energiepotentiale für Wind- und Sonnenenergie*. Bern.
- Nipkow, J., Gasser, S., & Bush, E. (2007). Der typische Haushalt-Stromverbrauch. *Bulletin SEV/AES*(19), S. 24-26.
- OcCC / ProClim-. (2007). *Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern.
- Segura, L., Hersperger, A., & Kienast, F. (15. 6. 2012). *WSL: The production of renewable energy in Switzerland: a spatial analysis of potential conflicts with landscape services*. Abgerufen am 1. 2 2013 von http://www.wsl.ch/fe/landschaftsdynamik/projekte/renewable_energy/index_EN
- Suisse Eole. (2013). *Suisse Eole*. Abgerufen am 31. Januar 2013 von www.suisse-eole.ch
- Von der Dunk, A. (2011). *Spatially explicit analysis of land-use conflicts in Northern Switzerland: new approaches for investigating a complex phenomenon*. Zürich: ETH Zürich.

Quellenverzeichnis

Wind-Data. (2013). *Die Website für Windenergie-Daten der Schweiz*. Abgerufen am 5. 2 2013 von <http://www.wind-data.ch/wka/wka.php?wka=MTG>

WSL, BAFU. (2010). *Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006*. Birmensdorf.

8.2 GIS-Quellen

Geodaten	Quellen
1) Nationale Schutzgebiete und Pärke	- BAFU, diverse Datensätze - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
2) Kantonale Natur- und Landschaftsschutzgebiete	- Kantonale GIS-Stellen (Tabelle unten)
3) swiss TLM 3D	- swisstopo - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
4) DHM	- swisstopo - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
5) Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STAPOP) ab 2010	- BFS - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
6) Schiessplätze Kernbestand	- armasuisse Immobilien
7) Landnutzungsszenarien	- Bolliger et al., 2007
8) Kleinwasserkraftpotentiale der Schweizer Gewässer	- BFE - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
9) Globalstrahlung Schweiz	- METEOTEST - Segura, Hersperger & Kienast, 2012
10) Mittlere Windgeschwindigkeit auf verschiedenen Höhen.	- METEOTEST - Segura, Hersperger & Kienast, 2012

Datenherkunft der verwendeten Geodaten

AG	Daten des Kantons Aargau
AI	www.strittmatter-partner.ch
AR	www.geoportal.ch
BE	Amt für Geoinformation des Kantons Bern?
BL	Geodaten des Kantons Basel-Landschaft
BS	Geodaten Kanton Basel-Stadt
FR	©Etat de Fribourg
GE	Système d'information du territoire genevois (SITG)
GL	Kantonale Geo-daten © Kanton Glarus, kommunale Geodaten © Gemeinden Kanton GL
GR	Amt für Raumentwicklung Graubünden
JU	Section cadastre et géomatique (SCG)
LU	© GIS Kanton Luzern
NE	Données cartographiques du SITN © 2012 / Service de la Géomatique et du Registre Foncier
NW	Amt für Raumentwicklung
OW	Amt für Raumentwicklung und Verkehr
SG	Amt für Raumentwicklung und Geoinformation
SH	GIS Schaffhausen
SO	SO!GIS®
SZ	Amt für Natur, Jagd und Fischerei
TG	Amt für Geoinformation
TI	Repubblica e Cantone Ticino consiglio di stato
UR	Amt für Raumentwicklung
VD	ASITVD
VS	Departement für Volkswirtschaft, Energie und Raumentwicklung , Dienststelle der Grundbuchämter und der Geomatik
ZG	Amt für Raumplanung
ZH	Übersichtsplan Kanton Zürich © Amt für Raumentwicklung

Datenherkunft der kantonalen Geodaten

9. Anhang

9.1 Nationale Inventare

Übersicht über die verwendeten Nationalen Schutzgebiete und Inventare und ihre Filterzugehörigkeit

Inventar/Park	Filter
Bundesinventar der Moorlandschaften von besonderer Schönheit und von nationaler Bedeutung	2
Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung	2
Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung	2
Nationalpark	2
Naturerlebnispark Zürich-Sihlwald	2
Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung	3
Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung	3
Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung	3
Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN)	3
Bundesinventar der Eidgenössischen Jagdbanngebiete	3
Ramsar-Konvention	3
Verordnung über die Abgeltung von Einbussen der Wasserkraftnutzung (VAEW)	3
UNESCO-Welterben	3
Bundesinventar der Wasser- und Zugvogelreservate von internationaler und nationaler Bedeutung (WZVV)	3
Grundwasserschutz: Zonen S1 und S2	3
Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung (ISOS)	3

9.2 Kantonale Schutzgebiete

Grösse und Verteilung der kantonalen Schutzgebiete

Kanton	ZH	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	BS	BL
Fläche in km ²	1728.9	5961.3	1493.5	1076.8	908.2	490.6	275.9	685.0	238.7	1670.7	790.6	37.0	517.6
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	4.2%	14.4%	3.6%	2.6%	2.2%	1.2%	0.7%	1.7%	0.6%	4.0%	1.9%	0.1%	1.3%
<i>Kantonale Schutzgebiete</i>													
Fläche in km ²	369.3	2235.2	600.3	476.8	205.6	192.6	108.6	498.5	121.6	188.2	328.8	21.0	323.8
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	2.4%	14.7%	3.9%	3.1%	1.4%	1.3%	0.7%	3.3%	0.8%	1.2%	2.2%	0.1%	2.1%
Prozentualer Anteil an Kantons-fläche	21.4%	37.5%	40.2%	44.3%	22.6%	39.3%	39.4%	72.8%	51.0%	11.3%	41.6%	56.7%	62.6%

SH	AR	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU	Total	Durchschnitt
298.5	242.8	172.5	2025.7	7105.3	1403.5	991.0	2812.3	3211.6	5224.4	803.0	282.4	836.5	41284.2	
0.7%	0.6%	0.4%	4.9%	17.2%	3.4%	2.4%	6.8%	7.8%	12.7%	1.9%	0.7%	2.0%	100.0%	
138.1	207.3	41.1	656.2	5009.8	1016.5	469.7	1090.2	501.8	100.0	150.5	113.7	56.4	15221.6	
0.9%	1.4%	0.3%	4.3%	32.9%	6.7%	3.1%	7.2%	3.3%	0.7%	1.0%	0.7%	0.4%	100.0%	
46.3%	85.3%	23.8%	32.4%	70.5%	72.4%	47.4%	38.8%	15.6%	1.9%	18.7%	40.3%	6.7%	36.9%	40.0%

Anhang

Biogeografische Region	Jura	Mittelland	Alpen- nordflanke	Westliche Zentralalpen	Östliche Zentralalpen	Alpen-südflanke	Total	Durchschnitt
Fläche in km ²	4307.1	11168.5	11484.8	4836.5	5828.2	3669.7	41294.7	
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	10.4%	27.0%	27.8%	11.7%	14.1%	8.9%	100%	
<i>Kantonale Schutzgebiete</i>								
Fläche in km ²	1454.57	3624.44	4273.68	94.19	4125.99	1650.34	15223.21	
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	9.6%	23.8%	28.1%	0.6%	27.1%	10.8%	100.0%	
Prozentualer Anteil an Regionsfläche	33.8%	32.5%	37.2%	1.9%	70.8%	45.0%		36.9%

9.3 Potentiale aller Energietypen

Möglicher Anteil der einzelnen Energieträger an der Gesamtenergieproduktion der Schweiz

Möglicher Anteil an der Gesamtenergie	CH 2011 63'002 GWh	CH KKW 2011 25'560 GWh	CH 2050 79'000 GWh
Wind 120m	5.22%	12.87%	4.16%
Kleinwasserkraftwerke	14.47%	35.67%	11.54%
Einwachsende Flächen Biomasse (Holz)	0.05%	0.13%	0.04%
Verbuschte Flächen Solar	17.41%	42.92%	13.89%
Total	37.2%	91.6%	29.6%

9.3.1 Windenergie

Resultate der Berechnung des Windenergiepotentials

Potentialfläche pro Turbinengrösse in km2	Ohne Filter	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 4	Filter 5	Filter 6	Filter Kanton	Filter Wald
120m	10320.0	1943.9	1794.7	1286.5	597.7	468.1	460.0	351.3	236.8
100m	9285.7	1500.9	1380.1	959.5	487.0	367.7	360.5	276.8	184.1
70m	7860.8	1119.1	1036.5	697.2	392.2	281.7	275.9	212.6	144.5
50m	6495.6	768.8	712.6	460.0	293.5	191.7	187.1	146.7	112.4

Mögliche Energie mit 5 GWh pro Turbine	Kein Filter	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 4	Filter 5	Filter 6	Filter Kanton	Filter Wald
120m	143333.6	26998.6	24925.7	17868.3	8301.7	6501.5	6389.2	4879.2	3288.3

Anhang

Kanton	ZH	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	BS	BL
Fläche in km2	1728.9	5961.3	1493.5	1076.8	908.2	490.6	275.9	685.0	238.7	1670.7	790.6	37.0	517.6
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	4.2%	14.4%	3.6%	2.6%	2.2%	1.2%	0.7%	1.7%	0.6%	4.0%	1.9%	0.1%	1.3%
<i>Wind 120</i>													
Potentialfläche in ha	2685.5	193061.7	18513.5	57632.2	9529.6	14594.8	3989.8	17374.8	345.3	25961.4	17482.7	2272.5	15081.2
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpot.	0.3%	18.7%	1.8%	5.6%	0.9%	1.4%	0.4%	1.7%	0.0%	2.5%	1.7%	0.2%	1.5%
<i>Wind 120 alle Filter</i>													
Potentialfläche	66.0	4741.7	237.0	297.1	155.0	110.8	5.2	23.0	1.0	1616.5	162.3	0.0	44.3
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpot.	0.3%	20.1%	1.0%	1.3%	0.7%	0.5%	0.0%	0.1%	0.0%	6.9%	0.7%	0.0%	0.2%

SH	AR	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU	Total
298.5	242.8	172.5	2025.7	7105.3	1403.5	991.0	2812.3	3211.6	5224.4	803.0	282.4	836.5	41284.2
0.7%	0.6%	0.4%	4.9%	17.2%	3.4%	2.4%	6.8%	7.8%	12.7%	1.9%	0.7%	2.0%	100.0%
1379.1	641.1	814.8	19889.3	188057.7	12556.1	386.4	71379.2	69720.5	222452.1	35448.9	2.0	29374.3	1030626.6
0.1%	0.1%	0.1%	1.9%	18.2%	1.2%	0.0%	6.9%	6.8%	21.6%	3.4%	0.0%	2.9%	100%
23.0	0.0	1.0	271.6	911.3	253.6	2.0	188.2	5276.6	3165.3	2862.1	0.0	3167.4	23582.0
0.1%	0.0%	0.0%	1.2%	3.9%	1.1%	0.0%	0.8%	22.4%	13.4%	12.1%	0.0%	13.4%	100.0%

Biogeografische Region	Jura	Mittelland	Alpenordflanke	Westliche Zentralalpen	Östliche Zentralalpen	Alpensüdflanke	Total
Fläche in km ²	4307.1	11168.5	11484.8	4836.5	5828.2	3669.7	41294.7
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	10.4%	27.0%	27.8%	11.7%	14.1%	8.9%	100%
<i>Wind 120</i>							
Potentialfläche in ha	162970.8	68972.1	321941.5	207899.2	177932.6	90922.0	1030638.3
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	15.8%	6.7%	31.2%	20.2%	17.3%	8.8%	100.0%
<i>Wind 120 alle Filter</i>							
Potentialfläche	11293.2	4891.1	3515.2	2813.3	895.5	223.4	23631.8
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	47.8%	20.7%	14.9%	11.9%	3.8%	0.9%	100.0%

9.3.2 Kleinwasserkraft

Resultate der Berechnung des Kleinwasserkraftpotentials

Mögliche Energieproduktion mit Kleinwasserkraftwerken mit 250 kW Leistung	Kein Filter	Filter 2	Filter 3	Filter 5	Filter 6	Filter Kanton
GWh	30624.6	29060.9	18091.8	14589.7	14362.1	9116.7

Anhang

Kanton	ZH	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	BS	BL
Fläche in km2	1728.9	5961.3	1493.5	1076.8	908.2	490.6	275.9	685.0	238.7	1670.7	790.6	37.0	517.6
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	4.2%	14.4%	3.6%	2.6%	2.2%	1.2%	0.7%	1.7%	0.6%	4.0%	1.9%	0.1%	1.3%
<i>KWK Potential</i>													
Potential in kW	220241.5	907864.8	168343.9	392719.0	175257.5	102272.6	88085.8	174788.9	31242.1	158549.9	69888.6	97493.1	122383.6
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpot.	2.8%	11.7%	2.2%	5.1%	2.3%	1.3%	1.1%	2.3%	0.4%	2.0%	0.9%	1.3%	1.6%
<i>KWK Potential alle Filter</i>													
Potential in kW	99531.7	315213.6	33275.9	64966.9	67763.1	33321.8	13642.5	38829.1	1865.6	79809.8	15712.5	38778.7	46790.4
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpot.	4.7%	14.9%	1.6%	3.1%	3.2%	1.6%	0.6%	1.8%	0.1%	3.8%	0.7%	1.8%	2.2%

SH	AR	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU	Total
298.5	242.8	172.5	2025.7	7105.3	1403.5	991.0	2812.3	3211.6	5224.4	803.0	282.4	836.5	41284.2
0.7%	0.6%	0.4%	4.9%	17.2%	3.4%	2.4%	6.8%	7.8%	12.7%	1.9%	0.7%	2.0%	100.0%
291531.2	23072.3	19326.8	334218.8	1563068.2	268037.5	142292.5	801032.5	268634.6	1064545.3	39067.0	173286.7	45384.2	7742629.1
3.8%	0.3%	0.2%	4.3%	20.2%	3.5%	1.8%	10.3%	3.5%	13.7%	0.5%	2.2%	0.6%	100.0%
779.4	4322.2	7762.1	104309.1	220405.1	70317.1	16853.6	229458.8	80676.0	488181.5	15543.7	440.9	28621.3	2117172.5
0.0%	0.2%	0.4%	4.9%	10.4%	3.3%	0.8%	10.8%	3.8%	23.1%	0.7%	0.0%	1.4%	100.0%

Biogeografische Region	Jura	Mittelland	Alpen Nordflanke	Westliche Zentralalpen	Östliche Zentralalpen	Alpensüdflanke	Total
Fläche in km ²	4307.1	11168.5	11484.8	4836.5	5828.2	3669.7	41294.7
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	10.4%	27.0%	27.8%	11.7%	14.1%	8.9%	100%
<i>KWK Potential</i>							
Potential in kW	226979.6	869261.0	2315540.7	989229.2	1264772.7	1025281.8	6691064.8
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotential	3.4%	13.0%	34.6%	14.8%	18.9%	15.3%	100.0%
<i>KWK Potential alle Filter</i>							
Potential in kW	87700.2	268249.6	736986.0	437194.9	166518.4	265368.5	1962017.5
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotential	4.5%	13.7%	37.6%	22.3%	8.5%	13.5%	100.0%

9.3.3 Solarenergie

Resultate der Berechnung des Potentials von Solaranlagen auf zukünftig verbuschten Flächen

Potentialfläche (Busch)	Ohne Filter	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 6	Filter 7	Filter Kanton
Fläche (ha)	89709	84978	79648	55718	33056	31962	21892

Energiepotential	Ohne Filter	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 6	Filter 7	Filter Kanton
GWh	44964.1	42661.6	39945.7	28149.8	16809.8	16254.9	11141.6

Anhang

Kanton	ZH	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	BS	BL
Fläche in km2	1728.9	5961.3	1493.5	1076.8	908.2	490.6	275.9	685.0	238.7	1670.7	790.6	37.0	517.6
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	4.2%	14.4%	3.6%	2.6%	2.2%	1.2%	0.7%	1.7%	0.6%	4.0%	1.9%	0.1%	1.3%
<i>Solar Grosses Potential</i>													
Potential in ha	43.1	8149.7	604.3	5772.5	1034.2	1245.9	498.2	2294.0	18.0	668.0	51.6	0.0	12.0
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	0.0%	9.1%	0.7%	6.4%	1.2%	1.4%	0.6%	2.6%	0.0%	0.7%	0.1%	0.0%	0.0%
<i>Solar Grosses Potential alle Filter</i>													
Potential in ha	25.0	2375.3	55.7	1032.5	342.5	325.7	26.0	143.0	1.0	276.1	6.9	0.0	3.0
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	0.1%	10.9%	0.3%	4.7%	1.6%	1.5%	0.1%	0.7%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%	0.0%

SH	AR	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU	Total
298.5	242.8	172.5	2025.7	7105.3	1403.5	991.0	2812.3	3211.6	5224.4	803.0	282.4	836.5	41284.2
0.7%	0.6%	0.4%	4.9%	17.2%	3.4%	2.4%	6.8%	7.8%	12.7%	1.9%	0.7%	2.0%	100.0%
6.0	16.0	107.7	3196.3	28373.3	21.1	11.9	18714.0	1564.4	17176.8	38.1	12.0	67.2	89696.4
0.0%	0.0%	0.1%	3.6%	31.6%	0.0%	0.0%	20.9%	1.7%	19.1%	0.0%	0.0%	0.1%	100.0%
3.0	0.0	1.0	471.0	4826.7	5.1	7.0	3688.5	281.3	7935.8	14.0	7.0	35.8	21888.8
0.0%	0.0%	0.0%	2.2%	22.1%	0.0%	0.0%	16.9%	1.3%	36.3%	0.1%	0.0%	0.2%	100.0%

Biogeografische Region	Jura	Mittelland	Alpenordflanke	Westliche Zentralalpen	Östliche Zentralalpen	Alpensüdflanke	Total
Fläche in km ²	4307.1	11168.5	11484.8	4836.5	5828.2	3669.7	41294.7
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	10.4%	27.0%	27.8%	11.7%	14.1%	8.9%	100%
<i>Solar Grosses Potential</i>							
Potential in ha	362.9	167.4	26586.0	16220.6	22966.9	23392.5	89696.3
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	0.4%	0.2%	29.6%	18.1%	25.6%	26.1%	100.0%
<i>Solar Grosses Potential alle Filter</i>							
Potential in ha	99.8	79.1	5803.3	7345.7	4519.2	4041.7	21888.7
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	0.5%	0.4%	26.5%	33.6%	20.6%	18.5%	100.0%

9.3.4 Biomasse

Resultate der Berechnung des Energiepotentials aus verholzter Biomasse auf zukünftig einwachsenden Flächen

Potentialfläche (einwachsender Wald)	Ohne Filter	Filter 2	Filter 3	Filter 6	Filter Kanton
Fläche (ha)	3839	3769	2507	2324	1771

Energiepotential	Kein Filter	Filter 2	Filter 3	Filter 6	Filter Kanton
GWh	182.8	179.5	119.4	110.7	84.3

Anhang

Kanton	ZH	BE	LU	UR	SZ	OW	NW	GL	ZG	FR	SO	BS	BL
Fläche in km2	1728.9	5961.3	1493.5	1076.8	908.2	490.6	275.9	685.0	238.7	1670.7	790.6	37.0	517.6
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	4.2%	14.4%	3.6%	2.6%	2.2%	1.2%	0.7%	1.7%	0.6%	4.0%	1.9%	0.1%	1.3%
<i>Biomasse</i>													
Potential in ha	0.0	175.3	55.4	112.0	27.0	1.0	19.0	16.0	3.0	20.0	10.0	0.0	0.0
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	0.0%	4.6%	1.4%	2.9%	0.7%	0.0%	0.5%	0.4%	0.1%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%
<i>Biomasse alle Filter</i>													
Potential in ha	0	79	16	20	17	0	9	5	0	13	0	0	0
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	0.0%	4.5%	0.9%	1.1%	1.0%	0.0%	0.5%	0.3%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%

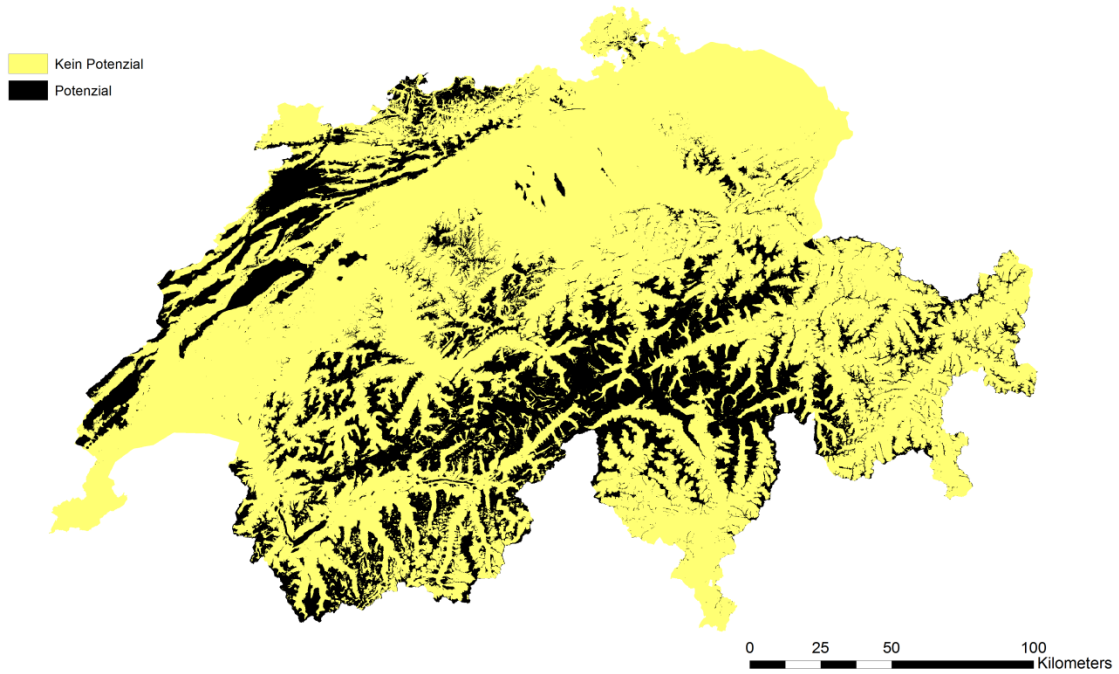
SH	AR	AI	SG	GR	AG	TG	TI	VD	VS	NE	GE	JU	Total
298.5	242.8	172.5	2025.7	7105.3	1403.5	991.0	2812.3	3211.6	5224.4	803.0	282.4	836.5	41284.2
0.7%	0.6%	0.4%	4.9%	17.2%	3.4%	2.4%	6.8%	7.8%	12.7%	1.9%	0.7%	2.0%	100.0%
0.0	2.0	0.0	30.0	773.0	0.0	0.0	751.0	64.0	1753.0	15.0	0.0	12.3	3839.0
0.0%	0.1%	0.0%	0.8%	20.1%	0.0%	0.0%	19.6%	1.7%	45.7%	0.4%	0.0%	0.3%	100.0%
0	0	0	8	113	0	0	276	20	1179	10	0	6	1771
0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	6.4%	0.0%	0.0%	15.6%	1.1%	66.6%	0.6%	0.0%	0.3%	100.0%

Biogeografische Region	Jura	Mittelland	Alpenordflanke	Westliche Zentralalpen	Östliche Zentralalpen	Alpensüdflanke	Total
Fläche in km ²	4307.1	11168.5	11484.8	4836.5	5828.2	3669.7	41294.7
Prozentualer Anteil an CH Gesamtfläche	10.4%	27.0%	27.8%	11.7%	14.1%	8.9%	100%
<i>Biomasse</i>							
Potential in ha	108	1.3	583.7	1682	570	894	3839
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	2.8%	0.0%	15.2%	43.8%	14.8%	23.3%	100.0%
<i>Biomasse alle Filter</i>							
Potential in ha	35	0	240	1117	96	283	1771
Prozentualer Anteil an CH Gesamtpotentialfläche	2.0%	0.0%	13.6%	63.1%	5.4%	16.0%	100.0%

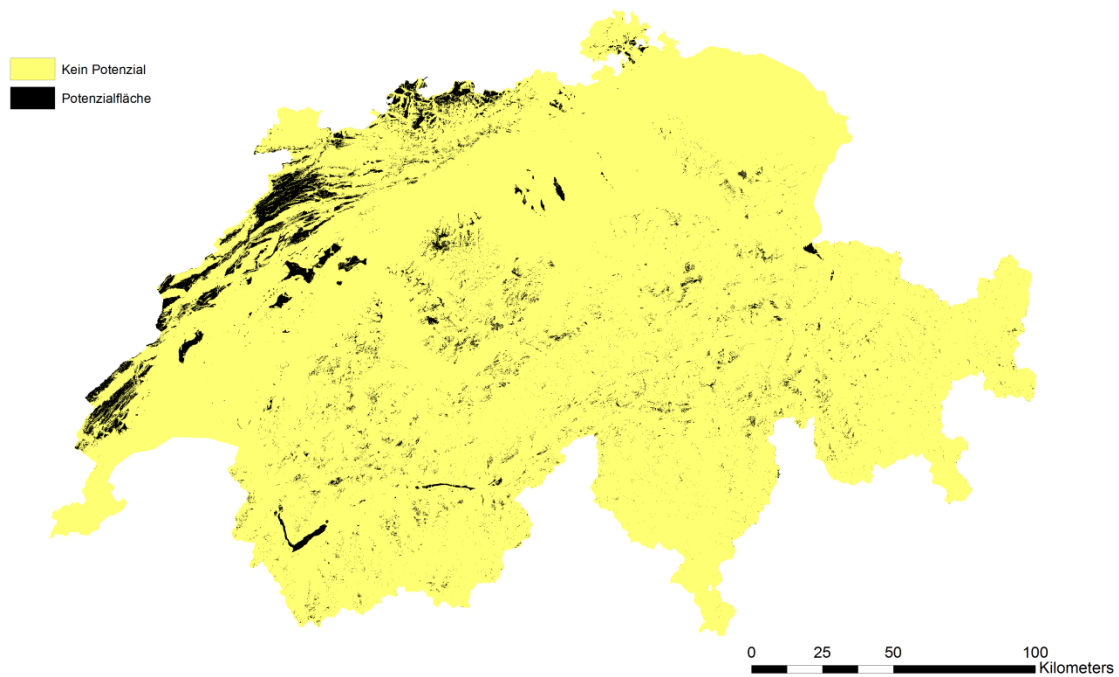
9.4 Karten

9.4.1 Windenergie

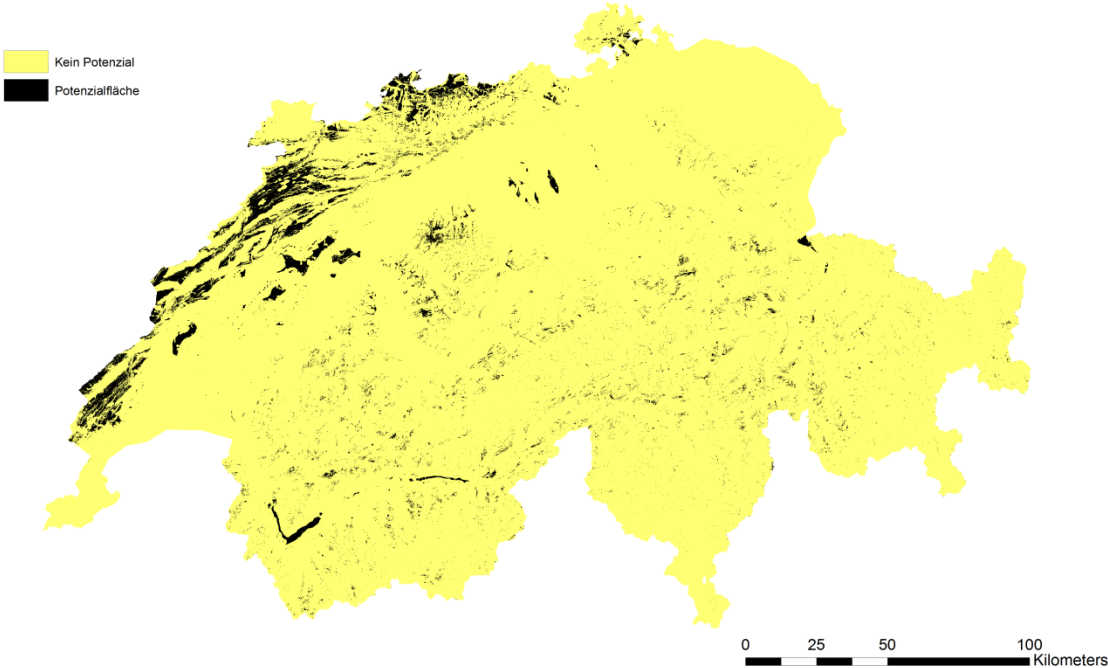
Windpotenzialgebiete ohne Filter



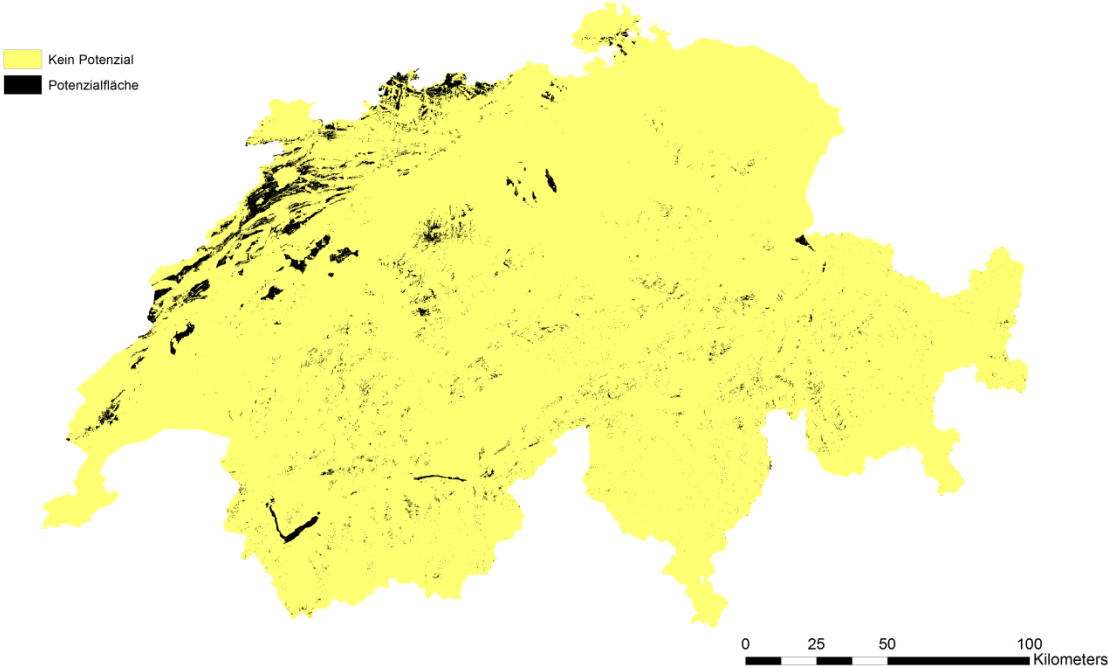
Windpotenzialgebiete Filter 1



Windpotenzialgebiete Filter 2

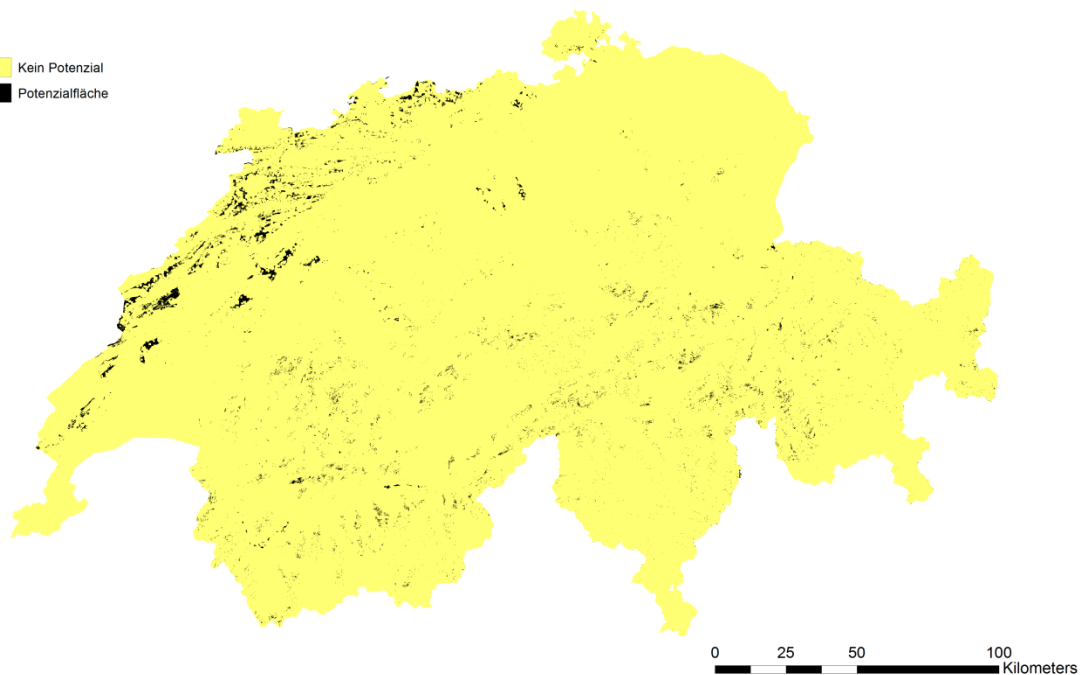


Windpotenzialgebiete Filter 3



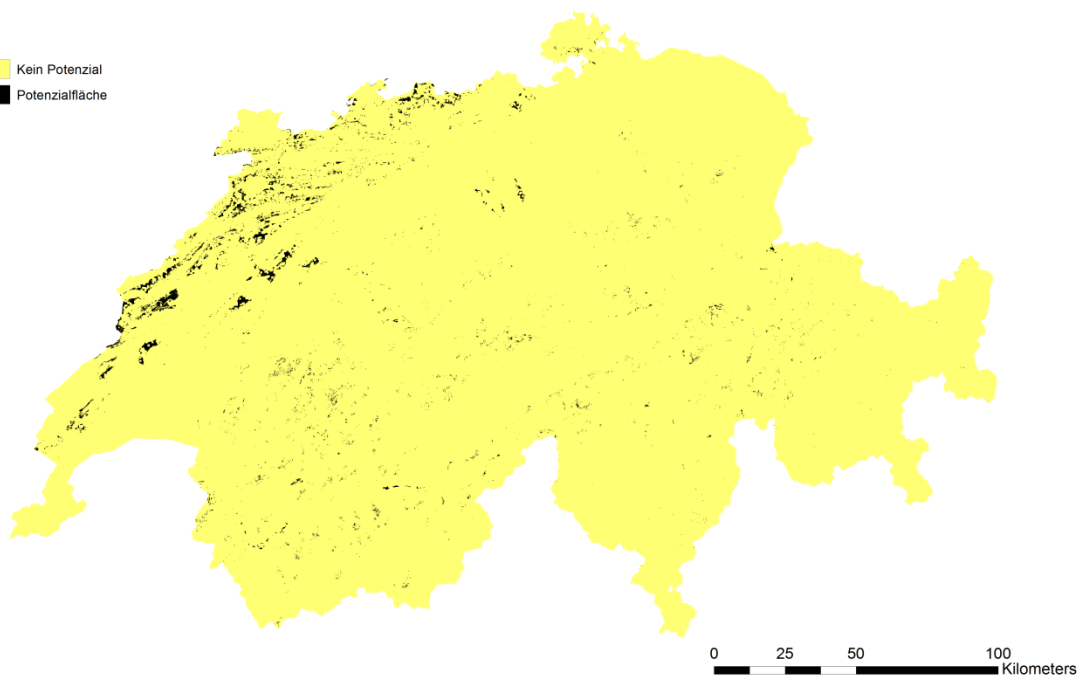
Windpotenzialgebiete Filter 4

Kein Potenzial
Potenzialfläche

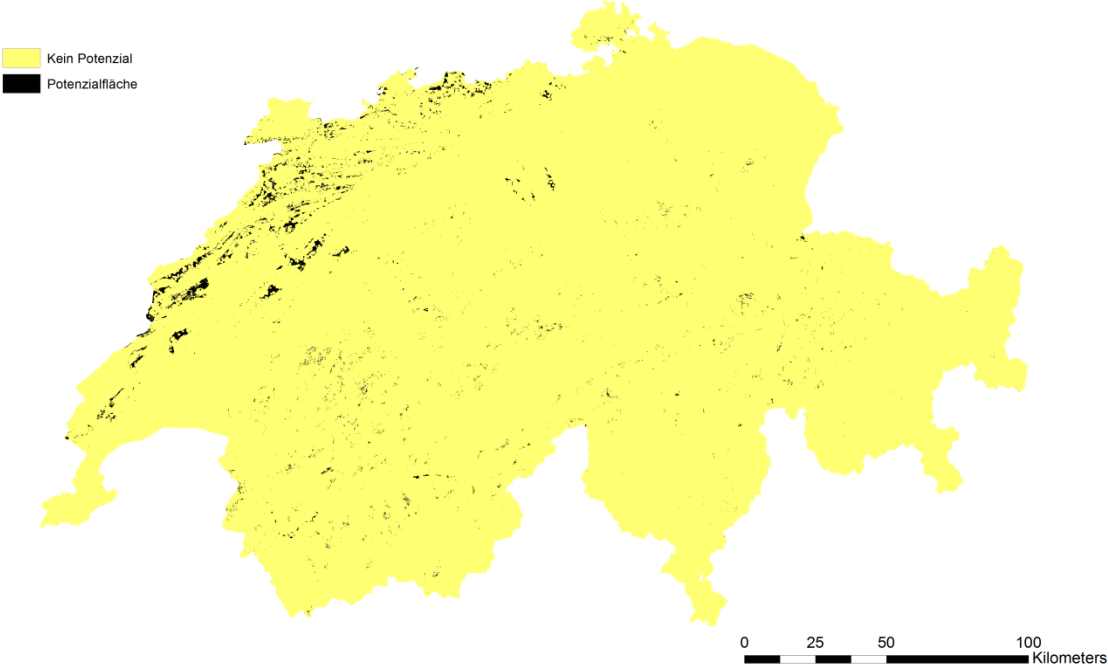


Windpotenzialgebiete Filter 5

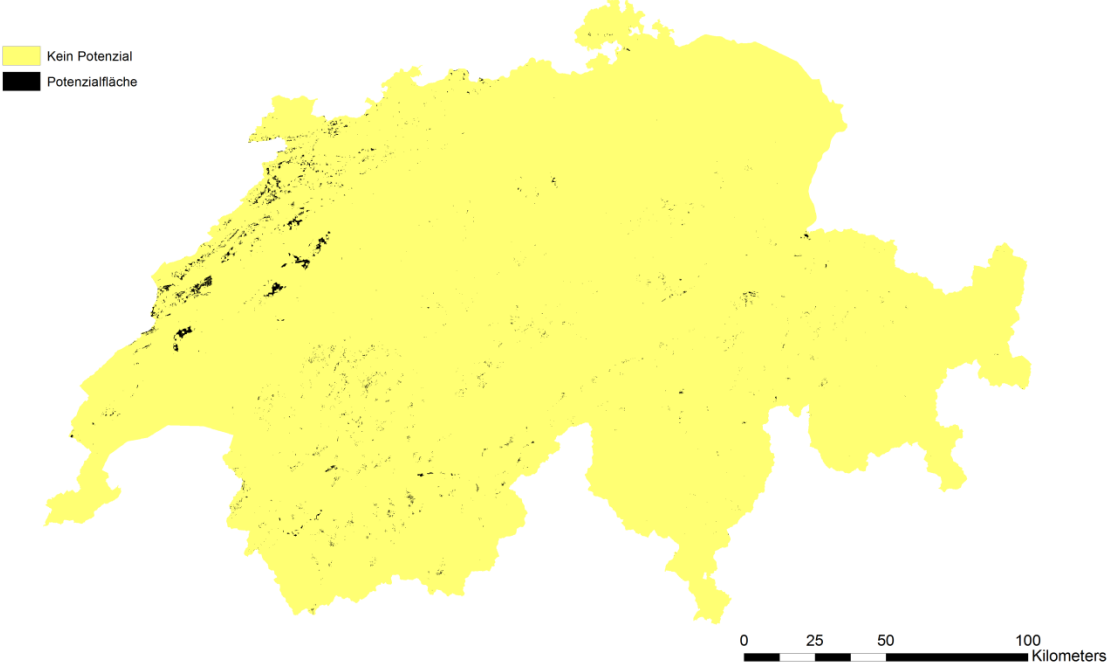
Kein Potenzial
Potenzialfläche



Windpotenzialgebiete Filter 6

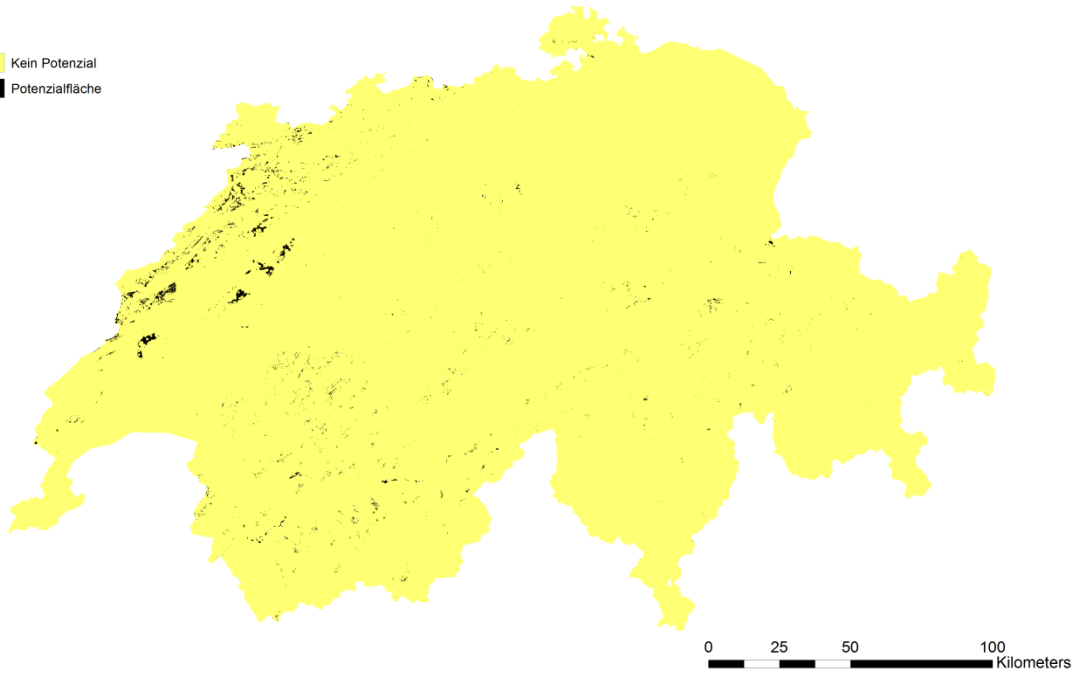


Windpotenzialgebiete Filter Kanton



Windpotenzialgebiete Filter Wald

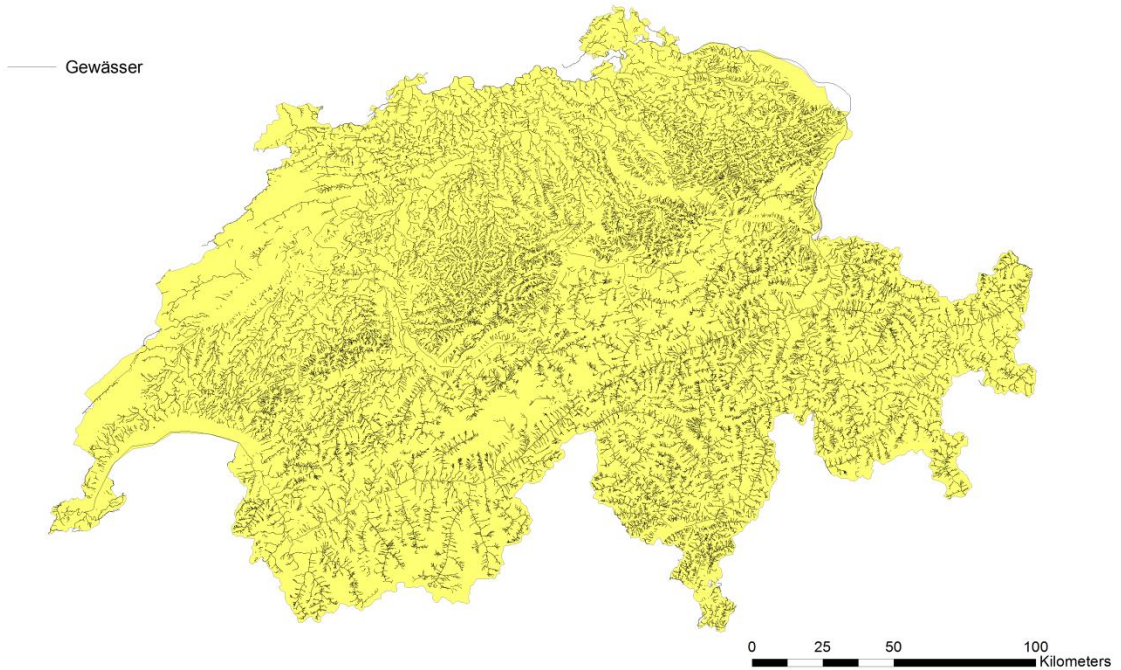
Kein Potenzial
Potenzialfläche



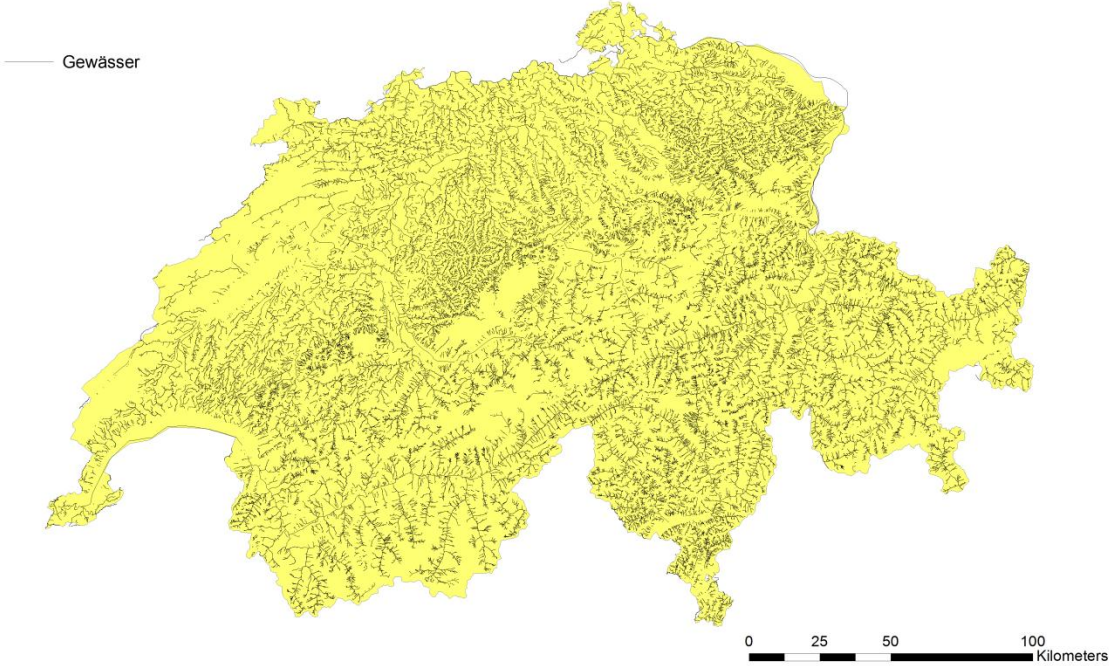
9.4.2 Kleinwasserkraft

Potenzial für Kleinwasserkraftwerke ohne Filter

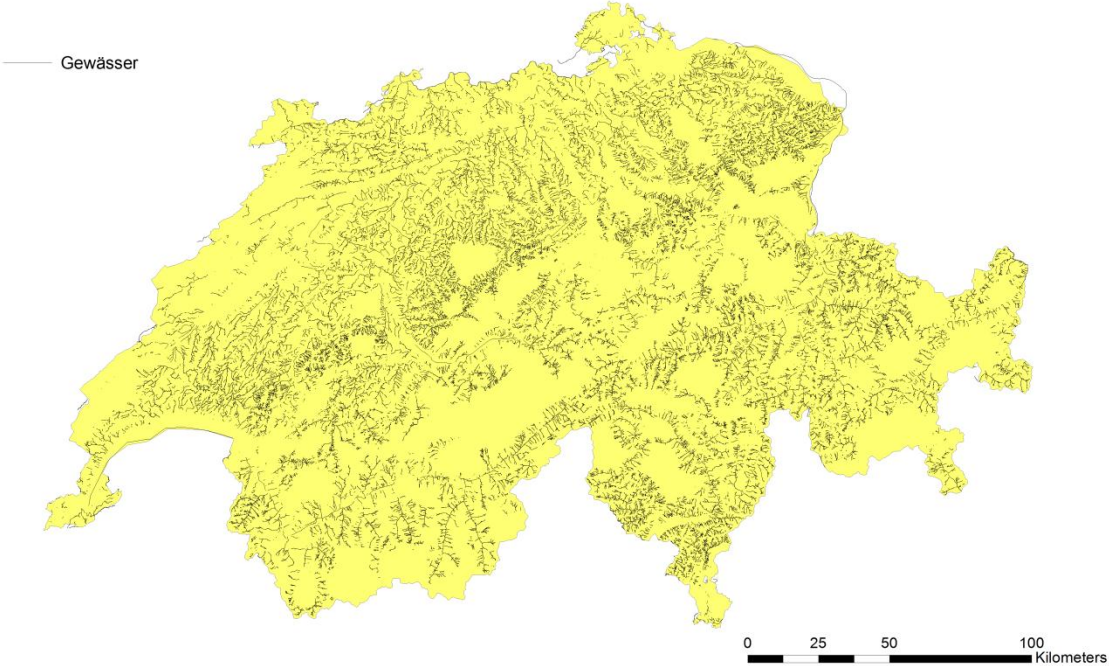
Gewässer



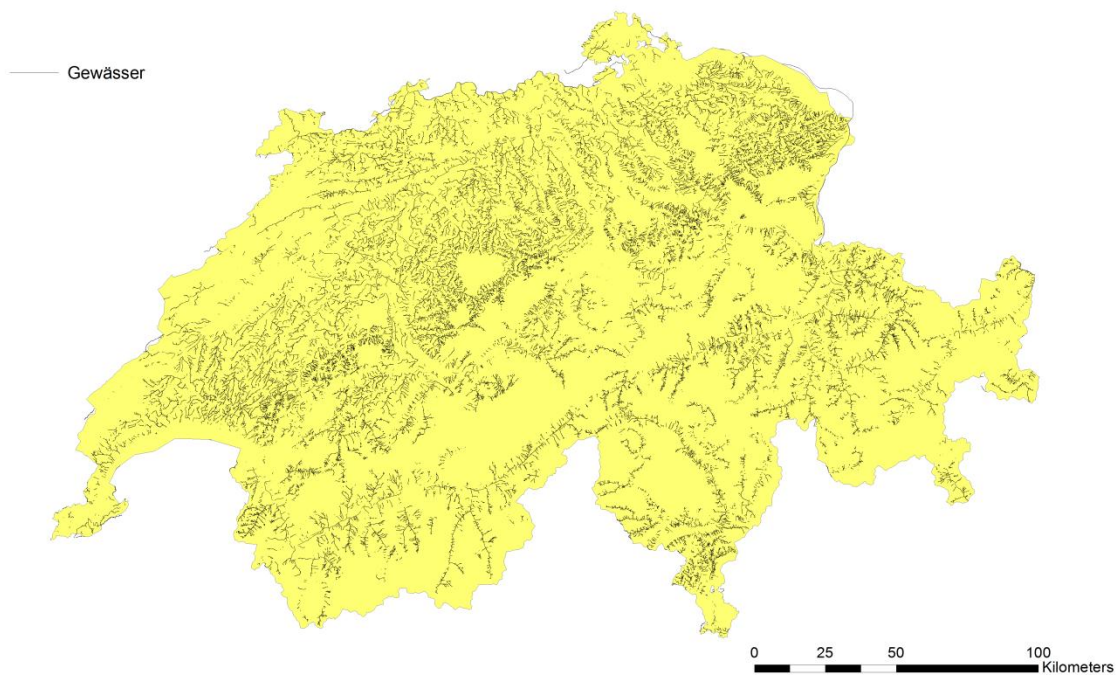
Potenzial für Kleinwasserkraftwerke Filter 2



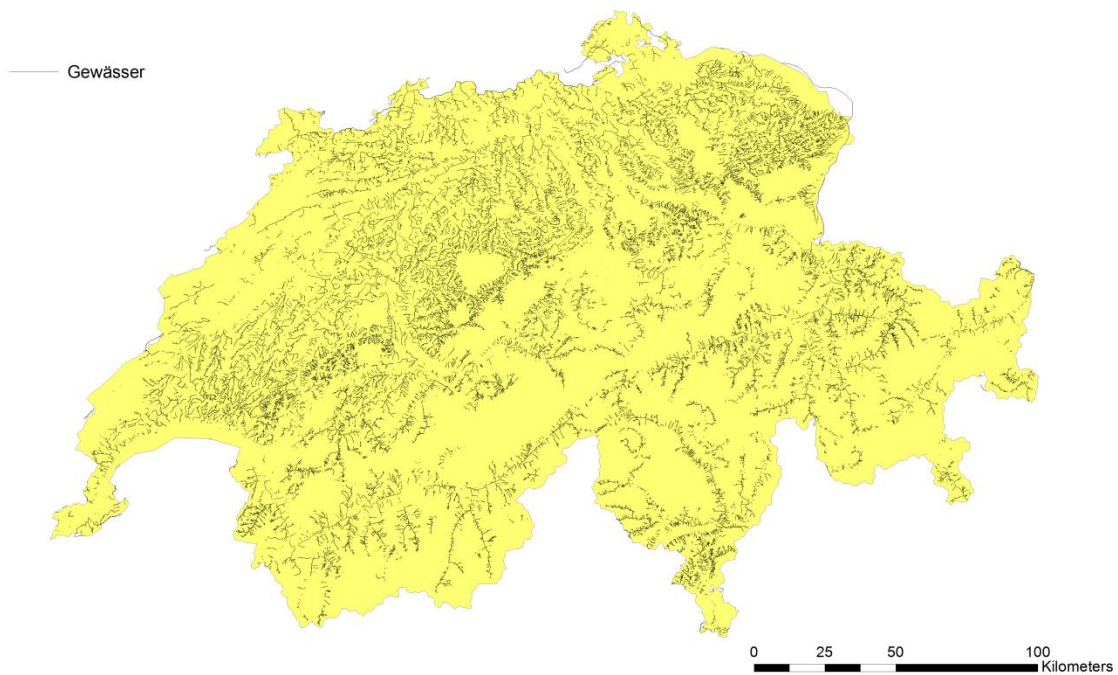
Potenzial für Kleinwasserkraftwerke Filter 3



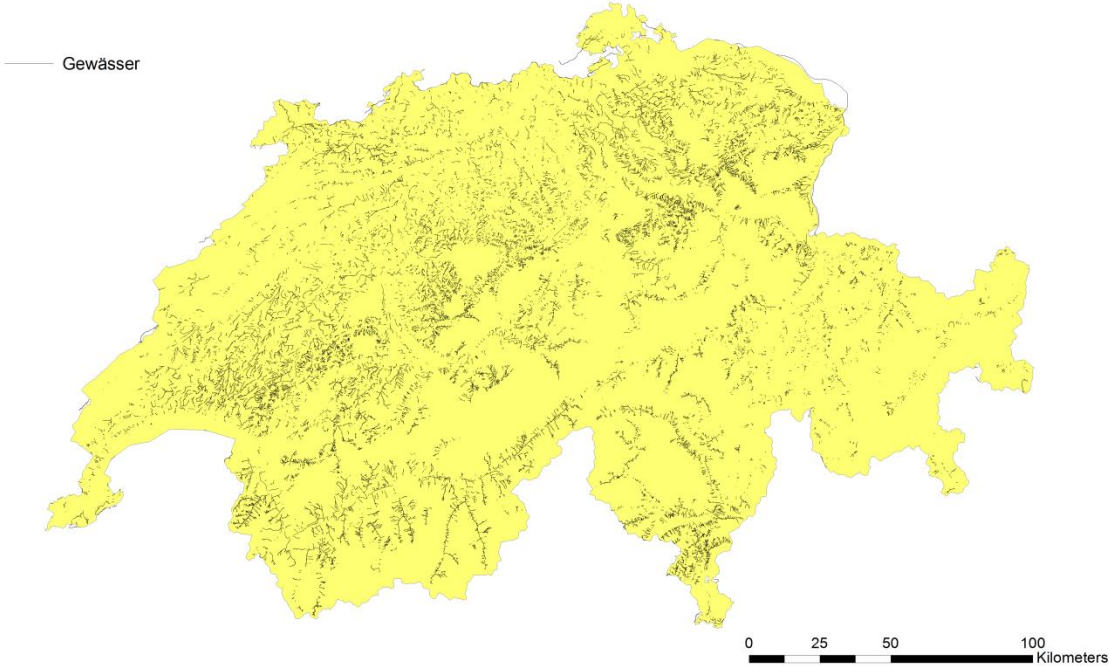
Potenzial für Kleinwasserkraftwerke Filter 5



Potenzial für Kleinwasserkraftwerke Filter 6

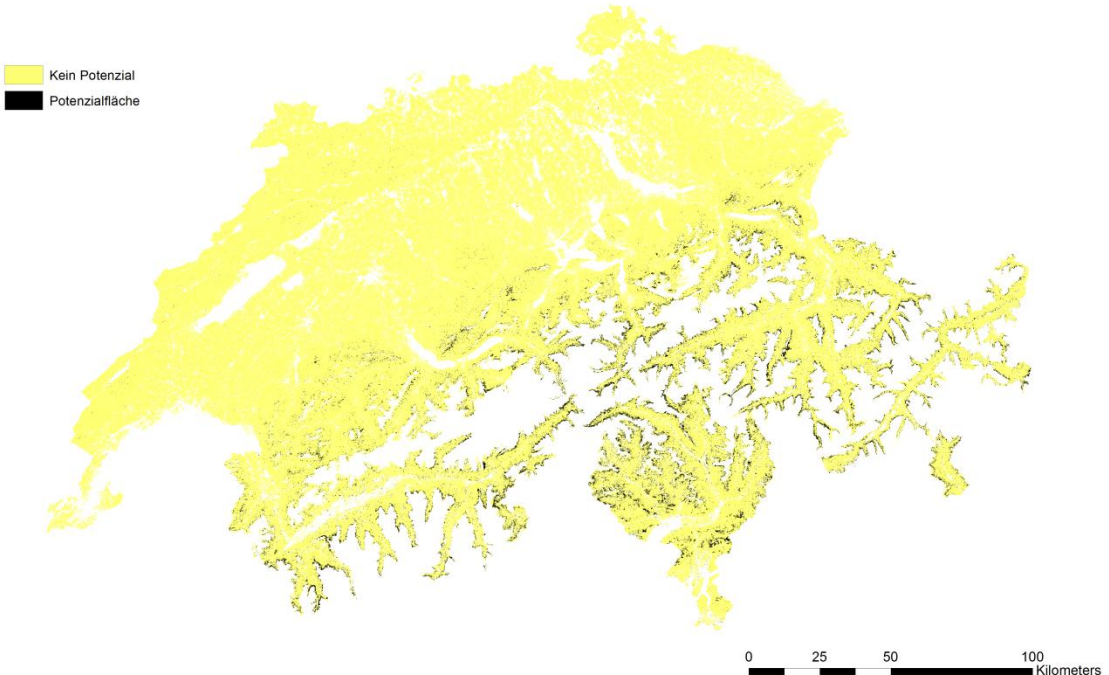


Potenzial für Kleinwasserkraftwerke Filter Kanton



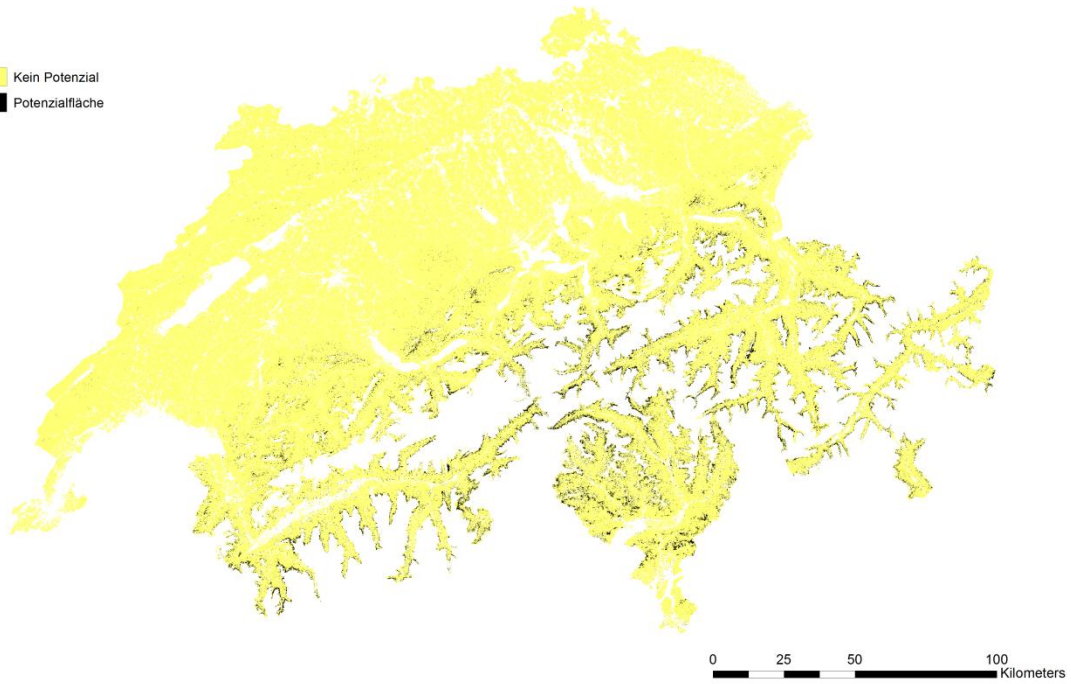
9.4.3 Solarenergie

Potenzial für Solaranlagen ohne Filter



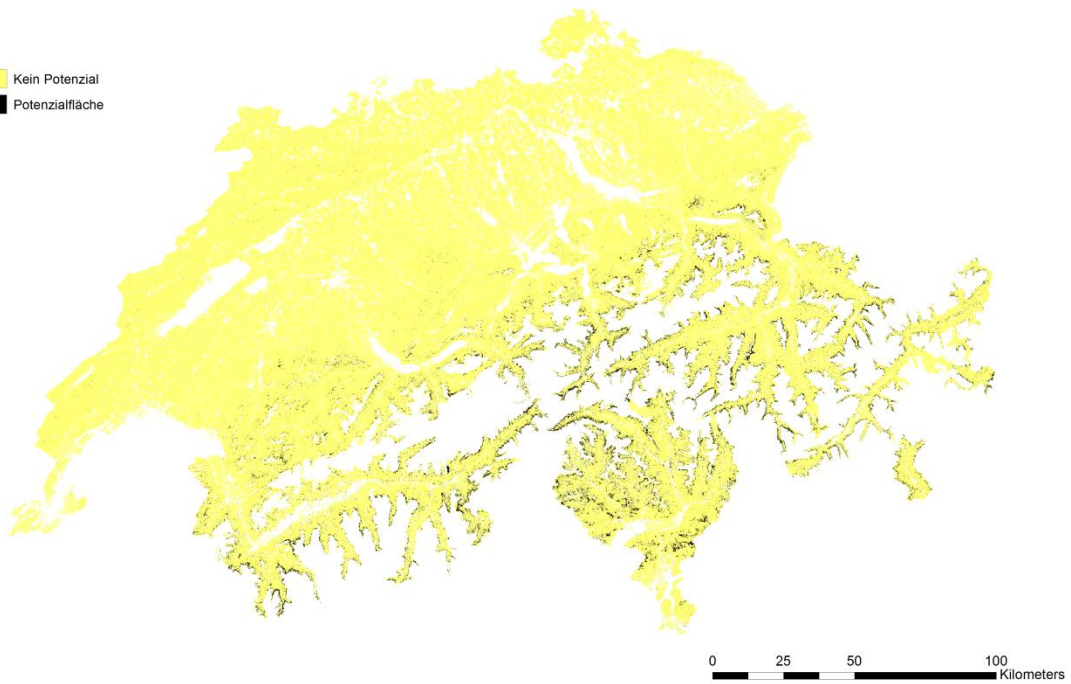
Potenzial für Solaranlagen Filter 1

Kein Potenzial
Potenzialfläche

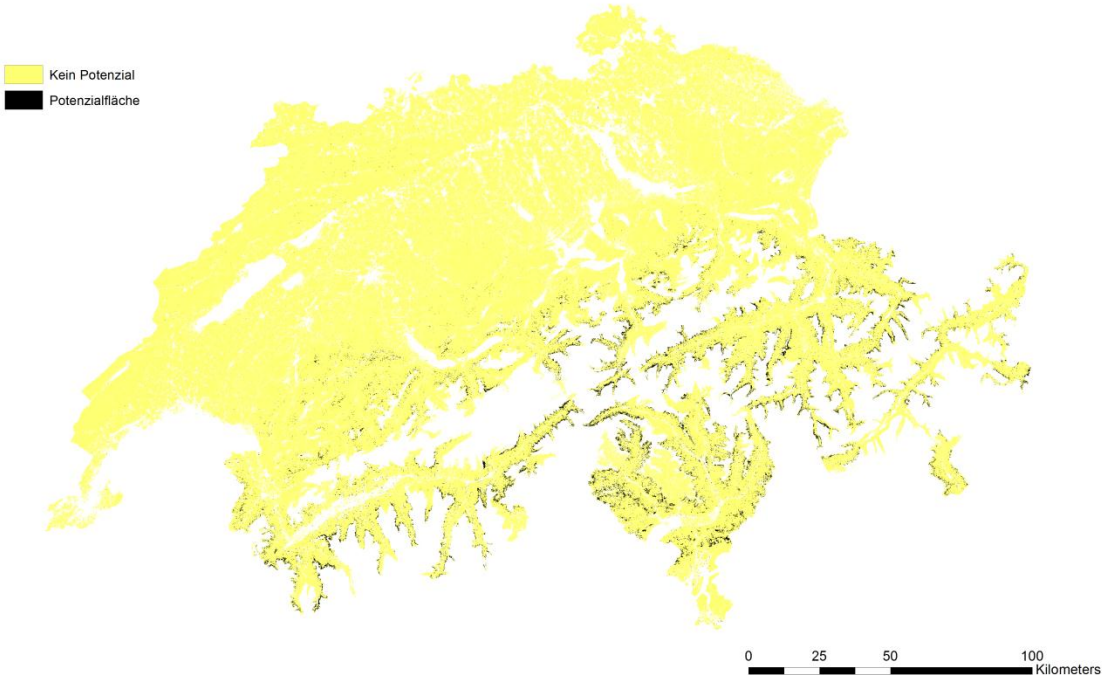


Potenzial für Solaranlagen Filter 2

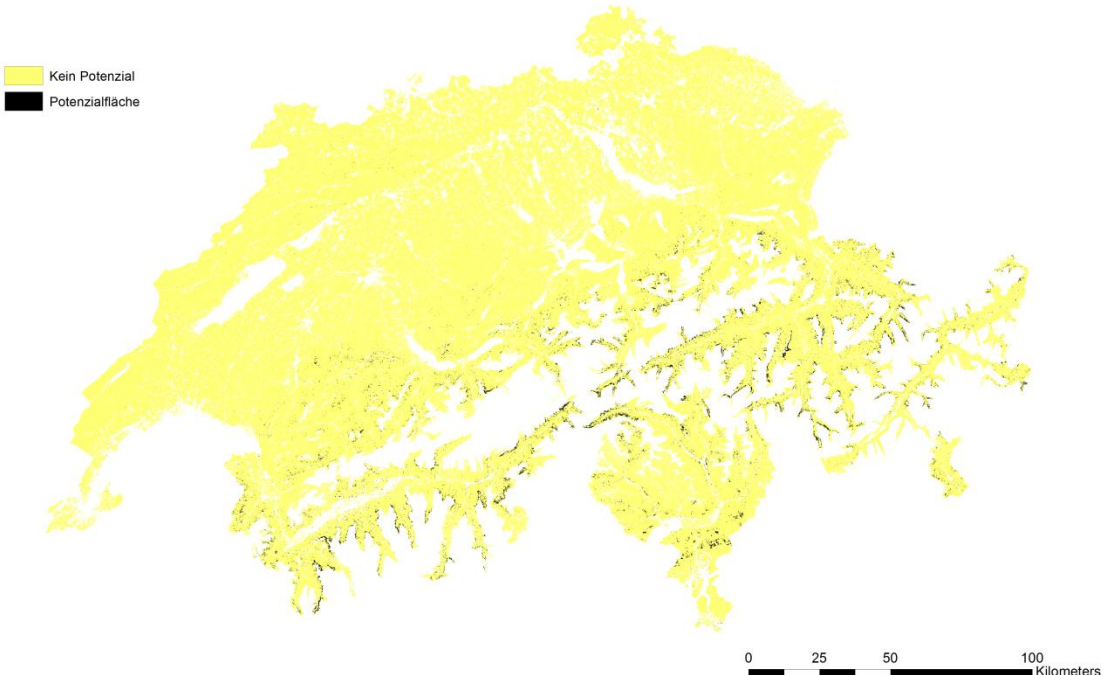
Kein Potenzial
Potenzialfläche



Potenzial für Solaranlagen Filter 3

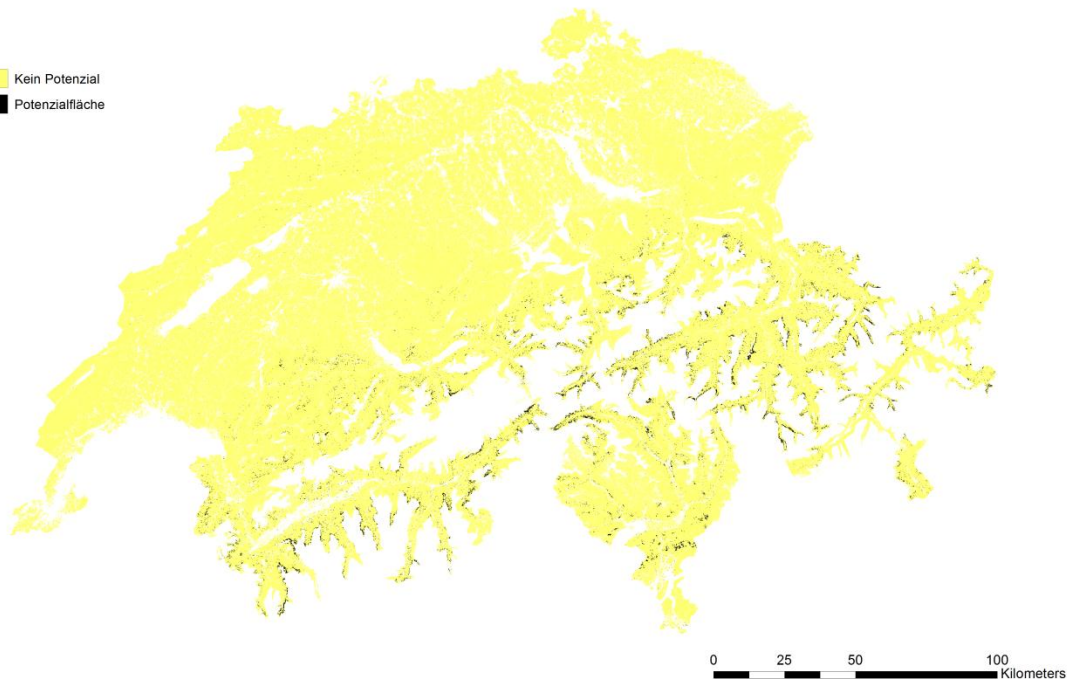


Potenzial für Solaranlagen Filter 5



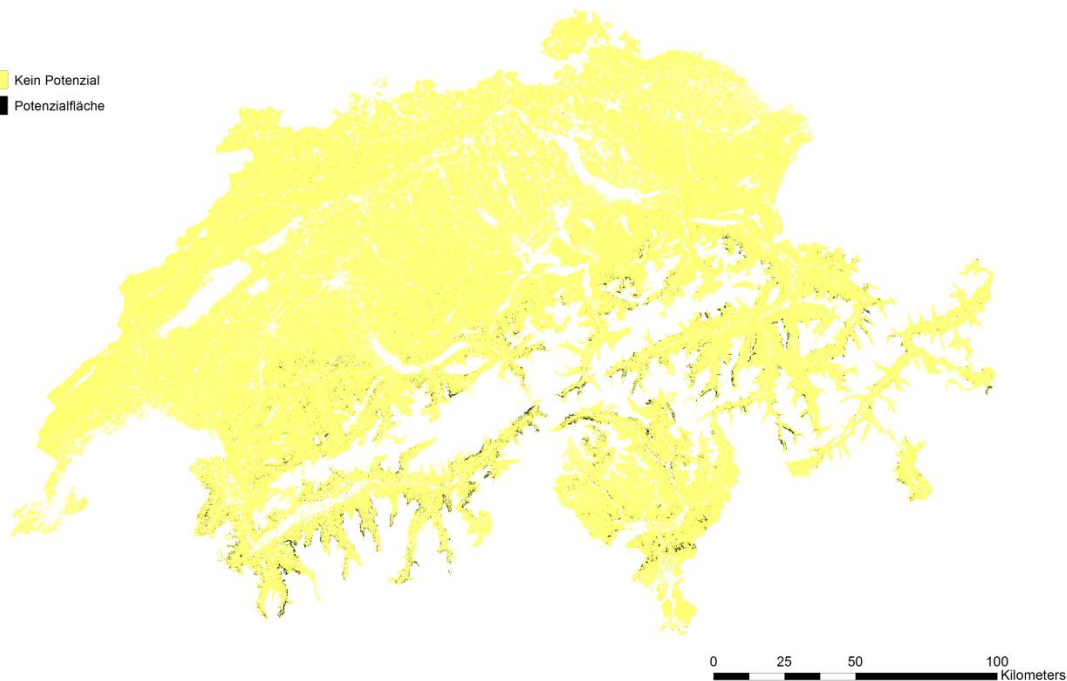
Potenzial für Solaranlagen Filter 6

Kein Potenzial
Potenzialfläche



Potenzial für Solaranlagen Filter Kanton

Kein Potenzial
Potenzialfläche



9.4.4 Biomasse

Potenzial für verholzte Biomasse ohne Filter



Potenzial für verholzte Biomasse Filter 2



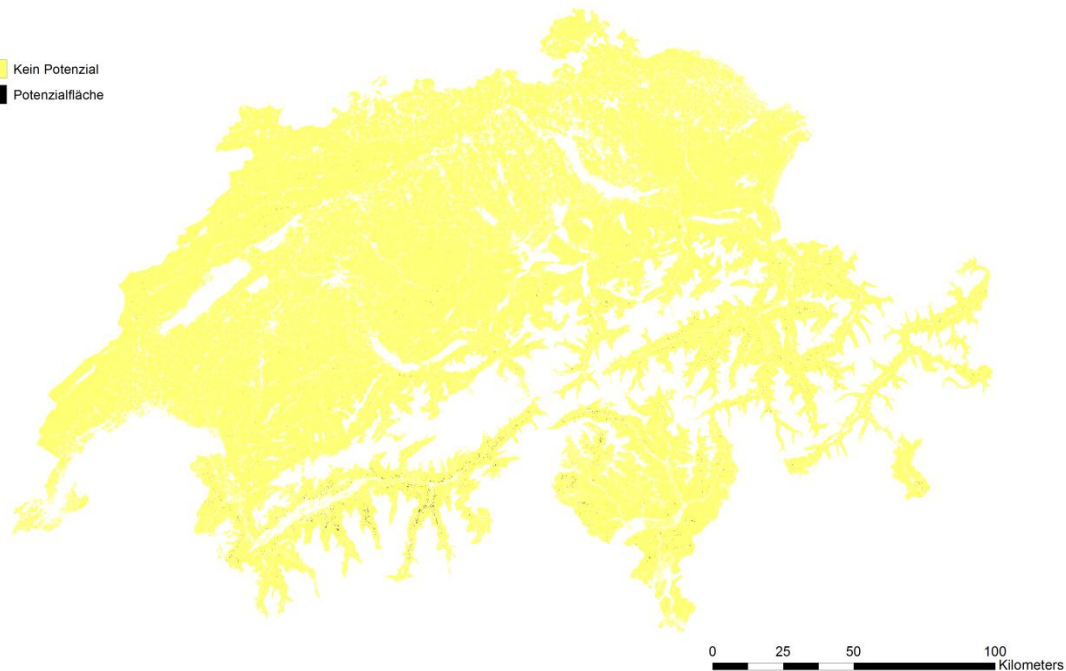
Potenzial für verholzte Biomasse Filter 3

Kein Potenzial
Potenzielfläche



Potenzial für verholzte Biomasse Filter 5

Kein Potenzial
Potenzielfläche



Potenzial für verholzte Biomasse Filter Kanton



9.5 Daten CD

Auf der beigelegten Daten CD sind die im Anhang dargestellten Karten als GIS File enthalten.