
Photovoltaik in Nidwalden und Stromspeichermöglichkeiten



Kollegium St. Fidelis Stans
18. Oktober 2018

Maturaarbeit von
Odermatt Lukas

Inhaltsverzeichnis

Abstract	4
1. Vorwort	5
2. Einleitung	7
3. Photovoltaik	9
3.1 Funktionsweise von Photovoltaik	9
3.2 Aktuelle Kapazität von Photovoltaik in Nidwalden	10
3.3 Die drei wichtigsten Verwendungsformen von PV-Anlagen	14
3.3.1 Dachanlagen	14
3.3.2 Freilandanlagen	15
3.3.3 Fassadenanlagen	17
3.4 Das Potenzial von Photovoltaik in Nidwalden.....	18
3.5 Forschung im Bereich der Photovoltaiktechnik	20
3.5.1 Kostenreduktion	20
3.5.2 Effizienzsteigerung	20
3.5.3 Herstellung und Recycling	21
3.5.4 Photovoltaikarten.....	22
4. Stromspeicherung	25
4.1 Arten von Stromspeicherung	25
4.1.1 Pumpspeicherkraftwerke	25
4.1.2 Batteriespeicher	26
4.1.3 Druckluftspeicher	29
4.1.4 Wasserstoffspeicher	30
4.1.5 Kondensatoren und Superkondensatoren	33
4.1.6 Supraleitender magnetischer Energiespeicher	33
4.1.7 Schwungradspeicher	34
4.2 Aktuelle Stromspeicher	36
4.2.1 Grösster Batteriespeicher der Schweiz	36

4.2.2 Grösster Batteriespeicher der Welt	36
4.2.3 Pumpspeicherkraftwerk Linth-Limmern	36
4.2.4. Druckluftspeicherkraftwerk im Gotthard	37
4.2.5 Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten	37
5. Förderung.....	38
5.1 Aktuelle Förderprogramme.....	38
5.1.1 Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV).....	38
5.1.2 Kleine Einmalvergütung (KLEIV)	39
5.1.3 Grosse Einmalvergütung (GREIV)	39
5.2 Verbesserungsvorschläge	40
6. Zusammenfassung	41
7. Schlusswort	43
8. Quellenverzeichnis.....	45
Anhang	55

Abstract

Durch den Atomausstieg fehlen uns in der Schweiz etwa 32% des Stromes. Dieser muss ersetzt werden, wobei Photovoltaik eine wichtige Rolle spielen kann. Die Politik kann durch gezielte Förderung grossen Einfluss auf das Geschehen im Land nehmen, wobei momentane Fördermodelle Stärken und Schwächen haben. Zurzeit haben wir im Kanton Nidwalden noch relativ wenige Anlagen, welche Strom aus Photovoltaik gewinnen, jedoch ein grosses Potenzial dafür. Zwei Drittel des Stromes lässt sich aus der Sonnenstrahlung erzeugen. Die produzierte Energie wird Tag und Nacht benötigt, bei schönem und bei schlechtem Wetter. Deshalb ist die Speicherung unerlässlich, wobei es passende, unpassende, schon erprobte, sowie auch unerprobte Speichertechnologien gibt.

1. Vorwort

Motivation

Auf das Thema meiner Maturaarbeit kam ich durch eigene Interessen. Diese liegen neben Technik und Elektronik, Geschichte und Politik auch beim Klima, Klimaschutz und Klimawandel. Durch das in den vergangenen Jahren verlaufende Umdenken in der Klimapolitik, ist ein verstärkter Wille zum Klima- und Umweltschutz aufgetreten. Dadurch entsteht eine Notwendigkeit, auch im Energiesektor radikal etwas ändern zu müssen. Naheliegend ist eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle, wie die Sonne und deren Strahlung eine ist, zu nutzen.

Ein weiterer Faktor, der mich zur Wahl meines Themas verleitet hat, ist, dass der Bundesrat nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima in Japan im Jahr 2011¹ den totalen Atomausstieg der Schweiz ankündigte, welcher nach den Zustimmungen des Stände- und Nationalrates auch beschlossene Sache ist². Nach Schätzungen soll bis 2034 das letzte Kraftwerk vom Netz gehen. Durch den Atomausstieg wird die zweitwichtigste Stromquelle der Schweizerischen Eidgenossenschaft mit fast 32% der Stromproduktion im Jahr 2017³ ein grosses Stromdefizit hinterlassen. Dieses soll im Rahmen der am 21. Mai 2017 vom Volk angenommenen *Energiestrategie 2050* durch erneuerbare Energien gestopft werden⁴.

Auch hilft es nicht, dass man durch den Klimawandel bedingt spätestens ab Mitte des 21. Jahrhunderts mit einer generellen Abnahme der Wassermenge durch Niederschläge und Abschmelzen und einen durch diese Faktoren bedingten Rückgang der Stromproduktion aus Wasser zu rechnen ist. Kurz bis Mittelfristig werden wir vor allem im Winter mit einer Zunahme des Niederschlages und im Sommer mit einer zunehmenden Trockenheit rechnen müssen⁵.

Da die Sonne, wie schon erwähnt, eine enorm grosse und nahezu unerschöpfliche Energiequelle darstellt, ist es nur naheliegend, diese Energie zu nutzen und durch Photovoltaik in Strom umzuwandeln. Jedoch ist dies stark witterungsabhängig. Das führte mich zum zweiten grossen und naheliegenden Punkt in meiner Arbeit: Stromspeicher. Sicherlich ist die von der Sonne abgestrahlte

¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Nuklearkatastrophe von Fukushima.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Fukushima]. (09.09.2018)

² Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Atomausstieg. 2011: Schweiz.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Atomausstieg#2011:_Schweiz]. (09.09.2018)

³ Vgl. Bundesamt für Elektrizität BFE. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2017.
[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_893526028.pdf]. (09.09.2018)

⁴ Vgl. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Energiestrategie 2050.
[<https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-e-2050.html>]. (09.09.2018)

⁵ Vgl. Espazium.ch. Wasserkraft im Klimawandel.
[<https://www.espazium.ch/wasserkraft-im-klimawandel>]. (09.09.2018)

Energiemenge für uns unvorstellbar gross. Wenn die Sonne jedoch nicht scheint, also keine Strahlung auf die Kollektoren trifft, kann keine Energie produziert werden. Darum muss man diese bei einem Energieüberschuss speichern, um sie bei einem Energiedefizit ins Stromnetz einspeisen zu können.

Danksagung

Ich möchte allen Personen, die mir im Verlauf meiner Arbeit geholfen haben, meinen Dank aussprechen. Allen voran meinem Mentor Martin Arpagaus. Er hat mich von Anfang an begleitet und mich auf so einiges aufmerksam gemacht. Auch danken möchte ich meiner Tante Regula Schegg und meiner Mutter Barbara Odermatt, dass sie mich, soweit möglich, bei den letzten Korrekturen unterstützen konnten. Sie haben mich auf so einiges sprachliches aufmerksam gemacht.

Speziell möchte ich mich auch bei Beat Sicher und Remo Infanger bedanken. Die mit ihnen geführten Interviews haben mich auf vieles aufmerksam gemacht und mir geholfen, einen besseren Überblick über die Themen zu bekommen.

Ich möchte auch Stefan Müller vom EWN und Peter Feldmann vom Gemeindewerk Beckenried danken für die umfangreichen Daten, welche sie mir zur Verfügung stellen konnten. Bei Felix Nipkow von der Energiestiftung möchte ich mich für die umfangreichen Links bedanken. Auch diese haben meinen Überblick über das Thema vergrössert und mich somit gut auf die schriftliche Dokumentation vorbereitet.

Auch möchte ich mich bei Amélia Gasser von der Baudirektion des Kantons Nidwalden bedanken, dass sie mich an die dafür zuständige Direktion weiterleiten konnte. Herbert Weingartner von der Landwirtschafts- und Umweltdirektion des Kantons Nidwalden danke ich, weil er mich auf diverse Ämter und Organisationen hingewiesen hat.

Ich möchte mich bei allen für die schnellen Antworten bedanken. Dadurch haben sie mir mehr Zeit gegeben, meine Dokumentation zu planen.

2. Einleitung

Durch die vom Volk angenommene *Energiestrategie 2050* sollen die bestehenden Atomkraftwerke nicht mehr erneuert und keine neuen gebaut werden. Auch ist ab Mitte des 21. Jahrhunderts mit einer Abnahme der Produktion von Strom aus Wasser zu rechnen, was vor allem durch die Klimaerwärmung zu erklären ist. Der in der Schweiz produzierte Strom soll auch aus erneuerbaren Quellen wie Biomasse, Geothermie oder Photovoltaik kommen. Diese Energie muss gespeichert werden können, um sie in Zeiten, in welchen nicht genügend Strom produziert werden kann, wieder ins Netz einzuspeisen.

Leitfragen

Meine Maturaarbeit soll ein Bild darüber schaffen, wie sinnvoll es ist, Strom aus Photovoltaik zu beziehen und was im Kanton Nidwalden realistisch an Strom aus Photovoltaik gewonnen werden kann. Auch soll sie eine Übersicht über diverse Energiespeichermöglichkeiten geben und einige bereits vorhandene Speichertechnologien nennen. Und zum Schluss möchte ich mich noch mit der politischen Förderung von Photovoltaik beschäftigen.

Dies führt mich zu meinen drei Leitfragen, nach welchen ich mich in meinen Nachforschungen und Arbeit richte.

- *Was sind die in Nidwalden zurzeit vorhandenen Kapazitäten an Photovoltaik und wo gibt es bereits Anlagen, welche Strom speichern?*
- *Wie gross ist das in Nidwalden vorhandene Potenzial von Photovoltaik und wie kann man den entstandenen Strom effektiv und effizient speichern?*
- *Welche Möglichkeiten hat die Politik, um den Ausbau von Photovoltaik zu fördern?*

Was sind die in Nidwalden zurzeit vorhandenen Kapazitäten an Photovoltaik und wo gibt es bereits Anlagen, welche Strom speichern?

In der ersten Leitfrage beschäftige ich mich hauptsächlich mit den Fragen, wie viel Strom der Kanton Nidwalden zurzeit aus Photovoltaik gewinnt. Auch will ich die schon vorhandenen Möglichkeiten zur Stromspeicherung aufzeigen und einige Beispiele nennen. Diese können in Nidwalden, jedoch auch in anderen Regionen der Schweiz sein. Ich werde unter Umständen auch Anlagen ausserhalb der Schweiz nennen. Sich bei der Stromspeicherung nur auf einen Kanton zu beziehen, ist nicht sinnvoll.

Wie gross ist das in Nidwalden vorhandene Potenzial von Photovoltaik und wie kann man den entstandenen Strom effektiv und effizient speichern?

Im zweiten Teil meiner Arbeit möchte ich vor allem die Fragen beantworten, wie viel Strom realistisch im Kanton Nidwalden produziert werden kann, welche Arten der Stromspeicherung wir benutzen können und wie sinnvoll und effizient diese sind. Damit betrachte ich auch noch die Vorzüge gewisser Regionen gegenüber diversen Stromspeicher-Technologien.

Welche Möglichkeiten hat die Politik, um den Ausbau von Photovoltaik zu fördern?

Weiter betrachte ich die momentanen Förderprogramme des Schweizer Staates im Bereich Photovoltaik und wie die Zukunft der Förderung aussehen könnte. Dafür erkläre ich die bestehenden Fördermodelle, deren Vor- und Nachteile und zeige auf, wie sinnvoll diese sind. Dies möchte ich machen, weil der Staat diverse Möglichkeiten hat, das Geschehen im Land gezielt zu lenken. Der Zeitpunkt und die Art der Förderung können kritisch für das Erreichen eines Zieles sein.

3. Photovoltaik

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über die Funktionsweise einer Photovoltaikanlage geschaffen, jedoch wird die Erklärung nicht ins Detail gehen, da diese Maturaarbeit vor allem den Verwendungszweck dieser Technologie betrachtet. Danach werden die Kapazitäten der vorhandenen Anlagen in Nidwalden besprochen und diese in Relation gesetzt. Damit man das Potenzial vernünftig einschätzen kann, wird erläutert, welche Anlagentypen am weitesten verbreitet sind, deren Vor- und Nachteile und ob diese Typen in der Schweiz wirtschaftlich betrieben werden können. Danach wird der wichtigste Teil in diesem Kapitel, das Potenzial, besprochen und ähnlich zu den vorhandenen Kapazitäten, die erhaltenen Daten diskutiert. Zum Schluss dieses Kapitels wird noch ein Blick in die Zukunft der Photovoltaiktechnik geworfen, also die momentan wichtigsten Entwicklungen in der Forschung kurz zusammengefasst und einige hoffnungstragende Technologien erläutert.

Einfachheitshalber wird Photovoltaik oft als PV abgekürzt. Aus Photovoltaikanlage wird PV-Anlage, um ein Beispiel zu nennen.

Es wird mehrmals kW und kWh verwendet. Dabei ist Kilowatt, oder kW, die Leistung. Eine Mikrowelle hat beispielsweise eine Leistung von 1000 Watt, also einem kW. Das ist der Aufwand, den man hat, um sie zu betreiben.

Eine Kilowattstunde, oder kWh, ist der Aufwand, wenn man die Mikrowelle eine Stunde lang betreibt. Bei einer Betriebszeit von drei Stunden, würde dieser Aufwand bei drei Kilowattstunden liegen. Die Menge an Strom wird normalerweise in kWh gemessen und ist der Verbrauch.

Ein Haushalt in der Schweiz verbraucht etwa 4'500 kWh Strom pro Jahr⁶.

3.1 Funktionsweise von Photovoltaik

Der Oberbegriff von Photovoltaik ist die Solartechnik⁷. Diese umfasst alles von der Art und Weise, wie Gewächshäuser die Sonnenenergie speichern können, über solarthermische Kraftwerke bis hin zu den herkömmlichen Photovoltaikzellen. Das Prinzip der Photovoltaik, oder anderen Solartechniken, ist grundsätzlich das gleiche: Man möchte die von der Primärenergiequelle „Sonne“ kommende Energie in eine Form umwandeln, ob Wärme, Elektrizität oder Bewegung. Mich interessiert jedoch primär die Photovoltaiktechnik.

⁶ Vgl. Admin.ch. Leicht sinkende Strompreise 2017 für Haushalte (Letzte Änderung 12.09.2016).
[<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-58616.html>]. (09.09.2018)

⁷ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solartechnik.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solartechnik>]. (09.09.2018)

Bei der Photovoltaiktechnik wird im Spezifischen die (Sonnen-)Strahlung in elektrische Energie, also Strom, und Abwärme umgewandelt. Dies geschieht durch den „photoelektrischen Effekt“⁸. Dieser besagt stark vereinfacht, dass ein fest gebundenes Elektron durch Strahlung gelöst und als Energie verwendet werden kann.⁹

3.2 Aktuelle Kapazität von Photovoltaik in Nidwalden

Die verbaute Photovoltaikleistung in Nidwalden lag im Jahr 2017 bei 6'631.8 kW. Dabei lag der Ertrag im gleichen Jahr bei 4'102'349 kWh (ca. 4.10 GWh) Strom. Mit dieser Menge an Energie kann man 911 Haushalte à 4'500 kWh mit Strom versorgen.

Im Jahr 2017 betrug die schweizweite Förderung von Solarstrom 1'683 GWh¹⁰. Pro Kopf produziert die Schweiz somit etwa 199.89 kWh¹¹ Elektrizität aus Photovoltaik. Der Kanton Nidwalden hingegen produziert nur etwa 96.41 kWh¹² pro Kopf.

Der Gesamtstromverbrauch des Kantons Nidwalden betrug im Jahr 2017 etwa 270 GWh¹³. Im Kanton entstammen somit lediglich 1.52% der verbrauchten Elektrizität aus Photovoltaik. In der ganzen Schweiz sind es mit 1'683 GWh gewonnenem Solarstrom 2.88% des gesamten Verbrauches an Elektrizität.

Der Kanton Nidwalden ist also im Vergleich zur Schweiz rückständig, was die Produktion von Solarstrom anbelangt.

⁸ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photoelektrischer Effekt.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Photoelektrischer_Effekt]. (09.09.2018)

⁹ Vgl. Solaranlage.eu. Funktionsweise der Photovoltaikanlage.
[<https://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/funktionsweise-der-photovoltaikanlage>]. (22.09.2018)

¹⁰ Vgl. Bundesamt für Elektrizität BFE. Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2017.
[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_481063357.pdf]. (22.09.2018)

¹¹ Gesamtproduktion des Stromes aus Photovoltaik durch die Einwohnerzahl der Schweiz dividiert
Vgl. Bundesamt für Statistik BFS. Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton, Provisorische
Jahresergebnisse.
[<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung.assetdetail.4782766.html>]. (02.10.2018) (Quelle bezüglich Fussnoten 13, 14 und 15)

¹² Gesamtproduktion des Stromes aus Photovoltaik durch die Einwohnerzahl des Kantons Nidwalden dividiert.

¹³ Die Daten zum Gesamtstromverbrauch können im Anhang im E-Mail 2 auf Seite 66 gefunden werden.

In der nachfolgenden Tabelle¹⁴ sind die Leistung der verbauten Anlagen und die im Jahr 2017 produzierte Menge an Strom aus Photovoltaik der jeweiligen Gemeinde zugeordnet. Als Referenz wurde noch der gesamte Kanton Nidwalden, also die Summe aller Gemeinden im Kanton, hinzugefügt. Dabei ist die Leistung, die maximale mögliche Ausbeute pro Stunde an elektrischer Energie der Anlagen und der Ertrag die effektive Ausbeute (Total) an elektrischer Energie im Jahr.

Tabelle 1: Leistung und Ertrag 2017

Gemeinde	Einwohner ¹⁵	Leistung kW	Total 2017 kWh
Beckenried	3'654	171	162'000
Buochs	5'409	850.4	708'368
Dallenwil	1'814	276.6	201'426
Emmetten	1'401	92.9	65'964
Ennetbürgen	4'698	495	345'961
Ennetmoos	2'147	664.1	554'376
Hergiswil	5'715	107.4	75'313
Oberdorf	3'133	587.8	362'066
Stans	8'411	2'318.4	1'301'548
Stansstad	4'494	973.6	172'153
Wolfenschiessen	2'093	94.7	64'801
Nidwalden	42'556¹⁶	6'631.8	4'102'349

Ein Wert der mir ins Auge springt, ist der von Wolfenschiessen. Diese Gemeinde hat von allen Gemeinden im Kanton Nidwalden den geringsten Ertrag im Jahr 2017 und dies, obwohl sie bevölkerungsmässig nicht die kleinste ist. Bevölkerungsmässig ist Emmetten mit 1401 Einwohnern¹⁷ die kleinste Gemeinde im Kanton Nidwalden. Der tiefe Wert der Gemeinde Wolfenschiessen ist vermutlich auf die relativ starke Beschattung¹⁸ durch die umliegenden Berge zurückzuführen.

¹⁴ Diese Tabelle ist von den Daten des EWN und des Gemeindegewerkes Beckenried zusammengesetzt: Tabelle 4: Tabelle des EWN Seite 60. Grafenort wurde dabei nicht beachtet.

¹⁵ Die Einwohnerzahlen der Gemeinden sind laut Wikipedia alle Stand 31. Dez. 2017. Quellen im Quellenverzeichnis ab Seite 50.

¹⁶ Vgl. Bundesamt für Statistik BFS. Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton, Provisorische Jahresergebnisse.
[<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung.assetdetail.4782766.html>].
(03.10.2018)

¹⁷ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Emmetten.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Emmetten>]. (02.10.2018)

¹⁸ Siehe Grafik 3: Wolfenschiessen Seite 68.

Der höchste Ertrag wurde von der Gemeinde Stans produziert. Die Gemeinde hat fast doppelt so viel Ertrag verglichen mit der zweitplatzierten Gemeinde Buochs. Dieser Vorsprung wird sich durch die im Jahr 2017 in Betrieb genommene Anlage auf der Halle 25 der Pilatus Flugzeugwerke noch vergrössern. Die knapp zwei Fussballfelder grosse Anlage soll pro Jahr etwa 820'000 kWh Solarstrom produzieren¹⁹. Im Jahr 2017 konnte sie jedoch noch nicht ihr volles Potenzial ausschöpfen, da sie erst während dem Jahr fertiggestellt wurde. Zusammen mit der Anlage auf dem Dach des Einkaufszentrums Länderpark, welche pro Jahr etwa 590'000 kWh Energie erzeugt, produzieren diese Anlagen einen grossen Teil des in der Gemeinde Stans geförderten Solarstromes.

Ähnlich wie die zwei oben genannten Grossanlagen, ist auch die Anlage auf der Autobahnüberdachung in Stansstad eine Grossanlage. Diese ist die zweitgrösste Anlage im Kanton Nidwalden. Mit einer Leistung von 850 kW und einem durchschnittlichen Ertrag von etwa 750'000 kWh pro Jahr²⁰, wird diese Anlage im Jahr 2018 fast 90% des in Stansstad gewonnenen Stromes aus Photovoltaik produzieren. Auch diese wurde erst im Jahr 2017 fertiggestellt.

Die zehn grössten Anlagen des Kantons Nidwalden stehen in den Gemeinden Buochs, Ennetmoos, Oberdorf, Stans und Stansstad. Von diesen besitzen neun eine Leistung, die grösser als 100 kW ist. Diese PV-Anlagen werden im Jahr 2018 vermutlich etwa 59% des gesamten in Nidwalden geförderten Solarstromes produzieren²¹. Die drei grössten Anlagen haben das Potenzial, etwas mehr als 40% des in Nidwalden geförderten Solarstromes zu produzieren.

Zusammen könnten diese zehn Anlagen im Jahr 2018 schon genug Strom für 702 Haushalte gewinnen²².

Es ist auch überraschend zu sehen, dass Ennetbürgen nur auf dem fünften Platz ist, was die Erträge anbelangt. Im Jahr 2017 hat die Gemeinde 345'961 kWh Solarstrom gefördert. Durch die Südlage am Bürgenstock erfährt die Gemeinde relativ viel Sonne. Sehr gut sichtbar, wenn die Sonnenstunden verglichen werden²³. Dies sieht man auch am Dachpotenzial²⁴, welches Ennetbürgen hat.

In dieser Tabelle wird die in den Gemeinden des Kantons pro Kopf produzierte Menge an Solarstrom dargestellt. Sie ist der Grösse nach aufsteigend geordnet. Als Referenzen wurden noch der Kanton

¹⁹ Vgl. Pilatus-aircraft.com. Solaranlage – Pilatus wird zum Energieproduzenten.
[<https://www.pilatus-aircraft.com/de/news-events/story/pilatus-becomes-an-energy-producer>]. (02.10.2018)

²⁰ Vgl. Benetz.ch. Referenzen.
[<http://www.benetz.ch/Referenzen/Bildgalerie/>]. (03.10.2018)

²¹ Solange die Anzahl und Leistung der bereits verbauten Anlagen im Kanton gleich bleiben. Auch ist mit einem vergleichbaren Ertrag zu rechnen, wobei die 2017 fertiggestellten zwei Grossanlagen ihre Erwartungen erfüllen.

²² Wenn man davon ausgeht, dass die zehn Anlagen ähnliche Erträge wie im Jahr 2017 erbringen und die zwei neu installierten Anlagen ihr Potenzial ausnutzen können.

²³ Siehe Grafik 1: Ennetbürgen Seite 67.

²⁴ Siehe Tabelle 3: Potenzial Seite 18.

Nidwalden, die Schweiz und Deutschland in die Daten miteinbezogen. Deutschland wurde gewählt, weil das Land am meisten Solarstrom verglichen zu den anderen EU Ländern produziert²⁵.

Tabelle 2: Ertrag pro Kopf 2017

Gemeinde	Einwohner¹⁵	Pro Kopf (2017) kWh
Hergiswil	5'715	13.18
Wolfenschiessen	2'093	30.96
Stansstad	4'494	38.31
Beckenried	3'654	44.33
Emmetten	1'401	47.08
Ennetbürgen	4'698	73.64
Nidwalden	42'556 ¹⁶	96.40
Dallenwil	1'814	111.04
Oberdorf	3'133	115.57
Buochs	5'409	130.96
Stans	8'411	154.74
Schweiz	8'419'550 ¹⁶	199.89
Ennetmoos	2'147	258.21
Deutschland	82'792'351 ²⁶	481.93

Wenn man die Zahlen der produzierten Menge an Solarstrom in kWh einer Gemeinde pro Kopf analysiert, fällt auf, dass Hergiswil mit etwa 13.18 kWh am wenigsten fördern konnte. Danach kommt Wolfenschiessen mit etwa 30.96 kWh. Die tiefen Werte sind vermutlich wieder auf die Beschattung²⁷ der potenziell für die Gewinnung von Solarstrom nutzbaren Flächen zurückzuführen.

Das kantonale arithmetische Mittel von 96.40 kWh ist die Hälfte zum schweizweiten Durchschnitt von 199.89 kWh. Lediglich Ennetmoos, die viert kleinste Gemeinde im Kanton Nidwalden, liegt mit einem Ertrag von 258.21 kWh pro Kopf über dem schweizweiten Durchschnitt.

In Deutschland lag die Pro-Kopf-Produktion im Jahr 2017 bei 481.93 kWh²⁸, mehr als doppelt so hoch verglichen mit der Schweiz.

²⁵ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaik. Absatzentwicklung. [https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik#Absatzentwicklung]. (08.10.2018)

²⁶ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Deutschland. [https://de.wikipedia.org/wiki/Deutschland]. (05.10.2018)

²⁷ Im Falle Hergiswils ist die Beschattung vor allem in den Wintermonaten. Siehe Grafik 2: Hergiswil Seite 67.

²⁸ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Stromerzeugung. Bruttostromerzeugung nach Energieträger in Deutschland. [https://de.wikipedia.org/wiki/Stromerzeugung#Bruttostromerzeugung_nach_Energietr%C3%A4gern_in_Deutschland]. (05.10.2018); Im Jahr 2017 betrug die Bevölkerung Deutschlands 82'792'351

3.3 Die drei wichtigsten Verwendungsformen von PV-Anlagen

In diesem Unterkapitel werden einige wichtige Arten von PV-Anlagen besprochen. Dabei werden auf die Vor- und Nachteile der jeweiligen Anlagen eingegangen und des Öfteren die Wortkombination „Peak Leistung“ verwendet. Dies ist die maximale Leistung einer PV-Anlage.

3.3.1 Dachanlagen

Eine wichtige Verwendungsform sind Photovoltaikanlagen auf Dächern. Diese werden auch „Aufdachanlagen“ (Bild 2)²⁹ genannt. Dachanlagen sind deshalb sehr interessant, da man bereits verbaute Flächen zur Stromproduktion nutzen kann. Man muss also nicht landwirtschaftlich oder anderweitig genutzte Flächen zerstören oder umfunktionieren. Den vorhandenen Platz effizienter zu nutzen ist die Devise. Deshalb ist diese Art der Nutzung heutzutage die am weitesten verbreitete.³⁰

Die Aufrüstung eines bereits vorhandenen, jedoch eher kleinen Daches (20kW Peak Leistung) ist jedoch nicht wirtschaftlich, da man diverse Sicherheitsmassnahmen, wie einen sicheren Aufstieg und Fallschutz, einhalten muss und dies allein schon mehrere Tausend Schweizerfranken³¹ verschlingen kann. Bei einem Neubau, also bereits stehendem Gerüst, würden diese Zusatzkosten wegfallen.



Bild 2: Dachanlage auf dem Einkaufszentrum Länderpark



Bild 1: Indachanlage auf einem Einfamilienhaus in Pfeffingen

²⁹ Vgl. Migros.ch. Klimaschutz geht in die nächste Runde, 2010, Fotografie, 512 x 375, Länderpark, © 2010Migros. [https://report.migros.ch/2010/unsere-verantwortung/umweltschutz/energie-und-klima.html]. (05.10.2018)

³⁰ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaikanlage. Formen. [https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaikanlage#Formen]. (05.10.2018)

³¹ Vgl. Sicher, Beat; Interview mit Odermatt Lukas. (20.06.2018) Siehe Interview im Angang ab Seite 56

Eine relativ neue Entwicklung im Bereich der Dachanlagen sind die sogenannten „Indachanlagen“ (Bild 1)³². Wie der Name es schon vermuten lässt, werden diese Anlagen in einem Dach integriert. Sie werden somit ein Teil der Gebäudehülle, nicht nur an der Hülle befestigt. Man belegt das Dach mit Photovoltaikanlagen anstatt mit Dachziegeln (o.ä.). Eine Variation dieser Anlagen stammt von der US-amerikanischen Firma Tesla und wird als „Solar Roof“³³ vermarktet. Dies sind Solarzellen, welche wie normale Dachziegel (o.ä.) aussehen und somit optisch fast nicht als PV-Anlagen zu identifizieren sind. Somit kann man bei einem Neubau gleich relativ gutaussehende Anlagen auf das Dach installieren und hat dann schon eine beträchtliche Kapazität. Diese sind vor allem für die Menschen interessant, welche das Antlitz normaler PV-Anlagen ästhetisch nicht schön finden und diese somit nicht in Erwägung ziehen würden. Diese Indachanlagen müssen den gleichen baulichen Anforderungen der sonstigen Gebäudehülle entsprechen. Sie sollten also beispielsweise dicht und tragfähig sein und eine gewisse Bruchfestigkeit aufweisen. Durch die baulich bedingte eher schwache Hinterlüftung der Indachanlagen, ist mit einem verringerten Wirkungsgrad zu rechnen³⁰. Ein Nachteil aller Dachanlagen ist die Verschmutzung der Zellen. Diese sollten für einen optimalen Ertrag ziemlich sauber sein. Bereits kleinste Staubansammlungen oder andere leichte Verschmutzungen können die effektive Leistung einer Anlage verringern. Eine manuelle Reinigung ist jedoch nur bei Dachanlagen mit einer Neigung <10° notwendig.³⁴

3.3.2 Freilandanlagen

Ein zweiter Typ ist die Freilandanlage (Bild 4)³⁵. Auch hier ist ein Vorteil dieser Anlagen, dass man sie auf sonst unbenutzten Flächen wie beispielsweise Brachland oder in Wüstengebieten verbauen kann, ohne damit etwas zu verlieren. Der potenzielle Einsatz von sogenannten „Solartrackern“, also dem Sonnenstand nachgeführte Solaranlagen, ist auch nicht zu verachten³⁶. Dadurch können die Erträge merklich gesteigert werden. Dieses System macht durch die Mehrkosten jedoch nur in den seltensten Fällen wirtschaftlich Sinn.³⁷ Man könnte Freilandanlagen auch im Gebirge auf (u.a.) Lawinen-

³² Vgl. Ernstscheizer.ch. Referenzen Photovoltaik-Systeme. Einfamilienhaus, Pfeffingen, Fotografie, 1800 x1800, Pfeffingen, © Ernst Schweizer AG. [https://www.ernstscheizer.ch/de/produkte/referenzen/photovoltaik-systeme.html]. (05.10.2018)

³³ Vgl. Tesla.com. Solar Roof. [https://www.tesla.com/de_CH/solarroof]. (08.09.2018)

³⁴ Vgl. Sicher, Beat (19.04.2018) PV-Anlagen und Batteriespeicher; Vortrag für Interessierte.

³⁵ Vgl. Komen Jeroen, Photovoltaik-Freiflächen. Freiflächen und Umweltschutz, 2013, Fotografie, 5616 x 3744, Tannheim. [https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik-Freifl%C3%A4chenanlage#Freifl%C3%A4chen_und_Umweltschutz]. (05.10.2018)

³⁶ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solartracker. [https://de.wikipedia.org/wiki/Solartracker]. (05.10.2018)

³⁷ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Nachführung (Solartechnik).

verbauungen installieren. Ein anderer interessanter Ort wären Autobahnen. Man könnte die Lärmschutzwände mit Anlagen verkleiden. Ob dies nun Fassaden- oder Freilandanlagen sind, sei dahingestellt. Weitere potenzielle Standorte wären auf Flächen entlang der Schienenwege oder auch als Geländerverkleidung (Bild 3)³⁸. Eine solche Verkleidung liesse sich beispielsweise am Geländer der Mürigstrasse am Kollegium St. Fidelis Richtung Sportplatz realisieren. Als Bauplatz für Freilandanlagen wären auch Stauseedämme oder ganze Stauseen eine Möglichkeit. Für reine Freilandanlagen, die man auf Flächen wie Wiesen oder Brachland betreibt, hat es jedoch in der Schweiz kaum Platz. Das dafür notwendige Land ist teuer, was die Rendite verkleinert. Langwierige Bewilligungsverfahren und starke Ablehnung Seitens der Bevölkerung sprechen auch nicht für diesen Anlagentypen. Es besteht grosses Konfliktpotenzial mit den vor allem landwirtschaftlich genutzten oder ökologischen Vorrangflächen (z.B. Trockenwiesen), da der Verbau von Anlagen auf solchen als widersprüchlich gegenüber einer haushälterischen und nachhaltigen Bodennutzung wäre. Freilandanlagen sind daher nur dort in Betracht zu ziehen, wo sie im Winter mehr produzieren könnten. Dies wäre vor allem auf erhöhten Lagen der Fall, jedoch kommt dort, wie schon erwähnt, unter Umständen der Naturschutz in die Quere.^{39 40}



Bild 4: Freilandanlage in Deutschland



Bild 3: Solaranlage auf der Bonner Kennedybrücke

[[https://de.wikipedia.org/wiki/Nachf%C3%BChrung_\(Solartechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Nachf%C3%BChrung_(Solartechnik))]. (05.10.2018)

³⁸ Vgl. Sir James. Solaranlage auf der Bonner Kennedybrücke über den Rhein, 2011, Fotografie, 3264 x 1960, Bonn.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaikanlage#/media/File:2011-11-08_Bonn_Kennedybruecke_Solarzellen.JPG]. (05.10.2018)

³⁹ Vgl. Bundesämter für Raumentwicklung, Umwelt, Energie und Landwirtschaft ARE, BAFU, BFE und BLW. Positionspapier freistehende Photovoltaik-Anlagen.

[https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/raumplanung/positionspapier_freistehendephotovoltaik-anlagen.pdf.download.pdf/]. (09.09.2018)

⁴⁰ Vgl. Swissolar.ch. Solaranlagen – Installationsarten.

[<https://www.swissolar.ch/ueber-solarenergie/photovoltaik/solaranlagen-installationsarten/>]. (05.10.2018)

3.3.3 Fassadenanlagen

Der dritte Typ sind Photovoltaikanlagen an Fassaden. Diese Technologie hat seine Vorzüge. Man kann Fassaden als Stromproduzenten benutzen und die Photovoltaikzelle als stilistisches Bauelement verwenden. Ein grosser Nachteil dieser Anlagen ist, dass man PV-Zellen nicht einfach ohne weiteres zerschneiden und den Gegebenheiten der Fassade, beispielsweise Fenster oder Türen, anpassen kann. Nicht bedeckte Stellen kann man durch die Nutzung sogenannter Blindmodule⁴¹ sehr gut abdecken. Die Kosten der Aufrüstung dürften wohl, wie bei den Dachanlagen, der grösste Nachteil der Fassadenanlagen sein. Auch ist mit einem verkleinerten Ertrag pro m² zu rechnen, was auf den nicht optimalen Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zurückzuführen ist.

Ein weit verbreiteter Kritikpunkt, welcher gegen die Integration von PV-Anlagen in eine Hausfassade spricht, ist die Ästhetik der PV-Zellen. Viele finden das weitverbreitete Design der Zellen, unter anderem Silberfäden, nicht ansprechend. Dies kann man jedoch verbergen. Mit einer speziellen Bearbeitung der Module wird die Optik durchaus ansprechbar. Diese Bearbeitung senkt die Effizienz nicht und die hydrophobische Beschichtung ist vorteilhaft im Kampf gegen den Schmutz. Das wird durch ein Pilotprojekt, ein völlig autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten (Bild 5)⁴², bewiesen. Dort wurde die ganze Hausfassade mit solchen Modulen ausgestattet. Interessant an diesem Haus ist, dass man die Entscheidung gefällt hat, rund um das Haus herum auf allen Seiten der Fassade diese Module anzubringen. Auf der Nordseite ist die eintreffende Strahlung sehr gering, jedoch sind die PV-Module mit einem Preis von etwa 600 Franken pro Quadratmeter billiger als eine vergleichbare Glasfassade. Aus diesem Grund hat man sich, trotz der niedrigen Effizienz, auch auf der Nordseite für eine PV-Anlage entschieden. Analog zu den Indachanlagen, kann man sich gut vorstellen, dass auch hier die Hinterlüftung der PV-Module nicht optimal ist, also mit einem verringerten Wirkungsgrad zu rechnen ist.⁴³



Bild 5: Einfamilienhaus mit kompletter PV-Fassade in Brütten

⁴¹ Module, welche keinen Strom erzeugen, jedoch optisch nicht von den normalen, stromerzeugenden Modulen zu unterscheiden sind und beliebig zugeschnitten werden können, um beispielsweise passgenau an einem Fenster anzusetzen. Vgl. Sicher, Beat; Interview mit Odermatt Lukas. (20.06.2018) Siehe Interview im Angang auf Seite 56

⁴² Dürr René, Photovoltaik erobert die Fassade, 2016, Fotografie, 1200 x 800, Brütten, © René Dürr. [<https://www.haustech-magazin.ch/artikel/photovoltaik-erobert-die-fassade/>]. (05.10.2018)

⁴³ Vgl. Haustech-magazin.ch. Photovoltaik erobert die Fassade.

3.4 Das Potenzial von Photovoltaik in Nidwalden

Hier wird nur das Dachpotenzial⁴⁴ berücksichtigt. Es werden keine freistehenden Anlagen in irgendeiner Form in meine Daten miteinbezogen, weil diese in der Schweiz, wie im Kapitel 3.3.2 *Freilandanlagen* schon näher erläutert, nur in bestimmten Fällen nützlich sein können. Die Hausfassaden werden nicht berücksichtigt, da die Daten nicht gesammelt zur Verfügung stehen. Der Arbeitsaufwand würde den Rahmen meiner Arbeit sprengen. Dieser Anlagentyp birgt jedoch ein nicht zu verachtendes Potenzial für Photovoltaik. Es ist mit einem Ertrag von 50% mit gleicher Fläche im Vergleich zu einer optimal ausgerichteten Dachanlage zu rechnen⁴³.

In der nachfolgenden Tabelle wurden die jeweiligen Dachpotenziale an Solarstrom pro Jahr pro Gemeinden im Kanton Nidwalden zusammengezählt. Es ist wichtig zu beachten, dass sich die Potenziale aus den guten und sehr gut eignenden Dachflächen zusammensetzen⁴⁵.

Tabelle 3: Potenzial

Gemeinde	Einwohner	Potenzial (GWh/a)	Pro Kopf (kWh/a)
Beckenried	3'654	12.03	3'292.28
Buochs	5'409	22.37	4'135.70
Dallenwil	1'814	11.08	6'108.05
Emmetten	1'401	6.14	4'382.58
Ennetbürgen	4'698	22.03	4'689.23
Ennetmoos	2'147	12.82	5'971.12
Hergiswil	5'715	16.2	2'834.65
Oberdorf	3'133	17.68	5'643.15
Stans	8'411	39.08	4'646.30
Stansstad	4'494	14.22	3'164.22
Wolfenshiessen	2'093	11.48	5'484.95
Nidwalden	42'556	185.13	4'350.27

Die Gemeinde mit dem höchsten Potenzial ist Stans. Mit 39.08 GWh hat sie etwas mehr als 21% des Dachpotenzials an Solarstrom im Kanton. Diese hohe Zahl ist vermutlich auf die im Vergleich zu

[<https://www.haustech-magazin.ch/artikel/photovoltaik-erobert-die-fassade/>]. (05.10.2018)

⁴⁴ Vgl. Bundesamt für Energie BFE. Solarpotenzial Gemeinden.

Siehe im Anhang: Bund Seite 47.

⁴⁵ Diese Flächen sind mit dem Link auf die Karte der Gemeinde im Jeweiligen Dokument einzusehen. Siehe Bund Seite 47.

anderen Gemeinden relativ grosse Bevölkerung zurückzuführen. Damit ist die Siedlungsfläche, also auch Dachfläche, relativ gross. Im Pro-Kopf-Vergleich ist Stans mit 4'646.30 kWh jedoch nur auf dem sechsten Platz aller Gemeinden.

Obwohl die Gemeinde Hergiswil bevölkerungsmässig auf dem zweiten Platz steht, ist ihr Potenzial nur an fünfter Stelle. Das Pro-Kopf-Potenzial ist mit nur 2'834.65 kWh pro Jahr sogar auf dem letzten Platz, verglichen mit den anderen Gemeinden im Kanton Nidwalden. Das ist auf die im Kapitel 3.2 *Aktuelle Kapazität von Photovoltaik in Nidwalden* erwähnte Beschattung zurückzuführen.

Hingegen ist Dallenwil an erster Stelle, wenn man die Pro-Kopf-Zahlen vergleicht. Bei einer Bevölkerung von 1'814 im Jahr 2017 und einem Gesamtdachpotenzial von 11.08 GWh, hat die Gemeinde ein Pro-Kopf-Potenzial von 6'108.05 kWh pro Jahr. Das sind gut 35.7% mehr als ein durchschnittlicher Haushalt pro Jahr an Strom verbraucht. Obwohl das „Städtli“⁴⁶ eine eher Mittelmässige Sonneneinstrahlung hat, ist die Gemeinde Dallenwil pro Kopf gemessen sehr weit vorne mit dabei. Das ist vermutlich auf die beiden Dorfteile Wiesenberg und Wirzweli zurückzuführen. Diese Siedlungen erleben eine hohe Sonneneinstrahlung. Wiesenberg verzeichnet auch im Winter sehr viele Sonnenstunden⁴⁷. Dies ist der gegen Süden gerichteten Hanglage zuzuschreiben.

Die Gemeinde Ennetbürgen ist trotz ihres zweiten Platzes mit 22.03 GWh pro Jahr Gesamtdachpotenzial und ihrer vorteilhaften Hanglage nur auf dem fünften Platz im Pro-Kopf-Vergleich.

Der Gesamtstromverbrauch des Kantons Nidwalden belief sich im Jahr 2017 auf etwa 270 GWh. Mit den 185.13 GWh Dachpotenzial hätte man somit zwei Drittel des Strombedarfes im Kanton Nidwalden mit Solarstrom decken können. In anderen Worten: Die Elektrizität würde für etwa 41'100 Haushalte genügen.

Es ist wichtig zu beachten, dass die im Sommer pro Tag gewonnene Energie deutlich mehr ist, als im Winter. Das lässt sich anhand der Grafiken im Anhang⁴⁸ ableiten. Wenn Strahlung von der Sonne vorhanden ist, können die PV-Module mehr produzieren.

⁴⁶ Der Dorfkern im Tal.

⁴⁷ Die Grafiken zu Wirzweli und Wiesenberg, *Grafik 5* und *Grafik 6*, sind im Anhang auf Seite 69 zu finden.

⁴⁸ Die Grafiken einiger Gemeinden sind im Anhang unter *Durchschnittliche Sonnenscheindauer* ab Seite 67 zu sehen.

3.5 Forschung im Bereich der Photovoltaiktechnik

Die Hauptforschungsgebiete im Bereich Photovoltaiktechnik sind die Kostenreduktion, die Effizienzsteigerung und die Herstellung und das Recycling. Es wird also ein kurzer Überblick über diese Themenbereiche geschaffen. Dieser wird jedoch nicht sehr umfangreich werden, da nur schon das Themengebiet Forschung ein sehr grosses ist. Es wird nicht gross auf siliziumbasierte Solarzellen eingegangen, da diese die am besten erforschte Gruppe von Solarzellen ist. Lediglich einige vielversprechende, jedoch noch kaum erforschte, siliziumbasierte Solarzellen werden erwähnt.

3.5.1 Kostenreduktion

Eine sehr starke Reduktion der Herstellungskosten konnte in den letzten Jahren durch den Effekt „Economies of Scale“ erreicht werden. Die Effizienz der Produktion wird durch die Massenproduktion gesteigert, was zu einer Reduktion der Kosten führt⁴⁹. Auch kann eine Reduktion bei den Montagekosten verzeichnet werden. Durch einfach zu installierende Systeme ist die benötigte Zeit deutlich verkürzt.

Es kann auch eine relative Kostenreduktion verzeichnet werden. Es wird weniger Fläche für die gleiche Menge an produzierter Energie benötigt. Auch wenn die Module mit gleicher Fläche teurer sind, kann der zusätzlich produzierte Strom die Mehrkosten aufheben⁵⁰. Hier ein Beispiel zur besseren Verständlichkeit: Ein Geldfälscher möchte eine Gelddruckmaschine anschaffen und hat zwei zur Auswahl. Eine kostet 10'000 CHF und produziert 100 Geldscheine pro Tag. Eine andere kostet 5% mehr, also 10'500 CHF, produziert jedoch 10% mehr Geldscheine pro Tag (110). Wenn ein Geldschein nun 50 CHF an Wert hat, nimmt er bei der Variante eins 5'000 CHF am Tag ein, bei der Variante zwei 5'500 CHF ein. Trotz der Mehrkosten, hat er mehr Gewinn.

3.5.2 Effizienzsteigerung

Die Effizienz bzw. der Wirkungsgrad einer Zelle ist das Verhältnis zwischen erzeugter Menge an Elektrizität und Sonneneinstrahlung im selben Moment. Ein Wirkungsgrad von 100% würde bedeuten, dass jegliches Licht von der Zelle „geschluckt“ und in Strom umgewandelt wird. Einen typischen bzw. standardisierten Wirkungsgrad für Photovoltaik gibt es nicht, da es diverse Arten gibt, die Photovoltaiktechnik in der Realität zu nutzen. Es gibt beispielsweise monokristalline oder polykristalline Siliziumzellen. Aber auch Tandem-Solarzellen bzw. Mehrfachsolarzellen, bei welchen

⁴⁹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Skaleneffekt.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Skaleneffekt>]. (05.10.2018)

⁵⁰ Vgl. Meier, Ruedi et al. Die Photovoltaik ist marktreif für die Schweiz.
[https://www.energie-cluster.ch/admin/data/files/file/file/943/diskussionspapier_photovoltaik_11-02-2013_rnn.pdf?lm=1452162261]. (05.10.2018)

es mehrere Schichten an PV-Zellen gibt, die jeweils verschiedene Lichtspektren abdecken (ausführlichere Erklärung im Kapitel 3.5.4 *Photovoltaikarten*). Somit kann ein viel effektiverer Wirkungsgrad erreicht werden. Diese drei sind nur ein kleiner Ausschnitt aus der Vielzahl an Typen. Die weit verbreiteten mono- und polykristallinen Siliziumzellen haben einen theoretischen berechneten Wirkungsgrad von maximal 29.4%. Jedoch wird dieser wohl nie in der Massenproduktion erreicht werden. In der Praxis sind gute, produktionsfähige Modelle mit 20% Wirkungsgrad schon eher seltene Fälle. Mit den Mehrfachsolarzellen soll es möglich sein, diese bei einem Wirkungsgrad von 30% herzustellen.^{51 52}

3.5.3 Herstellung und Recycling

Bei der Herstellung der Zellen forscht man vor allem an neuen Herstellungsmethoden und an der Verwendung neuer Materialien. Nebst Silicium verarbeitet man beispielsweise auch Cadmiumtellurid. Dies ist preiswerter als Silicium, allerdings weniger leistungsfähig⁵³. Galliumarsenid ist im Vergleich zum Silicium wesentlich teurer und schwieriger zu verarbeiten⁵⁴. Ein weiteres Forschungsgebiet ist der Umweltschutz bei der Herstellung der Zellen. Die diversen Chemikalien können durchaus schädlich für die Umwelt sein, weshalb man an einer Reduzierung, der bei der Herstellung benötigten Menge, und einer sauberen Entsorgung interessiert ist.⁵⁵

Das Recycling von Solarmodulen ist ein aufwändiger Prozess und benötigt spezielle Maschinen, um die verschiedenen Materialien sauber voneinander zu trennen. Dabei wird das Plastik in den Modulen unter hohen Temperaturen verbrannt und die restlichen Materialien wie Aluminium, Glas oder Silicium an andere Betriebe verkauft. Um einen Siliciumwafer, das Ausgangsprodukt herkömmlicher Solarzellen, aus recyceltem Silicium herzustellen, benötigt man nur etwa 30% der Energie, die man für einen Wafer mit neuem Silicium braucht.^{56 57}

⁵¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaik. Wirkungsgrad.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik#Wirkungsgrad>]. (05.10.2018)

⁵² Vgl. Fraunhofer.de. Presseinformation. 30.2 Prozent – neuer Rekordwert für siliciumbasierte Mehrfachsolarzellen.

[<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2016/30-2-prozent-2013-neuer-rekordwert-fuer-siliciumbasierte-mehrfachsolarzelle.html>]. (08.10.2018)

⁵³ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Cadmiumtellurid. Verwendung.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Cadmiumtellurid#Verwendung>]. (05.10.2018)

⁵⁴ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Galliumarsenid. Anwendungsgebiete.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Galliumarsenid#Anwendungsgebiete>]. (05.10.2018)

⁵⁵ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Umweltschutz.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Umweltschutz>]. (05.10.2018)

⁵⁶ Vgl. Elektrotechnik.ch. Recycling von Photovoltaik-Modulen.

[<https://www.elektrotechnik.ch/artikel/recycling-von-photovoltaik-modulen/>]. (05.10.2018)

⁵⁷ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarmodul. Recycling.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul#Recycling>]. (08.10.2018)

3.5.4 Photovoltaikarten

In diesem Teil werden einige interessante Techniken genannt und kurz erläutert. Natürlich gibt es noch viele andere, als die hier genannten. Jedoch sehen nicht alle so vielversprechend aus, wie diese hier oder sind eher Nischentechniken.

Perowskit-Solarzelle⁵⁸

Eine Technologie mit sehr viel Potenzial ist die „Perowskit-Solarzelle“. Die drei grossen Vorteile sind die günstigen Herstellungskosten, die Biegsamkeit der Zellen und das grössere Lichtspektrum, welches dieser Typ absorbieren kann. Ein vierter Vorteil ist die folienartige Weise, wie man sie auftragen kann. Nachteile sind die noch relativ geringe Haltbarkeit, der Schutz gegen die Feuchtigkeit und der Einsatz von Blei. Blei kann schon in kleinen Mengen zu Beeinträchtigungen im Nervensystem führen⁵⁹. Bei dieser Technologie wird vor allem versucht, das Blei durch andere Metalle oder Metalloxide wie Bismutiodidoxid zu ersetzen. Auch forscht man an der Verlängerung der Haltbarkeit. Dafür muss man die unkontrollierte Oxidierung, wodurch die Kristallstruktur verloren geht, vermeiden können. Wenn die Kristallstruktur nicht mehr vorhanden ist, ist die Möglichkeit der Energieumwandlung nicht mehr gegeben. 2014 wurde bei einer nicht bleihaltigen Zelle ein Wirkungsgrad von etwa 6% gemessen.

Solarzellen aus speziellen Siliciumstrukturen⁶⁰

Diese Technologie basiert auf Silizium. Dabei wird es in etwa 100-200 Mikrometer lange und einige Mikrometer dünne Stäbchenform gebracht. Danach können diese mit einem Kunststoff ummantelt werden, was die Zelle biegsam macht. Das Erstaunliche an diesen Stäbchen ist der enorm hohe Wirkungsgrad von etwa 85%⁶¹. Durch das Absorbieren von relativ viel Strahlung, wird das Silicium auch „Schwarzes Silicium“ genannt. Der Siliciumverbrauch ist im Vergleich zu normalen Siliciumzellen nur etwa 1%. Diese Technologie ist leider noch in der Entwicklung, jedoch sehr vielversprechend.

⁵⁸ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Perowskit-Solarzellen
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Perowskit-Solarzellen>]. (05.10.2018)

⁵⁹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Blei. Toxizität.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Blei#Toxizit%C3%A4t>]. (10.10.2018)

⁶⁰ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Solarzellen aus speziellen Siliciumstrukturen.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Solarzellen_aus_speziellen_Siliciumstrukturen]. (05.10.2018)

⁶¹ Bei Laborbedingungen.

Mehrfachsolarzellen oder Tandem-Solarzelle⁶²

Im Kapitel 3.5.2 *Effizienzsteigerung* wurde diese Zelltypkombination bereits erwähnt. Tandem- oder Mehrfachsolarzellen werden aus verschiedenen Zelltypen zusammengesetzt. Diese werden übereinandergeschichtet, wodurch die eintreffende Strahlung besser absorbiert werden kann. Durch die unterschiedlichen Zellen kann ein grösseres Lichtspektrum abgedeckt werden, womit auch der Wirkungsgrad steigt. In der Zukunft möchte man solche Module mit einem Wirkungsgrad von über 30% wirtschaftlich herstellen können⁵².

Elektrochemische Farbstoff-Zelle⁶³

Bei dieser wird mit Hilfe eines Farbstoffes Strahlung in Energie umgewandelt. Dabei wird unter anderem Titanoxid als Halbleiter und Ruthenium⁶⁴-Komplexe verwendet. Theoretisch könnte auch Chlorophyll verwendet werden. Durch die kurze Lebensdauer ist das jedoch uninteressant für die Wirtschaft. Trotz noch nicht genau gekläarter Funktion der Zelle und auch noch nicht vorhandener Produktionsstätten, wird sie als potenzialtragend erachtet. Zellen mit einem Wirkungsgrad von 30% sollen möglich sein⁶⁵.

Organische Solarzellen (Plastiksolarzellen)⁶⁶

Der grosse Unterschied zu den meisten anderen Zellen ist der Ausgangsstoff. Dieser ist organisch und besteht aus Kohlenwasserstoff-Verbindungen, also Kunststoff. 2013 lag der Wirkungsgrad solcher Zellen bei 12%, somit tiefer als die üblichen aus Silicium bestehenden PV-Zellen. Durch das grosse Wissen in der Verarbeitung von Kunststoffen und den grossen Möglichkeiten ist dieses Gebiet eines, in dem stark geforscht wird. Auch locken die relativ tiefen Herstellungskosten verglichen mit auf Silicium basierten Zellen. Die Eigenschaften von Kunststoffen sind (u.a.) die relativ hohe Umweltverträglichkeit und Flexibilität. Auch ist der Energieverbrauch bei der Herstellung relativ tief. Solange die Kunststoffe fachgerecht entsorgt werden, ist die Umweltbelastung sehr niedrig⁶⁷. Die

⁶² Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Mehrfachsolarzelle.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Mehrfachsolarzellen>]. (06.10.2018)

⁶³ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Elektrochemische Farbstoff-Solarzelle.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Elektrochemische_Farbstoff-Solarzelle]. (06.10.2018)

⁶⁴ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Ruthenium.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Ruthenium>]. (06.10.2018); Ein seltenes Übergangsmetall.

⁶⁵ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Grätzel-Zelle.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4tzel-Zelle>]. (08.10.2018)

⁶⁶ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Organische Solarzellen.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Organische_Solarzellen]. (06.10.2018)

⁶⁷ Vgl. Br.de. Plastik- oder Papiertüte.

[<https://www.br.de/radio/bayern1/inhalt/experten-tipps/umweltkommissar/umwelt-plastik-papier-tuete-100.html>]. (08.10.2018)

Individuelle Anpassung an das Lichtspektrum durch gezielte Polysynthese ist sicherlich auch erwähnenswert. Alle diese Eigenschaften machen organische Solarzellen sehr vielversprechend.

Thermische Photovoltaik⁶⁸

Bei der thermischen Photovoltaik werden Hybridmodule verwendet. Diese erzeugen Strom und erhitzen gleichzeitig Wasser. Ein grosser Vorteil dieser Module ist die eingebaute „Wasserkühlung“. Durch die tiefere Temperatur können sie effizienter arbeiten. Ein grosses Problem dieses Systems ist die Menge an Warmwasser, welche generiert wird. Die Fläche, die man für Warmwasser benötigt, ist normalerweise wesentlich kleiner, als jene, welche man für die Stromerzeugung benötigt. Auch ist der Warmwasserspeicher meist relativ schnell gefüllt, was eine Überproduktion von Warmwasser oder eine Abschaltung des Kreislaufsystems nach sich zieht. Man müsste dieses überschüssige Warmwasser loswerden, wobei die alle Lösungen für ein Einfamilienhaus eher unwirtschaftlich sind. Ansonsten hat man einen Hitzestau in den Modulen und eine sehr stark beeinträchtigte Ausbeute des Solarstromes. Eine spezielle Kühleinheit zu installieren, um das Wasser oder die Flüssigkeit kühl zu halten, ist mit Mehrkosten verbunden. Fazit, solange man das warme Wasser brauchen kann, ist die Anwendung dieser Technologie eine Überlegung wert.

Dünnschichtzellen⁶⁹

Dünnschichtzellen bestehen meistens aus amorphem Silicium oder mikrokristallinem Silicium. Ein sehr grosser Vorteil ist die Einfachheit der Produktion. Man kann Dünnschichtzellen drucken. Damit ist eine billige und grossflächige Massenproduktion möglich. Auch ist die lichtabsorbierende Schicht nur etwa 10 Mikrometer dünn und biegsam. Somit kann man sie auf eine Unterlage drucken und aufrollen. Was die Lichtverhältnisse anbelangt, sind Dünnschichtzellen viel toleranter gegenüber eher schlechten Lichtverhältnissen im Vergleich zu herkömmlichen poly- respektive monokristallinen Siliciumzellen. Der Produktionsabfall ist nicht so rasant. Die Weiterentwicklung der Dünnschichtzellen, die CIGS-Solarzellen⁷⁰, erreichen ähnliche Wirkungsgrade wie polykristalline Siliciumzellen. Die Dünnschichtzellen sind also eine günstige, jedoch nicht allzu leistungsstarke Alternative zu den herkömmlichen Siliciumzellen.

⁶⁸ Vgl. Photovoltaik-Web.de. Strom & Warmwasser mit einem System erzeugen.
[<https://www.photovoltaik-web.de/photovoltaik/module/sondermodule/hybridmodule-kombimodule-hybrid-kollektor>]. (06.10.2018)

⁶⁹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Dünnschichtzellen.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#D%C3%BCnnschichtzellen>]. (06.10.2018)

⁷⁰ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. CIGS-Solarzelle.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/CIGS-Solarzelle>]. (06.10.2018)

4. Stromspeicherung

Im zweiten Teil der Maturaarbeit werden diverse Arten Elektrizität zu speichern vorgestellt und diskutiert. Auch werden einige Beispiele bereits vorhandener Stromspeicher genannt. Es wird nicht ins Detail gegangen, da dies nicht im zeitlichen Rahmen meiner Maturaarbeit wäre. Es ist von äusserster Wichtigkeit, bei der Nutzung von Photovoltaik oder anderen in der Produktion fluktuierenden erneuerbaren Energien wie Wind, auch die Speicherung der erhaltenen Elektrizität miteinzubeziehen.

4.1 Arten von Stromspeicherung

In diesem Kapitel werden diverse Arten Strom zu speichern erläutert und diskutiert. Es wird nicht möglich sein, auf jede Stromspeicherart einzugehen. Dazu wird noch kurz auf die Machbarkeit, diese Speicher zu nutzen, eingegangen und wie sinnvoll diese Speichertechnologien sind.

4.1.1 Pumpspeicherkraftwerke ⁷¹

Diese Art Strom zu speichern ist in der Schweiz weit verbreitet. Überall in den Schweizer Alpen gibt es solche Anlagen⁷². Das Grundprinzip ist ein normales Speicherkraftwerk. Um Strom zu generieren, entlässt man Wasser aus dem Stausee und lässt es ein Gefälle hinunterfliessen. Dadurch wird die potenzielle Energie freigesetzt; das Wasser fliesst immer schneller das Gefälle hinunter. Am Ende kann man die Bewegungsenergie des Wassers auf eine Turbine und somit auf einen Generator übertragen. Dieser produziert Strom. Damit nun aber Strom gespeichert werden kann, kehrt man den Prozess einfach um. Mit Pumpen wird unter Energieaufwand, hier Strom, wieder Wasser in den Stausee hinaufgepumpt. Man gibt dem Wasser somit potenzielle Energie. Um wieder Strom zu gewinnen, lässt man das Wasser einfach wieder durch die Turbine fließen.

Der Wirkungsgrad eines Pumpspeicherkraftwerkes (PSKW) liegt bei etwa 75% bis 80%. Die Verluste entstehen vor allem durch die Reibung des Wassers und die jeweiligen Wirkungsgrade der Pumpen, Generatoren und Transformatoren. Zurzeit ist diese Art Strom zu speichern die einzige, welche in diesem Massstab wirtschaftlich betrieben werden kann. Wenn der Strom teuer ist, wird verkauft und wenn er billig ist, wird eingekauft.

Ein grosser Vorteil dieser Kraftwerke ist die schnelle Verfügbarkeit des Stromes. Somit können die Stromverbrauchsspitzen gut abgefangen werden. Einen grossen Heimvorteil haben wir hier in der

⁷¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Pumpspeicherkraftwerk.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk>]. (06.10.2018)

⁷² Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Liste von Pumpspeicherkraftwerken. Schweiz.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Pumpspeicherkraftwerken#Schweiz]. (06.10.2018)

Schweiz. Durch die Alpen gibt es viele potenzielle Standorte. Dazu kommt noch, dass man in einem Tal meistens nur eine Staumauer bauen muss und diese relativ hoch sein kann. Die Anlegung von komplett künstlichen Seen ist meistens nicht nötig. Pumpspeicherkraftwerke sind ein wichtiger Ausgleichsfaktor im Stromnetz. Wenn zu viel Strom im Netz zur Verfügung steht, kann gespeichert und wenn zu wenig zur Verfügung steht, erzeugt werden.

Die relativ hohen Kosten für den Bau eines Pumpspeicherkraftwerkes sind sicherlich ein Nachteil. Auch die Korrosion der Anlage ist nicht zu unterschätzen. Die Staumauern müssen sehr robust sein, damit sie durch die ständigen Wechsel des Wasserstandes nicht brechen. Ein solches Unglück ist 2005 am Pumpspeicherkraftwerk Taum Sauk im US-Bundesstaat Missouri geschehen⁷³. Auch muss ein merklicher Höhenunterschied zwischen der Turbine und dem Stausee bestehen. Kritiker werfen Pumpspeicherkraftwerken einen zu starken Eingriff in die Ökologie und das Landschaftsbild vor. Vor allem in vollbetonierten Kraftwerken ist es für Lebewesen schwer, sich niederzulassen. Die typische Limnologie⁷⁴, also die Strukturen in einem See, können sich durch die völlige Durchmischung des Wassers nicht bilden. Diese sind jedoch notwendig für ein funktionierendes Ökosystem.

Die Kosten des gespeicherten Stromes belaufen sich auf 3-5 Cents pro kWh pro Tag.

Es kann erwartet werden, dass auch in der Zukunft diese Art Energie zu speichern sinnvoll bleibt, sowohl in der Schweiz, wie auch in anderen Ländern. Die meisten Speicherkraftwerke in der Schweiz sind für eine Aufrüstung auf Pumpspeicherkraftwerke ausgelegt. Diese Technologie ist relativ effizient und ökologisch⁷⁵. Deshalb macht es nur Sinn, diese Anlagen weiter zu benutzen und nicht pumpfähige aufzurüsten.

4.1.2 Batteriespeicher⁷⁶

Wiederaufladbare Batteriespeicher werden auch Akkumulatoren genannt. Diese sind im Alltag weit verbreitet. Heutzutage werden Akkus überall im Alltag eingesetzt. Fast jeder von uns hat ein Mobiltelefon, in dem meistens ein Lithium-Ionen-Akku, eine spezifische Art eines Akkumulators, verbaut ist⁷⁷. Kurz gesagt, ein Akku ist eine herkömmliche Batterie, die man wieder aufladen kann.

⁷³ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Pumpspeicherkraftwerk Taum Sauk.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk_Taum_Sauk]. (06.10.2018)

⁷⁴ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Limnologie.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Limnologie>]. (06.10.2018)

⁷⁵ Vgl. Infanger, Remo; Interview mit Odermatt Lukas. (29.06.2018) Siehe Interview im Angang ab Seite 58

⁷⁶ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Batterie-Speicherkraftwerke.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Batterie-Speicherkraftwerk>]. (07.10.2018)

⁷⁷ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Lithium-Ionen-Akkumulator.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>]. (07.10.2018)

Die Energie in Batterien und Akkus ist in Form von chemischer Energie gespeichert. Das Grundprinzip ist eine Galvanische Zelle: Bei der Erzeugung von Elektrizität werden Elektronen durch einen chemischen Prozess freigesetzt⁷⁸.

Mit einem Wirkungsgrad von etwa 90%⁷⁹ liegen Batteriespeicher auf Lithium-Ionen-Basis an der Spitze⁸⁰.

Die ersten Batteriespeicher-Kraftwerke in den 1980er wurden mit Bleiakkumulatoren versehen. In den nachfolgenden Jahrzehnten gab es auch andere Variationen wie beispielsweise Nickel-Cadmium-Akkumulatoren. Ab 2010 konnte eine starke Preisreduktion der Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Li-Ion-Akkus) verzeichnet werden⁸¹. Heutzutage sind etwa zwei Drittel der Batteriespeicher-Kraftwerke mit Lithium-Ionen-Akkus versehen. Es ist wohl mit relativer Sicherheit vorauszusehen, dass Lithium-Ionen-Akkumulatoren ihren Marktanteil weiter ausbauen werden.

Einige Vorteile sind abhängig des im Speicher verbauten Akkumulatortypen. Auf die Vor- und Nachteile dieser spezifischen Typen wird jedoch nicht weiter eingegangen.

Ein wichtiger Vorteil von Batteriespeichern im Allgemeinen ist die schnelle Reaktionszeit. Dies ist vor allem zur Stabilisierung von Stromnetzen hilfreich. In Australien steht das zurzeit grösste Kraftwerk dieser Art. Es wurde Ende 2017 mit einer Bauzeit von unter 100 Tagen gebaut. Diese Anlage hat eine Leistung von 100 MW, 129 MWh an Kapazität und wird in Kombination mit einem Windpark genutzt. Der Speicher soll vor allem das Netz stützen und Leistungsabfälle abfedern. Die Reaktionszeit ist mit 0.14 Sekunden deutlich schneller, als die konventioneller Lösungen für Leistungsabfälle mit 4 Sekunden.⁸²

Ein weiterer Vorteil von Batteriespeicher ist die relativ einfache Skalierbarkeit. Wen man mehr Leistung oder Kapazität braucht, kann man ohne grossen Aufwand mehr Module hinzuschalten. Man kann sie nach Belieben parallel⁸³ oder in Reihe schalten⁸⁴. Dies zieht eine starke Flexibilität mit sich. Deswegen können die gleichen Grundmodule für Klein- sowie für Grossanlagen verwendet werden.

⁷⁸ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Galvanische Zelle
[https://de.wikipedia.org/wiki/Galvanische_Zelle]. (07.10.2018)

⁷⁹ Vgl. Tesla.com. Powerwall.
[https://www.tesla.com/de_CH/powerwall]. (07.10.2018)

⁸⁰ Vgl. Statista.com. Wirkungsgrade verschiedener Stromspeicher im Jahr 2012.
[<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156269/umfrage/wirkungsgrade-von-ausgewaehlten-stromspeichern/>]. (07.10.2018)

⁸¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Akkumulatoren. Preisentwicklung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Akkumulator#Preisentwicklung>]. (07.10.2018)

⁸² Vgl. Washingtonpost.com. Tesla's enormous battery in Australia, just weeks old, is already responding to outages in 'record' time.
[<https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2017/12/26/teslas-enormous-battery-in-australia-just-weeks-old-is-already-responding-to-outages-in-record-time>]. (07.10.2018)

⁸³ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Parallelschaltung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Parallelschaltung>]. (07.10.2018)

⁸⁴ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Reihenschaltung.

Die Fähigkeit des „Schwarzstartes“⁸⁵ ist sicherlich auch sehr interessant. Ein Schwarzstart ist, wenn man einen Kraftwerksblock oder eine Anlage ohne Anschluss an das Stromnetz wieder herauffahren kann. Ein Batteriespeicher besitzt diese Fähigkeit. Für Netzbetreiber ist das interessant, weil bei einem flächendeckenden Stromausfall der erste Stromimpuls von irgendwo herkommen muss. Somit kann eine solche schwarzstartfähige Einheit eine nicht schwarzstartfähige mit Strom versorgen und diese beim Hochfahren unterstützen, respektive die zum Hochfahren nötige Energie liefern.

Im Gegensatz zu Pumpspeicherkraftwerken, braucht ein Batteriespeicher keinen Höhenunterschied. Somit ist diese Speichertechnik auch in flachen Regionen einsetzbar.

Ein grosser Nachteil von Batteriespeicherkraftwerken sind die noch relativ teuren Produktions- und Anschaffungskosten des Speichers. Der Privatkunde bezahlt für einen Speicher von Varta mit 6.4 kWh Kapazität, inklusive der Installation, 12'852 CHF⁸⁶. Pro kWh Speicherkapazität bezahlt man somit etwa 2000 CHF. Bei der *Powerwall 2* von Tesla mit einer Kapazität von 13.5 kWh zahlt man etwa 7'880 bis 10'030 CHF mit Installation⁷⁹. Dies ergibt einen Preis von ungefähr 583.70 bis 742.96 CHF pro kWh.

Ein weiterer grosser Nachteil ist der Kapazitätsverlust über die Jahre. Akkumulatoren haben, bedingt durch die Lade- und Entladezyklen und deren Auswirkungen auf den Speicher, eine merkliche Reduktion der Speicherkapazität. Diese ist nicht bei jedem Akkumulatortyp gleich, jedoch weit verbreitet. Durch die Wahl des richtigen Typs und durch technologische Fortschritte, konnten diese Verluste zu verringert werden. Der effektive Verlust ist durch diverse Faktoren wie Wärme bestimmt und ist auch sehr stark abhängig von der verbauten Speichertechnologie.

Diese Art Elektrizität zu speichern wird wohl ein wichtiger Bestandteil in der Energieversorgung der Zukunft sein. Wie schon erwähnt, sind die Preise von Batteriespeicher am Sinken. Batteriespeicher machen vor allem im kleineren Massstab Sinn, also vor allem für einzelne Gebäude oder Gebäudezusammenschlüsse. Man kann die Eigenverbrauchsquote einer PV-Anlage durch den Einsatz von Batteriespeicher auf bis zu 70% erhöhen.⁸⁷

Eine Möglichkeit, relativ einfach an ein relativ grosses Speichervolumen zu kommen, ist die Nutzung der in Elektroautos verbauten Batterien.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Reihenschaltung>]. (07.10.2018)

⁸⁵ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Schwarzstart.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzstart>]. (07.10.2018)

⁸⁶ Vgl. CKW.ch. Medienmitteilung. Sonnenstrom während 24 Stunden nutzen – CKW verkauft und installiert den neuesten Batteriespeicher Varta Element.

[https://www.ckw.ch/_Resources/Persistent/3a7022d3b62ce0f325005e2b83abf87dce1be7a1/20160114%20CKW_Varta%20Batteriespeicher.pdf]. (07.10.2018)

⁸⁷ Vgl. Sicher, Beat; Interview mit Odermatt Lukas. (20.06.2018) Siehe Interview im Angang ab Seite 56

4.1.3 Druckluftspeicher^{88 89}

Der Druckluftspeicher speichert Energie, indem er Luft komprimiert. Dieser Druck kann nach Belieben wieder in Energie umgewandelt werden. Zur Betreibung eines solchen Speichers benötigt man einen Motor, der den Verdichter antreibt, einen Verdichter, eine Kaverne (o.ä.), um die komprimierte Luft zu speichern und eine Turbine. Dabei gibt es grundsätzlich zwei Typen: Das Druckluft-Gas-Kombikraftwerk und das Adiabatische Druckluftspeicherkraftwerk.

Allgemeine Vorteile von Druckluftspeicherkraftwerken sind die schnelle Verfügbarkeit und die im Kapitel 4.1.2 *Batteriespeicher* erwähnte Fähigkeit, schwarz zu starten. Auch dieser Kraftwerkstyp kann helfen, bei einem grossflächigen Blackout das Stromnetz wieder hochzufahren. Im Gegensatz zu Pumpspeicherkraftwerken, braucht ein Druckluftspeicher keinen Höhenunterschied. Somit ist diese Speichertechnik auch in flachen Regionen einsetzbar.

Das Druckluft-Gas-Kombikraftwerk hat zusätzlich zum Druckluftspeicher eine Gaszufuhr. Durch die zusätzliche Beimischung und Verbrennung von Gas wird einem Problem des Speichers entgegengewirkt: Beim Komprimieren der Luft wird Wärme frei, die bei diesem Kraftwerkstyp an die Umgebung abgegeben wird. Wenn man die Luft wieder entlässt, also Elektrizität generiert, ist ein starker Temperaturabfall durch die starke Ausdehnung der Luft zu verzeichnen. Dies kann zu Vereisungen führen, welche nicht erwünscht sind. Um dem entgegenzuwirken mischt man Gas bei und entzündet dieses. Dadurch erwärmt sich die Luft und diese Vereisung kann nicht stattfinden. Die Nutzung von Gas ist natürlich nicht optimal, wenn man erneuerbare Energien speichern möchte. Jedoch könnte man diesen Speichertypen auch in Kombination mit einer Biogasanlage⁹⁰ betreiben. Bei der Nutzung von Biogas, welches klimaneutral ist, würde die negative Auswirkung auf die Umwelt stark reduziert werden. Durch den Verlust der Wärmeenergie, die beim Komprimieren entsteht und beim Entlassen wieder künstlich hinzugeführt werden muss, ist dieser Druckluftspeichertyp weniger effizient als der adiabatische Druckluftspeicher.

Beim Adiabatischen Druckluftspeicher wird im Gegensatz zum Druckluft-Gas-Kombikraftwerk die entstandene Wärmeenergie bestmöglich gespeichert und beim Entlassen wieder zugeführt. Dies setzt jedoch eine relativ schnelle Wiedererzeugung von Elektrizität voraus. Je länger man wartet, desto mehr Wärmeenergie verliert der Wärmespeicher. Deswegen ist das Adiabatische

⁸⁸ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Druckluftspeicher.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Druckluftspeicherkraftwerk>]. (08.10.2018)

⁸⁹ Vgl. Barbato, Maurizio et al. www.nfp70.ch. Druckluftspeicher in den Schweizer Alpen.

[<http://www.nfp70.ch/SiteCollectionDocuments/nfp70-71-druckluftspeicher-in-den-schweizer-alpen.pdf>]. (08.10.2018)

⁹⁰ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Biogasanlage.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Biogasanlage>]. (08.10.2018)

Druckluftkraftwerk nicht sehr gut geeignet, um Energie über längere Zeit zu speichern. Die Effizienz ist jedoch merklich höher, vergleichbar mit Pumpspeicherkraftwerken.

Im Allgemeinen ist der Platzverbrauch im Vergleich zu Pumpspeicherkraftwerken relativ klein. Auch ist es möglich, Hohlräume in alten Minen, ausgediente Salzstöcke oder einfache Kavernen für diese Technologie zu nutzen. Diese Orte müssen lediglich luftdicht sein oder abgedichtet werden.

Die Wirtschaftlichkeit, wie auch die Umweltverträglichkeit sind vergleichbar mit einem Pumpspeicherkraftwerk. Es müssen keine Bergtäler überflutet werden. Deswegen ist eine, (u.a.) auch in der Schweiz, vermehrte Nutzung dieser Speichertechnologie vorauszusehen; zusätzlich begünstigt durch die vorteilhafte Beschaffenheit der Gesteinsarten in den Alpen.⁸⁹

4.1.4 Wasserstoffspeicher⁹¹

Da im Bereich Wasserstoffspeicher relativ viel machbar ist, wird dieses Kapitel ein wenig unterteilt. Es wird die Bereiche Druck- und Flüssigwasserstoffspeicher, Methanspeicher und Power-to-Gas enthalten.

Druck- und Flüssigwasserstoffspeicher

Bei diesem Speichertyp wird Wasserstoff in molekularer Form in einem Tank gespeichert. Dabei wird hauptsächlich zwischen der Druckwasserstoffspeicherung und der Flüssigwasserstoffspeicherung unterschieden. Es gibt auch die Möglichkeiten, Wasserstoff in beispielsweise porösen Materialien oder Metallgittern zu speichern. Diese Arten der Wasserstoffspeicherung sind jedoch aus diversen Gründen, wie Kosten oder Effektivität, nicht wirtschaftlich. Die Speicherung von Wasserstoff in Form von Methan wird in diesem Kapitel weiter unten besprochen.

Ein genereller Vorteil von Wasserstoff ist die hohe Energiedichte, welche bei 33.3 kWh pro Kilogramm liegt. Benzin hat im Vergleich nur eine Energiedichte von etwa 11.5 kWh pro Kilogramm. Für Batteriespeicher gibt es keinen einheitlichen Angaben.

Ein direkter Nachteil jedoch das sehr grosse Volumen bei einem Normaldruck von einem Bar. Dabei hat Wasserstoff eine Energiedichte von 0.003 kWh pro Liter. Beim Benzin hat man eine Energiedichte von etwa 8.5 kWh pro Liter. Für Batteriespeicher ist die Energiedichte im Bereich von 0.25 bis 0.675 kWh pro Liter.

Ein weiterer Nachteil von Wasserstoff ist die allgemeine Effizienz. Wasserstoff kann aus diversen Quellen, wie beispielsweise Methan oder Wasser, gewonnen werden. Wie schon erwähnt, wird der Methanspeicher in diesem Kapitel weiter unten besprochen. Aus Wasser wird Wasserstoff mithilfe

⁹¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Wasserstoffspeicherung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffspeicherung>]. (09.10.2018)

der Elektrolyse⁹² gewonnen. Dabei wird Gleichstrom durch Wasser geleitet, wodurch sich Wassermoleküle in je ein Sauerstoff- und zwei Wasserstoffatome aufspalten. Der Wirkungsgrad herkömmlicher Elektrolysegeräten liegt bei über 70%. Grossanlagen können Wirkungsgrade von über 80% erreichen. Durch den Einsatz eines speziellen Katalysators, ein Stoff, der bei einer chemischen Reaktion behilflich ist, kann die Effizienz auf nahezu 100% gesteigert werden. Dies ist jedoch nur ein Teil der ganzen Kette. Dieser Wasserstoff muss gespeichert und wieder in Strom umgewandelt werden. Der Gesamtwirkungsgrad soll mit weiteren Forschungsbemühungen 49% - 55% erreichen.

Bei Druckwasserstoffspeichern wird der Druck auf etwa 700 Bar angehoben. Der Wasserstoff bleibt dabei gasförmig. Energie wird lediglich für die Kompression des Gases benötigt. Der Verlust an Energie beträgt etwa 12%. Mit einem Druck von 700 Bar kann eine Energiedichte von 1.855 kWh pro Liter erreicht werden. Eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Normaldruck. Die korrekte Lagerung von molekularem, gasförmigem Wasserstoff ist heutzutage kaum noch mit Risiken verbunden.

Beim Flüssigwasserstoffspeicher wird der elementare Wasserstoff verflüssigt, also auf -252.8°C (20.4 K) heruntergekühlt. Dabei vervielfacht sich die Dichte im Gegensatz zum gasförmigen Zustand um den Faktor 800, jedoch ist mit einem Energieverlust von 28% bis 46% zu rechnen. Die Energiedichte erhöht sich auf 2.36 kWh pro Liter. Der Druck ist bei der Lagerung von Flüssigwasserstoff kein Problem. Es gibt lediglich einen sogenannten Boil-Off-Effekt. Dabei verdampft kontinuierlich flüssiger Wasserstoff. Dieser nun gasförmige Wasserstoff sammelt sich an und erhöht den Druck, weswegen dieser als Verlust abgelassen oder sonst irgendwie entfernt werden muss. Die grössere Herausforderung ist die Lagerung von Flüssigwasserstoff. Durch die tiefen Temperaturen ist eine spontane chemische Reaktion mit Sauerstoff unwahrscheinlich.

Ob gasförmiger oder flüssiger Wasserstoff, der Wasserstoffspeicher kann für Häuser sehr nützlich sein. Wobei der gasförmige wohl das Rennen macht. Er wird als Langzeitspeicher genutzt, um vor allem in den sonnenarmen Wintermonaten wie Dezember und Januar Strom bereitzustellen. Wenn man bei der Verstromung dieses Wasserstoffes die entstehende Wärme bestmöglich nutzt, ist ein allgemeiner Wirkungsgrad von 90% erreichbar.⁹³

Methanspeicher

Bei einem Methanspeicher wird Methan anstatt Wasserstoff gespeichert. Die Vorteile von Methan, also Erdgas, sind vor allem die höhere Energiedichte pro Volumen. Obwohl die Energiedichte in

⁹² Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Wasserelektrolyse.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserelektrolyse>]. (09.10.2018)

⁹³ Vgl. Energie-Experten.ch. Ein Haus ohne Stromanschluss.
[<https://www.energie-experten.ch/de/wohnen/detail/ein-haus-ohne-stromanschluss.html>].
(09.10.2018)

Bezug auf die Masse nur etwas mehr als einen Drittel derjenigen von Wasserstoff beträgt (13.9 kWh pro Kilogramm), ist sie in Bezug auf das Volumen bei einem Druck von 20 Bar etwa einen Drittel höher (2.58 kWh pro Liter), als gasförmiger Wasserstoff bei 700 Bar. Dieser Umstand ist sehr vorteilhaft für die Lagerung von Methan.

Um Methan synthetisch herzustellen, wird Wasserstoff (H₂) mit Kohlenstoffmonoxid (CO) oder-dioxid (CO₂) in einer chemischen Reaktion zu Methan (CH₄) und Wasser (H₂O) umgewandelt. Dieser Prozess wird „Methanisierung“⁹⁴ oder auch „Sabatier-Prozess“ genannt. Die Umwandlung in Methan ist energieaufwändiger als eine Umwandlung in Wasserstoff. Um eine klimaneutrale Erzeugung zu gewährleisten, muss der dafür benötigte Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammen und das CO₂ Klima neutral hergestellt oder aus der Luft gefiltert werden.

Ein schon erwähnter Vorteil von Methan ist die höhere Energiedichte bezogen auf das Volumen. Ein weiterer ist die Lagerung: Es wird nicht ein so starker Druckbehälter benötigt, wie es bei Wasserstoff der Fall ist. Somit sind auch die Transportkosten wesentlich geringer.

Zusätzlich kann dieses Methan in bereits bestehende Erdgasnetze eingespeist werden, somit auch in Gaskraftwerken genutzt werden. Dieser Umstand vergrössert die Möglichkeiten enorm. Auch kann das Methan als Treibstoff verwendet werden. Erdgasverbrennende Motoren können dieses synthetische Methan ohne weiteres benutzen. Mit der Möglichkeit der Umrüstung von Flugzeugen auf die Verbrennung von Methan, könnte der Flugverkehr theoretisch klimaneutral werden.

Ein Nachteil ist der höhere Energieaufwand im Vergleich zur Wasserstoffherstellung, da eine weitere Reaktion zusätzlich zur Wasserstoffherstellung vollzogen werden muss. Ob sich dieser rechnet, kommt auf den Verwendungszweck an.

Ein weiterer Nachteil ist das Kohlenstoffdioxid. Dieses wird industriell vor allem als Nebenprodukt der Ammoniaksynthese hergestellt. Diese Art der Herstellung ist jedoch sehr energieintensiv. Solange die Energie dafür nicht aus erneuerbaren Energiequellen kommt, ist diese Art jedoch nicht sinnvoll. Das Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre zu filtern, ist sicherlich eine vielversprechende Methode. Zurzeit ist dieses Verfahren jedoch noch energieintensiv und deswegen auch kostspielig⁹⁵.

Durch die höhere Ineffizienz und höheren Kosten dieses Speichers gegenüber Wasserstoff, wird er vermutlich nicht im grossen Stil für Privathaushalte genutzt werden. In diesen ist der Wasserstoffspeicher lohnenswerter. Wenn jedoch beispielsweise das eigene Auto mit Erdgas fahren kann, ist eine solche Installation durchaus in Betracht zu ziehen. Da wäre der Mehrwert eines Methanspeichers und dessen Produktionsanlage da.

⁹⁴ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Methanisierung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Methanisierung>]. (09.10.2018)

⁹⁵ Vgl. Nachhaltigleben.ch. Zürcher Start-up will aus der Luft gefiltertes CO₂ im grossen Stil verkaufen.
[<https://www.nachhaltigleben.ch/natur/klimawandel/zuercher-start-up-climeworks-will-co2-im-grossen-stil-verkaufen-4612>]. (09.10.2018)

Power-to-Gas⁹⁶ -to-Power

Dieses Prinzip ist (u.a.) eine Kombination des Methanspeichers und einer Brennstoffzelle. Zuerst wird aus „Power“, also Elektrizität, ein „Gas“, hier Methan, hergestellt. Dieses wird, bei Bedarf, wieder in Strom verwandelt. Der reine Strom-zu-Strom Wirkungsgrad liegt etwa bei der Hälfte des Wirkungsgrades eines Pumpspeicherkraftwerkes. Wenn man dabei ein geeignetes Kraft-Wärme-Kopplungs-Konzept verwendet, kann man einen Wirkungsgrad von ca. 55% bis 60% herausholen⁹³.

Dieser Typ macht, zumindest in der Schweiz, kaum Sinn. Er ist relativ unwirtschaftlich. Dazu hat es in der Schweiz viele Möglichkeiten, andere Speicher, wie Pumpspeicherkraftwerke, zu benutzen.

4.1.5 Kondensatoren und Superkondensatoren^{97 98}

Ein Kondensator ist ein Gleichstromspeicher. Dabei wird die Energie in einem elektrischen Feld gespeichert. Sie werden unter anderem eingesetzt, um hohe Spannungen zu erzeugen und diese schnell bereit zu stellen. Superkondensatoren sind im Grundprinzip vergleichbar mit den herkömmlichen Kondensatoren. Der Vorteil der Superkondensatoren ist ihre grössere Kapazität.

Die Tatsache, dass die Selbstentladezeit bei maximal einigen Wochen liegt, ist ein sehr stark zu gewichtender Grund, Kondensatoren nicht als Stromspeicher für die Netzbetreiber zu benutzen. Kondensatoren sind wenn überhaupt im öffentlichen Verkehr zu benutzen, beispielsweise bei der Stromversorgung von Bussen, die sich bei jeder Station wieder aufladen.

Vorteile von Superkondensatoren gegenüber normalen Lithium-Ionen-Akkumulatoren ist ihre Langlebigkeit, deutlich höhere Leistungsdichte und der relativ hohe Wirkungsgrad. Bei normalen Kondensatoren kann dieser bis zu 99% betragen.

Fazit: Eine ungeeignete Technologie, um sie für Langzeitspeicher einzusetzen. Es gibt viele kostengünstigere und effektivere Stromspeichertechnologien, wie Pumpspeicherkraftwerke oder Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

4.1.6 Supraleitender magnetischer Energiespeicher⁹⁹

Ein supraleitender magnetischer Speicher, auch SMES genannt, speichert Gleichstrom in einer Spule. Diese Spule ist supraleitend¹⁰⁰, hat also keinen elektrischen Widerstand. Wenn kein elektrischer

⁹⁶ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Power-to-Gas.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas>]- (09.10.2018)

⁹⁷ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Kondensator (Elektrotechnik).
[[https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_(Elektrotechnik))]. (10.10.2018)

⁹⁸ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Superkondensator.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Superkondensator>]. (10.10.2018)

⁹⁹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Supraleitender Magnetischer Energiespeicher.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleitender_Magnetischer_Energiespeicher]. (10.10.2018)

¹⁰⁰ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Supraleiter.

Widerstand vorhanden ist, gibt es auch keine Wärmeverluste, die durch Reibung der Elektronen entstehen würden. Ein Material wird ab einer sogenannten „Sprungtemperatur“¹⁰¹ supraleitend. Diese ist für jedes Element eine andere, jedoch sehr tief. Die Kühlung wird meistens mit Helium vollzogen.

Vorteile des SMES sind die schnelle Lade- und Entladezeit, der gute Wirkungsgrad und die nahezu verlustfreie Speicherung. Die einzigen nennenswerten Verluste treten bei der Wandlung des Stromes von Wechsel- auf Gleichstrom. Die Verluste betragen etwa 2% bis 3 % pro Wandlung. Die Speicherung ist verlustfrei, weil die gespeicherten Elektronen keinen Widerstand erfahren. Auch ist eine schnelle Reaktionszeit zu verzeichnen. Die gespeicherte Energie steht umgehend zur Verfügung. Nachteile sind die relativ kleine Kapazität respektive Energiedichte von 0.03 Wh pro Kilogramm (0.00003 kWh pro Kilogramm) oder auch die konstante Kühlung auf sehr tiefe Temperaturen. Diese starke Kühlung verbraucht sehr viel Energie.

Der Supraleitende Magnetische Speicher ist nicht als herkömmlicher, kostengünstiger Energiespeicher geeignet. In den für die Technologie vorgesehenen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise im Large Hadron Collider in Genf, macht sie als Speicher von Elektrizität durchaus Sinn.

4.1.7 Schwungradspeicher¹⁰²

In einem Schwungrad wird Energie in Form von Rotationsenergie gespeichert. Die Energie wird mit einem Elektromotor auf das Schwungrad übertragen. Die Drehung des Schwungrades kann danach mit Hilfe der Rekuperationstechnologie als Elektrizität wiedergewonnen werden. Die Wirkung des Elektromotors ist faktisch umgekehrt. Er wirkt nicht als beschleunigendes, sondern als bremsendes Element.

Mit dem Schwungrad kann man kurzzeitig und sehr schnell, sehr viel Energie zur Verfügung gestellt werden. Dies kann helfen Spitzenlasten auszugleichen. Auch kann das Stromnetz dadurch stabilisiert werden. Mit einem Wirkungsgrad von 90% reiht sich das Schwungrad bei den effizienteren Speichertechnologien ein. Dazu kommt die hohe Ladegeschwindigkeit im Vergleich zu beispielsweise Akkus.

Ein Nachteil ist die relativ hohe Selbstentladung von 3% bis 20% je nach System. Die Selbstentladung wird vor allem durch den Luftwiderstand und das Kugellager verursacht. Es ist möglich, das Schwungrad in einem Vakuumgehäuse und auf einem Magnetlager zu verwenden. Die Lagerverluste

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleiter>]. (10.10.2018)

¹⁰¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Sprungtemperatur.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Sprungtemperatur>]. (10.10.2018)

¹⁰² Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Schwungradspeicherung.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwungradspeicherung>]. (10.10.2018)

werden dadurch minimiert. Dabei muss man jedoch eine Vakuumpumpe, sowie eventuell einen Magneten elektrisch betreiben. Damit vergrößert sich jedoch auch das Gewicht.

Einen Schwungradspeicher einzusetzen, macht in einem Haushalt kaum Sinn. Diese Art Elektrizität zu speichern ist vor allem nützlich, wenn man einen unterbruchfreien Betrieb haben muss. Beispielsweise werden in Krankenhäuser Schwungräder bei Stromausfällen eingesetzt. Sie überbrücken den Stromfluss im Krankenhaus, bis die Dieselgeneratoren anspringen und genug Leistung erbringen. Auch können sie direkt für den Schnellstart eines Motors benutzt werden.

4.2 Aktuelle Stromspeicher

In diesem Teil werden einige bereits verbaute Stromspeicher genannt. Es wird beschrieben, wo diese liegen, welche Stromspeichertechnologie sie verwenden und welchen Zweck sie haben.

4.2.1 Grösster Batteriespeicher der Schweiz ¹⁰³

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich haben in der Gemeinde Volketswil einen Batteriespeicher gebaut. Die Speicherkapazität liegt bei 7.5 MWh, womit etwa 600 Haushalte für einen Tag versorgt werden können. Die Leistung liegt dabei bei 18 MW. Diese Anlage wird von der nationalen Netzgesellschaft zur Netzstabilisierung verwendet. Der Batteriespeicher ging Anfang 2018 in Betrieb¹⁰⁴.

4.2.2 Grösster Batteriespeicher der Welt ^{105 106}

Zurzeit steht das grösste Batteriespeicherkraftwerk der Welt im australischen Bundesstaat South Australia. Der Speicher wird in Kombination mit dem Windpark in Hornsdale betrieben. Seine Kapazität beträgt 129 MWh. Er wird vor allem für die Netzstabilisierung eingesetzt. Dabei kann er innerhalb von 0.14 Sekunden reagieren und stabilisieren. Über die Kosten der 129 kWh-Anlage ist nichts bekannt.

4.2.3 Pumpspeicherkraftwerk Linth-Limmern ¹⁰⁷

Das Pumpspeicherkraftwerk Linth-Limmern ist das leistungsstärkste in der Schweiz. Durch den Ausbau des Kraftwerkes, wurde die maximale Leistung von 520 MW auf 1520 MW angehoben. Dafür wurde der auf 2450 m ü. M. gelegene Mutsee mit einer etwa ein Kilometer langen Staumauer ausgestattet. Damit wurde das Wasservolumen von 9 Mio. auf 23 Mio. m³ erhöht. Der Ausbau des

¹⁰³ Vgl. NZZ.ch. Die grösste Batterie der Schweiz.
[<https://www.nzz.ch/zuerich/aktuell/energiespeicherung-die-groesste-batterie-der-schweiz-id.1310145>]. (11.10.2018)

¹⁰⁴ Vgl. SRF.ch. In Volketswil entsteht die grösste Batterie der Schweiz.
[<https://www.srf.ch/news/regional/zuerich-schaffhausen/in-volketswil-entsteht-die-groesste-batterie-der-schweiz>]. (11.10.2018)

¹⁰⁵ Vgl. Teslamag.de. Australien: Tesla hat das größte Batteriespeicher-Projekt der Welt erfolgreich installiert.
[<https://teslamag.de/news/australien-tesla-batteriespeicher-projekt-welt-17038>]. (11.10.2018)

¹⁰⁶ Vgl. Washingtonpost.com. Tesla's enormous battery in Australia, just weeks old, is already responding to outages in 'record' time.
[<https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2017/12/26/teslas-enormous-battery-in-australia-just-weeks-old-is-already-responding-to-outages-in-record-time>]. (11.10.2018)

¹⁰⁷ Vgl. Axpo.com. Kraftwerke Linth-Limmern AG.
[https://www.axpo.com/content/dam/axpo2/Documents/Switzerland/Newsroom/dossiers-publikationen/Factsheet_PSW_limmern_DE-2016-06.pdf]. (11.10.2018)

Muttsees allein zog eine Leistungssteigerung von 1000 MW nach sich. Die Kosten des Ausbaus beliefen sich auf etwa 2.1 Milliarden Schweizer Franken.

4.2.4. Druckluftspeicherkraftwerk im Gotthard¹⁰⁸

Das Druckluftspeicherkraftwerk wurde Ende 2016 in einem Schutterstollen, der während dem Bau des Gotthard-Basistunnels benutzt wurde, in der Nähe von Biasca gebaut. Es ist die erste Pilotanlage eines adiabatischen Kraftwerks. Die Wärme wird mit Hilfen von kleinen Steinen mit einem Durchmesser von etwa 2-3 cm und Metallrohren gespeichert. In den Metallrohren ist eine Legierung aus Aluminium, Kupfer und Silikon. Die Kombination der beiden Speicher ist relativ effizient. Dabei wird beim Wärmespeicher mit einem Wirkungsgrad von 76% bis 90% und mit einem Gesamtwirkungsgrad von 67% bis 78% geschätzt. Die Kosten für den Testbetrieb belaufen sich auf etwa 4 Mio. Franken¹⁰⁹.

4.2.5 Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten¹¹⁰

Das autarke Haus kommt ohne Stromanschluss ans Netz aus und ist somit das erste seiner Art. Es wurde 2016 fertiggestellt und wird lediglich mit der Kraft der Sonne betrieben. Die PV-Module auf dem Dach sind kristalline Siliciumzellen und die Module an der Fassade sind Dünnschichtzellen. Zur Speicherung der Energie gibt es zwei Hauptspeicher: Einen Kurz- und einen Langzeitspeicher. Der Kurzzeitspeicher ist ein Batteriespeicher mit einer Leistung von 100 bis 200 kWh. Damit lässt sich das Haus etwa drei bis vier Tage versorgen. Durch die dunklen Wintermonate (vor allem Dezember und Januar) wird ein Wasserstoffspeicher als Langzeitspeicher eingesetzt. Beim Wasserstoffspeicher ist eine Kapazität von 3000 bis 4000 kWh verbaut. Durch die in der Brennstoffzelle entstehende thermische Energie, kann das Haus geheizt werden. Bei der Doppelnutzung von Elektrizität und Wärme aus der Brennstoffzelle, kann ein Wirkungsgrad von etwa 90% erreicht werden. Ein kleiner Teil des Solarstromes wird mithilfe einer Wärmepumpe in Brauchwarmwasser und Heizwärme umgewandelt. Damit diese Speicher möglichst lange halten, ist das Haus auf Effizienz ausgelegt. Die Beleuchtung basiert auf LED-Lampen und die Haushaltsgeräte sind energieeffizient. Dieses Vorzeigeprojekt zeigt auf, dass bereits heute schon vieles machbar ist.

¹⁰⁸ Vgl. Barbato, Maurizio et al. www.nfp70.ch. Druckluftspeicher in den Schweizer Alpen. [<http://www.nfp70.ch/SiteCollectionDocuments/nfp70-71-druckluftspeicher-in-den-schweizer-alpen.pdf>]. (11.10.2018)

¹⁰⁹ Vgl. Ingenieur.de. Wie die Schweizer Druckluft in Tunnel am Gotthard als Energiespeicher nutzen. [<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/wie-schweizer-druckluft-in-tunnel-am-gotthard-energiespeicher-nutzen/>]. (11.10.2018)

¹¹⁰ Vgl. Energie-Experten.ch. Ein Haus ohne Stromanschluss. [<https://www.energie-experten.ch/de/wohnen/detail/ein-haus-ohne-stromanschluss.html>]. (11.10.2018)

5. Förderung

In Kapitel *Förderung* wird auf die momentane Lage der staatlichen Förderung eingegangen. Dabei werden die unterschiedlichen Fördermodelle erklärt. Dazu werden einige Verbesserungsvorschläge eingebracht.

5.1 Aktuelle Förderprogramme

Zurzeit gibt es drei Förderprogramme. Das älteste Fördermodell ist die sogenannte Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV). Daneben gibt es noch die Kleine und Grosse Einmalvergütung (KLEIV und GREIV)

5.1.1 Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)

Dieses Fördermodell ist seit dem 1. Januar 2009 gültig. Dabei werden nebst Solaranlagen auch Wind- und Kleinwasserkraft, Biomasse und Geothermie gefördert. Wie der Name des Fördermodelles es bereits sagt, ist diese Förderung kostendeckend. Somit war (bis 2018) über die Dauer der Förderung der jeweiligen Anlage eine Deckung von 100% der Kosten möglich.¹¹¹

Die Kostendeckende Einspeisevergütung ist jedoch ein Auslaufmodell. Seit dem 1. Januar 2018 werden nur noch Anlagen mit einer Leistung über 100 kW und nur noch bis ins Jahr 2022 in das Förderprogramm aufgenommen. Dabei werden die Anfragen wie gehabt nach Datum abgearbeitet. Bedingt durch die sehr lange Warteliste, ist eine Aufnahme jedoch unwahrscheinlich. Auch ist das Modell nicht mehr kostendeckend, sondern nur noch kostenorientiert. Bei der Einspeisung von Strom wird etwa 20% weniger ausbezahlt. Das gilt für alle ab 2018 aufgenommenen Anlagen. Die bis Ende 2022 aufgenommenen Anlagen werden weiterhin auf die Dauer der Förderung eine kostenorientierte Vergütung erhalten, es sei denn, sie leisten mehr als 500 kW. Dann fallen diese vollumfänglich aus der KEV¹¹². Betreiber von Anlagen mit einer Leistung ab 500 kW, welche bis Ende 2017 eine KEV erhalten, und Betreiber von Anlagen mit einer Leistung ab 100 kW, die ab 2018 in die KEV aufgenommen werden, müssen ab dem Jahr 2022 ihren Strom selber vermarkten.^{113 114}

¹¹¹ Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Kostendeckende Einspeisevergütung (Schweiz).
[https://de.wikipedia.org/wiki/Kostendeckende_Einspeiseverg%C3%BCtung_%28Schweiz%29].
(12.10.2018)

¹¹² Sicher, Beat; Interview mit Odermatt Lukas. (20.06.2018) Siehe Interview im Angang ab Seite 56

¹¹³ Vgl. Bundesamt für Energie BFE. Kontingente 2018. Einspeisevergütung (KEV) sowie Einmalvergütung für Photovoltaikanlagen.
[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_741979138.pdf].
(12.10.2018)

¹¹⁴ Vgl. Bundesamt für Energie BFE. Förderung der Photovoltaik. Faktenblatt.
[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_362883935.pdf].
(12.10.2018)

5.1.2 Kleine Einmalvergütung (KLEIV)

Die Kleine Einmalvergütung kann ab dem Jahr 2018 bei Anlagen mit einer Grösse bis 100 kW beantragt werden, wobei es nicht mehr möglich ist, in die KEV aufgenommen zu werden. Der Betreiber bekommt somit keine Zusätzliche Vergütung mehr bei der Einspeisung in das Stromnetz. Falls ein Produktionsüberschuss entsteht, wird dieser vom Netzbetreiber zum Grosshandelspreis abgenommen. Dabei gibt es keinen ökologischen Zuschlag (o.ä.)¹¹⁵. Bei diesem Fördermodell ist auch mit einer Wartezeit zu rechnen. Anlagen mit einer Inbetriebnahme im Jahr 2018 können mit etwa 2 Jahren rechnen.^{113 114}

Die nachfolgende Tabelle¹¹⁶ zeigt die Vergütung von Anlagen mit einer Grösse bis 100 kW an.

Anlagekategorie		Inbetriebnahme			
		ab 01.01.2012	ab 01.10.2016	ab 01.04.2017	ab 01.04.2018
angebaut	Grundbeitrag [CHF]	1'600	1'400	1'400	1'400
	Leistungsbeitrag [CHF/kWp]	1'200	500	450	400
integriert	Grundbeitrag [CHF]	2'200	1'800	1'600	1'600
	Leistungsbeitrag [CHF/kWp]	1'400	610	520	460

Bei einer integrierten Anlage mit einer Leistung von 12 kWp, welche im September 2018 ans Netz gegangen wäre, würde sich die Unterstützung wie folgt zusammensetzen:

Der Grundbeitrag wäre dabei 1'600 CHF. Dazu kämen noch die 12 x 460.- für die Leistung der Anlage. Der Gesamtbetrag der Unterstützung läge somit bei 7'120 CHF.

5.1.3 Grosse Einmalvergütung (GREIV)

Die Grosse Einmalvergütung ist für Anlagen mit einer Leistung von 100 kW bis 50 MW. Diese Förderung kann man auch ab dem Jahr 2018 beantragen. Im Jahr 2018 stehen insgesamt 20 Mio. CHF zu Verfügung. Zusammen mit der KLEIV ist die GREIV das Hauptfördersystem. Bei beiden Fördermodellen ist eine Förderung bis 2030 vorgesehen.^{113 114}

¹¹⁵ Sicher, Beat (20.06.2018); Interview mit Odermatt Lukas. Siehe Interview im Angang ab Seite 56

¹¹⁶ Vgl. Sicher, Beat (19.04.2018) PV-Anlagen und Batteriespeicher; Vortrag für Interessierte. [https://www.haus-energie-nw.ch/wp-content/uploads/2018/04/PV-Anlagen-und-Batteriespeicher_OdermattSicher-AG_Vortrag-2018.pdf]. (12.10.2018)

5.2 Verbesserungsvorschläge ^{117 118}

Eine erste Verbesserung wäre eine Verkürzung der Wartezeit. Es gibt bereits eine merkliche Verbesserung in der KLEIV. Die auf zwei Jahre erwartete Wartezeit ist definitiv besser, als die unbestimmte Länge der Wartezeit, wie sie bis jetzt war. Das könnte bereits eine Steigerung der Attraktivität nach sich ziehen. Die weitere Verringerung der Wartezeit könnte diesen Effekt noch verstärken.¹¹⁹

Man müsste einige Gesetze zum Thema Eigenverbrauchsgemeinschaft abändern. Zurzeit kann man nicht über mehrere Parzellen hinweg seinen produzierten Strom verkaufen; lediglich an angrenzende. Wenn jedoch eine Anlage, wie die auf dem Dach der Autobahn in Stansstad, eine Leistung von 800 kW hat, muss dieser Strom verteilt werden können. Dabei muss die Möglichkeit vorhanden sein, die produzierte Elektrizität über das öffentliche Netz zu transportieren. Somit könnte man den Strom auch gut selbstvermarkten und nach Absprache mit den Konsumenten einen Aufpreis verlangen.

Beat Sicher und Remo Infanger raten sogar zu einer kompletten Abschaffung oder zumindest stark reduzierten Förderung. Dies, weil eine Photovoltaikanlage heutzutage schon billig genug Strom produzieren kann, dass sie sich über ihre Lebensdauer selber finanziert. Auch wird durch die Förderprogramme ein starker Druck auf andere Produktionsarten wie die Wasserkraft ausgeübt.

¹¹⁷ Sicher, Beat; Interview mit Odermatt Lukas. (20.06.2018) Siehe Interview im Angang ab Seite 56

¹¹⁸ Infanger, Remo; Interview mit Odermatt Lukas. (29.06.2018) Siehe Interview im Angang ab Seite 58

¹¹⁹ Eine eigene Überlegung.

6. Zusammenfassung

Im Jahr 2017 wurden im Kanton Nidwalden 4.10 GWh Elektrizität aus Photovoltaik gewonnen. Mit dieser Menge an Energie kann man nur etwa 910 Haushalte à 4'500 kWh versorgen. Die grösste Photovoltaikanlage, mit einem erwarteten Ertrag von 820'000 kWh, ist auf dem Dach der Halle 25 der Pilatus Flugzeugwerke installiert.

Bereits verbaute Stromspeicheranlagen sind Pumpspeicherkraftwerke, einen nennenswerten Batteriespeicher der EKZ, eine Druckluftspeicherpilotanlage und im autarken Mehrfamilienhaus in Brütten einen nennenswerten Wasserstoffspeicher. PSKW's sind vor allem im alpinen Gebiet der Schweiz zu finden. Ein Wirkungsgrad von 75-80% ist ganz beachtlich, kann jedoch mit einem Batteriespeicher mit einem Wirkungsgrad von etwa 90%, nicht mithalten. Dafür sind PSKW's als sehr grosse Anlagen realisierbar. Der Batteriespeicher der EKZ kann mit einer Kapazität von 7.5 MW die Netzstabilität in der Schweiz verbessern. Die weltweit erste adiabatische Druckluftspeicherpilotanlage im Gotthardgebiet, nahe Biasca, ist eine Forschungsanlage, zeigt jedoch heute schon eine potenziell gute Zukunft für diese Speichertechnologie. Der Wirkungsgrad liegt nach Berechnungen um den eines PSKW's herum. Somit sind vor allem mittelgrosse Anlagen realisierbar. Das autarke Haus Brütten nutzt einen Wasserstoffspeicher, mit einer Kapazität von 3000 - 4000 kWh, als Langzeitspeicher in Kombination mit einem Batteriespeicher als Kurzzeitspeicher. Gefüllt werden diese mit Dach- und Fassadenanlagen (PV). Dabei wird mit der Nutzung der Abwärme der zur Stromerzeugung benutzten Brennstoffzelle ein Wirkungsgrad von 90% erreicht.

Mit einem Dachpotenzial von 185.13 GWh Solarstrom kann man etwa zwei Drittel des Kantons Nidwalden oder etwa 41'100 Haushalte mit Strom versorgen.

Pumpspeicherkraftwerke sind heute, wie auch in der Zukunft, ein wichtiges Glied im Stromnetz. Wenn man bedenkt, dass die meisten herkömmlichen Speicherkraftwerke in der Schweiz für eine Aufrüstung auf ein PSKW ausgelegt sind, kann man noch einiges an Speicherpotenzial gewinnen. Batteriespeicher können sehr hilfreich sein, die Leistungsspitzen der Photovoltaikanlagen zu speichern. Für Häuser sind sie relativ attraktiv, jedoch eher als Kurzzeitspeicher. Dazu kommt noch der stetig sinkende Preis dieser Speichertechnologie. Als Langzeitspeicher für Häuser sind Wasserstoffspeicher attraktiv, vor allem in den sonnenschwachen Wintermonaten. Preislich sind diese jedoch eher teuer. Druckluftspeicher haben einen grossen Platzvorteil gegenüber PSKW's. Man kann sie nahezu überall einsetzen. Dichtes Gestein ist von Vorteil, durch korrekte Abdichtung kann man jedoch auch andere Gesteine nehmen. Durch den Verbau in bereits vorhandenen Kavernen, Mienen (o.ä.) sind der ökologische Einfluss und der Platzverbrauch minimiert.

In der Schweiz gibt es zurzeit drei Fördermodelle. Das erste und auch älteste ist die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV). Dabei bekommt jeder im Programm beteiligte einen Zuschlag für den ins

Netz abgegebene Strom. Dieses Modell ist jedoch ein Auslaufmodell. Das zweite ist die Kleine Einmalvergütung (KLEIV). Dabei bekommen Anlagen mit einer Leistung bis 100 kW einen Grundbetrag und je nach Grösse einen Leistungsbetrag. Die Grosse Einmalvergütung (GREIV) ist für Anlagen ab 100 kW bis 50 MW.

Verbessern könnte man die Rechtliche Lage bei der Nutzung des Netzes. Zurzeit ist es für grosse Anlagen schwierig, ihren Strom direkt zu verkaufen, da man nur an die benachbarte Parzelle abgeben darf. Das muss sich ändern. Dadurch wird auch die Attraktivität grösserer Anlagen gesteigert. Auf lange Sicht sollte man jedoch keine direkten Förderungen oder Subventionen mehr zusprechen. Diese führen zu einer Marktverzerrung und können die Rentabilität von beispielsweise der Wasserkraft beeinträchtigen, weswegen man unter Umständen diese auch fördern muss. Durch die stark sinkenden Preise für PV-Anlagen, ist der Anreiz Förderprogramme zu haben auch gesunken.

7. Schlusswort

Meine Themenwahl war nach meiner Meinung eine gute. Ich konnte mich dafür sehr interessieren. Ich konnte mir, und hoffentlich auch dem Leser, einen guten Überblick über die drei in meiner Maturaarbeit behandelten Themen verschaffen. Natürlich gäbe es noch einiges mehr, was ich hätte schreiben können. Der Umfang dieser möglichen Arbeit, wäre jedoch ausserhalb des für mich Machbaren gewesen.

Durch meine frühe, aktive Tätigkeit an meiner Maturaarbeit, konnte ich herausfinden, ob sie überhaupt machbar ist. Glücklicherweise konnte ich die nötigen Informationen dazu schnell beschaffen. Auch war es mir möglich einen ersten Überblick zu verschaffen, was ich alles miteinbeziehen möchte. Darüber hinaus war ich froh, die Interviews vor den Sommerferien geführt zu haben. Damit war es mir möglich, relativ unkompliziert Termine für diese zu bestimmen.

Im späteren Verlauf meiner Arbeit war ich meinem früheren Ich dankbar, die meisten Quellen gleich aufzuschreiben und nicht bis in die letzte Woche zu warten. Das hat mir einige Mühen erspart, auch wenn es manchmal ein wenig unterbrechend im Schreibfluss war. Während dem schreiben, musste ich zum Teil aufpassen, dass ich nicht zu umfangreich, sowie auch verständlich geschrieben haben. Das war mir ein wichtiges Anliegen und hoffe es umgesetzt zu haben.

Es war interessant, über die einzelnen Themenbereiche Nachforschungen zu betreiben und zu sehen, was die Zukunft uns bringen kann. Wie viele potenzielle Photovoltaiktechnologien es gibt oder auch, wie und wo man Strom speichern kann. Es hat mich auch überrascht, wie viel Dachpotenzial wir in Nidwalden bereits haben. Wenn man die Fassaden noch hinzuziehen würde, könnte es möglich sein, den ganzen Kanton mit Solarstrom zu betreiben, vorausgesetzt, wir haben genügend Speicherkapazitäten. Den ganzen Themen kann ich nun mit viel besserem Gesamtverständnis entgegentreten.

Meine Arbeitsteilung war nicht optimal, jedoch hatte ich nie grössere Probleme beim Schreiben meiner schriftlichen Dokumentation. Die Korrektur (einiger Seiten) meines Mentors hat mich sicherlich auf einiges hingewiesen. Auch die Korrekturen meiner Tante und meiner Mutter, halfen mir, meine Fehler zu verstehen und hoffentlich nicht mehr zu begehen.

Es war manchmal interessant nachzuvollziehen, wie ich von den Recherchen meiner Maturaarbeit auf irgendwelche Seiten im Internet gelangt bin und wie ablenkend die digitale Welt sein kann. Trotz dieses Nachteiles, würde ich nicht auf diese verzichten wollen. Vieles, was ich gelernt habe, ist auf das Internet zurückzuführen.

Im Grossen und Ganzen kann ich bedenkenlos sagen, dass diese Arbeit eine wertvolle Erfahrung für mich ist. In den in dieser Arbeit besprochenen Themen, sowie auch allgemein, was das Schreiben einer grösseren Arbeit anbelangt.

Selbstständigkeitserklärung

Ich, Lukas Odermatt, erkläre hiermit,

- **Dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst haben,**
- **Dass ich auf eine eventuelle Mithilfe Dritter in der Arbeit ausdrücklich hingewiesen habe.**

Ort, Datum:

Unterschrift:

8. Quellenverzeichnis

Andere

Axpo.com. Kraftwerke Linth-Limmern AG.

[https://www.axpo.com/content/dam/axpo2/Documents/Switzerland/Newsroom/dossiers-publikationen/Factsheet_PSW_limmern_DE-2016-06.pdf]. (11.10.2018)

Barbato, Maurizio et al. Druckluftspeicher in den Schweizer Alpen.

[<http://www.nfp70.ch/SiteCollectionDocuments/nfp70-71-druckluftspeicher-in-den-schweizer-alpen.pdf>]. (08.10.2018)

Benetz.ch. Referenzen.

[<http://www.benetz.ch/Referenzen/Bildgalerie/>]. (03.10.2018)

Br.de. Plastik- oder Papiertüte.

[<https://www.br.de/radio/bayern1/inhalt/experten-tipps/umweltkommissar/umwelt-plastik-papier-tuete-100.html>]. (08.10.2018)

CKW.ch. Medienmitteilung. Sonnenstrom während 24 Stunden nutzen – CKW verkauft und installiert den neuesten Batteriespeicher Varta Element.

[https://www.ckw.ch/_Resources/Persistent/3a7022d3b62ce0f325005e2b83abf87dce1be7a1/20160114%20CKW_Varta%20Batteriespeicher.pdf]. (07.10.2018)

Elektrotechnik.ch. Recycling von Photovoltaik-Modulen.

[<https://www.elektrotechnik.ch/artikel/recycling-von-photovoltaik-modulen/>]. (05.10.2018)

Energie-Experten.ch. Ein Haus ohne Stromanschluss.

[<https://www.energie-experten.ch/de/wohnen/detail/ein-haus-ohne-stromanschluss.html>]. (09.10.2018)

Espazium.ch. Wasserkraft im Klimawandel.

[<https://www.espazium.ch/wasserkraft-im-klimawandel>]. (09.09.2018)

Fraunhofer.de. Presseinformation. 30.2 Prozent – neuer Rekordwert für siliciumbasierte Mehrfachsolarzellen.

[<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2016/30-2-prozent-2013-neuer-rekordwert-fuer-siliciumbasierte-mehrfachsolarzelle.html>]. (08.10.2018)

Ingenieur.de. Wie die Schweizer Druckluft in Tunnel am Gotthard als Energiespeicher nutzen.

[<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/wie-schweizer-druckluft-in-tunnel-am-gotthard-energiespeicher-nutzen/>]. (11.10.2018)

Nachhaltigleben.ch. Zürcher Start-up will aus der Luft gefiltertes CO2 im grossen Stil verkaufen.

[<https://www.nachhaltigleben.ch/natur/klimawandel/zuercher-start-up-climeworks-will-co2-im-grossen-stil-verkaufen-4612>]. (09.10.2018)

NZZ.ch. Die grösste Batterie der Schweiz.

[<https://www.nzz.ch/zuerich/aktuell/energiespeicherung-die-groesste-batterie-der-schweiz-id.1310145>]. (11.10.2018)

Pilatus-aircraft.com. Solaranlage – Pilatus wird zum Energieproduzenten.

[<https://www.pilatus-aircraft.com/de/news-events/story/pilatus-becomes-an-energy-producer>]. (02.10.2018)

Photovoltaik-Web.de. Strom & Warmwasser mit einem System erzeugen.

[<https://www.photovoltaik-web.de/photovoltaik/module/sondermodule/hybridmodule-kombimodule-hybrid-kollektor>]. (06.10.2018)

Solaranlage.eu. Funktionsweise der Photovoltaikanlage.

[<https://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/funktionsweise-der-photovoltaikanlage>]. (22.09.2018)

SRF.ch. In Volketswil entsteht die grösste Batterie der Schweiz.

[<https://www.srf.ch/news/regional/zuerich-schaffhausen/in-volketswil-entsteht-die-groesste-batterie-der-schweiz>]. (11.10.2018)

Statista.com. Wirkungsgrade verschiedener Stromspeicher im Jahr 2012.

[<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156269/umfrage/wirkungsgrade-von-ausgewaehlten-stromspeichern/>]. (07.10.2018)

Swissolar.ch. Solaranlagen – Installationsarten.

[<https://www.swissolar.ch/ueber-solarenergie/photovoltaik/solaranlagen-installationsarten/>]. (05.10.2018)

Tesla.com. Powerwall.

[https://www.tesla.com/de_CH/powerwall]. (07.10.2018)

Tesla.com. Solar Roof.

[https://www.tesla.com/de_CH/solarroof]. (08.09.2018)

Teslamag.de. Australien: Tesla hat das größte Batteriespeicher-Projekt der Welt erfolgreich installiert.

[<https://teslamag.de/news/australien-tesla-batteriespeicher-projekt-welt-17038>]. (11.10.2018)

Washingtonpost.com. Tesla's enormous battery in Australia, just weeks old, is already responding to outages in 'record' time.

[<https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2017/12/26/teslas-enormous-battery-in-australia-just-weeks-old-is-already-responding-to-outages-in-record-time>]. (07.10.2018)

Bilder

- Bild 1 Ernstschweizer.ch. Referenzen Photovoltaik-Systeme. Einfamilienhaus, Pfeffingen, Fotografie, 1800 x 1800, Pfeffingen, © Ernst Schweizer AG.
[<https://www.ernstschweizer.ch/de/produkte/referenzen/photovoltaik-systeme.html>]. (05.10.2018)
- Bild 2 Migros.ch. Klimaschutz geht in die nächste Runde, 2010, Fotografie, 512 x 375, Länderpark, © 2010 Migros.
[<https://report.migros.ch/2010/unsere-verantwortung/umweltschutz/energie-und-klima.html>]. (05.10.2018)
- Bild 3 Sir James. Solaranlage auf der Bonner Kennedybrücke über den Rhein, 2011, Fotografie, 3264 x 1960, Bonn.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaikanlage#/media/File:2011-11-08_Bonn_Kennedybruecke_Solarzellen.JPG]. (05.10.2018)
- Bild 4 Komen Jeroen, Photovoltaik-Freiflächen. Freiflächen und Umweltschutz, 2013, Fotografie, 5616 x 3744, Tannheim.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik-Freifl%C3%A4chenanlage#Freifl%C3%A4chen_und_Umweltschutz]. (05.10.2018)
- Bild 5 Dürr René, Photovoltaik erobert die Fassade, 2016, Fotografie, 1200 x 800, Brütten, © René Dürr.
[<https://www.haustech-magazin.ch/artikel/photovoltaik-erobert-die-fassade/>]. (05.10.2018)
- Titelbild 1 Fotowerder.ch, Staumauer Muttsee – Die längste Staumauer der Schweiz. 2016, Fotografie, 2500 x 1425, Muttsee, © Fotowerder.ch.
[<http://fotowerder.ch/staumauer-muttsee-die-laengste-staumauer-der-schweiz/>]. (12.10.2018)
- Titelbild 2 Flüeler Urs. Sonnenenergie auf dem Vormarsch, 2010, Fotografie, 840 x 545, Länderpark, © Urs Flüeler.
[<https://bazonline.ch/schweiz/standard/Die-Sonnenanbeter-von-Payerne/story/27576954>]. (12.10.2018)

Bund

Bundesamt für Energie BFE.

Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Beckenried (BFS-Nr. 1501).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1501.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Buochs (BFS-Nr. 1502).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1502.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Dallenwil (BFS-Nr. 1503).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1503.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Emmetten (BFS-Nr. 1504).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1504.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Ennetbürgen (BFS-Nr. 1505).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1505.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Ennetmoos (BSF-Nr. 1506).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1506.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Hergiswil (BFS-Nr. 1507).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1507.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Oberdorf (BFS-Nr. 1508).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1508.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Stans (BFS-Nr. 1509).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1509.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Stansstad (BFS-Nr. 1510).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1510.pdf]. (15.08.2018)
Sonnendach.ch: Solarpotenzial der Gemeinde Wolfenschiessen (BFS-Nr. 1511).

[https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/ECH_SolarpotGemeinden/pdf/1511.pdf]. (15.08.2018)
Bundesamt für Energie BFE. Kontingente 2018. Einspeisevergütung (KEV) sowie Einmalvergütung für Photovoltaikanlagen.

[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_741979138.pdf]. (12.10.2018)

Bundesamt für Energie BFE. Förderung der Photovoltaik. Faktenblatt.

[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_362883935.pdf]. (12.10.2018)

Bundesamt für Energie BFE. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2017.

[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_893526028.pdf]. (09.09.2018)

Bundesamt für Elektrizität BFE. Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2017.

[www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_481063357.pdf]. (22.09.2018)

Bundesämter für Raumentwicklung, Umwelt, Energie und Landwirtschaft ARE, BAFU, BFE und BLW. Positionspapier freistehende Photovoltaik-Anlagen.

[https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/raumplanung/positionspapier_freistehende-photovoltaik-anlagen.pdf.download.pdf/]. (09.09.2018)

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Energiestrategie 2050.

[<https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html>]. (10.09.2018)

Admin.ch. Leicht sinkende Strompreise 2017 für Haushalte (Letzte Änderung 12.09.2016).

[<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-58616.html>]. (09.09.2018)

E-Mail-Verkehr

Feldmann, Peter (Betriebsleiter Gemeindewerk Beckenried, Gemeindewerk Beckenried) (30.08.2018); E-Mail an Odermatt Lukas.

Stefan, Müller (Leiter Geschäftsbereich Vertrieb und Mitglied der Geschäftsleitung des EWN, Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden) (29.03.2018) PV-Anlagen Im Kanton Nidwalden, Stand 31.12.2017; E-Mail an Odermatt Lukas.

Stefan, Müller (Leiter Geschäftsbereich Vertrieb und Mitglied der Geschäftsleitung des EWN, Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden) (29.03.2018) Stromverbrauch Nidwalden 2017; E-Mail an Odermatt Lukas.

Grafiken

Sunday.ch. Home. Was ist Sunday?.

[<http://sunday.ch/v0926.php>]. (03.10.2018)

Interviews

Sicher, Beat (Eidg. dipl. Elektroinstallateur und Geschäftsführer Odermatt + Sicher AG, Odermatt + Sicher AG Stans) (20.06.2018); Interview mit Odermatt Lukas.

Infanger, Remo (Eidg. dipl. Elektroingenieur, Executive MBA HSG und Direktor des Elektrizitätswerkes Nidwalden, EWN Oberdorf); Interview mit Odermatt Lukas. (29.06.2018)

Vorträge

Sicher, Beat (Eidg. dipl. Elektroinstallateur und Geschäftsführer Odermatt + Sicher AG, Berufsfachschule Stans) (19.04.2018) PV-Anlagen und Batteriespeicher; Vortrag für Interessierte.

Sicher, Beat (Eidg. dipl. Elektroinstallateur und Geschäftsführer Odermatt + Sicher AG, Berufsfachschule Stans) (19.04.2018) PV-Anlagen und Batteriespeicher; Vortrag für Interessierte.

[https://www.haus-energie-nw.ch/wp-content/uploads/2018/04/PV-Anlagen-und-Batteriespeicher_OdermattSicher-AG_Vortrag-2018.pdf]. (12.10.2018)

Wikipedia

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Akkumulatoren. Preisentwicklung.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Akkumulator#Preisentwicklung>]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Atomausstieg. 2011: Schweiz.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Atomausstieg#2011:_Schweiz]. (09.09.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Batterie-Speicherkraftwerke.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Batterie-Speicherkraftwerk>]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Beckenried.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Beckenried>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Biogasanlage.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Biogasanlage>]. (08.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Buochs.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Buochs>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Cadmiumtellurid. Verwendung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Cadmiumtellurid#Verwendung>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. CIGS-Solarzelle.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/CIGS-Solarzelle>]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Dallenwil.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Dallenwil>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Druckluftspeicher.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Druckluftspeicherkraftwerk>]. (08.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Emmetten.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Emmetten>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Ennetbürgen.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Ennetb%C3%BCrgen>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Ennetmoos.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Ennetmoos>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Galliumarsenid. Anwendungsgebiete.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Galliumarsenid#Anwendungsgebiete>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Galvanische Zelle
[https://de.wikipedia.org/wiki/Galvanische_Zelle]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Grätzel-Zelle.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4tzel-Zelle>]. (08.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Hergiswil NW.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Hergiswil_NW]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Kondensator (Elektrotechnik).
[[https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_(Elektrotechnik))]. (10.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Kostendeckende Einspeisevergütung (Schweiz).
[https://de.wikipedia.org/wiki/Kostendeckende_Einspeiseverg%C3%BCtung_%28Schweiz%29]. (12.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Limnologie.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Limnologie>]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Liste von Pumpspeicherkraftwerken. Schweiz.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Pumpspeicherkraftwerken#Schweiz]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Lithium-Ionen-Akkumulator.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Nachführung (Solartechnik).
[[https://de.wikipedia.org/wiki/Nachf%C3%BChrung_\(Solartechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Nachf%C3%BChrung_(Solartechnik))]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Methanisierung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Methanisierung>]. (09.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Nuklearkatastrophe von Fukushima.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Fukushima]. (09.09.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Oberdorf NW.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Oberdorf_NW]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Parallelschaltung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Parallelschaltung>]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaik.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik>]. (09.09.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaik. Absatzentwicklung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik#Absatzentwicklung>]. (08.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaik. Wirkungsgrad.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik#Wirkungsgrad>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaikanlage. Formen.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaikanlage#Formen>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Photovoltaikanlage. Verschmutzung und Reinigung.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaikanlage#/media/File:2011-11-08_Bonn_Kennedybruecke_Solarzellen.JPG]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Power-to-Gas.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas>]- (09.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Pumpspeicherkraftwerk.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk>]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Pumpspeicherkraftwerk Taum Sauk.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk_Taum_Sauk]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Reihenschaltung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Reihenschaltung>]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Ruthenium.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Ruthenium>]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Schwarzstart.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzstart>]. (07.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Schwungradspeicherung.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwungradspeicherung>]. (10.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarmodul. Recycling.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul#Recycling>]. (08.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Dünnschichtzellen.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#D%C3%BCnnschichtzellen>]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Elektrochemische Farbstoff-Solarzelle.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Elektrochemische_Farbstoff-Solarzelle].
(06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Mehrfachsolarzelle.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Mehrfachsolarzellen>]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Organische Solarzellen.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Organische_Solarzellen]. (06.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Perowskit-Solarzellen
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Perowskit-Solarzellen>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Solarzellen aus speziellen Siliciumstrukturen.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Solarzellen_aus_speziellen_Siliciumstrukturen].
(05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Skaleneffekt.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Skaleneffekt>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solarzelle. Umweltschutz.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Umweltschutz>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solartechnik.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solartechnik>]. (09.09.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Solartracker.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Solartracker>]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Sprungtemperatur.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Sprungtemperatur>]. (10.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Stans.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Stans>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Stansstad.
[<https://de.wikipedia.org/wiki/Stansstad>]. (03.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Stromerzeugung. Bruttostromerzeugung nach Energieträger in Deutschland.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Stromerzeugung#Bruttostromerzeugung_nach_Energietr%C3%A4gern_in_Deutschland]. (05.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Superkondensator.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Superkondensator>]. (10.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Supraleiter.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleiter>]. (10.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Supraleitender Magnetischer Energiespeicher.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleitender_Magnetischer_Energiespeicher]. (10.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Wasserelektrolyse.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserelektrolyse>]. (09.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Wasserstoffspeicherung.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffspeicherung>]. (09.10.2018)

Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Wolfenschiessen.

[<https://de.wikipedia.org/wiki/Wolfenschiessen>]. (03.10.2018)

Anhang

Interviews

Die Audiodateien habe ich meinem Mentor zur Verfügung gestellt.

Fragen

Interviewfragen zu Maturaarbeit

Photovoltaik

- Wo sehen Sie Photovoltaik in der Zukunft?
- Welchen Effekt wird diese Technologie auf die Art und Weise, wie wir Energie produzieren, haben?
- Was halten Sie von PV-Anlagen an Fassaden?
- Wie kann eine Photovoltaik-Anlage (effizient) in ein Haus integriert werden?

Batterie-/Stromspeicher

- Was denken Sie generell über Batteriespeicher?
- Was erachten Sie als sinnvoller: Zentrale oder dezentrale Batterie-/Stromspeicher?
- Wie sinnvoll ist es, Energie in Batterien zu speichern?
- Gibt es andere Speichertechniken, welche Sie als passend(er) erachten?
- In welcher Rolle sehen Sie die lokalen Energiedienstleister beim Thema Stromspeicher?

Politische Lage/Förderung

- Wie wird Photovoltaik zurzeit gefördert?
- Als wie sinnvoll erachten Sie die Momentane Förderpolitik?
- Haben Sie Verbesserungsvorschläge zum Thema Förderung von Photovoltaik?
- Wie kann man aus Ihrer Sicht die Förderung verbessern, damit es attraktiver wird, eine PV-Anlage zu installieren?

Interview mit Herrn Sicher, Odermatt + Sicher AG Stans (20.06.2018)

Ausschnitt (03:31-04:36) bezüglich der PV-Anlagen an Fassaden, Ertrag

„[...] Das ist etwas, was man noch nicht so häufig sieht. Das hat mit dem zu tun, dass es ein wenig hinterherhinkt, also die ganze Modulgestaltung, welche jetzt viel flexibler ist als am Anfang, als es eigentlich nur [...] Standardmodule gegeben hat. Das ist heute natürlich nicht mehr so. Also heute kann ich, bin ich da freier und kann auch Blindmodule haben, passend zu den andern, um so irgendwelche Gegebenheiten in der Fassade aufzufangen. Also ich sehe ein grosses Potenzial bei Fassadenanlagen, obwohl dort der Ertrag natürlich ein wenig [...] weniger ist, als wenn ich sie optimal ausgerichtet habe, aber nichts desto trotz macht das Sinn. [...]“

Ausschnitt (05:57-06:50) bezüglich Blindmodule

„[...] Ja, das sind Module; oder es gibt natürlich dann solche Sachzwänge bei Fassaden, wenn ich an ein Fenster hinkomme, oder so, [...] ich kann ja nicht so ein [Standard Photovoltaik-]Modul zersägen. Dann gibt es Blindmodule, welchen optisch gleich aussehen, wie ein richtiges Modul, und diese kann ich einfach bearbeiten und diesen nennt man Blindmodule. Also mit diesen kann ich dann irgendeine Ecken anpassen oder irgendetwas, so dass letzten Endes die ganze Fassade aussieht, als ob sie zu Einhundert Prozent mit Modulen bestückt ist. In Tat und Wahrheit hat es zwangsläufig ein paar Blindmodule darin. [...] Das ist rein, damit die Fassade durchgezogen werden kann, von A bis Z. Die produzieren keine Energie. Aber das sind dann natürlich die kleineren Teile in einer ganzen Fassade, das ist klar. [...]“

Ausschnitt (06:56-08:44) bezüglich der Mehrkosten bei einer Aufrüstung eines Daches mit Photovoltaikanlagen

„[...] Vom baulicher Seite gesehen, geht es nie besser und kostengünstiger als wenn ich es dann mache, wenn das Objekt erstellt wird. Das hängt vor allem mit dem zusammen, dass die kleinen Photovoltaikanlagen, ich sage jetzt kleiner als 20kW Peak Leistung, wenn ich die auf ein bestehendes Objekt aufbaue, habe ich zwangsläufig relativ hohe Grundfixkosten. Also, dass ich überhaupt auf dem Dach arbeiten kann: Ich muss Suva-konforme Absturzsicherungen haben, ich muss Dachzugang haben, sei das ein Treppenturm oder ein Gerüst oder Ähnliches. Und je nach Objekt, nur damit ich das machen kann, um dort oben zu arbeiten zu können, habe ich mit Sicherheit Auslagen von mehreren tausend Franken.

Wenn ein Objekt jedoch neu gebaut wird, gibt es eine Phase, in welcher das Objekt so oder so eingerüstet ist, wegen dem Dach und der Fassade, wegen der Gebäudehülle und so weiter, dann fallen diese Kosten nicht explizit wegen einer Photovoltaikanlage an. Bei kleinen Anlagen, wie gesagt, fällt dies sehr stark ins Gewicht. Wenn man den kW-Peak Preis, welcher immer mal wieder

herumgereicht wird, ist er im Verhältnis zu einer 50- oder 100kW-Anlage vergleichsweise hoch aus diesen Grundfixkosten heraus. Das zum Thema Effizienz, wie gesagt, wenn ich die Anlage so bauen kann, wie gesagt auf einem Neubau, dann kann ich diese mit Sicherheit viel effizienter bauen als wenn ich sie auf ein bestehendes Objekt aufbaue oder nachrüste. [...]"

Ausschnitt (08:59-11:25) bezüglich Batteriespeicher

„[...] Grundsätzlich finde ich es eine gute Sache, Batteriespeicher. Wir haben insgesamt jetzt etwa 15 bis 20 [PV-]Anlagen gemacht, aber von diesen 15 bis 20 sind nur zwei mit einem Batteriespeicher besetzt. [...] Wenn man diese anschaut, muss man sagen: Es ist grundsätzlich eine gute Sache, wenn man sich vor Augen hält, dass ich mit dem vor allem möchte die Eigenverbrauchsquote erhöhen, oder? Beide [PV-]Anlagen haben eine Eigenverbrauchsquote, die über 65%/70% liegt. Das ist relativ viel bei einem Einfamilienhaus. Sonst ohne Stromspeicher, wäre diese Eigenverbrauchsquote etwa bei maximal 30%. Ich kann eigentlich jetzt in diesem Beispiel: An diesen zwei Objekten, die da in Stans [...] sind, sieht man, ich kann den Eigenverbrauchsanteil gut und gerne verdoppeln. Es ist klar: Der Speicher muss richtig ausgelegt sein, also richtig dimensioniert. Es nützt nichts, wenn er viel zu gross ist oder ebenso, wenn er viel zu klein ist. Wenn er etwa abgestimmt ist auf die [PV-]Anlage und auf den Verbrauch von diesem [...] Standort, dann macht es durchaus Sinn. [...] Der Rest [Elektrizität] geht dann einfach ins Netz, [...]"

Ausschnitt (24:15-24:38) bezüglich Fussnote 113

„[...] Er [Betreiber einer Anlage <100 kW] bekommt jedoch nachher nichts mehr für die Energie, von er überschüssige hat und ins Netz einspeist. Nichts mehr bekommen ist nicht ganz korrekt, er bekommt lediglich das, was der Netzbetreiber ihm aus gesetzlichen Gründen zahlen muss. Also das ist eigentlich der Grosshandelspreis. Er bekommt nichts für den ökologischen Mehrwert dieser Energie. [...]"

Ausschnitt (24:48-25:48) bezüglich des Abschaffens der Förderung (PV)

Aus dem Gesichtspunkt heraus gesehen, dass diese KEV abgelöst wird, diese Phase läuft bereits, und dass wir auf diese EIV bzw. KLEIV oder GREIF gegangen sind, ist ein Hinweis auf das, dass man von dieser Förderpolitik wegkommt, grundsätzlich. Und das ist auch richtig, denn der Preis des Photovoltaikstromes war vor einigen Jahren, im Vergleich zum Netzstrom war, auf astronomischer Höhe gewesen. Aber heute ist es schon länger möglich, eine PV-Anlage zu bauen, die über ihre Betriebsdauer hinweggesehen, sprich 20, 25 Jahre, Energie zu marktüblichen Preisen produzieren kann. Also ist es nicht mehr nötig diese zu fördern. Zumindest nicht im Gleichen Umfang, wie wir vor Jahren gestartet haben. [...]"

Ausschnitt (26:04-28:14) bezüglich Verbesserungsvorschläge (Eigenverbrauchsgemeinschaft)

„[...] Förderung in dem Sinne, dass ich einfach entschädigt werde, für eingespeiste Energie, müssen wir wegkommen und kommen wir auch weg. Einen Verbesserungsvorschlag sähe ich allenfalls dort mit der Energiestrategie 2050, von der dieses Jahr ein Teil in Kraft getreten ist. Dort ist es möglich, dass Energie, die ich bei mir produziere, auf meiner Nachbarparzelle, wenn ich mit denen einig werde, oder auf meiner Parzelle mehrere Energiebezüger habe, kann ich mit diesen zusammen eine sogenannte ‚Eigenverbrauchsgemeinschaft‘ bilden. Das ist jetzt noch beschränkt auf alle angrenzenden Parzellen und das ist schade. Denn ich weiss von Fällen, insbesondere grössere Photovoltaikanlagen, bei welchen sie Lösungen suchen, wie sie die Energie jetzt auch an andere verkaufen könne, die nicht gleich angrenzend sind zu ihrer Parzelle und ich gehe davon aus, dass dort in absehbarer Zeit eine politische Lösung gefunden wird, weil das ist zwingend und das brauchen wir in Zukunft. Es kann ja nicht sein, dass beispielsweise das Projekt in Stansstad auf der Autobahn oben, das sind irgendwie 800 kW-peak, der Strom braucht dort niemand auf der Autobahn. Sie müssen den Strom an beispielsweise der Schulgemeinde oder der politischen Gemeinde oder weiss ich wem, oder einem industriellen oder der Zentralbahn verkaufen können. Aber dafür müssen wir gesetzlich so weit sein, dass sie die Energie über das öffentliche Netz zu den jeweiligen Bezüger[/Abnehmer] dürfen laufen lassen. Und das ist eigentlich auch etwas, was ich jetzt als Verbesserungsvorschlag zum Thema Förderung anschau, in dem ich danach gar keine Förderung mehr brauche. Weil wenn ich Abnehmer für meine Energie habe und diese auch noch bereit sind einen ökologischen Mehrwert zu zahlen, 2 oder 3 Rappen mehr, braucht es keine Förderung mehr. Aber im Moment ist das alles noch ein wenig eingeschränkt, denn wie gesagt, ich darf nicht über öffentlichen Grund und Boden gehen. [...]“

Ausschnitt (29:39-30:14) bezüglich Grossanlagen >500 kW

„[...] Sämtliche Anlagen über 500 kW-peak, und eben, diese da unten ist auch so eine auf dem Autobahndach, Diese müssen ab 2022 [...] fliegen die aus den Förderungsprogrammen heraus, sofern sie in einem KEV-Programm sind und müssen in die Selbstvermarktung. Also diese grossen Anlagen in dieser Liga haben bereits den Druck, dass sie das machen müssen und werden auch nicht mehr gefördert. [...]“

Interview mit Herrn Infanger, Direktor EWN, Oberdorf (29.06.2018)

Ausschnitt (09:25-10:04) bezüglich Pumpspeicherkraftwerke

„[...] Ganz einfach: Das Wasserkraftwerk mit einem Stausee. Das ist die effizienteste und ökologischste Speichervariante, die man sich vorstellen kann. In dem man potenzielle Energie

irgendwo zwischenlagert und dann genau dann abrufen, wenn es nötig ist. Allerdings leidet dort, oder hat gelitten, die Wirtschaftlichkeit zum Teil stark und andererseits ist es sehr schwer, diese Speicher auszubauen, wie verschiedene Projekte zeigen, die einfach stark verzögert oder sogar verhindert wurden, aus ökologischen Gründen. [...]"

Ausschnitt (15:41-17:16) bezüglich Förderpolitik

„[...] Ich persönlich bin nicht begeistert von; wenn man von Förderpolitik spricht, dann spricht man immer von Geldentschädigungen, subventionieren in dem Sinn. Und ich bin grundsätzlich nicht begeistert von solchen Subventionssystemen, weil es letzten Endes eine Marktverzerrung in den Preisen gibt, bei welchen die Wasserkraft, jetzt in der letzten Zeit, stark unter Druck geraten ist. Eine durchaus sinnvolle, oder sogar wertvolle Energiequelle, die nicht mehr rentiert hat und es zum Teil jetzt noch schwer hat und auch Subventionen braucht. Also man greift in ein Marktgefüge ein und das gibt dann plötzlich ganz verschobene Mechanismen und man weiss nicht mehr so richtig, wo man jetzt noch etwas an einer kleinen Schraube drehen muss, dass es an einem anderen Ort nicht auch schlecht herauskommt. Und darum überlässt man das lieber dem Markt. Es wird halt die Energiequelle ausgebaut, die die wirtschaftlichste ist. Klar, wenn man sagt, dass die Atomkraft abgestellt werden muss, dann ist das eine gesetzliche Rahmenbedingung. Das heisst jedoch nicht, dass man andere Energiesysteme fördern muss. Man stellt dann fest, dass es zu wenig Energie hat, wodurch die Preise steigen. Und durch steigende Preisen werden dann auch solche, eher teurere Produktionsmechanismen von der Form her wirtschaftlich. [...]"

Tabelle des EWN und von Gemeindewerk Beckenried zu PV-Anlagen

Die Nachfolgende Tabelle ist die originale Tabelle, welche ich vom EWN per E-Mail zugesendet bekommen habe.

Tabelle 4: Tabelle des EWN

PV-Anlagen im Kanton Nidwalden, Stand 31.12.2017

PV-Anlagen	Leistung kW	Q.1 kWh	Q.2 kWh	Q.3 kWh	Q.4 kWh	Total 2017 kWh
PVA, 6374 Buochs	22.8	3'311	8'740	5'259	3'155	20'465
PVA, 6374 Buochs	60.0	11'529	27'047	22'296	9'267	70'139
PVA, 6374 Buochs	111.0	18'813	52'251	43'060	14'199	128'323
PVA, 6374 Buochs	64.0	14'532	32'427	28'627	10'355	85'941
PVA, 6374 Buochs	52.0	1'491	5'494	4'235	898	12'119
PVA, 6374 Buochs	41.4	5'610	15'423	12'634	4'126	37'793
PVA, 6374 Buochs	270.0	29'413	102'048	74'900	19'357	225'718
PVA, 6374 Buochs	5.5	779	2'306	2'020	586	5'691
PVA, 6374 Buochs	26.0	1'084	3'501	2'624	652	7'861
PVA, 6374 Buochs	14.5	737	3'568	2'749	457	7'511
PVA, 6374 Buochs	10.0	1'545	4'209	3'462	1'104	10'320
PVA, 6374 Buochs	15.0	1'217	4'173	3'502	828	9'720
PVA, 6374 Buochs	20.0	416	2'118	2'105	516	5'155
PVA, 6374 Buochs	10.0	1'248	3'311	2'696	804	8'059
PVA, 6374 Buochs	3.0	309	845	667	200	2'021
PVA, 6374 Buochs	29.0	1'812	8'367	6'681	1'335	18'195
PVA, 6374 Buochs	27.6	3'968	8'423	7'167	2'461	22'019
PVA, 6374 Buochs	1.6	156	481	409	101	1'147
PVA, 6374 Buochs	12.0	1'231	3'753	2'916	833	8'733
PVA, 6374 Buochs	20.0	1'446	5'513	4'305	679	11'943
PVA, 6374 Buochs	15.0	1'399	3'959	3'143	683	9'184
PVA, 6374 Buochs	20.0	0	0	0	311	311
PVA, 6383 Dallenwil	29.9	5'216	11'782	10'015	4'180	31'193
PVA, 6383 Dallenwil	60.0	5'155	17'313	18'920	5'878	47'266
PVA, 6383 Dallenwil	27.0	1'632	5'702	4'365	836	12'535
PVA, 6383 Dallenwil	5.5	373	1'468	1'305	369	3'515
PVA, 6383 Dallenwil	30.0	2'315	7'727	5'731	1'155	16'928
PVA, 6383 Dallenwil	11.8	654	2'889	2'399	429	6'371
PVA, 6383 Dallenwil	13.0	1'287	4'248	3'745	837	10'117
PVA, 6383 Dallenwil	12.8	894	3'157	2'249	413	6'713
PVA, 6383 Dallenwil	9.2	662	2'764	2'434	446	6'306
PVA, 6383 Dallenwil	8.0	194	895	699	218	2'006
PVA, 6383 Wirzweli	11.1	605	3'063	2'784	560	7'012
PVA, 6383 Wirzweli	25.0	2'460	9'386	7'517	1'835	21'198
PVA, 6383 Wirzweli	8.1	0	0	0	211	211
PVA, 6383 Wiesenberg	1.7	416	671	366	320	1'773

PVA, 6383 Wiesenberg	23.5	6'038	9'548	8'110	4'586	28'282
PVA, 6376 Emmetten	2.8	797	2'488	1'853	368	5'506
PVA, 6376 Emmetten	10.0	706	2'852	2'236	312	6'106
PVA, 6376 Emmetten	9.3	978	2'898	2'311	514	6'701
PVA, 6376 Emmetten	5.0	725	1'675	1'314	317	4'031
PVA, 6376 Emmetten	10.0	733	2'401	1'391	101	4'626
PVA, 6376 Emmetten	7.8	189	1'445	1'064	38	2'736
PVA, 6376 Emmetten	10.0	1'383	3'895	3'445	998	9'721
PVA, 6376 Emmetten	15.0	1'641	4'835	3'719	921	11'116
PVA, 6376 Emmetten	23.0	527	7'961	5'928	1'005	15'421
PVA, 6373 Ennetbürgen	1.4	1'440	2'892	2'445	1'162	7'939
PVA, 6373 Ennetbürgen	14.0	2'229	5'521	4'565	1'738	14'053
PVA, 6373 Ennetbürgen	20.0	5'043	9'504	7'997	3'986	26'530
PVA, 6373 Ennetbürgen	29.0	5'671	12'073	9'685	4'404	31'833
PVA, 6373 Ennetbürgen	9.4	1'548	3'588	3'044	1'251	9'431
PVA, 6373 Ennetbürgen	9.9	1'807	4'105	3'472	1'407	10'791
PVA, 6373 Ennetbürgen	24.0	3'108	10'183	8'051	2'653	23'995
PVA, 6373 Ennetbürgen	20.0	0	6	3	0	9
PVA, 6373 Ennetbürgen	29.7	211	1'367	1'902	217	3'697
PVA, 6373 Ennetbürgen	27.6	0	377	859	87	1'323
PVA, 6373 Ennetbürgen	40.0	7'317	13'571	13'496	5'994	40'378
PVA, 6373 Ennetbürgen	9.8	289	2'206	1'301	293	4'089
PVA, 6373 Ennetbürgen	10.0	102	407	312	72	893
PVA, 6373 Ennetbürgen	15.2	2'924	6'538	5'414	2'247	17'123
PVA, 6373 Ennetbürgen	8.3	742	2'313	1'875	530	5'460
PVA, 6373 Ennetbürgen	30.0	5'187	10'633	9'283	3'709	28'812
PVA, 6373 Ennetbürgen	22.0	2'837	7'779	6'250	1'918	18'784
PVA, 6373 Ennetbürgen	29.1	5'448	8'238	7'723	4'576	25'985
PVA, 6373 Ennetbürgen	15.0	1'488	5'175	4'058	900	11'621
PVA, 6373 Ennetbürgen	19.0	2'214	7'189	5'979	1'612	16'994
PVA, 6373 Ennetbürgen	5.0	611	1'515	1'198	441	3'765
PVA, 6373 Ennetbürgen	10.0	1'434	3'467	2'866	1'007	8'774
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	4'712	3'558	1'012	9'282
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	4'105	3'800	1'018	8'923
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	3'292	3'420	912	7'624
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	1'068	3'831	1'129	6'028
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	66	908	547	1'521
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	0	0	239	239
PVA, 6373 Ennetbürgen	12.5	0	0	0	34	34
PVA, 6373 Ennetbürgen	9.0	0	0	0	31	31
PVA, 6372 Ennetmoos	9.7	1'660	4'152	3'382	1'173	10'367
PVA, 6372 Ennetmoos	1.8	153	376	304	124	957
PVA, 6372 Ennetmoos	30.0	6'130	14'310	12'266	4'315	37'021
PVA, 6372 Ennetmoos	15.4	3'903	9'653	8'056	2'696	24'308
PVA, 6372 Ennetmoos	9.7	293	663	925	378	2'259

PVA, 6372 Ennetmoos	95.0	19'596	56'503	46'612	13'410	136'121
PVA, 6372 Ennetmoos	74.0	13'532	32'522	27'684	10'741	84'479
PVA, 6372 Ennetmoos	45.3	5'613	15'626	10'784	3'104	35'128
PVA, 6372 Ennetmoos	180.0	12'763	34'995	28'220	9'370	85'348
PVA, 6372 Ennetmoos	11.5	1'262	3'489	2'877	864	8'492
PVA, 6372 Ennetmoos	8.3	961	2'165	1'759	732	5'617
PVA, 6372 Ennetmoos	30.0	3'433	7'054	6'354	1'845	18'686
PVA, 6372 Ennetmoos	20.0	3'521	8'957	7'257	2'887	22'622
PVA, 6372 Ennetmoos	17.2	1'498	5'665	5'035	1'084	13'282
PVA, 6372 Ennetmoos	27.6	384	1'792	766	14	2'956
PVA, 6372 Ennetmoos	15.0	2'274	5'727	4'700	1'631	14'332
PVA, 6372 Ennetmoos	10.0	707	2'330	1'884	477	5'398
PVA, 6372 Ennetmoos	20.0	3'384	8'607	7'006	2'721	21'718
PVA, 6372 Ennetmoos	30.0	2'222	9'182	6'971	550	18'925
PVA, 6372 Ennetmoos	13.6	0	1'755	3'494	1'111	6'360
PVA, 6052 Hergiswil	7.4	687	1'508	1'283	663	4'141
PVA, 6052 Hergiswil	9.5	1'820	3'936	3'326	1'508	10'590
PVA, 6052 Hergiswil	7.2	1'203	2'665	2'243	957	7'068
PVA, 6052 Hergiswil	11.3	881	2'834	2'253	693	6'661
PVA, 6052 Hergiswil	7.0	604	1'900	1'631	525	4'660
PVA, 6052 Hergiswil	5.5	459	1'402	1'123	321	3'305
PVA, 6052 Hergiswil	8.5	911	2'515	2'032	632	6'090
PVA, 6052 Hergiswil	2.8	326	890	750	268	2'234
PVA, 6052 Hergiswil	29.6	2'650	7'998	5'909	1'638	18'195
PVA, 6052 Hergiswil	18.7	1'437	5'881	4'283	768	12'369
PVA, 6370 Oberdorf	106.0	10'456	37'308	29'361	8'736	85'861
PVA, 6370 Oberdorf	163.0	25'355	76'659	61'885	20'079	183'977
PVA, 6370 Oberdorf	30.0	133	1'681	1'417	332	3'563
PVA, 6370 Oberdorf	35.0	7'120	33'802	20'408	4'796	66'126
PVA, 6370 Oberdorf	82.5	0	0	5'326	1'460	6'786
PVA, 6370 Oberdorf	7.0	610	1'987	1'496	375	4'468
PVA, 6370 Oberdorf	8.0	368	1'191	820	214	2'593
PVA, 6370 Oberdorf	7.8	0	2'500	1'032	141	3'673
PVA, 6370 Oberdorf	7.2	725	2'093	1'678	523	5'019
PVA, 6383 Niederickenbach	20.0	506	1'242	1'205	344	3'297
PVA, 6382 Büren	4.5	788	1'886	1'588	695	4'957
PVA, 6382 Büren	73.3	6'609	19'963	16'132	5'365	48'069
PVA, 6382 Büren	12.3	1'518	3'617	3'023	1'276	9'434
PVA, 6382 Büren	12.0	1'537	4'220	3'366	1'153	10'276
PVA, 6382 Büren	6.8	793	1'402	1'576	551	4'322
PVA, 6382 Büren	7.0	671	1'861	1'492	410	4'434
PVA, 6382 Büren	5.6	563	1'355	1'185	482	3'585
PVA, 6370 Stans	5.2	665	1'798	1'454	537	4'454
PVA, 6370 Stans	2.0	798	2'221	1'816	537	5'372
PVA, 6370 Stans	9.2	1'549	3'365	3'062	1'118	9'094

PVA, 6370 Stans	12.3	1'666	4'722	4'095	1'002	11'485
PVA, 6370 Stans	30.0	5'226	12'640	10'276	3'934	32'076
PVA, 6370 Stans	14.0	1'626	3'066	2'632	1'303	8'627
PVA, 6370 Stans	567.0	83'439	237'335	200'012	69'183	589'969
PVA, 6370 Stans	156.0	21'750	63'687	53'599	17'616	156'652
PVA, 6370 Stans	32.0	8'611	24'526	21'066	7'358	61'560
PVA, 6370 Stans	1'136.2	14'040	38'416	41'630	132'603	226'689
PVA, 6370 Stans	25.4	383	56	1	0	440
PVA, 6370 Stans	3.8	446	1'197	935	327	2'905
PVA, 6370 Stans	4.6	543	1'335	1'004	339	3'221
PVA, 6370 Stans	3.8	447	1'142	932	324	2'845
PVA, 6370 Stans	6.5	592	1'939	1'585	385	4'501
PVA, 6370 Stans	8.8	822	2'305	1'978	615	5'720
PVA, 6370 Stans	30.0	5'843	11'751	9'807	3'997	31'398
PVA, 6370 Stans	28.6	3'429	8'033	7'207	2'222	20'891
PVA, 6370 Stans	9.0	803	2'798	2'180	524	6'305
PVA, 6370 Stans	8.0	711	2'182	1'568	333	4'794
PVA, 6370 Stans	29.0	1'371	4'116	3'027	780	9'294
PVA, 6370 Stans	6.0	455	1'586	1'237	295	3'573
PVA, 6370 Stans	6.0	703	1'841	1'414	513	4'471
PVA, 6370 Stans	10.0	1'733	4'008	3'284	1'226	10'251
PVA, 6370 Stans	23.1	255	2'283	1'197	249	3'984
PVA, 6370 Stans	14.8	1'297	4'473	3'514	804	10'088
PVA, 6370 Stans	8.2	1'601	3'259	2'712	1'123	8'695
PVA, 6370 Stans	24.2	3'699	9'632	8'112	2'950	24'393
PVA, 6370 Stans	11.3	0	1	13'562	684	14'247
PVA, 6370 Stans	8.1	755	1'948	1'641	440	4'784
PVA, 6370 Stans	7.0	182	963	436	71	1'652
PVA, 6370 Stans	7.0	242	1'243	850	135	2'470
PVA, 6370 Stans	24.0	793	3'567	2'065	104	6'529
PVA, 6370 Stans	29.7	0	3'634	3'539	802	7'975
PVA, 6370 Stans	6.0	0	0	0	5	5
PVA, 6370 Stans	10.2	0	0	0	105	105
PVA, 6370 Stans	1.4	0	3	30	0	33
PVA, 6362 Stansstad	30.0	4'416	9'278	7'565	3'104	24'363
PVA, 6362 Stansstad	850.0	1'458	3'092	4'001	76'982.4	85'533
PVA, 6362 Stansstad	29.9	1'850	7'166	5'512	1'088	15'616
PVA, 6362 Stansstad	7.7	212	1'510	1'047	106	2'875
PVA, 6363 Fürigen	8.0	485	1'895	1'504	242	4'126
PVA, 6363 Fürigen	12.0	0	1'568	4'019	885	6'472
PVA, 6363 Obbürgen	22.0	5'022	9'111	7'983	3'689	25'805
PVA, 6363 Obbürgen	6.0	312	1'297	1'047	161	2'817
PVA, 6365 Kehrsiten	8.0	701	1'856	1'579	410	4'546
PVA, 6386 Wolfenschiessen	27.5	6'296	10'171	9'220	4'486	30'173
PVA, 6386 Wolfenschiessen	6.7	475	1'677	1'371	287	3'810

PVA, 6386 Wolfenschiessen	8.0	471	1'681	1'395	387	3'934
PVA, 6386 Wolfenschiessen	6.0	433	905	392	110	1'840
PVA, 6386 Wolfenschiessen	7.5	744	2'077	1'726	532	5'079
PVA, 6386 Wolfenschiessen	1.9	92	388	332	38	850
PVA, 6386 Wolfenschiessen	9.0	945	2'489	2'016	723	6'173
PVA, 6386 Wolfenschiessen	14.0	1'230	3'644	3'156	951	8'981
PVA, 6387 Oberrickenbach	2.9	210	279	250	125	864
PVA, 6387 Oberrickenbach	3.7	0	0	0	314	314
PVA, 6388 Altzellen	7.5	432	1'136	952	263	2'783
PVA, 6388 Grafenort	10.0	0	372	846	196	1'414
PVA, 6388 Grafenort	2.6	382	422	107	105	1'016

E-Mail 1: Gemeindewerk Beckenried mit Daten der verbauten PV-Anlagen in der Gemeinde Beckenried

Peter Feldmann <p.feldmann@gw.beckenried.ch>
To: Grischu <lukas.haechlisberg@gmail.com>

Thu, Aug 30, 2018 at 8:22 AM

Guten Morgen Herr Odermatt

In unserem Verteilnetz (Gemeinde Beckenried) sind insgesamt 11 Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von **171 kW** installiert.

Die Anlagen produzierten im Jahr 2017 Total **162'000 kWh** Strom.

Für weitere Fragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüsse aus Beckenried

Gemeindewerk Beckenried

Peter Feldmann, Betriebsleiter



041 624 47 49, 079 654 43 93

p.feldmann@gw.beckenried.ch

www.gemeindewerk-beckenried.ch

E-Mail 2: Das EWN bezüglich des Stromverbrauches im Kanton Nidwalden im Jahr 2017

Gmail - Stromverbrauch Nidwalden 2017

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=91009dab7b&view=pt&search=a...>



Grischu <lukas.haechlisberg@gmail.com>

Stromverbrauch Nidwalden 2017

2 messages

Müller Stefan <S.Mueller@ewn.ch>

Tue, Aug 28, 2018 at 8:08 AM

To: Grischu <lukas.haechlisberg@gmail.com>

Cc: Schoch Sonja <S.Schoch@ewn.ch>

Guten Tag Herr Odermatt

Im Kalenderjahr 2017 wurde im Kanton NW ca. 252 GWh Energie an Endkunden verkauft (ca. 270 GWh mit Beckenried).

Für weitere Angaben stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüsse

Stefan Müller

Leiter Geschäftsbereich Vertrieb

Mitglied der Geschäftsleitung

Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden

[Wilgasse 3, Oberdorf](#)

Postfach

6371 Stans

Telefon d: +41 (0) 41 618 02 35

Natel: +41 (0) 76 425 02 35

Fax: +41 (0) 41 618 02 99

Mail: s.mueller@ewn.ch

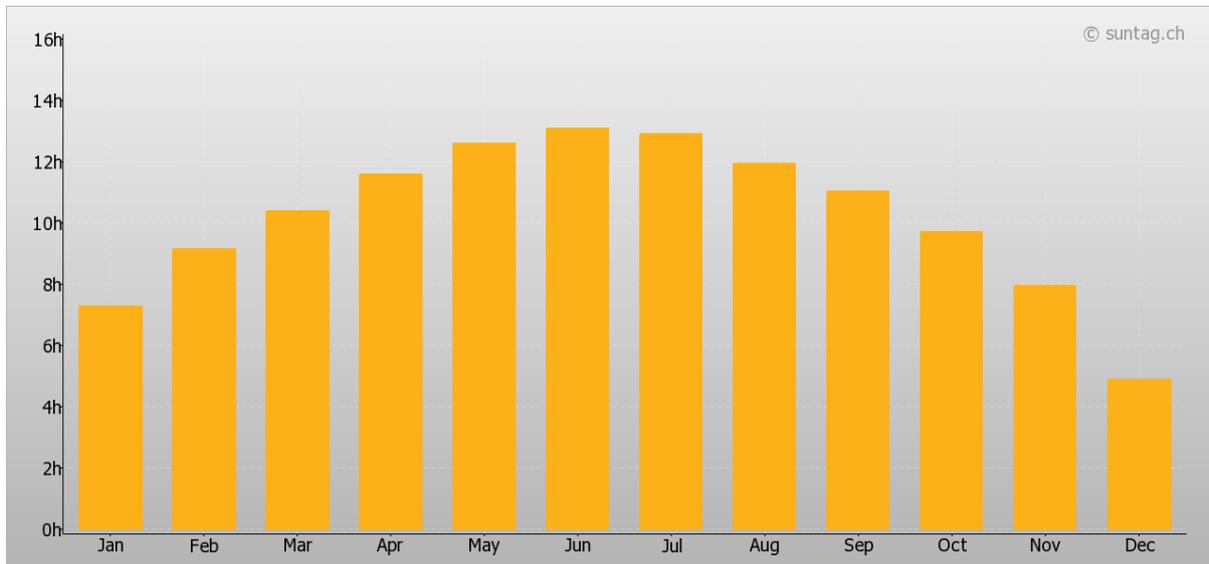
Internet: www.ewn.ch

Der Inhalt dieser Nachricht ist vertraulich und ausschliesslich für den/die beabsichtigten Empfänger bestimmt. Sollten Sie diese Nachricht irrtümlicherweise erhalten haben, bitten wir Sie, den Absender zu informieren und die Nachricht vollständig zu löschen.
Besten Dank!

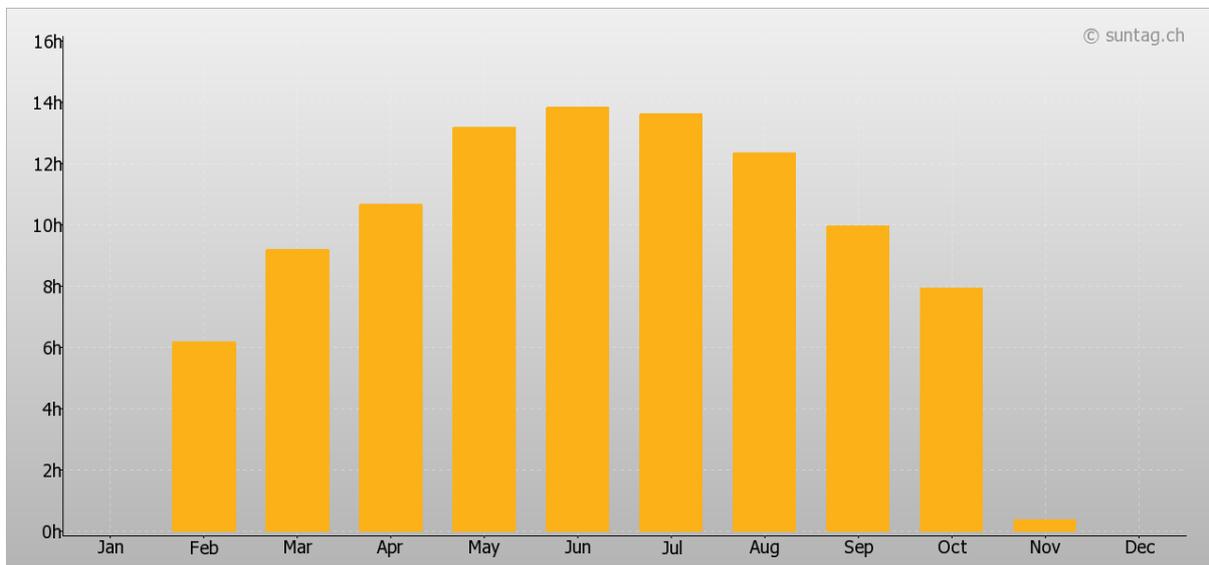
Durchschnittliche Sonnenscheindauer

Die gelben Balken widerspiegeln die durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Tag in den jeweiligen Monaten (Ohne Einbezug des Wetters). Die Grafiken stammen von Sonntag.ch.

Grafik 1: Ennetbürgen



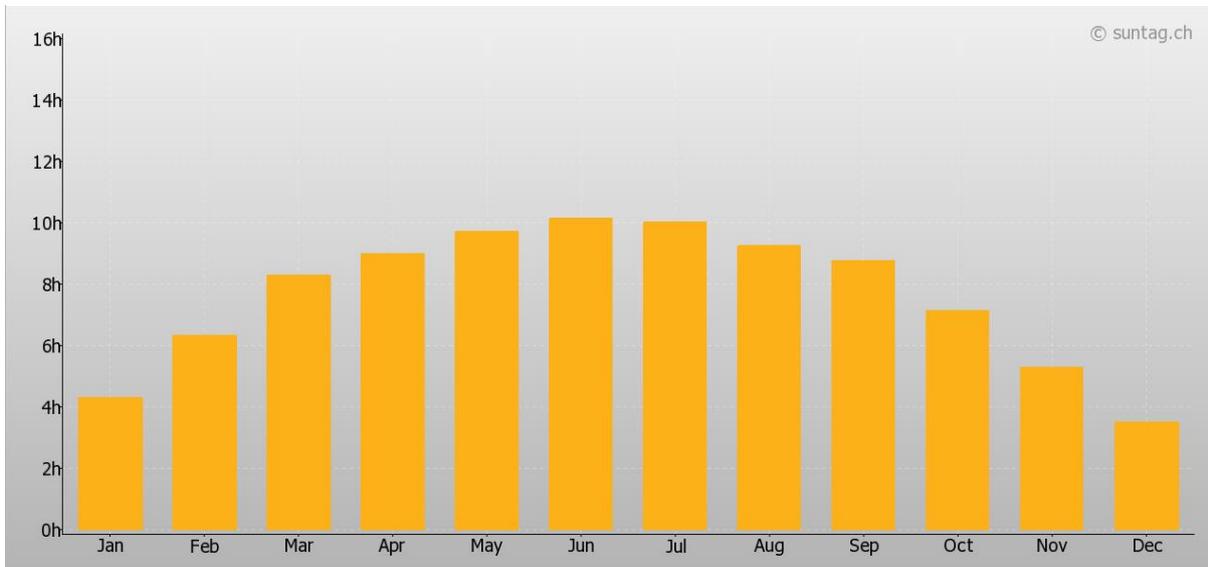
Grafik 2: Hergiswil



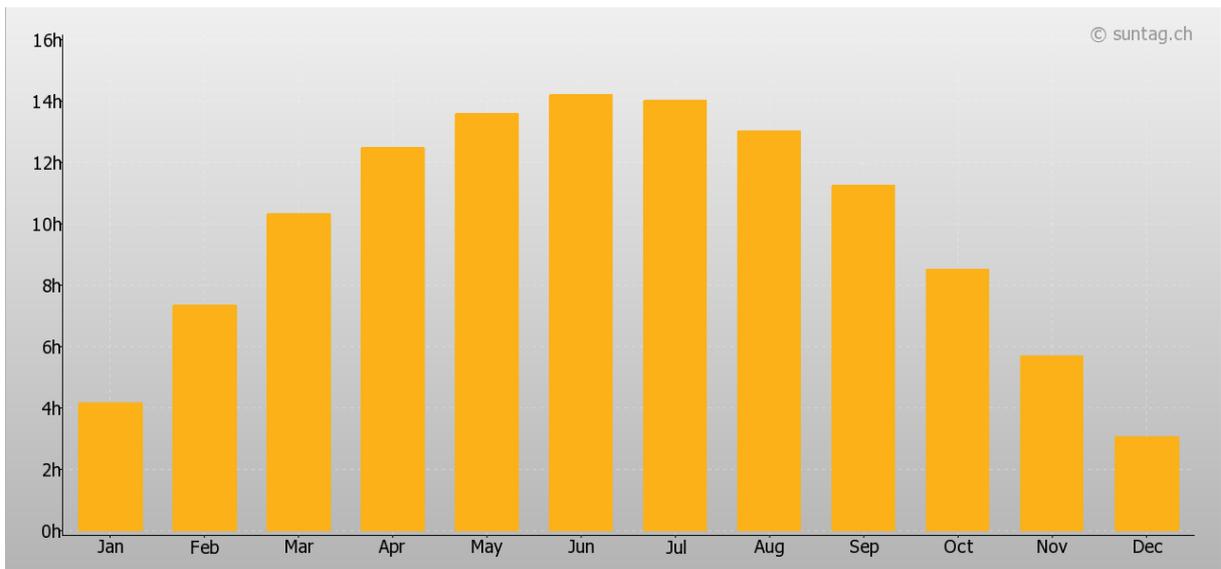
Grafik 3: Wolfenschiessen



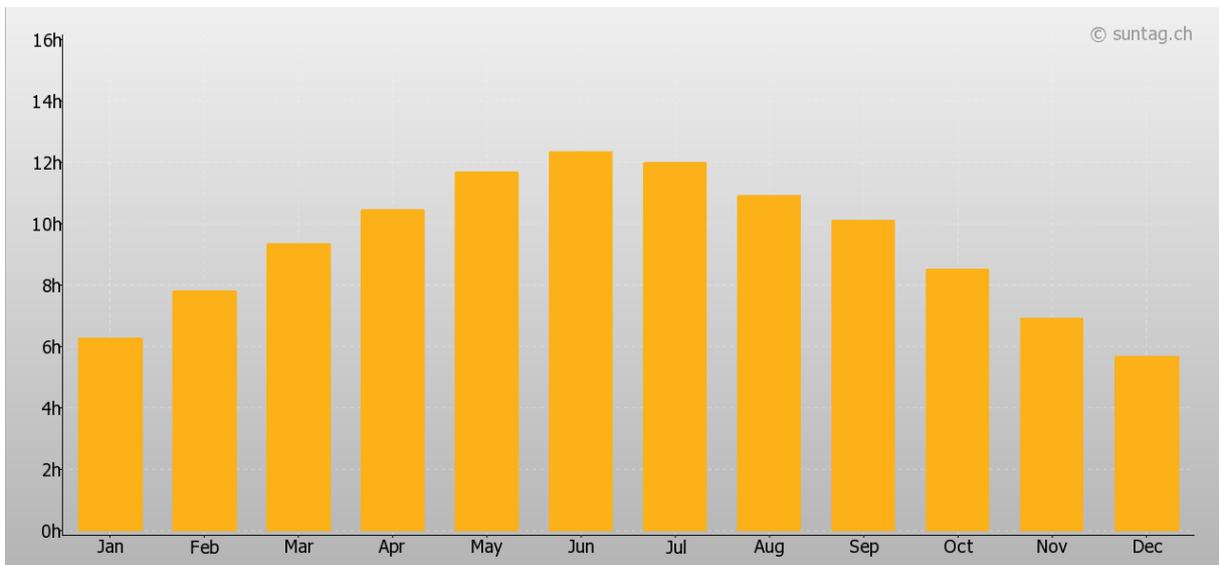
Grafik 4: Dallenwil



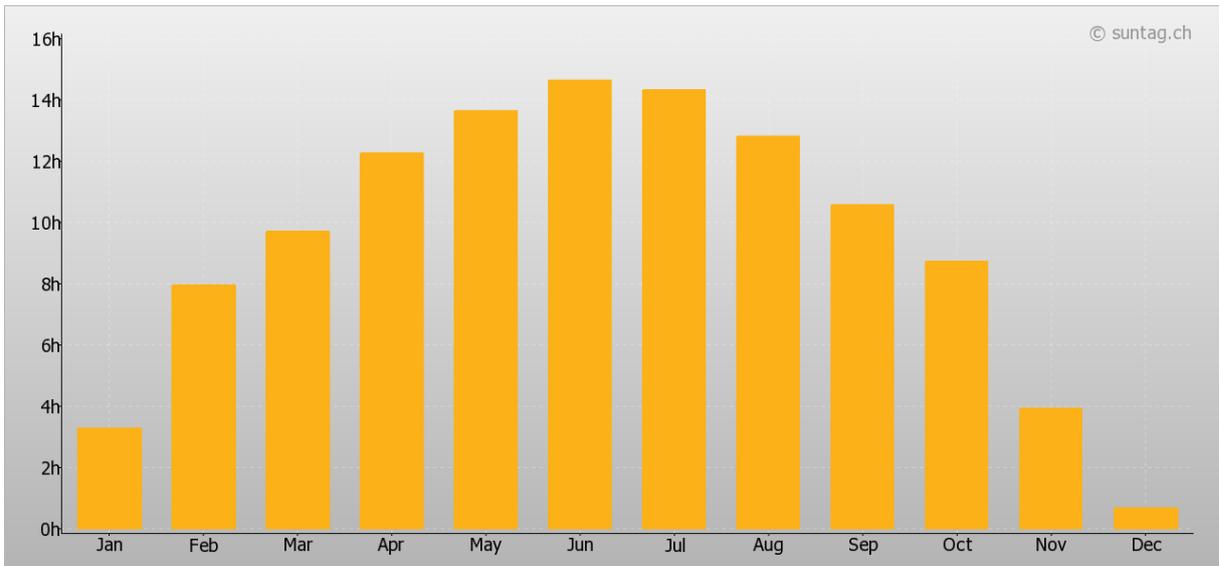
Grafik 5:Wirzweli



Grafik 6:Wiesenberg



Grafik 7:Stans



Grafik 8:Beckenried

