

WINDENERGIESTRATEGIE: WINTERSTROM & KLIMASCHUTZ

Analyse und Aktualisierung des Potenzials
der Windenergie in der Schweiz

Inhalt

1. ZUSAMMENFASSUNG	4
2. EINLEITUNG	7
3. WINDENERGIE: KONTEXT	8
3.1 WELTWEIT	8
3.2 EUROPA	11
3.3 ANGRENZENDE REGIONEN	12
3.4 SCHWEIZER WINDPARKS IM AUSLAND	13
3.5 SCHWEIZ	14
4. TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG	19
4.1 ENTWICKLUNG IM LETZTEN JAHRZEHNT	19
4.2 AUSBLICK	22
5. SITUATION IN DER SCHWEIZ	23
5.1 BILANZ ÜBER DIE ENTWICKLUNG DER WINDENERGIE	23
5.2 GRÜNDE FÜR DIE VERZÖGERUNGEN UND BLOCKADEN	25
5.3 ENTWICKLUNG IN DER SCHWEIZ IM VERGLEICH	27
6. ANALYSE DES WINDENERGIEPOTENZIALS IN DER SCHWEIZ	28
6.1 AKTUALISIERUNG DES POTENZIALS	28
6.2 EINBEZIEHUNG DES ALPINEN KONTEXTES	31
6.3 VORTEILE DER WINDENERGIE	31
6.4 NEUES ZIEL FÜR SCHWEIZER WINDENERGIE	33
6.5 UMSETZUNG IM RAHMEN DER SCHWEIZER PLANUNG	34
7. ENERGIESZENARIO VON SUISSE EOLE – NOTWENDIGKEIT DER WINDENERGIE	35
7.1 GRUNDANNAHMEN UND REFERENZEN	36
7.2 SZENARIO A	38
7.3 SZENARIO B	39
7.4 SZENARIO C	40
7.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN SIMULATIONEN	41
8. SCHLUSSFOLGERUNG	42
BIBLIOGRAFIE	43

Autor/in:

Suisse Eole

In Zusammenarbeit mit:

EnergieSchweiz



Bundesamt für Energie (BFE)

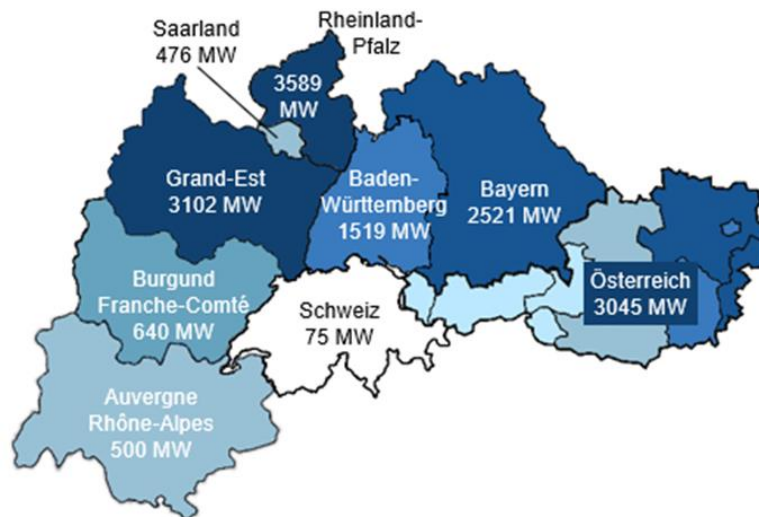


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

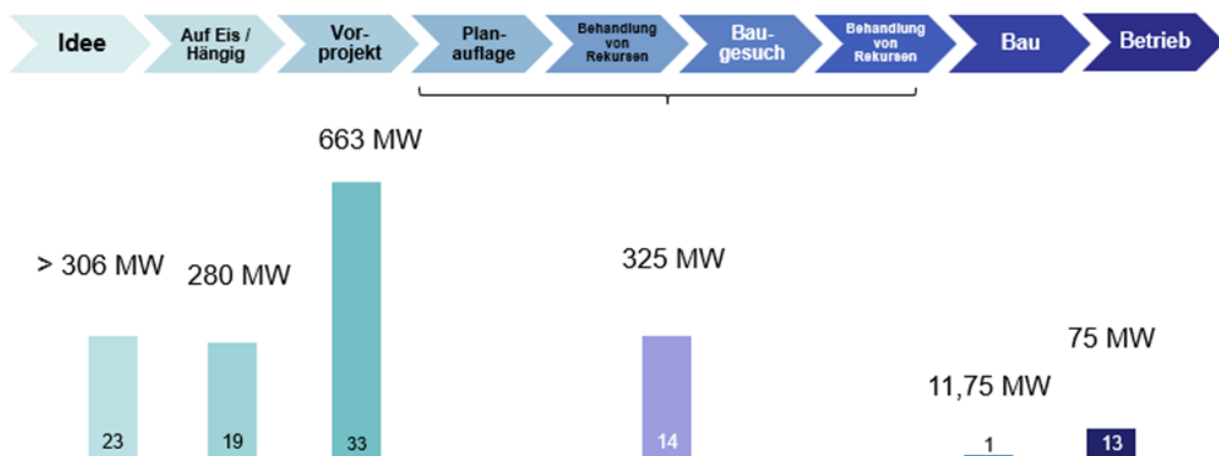
1. Zusammenfassung

Die von Suisse Eole im Rahmen der **Windenergiestrategie: Winterstrom & Klimaschutz** durchgeführte Studie beinhaltet eine regionale und globale Bilanz der Windenergienutzung sowie eine Potenzialanalyse für die Schweiz. Kontextanalysen weltweit haben aufgezeigt, dass die Windenergie alle ihre Realisierungsziele übertroffen hat. Beispielsweise in Dänemark deckt sie heute an windreichen Tagen bis zu 115 % des Verbrauchs ab. Das Wachstum der Windenergie ist kontinuierlich und geht mit einer Verdoppelung der installierten Leistung alle drei Jahre einher¹. Die Windkraft ist heute eine der wettbewerbsfähigsten Energieformen und dürfte in weniger als einem Jahrzehnt zur führenden Stromquelle Europas aufsteigen.



Installierte Windenergieleistung in der Schweiz und in den angrenzenden Regionen [Suisse Eole]

Die Betrachtung der Situation in der Schweiz zeigt jedoch ein weniger rosiges Bild: Seit über einem Jahrzehnt stagniert die Entwicklung der Windenergie und die Projekte haben mit komplexen Planungs- und Gerichtsverfahren zu kämpfen. Die für 2020 gesetzten Ziele würden erreicht, wenn die Projekte nicht durch Verfahren blockiert wären. Trotz der hohen allgemeinen Akzeptanz behindern systematische Beschwerden von Einzelpersonen, Verbänden und Vereinen die von den Schweizer Bürgerinnen und Bürgern gewünschte Energiewende. Von den Projekten, für die ein Baubewilligungsverfahren aufgenommen wurde, sind zurzeit fast 4 von 5 MW bei den Rechtsinstanzen blockiert, was dazu führt, dass die vom Bund für 2020 gesetzten Ziele nicht rechtzeitig erreicht werden können.

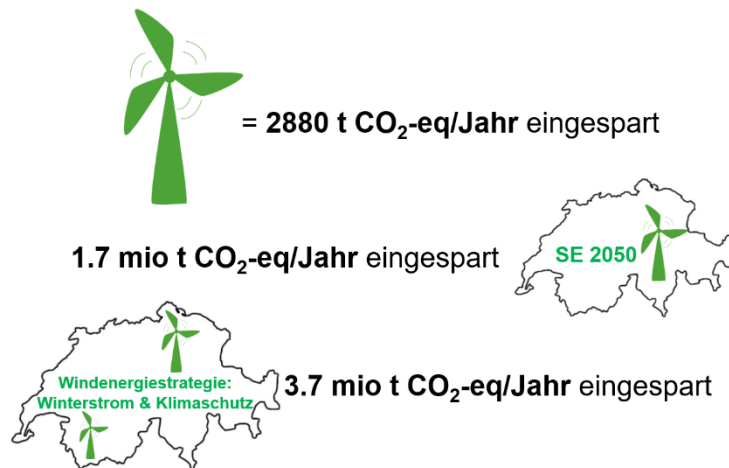


Stand der Planung von Windenergieprojekten in der Schweiz, Ende 2019 (geplante Leistung und Anzahl Projekte) [Suisse Eole]

¹ <https://gwec.net/>

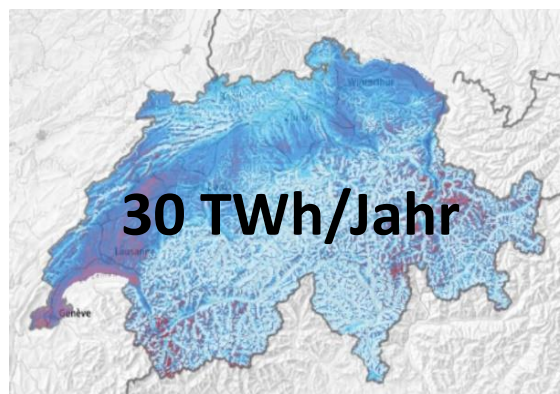
Langwierige Verfahren zwingen die Schweizer Projektentwickler sich im Ausland umzusehen, um ihre Ziele im Bereich der erneuerbaren Energien zu erreichen. Dies stellt für die Schweiz einen enormen Verlust dar, denn an Projekten fehlt es nicht: Das für 2035 gesetzte Ziel kann mit den geplanten Projekten von insgesamt rund 1000 MW sogar übertroffen werden und das Windenergie-Know-how ist vorhanden.

Die Windkraft weist mit 15 g CO₂-eq/kWh die beste Ökobilanz unter den neuen erneuerbaren Energien auf und spart im Vergleich zum importierten Energiemix 412 g CO₂-eq/kWh ein. Auch die Gesamtauswirkungen auf die Umwelt gehören zu den geringsten.



Eingesparte CO₂-Menge dank der Windenergie [Suisse Eole]

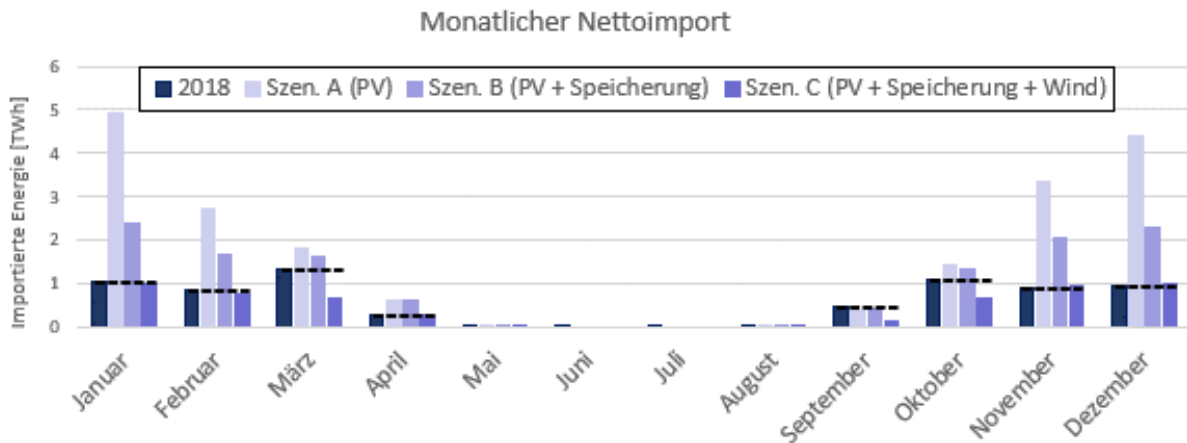
Zudem sind die Windverhältnisse in der Schweiz hervorragend bzw. ebenso gut wie jene der Nachbarländer, was schweizerische und europäische Windatlasse beweisen. Darüber hinaus ermöglichen technologische Entwicklungen seit der Jahrtausendwende, viele Windenergie-Standorte wirtschaftlich zu nutzen, ohne die Auswirkungen auf die Umwelt durch den Bau von Windenergieanlagen unverhältnismässig zu erhöhen. Trotz gewisser regulatorischer oder technischer Einschränkungen steigen sowohl die Leistung wie auch die Produktivität der Anlagen stark an, sodass das Windenergiepotenzial nach oben korrigiert werden kann. Vor diesem Hintergrund beläuft sich das in der Schweiz umsetzbare nachhaltige Windenergiepotenzial auf 30 TWh/Jahr. Dieser erhebliche Anstieg gegenüber älteren Studien ist auf die technischen Fortschritte und besseren Kenntnisse der Windverhältnisse in höheren Lagen zurückzuführen.



Nachhaltiges Windenergiepotenzial in der Schweiz [Suisse Eole]

Suisse Eole ist zum Schluss gekommen, dass die Nutzung von 30 % dieses Potenzials möglich und notwendig ist: Ein Ziel von 9 TWh Windenergie im Jahr 2050 ist für die Schweiz realistisch, ohne dass die Anzahl der vom Bund geplanten Windkraftanlagen erhöht werden muss. Die Simulation der stündlichen Lastflüsse verschiedener Energieszenarien zeigen die Notwendigkeit von Windkraft auf, denn diese bietet wertvolle Vorteile in Bezug auf einen breiten Energiemix und die Versorgungssicherheit in der Schweiz. Die Stärke der Windenergie in der Schweiz liegt insbesondere in ihrer Komplementarität auf zwei Ebenen: Einerseits in der

saisonalen Komplementarität, denn die Windkraftanlagen produzieren zwei Drittel ihrer Energie während der Winterperiode (Oktober bis März), wenn die Stromnachfrage am höchsten ist. Andererseits in der territorialen Komplementarität, denn die Windverhältnisse der verschiedenen Regionen der Schweiz ermöglichen, dass zu jeder Zeit in mindestens einer Region Windstrom produziert und somit Strom ins Netz eingespeist werden kann. Diese Komplementarität macht die Windenergie zu einer einzigartigen und wertvollen Energiequelle, um andere erneuerbare Energien und die saisonale Speicherung zu ergänzen. Zusammen mit der Sonnen- und Wasserkraft sowie in Kombination mit Saisonspeichern kann die Windkraft dazu beitragen, dass die Schweiz nicht noch abhängiger vom Ausland wird und die Importe auf dem derzeitigen Niveau halten kann.



Stellung der Windkraft im Schweizer Strommix: Im Winter vermag die Windenergie allein die Importe von ausländischem Strom auf dem heutigen Niveau zu halten [Suisse Eole]

Mit dem neuen Ziel von jährlich 9 TWh Windenergie – davon 6 TWh im Winter – wird die Windenergie einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende in der Schweiz und zur Erfüllung der 2016 in Paris unterzeichneten Verpflichtungen leisten. Doch um dieses Ziel zu erreichen, braucht die Schweiz geeignete Rahmenbedingungen und kurze, klare Verfahren.

2. Einleitung

Jung und Alt gehen auf der ganzen Welt für das Klima auf die Strasse und fordern ein umgehendes, starkes und konsequentes politisches Handeln. Die Schweiz bildet da keine Ausnahme und die Zeit ist reif dafür, dass auch wir unsere Energieversorgung und Klimasituation kritisch analysieren.

Unter allen Diskussionen und Debatten nimmt die Energieversorgung einen zentralen Platz ein. Mit der Annahme der Energiestrategie 2050 des Bundesrates im Jahr 2017 ebnete die Schweizer Bevölkerung bereits den Weg für Energieeffizienz, Atomausstieg, Umbau der Stromnetze und erneuerbare Energien. Auch wenn einige die Erreichbarkeit der Ziele bis 2050 in Frage stellen, zeigen zahlreiche Beispiele, dass die Schweiz bereits auf dem richtigen Weg ist und dass diese Ziele angesichts der technologischen Fortschritte und des Mentalitätswandels erreichbar sind bzw. in einigen Fällen sogar weit überschritten werden können. Die Ziele können demnach erreicht werden, vorausgesetzt, dass der Bund Massnahmen für die Energiewende zügig umsetzt.

Eine der vorgesehenen Massnahmen zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie ist die Beschleunigung der Verfahren im Zusammenhang mit der Nutzung neuer erneuerbarer Energien und mit der Erneuerung des Stromnetzes. Für die Windenergie ist die Beschleunigung der Verfahren umso wichtiger, als einige laufende Verfahren Windparkprojekte betreffen, die bereits vor über 20 Jahren lanciert wurden. Sie stecken in Bewilligungsverfahren fest, obwohl die Bevölkerung diese Energiequelle mehrheitlich unterstützt. Die Schweiz erreicht 2020 den ersten Meilenstein in den vom Bund verabschiedeten Energieszenarien. Dieser sieht zu diesem Zeitpunkt eine Produktion von 4'400 GWh durch neue erneuerbare Energien², davon über 600 GWh durch Windkraft³, vor. Mit den 130 GWh, die heute von den 37 Schweizer Windkraftanlagen erzeugt werden, bleibt noch viel zu tun, um den seit Anfang dieses Jahrtausends entstandenen Rückstand aufzuholen.

In einer Zeit, in der die technologischen Fortschritte neue Perspektiven eröffnen und das Wissen über die Windverhältnisse stetig zunimmt, zieht Suisse Eole Bilanz und definiert die Ziele unter Beachtung des aktuellen Wissensstands im Bereich der Windenergie neu. Ziel der **Windenergiestrategie: Winterstrom & Klimaschutz** ist es, ein realistisches Bild der aktuellen Situation und des Entwicklungspotenzials für Windenergie zu liefern, aber auch die Massnahmen aufzuzeigen, die rasch getroffen werden müssen, um bei der Energiewende nicht noch stärker ins Hintertreffen zu geraten. Darüber hinaus präsentiert Suisse Eole ein neues Energieszenario und bekräftigt die Schlüsselposition, die die Windenergie dank ihrer einzigartigen Vorteile im Schweizer Energiemix einnimmt. Aufgrund ihrer perfekten Komplementarität mit den anderen erneuerbaren Energien ist die Windenergie eine der Schlüsselenergien, um die Stromimporte und damit die CO₂-Emissionen, insbesondere im Winter, zu reduzieren.

²[Energiestrategie 2050 nach dem Inkrafttreten des neuen Energiegesetzes](#)

³[Energieperspektiven 2050 – Zusammenfassung](#)

3. Windenergie: Kontext

Die Nutzung der Windkraft durch den Menschen reicht bis in die Antike zurück, wo sie bereits in Mesopotamien und später in Persien und China in Verbindung mit der Landwirtschaft genutzt wurde. Doch die eigentliche Stromerzeugung aus Windenergie begann erst Ende des 19. Jahrhunderts mit dem Bau des ersten vollautomatischen Windrades zur Stromproduktion in den USA. Ein Jahrhundert später, im Jahr 1980, folgte die Installation der ersten 55-kW-Windturbinen in Dänemark im Rahmen eines nationalen Forschungsprogramms, das den eigentlichen Grundstein zur Entwicklung der Windenergie legte.

Seitdem werden die Technologie und der Markt laufend weiterentwickelt und an die Bedürfnisse der Gesellschaft angepasst. Fast vierzig Jahre später erreicht die gesamte weltweit installierte Windkraftleistung an die 600 GW und der Windstromanteil an der weltweiten Stromerzeugung betrug 2018 fast 6 %. Ständig sinkende Kosten, technische Weiterentwicklungen und neue Geschäftsmodelle tragen dazu bei, diese erneuerbare Energiequelle zu einer der wettbewerbsfähigsten zu machen.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die globale und die regionale Situation und veranschaulicht diese mit Kennzahlen für die Welt, Europa und die Schweiz.

3.1 Weltweit

3.1.1 Statistik

Ende 2018 trug die Windenergie mit einer installierten Gesamtleistung von 591 GW in über 100 Ländern – wovon 51,3 GW im Jahr 2018 in Betrieb genommen wurden – dazu bei, fast 6 % des weltweiten Stromverbrauchs zu decken. Dabei ist seit 2014 eine gewisse Stabilität von mehr als 50 GW jährlich neu installierter Leistung sowie ein erwarteter Trend bis 2023 von über 55 GW zusätzlicher Leistung pro Jahr hervorzuheben⁴.

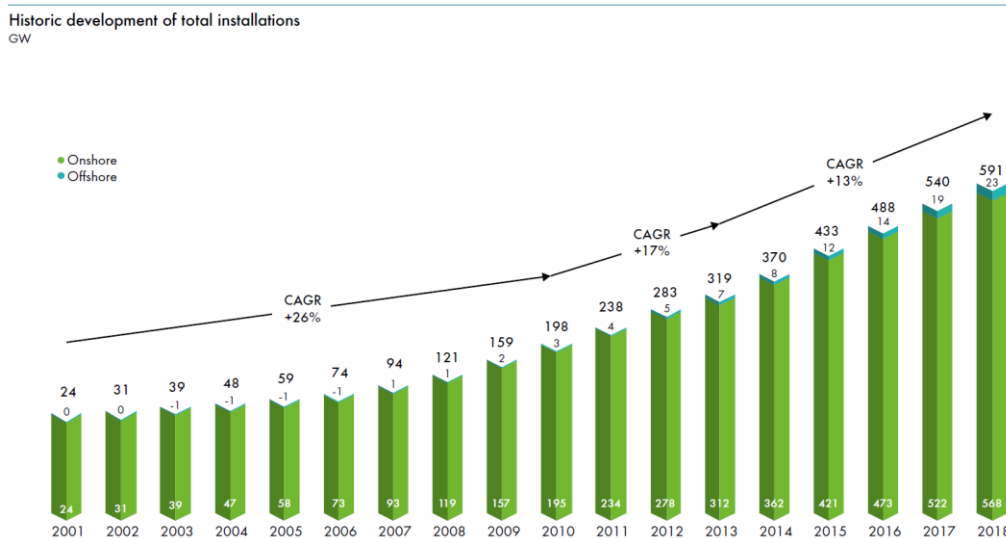


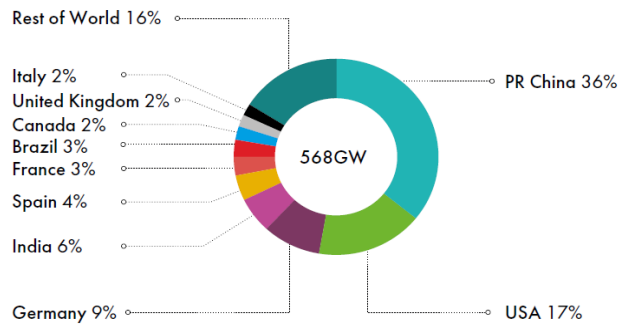
Abbildung 1: Entwicklung der weltweit installierten Gesamtleistung der Windenergie im 21. Jahrhundert mit durchschnittlicher jährlicher Wachstumsrate [2]

Weltweit führend in diesem Bereich sind China, die USA, Deutschland und Indien, dicht gefolgt von Spanien, die zusammen mehr als 70 % der installierten Onshore-Leistung ausmachen. Grossbritannien zeichnet sich durch eine installierte Offshore-Leistung von fast 8 GW aus und führt die Rangliste vor Deutschland und China an⁵. Betrachtet man die installierte Windenergieleistung pro Kopf, so zeigt sich sogar, dass es Dänemark, Irland, Deutschland, Schweden und Portugal [1] – Länder mit vergleichbarer Grösse wie die Schweiz – unter die Top 5 schaffen:

⁴ data.worldbank.org, yearbook.enerdata.net, REN21 [1]

⁵ GWEC, „Global Wind Report 2018“, 2019

Total installations onshore



Total installations offshore

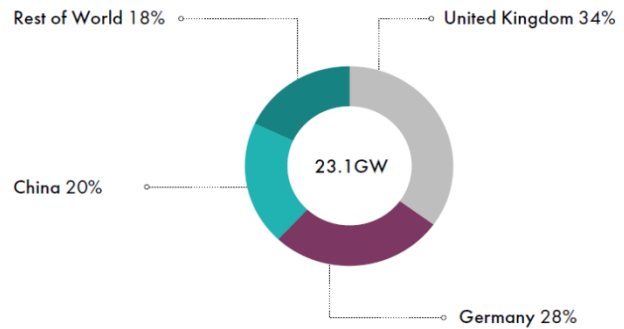


Abbildung 2: Verteilung der weltweit installierten Gesamtleistung der Windenergie [2]

Die Windenergie ist auf Wachstumskurs und stellt in vielen Teilen der Welt eine geeignete Lösung für die regionale Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie dar. In mindestens 12 Ländern deckte Windstrom im Jahr 2018 im Durchschnitt mehr als 10 % des Verbrauchs, in Dänemark sogar fast 50 %. An den windigsten Tagen vermochte die dänische Windkraft sogar bis zu 115 % des nationalen Stromverbrauchs zu decken. Dies zeigt, dass ein Energiemix mit einem hohen Anteil an Windkraft bereits heute absolut machbar ist [1].

3.1.2 Wirtschaftliche Erwägungen

Sowohl für Onshore- wie auch Offshore-Windenergie zeigt die Tendenz der Kosten nach unten. Zu den entscheidenden Faktoren für diese Entwicklung gehören die Anpassung der Geschäftsmodelle der verschiedenen Akteure der Windindustrie, um in die Energiewende einzusteigen, die Entwicklung der Vermarktungsmodelle hin zu Corporate PPAs (Stromabnahmeverträge zwischen Produzenten und Verbrauchern) anstelle von Einspeisevergütungen durch die Stromversorger sowie eine höhere Produktion auf Grund von Optimierungen bei der Turbinenkonstruktion, den Materialien und der Automatisierung. Die Kombination dieser Faktoren führte zu einem globalen Rückgang der Gestehungskosten für Windstrom (LCOE) um insgesamt 66 % gegenüber 2009 [2].

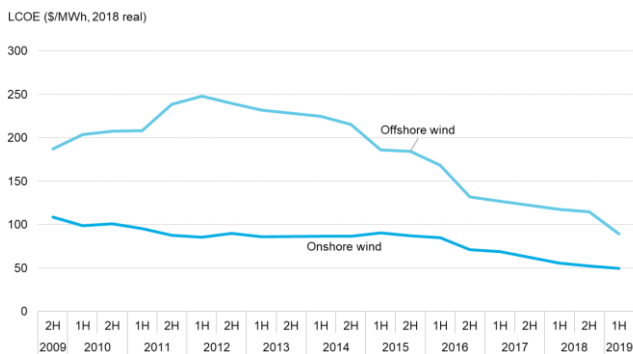


Abbildung 3a: Entwicklung des LCOE für Windenergie, 2018 [13]

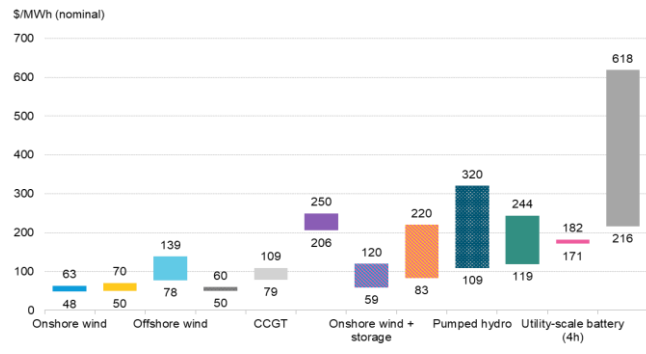


Abbildung 3b: LCOE-Vergleich für verschiedene Energieträger im ersten Halbjahr 2019 in Deutschland [13]

Im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien gehört die Onshore-Windkraft wirtschaftlich gesehen bereits zu den wettbewerbsfähigsten Stromquellen. 2017 brach die Windkraft sogar den Weltrekord unter allen Energien, indem sie eine Ausschreibung zu einem Preis von 17.70 USD/MWh gewann⁶.

Nach Angaben des National Renewable Energy Laboratory (NREL) könnten sich die Gestehungskosten von Windstrom bis 2030 sogar noch halbieren, insbesondere dank fünf Schlüsselfaktoren, die nachstehend in der Reihenfolge ihrer Bedeutung aufgeführt sind:

1. Steigerung der Leistung von Windkraftanlagen dank technologischer Entwicklungen (siehe Kapitel 4)
2. Geringere Abschreibung dank längerer Lebensdauer

⁶<https://www.greenunivers.com/2017/11/mexique-mwh-eolien-bat-solaire-record-mondial-toutes-categories-172341/>

3. Reduzierung des CAPEX dank Kosteneinsparungen durch Skaleneffekte, Materialeinsparungen und effizienterer Fertigungsprozesse
4. Reduzierung des OPEX dank verbesserter Wartungsstrategien
5. Geringere Kapitalkosten dank Risikoreduzierung

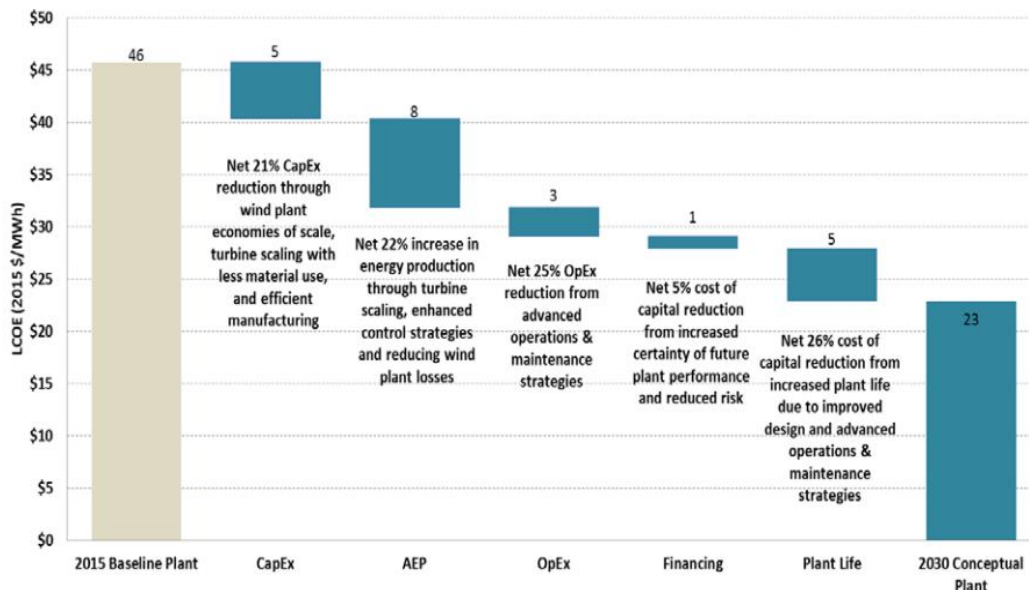


Abbildung 4: Auf dem Weg zu einer Halbierung des LCOE für Windenergie bis 2030

Der globale Trend von steigender Leistung bei sinkenden Strompreisen ist klar. Diese Preisentwicklung gilt zum heutigen Zeitpunkt jedoch nicht für alle Regionen der Welt. Jedes Land weist seine eigenen spezifischen Windpotenziale sowie seine eigenen Finanzierungsbedingungen und Auktionsmodelle auf. Eine Perspektive für die Schweiz wird in Kapitel 3.5. beschrieben.

3.1.3 Umwelterwägungen

Eine unlängst durch das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) durchgeführte weltweite Studie vergleicht die Auswirkungen von drei Übergangsstrategien zur Dekarbonisierung mit der Ausgangssituation:

1. Full Technology: Mix der verschiedenen vorhandenen Technologien
2. Conventional Technology: CO₂-Abscheidung und -Lagerung in Verbindung mit der Nutzung fossiler Energiequellen, wobei neue erneuerbare Energien begrenzt genutzt werden
3. New Renewables: hauptsächlich Nutzung von Wind- und Solarenergie, Atomausstieg

Die Gesamtauswirkungen jeder Technologie wurden über ihren gesamten Lebenszyklus betrachtet, einschliesslich des Betriebs und des ökologischen Fussabdrucks in Bezug auf den Bau und den Rückbau [3].

Die Schlussfolgerungen der PIK-Studie zeigen auf, dass die dritte Übergangsstrategie die negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit um mehr als 80 % reduzieren dürfte, insbesondere dank einer geringeren Luftverschmutzung. Die Versorgungskette von Windenergie ist zudem viel sauberer als beispielsweise die Förderung fossiler Brennstoffe. Andererseits benötigt der Übergang von einem fossilen zu einem erneuerbaren Energiesystem mehr Landfläche und mehr mineralische Ressourcen für die Speicherung, und erfordert daher strategische Entscheidungen, um den Paradigmenwechsel bestmöglich zu vollziehen⁷.

3.1.4 Soziale Erwägungen

Mehr als 1,16 Millionen (direkte und indirekte) Arbeitsplätze für 591 GW installierte Leistung: So lautete die Hochrechnung des Netzwerks REN21 für das Jahr 2018. Die Tendenz ist weltweit steigend, obwohl sich der europäische Markt in den letzten Jahren verlangsamt hat [1].

⁷ Pressemitteilung des PIK, 19.11.2019

3.2 Europa

3.2.1 Statistik

2018 deckten die in Europa installierten 189 GW Windenergieleistung 14 % des Stromverbrauchs der Europäischen Union. Die derzeitige Rekordabdeckung wurde am 14.12.2019 verzeichnet, an dem über ein Viertel des Strombedarfs durch Windkraft gedeckt wurde⁸. In Bezug auf die installierte Leistung ist die Windenergie die zweitgrösste und die am schnellsten wachsende Quelle für die Energiegewinnung in Europa. Die IEA sagt sogar voraus, dass die Windkraft bis 2027 die führende Energiequelle in Europa sein wird.

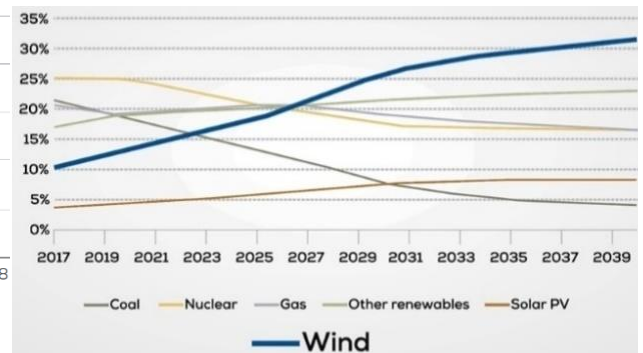
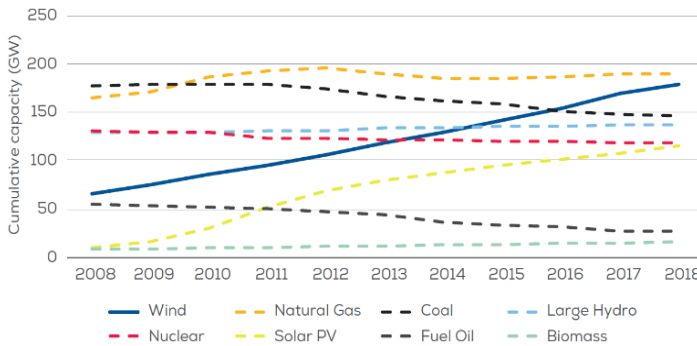


Abbildung 5: Installierte Gesamtleistung in der EU nach Energiequellen [14]

Abbildung 6: Anteil der Stromerzeugung in der EU nach Energiequellen 2017–2040 [WindEurope, IEA]

Der Anteil der Windkraft am Strommix ist in einigen Ländern sehr hoch. In Dänemark liegt er bei fast 50 %, in Irland bei knapp 30 %. In Deutschland und Portugal beträgt er über 20 %. Aus der Abbildung 7 geht hervor, dass die Schweiz zusammen mit Slowenien und der Slowakei schlecht abschneidet und zu den drei Ländern gehört, die weniger als 1 % ihres Strombedarfs mit Windenergie abdecken.

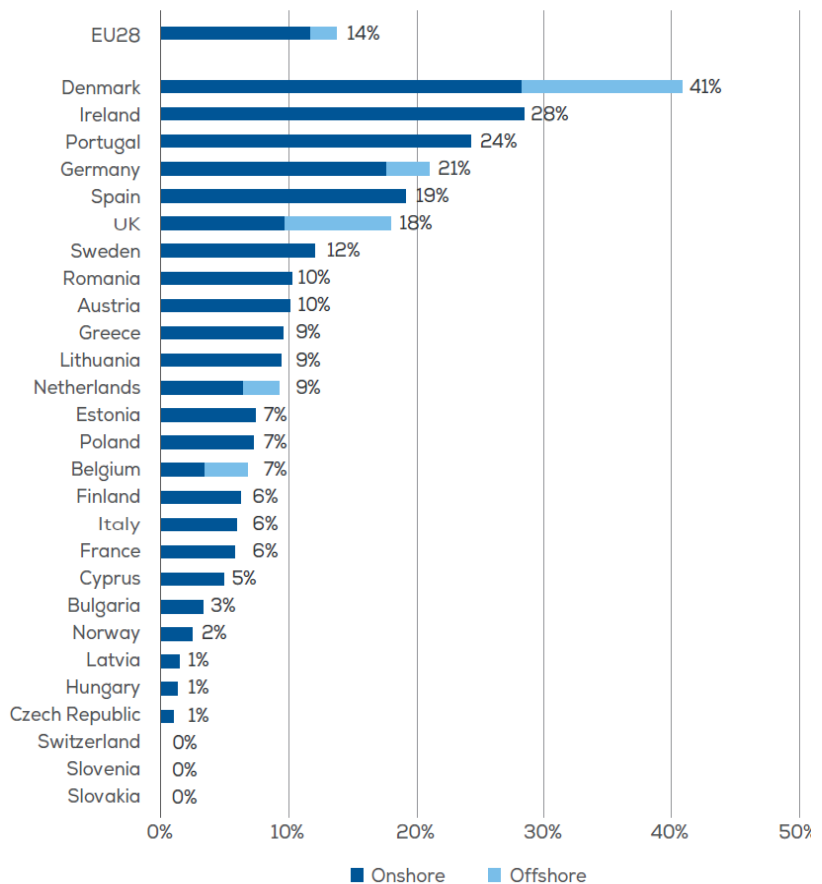


Abbildung 7: Durch Windkraft gedeckter Stromverbrauch im Jahr 2018 [14]

3.2.2 Soziale Erwägungen

In Europa waren 2016 mehr als 260 000 Personen in der Herstellung, im Vertrieb, in der Wartung, im Betrieb usw. von Windenergie beschäftigt (direkte und indirekte Arbeitsplätze, Vollzeitäquivalente) [4].

Mit der Entwicklung der Windenergie stieg diese Zahl weiter an und erreichte 2019 an die 300 000 Arbeitsplätze⁹.

⁸ <https://windeurope.org/about-wind/daily-wind-archive/2019-12-14/>

⁹ <https://windeurope.org/about-wind/campaigns/local-impact-global-leadership/>

3.3 Angrenzende Regionen

Ende 2018 zählte Frankreich 15'108 installierte MW, Deutschland 52'931 MW Onshore-Windkraft und Italien 9'958 MW. In Österreich gab es 1'313 Windturbinen mit einer installierten Leistung von 3'045 MW, die 1,9 Millionen Haushalte mit sauberem Strom versorgen¹⁰.

Ein Blick auf die Schweiz angrenzenden Regionen zeigt, dass dort mehr als 15 GW Windenergieleistung installiert sind, obwohl die meisten dieser Regionen ähnliche Windverhältnisse wie das Schweizer Mittelland aufweisen. Die Abbildung 8 veranschaulicht diese Situation besonders gut. Bereits heute deckt das Bundesland Rheinland-Pfalz, dessen Topografie mit dem Schweizer Mittelland vergleichbar und dessen Fläche und Bevölkerung etwa halb so gross wie die Schweiz sind, 20 % seines Stromverbrauchs durch Windkraft, was doppelt so viel ist wie das vom Bundesrat für die Schweiz bis 2050 gesetzte Ziel.

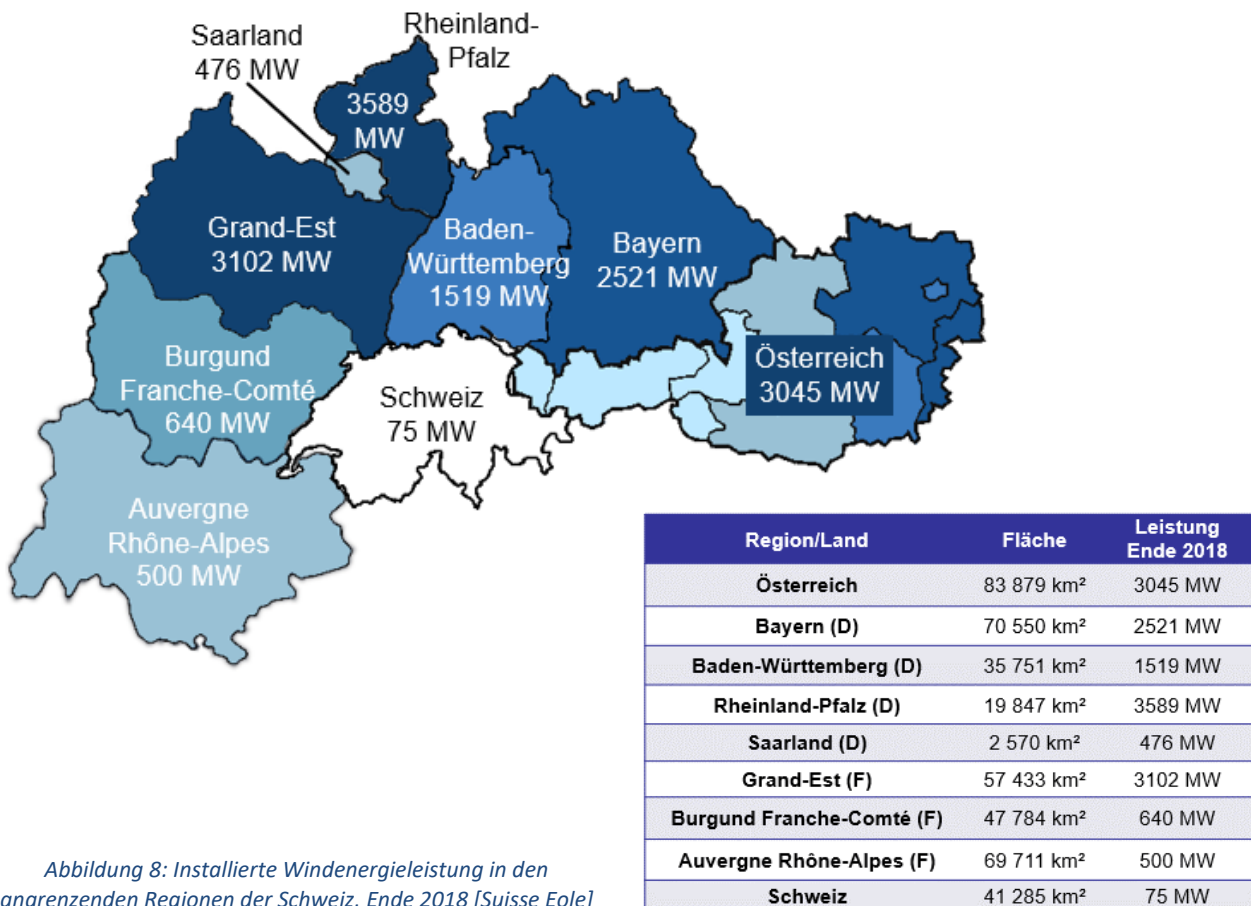


Abbildung 8: Installierte Windenergieleistung in den angrenzenden Regionen der Schweiz, Ende 2018 [Suisse Eole]

Die Entwicklung der Windenergie in der Schweiz ist von zentraler Bedeutung, denn die Windenergie ist eine der am meisten untersuchten Energieformen in der Schweiz, deren Potenzial aber grösstenteils brachliegt. Der entgangene Gewinn für die Schweizer Wirtschaft ist somit hoch. Und dies, obwohl die Schweizer Stromlieferanten über Windenergie-Know-how verfügen, wie aus Kapitel 3.4. hervorgeht.

¹⁰ jgwindkraft.at; wind-energie.de; rte-france.com

3.4 Schweizer Windparks im Ausland

Die Schweizer Stromversorgungsunternehmen sind verpflichtet, ihren Anteil an erneuerbarer Energie deutlich zu erhöhen, und da sie dies in der Schweiz nicht tun können, investieren sie im Ausland. Gemäss einem 2016 veröffentlichten Bericht von Energie Zukunft Schweiz produzieren die Schweizer Energieversorger bereits mehr Windenergie im Ausland als dies der Bund bis 2050 für das Inland plant: Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 2500 MW erzeugten ausserhalb der Schweiz mehr als 5 TWh Windkraft pro Jahr. Zum Vergleich: Die Schweizer Windkraftanlagen produzieren zurzeit rund 0,13 TWh/Jahr. Der Studie zufolge deuteten die strategischen Entscheide einiger Stromversorger zudem auf eine Fortsetzung dieses Trends mit steigender Tendenz hin [5].

Drei Jahre später erwies sich diese Annahme als richtig, denn laut einer Aktualisierung, die 2019 von SRF durchgeführt wurde, stieg die installierte Windenergieleistung im Ausland um 32 % auf 3300 MW bzw. auf eine jährliche Produktion von über 7 TWh an. Die Höhe der Investitionen in ausländische Windparks ist schwer zu beziffern, dürfte aber seit Anfang des Jahrtausends CHF 6 Milliarden erreicht haben¹¹.

Die Hauptgründe für diese hohen Investitionen der Schweizer Energielieferanten im Ausland sind die dort angetroffenen Rahmenbedingungen: attraktive Vergütung, bessere politische Unterstützung, rasche Umsetzung von Bauprojekten und günstigere Planung. Und dies, obwohl Windstandorte im Ausland nicht besser geeignet sind, denn laut dem Bericht von Energie Zukunft Schweiz liegt die Produktivität der Schweizer Anlagen im Ausland auf einem Niveau, das auch von vielen neuen Windkraftprojekten in der Schweiz erreicht wird [5].

Bei den Schweizer Projektentwicklern sind die Mittel und der Wille für den Ausbau der Windenergie sehr wohl vorhanden, aber die aktuellen Schweizer Rahmenbedingungen sind nicht attraktiv genug, um in der Schweiz zu investieren und damit einen lokalen Nutzen zu generieren, der für die Bevölkerung, das Klima, die Versorgungssicherheit und die Schweizer Wirtschaft wertvoll wäre. Nur eine klare Strategie sowie wirksame Massnahmen und Entscheide können dazu führen, dass der Ausbau neuer erneuerbarer Energien in der Schweiz endlich in Gang kommt.

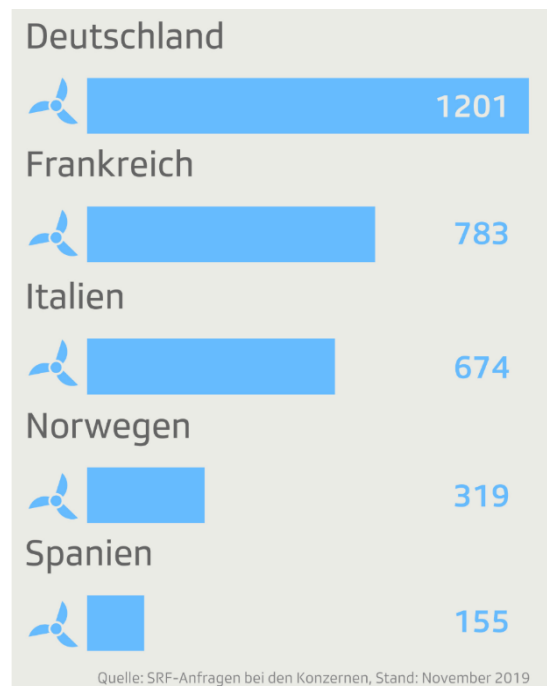


Abbildung 9: Installierte Windenergieleistung im Ausland, Angaben in MW [SRF]

¹¹<https://www.srf.ch/news/schweiz/7-milliarden-franken-schweizer-energieversorger-investieren-lieber-im-ausland>

3.5 Schweiz

3.5.1 Statistik

Die Schweiz zählt heute 37 grosse Windkraftanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 75 MW. Die aktuelle Stromproduktion aus Windkraft beträgt rund 130 GWh pro Jahr, was etwa 0,2 % des gesamten Stromverbrauchs des Landes und dem Verbrauch von 36'500 typischen Schweizer Haushalten entspricht.



Abbildung 11: Karte der Windkraftanlagen in der Schweiz, Stand 2018 [Suisse Eole]

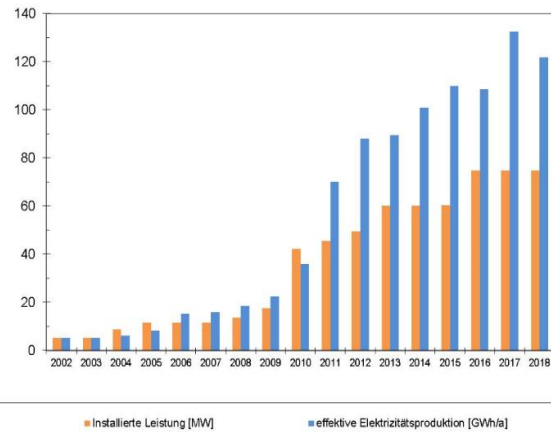


Abbildung 10: Entwicklung der installierten Leistung und der tatsächlichen Windenergieproduktion in der Schweiz [Suisse Eole]

2019 wurden die Bauarbeiten für den Windpark auf dem Gotthard aufgenommen, der fünf neue Windturbinen mit einer Gesamtleistung von 11,75 MW umfassen wird. Die geplante Jahresproduktion beträgt 20 GWh, was dem Verbrauch von 5'700 typischen Haushalten entspricht.

3.5.2 Wirtschaftliche Erwägungen

In der Schweiz befindet sich der Windenergiemarkt noch immer in einer Anlaufphase, wie sie in anderen Ländern bei den ersten 100 bis 200 installierten MW beobachtet werden konnte. In dieser Phase fallen in der Regel höhere Kosten an, da sich der gesetzliche Rahmen für die Windenergie noch in Entwicklung befindet und grössenbedingte Kosteneinsparungen noch schwer zu erzielen sind. Insbesondere langwierige Verfahren sowie zahlreiche Studien, die bei der Planung eines Projekts in der Schweiz erforderlich sind, erhöhen die Gestehungskosten der Stromerzeugung aus Windkraft erheblich. Mittelfristig dürften jedoch bestimmte wirtschaftliche Überlegungen, die auf globaler und europäischer Ebene gelten, auch für die Schweiz umgesetzt werden.

In die gleiche Richtung geht ein vom Paul Scherrer Institut (PSI) im Auftrag des BFE 2017 erstellt und 2019 aktualisierter Bericht, wonach sich die Produktionskosten bis 2050 im Vergleich zur heutigen Situation um mehr als die Hälfte reduzieren dürften, wodurch die Windenergie zu den wettbewerbsfähigsten Energiequellen gehören wird. Die Autoren des Berichts beschreiben die Windturbinen als fortschrittliche und ausgereifte Technologie mit gutem Potenzial in der Schweiz. Weiter führen sie aus, dass die Entwicklung der Windenergie vor allem von den gesetzlichen Rahmenbedingungen und den finanziellen Unterstützungsmassnahmen abhängen wird [6].

Eine Studie der Universität St. Gallen hat das gleiche Phänomen beobachtet: Mehrkosten von 15 bis 50 % aufgrund komplexer Planung und Verfahren, die im Durchschnitt mehr als ein Jahrzehnt dauern, d. h. doppelt so lange wie im europäischen Durchschnitt von 4,5 Jahren. Sie kommt zum Schluss, dass der Ausbau der Windenergie in der Schweiz nur stattfinden kann, wenn die Risiken für die Investoren durch vereinfachte Genehmigungsverfahren, einen klaren rechtlichen Rahmen und die Einführung beschleunigter Gerichtsverfahren reduziert werden [7].

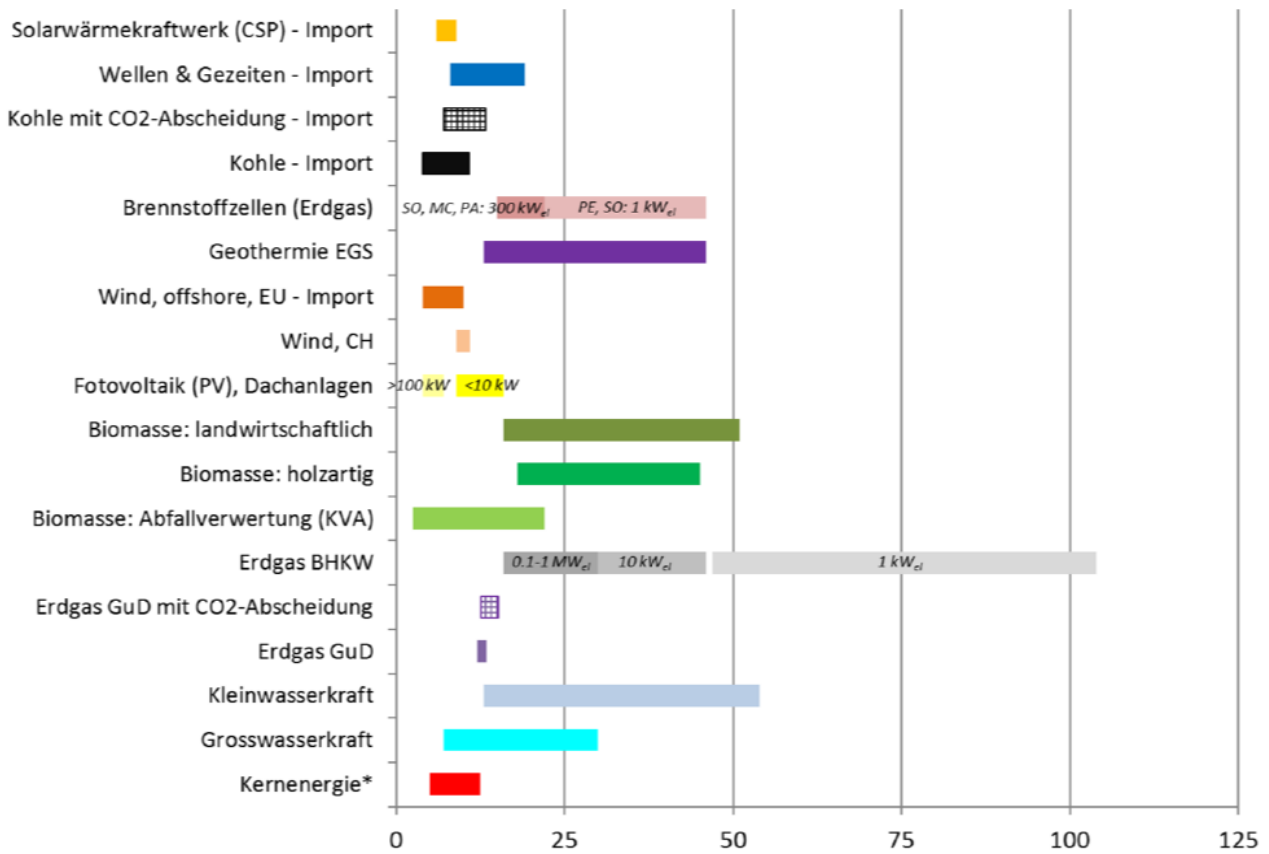


Abbildung 12: Geschätzte Stromproduktionskosten im Jahr 2050, in Rp./kWh [6]

3.5.3 Umwelterwägungen

Eine der saubersten Energiequellen

Die Windkraft und die Wasserkraft sind die Energiequellen mit der geringsten Umweltbelastung und dem geringsten CO₂-Ausstoss. Die von ESU-services¹² beschriebene und bereits 2006 veröffentlichte Methode der sogenannten „ökologischen Knappheit“ bestätigt, dass die Auswirkungen von Wind- und Wasserkraft auf die Natur viel geringer sind als bei anderen Energieträgern (siehe Abbildung 13).

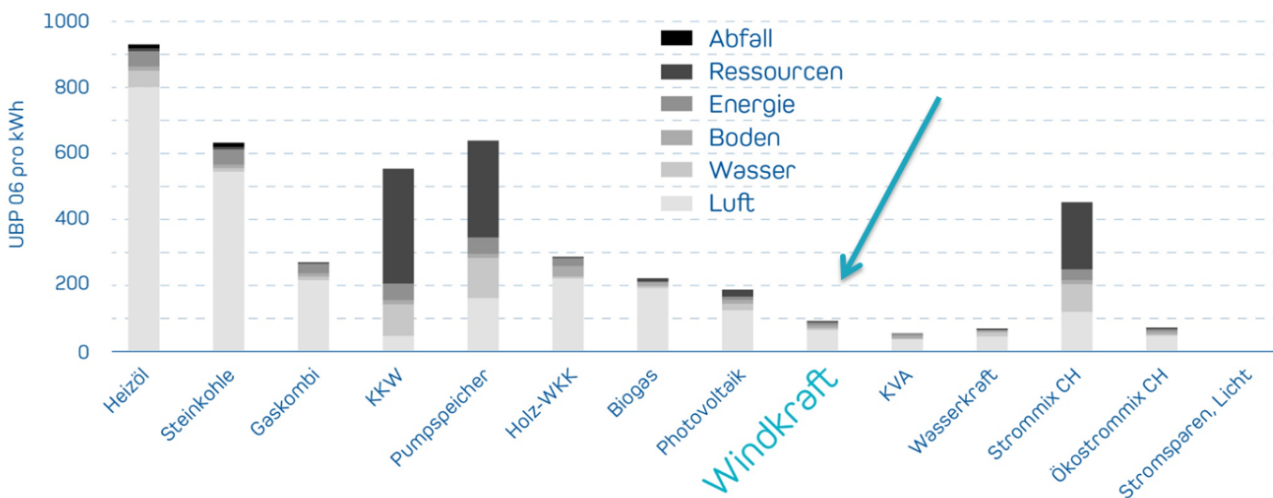


Abbildung 13: Umweltbelastungspunkte (UBP) pro kWh der verschiedenen Energieträger [windfakten.ch]

¹² <http://esu-services.ch/de/projects/ubp06/>

Neben einer geringeren Umweltbelastung gehört die Windenergie zudem zu den Energieträgern mit den geringsten CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde, wie mehrere Studien bestätigen. In Abbildung 14 veranschaulicht das BFE die hervorragende Bilanz der Windenergie, die aus ökologischer Sicht die beste Energiequelle mit grossem Entwicklungspotenzial in der Schweiz darstellt.

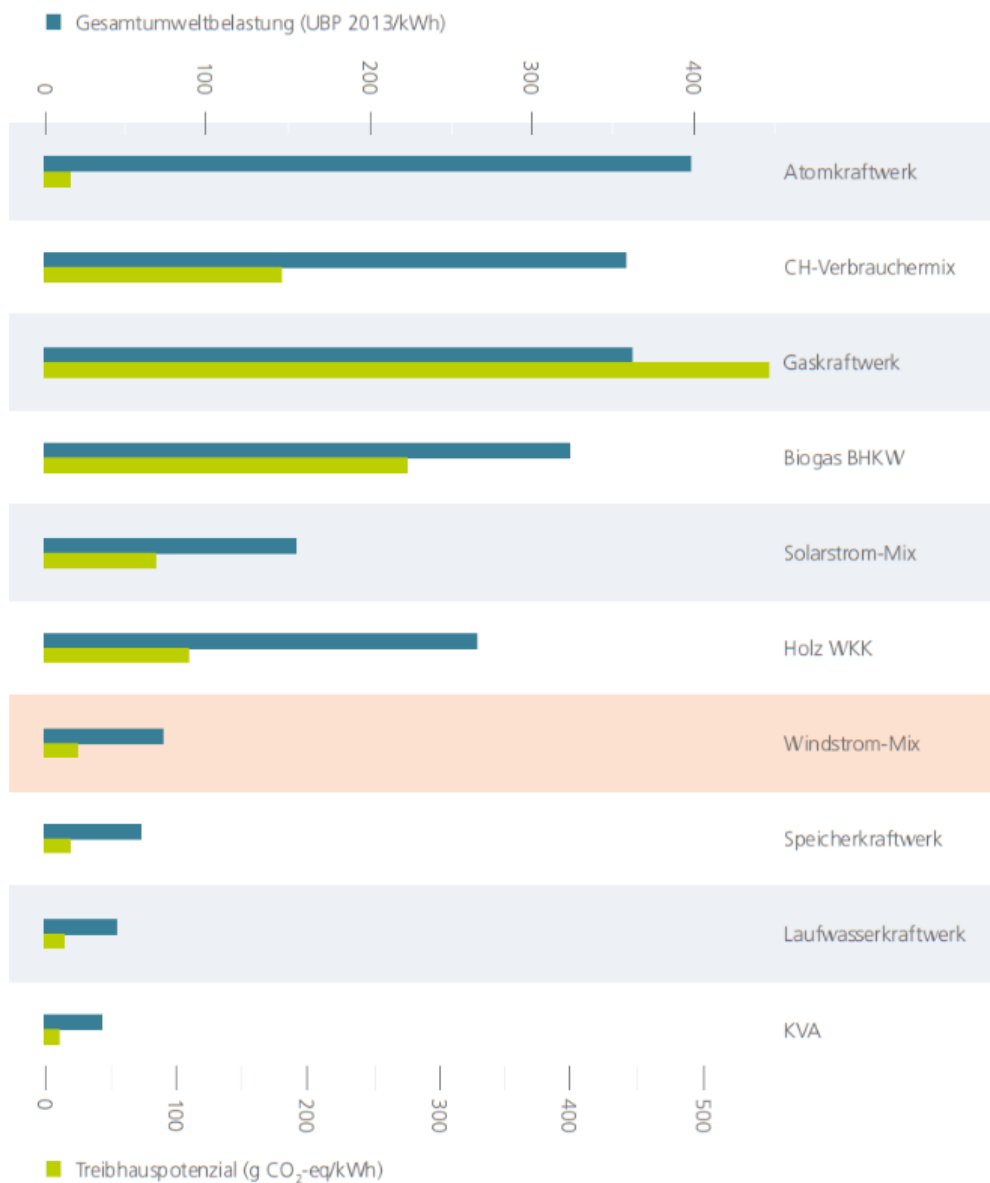


Abbildung 14: Umweltbelastung und Treibhauspotenzial verschiedener Energieträger [BFE, 2019]

Substitution von zusätzlich importiertem Strom durch sauberen einheimischen Windstrom

Die Windenergie wird einen wesentlichen Beitrag zur Schliessung einer künftigen Stromlücke leisten, indem sie den Import von oft aus Kohle, Gas oder Kernkraft erzeugter Energie reduziert oder sogar ersetzt. Angesichts der geringen CO₂-Emissionen der Windkraft (Schätzung der oberen Grenze: 25,9 g CO₂-eq/kWh) betragen die CO₂-Einsparungen gemäss den neuesten veröffentlichten Studien um die 412 g CO₂-eq/kWh [8].

Diese Ergebnisse lassen sich noch genauer quantifizieren, wenn der stündliche Emissionsfaktor der Klimaauswirkungen des Schweizer Stromverbrauchs berücksichtigt wird, wie dies die Abbildung 16¹³ veranschaulicht.

¹³ <http://www.expert-ise.ch/emissions-de-co2-en-suisse-impact-reel-des-echanges-delectricite>

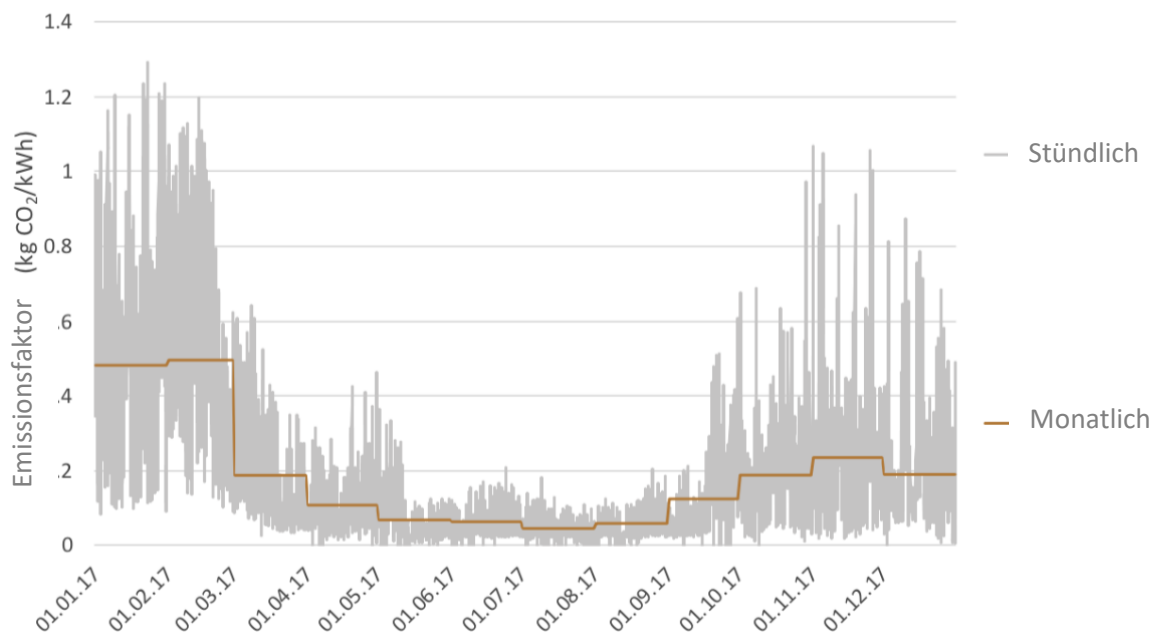


Abbildung 16: Stündlicher CO₂-Emissionsfaktor (Jahr 2017) für den Schweizer Verbrauch [Universität Genf]

Unter Anwendung der oben erwähnten Zahlen lassen sich mit einer 3-MW-Windturbine jährlich mehr als 2800 Tonnen CO₂ einsparen. Wenn das Ziel der Energiestrategie 2050 erreicht ist, wird die Schweiz im Vergleich zur heutigen Situation über 1,7 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen. Unter Berücksichtigung des in Kapitel 6.4 erwähnten, von Suisse Eole aktualisierten Potenzials würden die Einsparungen auf über 3,7 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr ansteigen.

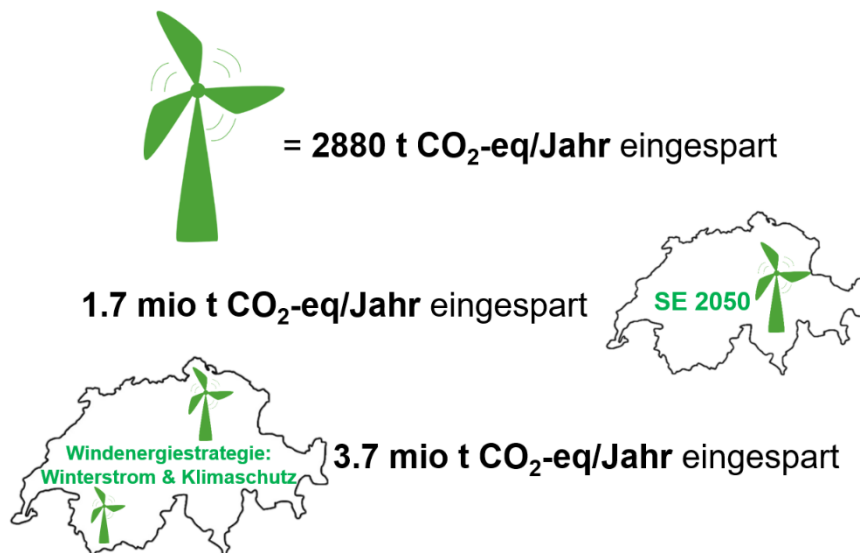


Abbildung 15: Realisierbare CO₂-Einsparungen dank der Entwicklung von Windkraft [Suisse Eole]

Es muss hier angemerkt werden, dass diese Zahlen auf der Grundlage einer durchschnittlichen jährlichen Ökobilanz berechnet wurden, die den realen Wert der Substitution von Importen durch saubere Windenergie stark unterschätzt. Die Ökobilanz der importierten Energie erreicht im Winter Spitzenwerte, wenn der Bedarf hoch ist. Eine tägliche oder sogar stündliche Analyse der Ökobilanz der Importe würde eine genauere Ermittlung der erzielbaren CO₂-Einsparungen ermöglichen. Eine laufende Studie der HEIG-VD¹⁴ könnte bereits 2020 eine Einschätzung liefern.

¹⁴ Hochschule für Wirtschaft und Ingenieurwissenschaften des Kantons Waadt

Substitution der fossilen Mobilität

Wenn das von Suisse Eole geschätzte nachhaltige Windenergiepotenzial realisiert würde, könnte mit der Substitution von umweltbelastenden Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durch mit Windstrom aufgeladene Elektrofahrzeuge 3 Millionen Fahrzeuge ersetzt und damit jährlich bis zu 5,85 Millionen Tonnen CO₂ eingespart werden.



Abbildung 17: CO₂-Einsparungen durch Substitution der fossilen Mobilität [8]

3.5.4 Soziale Erwägungen

Ausgehend von einem Durchschnittswert von 1'500 Arbeitsplätzen für 1 GW installierte Leistung (Vollzeitäquivalente, entspricht dem österreichischen Durchschnitt) wird die Windenergie im Jahr 2050, bei Erreichen des Ziels der Energiestrategie 2050, mehr als 3'000 Personen beschäftigen bzw. mehr als 6'000 Personen, wenn das neue Ziel von Suisse Eole erreicht würde¹⁵.

Die Schweiz nimmt bereits heute einen wichtigen Platz in der europäischen Wertschöpfungskette ein, da mehrere Schweizer Unternehmen in der Herstellung von Windturbinen auf dem europäischen Markt als Zulieferer tätig sind¹⁶. Dies entspricht zum heutigen Zeitpunkt mehreren Hundert Arbeitsplätzen, zu denen noch etwa 150 Arbeitsplätze innerhalb der Branche (Studien und Planung von etwa 1'000 MW in den letzten zehn Jahren) und etwa 100 Forscher an fünf Schweizer Universitäten und Hochschulen, die Mitglieder von Swiss Wind Energy R&D Network sind, hinzukommen¹⁷. Zu beachten ist auch, dass für die Errichtung einer Windturbine und deren Anschluss an das Netz rund 20 Personen benötigt werden und dass der derzeit am Gotthard entstehende Windpark fünf Windturbinen umfasst.

Die Gesamtzahl der mit der Windenergie verbundenen Arbeitsplätze in der Schweiz kann somit für 2019 auf über 500 geschätzt werden.

¹⁵ [Windfakten Österreich](#)

¹⁶ Die Schweizer Firmen Schweiter und Gurit beispielsweise stellen Werkstoffe und Formen für die Fertigung von Rotorblättern her.

¹⁷ [wedowind.ch](#)

4. Technologische Entwicklung

Seit Beginn der Entwicklung der Windenergie konnte die Leistung von Windkraftanlagen dank intensiver Forschungsarbeiten kontinuierlich gesteigert werden. Insbesondere die technologischen Fortschritte im letzten Jahrzehnt haben auch Standorte mit weniger günstigen Windverhältnissen wirtschaftlich gemacht. Das folgende Kapitel erläutert, wie dies möglich ist und wie diese Entwicklung bis 2050 verlaufen soll.

4.1 Entwicklung im letzten Jahrzehnt

Die kontinuierlichen technischen Fortschritte in Bezug auf die Werkstoffe, Aerodynamik, Wartung und Logistik sowie die Fernüberwachung und -steuerung führen seit Beginn des 21. Jahrhunderts zu immer leistungsstärkeren Windenergieanlagen. Zudem entwickeln die Hersteller immer mehr Anlagen für Gebiete, in denen die Windgeschwindigkeiten nicht sehr hoch sind. In den letzten zehn Jahren ist die durchschnittliche Leistung von Windturbinen um mehr als 60 % gestiegen, während die Rotorgrösse und die Nabenhöhe nur um 47,5 % bzw. 33 % zugenommen haben. Die spezifische Leistung¹⁸ ist somit von 0,4 kW/m² auf 0,3 kW/m² gesunken.

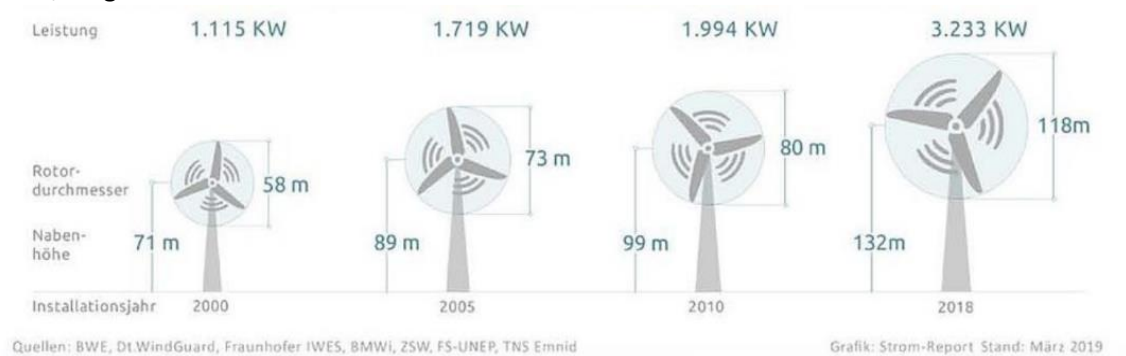


Abbildung 18: Entwicklung der Grösse und Leistung von Onshore-Windturbinen 2000–2018 [15]

Das National Renewable Energy Laboratory NREL (USA) nimmt diese Entwicklung ebenfalls zur Kenntnis und prognostiziert sogar, dass Windkraftanlagen der zukünftigen Generation einen Lastfaktor von etwa 50 % erreichen werden¹⁹. Diese Verbesserungen tragen nicht nur zur Leistungssteigerung, sondern auch zur Kostensenkung und zur höheren Zuverlässigkeit und Lebensdauer der verschiedenen Komponenten bei [9].

Der Unterschied der Auswirkungen auf Landschaft, Umwelt und Anwohnende zwischen einer alten und einer neuen Generation von Windkraftanlagen ist nicht erheblich, der Energiegewinn jedoch beträchtlich. Bezogen auf einen Windpark kann die Gesamtauswirkung sogar verringert werden, da die Anzahl der Windturbinen dank der Installation leistungsstärkerer Maschinen reduziert wird: Eine Windturbine der neuesten Generation kann bei gleichen Windverhältnissen gleich viel produzieren wie drei bestehende Windturbinen.

WindEurope kommt in einer europäischen Analyse des Repowerings von Windkraftanlagen am Ende ihrer Lebensdauer zum gleichen Schluss: Während die Anzahl der Windturbinen abnimmt, steigen die Nennleistung der Windturbinen und die Kapazität der Windparks deutlich an. Durch die Installation von Windturbinen der neuesten Generation wird ein Anstieg der Energiedichte in Bezug auf die Auswirkungen der Parks erreicht.

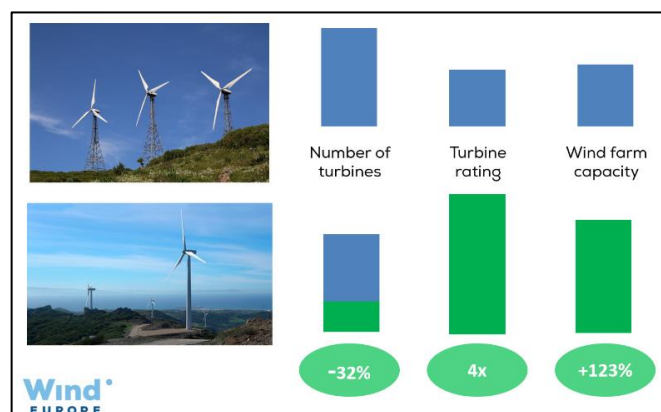


Abbildung 19: Auswirkungen des Repowerings bei einem typischen Windpark [WindEurope]

¹⁸ Verhältnis der Nennleistung zu der vom Rotor überstrichenen Fläche

¹⁹ <https://readersupportednews.org/news-section2/318-66/45471-wind-power-costs-could-see-another-50-reduction-by-2030>

4.1.1 Optimierte Rotordimensionierung und -konstruktion

Die Entwicklungen in der aerodynamischen Auslegung und mechanischen Konstruktion der Rotorblätter machen es möglich, geringere Windgeschwindigkeiten zur Stromproduktion zu nutzen, ohne den Durchmesser und die Gesamthöhe der Anlagen überproportional zu erhöhen. Grössere Rotoren verbessern die Leistung bei niedrigen Geschwindigkeiten, was wiederum die Verfügbarkeit und Produktivität jeder Windturbine erhöht. Der Wind als Energiequelle wird daher stärker und effizienter genutzt. Die optimierte Leistung von Windturbinen bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten und gleicher Nennleistung zeigt sich durch eine Verschiebung der Leistungskurven neuerer Windturbinen nach links (Abbildung 20).

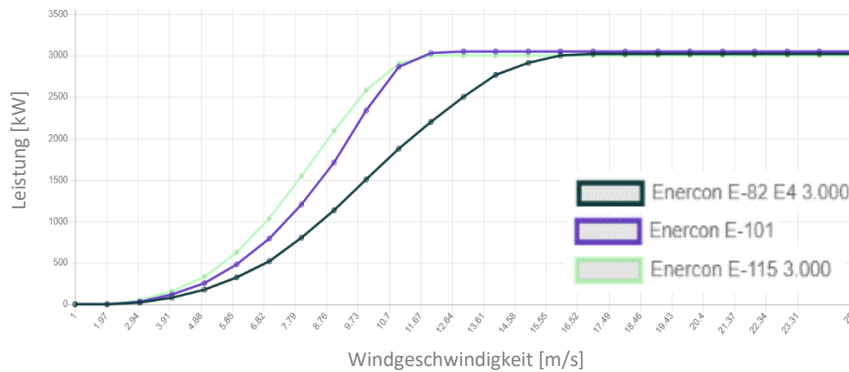


Abbildung 20: Leistungskurven für Enercon-Windturbinen verschiedener Generationen
[<https://en.wind-turbine-models.com/powercurves>]

4.1.2 Bessere Nutzung der Windkraft

Die Erhöhung der Nabhöhe ermöglicht den Zugang zu gleich- und regelmässigeren Windressourcen, da der Einfluss vom Boden und von der Rauigkeit geringer ist, sowie zu besseren Windverhältnissen und zu höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten an der Nabe. Neuentwicklungen im Mastdesign werden Höhen von über 150 m ermöglichen und gleichzeitig die damit verbundenen Kosten reduzieren (siehe Kapitel 4.1.4). In der Schweiz sind es nicht die Technologien, sondern vielmehr die regulatorischen Auflagen, die die Höhe von Windkraftanlagen derzeit begrenzen (siehe Kapitel 6).

4.1.3 Reduktion der Lärmemissionen

Die Geräuschemissionen einer Windenergieanlage hängen von ihrer Grösse ab: je grösser und leistungsfähiger die Anlage, desto höher sind die Emissionen. Auch wenn diese in der Regel durch die Windgeräusche in den Bäumen und den umliegenden Gebäuden überdeckt werden, gibt es Techniken um die Geräusche einer Windkraftanlage zu reduzieren. Ein Beispiel nach dem Vorbild von Eulenflügeln ist das Anbringen eines Kamms an der Hinterkante der Rotorblätter. Ein solches 2017 bei beiden Windenergieanlagen in Saint-Brais im Jura realisiertes Kammsystem vermochte die Geräusche der Anlagen zu halbieren²⁰.



Abbildung 21: Kamm an der Hinterkante eines Rotorblatts [Suisse Eole]

²⁰ <https://www.suisse-eole.ch/de/news/2018/6/13/un-nouveau-developpement-technique-rend-les-eoliennes-beaucoup-plus-silencieuses-271/>

4.1.4 Neue Technologien für alpine Windkraftanlagen

Die grössten Herausforderungen für die Entwicklung der Windenergie in alpinen Regionen sind der Transport der Bauteile und die Errichtung der Turbinen auf über 100 Meter hohen Rohrmasten aus Stahl oder Beton. Die Entwickler von Windturbinen haben diese Schwierigkeit erkannt und konzipieren neue, spezifische Lösungen für alpine Regionen, die die Logistik vereinfachen und zahlreiche weitere Vorteile bieten.

Modulbauweise der Masten

Einige Lösungen sind bereits auf dem Markt, darunter jene einer deutsch-schweizerischen Firma, die eine auf einem „K-Tower“²¹ montierte Windturbine anbietet (siehe Abbildung 22). Die Hauptvorteile gegenüber einer herkömmlichen Windkraftanlage sind:

- Leichtere Montage und Demontage mit hoher lokaler Wertschöpfung
 - Transport mit einem normalen Lkw möglich
 - Reduziertes Fundamentvolumen dank 3 bis 4 kleineren Einzelfundamenten
- ➔ Bis zu 40 % tiefere Installationskosten

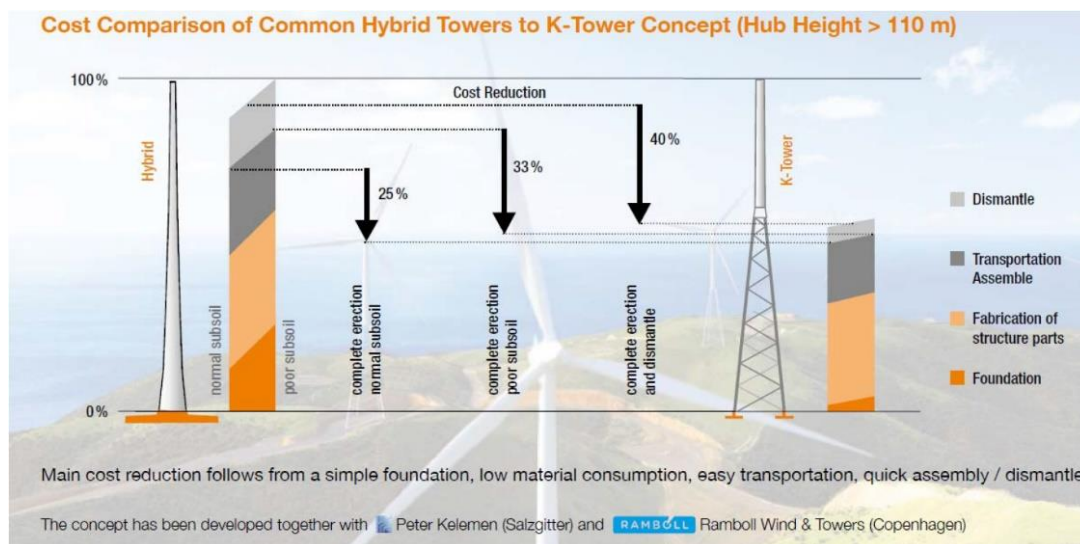


Abbildung 22: Kostensenkung bei einem K-Tower [Salzgitter]

Innovative Materialien und Geometrien

Andere Lösungen werden derzeit an der EPFL erarbeitet, insbesondere die Verwendung innovativer Geometrien und Werkstoffe wie UHFB, ein zementgebundener Ultra-Hochleistungs-Faserverbund-Baustoff, der sich besser für hohe Masten mit längerer Lebensdauer und höherer Modularität eignet²².

²¹ <https://www.szmr.de/de/lieferprogramm/systemloesungen/onshore-k-tower.html>

²² [Masterarbeit der ETHL ENAC \(Laboratorien MCS und SGC\)](#)

4.2 Ausblick

4.2.1 Auf kurze Sicht

Die Auswirkungen der technologischen Entwicklungen stellten auch die Bernischen Kraftwerke BKW beim Windpark Mont-Crosin in der Schweiz fest, wo sich die Produktivität der Windenergieanlagen nach dem 2016 abgeschlossenen Repowering frappant erhöht hat. Die Auslastung stieg von durchschnittlich 13 % auf 22 %. Damit beträgt die Produktionsprognose der Windenergieanlagen, deren Gesamthöhe 150 m nicht überschreitet²³, fast 2'000 Stunden.

Kurzfristig könnte der Auslastungsgrad je nach Standort noch auf bis zu 25 bis 30 % steigen (was 2'200 bis 2'600 Stunden bei Volllast entspricht). Durch den Einsatz von leistungsfähigeren und grösseren Turbinen, wie sie mehrere sich in der Bewilligungsphase befindliche Windparkprojekte mit einer gemäss Nutzungsplan erlaubten Gesamthöhe von 210 Metern vorsehen, stehen die Schweizer Windparks hinsichtlich Produktivität ausländischen Onshore-Windparks in nichts nach. Zu erwähnen ist ausserdem, dass einige Schweizer Windparks an besonders günstigen Standorten, wie beispielsweise im Rhone-Knie, 2018 eine Auslastung von 28 % erreichten!

Ältere Windturbinen, die jährlich 3 GWh Ökostrom produzierten, werden nun von modernen Turbinen abgelöst, die jährlich zwischen 8 und 10 GWh produzieren können, ohne die Umweltauswirkungen zu erhöhen. Natürlich schränken mehrere regulatorische, soziale und technische Faktoren die maximal erlaubten Höhen ein und jeder Standort muss sorgfältig bewertet werden, um die am besten geeignete Windturbine zu bestimmen.

4.2.2 Auf lange Sicht

Die langfristigen Aussichten sind noch günstiger: So könnten neuste Modelle von Windenergieanlagen sogar bis zu 15 GWh/Jahr produzieren. Bereits auf dem Markt erhältliche Windturbinen wie die E-160 EP5 von Enercon oder die V150-4.2 MW von Vestas, die je nach gewählter Nabenhöhe eine Gesamthöhe von bis zu 200 Metern erreichen, könnten bei den in der Schweiz herrschenden Windverhältnissen diesen Produktionswert bereits erreichen.

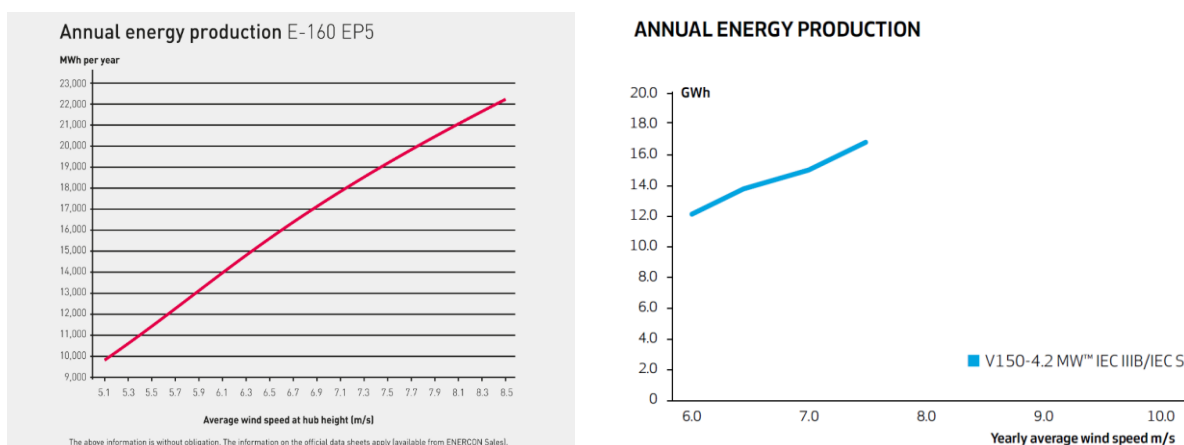


Abbildung 23: Leistungskurven von zwei Windkraftanlagen, die mit Schweizer Windverhältnissen bis zu 15 GWh/Jahr produzieren

²³ <https://blog.bkw.ch/wie-gut-sind-schweizer-standorte-fuer-die-windenergie-geeignet/>

5. Situation in der Schweiz

Die erste netzgekoppelte Windturbine der Schweiz mit einer Leistung von 28 kW wurde bereits 1986 in Langenbruck (BL) installiert. Mitte der 1990er Jahre wurden zahlreiche weitere Projekte entwickelt. Davon konnten einzelne Windturbinen und Windparks realisiert werden, aber die meisten befinden sich nach wie vor in der Entwicklung oder sind seit vielen Jahren durch Verfahren blockiert. Die 2017 verabschiedete Energiestrategie 2050 hätte der Entwicklung erneuerbarer Energien, einschliesslich der Windenergie, einen Schub verleihen sollen, mit einem Zwischenziel für Windstrom von 624 GWh/Jahr bis 2020²⁴. Doch kurz vor dem Ende dieser Etappe beträgt die Jahresproduktion der in der Schweiz installierten 75 MW lediglich 132 GWh/Jahr.

Die Bilanzierung der Entwicklung der Windenergie im folgenden Kapitel ermöglicht eine Analyse der Situation sowie der wichtigsten Einflussfaktoren. Zudem können die Ursachen der Blockaden identifiziert sowie die künftigen Vorgehensweisen bestimmt werden.

5.1 Bilanz über die Entwicklung der Windenergie

Ende 2019 verzeichnete die Schweiz rund 100 Windkraftprojekte in verschiedenen Entwicklungsstadien. Das nachfolgende Diagramm veranschaulicht das Verfahren, das für jedes Windkraftprojekt von der Idee über das Einholen der erforderlichen Genehmigungen bis hin zum Bau einzuhalten ist, sowie für jede Phase die geplante Leistung und die Anzahl der laufenden Projekte.

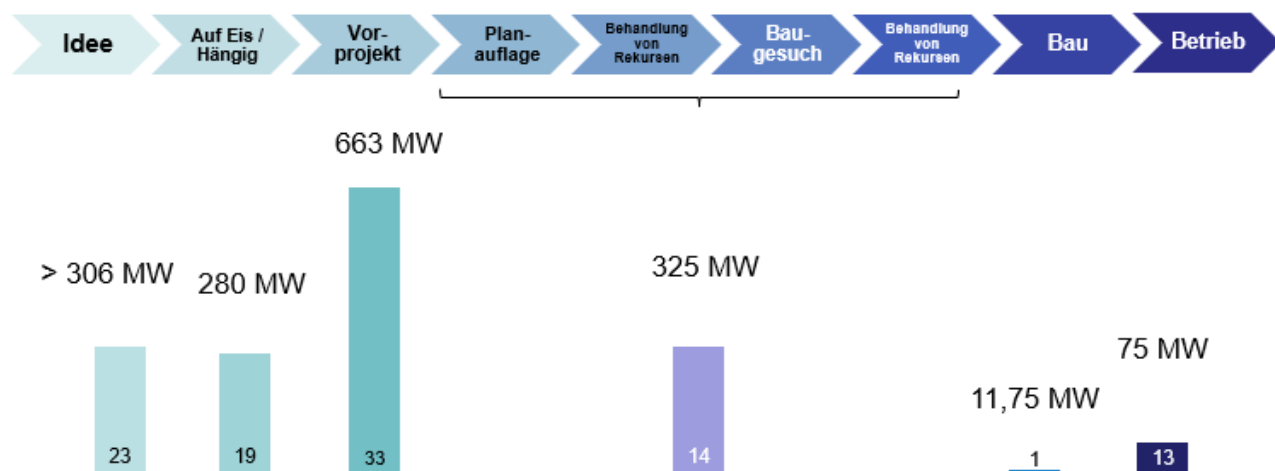


Abbildung 24: Stand der Planung von Windenergieprojekten in der Schweiz, Ende 2019 (geplante Leistung und Anzahl Projekte)
[Suisse Eole]

Aus der Abbildung 24 lassen sich zwei wesentliche Feststellungen ableiten:

1. 14 Projekte befinden sich im Verfahrensprozess (Planaufgabe oder Gerichtsverfahren).

Die geplante Gesamtleistung, die aktuell durch Verfahren blockiert ist, beträgt 325 MW, was einer geschätzten Produktion von 680 GWh/Jahr entspricht. Dies ist bereits mehr als das vom Bund festgelegte Zwischenziel für 2020, wobei die 152 GWh/Jahr, die bereits in Betrieb oder im Bau sind, nicht berücksichtigt sind.

Die ältesten Projekte dieser Phase wurden vor über 20 Jahren in Angriff genommen, was die Trägheit und Komplexität des aktuellen Systems verdeutlicht. Trotz vorbildlicher Einhaltung der geltenden Normen und Anforderungen und trotz guter Akzeptanz durch die Mehrheit der lokalen Bevölkerung verzögern in den meisten Fällen systematische Beschwerden von Privatpersonen oder Verbänden und Vereinen die Realisierung des Windparks um viele Jahre. Die Verfahren sind nach wie vor sehr aufwändig und von langwierigen Gerichtsverfahren geprägt, was sich, trotz der klaren Bereitschaft des Bundes für den Ausbau erneuerbarer Energien, nachteilig auf die Energiewende und dadurch auf die Schweizer Bevölkerung auswirkt.

²⁴ Energieperspektiven 2050

2. Die Mehrzahl der Projekte befindet sich zurzeit noch im Planungsstadium (Vorprojekt oder hängig).

Könnten die geplanten Windkraftprojekte realisiert werden, würden weitere folgen und das Ziel für 2050 könnte erreicht werden. Die über 900 MW, die derzeit hängig oder in der Vorprojektphase sind, decken noch nicht alle von den Kantonen identifizierten Gebiete ab, die sich für die Entwicklung von Windenergie eignen. Weitere Projektideen sind zurzeit schwer zu quantifizieren, aber die potenzielle installierte Leistung liegt in jedem Fall über 300 MW.

Diese Bilanz ist der Beweis dafür, dass die Anreizstrategie des BFE funktioniert hat und das Potenzial vorhanden ist. Notwendig sind nun klare Rahmenbedingungen für vereinfachte und beschleunigte Verfahren.

5.1.1 Realisierte Projekte

In der Schweiz sind heute 13 Windparks mit je 1 bis 16 Windturbinen in Betrieb. Die insgesamt 37 Windturbinen verfügen über eine installierte Gesamtleistung von 75,1 MW. Kleine Windkraftanlagen sind darin nicht enthalten. Ein Windpark mit 5 Windturbinen befindet sich auf dem Gotthard im Bau und wird die Gesamtleistung um weitere 11,75 MW erhöhen.

5.1.2 Projekte in laufenden Verfahren

Die aktuellen Projekte in laufenden Verfahren sind:

Windpark	Kanton	Eingabe Nutzungsplanung	Verfahrensphase	Instanz	Bemerkungen
Sainte-Croix	VD	2010	Rekurs gegen Nutzungsplan	BG	
EolJorat Sud	VD	2014	Rekurs gegen Nutzungsplan	BG	Rekurse abgelehnt
Sur Grati	VD	2014	Rekurs gegen Nutzungsplan	BG	Rekurse abgelehnt
Bel Coster	VD	2018	Nutzungsplan genehmigt	-	Durch den Kanton
Eoljoux	VD	2014	Rekurs gegen Nutzungsplan	KG	
Mollendruz	VD	2015	Rekurs gegen Nutzungsplan	KG	
Crêt-Meuron	NE	2002	Baugesuch	BG	
Montagne de Buttes	NE	2016	Rekurs gegen Nutzungsplan /Baubewilligung	KG	
Schwyzberg	FR	2009	Rekurs gegen Nutzungsplan	BG	Kant. Richtplan ausstehend
Montagne de Tramelan	BE	2014	Rekurs gegen Nutzungsplan /Baubewilligung	KG	
Grenchenberg	SO	2014	Rekurs gegen Nutzungsplan	BG	
Charrat	VS	2012	Rekurs gegen Nutzungsplan	KG	Kant. Richtplan ausstehend
Dents du Midi	VS	2008	Rekurs gegen Nutzungsplan	KG	Zurück zum Kanton
Mont d'Ottan	VS	2012	Nutzungsplan in Bearbeitung	-	Nutzungsplan der Gemeinde
Combe de Barasson / Bourg-St-Bernard	VS	2016	Rekurs gegen Nutzungsplan	KG	Kant. Richtplan ausstehend

Tabelle 1: Windkraftprojekte in laufendem Verfahren in der Schweiz, 2019

Während sich einige Projekte seit über zehn Jahren in laufenden Verfahren befinden, wurden die ältesten Projekte sogar schon vor Beginn des neuen Jahrtausends gestartet. Dies zeigt sowohl die Komplexität der Planung wie auch die Langsamkeit der Entscheidungsfindung auf.

5.1.3 Projekte in Planung

33 Projekte befinden sich in Planung (Vorprojekt) und 19 Projekte sind hängig oder auf Eis gelegt. Dies entspricht einer potenziellen Produktion von über 1,6 TWh/Jahr, und dies unter Berücksichtigung der Leistung der aktuellen Windturbinen, also ohne Einbezug des technologischen Fortschritts.

Sollten die geplanten Projekte bis 2035 infolge der Vereinfachung der Verfahren und der etablierten Rechtsprechung realisiert werden, wäre das zweite vom Bund festgelegte Zwischenziel von 1,7 TWh/Jahr wieder erreichbar und könnte durch den Einsatz leistungsstärkerer Windkraftanlagen sogar weitgehend übertroffen werden. Das Potenzial ist folglich effektiv vorhanden, und bei den Entwicklern, der Bevölkerung und beim Bund ist der Willen zu dessen Nutzung vorhanden. Das Schicksal dieser Projekte ist in hohem Mass abhängig von den zum grössten Teil Anfang 2020 erwarteten Entscheidungen über die Projekte, die sich zurzeit in laufenden Verfahren oder infolge von Rekursen vor Gericht befinden.

5.1.4 Aufgegebene Projekte

Einige Projekte, die nicht in der Abbildung 24 aufgeführt sind, wurden vor allem wegen unzureichender Windverhältnisse aufgegeben. Bei allen anderen aufgeführten Standorten, die sich zurzeit in Planung oder in laufenden Verfahren befinden, wurden die Windverhältnisse ermittelt und durch Messkampagnen validiert.

5.1.5 Projektideen

Es sind zahlreiche weitere Projektideen vorhanden, deren Planung noch nicht begonnen hat. Ihre Anzahl entspricht in der Regel den in den kantonalen Richtplänen aufgeführten Standorten, die in Zukunft aktualisiert werden können.

Die von Pronovo im Cockpit EVS (Einspeisevergütungssystem, früher KEV)²⁵ veröffentlichten Zahlen geben einen ersten Überblick über den Umfang der Projektideen und veranschaulichen das in der Schweiz vorhandene Windenergiepotenzial sowie die Bereitschaft der Entwickler zur Erzeugung von erneuerbarer Energie aus Wind: 62 MW Windkraft, die von der KEV profitieren, sind derzeit in Betrieb. 1'014 MW haben bereits einen positiven Entscheid für das EVS erhalten, während 843 MW noch auf der Warteliste stehen. Insgesamt entspricht dies einem angekündigten Produktionspotenzial von mehr als 3,2 TWh/Jahr, dessen Umsetzung jedoch aufgrund fehlender Rahmenbedingungen und langer Verfahren mit unsicherem Ausgang in Bezug auf die Entwicklung der Windenergie stagniert. Die in Kapitel 4 erwähnten technischen Fortschritte lassen sogar die Annahme zu, dass das Ziel von 4,3 TWh/Jahr ohne eine Erhöhung der Anzahl der Anlagen erreicht werden könnte.

5.2 Gründe für die Verzögerungen und Blockaden

5.2.1 Systematische Einsprache

Von den 17 Windparks, gegen die Rekurse oder Einsprachen eingereicht wurden (14 in laufenden Verfahren, 1 in Bau und 2 in Planung), können die Verzögerungen auf die folgenden Kategorien von Gegnern zurückgeführt werden:

- Privatpersonen und lokale Vereine: in 65 % der Fälle
- Landschaftsschutzorganisationen: in 40 bis 50 % der Fälle
- Pflanzen- und Tierschutzorganisationen: in 30 bis 35 % der Fälle
- Gemeinden: in 18 % der Fälle
- Andere NGOs, BAFU: in 6 % der Fälle

²⁵ [Funktionsweise des EVS von Pronovo](#)

Die Themen, die in den Einsprachen und Rekursen regelmässig vorgebracht werden, lassen sich nach einer von Suisse Eole durchgeführten Argumentationsstudie in die folgenden sechs Themenbereiche einteilen, nachfolgend aufgeführt nach Wichtigkeit:

1. Lärmemissionen
2. Schattenwurf
3. Auswirkungen auf die Landschaft
4. Auswirkungen auf die Tierwelt (hauptsächlich Vögel und Fledermäuse)
5. Energieproduktion und -effizienz
6. Gefahren durch Raureif und Eis

Danach folgen die Umweltbelastung (Wasser, Pflanzenwelt), die Landnutzung, die Auswirkungen auf die Immobilienpreise²⁶ und die finanziellen Aspekte der Projekte. Die Auswirkungen auf Tourismus- und Freizeitaktivitäten werden nur selten vorgebracht.

Die wichtigste Erkenntnis bei der Betrachtung dieser Themen ist, dass der Vorwand des Störens, der oft subjektiv und sehr emotional ist, im Mittelpunkt der Rekurse steht. Alle technischeren Aspekte werden bereits effizient bewältigt, entweder durch die Einhaltung der gültigen Normen (Lärmemissionen, Schattenwurf, Eiswurf) oder durch entsprechende Schutz- und Kompensationsmassnahmen (Tiere und Umwelt). Produktionsbezogene Einwände sind oft unbegründet, da ein Projekt in den kantonalen Richtplan aufgenommen werden muss und ausreichende Windverhältnisse vorhanden sein müssen, damit es überhaupt weiterverfolgt werden kann.

Kantonale Gerichte haben 2019 in dieser Weise geurteilt²⁷ und Suisse Eole hofft, dass die noch ausstehenden Entscheide eine Rechtsprechung zugunsten der Energiewende und des Klimaschutzes schaffen werden.

5.2.2 Geringe Akzeptanzprobleme der lokalen Bevölkerung

Es lässt sich feststellen, dass eine Mehrheit der lokalen Bevölkerung die Windenergie unterstützt, wenn sie bei den Projekten mit einbezogen wird. In den 22 Fällen, in denen die Bevölkerung für oder gegen den Nutzungsplan eines Windparks wählen konnte, sprach sie sich in 86 % der Fälle dafür aus. Die weit verbreitete Idee gewisser Windkraftgegner-Organisationen, die behaupten, die Mehrheit der Bevölkerung zu vertreten, wenn sie gegen Windparkprojekte Einsprache erheben oder Rekurs einleiten, ist daher völlig falsch. Die Mehrheit der Bevölkerung unterstützt Windenergieprojekte, wenn sie gut informiert ist.

Die lokale Bevölkerung spricht sich weitgehend für Windprojekte aus!

Bis heute erfolgte Abstimmungen über Nutzungspläne (19/22):

Court BE: 70 % Nein (März 19)	Vallorbe VD: 58 % JA (Juni 16)
Kienberg SO: 60 % JA (Dez. 18)	Charrat VS: 60 % / 66 % JA (Feb. 14 / Juni 16)
Ballaigues VD 73 % JA (März 18)	Grenchen SO: JA (Juni 15)
Lignerolle VD 91 % JA (März 18)	Vaulion VD: JA (April 15)
L'Abergement 88 % JA (März 18)	Premier VD: JA (April 15)
La Praz VD 65 % Nein / 55 % JA (Jan. / März 18)	Saïcourt BE: 59 % JA (März 15)
Juriens VD: 92 % JA (Jan. 18)	Tramelan BE: 60 % JA (März 15)
Mont-La-Ville VD: 58 % JA (Jan. 18)	Kanton Neuenburg: 65 % JA (Mai 14)
Val-de-Travers NE: 59 % JA (Sept. 16)	Saxon VS: 60 % Nein (Feb. 14)
Le Chenit VD: 63 % JA (Sept. 16)	Sainte-Croix VD: 53 % JA (Feb. 12)

Abbildung 25: Liste und Ergebnisse der Abstimmungen über Nutzungspläne, Stand Ende 2019 [Suisse Eole]

In den Gemeinden Collonges und Dorénaz hatten sich innerhalb von zehn Jahren nach der Inbetriebnahme der Windkraftanlagen die Grundstückspreise mehr als verdoppelt und die Bevölkerung war um fast 40 % gewachsen²⁸. Diese Zahlen zeigen auf, dass die Anwesenheit von Windkraftanlagen in den Gemeinden weder zu einer Abwertung des Landes geführt noch neue Menschen davon abgehalten hat, sich niederzulassen.

²⁶Eine Studie von Wüest Partner aus dem Jahr 2019 ergab, dass sich keine Wertminderungen bei Immobilien in der Nähe von bestehenden und geplanten Windparks in der Schweiz feststellen lassen ([Link](#)).

²⁷ [Suisse Eole News](#)

²⁸Zahlen der Gemeinden, die Suisse Eole zur Verfügung gestellt wurden

5.3 Entwicklung in der Schweiz im Vergleich

Ein Vergleich der Entwicklung der Windenergie in der Schweiz mit der im benachbarten Österreich, das bei vergleichbarer Einwohnerzahl doppelt so gross ist, führt zu folgendem Ergebnis: Österreich, ein ebenso gebirgiges und touristisches Land wie die Schweiz, baute die Windenergie seit Anfang des Jahrtausends bis Ende 2018 auf 1'313 Windturbinen mit einer installierten Gesamtleistung von 3'045 MW aus, d. h. der Ausbau ist vierzigmal höher als in der Schweiz.

In Abbildung 26 zeigt der Vergleich des aktuellen Stands der Planung in der Schweiz mit der Anzahl der sich in laufenden Verfahren befindlichen Projekte und der vom Bund gesetzten Ziele (die genauen Zahlen werden in diesem Kapitel genannt) auf, dass die Schweiz zum heutigen Zeitpunkt rund 20 Jahre hinter der österreichischen Planungsgeschichte herhinkt.

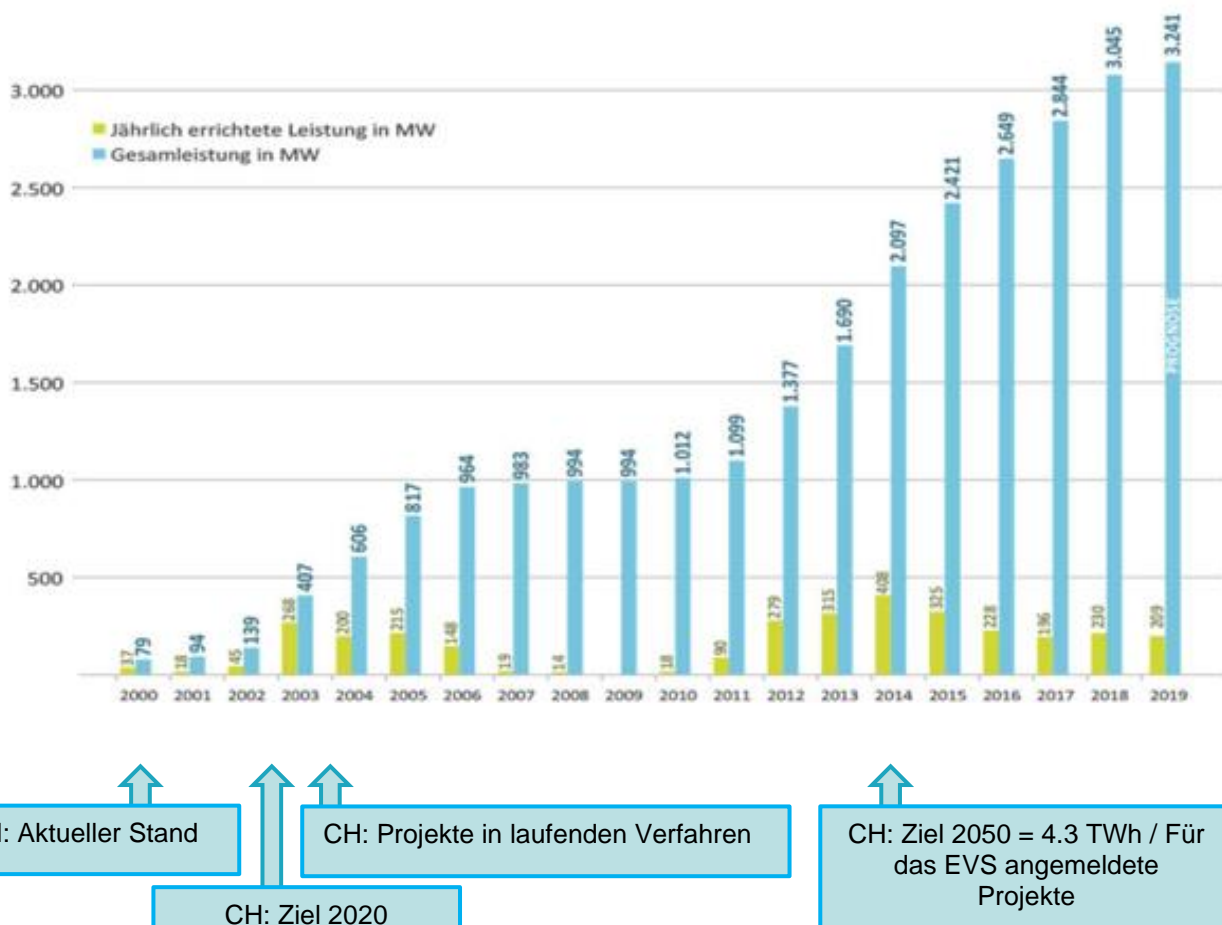


Abbildung 26: Vergleich der Entwicklung der Windenergie in Österreich mit der Planung von Windkraftanlagen in der Schweiz seit Anfang des Jahrtausends [Suisse Eole]

Das zeigt, dass die Entwicklung in Österreich im Vergleich zur Schweiz bei relativ ähnlichen Bedingungen weit fortgeschritten ist. Mit seiner Windenergieproduktion konnte Österreich im Jahr 2018 durchschnittlich 10 % des Stromverbrauchs abdecken, die Schweiz nur gerade 0,2 %. Ein grosser Teil der Windkraftanlagen befindet sich zwar im Flachland, aber Österreich hat auch begonnen, sein alpines Potenzial auszuschöpfen, um die für 2030 gesetzten Ziele von 25 % Windstrom zu erreichen. Vorteilhafte Rahmenbedingungen und schnelle Verfahren spielten eine wichtige Rolle in dieser Entwicklung. Ausserdem passt Österreich seine rechtlichen Rahmenbedingungen zur Förderung der Windenergie im alpinen Raum laufend an.

6. Analyse des Windenergiepotenzials in der Schweiz

Eine der Bewertungsgrundlagen für das vom Bund festgelegte Windstromziel von 4,3 TWh/Jahr bis 2050 ist eine von Meteotest im Auftrag des BAFU im Jahr 2012 durchgeführte Windenergiepotenzialstudie. Sie ermittelte ein nachhaltiges Potenzial (siehe Abb. 27) unter Anwendung strenger Kriterien und eher vorsichtiger Schätzungen, wie die Autoren im Vorwort bemerkten [10].

Das Hauptziel dieses Kapitels ist eine kurze Analyse des von Meteotest 2012 geschätzten Windenergiepotenzials. Angesichts der technischen Entwicklung und des Wissensstandes sieben Jahre nach dieser ersten Beurteilung ist es notwendig, die inzwischen veralteten Basisdaten und damit das nachhaltige Windenergiepotenzial der Schweiz zu aktualisieren. Bei den bestehenden Windparks sind die Windwerte im Allgemeinen höher als die Werte in den verwendeten Windkarten.

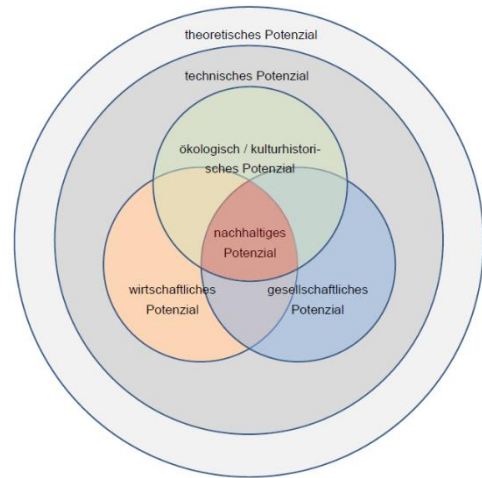


Abbildung 27: Schema der verschiedenen Potenziale

Das bisher erheblich unterschätzte Potenzial in den Alpen wird in diesem Kapitel ebenfalls berücksichtigt und die Vorteile der Windenergie und ihre Komplementarität mit anderen Energiequellen werden aufgezeigt. Der Stellenwert der Windenergie wird für jede geografische Region präzisiert.

Als Folge der Aktualisierung des Windenergiepotenzials ist für Suisse Eole ein neues Ziel von 9 TWh/Jahr realistisch, wovon 6 TWh im Winterhalbjahr erzeugt würden. Dieses Ziel berücksichtigt neben den technologischen Fortschritten, die auch Standorte mit Windgeschwindigkeiten unter dem globalen Durchschnitt wirtschaftlich machen, insbesondere die Erschliessung des Potenzials der Wälder. Zudem wurde die echte Interessenabwägung, die durch die Einführung eines nationalen Interesses an neuen erneuerbaren Energien möglich wird, einbezogen.

6.1 Aktualisierung des Potenzials

6.1.1 Grundlagen

Die durch Meteotest im Jahr 2012 vorgenommene Berechnung des nachhaltigen Potenzials – die Annahmen und Auswahlkriterien sind in einem separaten Bericht aufgeführt [11] – ergab 18,2 TWh/Jahr, wie die Tabelle 2 veranschaulicht.

CH	Windgeschwindigkeit > 4.5 m/s	Windgeschwindigkeit > 5.0 m/s
Szenario 1 (heute) Nabenhöhe 100 m Rotordurchmesser 100 m	10.6 TWh	6.6 TWh
Szenario 2a 2b (morgen) Nabenhöhe 100 / 120 m Rotordurchmesser 128 m	14.3 / 18.2 TWh	8.8 / 10.7 TWh
Szenario 3 (wie 2b) jedoch ohne Ausschluss von Schutzgebieten	26.8 TWh	17.3 TWh

Tabelle 2: Nachhaltiges Windenergiepotenzial 2050 für verschiedene von Meteotest 2012 berechnete Szenarien. [10]

Da sich seit der Erstellung der Studie 2012 der rechtliche Rahmen, die Technologie und das Wissen weiterentwickelt haben, müssen die Kriterien und die Daten, auf denen die Berechnungen basieren, überprüft werden. Die 2019 von Suisse Eole berücksichtigten Korrekturen betreffen vor allem die folgenden drei Aspekte:

- **Bessere Kenntnisse der Windverhältnisse**

Die Daten der Windkarte 2011 von Meteotest sind nicht mehr aktuell. Neben neuen Windmessungen auf bis zu 130 Meter hohen Masten wurde auf schweizerischer und europäischer Ebene viel Arbeit geleistet, um die Zuverlässigkeit der Wettermodelle zu erhöhen. Heute ist eine genauere Schätzung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten des gesamten Gebietes verfügbar, beispielsweise in der Form des nachfolgend beschriebenen New European Wind Atlas (NEWA).

Die Aktualisierung der Windgeschwindigkeiten, die bei der Bewertung des Potenzials als Referenz dienen, ist folglich notwendig. Heute weiss man, dass die Windverhältnisse in der Schweiz gut bis hervorragend sind, so dass gegenüber 2011 mehr Gebiete ein wirtschaftlich interessantes Potenzial aufweisen und eine höhere Stromproduktion möglich ist.

- **Technologische Entwicklung der Windenergie**

Die technologischen Fortschritte führen dazu, dass die Windturbinen auch bei geringeren Windgeschwindigkeiten immer leistungsfähiger werden. Die neuen Windturbinen ermöglichen eine höhere Produktion pro Anlage und Jahr bei gleichen Windverhältnissen und ohne dass ihre Gesamthöhe oder ihr Durchmesser wesentlich erhöht werden muss. Zudem sind neue Technologien verfügbar, die die Entwicklung der Windkraft in den Alpen ermöglichen (siehe Kapitel 4.1.4).

- **Berücksichtigung des nationalen Interesses bei der Interessenabwägung**

Der vollständige Ausschluss der BLN-, ISOS- und IVS-Gebiete für die Windenergienutzung entfällt. Mit dem EnG vom 30. September 2016 und der EnV vom 1. Januar 2017, die am 1. Januar 2018 in Kraft getreten sind, gelten diese Gebiete neu als „Schutzgebiete mit Interessenabwägung bei nationalem Interesse“ und dieses Interesse ist bei einem Windpark ab einer Produktion von 20 GWh/Jahr vorhanden. Damit kann ein zusätzlicher Teil des Schweizer Windenergiepotenzials erschlossen werden, weil neu Ausnahmen von der Regel, dass ein im Inventar gelistetes Objekt intakt bleiben muss, in Betracht gezogen werden können²⁹.

Neues Instrument: New European Wind Atlas

Der 2019 veröffentlichte Neue Europäische Windatlas (NEWA³⁰) ist das Ergebnis eines Konsortiums von Forschungsinstituten in Zusammenarbeit mit Anlagenhersteller Vestas und beruht auf einem mit über 13 Millionen Euro unterstützten EU-Projekt. Die Daten im Mikro-Massstab weisen eine Auflösung von 50 m auf, das heisst eine doppelt so hohe Auflösung wie der Schweizer Windatlas. Suisse Eole ist der Ansicht, dass die Schweizer Windkarte unter Verwendung des NEWA als offizielles Instrument des Bundes aktualisiert werden sollte.

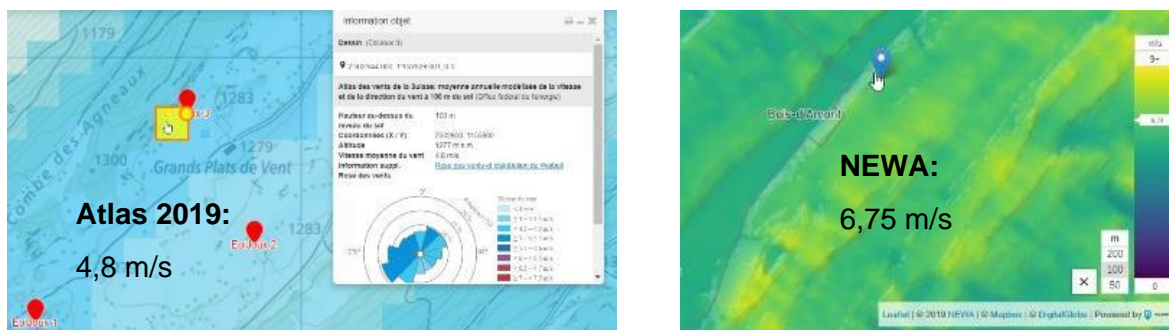


Abbildung 28: Vergleich zwischen dem Windatlas Schweiz 2019 und dem NEWA für den Standort Eoljoux in 100 m Höhe. Die Windmessungen vor Ort liegen näher am NEWA-Wert [Suisse Eole].

²⁹ EnG vom 30. September 2016, EnV vom 1. Januar 2017

³⁰ <https://map.neweuropeanwindatlas.eu>

Gemäss einer Studie von Suisse Eole, die an einer Stichprobe von 30 Windkraftanlagen in der ganzen Schweiz durchgeführt wurde, weist der NEWA deutlich höhere Werte auf, als die, die im Windatlas Schweiz 2019 aufgeführt sind. Windmessungen an den einzelnen Standorten bestätigen ausserdem die meisten Werte des NEWA, die im Windatlas Schweiz 2019 deutlich unterschätzt werden³¹.

Abschliessend ist festzuhalten, dass man sich bewusst sein muss, dass die in den verschiedenen Atlassen aufgeführten Werte indikativ und nicht absolut sind. Sie können je nach den verwendeten Daten und Modellen, dem verfügbaren Budget und der Anzahl der an ihrer Erstellung beteiligten Akteure stark variieren. Das BFE erinnert in seiner Stellungnahme zum Windatlas Schweiz 2019 daran, dass nur konkrete Windmessungen vor Ort zur Ermittlung des Windenergiepotenzials an einem bestimmten Standort herangezogen werden dürfen: „Die Windmessungen vor Ort sind in jedem Fall höher zu gewichten als die Resultate des Windatlas und dürfen unter keinen Umständen durch allfällige Abweichungen im Windatlas in Frage gestellt werden.“

6.1.2 Neues Windenergiepotenzial der Schweiz

Auf Grund der Aktualisierung der in 6.1.2 genannten Annahmen und Basisdaten sowie auf der Grundlage der von Meteotest 2012 durchgeführten Studie nahm Suisse Eole eine neue Schätzung des nachhaltigen Windenergiepotenzials in der Schweiz bis 2050 vor. Dieses beträgt 30 TWh/Jahr

Dieses Potenzial entspricht jedoch nicht dem Entwicklungsziel, das sich Suisse Eole für 2050 gesetzt hat und das in Kapitel 6.4. genauer erläutert wird.

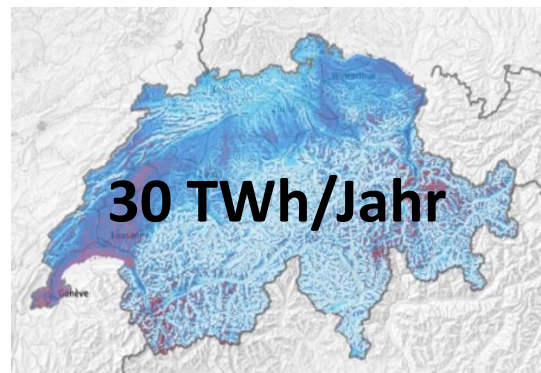


Abbildung 29: Nachhaltiges Windenergiepotenzial 2050 [Suisse Eole]

Schweiz	Potenzial für Standorte mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten > 4,5m/s	Potenzial für Standorte mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten > 5 m/s
Szenario 1 (heute, 2020) Masthöhe 120 m Rotordurchmesser 128 m	20 TWh	12 TWh
Szenario 2 (morgen, 2050) Masthöhe 135 m Rotordurchmesser 150 m	30 TWh	20 TWh
Szenario 3 (Zukunft) Einbezug des vollen Potenzials der Schutzzonen	50 TWh	35 TWh

Tabelle 3: Nachhaltiges Windenergiepotenzial 2050 mit verschiedenen Szenarien für die Schweiz

Diese Schätzungen des Schweizer Windenergiepotenzials basieren auf einigen Annahmen, die Meteotest in seiner ersten Studie 2012 anwandte, sowie auf durch Suisse Eole vorgenommenen Korrekturen³². Diese Zahlen unterschätzen wahrscheinlich das tatsächliche Potenzial nach wie vor und werden auf der Grundlage der in diesem Kapitel enthaltenen Annahmen erneut aktualisiert werden müssen.

³¹ Bericht von Suisse Eole zum Windatlas Schweiz 2019, Mai 2019

³² Siehe [10]

6.2 Einbeziehung des alpinen Kontextes

6.2.1 Erheblich unterschätztes Potenzial in den Alpen

Im Gegensatz zu den meisten Standorten, an denen die Windenergie zurzeit weltweit genutzt wird, hat die Schweiz ein komplexes alpines Gelände, in dem aufgrund der einzigartigen Topographie und der Thermik im Tal und im Gebirge viele räumlich und zeitlich variierende Windbeschleunigungen auftreten. Die aktuellen, in der Regel zur Erstellung von Windatlassen verwendeten digitalen Modelle verfügen nicht über eine ausreichend hohe Auflösung, um diese lokalen Phänomene erfolgreich zu erfassen. Das führt bis heute zu einer starken Unterschätzung des Schweizer Windenergiepotenzials (auch im Fall einer Neubewertung des Potenzials, wie in Kapitel 6.1.2 vorgeschlagen).

Tatsache ist, dass das Energiedefizit im Winter nicht allein durch die verstärkte Entwicklung der Photovoltaik ausgeglichen werden kann. Die Beziehung zwischen Windgeschwindigkeit und erzeugter Energie ist nicht linear. Es genügt nicht, lediglich die durchschnittlichen jährlichen Windgeschwindigkeiten als Grundlage für die Ermittlung der Energieerzeugung durch Windkraft zu nehmen, da sie die zeitlich-dynamischen Aspekte nicht berücksichtigen. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, Standorte mit hohem Windenergiepotenzial im Winter rasch zu identifizieren.

Zu diesem Zweck entwickelt die EPFL zurzeit ein neues Modell im Rahmen des vom BFE unterstützten Projekts MaxWEP³³. Ziel dieses Projekts ist es, das alpine Windenergiepotenzial mit einer Auflösung von 100 m genauer zu ermitteln, um eine Liste von alpinen Standorten mit hohem Potenzial für den Bau von Windparks zu erstellen. Die Ergebnisse der Simulationen werden durch LIDAR-Messungen validiert und mit den Ergebnissen aktueller digitaler Modelle verglichen. Anhand dieser Daten kann der Schweizer Windatlas korrigiert und eine Aktualisierung des Windenergiepotenzials in komplexem Gelände erstellt werden.

6.3 Vorteile der Windenergie

6.3.1 Hervorragende Ökobilanz

Suisse Eole möchte an dieser Stelle noch einmal auf die hervorragende Ökobilanz von Windenergie sowohl in Bezug auf den CO₂-Ausstoss als auch hinsichtlich der Umweltbelastung hinweisen (siehe Kapitel 3.5.3).

6.3.2 Geografische Komplementarität: Jederzeit Windstrom in der Schweiz

Zu diesem Ergebnis kommt eine Analyse von Suisse Eole, die auf den stündlichen Produktionsdaten von 26 der 37 Schweizer Windkraftanlagen basiert, die etwa drei Viertel der installierten Leistung in der Schweiz und 80 % der jährlich produzierten Energie entsprechen³⁴. Anhand von standardisierten Daten aus den verschiedenen sich aktuell in Betrieb befindlichen Windparks konnte das Produktionsprofil einer typischen Windturbine in der Schweiz ermittelt und die Komplementarität der Windregime der verschiedenen Regionen geprüft werden. In anderen Worten: Produzieren die Schweizer Windkraftanlagen alle gleichzeitig oder zu unterschiedlichen Zeiten?

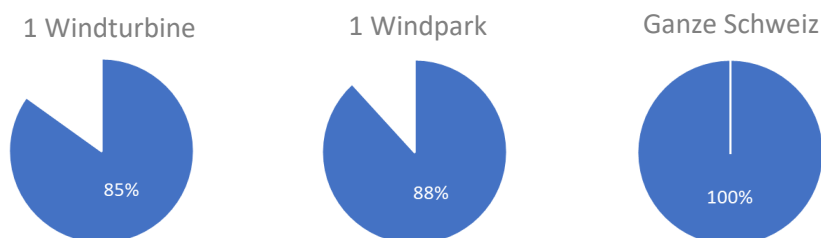


Abbildung 30: Zeitanteil der Stromerzeugung durch Windkraft (Einspeisung ins Netz) in der Schweiz 2018 [Suisse Eole]

³³ <https://people.epfl.ch/michael.lehning>

³⁴ Daten 2018 der folgenden Parks: Mont-Crosin, Peuchapatte, Rhone-Knie (Dents du Midi, Courtis-Neufs, Charrat), Entlebuch (Lutersarni, Rengg) und Gütsch

Die Antwort ist klar: Die Windregime in der Schweiz ergänzen sich optimal. Eine einzelne Windturbine speist über ein Jahr gesehen während 85 % der Zeit Strom ins Netz ein. Dieser Wert steigt bei Betrachtung eines ganzen Windparks an und erreicht bei Berücksichtigung aller Schweizer Windkraftanlagen 100 %. Mit Windenergie wird folglich in der Schweiz jederzeit Strom produziert, was bedeutet, dass sie einen Teil des Bedarfs an Bandenergie abdeckt. Zum Vergleich: Bei der Solarenergie (nur Tagesproduktion) erreicht dieser Wert etwa 50 %.

6.3.3 Schweizer Windkraftanlagen produzieren Strom, wenn die europäischen keinen erzeugen

Eine unlängst durch die ETH Zürich veröffentlichte Studie analysierte die wichtigsten Windregime in Europa und verglich die durchschnittliche Auslastung in verschiedenen Regionen oder Ländern für jedes der sieben Regime. Der Vergleich von insgesamt 23 europäischen Regionen mit der Schweiz zeigt auf, dass die europäischen Regionen sich gegenseitig ergänzen und dass es sinnvoll ist, das Windenergiepotenzial jeder dieser Regionen zu nutzen, um eine konstante Stromproduktion aus Windenergie in Europa zu gewährleisten.

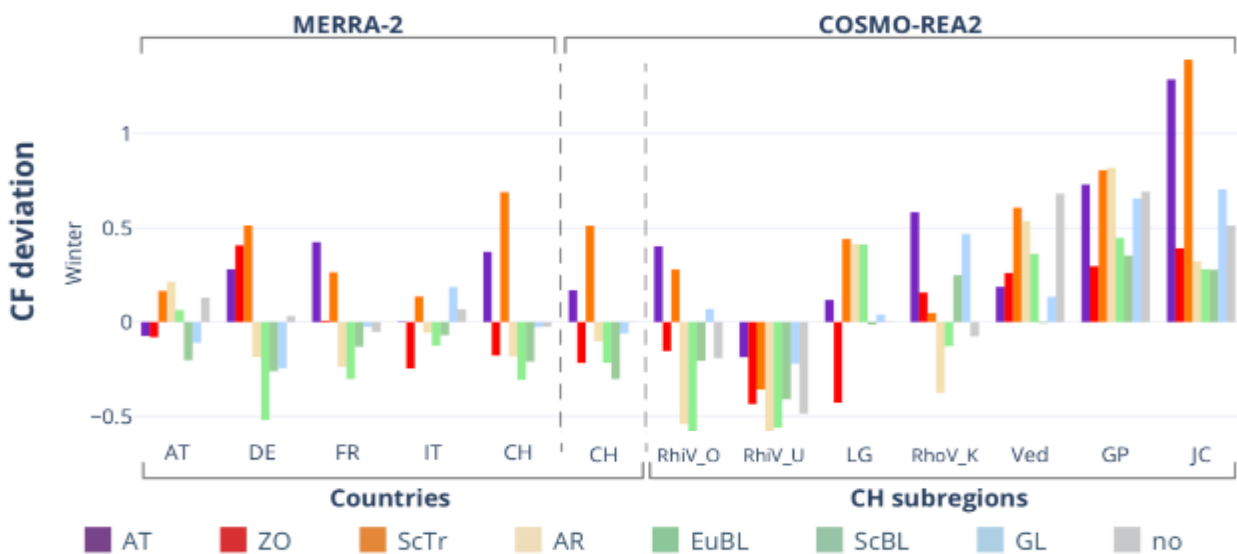


Abbildung 31: Abweichung von der durchschnittlichen Auslastung in den verschiedenen Regionen der Schweiz im Vergleich zu den Nachbarländern [17]

Die Studie konzentrierte sich auch auf die Schweiz, indem sie die Komplementarität der Winde in 14 Regionen des Landes mit einem hochauflösenden Modell analysierte. Auch hier sind die Ergebnisse klar und bestätigen die von Suisse Eole in einer Auswahl der Gebiete mit Windenergiepotenzial in der Schweiz gemachten Beobachtungen (Kapitel 6.3.1): Innerhalb der Schweiz ist eine geografische Komplementarität vorhanden – insbesondere im Winter. Eine schweizweite Nutzung der Windenergie ist folglich strategisch wünschenswert und trägt zur Bandenergieproduktion bei. Damit leistet sie einen erheblichen Beitrag zur Versorgungssicherheit.

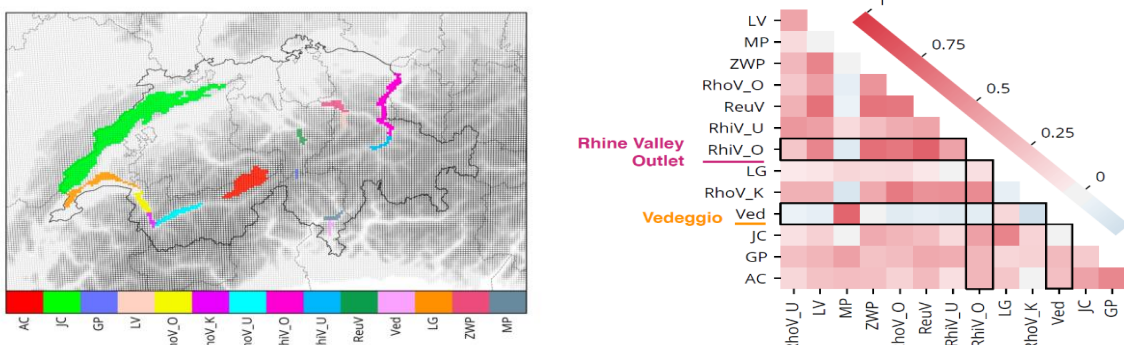


Abbildung 32: Berücksichtigte Regionen der Schweiz und Korrelation der Windregime. Die nördlichen Alpentäler korrelieren gut miteinander, im Gegensatz zu den südlichen und nördlichen Alpen. [17]

6.3.4 Saisonale Komplementarität: wertvoller Beitrag der Windenergie im Winter

Zusätzlich zur Analyse der geografischen Komplementarität von Windkraftanlagen untersuchte Suisse Eole die saisonale Verteilung der Stromproduktion anhand von Produktionsdaten verschiedener Windparks in der Schweiz³⁵. Die Analyse zeigt: Im Durchschnitt werden zwei Drittel der von einer Windkraftanlage erzeugten Energie in der kalten Jahreszeit produziert, also genau dann, wenn der Stromverbrauch am höchsten ist. Eine Ausnahme bildet das Rhone-Knie im Wallis, wo die Produktion im Sommer aufgrund aussergewöhnlicher thermischer Winde deutlich höher ist.

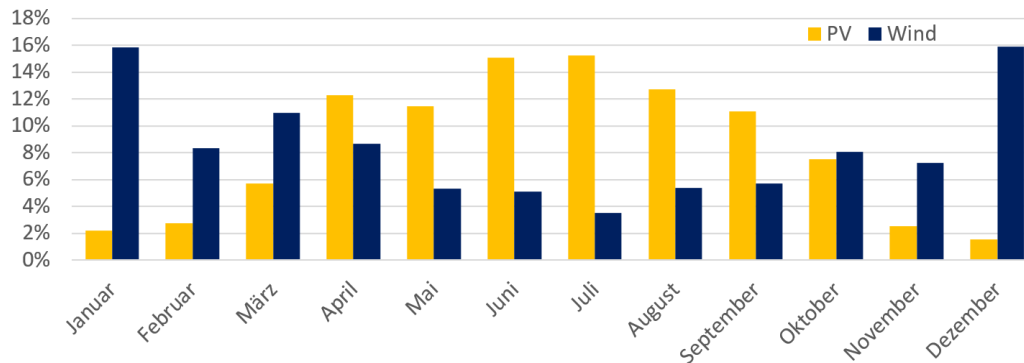


Abbildung 33: Monatliche Verteilung der Energieproduktion einer Windturbine im Vergleich zur Photovoltaik [Suisse Eole]

Die Windenergie stellt daher, wie in Kapitel 7 genauer erläutert, eine perfekte Ergänzung zu den anderen erneuerbaren Energiequellen dar.

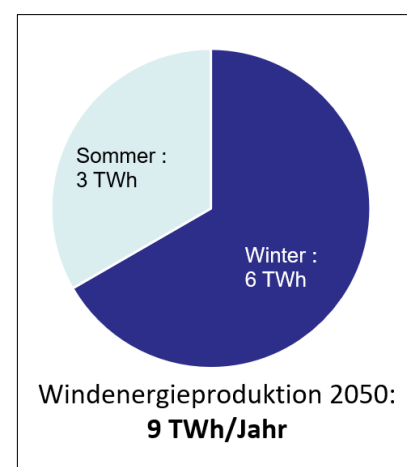
6.4 Neues Ziel für Schweizer Windenergie

Die Energiestrategie 2050, die ein Ziel von 4,3 TWh/Jahr bis 2050 anstrebt, wurde mit einer Produktion pro Windenergieanlage von 3 GWh/Jahr berechnet (was einer Nennleistung von 2 MW und einer Produktionsprognose von 1500 Std. entspricht). Anlagen der neuesten Generation haben eine Referenzleistung von 4,2 MW (bis zu 6 MW) und können Volllastäquivalente von etwa 2'400 Stunden erreichen. Dies entspricht mehr als einer Verdreifachung der Jahresproduktion pro Anlage (10 GWh/Jahr).

Das zu erreichende Ziel könnte daher theoretisch für 2050 neu auf 14 TWh/Jahr erhöht werden. Für eine realistische Einschätzung des Potenzials müssen jedoch mehrere Faktoren berücksichtigt werden, die diese Zahl nach oben oder unten beeinflussen. Bestimmte technische oder regulatorische Einschränkungen limitieren zurzeit die Installation von Windturbinen der neuesten Generation an gewissen Standorten mit Windenergiepotenzial.

Zu den Annahmen, gemäss denen dieses Potenzial nach oben revidiert werden muss, gehören 1) bessere Kenntnisse der Windverhältnisse, um das Potenzial des Mittellandes und des Jurabogens optimal auszuschöpfen, 2) bessere Leistungsmerkmale der Anlagen, um Standorte mit geringeren Windgeschwindigkeiten wirtschaftlich zu machen, und 3) die kürzliche Anerkennung der Windenergie als nationales Interesse, um eine echte Interessenabwägung sicherzustellen und um bestimmte Gebiete mit hohem Windenergiepotenzial nicht systematisch auszuschliessen. Die Berücksichtigung des Potenzials der Wälder trägt ebenfalls zur Erhöhung des Windenergiepotenzials bei.

Suisse Eole erachtet es aus diesem Grund für realistisch, bis zum Jahr 2050 eine jährliche Windenergieproduktion von 9 TWh – davon 6 TWh im Winter – zu erreichen, ohne die Anzahl der aktuell geplanten Windenergieanlagen zu erhöhen.



³⁵Es wurden dieselben Daten wie in Kapitel 6.3.1 analysiert.

6.5 Umsetzung im Rahmen der Schweizer Planung

Der obere Zielwert des Konzepts Windenergie 2019 des Bundes, der nahe bei 7,5 TWh/Jahr liegt, beruht auf der aktuellen Planung und weniger leistungsstarken Windturbinen als die der neusten Anlagegenerationen. Ein Ziel von 9 TWh/Jahr ist daher bei unverändertem Planungsumfang, aber höherer Produktion, durchaus realistisch.

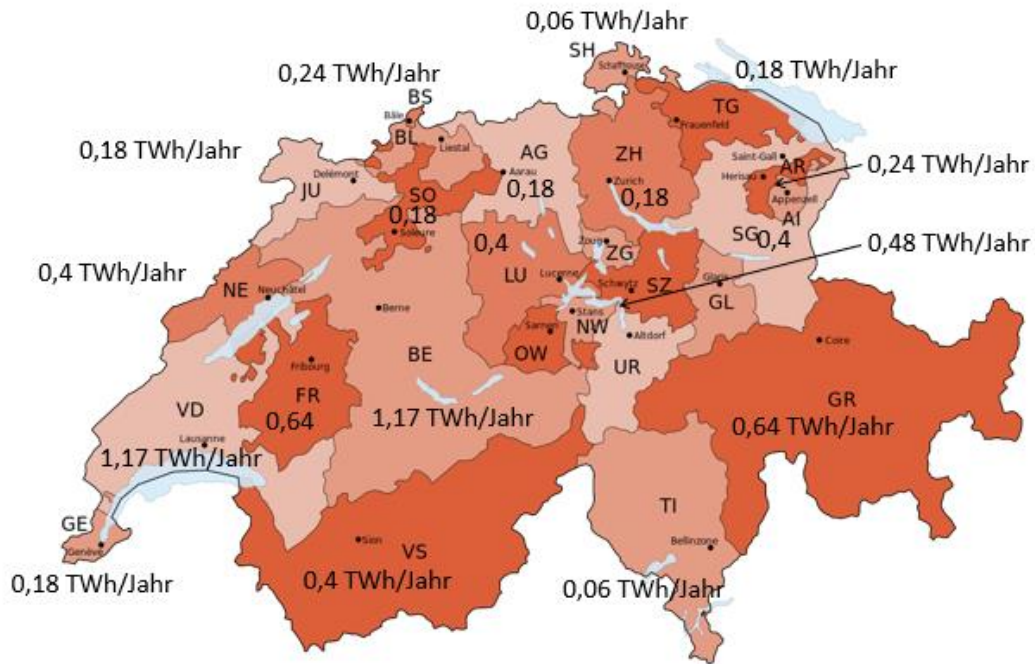


Abbildung 34: Entwicklungspotenzial für Windenergie in den Schweizer Kantonen gemäss Konzept Windenergie 2019 (oberer Wert), in TWh/Jahr [BFE]

7. Energieszenario von Suisse Eole – Notwendigkeit der Windenergie

2018 war die Schweiz acht Monate lang von ausländischen Energielieferungen abhängig, weil die inländische Produktion nicht ausreichte, um den Energiebedarf des Landes zu decken. Insgesamt mussten rund 7 TWh Energie, mit einer Spitzenleistung von 4 GW, importiert werden. Von den 63,5 TWh, die 2018 in der Schweiz erzeugt wurden, stammten 24,4 TWh aus Kernenergie [12] und 39,1 TWh aus bereits existierenden Anlagen zur Nutzung von thermischen und erneuerbaren Energien³⁶. Infolge der Annahme der Energiestrategie 2050 wird es zwingend notwendig sein, die nukleare Energieerzeugung durch andere Energieformen, insbesondere neue erneuerbare Energien, zu ersetzen. Sollten diese nicht ausreichen, wird die Schweiz insbesondere in den kältesten Monaten ausländischen Strom einkaufen müssen. Doch der importierte Strom stammt zum grossen Teil aus fossilen Energiequellen und wird im Winter importiert, was in der Schweiz gerade dann zu einer hohen Klimabelastung führt, wenn die Windenergie ihren grössten Beitrag leisten kann.

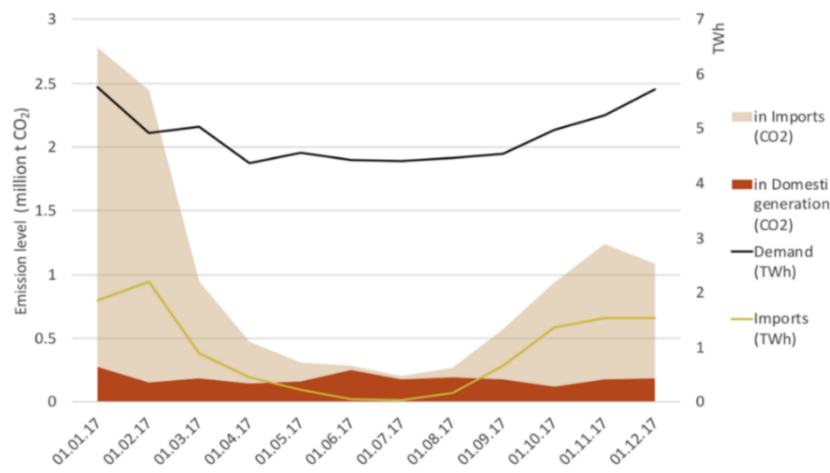


Abbildung 35: CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit der lokalen Produktion und den Importen [Universität Genf]

Neben den moralischen Aspekten einer zunehmenden Abhängigkeit von ausländischem Strom aus fossilen Brennstoffen ist diese Abhängigkeit unvermeidbar mit einem erheblichen Risiko für die Stromversorgungssicherheit der Schweiz verbunden: Knappheitsphasen in Europa, in denen wenig Strom zur Verfügung steht, könnten bei einem hohen Energieverbrauch in der Schweiz zu einem teilweisen oder vollständigen Blackout – wie es im Winter 2016/2017 beinahe der Fall war – mit katastrophalen Folgen für Mensch und Sicherheit führen. Darüber hinaus hängen Abkommen mit Europa zur Absicherung einer solchen Situation von der Politik und den Rahmenabkommen zwischen der Schweiz und der Europäischen Union ab, was die Energieautonomie der Schweiz weiter gefährden könnte.

Energieexpertinnen und -experten sowie Politikerinnen und Politiker haben sich sehr wohl mit dieser Frage befasst. Zu den vorgeschlagenen Szenarien gehört dasjenige von 2019, das die grösste Beachtung fand: Es setzt auf einen massiven Ausbau und Nutzung der Solarenergie (Photovoltaik) mit Tages- und Saisonspeichern als Ergänzung zur Wasserkraft mit Saison- und Pumpspeichern sowie auf den Einsatz von thermischen Kraftwerken (Gas) zur Überwindung des Winterdefizits³⁷.

Ziel dieses Kapitels ist es, anhand einer stündlichen Lastflussanalyse mit dem von Planair SA³⁸ entwickelten Tool GridView für drei verschiedene Szenarien aufzuzeigen, dass die Windenergie eine notwendige realistische und wirtschaftliche Lösung darstellt, um der Abhängigkeit vom Ausland entgegenzuwirken und das Schweizer Stromnetz so auszubauen, dass die fehlenden Leistungsspitzen aufgefangen werden können. Auf diese Weise kann der kritischen Winterperiode mit geringeren Risiken und im Einklang mit der Umwelt begegnet werden.

³⁶ SwissGrid

³⁷ Roger Nordmann, „Sonne für den Klimaschutz – Ein Solarplan für die Schweiz“, 2019 [17]

³⁸ www.gridnewdeal.com

Zuerst werden die Grundannahmen und Referenzen erläutert und danach drei Szenarien verglichen:

- A. Atomausstieg, Elektrifizierung der Mobilität und der Beheizung von Gebäuden, Realisierung des Photovoltaik-Potenzials und kurzfristige Batteriespeicherung
- B. Szenario A mit zusätzlicher saisonaler Speicherung zur Nutzung des Sommerüberschusses
- C. Szenario B mit Nutzung der Windenergie

Nur in Szenario C ist es möglich, die ungedeckte Leistungsspitze deutlich zu verringern und damit das Energiedefizit zu decken, ohne das grenzüberschreitende Stromübertragungsnetz zu verstärken. Gleichzeitig wird damit die Energieautonomie der Schweiz verbessert sowie die Abhängigkeit vom Ausland in den Wintermonaten verringert.

7.1 Grundannahmen und Referenzen

Die Aufgabe der **Windenergiestrategie: Winterstrom & Klimaschutz** besteht nicht darin, bestehende Energieszenarien neu zu erfinden, sondern auf bekannten und verlässlichen Annahmen aufzubauen und diese um die Nutzung der Windenergie zu ergänzen. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei den nachfolgend präsentierten und in den Simulationen der Energieszenarien verwendeten Daten um Stundenwerte handelt, die der Übersichtlichkeit halber im Folgenden meistens in monatlichen Werten dargestellt werden.

7.1.1 Stromverbrauch 2050

Die Hochrechnung des Endverbrauchs für das Jahr 2050 basiert auf den folgenden Annahmen³⁹:

- Endverbrauch 2018 (61,9 TWh)
- Verlagerung hin zu Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden (6 TWh saisonal)
- Elektrifizierung der Mobilität (17 TWh), d. h. ein Drittel des fossilen Energieverbrauchs der aktuellen Mobilität.

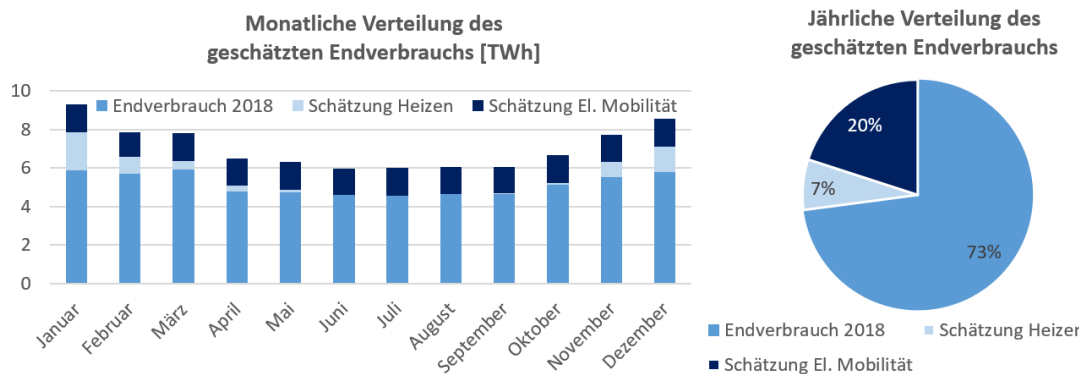


Abbildung 36: Geschätzter Schweizer Endverbrauch für 2050, in TWh, und jährliche Verteilung

7.1.2 Basisproduktion 2018

Die Produktion der 2018 bereits vorhandenen Anlagen zur Nutzung herkömmlicher thermischer Energie, Wasserkraft und anderer erneuerbarer Energien beläuft sich auf 39,1 TWh. Ihre monatliche Verteilung veranschaulicht Abbildung 36⁴⁰.

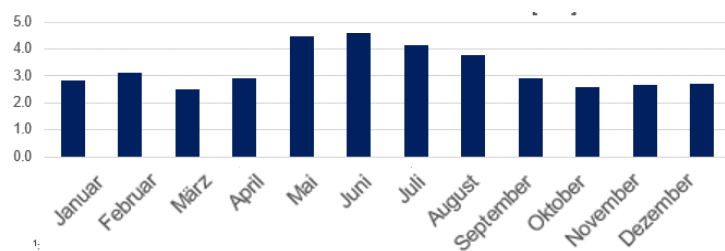


Abbildung 36: Monatliche Verteilung der Schweizer Produktion 2018 ohne Kernkraft, in TWh [SwissGrid]

³⁹ Annahmen aus der Schweizerischen Elektrizitätsstatistik, erläutert in R. Nordmann „Sonne für den Klimaschutz – Ein Solarplan für die Schweiz“, 2019 [17]

⁴⁰ SwissGrid

7.1.3 Stromproduktion aus Photovoltaik

Die gewichtete Aggregation der geografisch verteilten Produktion in der Schweiz ermöglichte es, eine typische Verteilung der Photovoltaikproduktion zu ermitteln⁴¹.

Die jährliche Produktion beträgt ca. 1030 MWh pro installiertem MW, was einer Auslastung von 12 % entspricht. Wie in Abbildung 37 ersichtlich, erfolgt diese Produktion vorwiegend im Sommer.

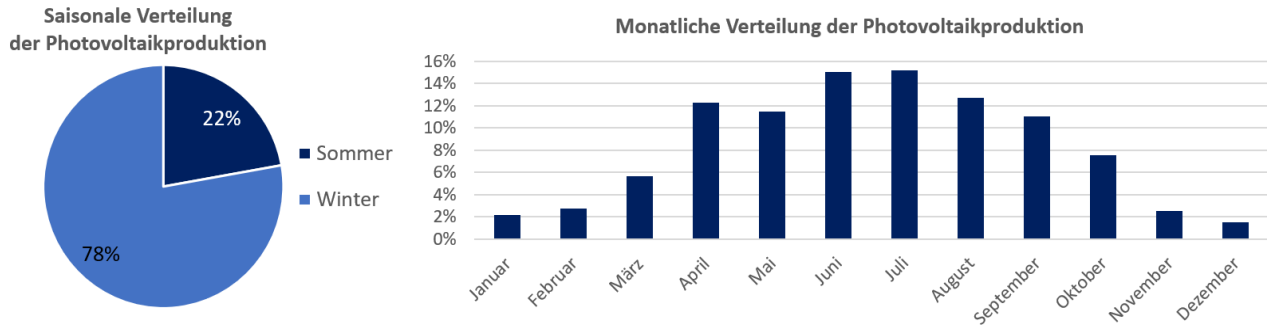


Abbildung 37: Saisonale und monatliche Verteilung der Photovoltaikproduktion in der Schweiz [Basler & Hofmann]

7.1.4 Stromproduktion aus Windenergie

Suisse Eole führte die von der Branche zur Verfügung gestellten viertelstündlichen Daten von 26 der 37 Schweizer Windkraftanlagen zusammen, die ca. 75 % der installierten Leistung in der Schweiz und rund 80 % der jährlich produzierten Energie ausmachen⁴². Diese Daten wurden von Pronovo validiert.

Die aktuelle Jahresproduktion beträgt pro installiertem MW etwas über 1800 MWh, was einer Auslastung von 21 % entspricht. Dabei ist zu beachten, dass die verwendeten Daten von bestehenden Windkraftanlagen stammen – die Leistung zukünftiger Windkraftanlagen ist in Kapitel 4.2 beschrieben –, was bedeutet, dass die Produktionswerte zu niedrig und die Szenarien konservativ sind. Die Produktion erfolgt vorwiegend im Winter (Abbildung 38).

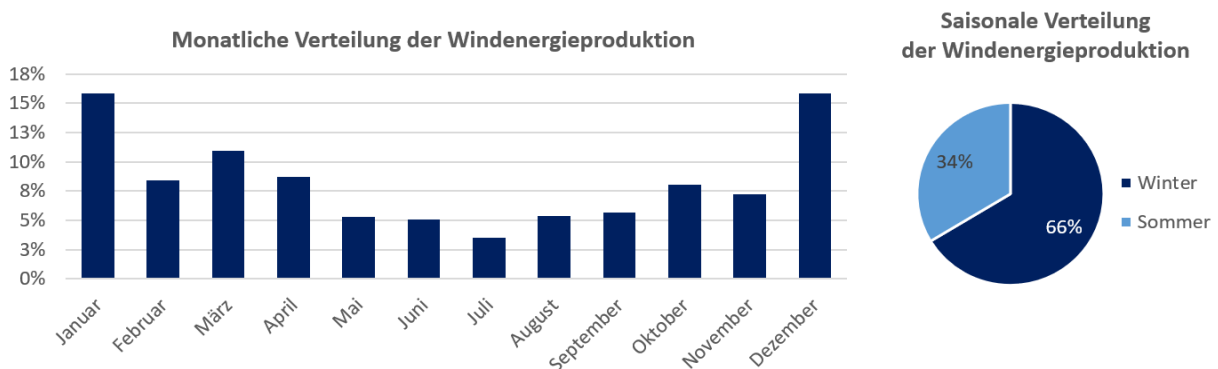


Abbildung 38: Monatliche und saisonale Verteilung der typischen Windenergieproduktion in der Schweiz [Suisse Eole]

⁴¹ Durch Basler & Hofman erstellt, Szenario « Zubau wie bisher »

⁴² Daten aus dem Jahr 2018 der Windparks Mont-Crosin, Peuchappatte, Rhone-Knie (Dents du Midi, Courtis-Neufs, Charrat), Entlebuch (Lutersarni, Rengg) und Gütsch (teilweise), von der Branche geliefert und von Pronovo validiert

7.2 Szenario A

7.2.1 Annahmen

Das Szenario A basiert auf den oben genannten Verbrauchsannahmen und umfasst die folgenden Elemente:

- Nutzung des Schweizer Photovoltaik-Potenzials: 50 GWp⁴³
 - Kein Peak-Shaving (*curtailment*) zur Visualisierung von überschüssiger Energie
- Tägliche Batteriespeicherung: 50 GWh⁴⁴
 - Entspricht in etwa einem Drittel der durchschnittlichen Photovoltaik-Tagesproduktion
 - Nur für den Eigenverbrauch
 - Wirkungsgrad des kompletten Zyklus: 81 % (90 % für das Laden und Entladen)

Das Ziel der durch das Tool GridView durchgeführten Optimierung besteht in der Minimierung der fehlenden Energie und Leistung, die durch Importe kompensiert werden muss, um den Verbrauch zu decken.

7.2.2 Ergebnisse und Interpretation

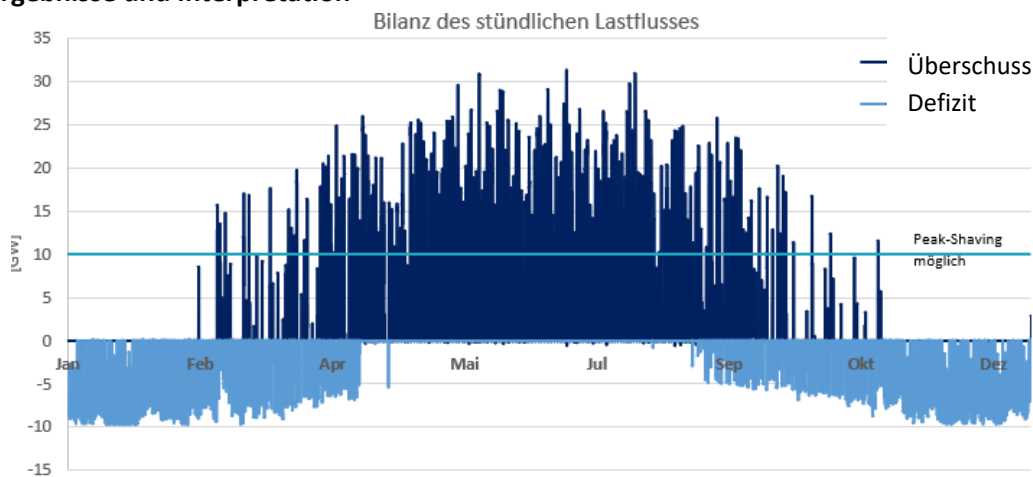


Abbildung 39: Bilanz des stündlichen Lastflusses (Defizit und Überschuss) für Szenario A, in GW

	Defizit	Überschuss
Energie [TWh]	19,7	20,6
Leistungsspitze [GW]	9,61	31,35

Tabelle 4: Energie- und Leistungsbilanz für Szenario A

Die Ergebnisse der Simulation werden in Abbildung 39 veranschaulicht und wurden in Tabelle 4 übertragen. Zwischen November und Februar lässt sich ein starkes Defizit feststellen, das durch den Import von 20 TWh Energie bzw. die Produktion aus thermischen Kraftwerken kompensiert werden müsste, was einer Leistung von fast 10 GW entspricht (2018: Import von 7 TWh, entsprechend ungefähr 4 GW Leistung). Die grenzüberschreitenden Stromübertragungsnetze müssten folglich für diese Winterimporte verstärkt werden.

Im Sommer tritt aufgrund des grossen Überschusses an Solarstrom, der durch den täglichen Bedarf und die Speicherung nicht vollständig verbraucht werden kann, die umgekehrte Situation. Um das Schweizer Netz nicht zu überlasten, könnte ein Teil dieser Energie exportiert und, wie es bereits heute der Fall ist, die Sommerproduktion der thermischen Kraftwerke reduziert werden. Bei diesem Szenario wäre für diese Energie ein Peak-Shaving notwendig, was technisch machbar ist, jedoch die Wirtschaftlichkeit des Systems herabsetzt. Es lässt sich feststellen, dass der Sommerüberschuss das Winterdefizit übersteigt. Eine saisonale Speicherung könnte die Situation im Laufe des Jahres ausgleichen. Dies wird in Szenario B simuliert.

⁴³ Roger Nordmann, „Sonne für den Klimaschutz – Ein Solarplan für die Schweiz“, 2019 [17]

⁴⁴ Entspricht gemäss der Annahme der Autoren etwa einem Drittel der Leistung der Batterien der zugelassenen Elektrofahrzeuge.

7.3 Szenario B

7.3.1 Annahmen

Das Szenario B ergänzt das Szenario A durch die saisonale Speicherung, um die überschüssige Solarproduktion im Sommer aufzufangen. Dies geschieht durch Wasserstoffspeicher mit einem Zykluswirkungsgrad von 35–70 % beim Laden (Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mittels Elektrizität) und 50 % beim Entladen (Brennstoffzelle, die Wasser und Wasserstoff in Elektrizität umwandelt). Als Annahme gilt, dass die saisonale Speicherung, d. h. der Lade- und Entladevorgang, im Schweizer Netz erfolgen kann und eine Jahresbilanz von null hat (Rückgabe im Winter der gesamten im Sommer gespeicherten Energie).

Dies ist das Szenario, auf das sich Roger Nordmann im Buch „Sonne für den Klimaschutz – Ein Solarplan für die Schweiz“ stützt, wobei hier die saisonale Speicherung von über 6 TWh berücksichtigt wird. Die stündliche Lastfluss-Simulation mit dem Tool GridView stellt einen Mehrwert dar, um die leistungsbezogenen Aspekte zu definieren und die Durchführbarkeit dieser Szenarien zu demonstrieren.

7.3.2 Ergebnisse und Interpretation

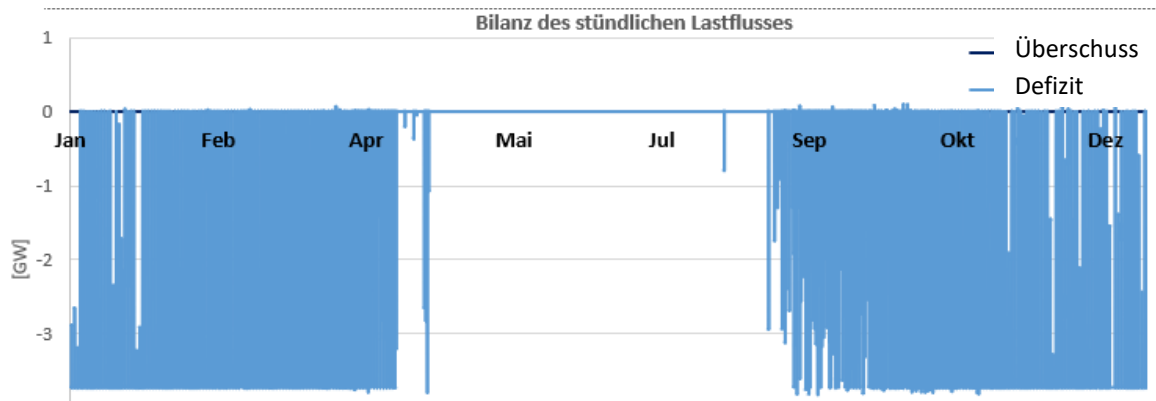


Abbildung 41: Bilanz des stündlichen Lastflusses (Defizit und Überschuss) für Szenario B, in GW

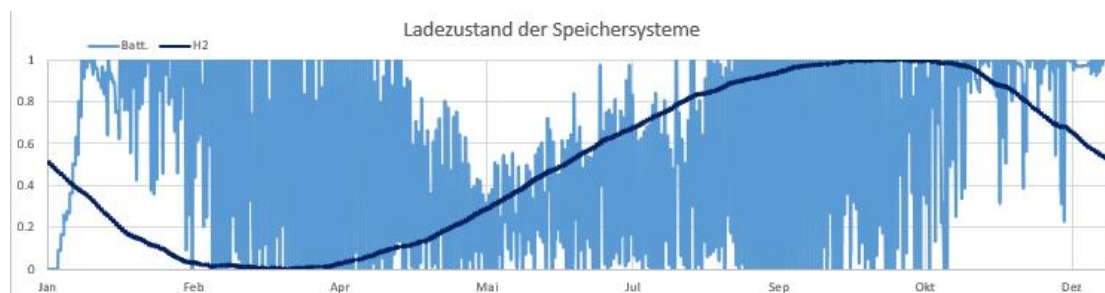


Abbildung 40: Relativer Lastzustand der täglichen und saisonalen Speichersysteme für Szenario B

	Defizit	Überschuss
Energie [TWh]	12,5	0
Leistungsspitze [GW]	3,7	0

Tabelle 5: Energie- und Leistungsbilanz für Szenario B

Das Szenario B ergibt, dass der Einsatz von Speichern die Nutzung des Sommerüberschusses ermöglicht, der vollständig für den Verbrauch im Winter gespeichert wird, aber auch, dass der Zykluswirkungsgrad nicht hoch genug ist, um den Winterbedarf zu decken. Das Winterdefizit wird zwar reduziert: Es verbleibt ein Defizit von 12,5 TWh Energie und 3,7 GW Leistung, dieses ist aber immer noch höher als gegenwärtig, was eine Erhöhung der Importe notwendig machen würde.

Die beiden Speichersysteme sind komplementär: Das eine glättet die täglichen Verbrauchsspitzen (Batterien), das andere sorgt dafür, dass der Sommerüberschuss im Winter genutzt werden kann (Wasserstoff).

Die Bereitstellung einer Energiequelle für den Winter ist daher notwendig, um das Defizit zu verringern. Windenergie wäre eine geeignete Lösung.

7.4 Szenario C

7.4.1 Annahmen

Das Szenario C löst die in Szenario B festgestellten Probleme durch das Hinzufügen der Windkraft. Das Erreichen des Windkraftziels von Suisse Eole von 9 TWh (siehe Kapitel 6.4 für detaillierte Berechnungen) würde das Winterdefizit deutlich verringern.

7.4.2 Ergebnisse und Interpretation

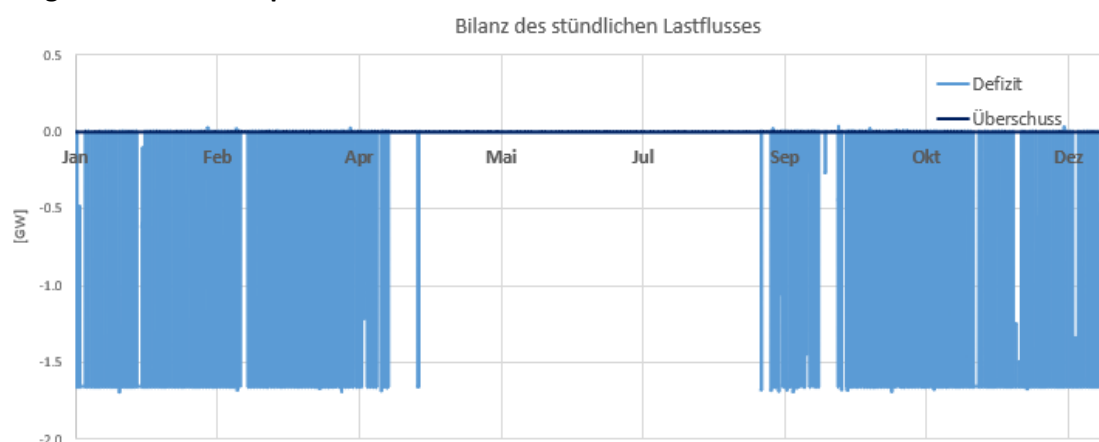


Abbildung 42: Bilanz des stündlichen Lastflusses (Defizit und Überschuss) für Szenario C, in GW

	Defizit	Überschuss
Energie [TWh]	5,5	0
Leistungsspitze [GW]	1,7	0

Tabelle 6: Energie- und Leistungsbilanz für Szenario C

Zunächst ist zu erkennen, dass durch das Hinzufügen von Windkraft das Leistungsdefizit im Winter um 45 % von 3,7 GW auf 1,7 GW reduziert werden kann und dass durch die zusätzliche speicherbare Energie der Energiebedarf im Vergleich zu Szenario B von 12,5 TWh auf 5,5 TWh erheblich reduziert wird. Eine Energiequelle, die hauptsächlich im Winter Strom produziert, ist unerlässlich, um die Abhängigkeit vom Ausland zu verringern und die Versorgungssicherheit zu erhöhen.

7.5 Schlussfolgerungen aus den Simulationen

Die Tabelle 7 fasst die Ergebnisse der drei Simulationen zusammen und zeigt den Unterschied in Bezug auf das Leistungs- und Energiedefizit für jedes Szenario im Vergleich zur Situation im Jahr 2018 auf. Es lässt sich feststellen, dass lediglich das letzte Szenario, das 9 TWh Windenergie einschliesst, das Leistungsdefizit zu reduzieren und die Importe im Jahr 2050 im Vergleich zum Stand von 2018 zu verringern vermag – und dies zugunsten der Versorgungssicherheit und der Umwelt.

	2018	Szen. A	Szen. B	Szen. C
Energie Defizit / Import	7,06 TWh	+12,64 TWh	+5,40 TWh	-1,56 TWh
Leistung Defizit / Nettoimport	4,06 GW	+5,55 GW	-0,34 GW	-2,40 GW

Tabelle 7: Zusammenfassung der Szenarien im Vergleich zur aktuellen Situation (2018) in Bezug auf das Leistungs- und Energiedefizit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die **Realisierung des Windenergiepotenzials** in Verbindung mit der saisonalen Speicherung aus den folgenden Gründen notwendig ist:

- **Reduzierung des Leistungsdefizits beim Spitzenwert** auf einen Wert, der niedriger als der aktuelle Importspitzenwert ist. Das Defizit könnte somit durch Importe gedeckt werden, ohne dass die Übertragungskapazitäten verstärkt oder neue thermische Kraftwerke in der Schweiz in Betrieb genommen werden müssten.
- **Erhöhung der Energieautonomie der Schweiz** und Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen dank des Beitrags der Windenergie im Winter und der saisonalen Speicherung der Solarstrom-Sommerüberschüsse.
- **Vermeidung der Erhöhung der Importe**, sie können dank dem Beitrag der Windenergie auf dem heutigen oder sogar tieferen Niveau gehalten werden, und dies trotz des Verbrauchsanstiegs aufgrund der Elektrifizierung der Mobilität und der Beheizung von Gebäuden durch Wärmepumpen.
- **Versorgungssicherheit stärken**. Durch die Steigerung der Windstromproduktion im Winter kann die Schweiz ihren CO₂-Ausstoss senken und gleichzeitig ihre Versorgungssicherheit erhöhen und dies ohne die Stromimporte zu erhöhen.

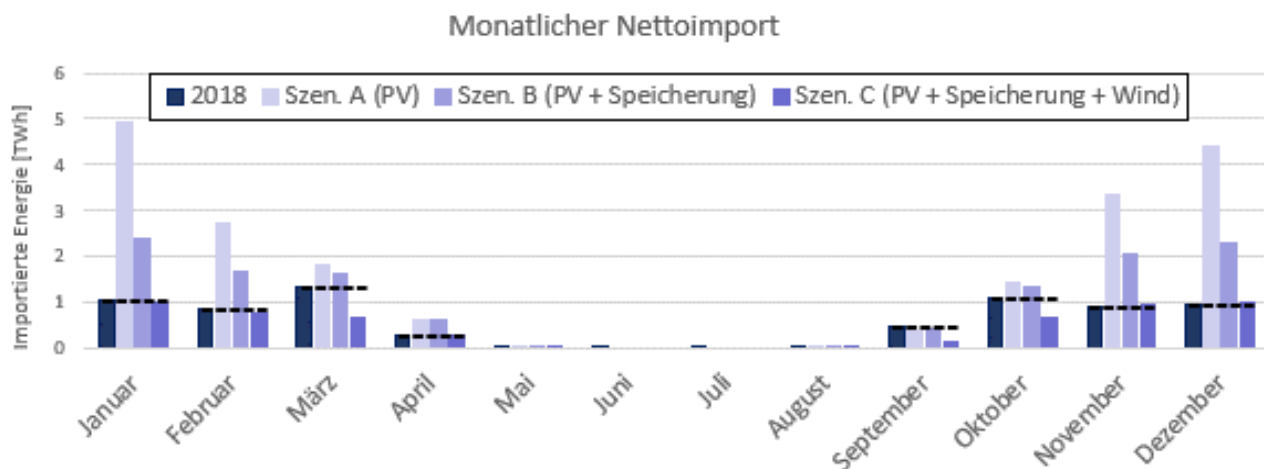


Abbildung 43: Vergleich der monatlichen Nettoenergieimporte für die drei Szenarien. Lediglich das Szenario C mit 9 TWh Windenergie erlaubt es, das gegenwärtige Importniveau nicht zu überschreiten [Suisse Eole]

8. Schlussfolgerung

Dieser Bericht leistet einen Beitrag zur Aktualisierung des Windenergiepotenzials in der Schweiz und zur Festlegung eines realistischen Ziels für die Windenergieproduktion bis 2050. Suisse Eole konnte aufzeigen, dass die Technologie zur Windenergienutzung seit einigen Jahren ausgereift ist und zunehmend dazu beiträgt, den Strombedarf vieler Länder der Welt zu decken. Die technischen Entwicklungen des letzten Jahrzehnts haben einen globalen Trend eingeleitet, der die Nutzung der Windenergie bei mittleren Windgeschwindigkeiten rentabel macht. Dieser Trend, zusammen mit einem besseren Verständnis der Windverhältnisse in grossen Höhen dank neuer Langzeitmessungen und Entwicklungen in meteorologischen Modellen, hat zu einer erheblichen Steigerung des nachhaltigen Windenergiepotenzials der Schweiz geführt, das auf 30 TWh/Jahr geschätzt wird.

Die Eigenschaften der Windkraft machen sie zu einer wertvollen Energieform, die für eine erfolgreiche Energiewende unerlässlich ist. Aufgrund ihrer saisonalen Komplementarität – zwei Drittel des von einer Windkraftanlage gelieferten Stroms werden im Winterhalbjahr produziert – ergänzt sie optimal die Sonnenkraft und die Laufwasserkraft, die vor allem im Sommer Energie liefern, während zur Deckung des Winterbedarfs Importe notwendig sind. In der Schweiz weist die Windkraft zudem eine geografische Komplementarität auf, da aufgrund der sich ergänzenden Windregime in den verschiedenen Regionen jederzeit Strom aus Windkraft ins Netz eingespeist werden kann.

So hat Suisse Eole ein neues realistisches Ziel von 9 TWh für 2050 festgelegt, das dank der höheren Effizienz und Leistung moderner Anlagen mit derselben Anzahl Windturbinen, wie in der Energiestrategie 2050 geplant, möglich ist. Simulationen haben bestätigt, dass das Erreichen dieses Ziels von wesentlicher Bedeutung ist, um die Importe von CO₂-intensivem Winterstrom nicht zu erhöhen. Möglich macht dies die saisonale Speicherung, um den sommerlichen Überschuss an Sonnenenergie im Winter zu nutzen. Zudem lassen sich durch die Entwicklung der Windenergie sowohl der Bau von umweltschädlichen thermischen Kraftwerken als auch die Verstärkung der Stromübertragungsnetze für einen erhöhten Stromimport im Winter vermeiden.

Das neue Ziel von 9 TWh/Jahr Windkraft – davon 6 TWh im Winter – wird einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende in der Schweiz und zur Erfüllung der 2016 in Paris unterzeichneten Verpflichtungen leisten, da die Windkraft die beste Ökobilanz der neuen erneuerbaren Energien in Bezug auf die Gesamtumweltbelastung und die CO₂-Emissionen aufweist. Um dieses Ziel zu erreichen, braucht die Schweiz jedoch geeignete Rahmenbedingungen und kurze, klare Verfahren, um die laufenden Projekte voranzutreiben und umzusetzen, die zum Teil seit über 10 Jahren blockiert sind.

Wenn Suisse Eole ihre Schlussfolgerungen zur Windenergie in einem Absatz zusammenfassen müsste, so würde dieser wie folgt lauten: **Die Technik ist ausgereift, die lokale Akzeptanz hoch, das Potenzial vorhanden und der Bedarf nachgewiesen. Die Energiestrategie muss jetzt klar und effizient sein: Vereinfachte Prozesse, stabile Rahmenbedingungen und die Unterstützung engagierter lokaler Akteure sind der Schlüssel zu einer erfolgreichen Energiewende.**

Anlässlich der Schweizer Windenergietagung 2019 erinnerte der Präsident der AEE Schweiz, Gianni Operto, an dieses Zitat von Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799): „Ich weiss nicht, ob es besser wird, wenn es anders wird, aber es muss anders werden, damit es besser wird.“

Wird der Bund dem Aufruf der zukünftigen Generationen folgen?

Autor

Supervisor

Nicolas El Hayek
Projektleiter

Lionel Perret
Geschäftsleiter von Suisse Eole

Bibliografie

- [1] REN21, «Renewables 2019 - Global Status Report,» 2019.
- [2] GWEC, «Global Wind Report 2018, » 2019.
- [3] Luderer et al., *Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies*, 2019.
- [4] Deloitte for WindEurope, «Local impact, global leadership,» 2017.
- [5] Energie Zukunft Schweiz, «Investitionen in Erneuerbare-Energien-Anlagen von Schweizer Energieversorgern und Investoren,» 2016.
- [6] P. B. Bauer et al., «Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies - An update of electricity generation costs and potential,» 2019.
- [7] Wüstenhagen et al., *Lowering the Financing Cost of Swiss Renewable Energy Infrastructure: Reducing the Policy Risk Premium and Attracting New Investor Types*, 2017.
- [8] Planair SA im Auftrag des BFE, «Berücksichtigung der Klimawirkung von erneuerbaren Energien in der Interessensabwägung,» 2019.
- [9] IEA Wind Task 26, «Forecasting Wind Energy Costs & Cost Drivers,» 2016.
- [10] Meteotest, «Energiestrategie 2050 - Berechnung der Energiepotentiale für Wind- und Sonnenenergie,» 2012.
- [11] Suisse Eole, *Analyse du potentiel éolien suisse*, 2020.
- [12] BFE, *Schweizerischen Elektrizitätsstatistik 2018*.
- [13] BloombergNEF, «New Energy Outlook 2019,» 2019.
- [14] WindEurope, «Wind Energy in Europe in 2018,» 2019.
- [15] Strom-Report, «WINDENERGIE IN DEUTSCHLAND,» 2019.
- [16] S. Pfenninger, ETH Zurich, «Complémentarité des vents en Suisse,» 2019.
- [17] R. Nordmann, *Sonne für den Klimaschutz – Ein Solarplan für die Schweiz*, Basel: Zytglogge, 2019.