

Maturarbeit

Chancen, Hürden und Möglichkeiten die Dekarbonisierungsziele 2050 der Schweiz zu erreichen



<https://www.vku.de/energie/>

Eingereicht von:
Lino Bosshardt
Klasse 6c
Zollikerstrasse 45
8008 Zürich

Abgabedatum: 9. Januar 2023

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
1. Zusammenfassung	5
2. Einleitung	6
2.1. <i>Heutige Ausgangslage</i>	7
2.1.1 Energieverbrauch der Schweiz nach Energieträger	7
2.1.2 Energieverbrauch der Schweiz nach Verbrauchergruppen	8
2.1.3 Elektrizität - Welche Stromquellen leisten welchen Anteil	10
2.2 <i>Ziele und Herausforderungen der Schweiz bis 2050</i>	11
3. Energie und Energiegewinnungsverfahren	13
3.1 <i>Energie</i>	13
3.1.1 Energieformen	13
3.1.2 Energieumwandlung.....	13
3.1.3 Energiespeicherung	13
3.2 <i>Wasserkraft</i>	16
3.2.1 Funktionsweise einer Wasserkraftanlage	16
3.2.2 Verschiedene Wasserkraftwerke.....	17
3.2.3 Heutige Ausgangslage.....	18
3.2.4 Pro und Kontra.....	19
3.3 <i>Solar-Strom</i>	20
3.3.1 Funktionsweise eines Solarpanels	20
3.3.2 Verschiedene Arten von Solarzellen	23
3.3.3 Heutige Ausgangslage.....	24
3.3.4 Pro und Kontra.....	24
3.4 <i>Windkraft</i>	25
3.4.1 Funktionsweise eines Windrades	25
3.4.2 Verschiedene Arten von Windrädern	28
3.4.3 Heutige Ausgangslage.....	29
3.4.4 Pro und Kontra.....	29
3.5 <i>Geothermie, Wärmepumpen und Umweltwärme</i>	29
3.5.1 Funktionsweise eines Geothermiekraftwerkes (tiefe Geothermie)	30
3.5.2 Funktionsweise der mitteltiefen Geothermie	30
3.5.3 Funktionsweise der oberflächennahen Geothermie (Umweltwärme).....	30
3.5.4 Pro & Kontra	31
3.6 <i>Holz</i>	31
3.7 <i>Biomasse</i>	31
3.8 <i>Solarthermie</i>	32
3.9 <i>Fernwärme</i>	32
3.10 <i>Nuklearkraft</i>	33
3.10.1 Funktionsweise eines Kernkraftwerks	33
3.10.2 Verschiedene Arten von Nuklearkraftwerken	35
3.10.3 Heutige Ausgangslage.....	35
3.10.4 Pro & Kontra	36
3.11 <i>Fossile Brennstoffe</i>	36
3.11.1 Gas- und Ölkraftwerke.....	37
3.11.2 Kombikraftwerke	37

3.11.3 Diesel- & Benzingenerator.....	38
4. Zusammenfassung der Energiegewinnungsverfahren	39
5. Energiemix für 3 Szenarien im 2050.....	41
5.1 Energieverbrauch 2050 – 3 Szenarien	41
5.2 Arbeitsmodell zur Berechnung der drei Szenarien	44
5.3 Szenario 1	47
5.3.1 Stromerzeugung	47
5.3.2 Elektrifizierung des Verkehrs	48
5.3.3 Flugverkehr	49
5.3.4 Biogener Treibstoff	49
5.3.5 Nicht erneuerbare thermische Energie	50
5.3.6 Strom-Wärmepumpen.....	51
5.3.7 Stromspeicherung	52
5.3.8 Notwendige Energieeinsparung, Energieverbrauch & Energiemix 2050.....	54
5.3.9 Berechnung der Fläche der Solarpanels und der Anzahl Windräder	56
5.4 Szenario 2	57
5.4.1 Strom-Wärmepumpen & Solarthermie	59
5.4.2 Strommix 2050 & Stromspeicherung.....	59
5.4.3 Notwendige Energieeinsparung, Energieverbrauch & Energiemix 2050.....	60
5.4.4 Berechnung der Fläche der Solarpanels und der Anzahl Windräder	62
5.5 Szenario 3	63
5.5.1 Nuklearstrom & Stromspeicherung.....	65
5.5.2 Thermische Energie 2050	66
5.5.3 Notwendige Energieeinsparung, Energieverbrauch & Energiemix 2050.....	67
5.5.4 Berechnung der Fläche der Solarpanels und der Anzahl Windräder	68
5.5. Zusammenfassung für Szenario 1-3	69
6. Diskussion/Schlussfolgerungen.....	70
7. Bibliographie/Quellen	72
8. Anhang	74
8.1 Excel Tabellen	74
8.1.1 Excel Tabelle – Strom Produktion und Verluste 1994 – 2019 – Prognose 2050	74
8.1.2 Excel Tabelle – Strom Verbrauch Total 1994 – 2019 – Prognose 2050	75
8.1.3 Excel Tabelle – Treibstoff Verbrauch nach Kategorien und Total 1994 – 2019 – Prognose 2050	76
8.1.5 Excel Tabelle – Thermischer Energieverbrauch Total 1994 – 2019 – Prognose 2050	78
8.1.6 Excel Tabelle – Berechnung des Speicherbedarfs zum Ausgleich der Sommer/Winter Produktion	79
8.2 Interviews mit Experten.....	80
8.3 Interviewfragebogen	80

Vorwort

Es war mir im Vorhinein klar, dass ich ein naturwissenschaftliches Thema für meine Maturarbeit wählen möchte und zudem interessiert mich das Fach Physik. Seit Beginn des Krieges in der Ukraine, war in den Zeitungen immer wieder von der Energiekrise die Rede. Es hat mich interessiert zu verstehen, wie sich die Schweiz energietechnisch entwickeln könnte und was die Ziele, die der Bundesrat gesetzt hat, physikalisch wirklich bedeuten.

Dank Interviews mit den Experten Gianni Operto (Präsident der AEE Swiss), Andy Heiz, (Deputy CEO Axpo AG) und Beat Ruff (stellvertretender Leiter Infrastruktur, Energie & Umwelt, EconomieSuisse) habe ich wertvolle Hinweise und Informationen erhalten.

Vielen Dank für die Unterstützung und Begleitung durch meine Physiklehrerin Frau Yee-Ling Willems-Ong.

Meine Patin Corinne Elsener hat mir mit verschiedenen Tricks im Word geholfen, wie z.B. das automatische Inhaltsverzeichnis.

Mein Vater hat mich bei der Handhabung des Excel (Tips & Tricks) unterstützt und meine Mutter hat die Arbeit korrekturgelesen.

1. Zusammenfassung

Der Bundesrat hat für 2050 das Ziel der CO₂-Neutralität und den Atomausstieg beschlossen. Mit dieser Arbeit wird aufgezeigt, mit welchem Energiemix für das Jahr 2050 die Ziele des Bundesrats erreicht werden können und was dies aus physikalischer Sicht bedeuten würde.

Der heutige Gesamtenergieverbrauch der Schweiz liegt bei 828'587TJ und setzt sich aus 39% Energieträger für Wärmeerzeugung, 36% Treibstoff für den Verkehr und 25% Elektrizität zusammen.

Für das Jahr 2050 wurden 3 Szenarien untersucht (1. Szenario: Energieverbrauch entspricht dem Ziel des Bundesrats = 682'204TJ, 2. Szenario: Energieverbrauch mit geringerer Abnahme des pro-Kopf-Verbrauchs = 849'559TJ, 3. Szenario: Energieverbrauch bei konstantem pro-Kopf-Verbrauch vs. heute und kein Nuklearausstieg = 898'897TJ). Es konnte gezeigt werden, was eine 100%ige Elektrifizierung des Verkehrs und ein 100%iger Ausstieg aus fossilen Brennstoffen physikalisch bedeutet (Anzahl Solaranlagen bzw. prozentualer Anteil der bebauten Wohnfläche und Anzahl Windräder). Zudem wurde aber auch klar, dass für die Erreichung der Ziele des Bundesrates (Szenario 1) immer noch 178'365TJ Einsparung notwendig wären, um den pro-Kopf-Verbrauch um die angestrebten -43% (vs. 2000) senken zu können.

Dies kann praktisch nur durch Wärme-Isolation erreicht werden, da die Effizienzgewinne mit dem Ersatz durch alternative Energiegewinnungsverfahren in den Berechnungen bereits ausgeschöpft wurden. Der Strombedarf wird sich in Zukunft für alle 3 Szenarien um mind. 150'000TJ erhöhen und damit fast verdoppeln, da sich Strom eignet, um die Dekarbonisierungsziele zu erreichen.

Szenario 2 und 3 erscheinen realistischer als das Ziel des Bundesrates (Szenario 1), da in diesen beiden Szenarien weniger auf hohe Einsparungen, sondern verstärkt auf eine höhere, CO₂-neutrale Wärme Gewinnung gesetzt wird.

2. Einleitung

Der Bundesrat hat das Ziel einer klimaneutralen Schweiz bis 2050 beschlossen. Im Rahmen des Pariser Klimaübereinkommen hatte sich die Schweiz verpflichtet bis 2030 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 50% und bis 2050 um 70-85% zu reduzieren. Dies basierte auf einem Ziel die Temperaturerwärmung auf unter 2 Grad zu begrenzen. Der Weltklimarat (IPCC) zeigte jedoch auf, dass bereits bei einer Erwärmung um 1.5 Grad gravierende Veränderungen zu erwarten sind.

Entsprechend hat der Bundesrat die Ziele weiter verschärft und in einer Medienmitteilung vom 28.8.2019 präzisiert. Er hat beschlossen, **«dass die Schweiz bis 2050 nicht mehr Treibhausgase ausstossen soll, als natürliche und technische Speicher aufnehmen können. Dies bedeutet Netto-Null Emissionen bis zum Jahr 2050.»**¹⁾

Die CO₂-Emissionen im Verkehr, Gebäude/Haushalt und Industrie sollen um bis zu 95% gesenkt werden. Die verbleibenden Emissionen sollen mit natürlichen CO₂ Speichern wie Wälder und Böden, sowie Technologien, die der Umwelt CO₂ entziehen, kompensiert werden.

1)

Ziel meiner Arbeit ist es einen Energiemix für das Jahr 2050 aufzuzeigen, der einerseits die Dekarbonisierungsziele und den vom Bundesrat beschlossenen Atomausstieg erreicht und andererseits auch aus physikalischer Sicht umsetzbar ist. Mit meiner Maturarbeit möchte ich auf die Fragestellung eingehen, was die vom Bundesrat gesetzten Ziele aus physikalischer Sicht bedeuten. Zu diesem Zweck wurden ausgehend vom heutigen Energiemix 2 Szenarien entwickelt, wie der Energieverbrauch im Jahr 2050 aussehen könnte und mit welchem Energiemix dieser Energiebedarf mit erneuerbaren Energieformen sichergestellt werden könnte. Ein drittes Szenario fokussiert auf einer Annahme, dass der Atomausstieg bis 2050 nicht gelingt.

In dieser Arbeit liegt der Fokus nicht auf einer politischen Perspektive, sondern auf einer physikalischen Analyse.

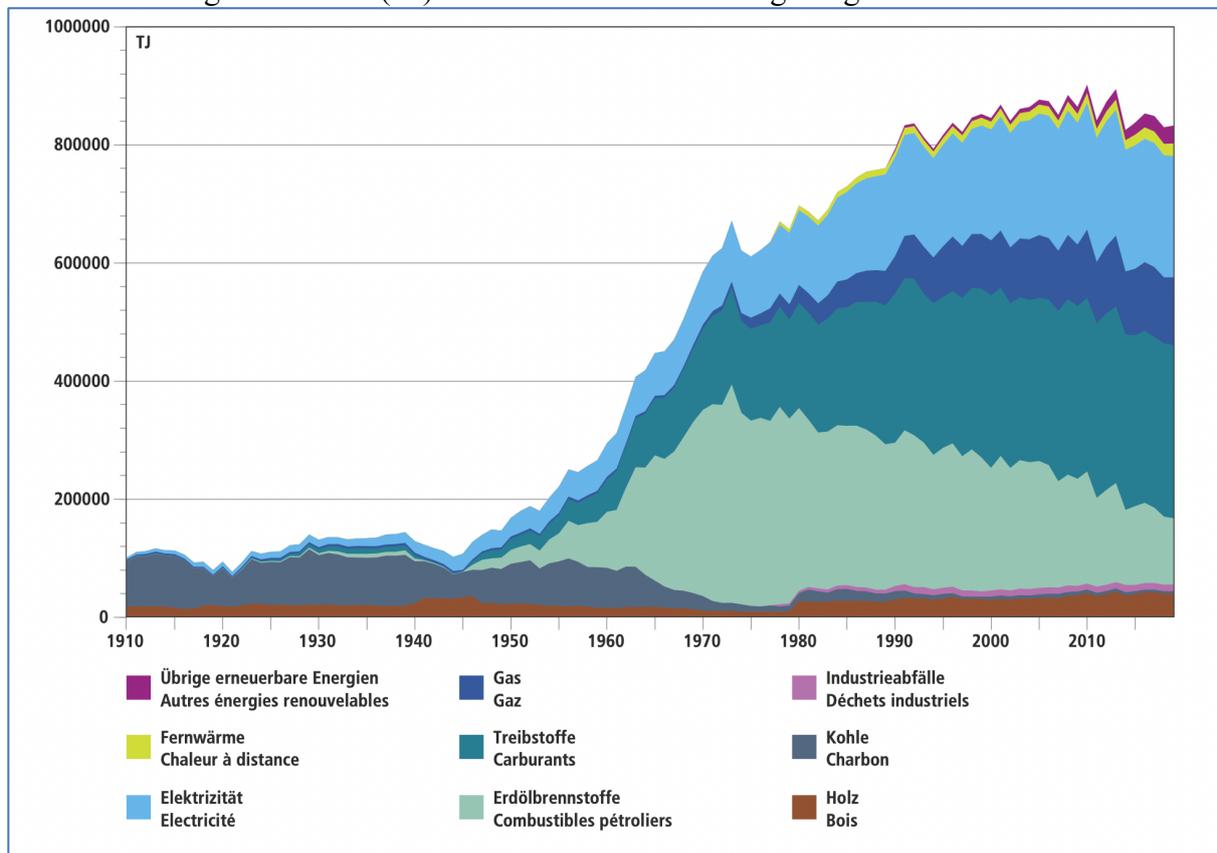
Die Betrachtung, Pro und Kontra und die Wirkungsgrade der verschiedenen Energiegewinnungsverfahren sind für die Zusammenstellung eines realistischen Energiemix 2050 besonders wichtig, weshalb ich einen relativ ausführlichen Teil für die physikalische Betrachtung dieser Verfahren verwendet habe.

2.1. Heutige Ausgangslage

2.1.1 Energieverbrauch der Schweiz nach Energieträger

In der Schweiz hatten wir **im Jahr 2019 einen Gesamtenergieverbrauch von 834'210 Terajoule (TJ).**²⁾ Da die Datengrundlage der Jahre 2020 und 2021 durch die Covid-19 Pandemie verzerrt sind und nicht dem Normalfall entsprechen, werden in dieser Arbeit die Daten vom Jahr 2019 verwendet. Der Verbrauch von 1910 bis 2010 hatte sich ungefähr verzehnfacht.

Abb. 2.1.: Energieverbrauch (TJ) in der Schweiz nach Energieträger von 1910-2019

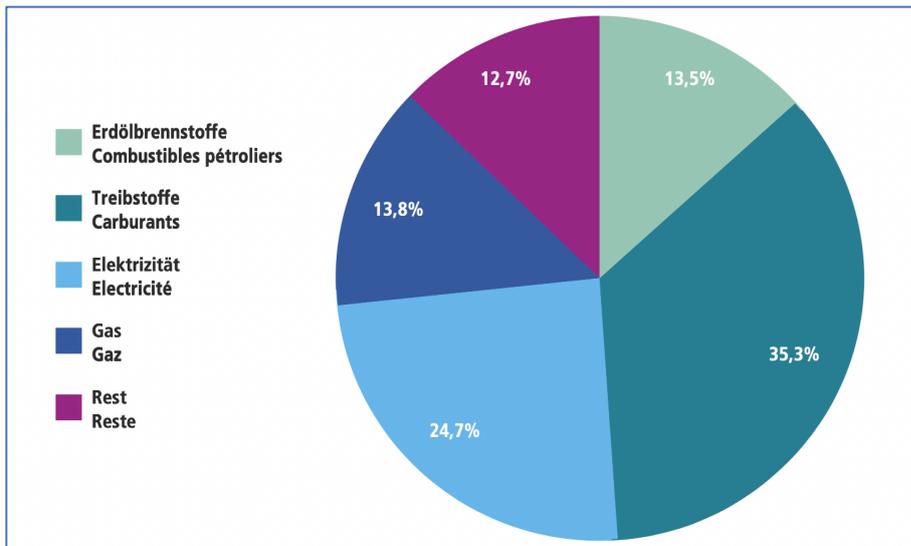


Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik, 2019, S.3

Die nicht erneuerbaren Energieträger wie Treibstoffe, Erdölbrennstoffe und Gas machen 62.6% (2019) unseres Energieverbrauchs aus.

Basierend auf dem Beschluss des Bundesrates wird man versuchen den Energieverbrauch mit erneuerbaren, CO₂-neutralen Energiequellen abzudecken. Dies ist ein ambitioniertes Ziel, wenn man bedenkt, dass die weitgehend emissionsfreie Elektrizität einerseits heute erst rund ein Viertel des Bedarfes abdeckt und andererseits zu 35.2% (2019) aus Nuklearstrom besteht.

Abb. 2.2.: Energieverbrauch in der Schweiz nach Energieträger (2019)



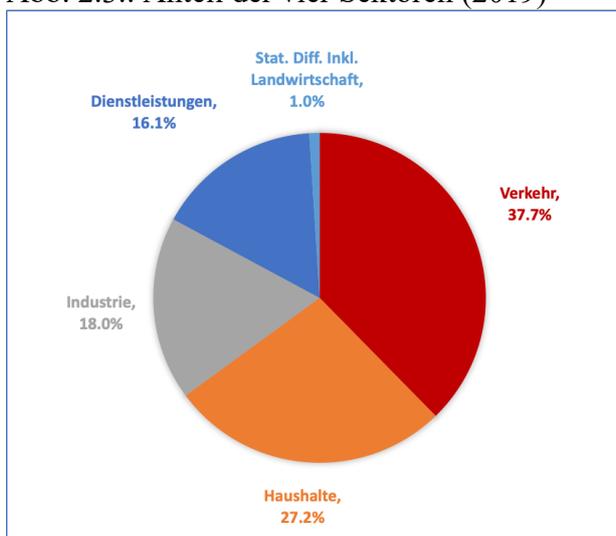
Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik, 2019, S.4

Die 12.7% «Rest» in der Abbildung 2.2. umfassen Holzenergie (4.7%), Fernwärme (2.6%), Umweltwärme (2.2%), Industrieabfälle (1.4%), Biogene Treibstoffe (0.9%), Kohle (0.5%), Sonne (0.3%) und Biogas (0.2%).

2.1.2 Energieverbrauch der Schweiz nach Verbrauchergruppen

Nach Verbrauchergruppen kann der Gesamtenergieverbrauch in vier Sektoren unterteilt werden: Verkehr, Haushalte, Industrie und Dienstleistungen.²⁾

Abb. 2.3.: Anteil der vier Sektoren (2019)



Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik, 2019

Wenn man die Emissionen senken will, wird der Energiebedarf und die Energiequellen im Verkehr und in Gebäuden eine zentrale Rolle spielen. Ein grosser Teil der CO₂-Emissionen wird durch den Verkehr verursacht und die grössten Treiber sind Personenwagen (73%) und Lastwagen (12%). Gebäude werden zum grossen Teil noch fossil beheizt. Entsprechend würde eine Umstellung auf erneuerbare emissionsfreie Energiequellen einen signifikanten Einfluss haben. ^{3) 4)}

Physikalisch betrachtet werden die verschiedenen Energieträger zur Bereitstellung von Wärme, Mobilität und Anderes (Geräte, Licht, Kühlung, Produktion etc.) eingesetzt. Fossile Brennstoffe werden unterschieden in fossile Brennstoffe, die für die Erzeugung von Wärme genutzt werden und in Treibstoffe, die ausschliesslich für die Mobilität eingesetzt werden.

Der Energieverbrauch kann folglich in drei Kategorien eingeteilt werden:

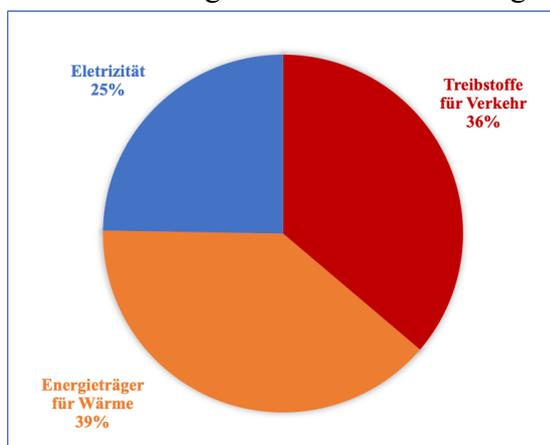
(1) Treibstoffe für die Mobilität, (2) Fossile Brennstoffe (Gas und Erdölbrennstoffe) und weitere Energieträger wie Holzenergie und Fernwärme (siehe Abb.2.2.) für die Wärmeerzeugung und (3) Elektrizität, welche Energiequelle für die unterschiedlichsten Anwendungen ist.

Tabelle 2.1.: Energieträger und ihre Anwendung

Energieträger	Anwendung	Anteil
Treibstoffe	Mobilität / Verkehr	36%*
Gas	Wärme / Thermie	39%
Erdölbrennstoffe	Wärme / Thermie	
Rest (Holz, Fern- u. Umweltwärme etc.)	Wärme / Thermie	
Elektrizität	Unterschiedlich	25%

*inkl. biogene Treibstoffe

Abb. 2.4.: Energieverbrauch nach Energieträger (2019)



Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik, 2019

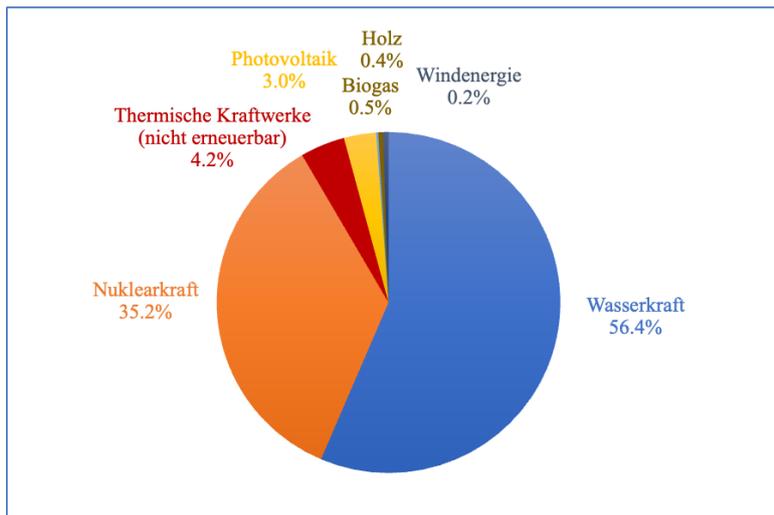
2.1.3 Elektrizität - Welche Stromquellen leisten welchen Anteil

Wie im vorigen Kapitel bereits dargestellt, macht Elektrizität heute erst etwa ein Viertel der gesamten Energieproduktion aus. Über 95% des in der Schweiz erzeugten Stroms wird aus Wasserkraft, Kernkraft, Solarenergie, Windkraft, Biogas und Holz erzeugt und ist somit bereits heute zu einem grossen Teil emissionsfrei.

Die zunehmende Elektrifizierung und die damit verbundene steigende Stromnachfrage wird für die Erreichung der Dekarbonisierung ein zentrales Element werden. Dazu müssen die Kapazitäten für erneuerbare Stromquellen stark ausgebaut werden.³⁾

Der Bund hat beschlossen aus der Kernkraft auszusteigen, weshalb es auch diese 35.2% mit erneuerbaren Stromquellen zu ersetzen gilt.

Abb. 2.5.: Elektrizität - Stromquellen



Quelle: Bundesamt für Energie (BFE), Schweizerische Gesamtenergiestatistik, 2019

Aufgrund der hohen Relevanz der Elektrizität als Energieträger für die Zukunft, wird in dieser Arbeit auf die verschiedenen Stromerzeugungsverfahren ein besonders grosser Fokus gelegt.

2.2 Ziele und Herausforderungen der Schweiz bis 2050

2017 wurde das erste Massnahmenpaket der "Energiestrategie 2050" eingeführt. Die Schweiz möchte 2050 unabhängig von Kernenergie und fossilen Brennstoffen sein. 2050 soll aber trotzdem eine sichere und inländisch produzierte Energieversorgung sichergestellt sein. Dieses Ziel, verbunden mit dem im Jahr 2011 vom Bundesrat beschlossenen Atomausstieg ist eine grosse Herausforderung.⁵⁾

Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, konzentriert sich die Schweiz auf 3 Massnahmen:

Abb. 2.6.: Die wichtigsten Massnahmen der Energiestrategie der Schweiz

Ausstieg aus der Kernenergie	Ausbau erneuerbarer Energien	Steigerung der Energieeffizienz
 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine neuen Kernkraftwerke (KKW) ▪ Bestehende KKW werden betrieben, solange sie sicher sind (Entscheid ENSI) ▪ Bereits stillgelegt: <ul style="list-style-type: none"> – Mühleberg (2019) ▪ Noch in Betrieb: <ul style="list-style-type: none"> – Beznau I (seit 1969) – Beznau II (seit 1971) – Gösgen (seit 1979) – Leibstadt (seit 1984) 	 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ziel: Produktion erneuerbare Energien 2035 ohne Wasserkraft: 11400 GWh (2020: 4700 GWh) ▪ Ziel: Produktion Wasserkraft 2035: 37 400 GWh (2020: 36 740 GWh) ▪ Erhöhung des Netzzuschlags von 1,3 auf 2,5 Rp. pro kWh ▪ Neues Fördermodell Photovoltaik: Einmalvergütung statt KEV ▪ Gleichstellung mit Landschaftschutz (Güterabwägung) 	 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ziel: Gesamtenergieverbrauch pro Kopf bis 2035 um 43 % senken ▪ Ziel: Stromverbrauch pro Kopf bis 2035 um 13 % senken ▪ Mobilität: verschärfte Emissionsvorschriften seit 2021 ▪ Gebäudeprogramm: CO₂-Abgabe und steuerliche Anreize für Sanierung ▪ Intelligente Stromzähler (Smart Meter)

Quelle: <https://www.energie-experten.ch/de/detail/die-kernelemente-der-energiestrategie-2050.html> (Oktober/2022)

- **Der Ausstieg aus Kernenergie**

In der Schweiz werden keine zusätzlichen Kernkraftwerke (KKW) gebaut und die Bestehenden werden so lange betrieben, wie sie von der ENSI (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate) als sicher eingestuft werden. Um die Schweiz in Zukunft mit Energie zu versorgen, wären KKW's eine Option, um einen grossen Teil der Grundlast zu liefern, jedoch sind Atomkraftwerke besonders seit der Katastrophe in Fukushima umstritten. Zudem verfügt die Schweiz über kein eigenes nukleares Brennmateriale für den Betrieb dieser Anlagen.

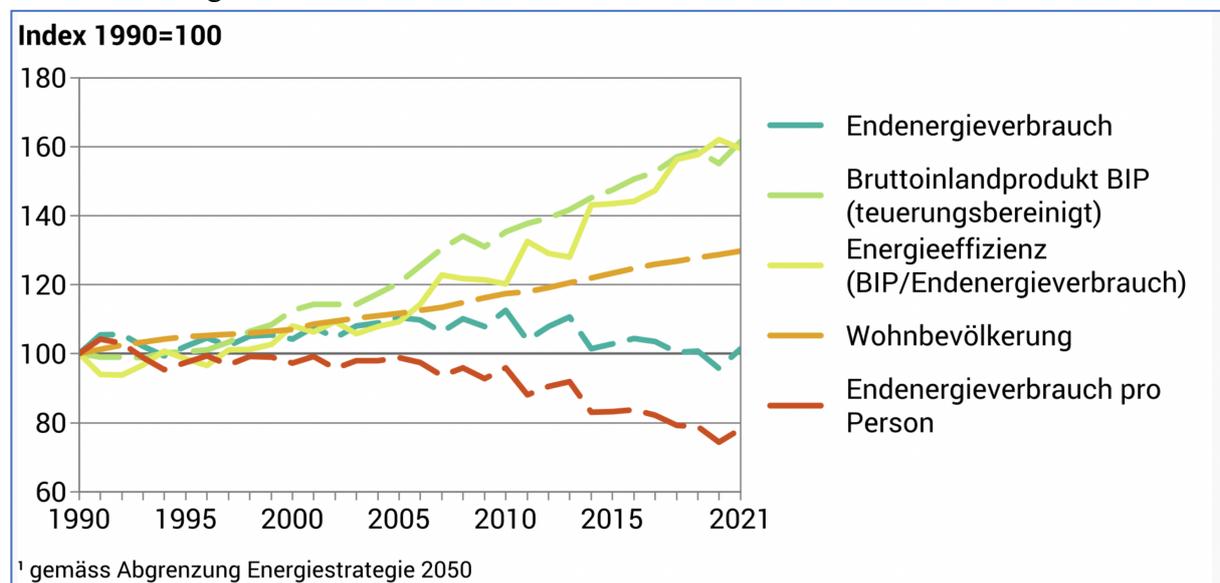
- **Ausbau erneuerbaren Energien**

Geplant ist bis 2050 nur anhand von erneuerbaren Energien Strom und Energie zu erzeugen. Der Energieverbrauch 2050 soll durch erneuerbare Energie gedeckt werden können.

- **Steigerung der Energieeffizienz**

Im Vergleich zum Jahr 2000 soll bis 2035 der pro Kopf Energieverbrauch der Schweiz um 43% gesenkt werden. Im Jahr 2000 lag der pro Kopf Verbrauch bei 31.7MWh = 0.11412 TJ (Terrajoule) Das ergab bei der damaligen Bevölkerung von 7.4 Mio einen Gesamtenergieverbrauch von 839'045TJ. **Eine Abnahme um 43% würde einen Pro-Kopf-Verbrauch von 18MWh im Jahr 2035 bedeuten. 2019 lag dieser Wert jedoch immer noch bei etwa 27MWh, was einer Abnahme um 15% gegenüber 2000 entspricht.**

Abb. 2.7.: Energieeffizienz



Quelle: Bundesamt für Statistik & Bundesamt für Energie (BFE) – Gesamtenergiestatistik, BFS – VGR. ESOP/STATPOP

Die Wohnbevölkerung ist von 1990 bis 2021 im Vergleich zum Energieverbrauch stärker gewachsen. Entsprechend hat der Energieverbrauch pro Person abgenommen. ^{6) 7)}

3. Energie und Energiegewinnungsverfahren

3.1 Energie

3.1.1 Energieformen

Energieträger kann man in 2 Kategorien einteilen, **Primär- und Sekundärenergieträger**. Primäre ist diejenige Energie, welche direkt in der Quelle vorhanden ist.

Diese Energieträger kann man weiter unterteilen in regenerative, erneuerbare Energien (Solarenergie, Windenergie, Wasserenergie, Erdwärme & Geothermie, Holz) und nicht erneuerbare, fossile Brennstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) und Kernbrennstoffe (Uran, Thorium). Regenerative Energien sind immer verfügbar oder können zumindest gleich wieder erneuert werden. Nicht erneuerbare Energieträger sind, wenn sie einmal verbraucht wurden, nicht mehr von Nutzen. Zwar erneuern sich fossile Brennstoffe ebenfalls, nur dauert dies Millionen von Jahre und daher viel zu lange, um sie als erneuerbar zu betiteln.

Von diesen Primärenergieträgern, sind für uns jedoch nicht alle direkt nutzbar. Damit die Energie von Verbrauchern genutzt werden kann, muss sie umgewandelt werden. Diese Art von Energieträgern nennt man Sekundärenergieträger (Heizöl, Strom, Wärme).⁸⁾

3.1.2 Energieumwandlung

Um aus Primärenergieträgern, Sekundärenergieträgern zu machen, ist wie bereits erwähnt, Energieumwandlung nötig. Die Energieumwandlung beruht auf dem Energieerhaltungsgesetz: **Energie kann zwischen Energieformen umgewandelt werden, in und aus einem System verschoben werden, kann dabei jedoch weder vernichtet noch erzeugt werden.**⁹⁾

3.1.3 Energiespeicherung

Um Sekundärenergie jederzeit verfügbar zu haben, muss diese entweder auf Abruf erzeugt werden oder aber man muss diese speichern können.

In Zukunft werden Energiespeicher an Bedeutung zunehmen, da Energieherstellungsverfahren, wie Solar- und Windkraft, zunehmend relevant werden. Diese Energie ist zwar erneuerbar, aber leistet keinen konstanten Beitrag an die Energieversorgung. Daher ist in meinem Modell die Energiespeicherung ein entscheidender Faktor für die physikalische Umsetzung der Ziele 2050. Strom- und allgemein Energiespeicherung ist eine technische

Herausforderung, für die es aber auch nach der Meinung von Experten (Anhang 8.2) bereits heute Ideen und Vorstellungen und Lösungen gibt, wie man mit hoher Effizienz Energie mit wenig Verlust speichern könnte.

Batterien:

Batterien werden hauptsächlich bei der Elektrifizierung des Verkehrs und bei der Speicherung von Solar- und Windstrom zum Einsatz kommen. Als Kurzzeit-Speicher sind Batterien bzw. Akkus gut geeignet, um Strom über einige Tage/Wochen hinweg zu speichern. Akkus zeigen heute einen Round-trip Wirkungsgrad nahe bei 95%. Das heisst, wenn 100Wh Strom in einen Akku geladen werden, können 95Wh wieder entzogen werden.

Batterien sind aber aufgrund ihrer Selbstentladung heute noch nicht geeignet, um als saisonale Speicher zu wirken. Die heute in Fahrzeugen meisteingesetzten Lithium-Ionen-Akkus zeigen unter optimalen Bedingungen eine Selbstentladung von ca. 4% pro Monat (bei 20 °C).¹⁰⁾

An einem Vortrag an der ETH Zürich am 15.9.2022 zum Thema Versorgungssicherheit hat Gianni Operto (Experte - siehe Anhang 8.2.) Folgendes aufgezeigt: Wenn wir davon ausgehen, dass die heute gemäss Bundesamt für Statistik von rund 4.7Mio Personenfahrzeuge künftig elektrisch betrieben werden, so muss jedes dieser Fahrzeuge über eine Batteriekapazität von mindestens 70kWh (z.B. Tesla Modell S70D) verfügen. Damit würde in der Schweiz eine Batteriekapazität von rund 330GWh entstehen. Eine solche Batteriekapazität würde ewig reichen, um die Netzstabilität zu gewährleisten, bzw. sogar auch, um sicherzustellen, dass Solarstrom, der am Tag produziert wurde in der Nacht zur Verfügung stehen kann.

Gehen wir von jährlich 130'000TJ Solarstrom (siehe Kapitel 5.3.9) aus, dann sind das etwa 360TJ Solarstrom pro Tag. Soll nun die Hälfte davon in der Nacht verfügbar gemacht werden, so würde dies einer Kapazität von 180TJ = 50GWh bedeuten. Das bedeutet, rund 15% der Batteriekapazität eines Fahrzeuges müsste für die Netzstabilität zur Verfügung stehen.

Speicherseen:

Schon heute spielt Wasserkraft eine grosse Rolle in unserem Strommix. Anhand von Speicherseen kann man grossen Mengen an Energie speichern und erleidet dabei praktisch keinen Energieverlust. Dazu können Speicherkraftwerke nicht nur Wasser, das natürlich in den Stausee fliesst, speichern. Anhand von Pumpspeicherkraftwerken, kann Strom genutzt werden, um Wasser in den Speichersee zu pumpen und so Energie in Form von Wasser mit hoher Lageenergie zu speichern. (siehe auch Kapitel 3.2.2)

Wärmetanks/Wärmespeicher:

Meistens kommt zur Speicherung von Wärme Wasser zum Einsatz. Wasser hat mit ungefähr $4.2\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ eine hohe spezifische Wärmekapazität, d.h. es braucht 4.2kJ , um ein Kilogramm Wasser um ein Kelvin zu erwärmen. Zudem ist Wasser in der Schweiz überall verfügbar, kann Wärme wiederholt aufnehmen und wieder abgeben und ist einfach zu transportieren. Wärmespeicher können oberhalb oder unter der Erde installiert werden und speichern Wasser mit Temperaturen von $10\text{-}95$ Grad Celsius. Der grösste Nachteil von Wärmetanks zur Energiespeicherung liegt in ihrem Volumen. Für ein vollständig solar-beheiztes Haus kommen Speicher bis 40m^3 zum Einsatz. Das ist ein Würfel mit der Seitenlänge 1.6m . Solche Tanks müssen in aller Regel bereits in der Planung berücksichtigt werden und sind daher meist nur für Neubauten eine Option. ¹¹⁾

Wasserstoff:

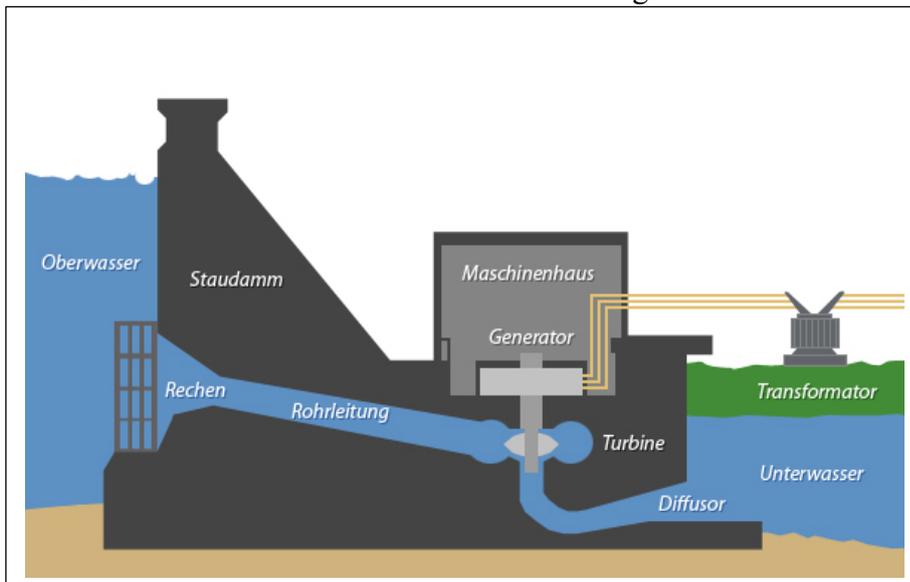
Wasserstoffspeicher werden im Jahr 2050 mit grosser Sicherheit eine wichtige Rolle spielen, da sie gut als saisonale Speicher funktionieren. Zudem sind sie umweltfreundlich, da man nur Wasser auftrennt und wieder synthetisiert. Ein Nachteil von Wasserstoff ist jedoch seine Handhabung. Wasserstoff ist sehr flüchtig und dazu noch besonders reaktiv. Laut Gianni Operto (Experte – Anhang 8.2) ist eine Lösung den Wasserstoff (H_2) chemisch umzuwandeln und in Form von Methan (CH_4) zu speichern. Mit einem "Round-trip" Wirkungsgrad von knapp 50% , ist die Wasserstoff- und Methanspeicherung den Pumpspeicherkraftwerken (80%) als saisonaler Speicher zwar unterlegen, jedoch ist die maximale Speichermenge in Pumpspeicherkraftwerken limitiert, so dass Wasserstoff- bzw. Methanspeicherung mit grosser Sicherheit im Jahr 2050 relevant sein wird. ^{12) 13}

3.2 Wasserkraft

3.2.1 Funktionsweise einer Wasserkraftanlage

In einer Wasserkraftanlage wird Wasser aus einem Stausee durch eine Leitung auf ein tiefergelegenes Niveau geführt. Dadurch wird die potenzielle Energie, die im gestauten Wasser gespeichert ist, in kinetische Energie (Bewegungsenergie) umgewandelt.

Abb. 3.1.: Funktionsweise einer Wasserkraftanlage



Quelle: Wasserkraftwerke, www.klassewasser.de (September/2022)

Das Wasser fließt nun auf eine Turbine zu, welche von der Bewegungsenergie des Wassers angetrieben wird und die Bewegungsenergie zu Rotationsenergie umwandelt. Die nun rotierende Turbine ist über eine Achse mit einem Generator verbunden. Der Generator wandelt die Rotationsenergie in Strom um. Der Strom lässt sich über Kabel zu den verschiedenen Verbrauchern übertragen. ¹⁴⁾

Wirkungsgrad von Wasserkraftanlagen:

Wie viel von der im Wasser gespeicherten potentiellen Energie mittels der Anlage in nutzbare Energie umgewandelt werden kann, hängt einerseits von der Erdbeschleunigung g , der Dichte des Wassers ρ , dem Wasserdurchfluss Q (Menge an Wasser, die durch den Zufluss gelangen kann), und der Fallhöhe des Wassers h ab.

Ausserdem hat jedes Kraftwerk einen Wirkungsgrad welcher aus vielen verschiedenen Einzelwirkungsgraden, wie zum Beispiel dem Wirkungsgrad η der Turbine oder jener des Generators, berechnet wird. Der **Wirkungsgrad liegt bei 80-90%**.

Die Leistung einer Anlage lässt sich wie folgt berechnen, wobei der Wirkungsgrad keine berechnete, sondern eine experimentell gemessene, anlagespezifische Grösse darstellt: ¹⁵⁾

$$P = Q \cdot h \cdot g \cdot \rho \cdot \eta$$

P = Leistung in Watt *W*

Q = Wasserdurchfluss in m^3/s

h = Fallhöhe in *m*

g = Erdbeschleunigung in m/s^2 ($\approx 9.81 m/s^2$)

ρ = Dichte des Wasser in kg/m^3 ($\approx 1000kg/m^3$ auf Meereshöhe)

η = Wirkungsgrad in %

Das Pumpspeicherkraftwerk Nant de Drance (Wallis) ist eines der leistungsstärksten Kraftwerken Europas. Die vertikalen Schächte (Fallhöhe *h*) sind 425 Meter lang und leiten das Wasser zu den Turbinen weiter, welche eine Wassermenge von 360'000 Liter pro Sekunde ($360m^3/s$) turbinieren. Der Wirkungsgrad der Anlage beträgt 80%.

$$P = 360m^3/s \cdot 425m \cdot 9.81 m/s^2 \cdot 1000 kg/m^3 \cdot 0.8 = 1'200'744'000 W = \underline{1'201 MW}$$

Das bedeutet, dass die maximale Leistung der Anlage bei 1'200MW liegt. Die Website besagt, dass die Leistung des Kraftwerkes bei 900MW liegt. Die Anlage wird daher auf etwa 75% der effektiven, maximal möglichen Last betrieben.

3.2.2 Verschiedene Wasserkraftwerke

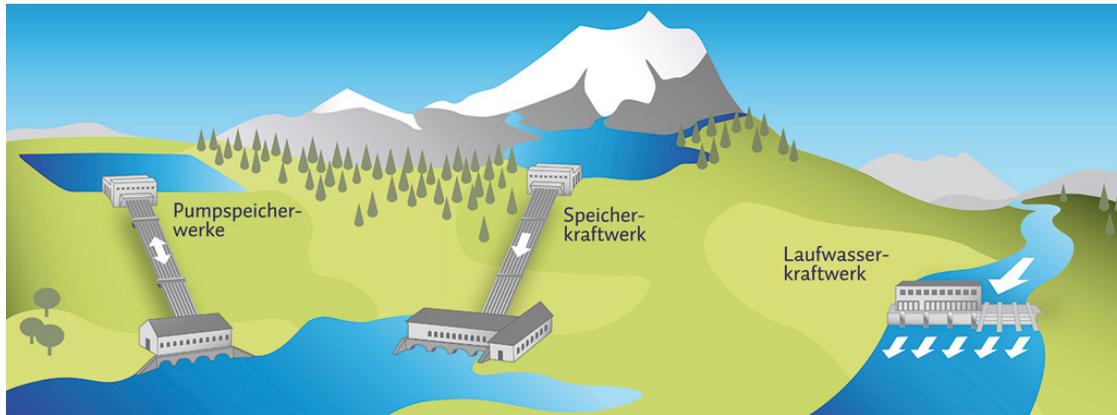
Man kann Wasserkraftwerke in Laufkraftwerke und Speicherkraftwerke einteilen. ¹⁶⁾

Laufkraftwerke verfügen über einen kleinen Stauraum und können daher immer nur so viel Wasser aus dem Stauraum abfliessen lassen, wie gleichzeitig über eine Zuleitung in den Stauraum gelangt. Die Energiegewinnung ist also vom Wasserzufluss abhängig. Dies bedeutet, dass man nicht entscheiden kann, wann wieviel Strom erzeugt werden sollte. Aus diesem Grund leisten Laufkraftwerke einen Beitrag zur Grundlast des Stromnetzes, sind aber nicht in der Lage Strom in Abhängigkeit des aktuellen Verbrauchs zu erzeugen.

Speicherkraftwerke andererseits liegen an einem Stausee, dessen Wassermenge reguliert werden kann. Je nach Strombedarf kann die Abflussmenge angepasst werden. Speicherkraftwerke sind zudem in der Lage als Pumpspeicherkraftwerk zu funktionieren. Bei Stromüberschuss wird

Wasser in den Stausee hinaufgepumpt, um das Wasser auf höherer Lage zu speichern. Auf diese Weise wird Wasser als Stromspeicher verwendet. Gewisse Speicherkraftwerke verfügen über keinen natürlichen Wasserzufluss und dienen ausschliesslich als Pumpspeicher-Werk.¹⁶⁾

Abb. 3.2.: Verschiedene Wasserkraftwerkstypen



Quelle: Wasserkraftwerkstypen, www.landeskraftwerke.bayern/kraftwerkstypen.htm (September/2022)

3.2.3 Heutige Ausgangslage

Wasserkraftanlagen sind in der Schweiz aktuell die meistgenutzte Stromgewinnungsmethode. Durch ihre Speicherfunktion und ihre kurzen Nachhaltigkeitszyklen (genutztes Wasser aus dem Stausee fließt auf natürlichem Weg jährlich über Niederschläge zurück in den Stausee) bilden Wasserkraftanlagen eine ideale Methode, um unsere Dekarbonisierungsziele zu erreichen.

2019 machte Wasserkraft mit momentan 674 laufenden Kraftwerken, welche 40'556GWh (146'002 TJ) Strom erzeugten, 56.4% der Schweizer Stromproduktion aus.¹⁷⁾

Dieser Wert wirkt auf den ersten Blick eindrucklich. Jedoch macht Elektrizität (= der gesamte heutige Strommix) nur 25% des Schweizer Energieverbrauchs aus. Die erforderliche Menge an Wasserkraftstrom zur Erreichung der Ziele 2050 wäre daher weitaus mehr, sollte Wasserkraft als zentrale Energiressource dienen, um die heute nicht nachhaltigen Energieträger zu.

3.2.4 Pro und Kontra

19)

Pro:

- Keine CO₂ Emissionen
- Die Schweiz ist für Wasserkraft topografisch ideal. Die vielen Berge und Unebenheiten schaffen Bedingungen für das Verwenden von potenzieller Energie, welche bei der Stromgewinnung durch Wasserkraft eine essenzielle Rolle spielt.
- Liefert Basal- und Spitzenenergie: Wasserkraft ist geeignet zur Erzeugung von Energie aber auch zur Speicherung, indem Wasser in Speicherseen gepumpt und zu einem späteren Zeitpunkt wieder in Strom umgewandelt werden kann. So ist es möglich während der Sommersaison, wenn normalerweise weniger Strom verbraucht, und mehr Solarstrom verfügbar ist, Wasser auf ein potenziell energetisch höheres Niveau zu pumpen und sich so auf die Wintersaison vorzubereiten. Pumpspeicherwerke werden in Zukunft auf unserem Weg in Richtung erneuerbare Energie eine noch wichtigere Rolle spielen.
- Sehr lange Lebensdauer

Kontra:

- Eingriff in die Natur: Leider ist es nicht möglich sofort überall in der Schweiz Wasserkraftanlagen zu bauen, da jede Anlage einen ziemlich grossen Eingriff in die Natur bedeutet. Wasserkraft-Kritiker befürchten durch das Aufstauen von Flüssen, den Lebensraum von Tieren und Pflanzen weiter einzuschränken. Insbesondere ist der Schutz von Gewässern, die für den Fischbestand wichtig sind, Thema kontroverser Diskussionen.
- Saisonale Schwankungen. Wasserkraft ist saisonalen Schwankungen unterworfen. Niederschläge im Winter, die als Schnee im Gebirge liegen bleiben, werden erst im Frühjahr und Sommer nach der Schneeschmelze für die Stromproduktion verfügbar.

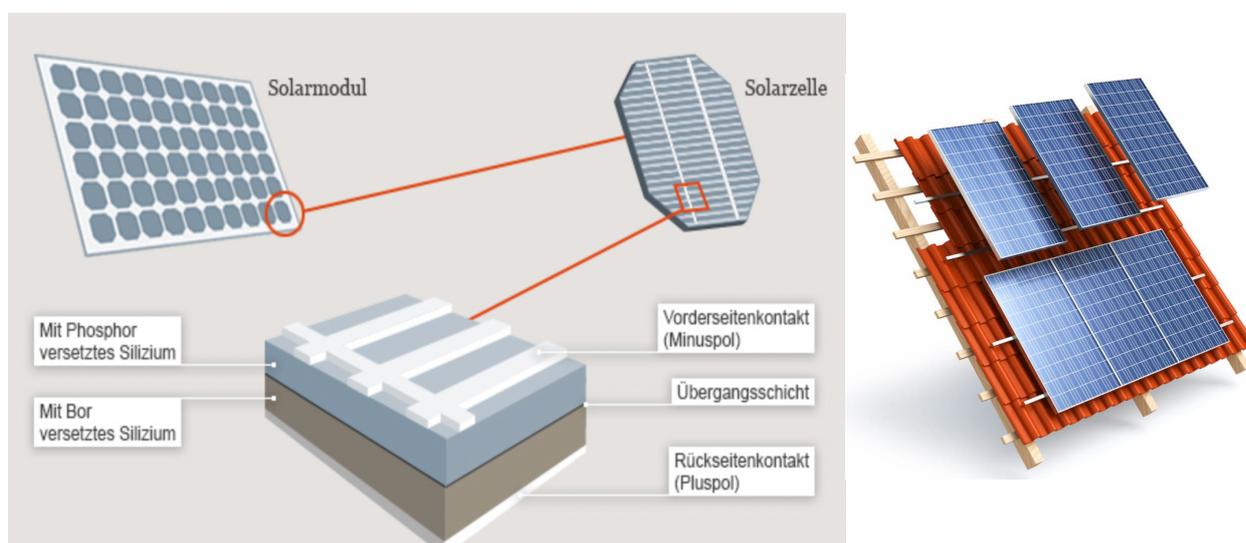
3.3 Solar-Strom

3.3.1 Funktionsweise eines Solarpanels

Ein Solarpanel wandelt die Energie im Sonnenlicht in Strom um.

Das zentrale Element der Solarzellen bilden dünn geschnittene Siliziumwafer. Silizium ist ein Halbleiter. Die Atome in den Siliziumkristallen sind starr, das heißt sie bewegen sich nicht und sind fest miteinander verbunden. Die Elektronen im Kristall können sich im Gegensatz zu den Atomen frei bewegen, solange sie genügend Energie erhalten. Diese benötigte Energie erlangen die Elektronen durch Photonen, wenn die Sonne auf das Panel scheint.

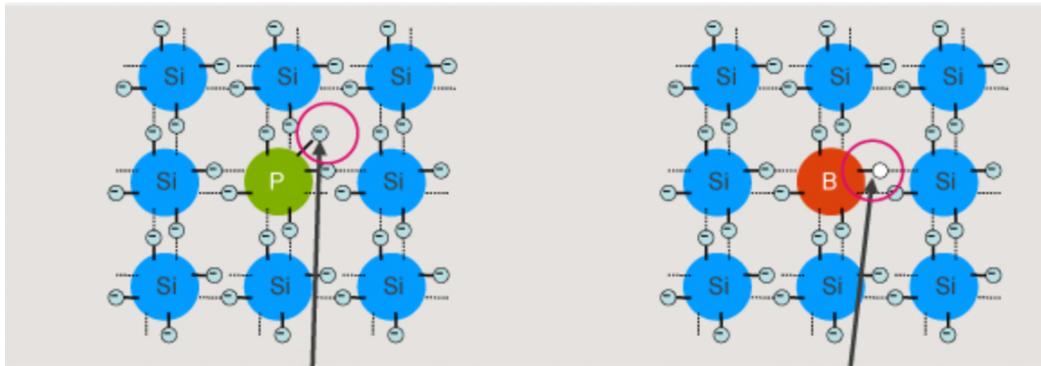
Abb. 3.3.: Aufbau einer Solarzelle



Quelle: <https://www.dw.com/de/so-funktioniert-eine-solarzelle/g-16880467> (Oktober/2022)

Dies bedeutet, dass man in die Wafer, zwei verschiedene Fremdatome einbringt, und somit zwei Bereiche mit entgegengesetzter Dotierung entstehen. Im oberen Bereich würde man zum Beispiel Phosphor einbringen, da es ein Valenzelektron mehr hat als Silizium. Damit entsteht im oberen Bereich ein Elektronenüberfluss. Im unteren Bereich wäre z.B. Bor geeignet, da Bor ein Valenzelektron weniger als Silizium hat und somit im Kristall ein Elektronenloch entsteht. Zwischen diesen beiden Bereichen entsteht eine Grenzschicht. Dort reagieren die Löcher mit den freien Elektronen. Die Elektronen des Phosphors springen in die Atomlücken der Bor-Atome. So entstehen im Kristall Bor-Atome mit gleich vielen Außenelektronen wie im Silizium. ¹⁸⁾

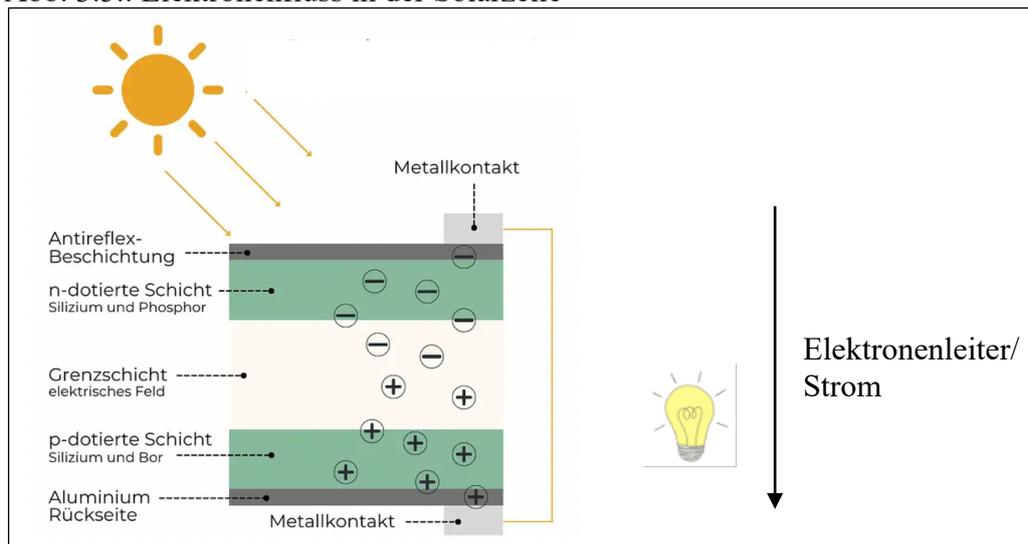
Abb. 3.4.: Siliziumkristallstruktur dotiert mit Phosphor bzw. Bor



Quelle: <https://www.dw.com/de/strom-aus-wärme/a-16074124> (Oktober/2022)

Da das Phosphor je ein Elektron abgegeben hat, entsteht im oberen Bereich ein Pluspol. Im unteren Bereich entsteht im Gegenzug ein Minuspol, da nun die Atomlücken der Bor-Atome mit negativen Elektronen des Phosphors aufgefüllt wurden. Durch die nun einstrahlende Sonnenenergie erhalten die überschüssigen Elektronen in den Bor-Atomen die nötige Energie, um sich zu lösen und zum Pluspol zu wandern. Das nun entstandene Elektronenloch des Bor-Atoms sorgt dafür, dass ein Elektron von weiter unten im Siliziumkristall aus dem Minuspol nach oben wandert. Die Elektronen wandern immer weiter nach oben. Wenn die Elektronen schließlich oben am Wafer ankommen, gelangen sie über einen Leiter wieder in den unteren Bereich, wo ein temporärer Pluspol herrscht, da die Elektronen nach oben gewandert sind.¹⁹⁾
20) 21)

Abb. 3.5.: Elektronenfluss in der Solarzelle

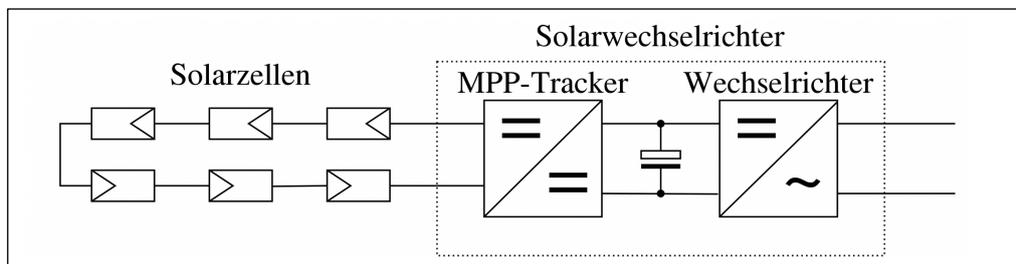


Quelle: <https://gruenes.haus/solarzelle/> (Oktober/2022)

Funktionsweise eines Solarwechselrichters und Gleichspannungswandlers:

Der in dem Elektronenleiter vorkommende Strom ist Gleichstrom. Damit der Strom für den Verbrauch, zum Beispiel im Haushalt, verwendbar wird ist ein Solarwechselrichter nötig. Dieser wandelt den von der Photovoltaikanlage produzierte Gleichstrom in Wechselstrom mit einem Wirkungsgrad von 97% um. Auf der Eingangsseite des Solarwechselrichters ist ein Gleichspannungswandler mit MPP-Tracking (Maximum-Power-Point-Tracking), welcher dafür sorgt, dass die elektrische Belastung für den Wechselrichter optimal angepasst wird. An der Ausgangsseite des Solarwechselrichters befindet sich ein normalerweise dreiphasiger Wechselrichter.

Abb. 3.6.: Blockschaltbild eines Solarwechselrichters



Quelle: Wikipedia/Solarwechselrichter (Oktober/2022)

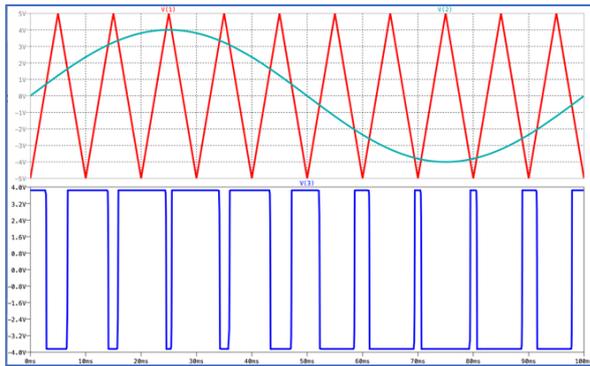
In dem Wechselrichter befinden sich mehrere elektronische Schalter, welche sich bis zu ca. 1000-mal pro Sekunde öffnen und schliessen, um den Stromfluss sehr genau zu steuern.

Wenn man die Richtung des Stroms abwechslungsweise ändert, erreicht man zwar bereits Wechselstrom, jedoch eine Rechteckschwingung und noch nicht die gewollte Sinuskurve.

Um diese zu erreichen kann man anhand kurzer Schalteröffnungen ein pulsierendes Muster erzeugen, wobei die Breite der Impulse, beziehungsweise die Länge der Schalteröffnungen, variiert. Je breiter ein Impulssegment, desto mehr Strom. Dadurch ergibt sich einen Mittelwert pro Segment, welcher zu und abnimmt. Die Last erfährt eine Sinuswelle. (siehe Abb. 3.7.)

Die Frequenz des Stroms kann so gesteuert werden, dass er nun synchron mit dem Netz verbraucht oder ins Netz eingespeist werden kann. Falls man den Strom nicht sofort verbrauchen will, wird er meistens noch nicht im Wechselrichter umgewandelt, sondern als Gleichstrom in einem Stromspeicher, einer Batterie gespeichert. ²²⁾

Abb. 3.7.: Sinusspannungserzeugung in einem Wechselrichter



Quelle: <http://home.teleos-web.de/vsteinkamp/leistungselektronik/wechselrichter/wechselrichter.htm> (Oktober /2022)

Die Leistung einer Solaranlage hängt vom Standort, dem Neigungswinkel, der Verschattung und von der Qualität der Solarzellen ab.

Tabelle: 3.1.: Jährlicher Ertrag von Solarzellen

Anlage	Leistung
Durchschnittliche solare Leistung pro Quadratmeter und Jahr in Deutschland und der Schweiz	900 – 1200 kWh/m ²
Durchschnittliche Leistung einer Photovoltaik (PV) Solaranlage (6m ²) in der Schweiz.	1'000 kWh/Jahr
Stromverbrauch eines durchschnittl. Schweizer Haushalts	4'500-5'500 kWh/Jahr

Quelle: <https://www.axpo.com/ch/de/energiewissen/solarenergie.html>, www.solar-Ratgeber.ch, (Oktober/2022)
<https://www.ess-kempfle.de/ratgeber/ertrag/pv-ertrag/>

Wirkungsgrad von Solarzellen:

Die Wirkungsgrade von Solarzellen liegen bei **8-22%**.

Tabelle 3.2.: Wirkungsgrad der verschiedenen Solarzellen

Solarzellen - Typen	Wirkungsgrad
Monokristalline Solarzellen	20-22%
Polykristalline Solarzellen	15-20%
Amorphe Solarzellen	8%

Quelle: <https://www.eigensonne.de/ratgeber/photovoltaik/wirkungsgrad/>

3.3.2 Verschiedene Arten von Solarzellen

Solarzelle können anhand drei verschiedener Merkmale gruppiert werden, Material, Struktur und Materialdicke. Ihre Funktionsweise bleibt jedoch stets gleich. Die meisten Solarzellen bestehen aus Silizium, welche mit Bor und Phosphor dotiert sind. Silizium lässt sich einfach in kristalliner Form herstellen und ist nicht besonders teuer.

Weitere Materialien sind zum Beispiel Cadmiumtellurid oder Galliumarsenid.

In der Struktur der Zellen unterscheiden sich Solarzellen ebenfalls. Die meistverbreitete Struktur sind kristalline Strukturen. Sie bestehen aus den bereits erwähnten Wafern. Unter ihnen gibt es monokristalline und polykristalline Zellen. Die polykristallinen Solarzellen haben eine unregelmässige Kristallorientierung. Monokristalline Solarzellen haben eine einheitliche Kristallorientierung und einen höheren Wirkungsgrad, sind aber in der Produktion teurer. Aktuell werden aus Kostengründen in Solar-Anlagen vor allem polykristalline Solarzellen verwendet.

Neben kristallinen Solarzellen gibt es auch amorphe Solarzellen, welche nicht aus kristallinen Wafern bestehen. Da amorphe Substanzen das Licht viel besser aufnehmen, haben diese Zellen eine viel geringere Materialdicke und werden darum auch Dünnschichtzellen genannt. In der Produktion sind solche Zellen kostengünstiger als kristalline Anlagen. Sie haben aber einen tieferen Wirkungsgrad als kristalline Solarzellen.¹⁹⁾

3.3.3 Heutige Ausgangslage

Solarstrom wird in der Zukunft eine zentrale Rolle spielen und könnte womöglich für einen Grossteil unseres Strommix verantwortlich werden. Momentan ist Solarstrom in der gesamten Stromproduktion jedoch noch nicht relevant. **Er machte 2019 nur 3% unseres Strommix aus (7'841TJ).** Solarstrom wird aber laufend ausgebaut und soll künftig einen weitaus grösseren Anteil ausmachen. «Die Bonanza um alpine Solaranlagen will keiner verpassen».²³⁾

Bis jetzt wurde Solarenergie hauptsächlich vernachlässigt, weil einerseits durch die Abhängigkeit von Sonne und Sonneinstrahlung keine konstante Stromproduktion über den Tag, aber auch über das Jahr möglich ist, und andererseits die Installations- und Produktionskosten der entsprechenden Anlagen und damit des erzeugten Stroms mit ca. 10 Rappen pro kWh bisher relativ teuer war.

3.3.4 Pro und Kontra

Pro:

- Die Energiegewinnung durch Solarenergie ist frei von CO₂-Emissionen und wird somit eine ideale Stromgewinnungsmethode beim Erreichen unseres Netto-Null Ziels sein.
- In Zukunft wird die Schweizer Bevölkerung aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung immer mehr Strom benötigen. Diesen Anstieg unseres Stromverbrauchs könnte die Sonne als langfristige Energiequelle decken.

- Hohe Akzeptanz
- Wenig Landverbrauch, wenn Solarmodule auf Gebäuden installiert werden

Kontra:

- Solarstrom liefert in Abhängigkeit der Sonne keinen konstanten Leistungsbeitrag, da die Sonne nicht konstant Energie liefert. Man kann den Strom nur an sonnigen Tagen erzeugen. Die Sonneneinstrahlung variiert zwischen Sommer und Winter.

Solarstrom könnte u.a. geeignet sein, um den Umstieg auf Elektrofahrzeuge zu ermöglichen. Elektro-Fahrzeuge verfügen gezwungenermassen über einen grossen elektrischen Speicher. Das Aufladen dieser Batterien ist vielfach nicht zeitkritisch, weshalb Fahrzeuge, besonders im Personenverkehr, geeignete Verbraucher für Solarstrom sind.

3.4 Windkraft

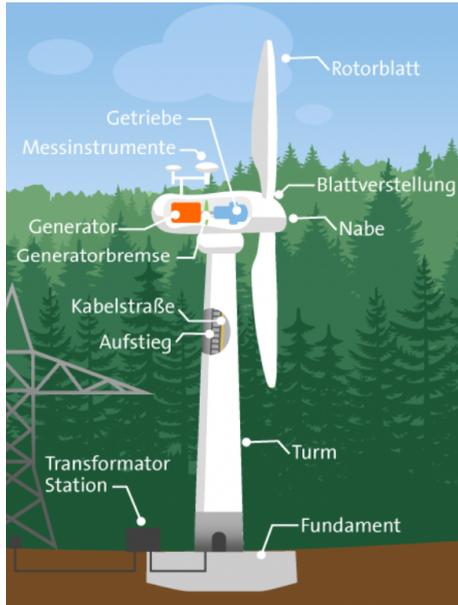
3.4.1 Funktionsweise eines Windrades

Mit Windrädern kann man die kinetische Kraft des Windes in Rotationsenergie umwandeln und daraus Strom erzeugen. Windräder fangen die kinetische Kraft mit Rotoren ein. Dabei strömt der Wind jedoch nicht einfach klassisch gegen die Fläche der Rotoren und führt so zur Rotation. Stattdessen verwendet man das Auftriebsprinzip, um den Wirkungsgrad der Windräder zu optimieren. Die Rotoren werden so angefertigt, dass der Wind nicht von den Rotoren eingefangen wird, sondern diese ungleichmässig umströmt. Auf der Oberseite strömt die Luft schneller vorbei als auf der Unterseite, so dass sich ein Druckunterschied bildet, welcher den Antrieb des Rotors verursacht.²⁴⁾

Meistens haben Windräder heutzutage nur drei Rotoren, da man so den höchsten Wirkungsgrad erzielt. Würde man weitere Rotoren hinzufügen, würden sich die von den Rotoren erzeugten Luftwirbel gegenseitig stören und so den Wirkungsgrad verringern.

Die Rotoren sorgen für die nötige Rotationskraft, solange Wind vorhanden ist. Da dieser aus verschiedenen Richtungen kommen kann, werden die Rotoren von einem Windrichtungsgeber per Signal, senkrecht zum Wind ausgerichtet, sodass am meisten Kraft erzeugt werden kann. Diese Kraft wird über eine Nabe von den Rotoren auf eine Achse übertragen. Diese Achse ragt in die sogenannte Gondel hinein, wo sich das Getriebe und der Generator befinden.

Abb. 3.8.: Aufbau eines Windrades

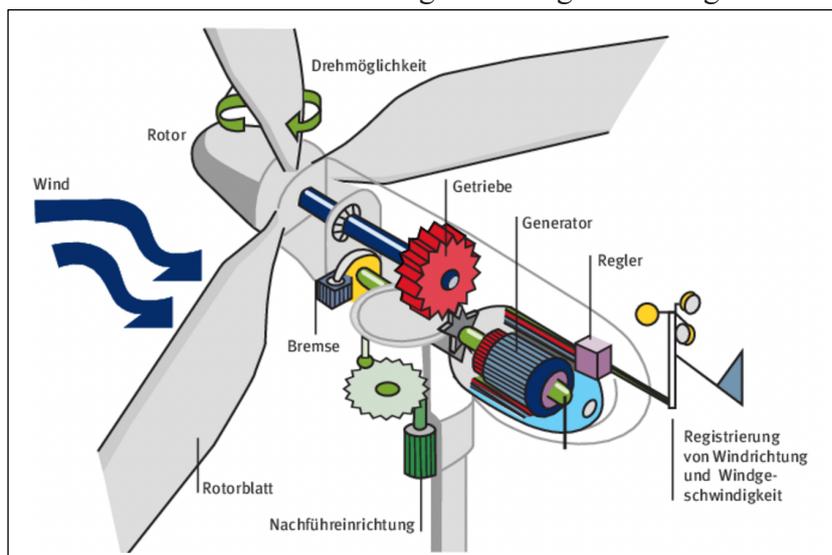


Quelle: [https://www.badenova.de/blog/funktionsweise-von-windkraftanlagen/\(November/2022\)](https://www.badenova.de/blog/funktionsweise-von-windkraftanlagen/(November/2022))

Die Achse, dreht mit einer langsamen Drehbewegung von ca. 6-20 Umdrehungen pro Minute und einem grossen Drehmoment. Der Generator, der diese Rotationsenergie in Strom umwandelt, leistet den höchsten Wirkungsgrad bei einer Drehzahl von idealerweise 900 bis 2000 Umdrehungen pro Minute und entsprechend geringerem Drehmoment.

Daher übersetzt ein Getriebe mittels Zahnräder verschiedener Grössen die langsame Drehgeschwindigkeit der Rotorachse in die schneller drehende Generator-Achse, welche den Generator antreibt. ²⁴⁾

Abb. 3.9.: Windrad: Übersetzung der Drehgeschwindigkeit auf den Generator



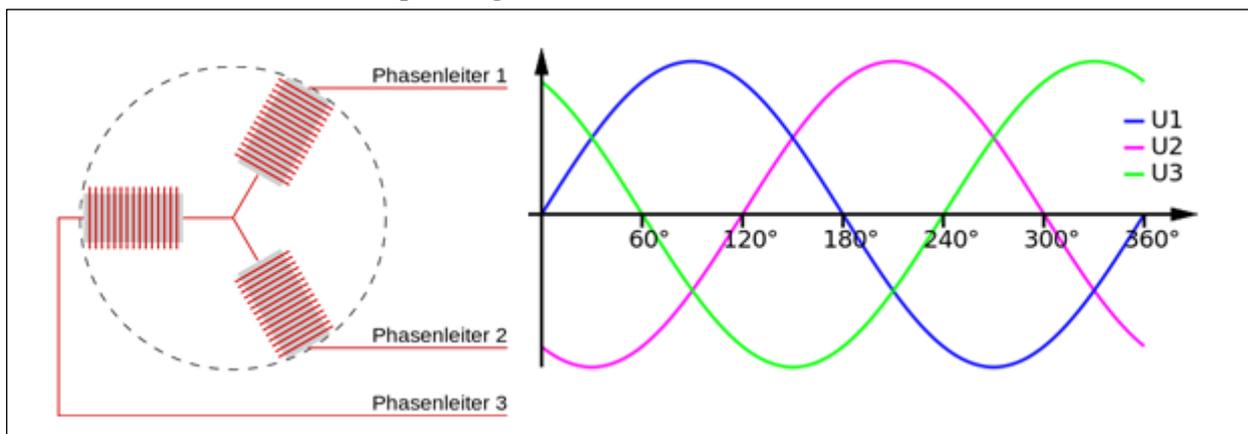
Quelle: Technik der Windkraft, www.weltdrphysik.de (November/2022)

Funktionsweise eines Generators:

Im Innern des Generators, auf der rotierenden Generator-Achse, befindet sich ein Magnet. Dieser Magnet hat wie alle Magnete einen Plus- und einen Minuspol. Um den Magnet herum werden Kupferdrähte, um Radspulen gewickelt. Sie bilden die Phasen. In den meisten Fällen baut man Generatoren mit drei Phasen, welche um je 120 Grad versetzt sind.

Wenn sich nun der Magnet durch die Kraft des Windrades zu drehen beginnt, entsteht ein Magnetisches Feld werden die Elektronen, die sich in den Kupferdrähten befinden vom Pluspol angezogen und vom Minuspol abgestossen. Durch dieses Auf- und Abwandern der Elektronen entsteht in jeder Phase ein Wechselstrom. Wechselstrom bedeutet, dass die Spannung zwischen zwei Polen von plus auf minus und wieder auf plus wechselt. Der Strom fließt also vor- und zurück. Durch die Erzeugung des Wechselstroms in einer Rotierenden Maschine wechselt die Spannung entlang einer Sinuskurve.

Abb. 3.10.: Schema eines Dreiphasengenerators



Quelle: https://kfz-aufgaben.de/hv/05_acdc_grundlagen.htm (November/2022)

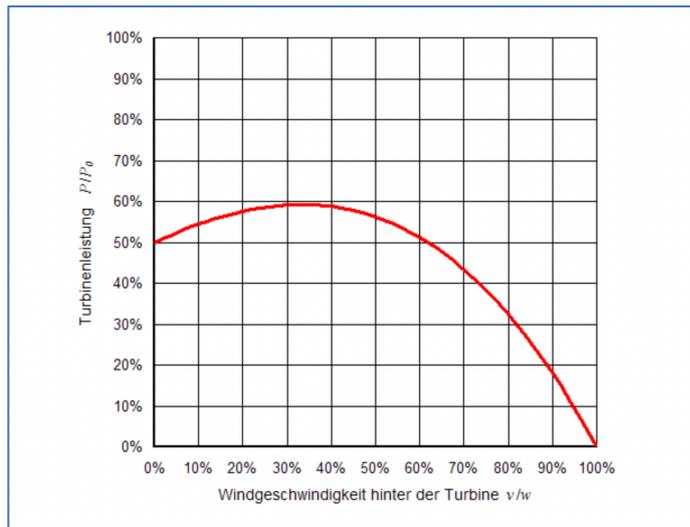
Das Strom-Netz in Europa wird mit Generatoren erzeugt, die mit genau 50 Umdrehungen pro Minute drehen. Daher wechselt die Polung des Wechselstroms in Europa mit 50Hz. (In den USA wird das Stromnetz mit 60Hz betrieben)

Wirkungsgrad von Windturbinen:

Der maximale Wirkungsgrad von Windturbinen ist bei 59.3% begrenzt. Die Begrenzung kommt daher, da bei der Energieabgabe die Strömungsgeschwindigkeit abnimmt. Die 59.3% entsprechen einem Optimum. Eine vollständige Energieentnahme würde bedeuten, dass die Luft stillsteht und ein Stau entsteht.

Es gilt das Betzsche Gesetz. Es besagt, dass der Wirkungsgrad vom Verhältnis der Windgeschwindigkeit vor und hinter dem Rotor abhängt. Der theoretische Wert von 59.3% wird nicht erreicht, aber Werte bis 50% sind realistisch. Die Anlagenteile, die dann die kinetische Energie in Strom umwandeln, führen dann zu weiteren Verlusten, was zu **Wirkungsgraden in der Praxis von etwas über 30%** führt.²⁵⁾

Abb. 3.11.: Windturbinenleistung – Gesetz von Betz



Quelle: <https://energie.ch/herleitung-der-windturbinenleistung-gesetz-von-betz/>

3.4.2 Verschiedene Arten von Windrädern

Es werden fast überall horizontale Windräder mit drei Rotoren verwendet. Sie sind die leistungseffizientesten Modelle.

Unter ihnen gibt es jedoch neben der oben beschriebenen Version verschiedene Bauformen. Ein häufig benutztes Modell ist das getriebelose Windrad. Es hat, wie der Name es schon verrät, kein Getriebe. Die rotierende Achse führt direkt zum Generator, ohne die Drehzahl vorher zu beschleunigen. Anhand von Ringgeneratoren, welche eine höhere Anzahl an Kupferdraht Wicklungen haben, kann man jedoch auch mit der kleinen Drehzahl, die von den Rotoren erzeugt wurde, 50 Hz Wechselstrom erzeugen.

Weitere Modelle sind senkrechte Windräder. Da ihre rotierende Achse senkrecht zum Boden steht, benötigen diese Windräder keine Gondel. Das Getriebe und der Generator sind hier auf dem Boden montiert. Neben der Gondel kann man bei senkrechten Windrädern ebenfalls auf einen Windrichtungsgeber verzichten, da die Rotoren zu rotieren beginnen, unabhängig von welcher Seite der Wind kommt.²⁴⁾

3.4.3 Heutige Ausgangslage

Wie die Solaranlagen spielen auch die Windkraftanlagen in der Schweiz zurzeit noch eine untergeordnete Rolle und werden nicht oft eingesetzt. Sie können aber in der Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

2019 haben Windkraftanlagen mit 526TJ nur ca. 0.2% des Schweizer Stromverbrauchs ausgemacht.

3.4.4 Pro und Kontra

Pro:

- Nahezu Emissionsfreier Strom

Kontra:

- liefert Strom nicht konstant, daher kein Beitrag zur Versorgung der Grundlast.
- Begrenzte Anzahl geeigneter Standorte
- Eingriff in die Landschaft und Natur
- Lärmemissionen und deshalb geringe Akzeptanz bei Anwohnern

Windenergieproduktion ist nicht planbar und nicht steuerbar und eignet sich deshalb nicht zur Stabilisierung des Netztes. Jedoch können sich Sonnenenergie und Windenergie gegenseitig recht ideal addieren. In der Regel steht mehr Windenergie zur Verfügung, wenn die Sonne nicht scheint und die Sonne scheint, wenn weniger Wind verfügbar ist. Windräder liefern zudem auch in der Nacht, emissionsfreien Strom.

Die Kombination beider Energieformen ist relevant für die Erreichung der Ziele 2050.

3.5 Geothermie, Wärmepumpen und Umweltwärme

Geothermische Energie ist in Form von Wärme gespeicherte Energie unter der Erdoberfläche. Ab 15 Meter Tiefe ist die Temperatur über das ganze Jahr konstant und pro Kilometer Tiefe nimmt die Temperatur um rund 30 Grad Celsius zu.

In 5'000 Meter Tiefe liegt die Temperatur bei rund 160 Grad Celsius. Bei Temperaturen über 100 Grad Celsius kann die Erdwärme auch für die Stromproduktion genutzt werden.

Umweltwärme ist oberflächennahe Geothermie, die in Wasser, Luft oder Erde gespeichert ist.²⁶⁾

3.5.1 Funktionsweise eines Geothermiekraftwerkes (tiefe Geothermie)

Die **Stromgewinnung durch tiefe Erdwärme** verläuft sehr ähnlich wie die Nuklearstromproduktion. Es wird kaltes Wasser durch ein Bohrloch in den Boden gepumpt, und wird durch die Erdwärme verdampft. Der Dampf steigt anschliessend wieder an die Erdoberfläche und bringt dort in dem Geothermiekraftwerk eine Dampfturbine zum Rotieren, sodass die im Wasser vorhandene Wärmeenergie zu kinetischer Energie umgewandelt wird. Diese Rotationsenergie, kann anschliessend gleich wie beim Windrad und dem Kernkraftwerk mit einem Generator zu Strom umgewandelt werden. Jedoch geht bei der Umwandlung von Wärme zu Strom, wie beim Nuklearkraftwerk viel Energie verloren, so dass man mit **einem Wirkungsgrad von 5-15%** rechnen muss. ²⁷⁾

3.5.2 Funktionsweise der mitteltiefen Geothermie

Die **Wärmeenergie, die man durch mitteltiefe Geothermie gewinnen** kann, kann direkt als Heizungsmittel verwendet werden. Hierzu wird weniger Wärmeenergie benötigt, da das Wasser nur erhitzt werden muss und nicht verdampfen. Das hat zur Folge, dass man auch weniger tief in den Boden bohren muss, um das Wasser auf die gewollte Temperatur zu bringen. Die Temperatur des Wassers bei mitteltiefer Geothermie beträgt rund 80 Grad Celsius, was genügen würde, um Fernwärmesysteme zu betreiben. Dies wäre eine Lösung den Haushalt direkt mit der Wärme aus mitteltiefer Geothermie zu versorgen. Da hierzu keine Energie umgeformt wird und nur Wärme weitergeleitet wird, ist ein **Wirkungsgrad von knapp 100% möglich.** ²⁸⁾

3.5.3 Funktionsweise der oberflächennahen Geothermie (Umweltwärme)

Oberflächennahe Geothermie wird, wie die mitteltiefe Geothermie, zur Gewinnung von thermischer Energie verwendet. Jedoch werden geringere Temperaturen benötigt, so dass ein paar Meter Tiefe genügen. Anschliessend wird mit dieser vom Boden entzogenen Wärme, mittels einer strombetriebenen Wärmepumpe, ein Kältemittel verdampft. Dieser Dampf wird anschliessend komprimiert, damit die Temperatur des Kältemittels unter Druck auf die gewünschte Nutztemperatur steigt. Die Wärme kann nun genutzt werden, damit kondensiert das Kältemittel wieder und kann erneut beim Verdampfer Wärme aufnehmen. Dieser Prozess wird wiederholt, braucht dabei jedoch Strom. Pro genutzter 100% Wärmeenergie werden 25% elektrische Energie benötigt.

3.5.4 Pro & Kontra

29)

Pro:

- Erneuerbare und energieeffiziente Art zu heizen.
- Liefert ohne Unterbruch Energie
- Geothermie wird in der Zukunft wahrscheinlich nicht für die Stromproduktion verwendet, jedoch ist es gut vorstellbar, dass Geothermie 2050 einen grossen Teil unseres Heizenergieverbrauchs ausmachen wird.

Kontra:

- Der tiefe Untergrund ist nicht genügend bekannt
- Der Grund, warum tiefe Geothermie bis jetzt noch nicht genutzt wird, sind hauptsächlich die zuvor gemachten Fehlversuche. Unter anderem das durch ein Geothermie-Projekt ausgelöste Erdbeben in Basel 2007.

3.6 Holz

Der Holzanteil am gesamten Endverbrauch beträgt 4.7%. Holz kann zum Heizen oder auch zur Stromerzeugung mit Abwärmenutzung eingesetzt werden. Die Erzeugung von Strom ist allerdings nur mit einem sehr tiefen Wirkungsgrad möglich, da Holz mit relativ tiefen Temperaturen brennt. Sinnvoll ist die Stromerzeugung nur in kleinen Units, wo die gesamte Abwärme direkt zum Heizen benutzt werden kann. Aktuell wird mit Holz rund 39'040TJ Energie zum Heizen und lediglich etwa 313GWh (=1'127TJ) Strom erzeugt.

Holz gehört zu den erneuerbaren Energieträgern und das Heizen mit Holz gilt als CO₂-neutral, da das CO₂, das bei der Verbrennung freigesetzt wird denselben Mengen an CO₂ entspricht, die der Baum im Verlaufe seiner Lebensdauer der Umwelt entzogen hat. Würde das Holz im Wald verrotten würde gleich viel freigesetzt werden, wie wenn Holz verbrannt wird. Die Umwelt wird pro Kilogramm mit Holz ersetztem Heizöl um mehr als 3 Kilogramm CO₂ entlastet.³⁰⁾

3.7 Biomasse

Biomasse macht ungefähr 1.76 % des Energieverbrauch in der Schweiz aus. Biomasse ist CO₂-neutral und kann sowohl für die Produktion von Strom, als auch Wärme oder Treibstoff

verwendet werden. Biomasse fasst grundsätzlich alle organischen Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft zusammen. Zu Biomasse gehören Altholz, feste Abfälle aus der Industrie und Haushalten, Mist von den Bauernhöfen und Bioabfälle aus der Gastronomie, Haushalten und der Lebensmittelindustrie. Biomasse wird entweder durch Verbrennung/Vergasung oder durch Vergärung verarbeitet. **Der Wirkungsgrad für die Stromproduktion liegt bei bis zu 30% und derjenige für thermische Energie bei 40-50%.** Um eine optimale Effizienz zu erreichen können beide Energien in Kraftwerken genutzt werden. Aktuell wird aus Biogas rund 372GWh (=1'339TJ) Strom produziert sowie etwa 1'890TJ Wärme. Industrieabfälle erzeugen heute etwa 11'670 TJ. ^{31) 32)}

3.8 Solarthermie

Solarthermie macht heute unbedeutende 0.8% des Energieverbrauchs aus. Solarthermie wird im Unterschied zur Photovoltaik nicht zur Erzeugung von Elektrizität verwendet, sondern nutzt direkt die Wärmeenergie. **Entsprechend liegt der Wirkungsgrad auch der Solarthermie gegenüber der Photovoltaik deutlich höher.**

Die Solarthermie wird in Haushalten zum Beispiel zur Erwärmung des Duschwassers, des Swimmingpools oder des Heizsystems genutzt.

Der mittlere Ertrag pro m² pro Jahr pro Anlage liegt bei 450kWh (vs. Photovoltaik 180kWh) Solarthermie wäre geeignet, um einen grossen Teil des Wärmebedarfs der Schweiz zu decken. Allerdings erzeugt Solarthermie vor allem im Sommer grosse Mengen Wärme, genau dann, wenn sie weniger gebraucht wird. Die Speicherung von Wärme ist mittels Wassertanks grundsätzlich gut möglich (Siehe Kapitel 3.1.3). Es sind die damit verbundenen Kosten die Solarthermie aktuell wenig attraktiv machen und entsprechend noch für wenig Verbreitung sorgen.³³⁾

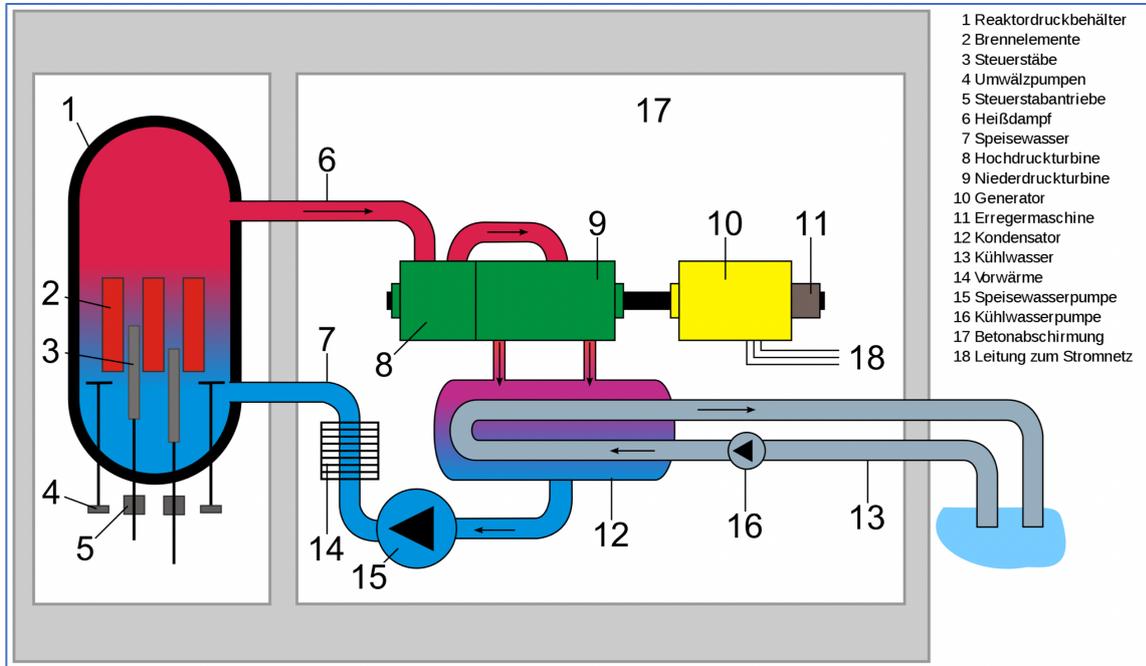
3.9 Fernwärme

Wenn die Wärmeerzeugung nicht am Ort des Verbrauchs erzeugt wird, spricht man von Fernwärme. Eine zentrale Anlage wie zum Beispiel eine Kehrriechverbrennungsanlage, Kläranlage oder industrielle Produktion, dient als Wärmequelle. Diese Wärme wird dann über ein Verteilnetz in Form von Wasser (80-130 Grad Celsius) an die Verbraucher verteilt. Nach dem Verbrauch (Wärmeabgabe) fliesst das abgekühlte Wasser über ein zweites Rohr zur Fernwärmezentrale zurück. ³⁴⁾

3.10 Nuklearkraft

3.10.1 Funktionsweise eines Kernkraftwerks

Abb. 3.12.: Schema eines Kernkraftwerks (Siedewasserreaktor)



Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boiling_water_reactor_german.svg#/media/File:Boiling_water_reactor_german.svg

Bei der Energiegewinnung in Atomkraftwerken, werden Brennstäbe, welche meistens aus Uranoxid bestehen, benutzt. Die Atom-Bindungsenergie dieser Uranoxydatomen wird in dem Kernreaktor durch kontrollierte Atomkernspaltung in Form von Wärme und radioaktiver Strahlung freigesetzt. Die radioaktiven Strahlen sind sehr gefährlich für Mensch und Tier, wenn sie in die Umwelt geraten würden. Deshalb hat es um den Kernreaktor herum einen Sicherheitsbehälter, welcher auch im Fall eines Störfalls verhindern soll, dass Strahlen in die Umwelt gelangen. Die freigesetzte Wärme-Energie wird genutzt, um in einem Boiler Wasser zu Dampf zu erhitzen. Der Wasserdampf erzeugt im Boiler Druck, der es erlaubt den Dampf mit hoher Geschwindigkeit durch eine Dampfleitung zu leiten. Damit wird thermische Energie in kinetische Energie umgewandelt. Der Dampf wird nun mit der Dampfleitung auf eine Dampfturbine geleitet. Die Dampfturbine wandelt die kinetische Energie in Rotations-Energie um. Die Turbine ist über eine Achse mit einem Generator verbunden. Der Generator wandelt die Rotationsenergie in Strom um, welcher nun für Verbraucher zur Verfügung steht. Die Turbine entzieht dem Dampf also Energie. Die Energie nämlich, welche die Turbine in Rotations-Energie umwandelt. Damit kühlt sich der Dampf ab.

Damit der Dampf wieder zurück in den Boiler geleitet werden kann, muss ihm im Kondensator noch die Restwärme, welche sich nicht in Rotations-Energie umwandeln lässt, entzogen werden.

Im Kondensator kondensiert der Dampf wieder zu Wasser. Die Kondensation, lässt den Dampf zu Wasser und damit zu sehr kleinem Volumen kollabieren. So wird der Unterdruck hinter der Turbine erzeugt, die das Nachströmen des heissen Dampfs auf die Turbine mit enormer Geschwindigkeit ermöglicht.

Das kondensierte Wasser wird nun wieder zurück in den Boiler geleitet.

Im Boiler wird dem rückgeführten Wasser erneut Wärme-Energie zugeführt und in Form von Dampf in Bewegungsenergie umgewandelt.

Ein Kernkraftwerk ist eine Wärmekraftkopplungs-Maschine die thermische Energie zu mechanischer Arbeit umgewandelt.³⁵⁾

Wirkungsgrad von Nuklearkraftwerken:

Die grösstmögliche Menge an erzeugtem Strom lässt sich durch die Höchsttemperaturen T_h und Tiefsttemperaturen T_k des Wassers bestimmen. Der höchste thermisch mögliche Wirkungsgrad bei Wärmekopplungen wird als Carnot-Wirkungsgrad beschrieben ¹⁵⁾:

$$\eta_c = \frac{T_h - T_k}{T_h} = 1 - \frac{T_k}{T_h}$$

η_c = Carnot Wirkungsgrad in %

T_h = Höchsttemperatur in Kelvin

T_k = Tiefsttemperatur in Kelvin

Je höher die Höchsttemperatur T_h und je tiefer die Tiefsttemperatur T_k des Wassers im Reaktorinnern ist, desto höher ist der Wirkungsgrad des Kraftwerks.

Die zu erwartende Höchsttemperatur bei Kernkraftwerken vom Typ Druckwasserreaktor, wie es in der Schweiz meistens vorzufinden ist, liegt bei etwa 593 Kelvin (320 °C) und wird auf eine Tiefsttemperatur von circa 298 Kelvin (25°C) abgekühlt.

$$\eta_c = 1 - \frac{298\text{K}}{593\text{K}} = 0.49747049 \Rightarrow \underline{49.75\%}$$

Somit würde der Carnot-Wirkungsgrad η_c bei 49.75% liegen. Dies entspricht in der Praxis jedoch nicht dem Wirkungsgrad des Atomkraftwerks, weil die verschiedenen

Komponenten (Reaktor, Turbinen, Generator, usw.) des Kernkraftwerks, nicht ideal funktionieren und den theoretischen Wirkungsgrad nach Carnot, jeweils in der Realität verunmöglichen. Der reale Wirkungsgrad eines Atomkraftwerks liegt heute bei ca. 35%. Nuklearkraftwerke könnten daher gewaltige Mengen an Wärme in ein Fernwärme Netz abgeben. Fernwärmenetze sind in der Schweiz aber wenig ausgebaut, daher wird in der Regel die gesamte Abwärme eines Nuklearkraftwerkes in der Schweiz in einem Kühlturm oder in einem Fluss an die Umwelt abgegeben.

3.10.2 Verschiedene Arten von Nuklearkraftwerken

Mittlerweile gibt es verschiedene Varianten aus Bindungsenergie Strom herzustellen. In der Schweiz verwenden wir nur 2 Arten von Kernkraftwerken.

3 von den 4 in der Schweiz aktiven Atomkraftwerken sind Druckwasserreaktoren, welche mit zwei voneinander getrennten Zyklen Strom erzeugen. Der erste Zyklus sorgt für die Erhitzung des Wassers durch die freigegebene Energie der Brennstäbe. Der zweite Zyklus besteht anschliessend aus Dampfturbinen, dem Generator und einem Kondensator. Durch die Trennung der beiden Zyklen bleibt der zweite Zyklus fern von jeglichen radioaktiven Stoffen. Dies bildet einen Vorteil gegenüber dem Siedewasserreaktor, von welchem in der Schweiz nur einer in Betrieb ist. Ein Siedewasserreaktor funktioniert mit einem einzigen Kreislauf, sprich Vorrichtungen des Wasser Dampfkreislaufes, wie die Turbinen, Kondensator etc. sind radioaktiv belastet.^{36) 37)}

3.10.3 Heutige Ausgangslage

Wie bereits erwähnt sind in der Schweiz aktuell vier Kernkraftwerke in Betrieb. **2019 machten sie 35.2% der schweizerischen Stromerzeugung aus. Dies entspricht einem Wert von 25'280 GWh (91'008TJ).** Somit macht Kernenergie momentan immer noch einen grossen Teil der Grundlast unseres Stromnetzes aus, was sich in Zukunft jedoch ändern soll, da die Schweiz 2011 den Atomausstieg beschlossen hat und der Verbrauch an elektrischem Strom durch die Dekarbonisierungsziele 2050 zunehmen wird.

3.10.4 Pro & Kontra

Pro:

- Sehr geringe CO₂-Emission
- Stromgewinnung durch Nuklearkraftwerke ist zwar nicht erneuerbar, jedoch ist nach heutigen Meinungen Uran in enormen Mengen verfügbar und wegen der enormen Energiedichte wird auch nur wenig Materie benötigt, um Kraftwerke zu betreiben. Brennstäbe bleiben bis zu 7 Jahren im Kernreaktor.
- Nuklearkraftwerke erzeugen planbar, konstant gleich viel Strom und sind deshalb ideal, um die Grundlast zu decken und ein Stromnetz zu stabilisieren.

Kontra:

- Kernkraftwerke haben zwar sehr geringe CO₂-Emissionen, werden aber von Umweltaktivisten trotzdem kritisiert. Dies liegt an der Entsorgung der radioaktiven Abfälle, die sich bei der Stromgewinnung bilden.
- Enorme, nicht versicherbare und langanhaltende Schäden im Falle eines Reaktorunfalls (Bp. Tschernobyl, Fukushima)
- Kernkraftwerke sind ausschliesslich für die Erbringung der Grundlast geeignet nicht aber um Lastspitzen zu bedienen.
- Die Entsorgung von ausgedienten Nuklearkraftwerken ist im Vergleich zu anderen thermischen Kraftwerken mit sehr grossen Kosten verbunden, da der Abbau und die Entsorgung der radioaktiv belasteten Bereiche aufwendig ist.

3.11 Fossile Brennstoffe

Rund zwei Drittel des Energiebedarfs 2019 wird mit fossilen Brennstoffen gedeckt. Fossile Brennstoffe sind Gemische aus Kohlenwasserstoffen. Die häufigsten Energieträger sind Erdöl, Erdgas und Kohle. Sie sind heute unsere Hauptenergieversorger, vor allem, was den Verkehr und die Wärmeerzeugung angehen. Grund für die grosse Nachfrage ist die enorme Energiedichte, die einfache Förderung und Logistik zur Verteilung zum Verbraucher, sowie die tiefen Kosten.

Da fossile Brennstoffe jedoch bei der Verbrennung CO₂ Emissionen verursachen und nicht erneuerbare Energieträger sind, ist es für die Zukunft sehr relevant deren Anteil an der Energieversorgung massiv zu senken. ³⁸⁾

3.11.1 Gas- und Ölkraftwerke

In einem Gas- oder Ölkraftwerk wird verdichtete Luft mit flüssigen oder gasförmigen Treibstoffen (vor allem Erdgas) vermischt und dann verbrannt. Dabei entsteht 1'250 °C heisses Gas. In einem angeschlossenen Turbinenteil wird die thermische Energie in kinetische Energie umgewandelt und ein Generator erzeugt anschliessend elektrische Energie. Die Austrittswärme einer Gasturbine liegt bei ca. 590 °C. ³⁹⁾

Zur Berechnung des Wirkungsgrads kommt erneut der Carnot Zusammenhang zur Anwendung.

$$\eta_c = \frac{T_h - T_k}{T_h} = 1 - \frac{T_k}{T_h}$$

η_c = Carnot Wirkungsgrad in %

T_h = Höchsttemperatur in Kelvin (Eintrittstemperatur = 1250°C = 1523K)

T_k = Tiefsttemperatur in Kelvin (Austrittstemperatur = 590°C = 863K)

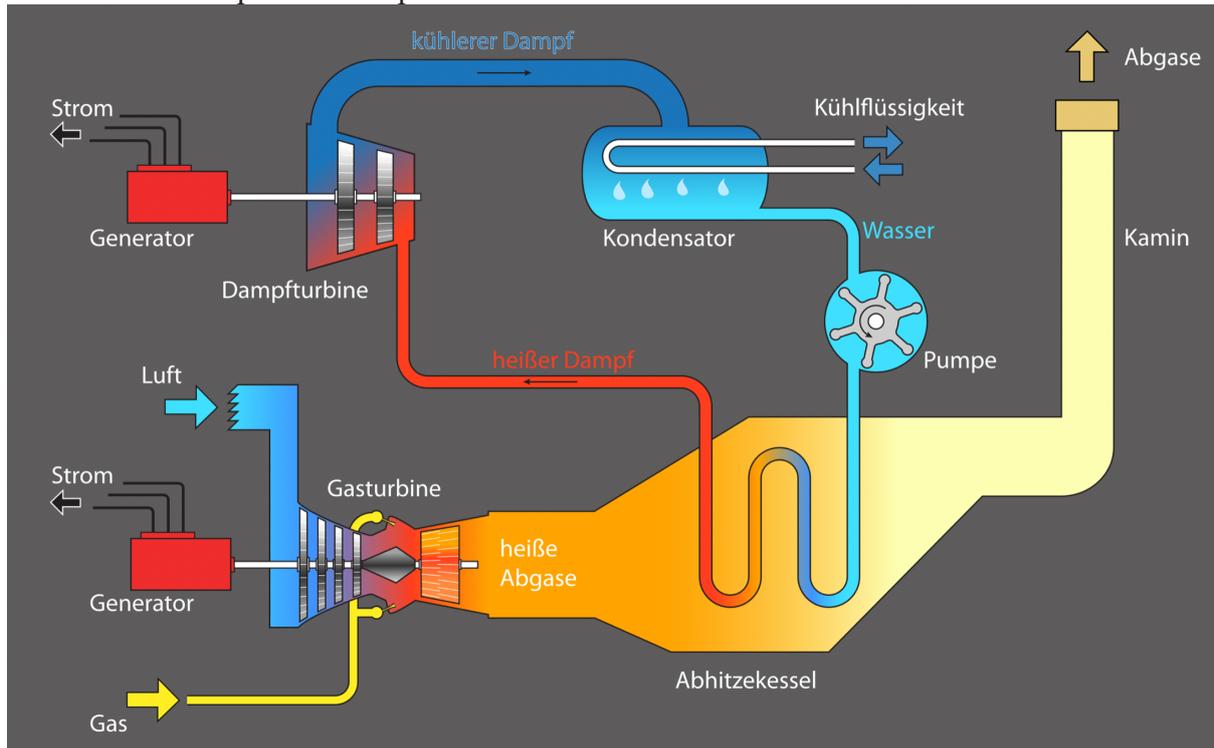
$$\eta_c = 1 - (1073K/1523K) = 43\%$$

In der Praxis liegt der Wirkungsgrad mit den heute möglichen Turbinen bei knapp unter 40%. ³⁹⁾

3.11.2 Kombikraftwerke

Besonders effizient wird der fossile Brennstoff genutzt, wenn bei einem Gaskraftwerk die bei der Verbrennung entstehende Abwärme zusätzlich zur Stromerzeugung genutzt wird. Die im Treibstoff gespeicherte Energie wird dabei zweifach genutzt. Die Verbrennungswärme nach der Gasturbine verdampft Wasser und dieser Wasserdampf treibt eine Dampfturbine an. Diese wiederum ist mit einem Generator gekoppelt, der Strom erzeugt. Die Kombination eines **Gas- und Dampf Kombikraftwerk kann eine hohe Effizienz von bis zu 60%** erreichen. ⁴⁰⁾

Abb. 3.13.: Prinzip eines Dampf- und Kombikraftwerks



Quelle: Wikipedia

3.11.3 Diesel- & Benzingenerator

Diesलगенерatoren können Wirkungsgrade von 25-40% erreichen. Die Wirkungsgrade von Automotoren liegen tiefer, eher bei 20%, Im Stadtverkehr kann der Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors auf bis zu 5% absinken. Mit Hybridmotoren versucht man dies zu optimieren. Sobald der Verbrennungsmotor droht in einem unwirtschaftlichen Leistungsbereich zu arbeiten, wird er abgeschaltet und der Elektromotor übernimmt. Ein Elektromotor in einem Hybridfahrzeug hat zudem den Vorteil, dass er Bremsenergie in Strom umwandeln kann und so in die Batterie zurückspeisen kann. ⁴¹⁾

4. Zusammenfassung der Energiegewinnungsverfahren

Tabelle 4.1.: Zusammenfassung der verschiedenen Energieerzeugungsverfahren

Erneuerbare Energieträger	Pro	Kontra	Wirkungsgrad
Stromerzeugung			
Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen > Band- und Spitzenlast > Gute Energiespeicher > Sehr lange Lebensdauer > Topographie der Schweiz ideal 	<ul style="list-style-type: none"> > Eingriff in Natur (Landverbrauch) > Weiterer Ausbau beschränkt > Saisonale Schwankungen 	80-90%
Solar/Photovoltaik	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen > Wenig Landverbrauch (auf Gebäude) > Einfacher Zugang (nur am Tag/Sonne) > Hohe Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> > Schwankungen > Speicherung (Herausforderung) 	14-22%
Windenergie	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> > Eingriff in Natur (Landverbrauch) > Lärm > Schwankungen > Anzahl guter Standorte beschränkt 	30-50%
Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen > Liefert ununterbrochen Energie 	<ul style="list-style-type: none"> > tiefer Untergrund nicht genügend bekannt > Fehlversuche (Erdbeben Basel 2007) 	5-15%
Biomasse/Biogas	<ul style="list-style-type: none"> > CO₂ neutral > Kann für Grundlast genutzt werden > kann auch Wärme produzieren, Kombination mit Nutzung der Abwärme erreicht höhere Wirkungsgrade 	<ul style="list-style-type: none"> > grossflächiger Anbau notwendig 	10-30%
Wärmeerzeugung			
Geothermie/ Wärmepumpe/ Umweltwärme	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen > Liefert ununterbrochen Energie > Lokal und braucht wenig Platz 	<ul style="list-style-type: none"> > Macht nur Wärme, kein Strom 	Bis zu 100%
Holz	<ul style="list-style-type: none"> > CO₂ neutral > meist regionale Herkunft, kein Verbrauch von grauer Energie / Transport etc. 	<ul style="list-style-type: none"> > Lagerung braucht viel Platz > Nur bei angemessener Nutzung reichen die lokalen Vorräte (Wald) 	> 90%
Biomasse/Biogas	<ul style="list-style-type: none"> > CO₂ neutral > kann auch Strom produzieren 	<ul style="list-style-type: none"> > grossflächiger Anbau notwendig 	40-50%
Solarthermie	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen > lokale Verfügbarkeit > Besserer Wirkungsgrad als Photovoltaik 	<ul style="list-style-type: none"> > Produziert im Sommer mehr Wärme, wenn man es weniger braucht > Tank für Speicherung notwendig 	30-60%
Fernwärme	<ul style="list-style-type: none"> > Keine CO₂ Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> > Netz notwendig, Infrastruktur 	Abhängig von Quelle, meist wird Abwärme genutzt

Nicht erneuerbare Energieträger	Pro	Kontra	Wirkungsgrad
Stromerzeugung			
Nuklearkraft	> Tiefe CO ₂ Emissionen > Stabile Grundlast	> Radioaktive Abfälle > Bei Unfall grosse Schäden	35-40%
Fossile Brennstoffe:			
Gas- oder Ölkraftwerk	> Einfache Logistik > Öl und Gas: Einfache Förderung > Kleine Leistungseinheiten möglich > kurzfristig zuschaltbar (Peaker) > Günstige Energiegewinnung	> CO ₂ Emissionen	< 40%
Kombikraftwerk	> Hoher Wirkungsgrad > Einfache Logistik > Öl und Gas: Einfache Förderung > Günstige Energiegewinnung	> CO ₂ Emissionen > Nur für grosse Kraftwerke geeignet > Nur für Bandenergie geeignet	ca. 60%
Dieselgeneratoren	> Kleine Leistungseinheiten möglich > kurzfristig zuschaltbar (Peaker) > Günstige Energiegewinnung	> CO ₂ Emissionen > Tiefer Wirkungsgrad	25-40%
Verkehr			
Treibstoffe/ Benzin- u. Dieselmotoren	> Kleine Leistungseinheiten möglich > Günstige Energiegewinnung	> CO ₂ Emissionen > Tiefer Wirkungsgrad	5-20%
Wärmeerzeugung			
Fossile Brennstoffe	> Viel Wärmeerzeugung auf kleinstem Volumen > Hohe Energiedichte > Öl und Gas: Einfache Förderung > Einfache Logistik	> CO ₂ Emissionen	100%
Abwärme	> Nutzung der Abwärme von thermischen Stromerzeugern, dadurch Erhöhung der Energieeffizienz (Wirkungsgrad)	> Wärme entsteht der thermischen Stromerzeugern, muss transportiert und/oder gespeichert werden.	N.A.

Quelle: Informationen aus dem Kapitel 3

5. Energiemix für 3 Szenarien im 2050

Wie in der Einleitung und unter Kapitel 2.2 beschrieben, hat der Bundesrat für 2050 das Ziel beschlossen für die Schweiz CO₂-Neutralität zu erreichen. Mit den folgenden Massnahmen soll dies erreicht werden:

- Ausbau erneuerbarer Energien
- Pro-Kopf-Energie-Verbrauch bis 2035 um 43% (vs. 2000) senken
- Ausstieg aus dem Atomstrom

Wie eingangs erwähnt, beleuchtet diese Maturarbeit eine rein physikalische Betrachtungsweise, um diese Ziele zu erreichen. Politische Interessen oder Hürden werden nicht berücksichtigt.

In den folgenden Kapiteln wird ein Energiemix für drei Szenarien im Jahr 2050 entwickelt. Dabei wird in 2 Szenarien aufgezeigt, wie der Energiebedarf im Jahr 2050 aussehen könnte und mit welchem Energiemix dieser Energiebedarf mit erneuerbaren Energieformen sichergestellt werden könnte. Ein drittes Szenario fokussiert auf einer Annahme, dass der Atomausstieg bis 2050 nicht gelingt.

5.1 Energieverbrauch 2050 – 3 Szenarien

Um einen erstrebenswerten Energiemix aufzustellen, werden Annahmen getroffen, wie der Schweizer Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2050 aussehen könnte. Dieser Gesamtverbrauch ist von verschiedenen Parametern abhängig, welche sich alle unterschiedlich entwickeln könnten. Aufgrund dieser Variablen wurden verschiedene Szenarien und Perspektiven für das Jahr 2050 aufgestellt. Wenn man beispielsweise davon ausgeht, dass sich die Bevölkerungszahl in der Schweiz in den nächsten 30 Jahren im gleichen Masse wie in den letzten 30 Jahren entwickelt, ist mit einem grösseren Energieverbrauch zu rechnen, als wenn man davon ausgeht, dass das Wachstum abflachen wird. Ebenso hat der Energieverbrauch pro Person einen erheblichen Einfluss.

Die Bevölkerung in der Schweiz zählte im Jahr 1994 7 Millionen Menschen. 29 Jahre später im Jahre 2022 hat sich diese Zahl um 25% auf 8.75 Millionen Menschen erhöht. Gehen wir

von einem linearen Wachstum in die Zukunft aus, beträgt die Bevölkerung im 2050, nach weiteren 29 Jahren, 10.5 Millionen Menschen.

Gemäss den Prognosen des Bundesamtes für Statistik wird die Bevölkerung der Schweiz im Jahre 2050 zwischen 9.5Mio und 11.3Mio liegen. Das offizielle Referenzszenario des Bundesamts für Statistik geht von 10.441Mio aus.

Ich habe mich daher entschlossen in allen drei Szenarien von meinem linear berechneten Szenario mit 10.5Mio Menschen im Jahr 2050 auszugehen.

Szenario 1: Erreichen aller Vorgaben des Bundesrates.

Mein Szenario 1 geht davon aus, dass der Pro-Kopf-Verbrauch tatsächlich um 43% gegenüber dem Jahr 2000 gesenkt werden kann (analog dem Ziel des Bundesrates bis im 2035).

Im Jahr 2000 betrug der Pro-Kopf-Verbrauch 31.62MWh. Eine Abnahme von 43% bedeutet daher eine Reduktion um 13.6MWh auf ein pro Kopf Verbrauch von **18.02MWh** (pro Kopf Verbrauch im 2050).

Der Gesamtenergieverbrauch beträgt in diesem Szenario im Jahr 2050 damit 682'204 Terajoule. Dies käme einer Abnahme um 146'383TJ gegenüber dem Jahr 2019 (828'587 TJ) gleich.

Szenario 2: Nicht erreichen der Reduktion des pro-Kopf Energieverbrauchs.

Auch das Szenario 2 geht von einem linearen Bevölkerungswachstum aus und damit von 10.5 Millionen Menschen im Jahr 2050.

Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der Pro-Kopf-Energieverbrauch bis 2050 um gleich viel abnimmt, wie er es von 1994 bis jetzt getan hatte. 1994 lag der pro Kopf Verbrauch bei 31.29 MWh. Im Jahr 2019 reduzierte sich der Pro-Kopf-Verbrauch um 4.43MWh auf 27MWh pro Kopf und Jahr. Erreichen wir bis 2050 erneut eine Reduktion um 4.43MWh, läge der Pro-Kopf-Verbrauch im Jahr 2050 bei **22.43 MWh**.

Dieses Szenario würde bedeuten, dass man einen Energieverbrauch von **849'559 TJ** versorgen müsste. Ich möchte jedoch zeigen, ob es unter diesen Voraussetzungen trotzdem möglich sein kann, die angestrebte CO₂ Neutralität der Schweiz bis 2050 zu erreichen.

Szenario 3: Nuklearausstieg wird verfehlt. Pro-Kopf Energieverbrauch bleibt konstant.

Die Schweizer Bevölkerung im Jahr 2050 beträgt auch in diesem Szenario 10.5 Millionen Menschen. Aufgrund der kritischen Hinweise aus den Interviews mit Experten (siehe Anhang 8.2) und aufgrund der skeptischen Einschätzungen von Forschern⁴²⁾ wird bei diesem dritten Szenario davon ausgegangen, dass der Atomausstieg bis im Jahr 2050 nicht gelingt. Die heute in Betrieb stehenden Atomkraftwerke werden restauriert und leisten wie bereits heute ca. 90'000TJ. In diesem Szenario gehe ich zudem davon aus, dass der heutige Pro-Kopf-Verbrauch von 27 MWh nicht sehr viel weiter reduziert werden kann. Die steigenden Anforderungen z.B. im Sommer mehr Wohn- und Gewerberäume zu kühlen ist mit Grund für eine solche pessimistischere Annahme. Der Gesamtenergieverbrauch steigt in meine Szenario 3 damit bis ins Jahr 2050 auf **1'022'738 TJ**. In diesem Szenario möchte ich berechnen, was es heisst das angestrebte Ziel der CO₂ Neutralität zu erreichen, jedoch unter Verfehlung des Ziels vom Ausstieg aus der Nuklearenergie.

Tabelle 5.1.: Szenarien (mit Parametern) als Grundlage für Energiemix im 2050

Szenarien	Bevölkerung	Energieverbrauch	Atomausstieg
Heute (2019)	8.57Mio	828'587TJ (Verbrauch/Kopf 27 MWh)	
Szenario 1	10.5Mio	682'204 TJ (Verbrauch/ Kopf 18.02 MWh)	Ja
Szenario 2	10.5Mio	849'559 TJ (Verbrauch/ Kopf 22.43MWh)	Ja
Szenario 3	10.5Mio	1'022'738 TJ (Verbrauch/Kopf 27 MWh)	Nein

> Alle drei Szenarien haben zum Ziel im 2050 CO₂-Neutralität zu erreichen.

5.2 Arbeitsmodell zur Berechnung der drei Szenarien

Um diese drei Szenarien zu modellieren, habe ich die Energie-Verbrauchsdaten aus der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2019 des BFE seit 1994 bis 2019 in eine Excel-Tabelle übertragen und analysiert. Dieses Daten-Modell erlaubt nun die Zielvorgaben gemäss den drei Szenarien als Zielwerte einzugeben. Das Modell errechnet die nun daraus resultierenden, notwendigen Veränderungen in der Energieerzeugung, von nicht erneuerbaren hin zu erneuerbaren Energieformen.

Die Logik dieses Daten-Modells (Anhang 8.1) ist im nachfolgenden Diagramm (Abb 5.1) bildlich dargestellt.

- Zuoberst wird der heutige (2019) Energieverbrauch (siehe auch Tabelle 2.1 und Abb. 2.4) aufgezeigt, der aus 25% Strom, 36% Treibstoff und 39% Thermie besteht, und total 828'571TJ beträgt. Dieser Betrag weicht leicht (0.7%) von den 834'210TJ ab, die in der Einleitung unter Kapitel 2 erwähnt wurde, weil ich die Erdölprodukte in der Exceltabelle anhand der verschiedenen Brennwerte in TJ umgerechnet habe und diese nicht die exakt gleichen Werte ergaben wie in der Gesamtenergiestatistik des BFE.
- Gleichzeitig wurde berechnet und oben in der zweiten Zeile in der Abb. 5.1 abgebildet, dass der Energieverbrauch im Jahr 2050 1'022'738TJ betragen würde, wenn der Pro-Kopf-Verbrauch stagniert (vs. 2019).
- In der dritten Reihe sind in schwarzer und grüner Farbe die verschiedenen Energieträger und deren Anteil heute abgebildet. Schwarze Symbole stehen für nicht erneuerbar, grüne Symbole für erneuerbar. Die schwarzen, nicht erneuerbaren Energieträger müssen durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden.
- Nachfolgend wird über die technischen Verschiebungen nach unten dargestellt, was passieren muss, um bis im Jahr 2050 auf einen Verbrauchsmix zu gelangen, der die Ziele erreicht.
- Physikalische Zusammenhänge und von mir gemachte Annahmen sind mit den braunen Ziffern 1-8 hervorgehoben und in den nachfolgenden Kapiteln 5.3.-5.5. (für Szenario 1– 3) speziell erklärt.
- Das Arbeitsmodell (Abb. 5.1) zeigt dabei die errechneten Daten für das Szenario 1. Die Berechnungen habe ich im dafür entwickelten Daten-Modell (Excel-Tabelle im Anhang) durchgeführt.
- Rechts unten in der Abbildung findet sich das Energieverbrauchstotal für das Jahr 2050 und die entsprechenden Energieträger-Anteile in derselben Zeile links davon.

Abb. 5.2: Legende der Symbole zur Abb.5.1

	Thermische Energie		Fernwärme		Diagramm
	Treibstoff		Industrielle Abfälle		Erneuerbar
	Strom		Solarthermie		Nicht Erneuerbar
	Thermische Kraftwerke		Biogas		
	Nuklear Kraftwerke		Holz		
	Wasserkraftwerke		Geothermie		
	Solarstrom		Methanspeicherung		
	Windkraftanlagen		Wasserstoffspeicherung		
	Restlicher Strom		Auto-Batterien Speicherung		
	Benzin & Diesel		Pumpspeicher		
	Flugverkehr		Stromverluste		
	Biogener Treibstoff		Einsparung durch Energieeffizienz		
	Fossile Brennstoffe		Physikalischer Zusammenhang		
	Umweltwärme		Summe		

Um vollständig auf erneuerbare Energieformen umzusteigen, müssten idealerweise folgende Energieträger vollständig ersetzt werden:

Bei der Stromerzeugung:

- Thermische Kraftwerke
- Nuklear Kraftwerke

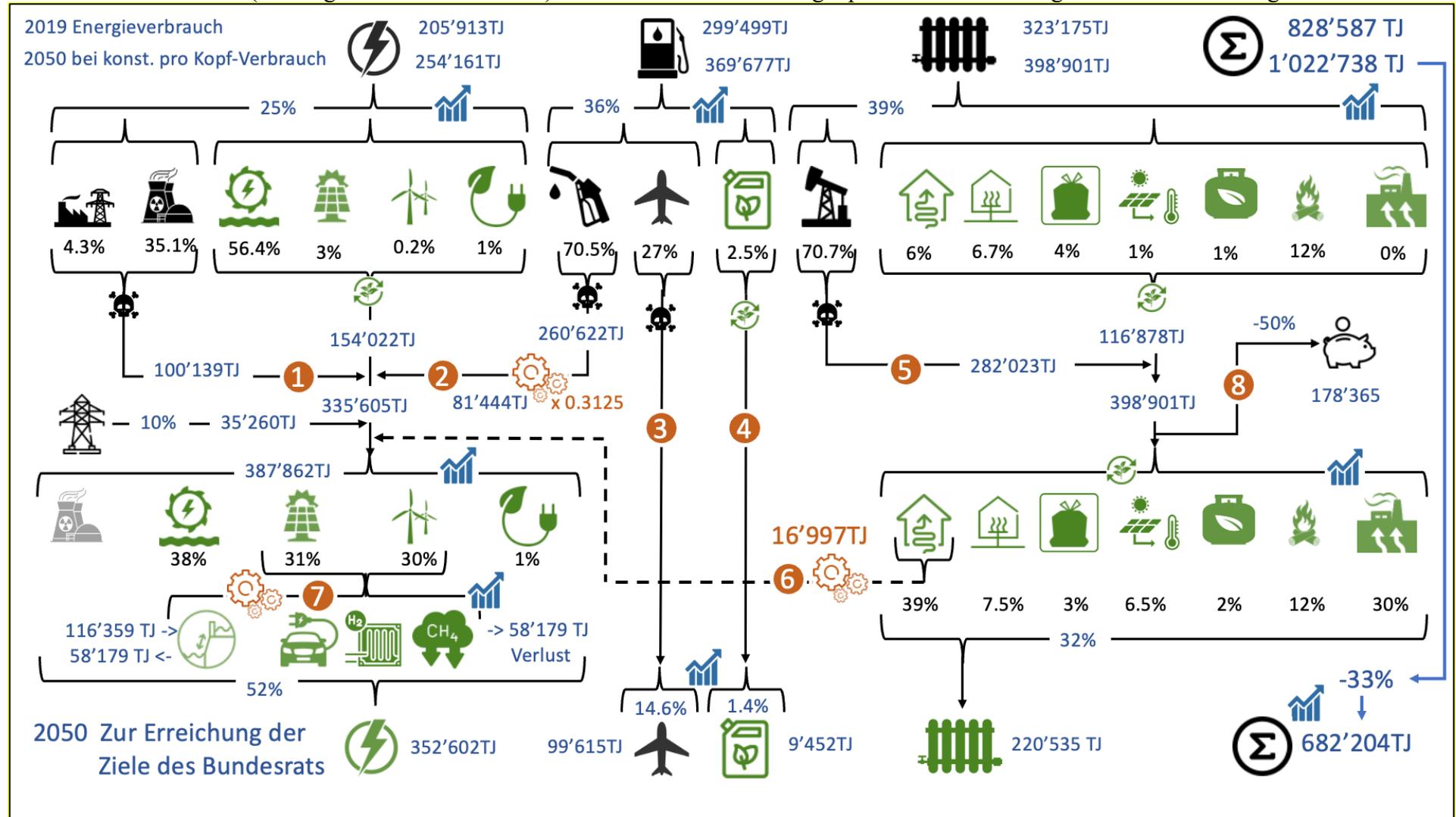
Verkehr:

- Benzin & Diesel
- Treibstoff für Flugverkehr

Thermie/Wärme:

- Fossile Brennstoffe

Abb. 5.1: Arbeitsmodell (hier abgebildet für Szenario 1) - Transformation der Energiequellen zur Erreichung der Dekarbonisierungsziele 2050



5.3 Szenario 1

Tabelle 5.2: Szenario 1 für das Jahr 2050

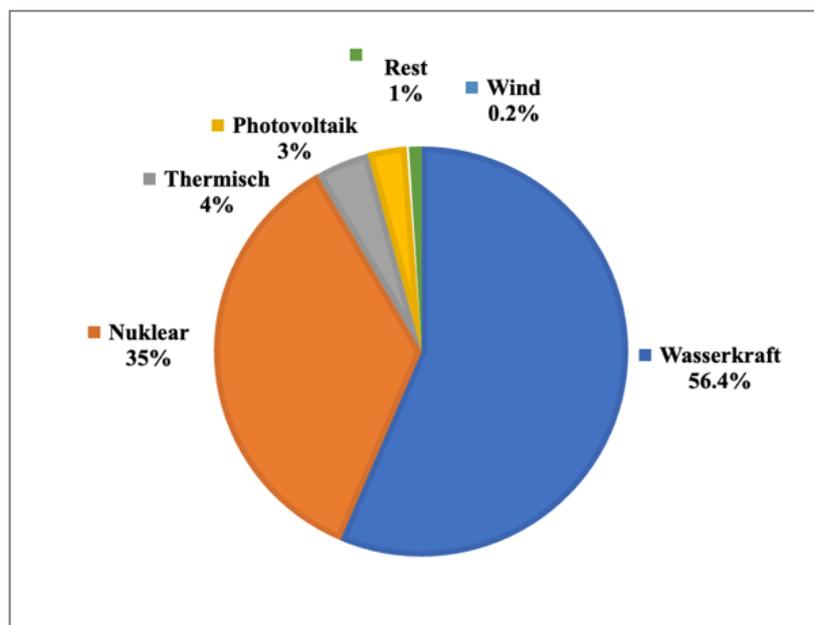
Szenario	Bevölkerung	Energieverbrauch	Atomausstieg
Szenario 1	10.5Mio	682'204 TJ Verbrauch/Kopf 18.02MWh (-43% vs. 2000)	Ja

Es resultiert ein Gesamtverbrauch von **682'204 TJ** (Terra Joule) pro Jahr für die Schweiz im Jahr 2050.

5.3.1 Stromerzeugung 1

Um 100% erneuerbaren Strom zu erzeugen, müssen Nuklearstrom und thermische Kraftwerke mit erneuerbaren Stromherstellungsverfahren ersetzt werden. Heute decken Nuklear- und thermische Kraftwerke 39% des Strombedarfs oder insgesamt 81'137TJ.

Abb. 5.3: Strommix 2019



Falls der Energiemix im Verbrauch prozentual gleichbleiben würde und dieser Anteil im Jahr 2050 noch immer 39% des Strommix' ausmachen würde, bedeutet dies, dass wir **100'139 TJ** verbrauchen werden, die durch thermische und nukleare Anlagen erzeugt würden. Das bedeutet, 100'139 TJ müssen im Jahr 2050 durch andere, nachhaltige Stromherstellungsverfahren zusätzlich erzeugt werden.

5.3.2 Elektrifizierung des Verkehrs

2

Um die Dekarbonisierungsziele zu erreichen, spielt die Elektrifizierung des Verkehrs eine sehr grosse Rolle, meinen Experten. (Anhang 8.2). Dies schliesst mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge mit ein, da Wasserstoff ebenfalls mit Strom erzeugt wird.

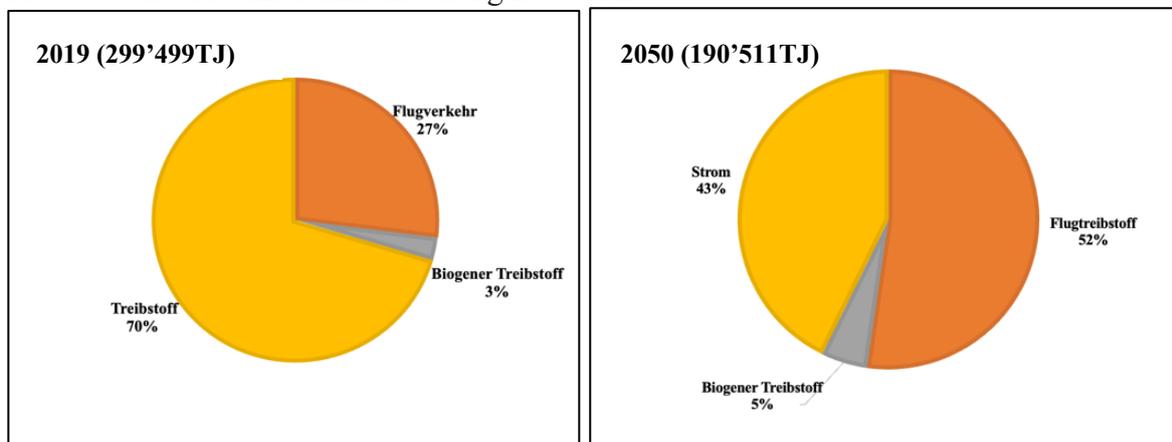
Heute macht der Verkehr rund 36% (mit elektrischen Fahrzeugen 37.7%) des gesamten Energieverbrauchs aus und basiert praktisch zu 100% auf fossilen Energieträgern (Benzin und Diesel). Insgesamt benötigt der Verkehr heute rund 299'499 TJ (310'449 TJ mit elektrischen Fahrzeugen). Der Flugverkehr macht davon heute 80'711TJ aus, entsprechend beträgt der **Energieverbrauch des Verkehrs heute ohne Flugverkehr 218'788TJ**.

Basierend auf dem angenommenen Bevölkerungswachstum würde 2050 die gesamte Energie des durch Diesel und Benzin betriebenen Verkehrs (ohne Flugverkehr) **260'622TJ** betragen.

Mit dem Umstieg auf elektrische Mobilität sinkt jedoch der Energiebedarf. Elektrofahrzeuge verfügen über einen Wirkungsgrad von etwa 64%. Benzin & Diesel Fahrzeuge zeigen einen Wirkungsgrad von nur höchstens 20%.⁴³⁾

Energetechnisch wird der Verkehr daher durch den Umstieg auf elektrische Fahrzeuge sehr viel effizienter. Aus diesem Grund können die 260'622TJ Treibstoff mit rund 70% weniger Energie erbracht werden, jedoch in Form von Strom. Im Modell rechne ich damit, dass jedes Benzin & Diesel Fahrzeug in Zukunft elektrisch betrieben wird. Fahrzeuge mit einem Wirkungsgrad von 20% werden mit Fahrzeugen mit einem Wirkungsgrad von 64% ersetzt. Wenn ich von dieser Annahme ausgehe, kann ich 260'622 TJ mit dem Faktor $0.3125\left(\frac{20\%}{64\%}\right)$ multiplizieren. Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch des Verkehrs nur noch **81'444TJ** betragen wird.

Abb. 5.4: Treibstoffzusammenstellung 2019 & 2050



Obwohl der Flugverkehr und biogener Treibstoff hier eine hohe prozentuale Zunahme zeigen, ist der Flugverkehr effektiv «nur» von 80'711TJ (2019) auf 99'615TJ (2050) gestiegen, was einer Zunahme von 23% (linear mit dem Bevölkerungswachstum von 2019-2050) entspricht. Das liegt am besseren Wirkungsgrad der Elektrofahrzeuge.

5.3.3 Flugverkehr

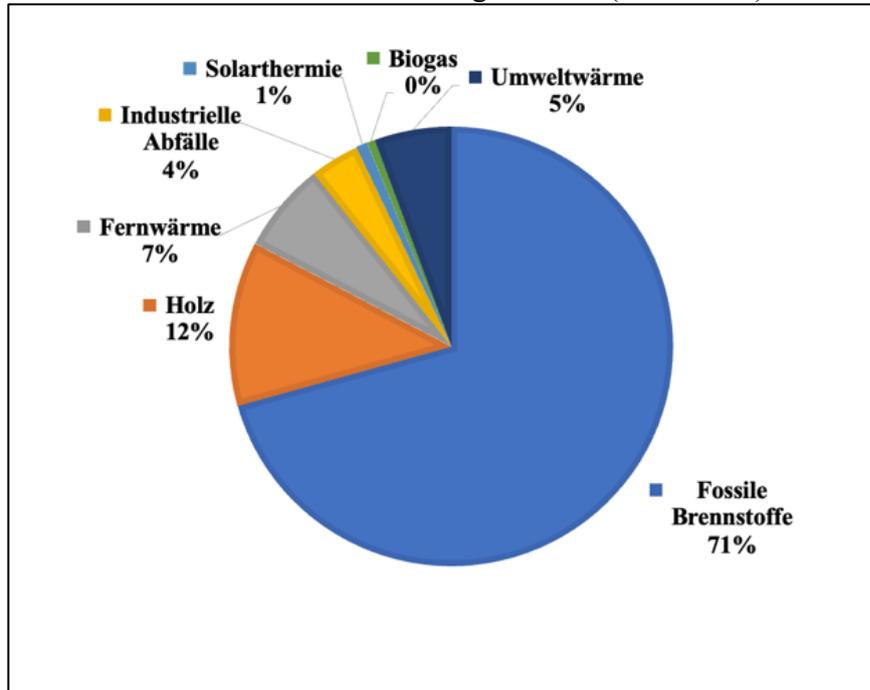
Der Flugverkehr ist zwar nicht erneuerbar, aber ich rechne nicht damit, dass es möglich sein wird, diesen mit erneuerbarem Treibstoff zu ersetzen. Es wird nicht möglich sein, den internationalen Fluggesellschaften Auflagen in dieser Hinsicht zu machen. Ausserdem sind es mehrheitlich Fluggesellschaften aus anderen Ländern, welche den Flugverkehr der Schweiz ausmachen. Solange diese Fluggesellschaften nicht erneuerbar fliegen, wird es der Schweiz nicht gelingen den Flugverkehr erneuerbar zu machen. Die Dekarbonisierungsziele kann die Schweiz jedoch trotzdem erreichen, indem die vom Flugverkehr produzierten Abgase durch Aufforsten der Wälder und anderen Methoden aus der Atmosphäre entfernt werden. **Der Flugverkehr wird aber den zum Ziel gesetzten CO₂-Ausstoss von netto Null im Jahr 2050 praktisch vollständig in Anspruch nehmen. Es wird daher eine absolut konsequente CO₂ neutrale Energieproduktion für alle anderen Bereiche gefordert sein.**

5.3.4 Biogener Treibstoff

Biogener Treibstoff macht heute rund 2.5% oder 7'800 TJ des gesamten Treibstoffbedarfs aus. Ich gehe davon aus, dass er 2050 etwa 1.4% oder **9'452TJ** des gesamten Endverbrauchs ausmachen wird. Das ist eine verhältnismässig kleine Zunahme. Selbstverständlich könnte man auch davon ausgehen, dass biogener Treibstoff 2050 einen grösseren Anteil leisten könnten. Die Herstellung von biogenem Treibstoff skaliert jedoch nicht sehr gut. Sollen biogene Treibstoffe in grossen Mengen hergestellt werden, sprich z.B. Rapsfelder für die Herstellung von Treibstoff angebaut werden, ist in der Regel der Einsatz von energieintensiven, synthetischen Düngern notwendig. Die Energiebilanz und die Nachhaltigkeit sind dann in Frage gestellt. Synthetische Stickstoff Dünger werden mit energieintensiven Verfahren aus der Luft gewonnen.

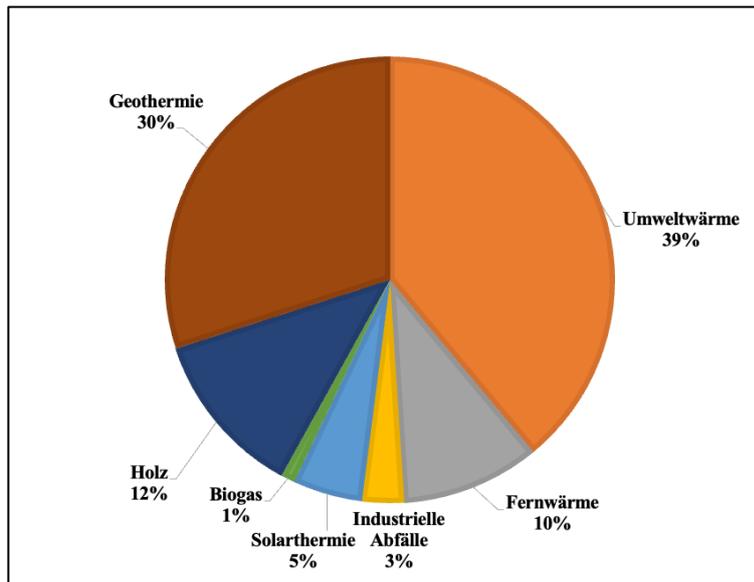
5.3.5 Nicht erneuerbare thermische Energie 5

Abb. 5.5: Mix der thermischen Energien 2019 (Szenario 1)



Um CO₂-Neutralität zu erreichen, müssen die fossilen Brennstoffe, welche für das Heizen verwendet werden, ebenfalls ersetzt werden. Sie würden 2050 **282'023TJ** ausmachen, wenn der pro Kopf-Verbrauch stagniert. Man wird versuchen so gut es geht diese nicht erneuerbare Heizenergie, wie dargestellt, mit erneuerbarer Heizenergie zu ersetzen. Hier rechne ich damit, dass Fernwärme nicht allzu viel zunehmen wird, da diese momentan hauptsächlich aus Abfall erzeugt wird und der Abfall, durch die Mülltrennung in Zukunft nicht zunehmen sollte. Unsere grösste Chance Gas- und Ölheizungen zu ersetzen, liegt nach Meinung der von mir befragten Experten (siehe Anhang 8.2) bei der Geothermie (mitteltiefe und tiefe Geothermie ohne Wärmepumpe). Ein Energieherstellungsverfahren, dass heute nicht genutzt wird. Mit Erdwärme, welche durch mitteltiefe Geothermie gewonnen werden kann, wäre es möglich die Fernwärmesysteme auszubauen und rund ca. 30% bzw. **59'594 TJ** des Heizverbrauchs zu decken.

Abb. 5.6: Mix der thermischen Energien 2050 (Szenario 1)



Umweltwärme = Strom-Wärmepumpe

5.3.6 Strom-Wärmepumpen 6

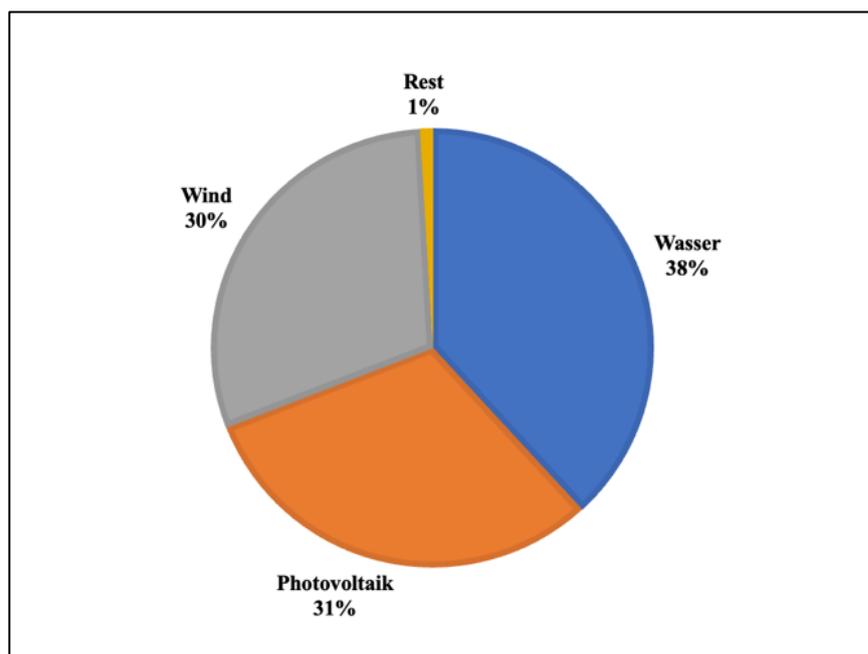
Durch den alleinigen Einsatz mitteltiefer Geothermie ist die Deckung unseres Heizenergieverbrauchs aber unvorstellbar. Rund 39% oder **86'009 TJ** muss im Szenario 1 durch lokale, kleine Wärmepumpen erzeugt werden, welche wiederum Strom benötigen. Eine Erdwärmepumpe benötigt pro 10'000kWh Heizenergie 2'500kWh Strom. Die 39% thermische Energie, die mit Wärmepumpen erzeugt werden müssen, werden mit dem Faktor 0.25 oder 25% multipliziert, um zu berechnen wie viel zusätzlicher Strom für das Betreiben der Wärmepumpen erforderlich ist. Daraus resultiert für den Betrieb dieser Wärmepumpen ein zusätzlicher Strombedarf von **21'502 TJ**.

Die 4'505TJ elektrische Energie, welche benötigt für die bereits heute im Einsatz stehenden Wärmepumpen benötigt wird, ist bereits im Strommix berücksichtigt. Entsprechend beträgt die elektrische Energie, welche 2050 zusätzlich für den Wärmepumpenbetrieb produziert werden muss, **16'997 TJ (= 21'502TJ – 4'505 TJ)**.

5.3.7 Stromspeicherung 7

Der gesamte Stromverbrauch, der durch erneuerbare Stromerzeuger geliefert werden muss, liegt nun, inklusive dem Ersatz der Nuklearenergie, des Verkehrs und dem zusätzlichen Stromverbrauch durch Wärmepumpen, bei **352'602 TJ**.

Abb. 5.7: Stromverbrauchsmix 2050 Szenario 1

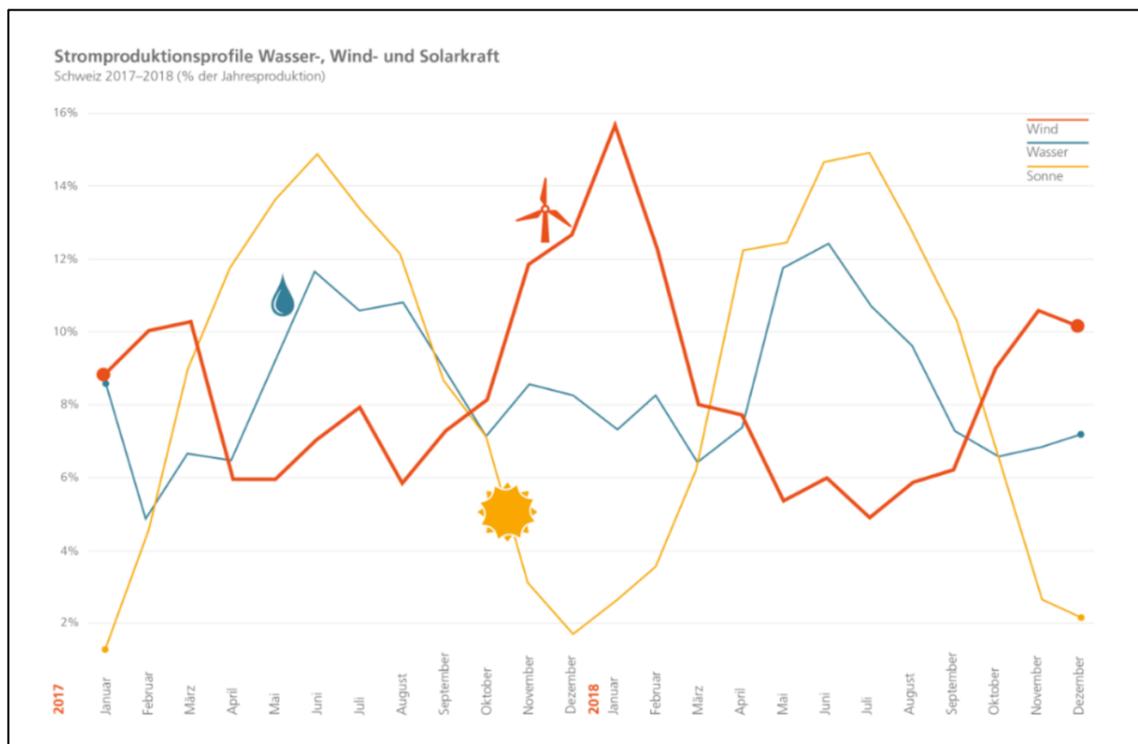


Dazu kommen zusätzliche Übertragungsverluste sowie Verluste, die durch die Betätigung der Speicherpumpen entstehen, die historisch zusammen etwa 10% ausmachen. Korrigiert um diese Annahme beträgt der Strombedarf weitere 35'260TJ und der gesamte Strombedarf beträgt folglich **387'862TJ**. Dieser Wert gilt nun als Basis für die Auslegung der Produktionskapazitäten.

Um die Ziele 2050 zu erreichen, muss Photovoltaik, Windenergie und Wasserkraft bis zu 99% dieser Gesamtstromproduktion erzeugen. Alle drei Stromerzeuger, liefern über das Jahr unregelmässig Strom.

Aus diesem Grund sind Speicher nötig, um Strom vom Sommer im Winter verfügbar zu machen. Diese Speicher-Verfahren haben einen Wirkungsgrad unter 100%, was bedeutet, dass mehr Strom produziert werden, um diese Verluste zu kompensieren. Damit wird die notwendige Gesamtproduktion nochmals erhöht.

Abb. 5.8: Stromproduktion durch Wasser, Wind und Sonne während dem Jahr



Quelle: Bundesamt für Energie

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/windenergie.html> (3.1.23)

Auf der Grafik oben ist ersichtlich, dass Solar- und Wasserkraft im Sommer mehr Strom produzieren als im Winter. Wasserkraft produziert im Winter etwa 11% oder 16.396TJ weniger als im Sommer. Solar produziert sogar 34% oder 40'880TJ mehr Strom im Sommer.

Windkraftanlagen kompensieren diesen Überschuss ein wenig. Sie produzieren 15% oder 17'890TJ mehr Strom im Winter als im Sommer.

Tabelle 5.3. Stromschwankungen und Speicherverlust übers Jahr in Terajoule

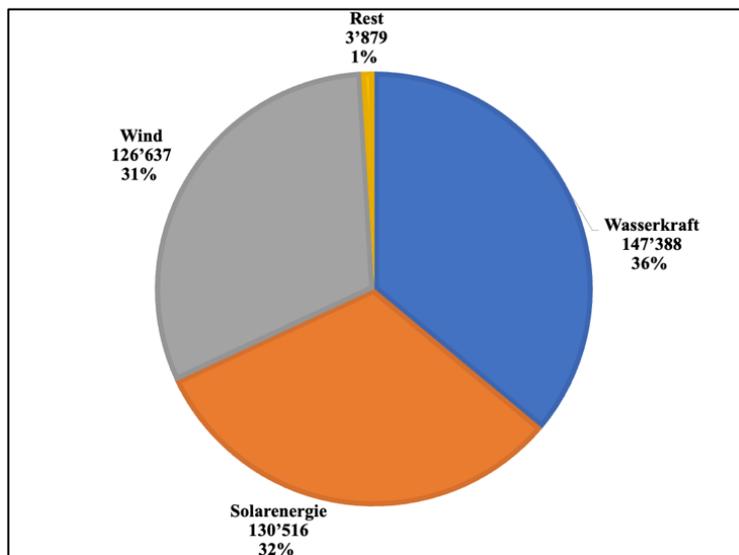
Szenario 1	Gesamt	Winter	Sommer	Schwankung	Speicherverlust
Wasser	147'388	32'794	49'191	16'397	
Solar	120'237	9'018	49'898	40'881	
Wind	116'359	39'853	21'963	-17'890	
Total	383'984	81'665	121'052	39'387	19'694

Insgesamt werden im Sommer 39'387TJ mehr produziert. Da der Verbrauch jedoch das ganze Jahr über etwa gleich gross ist, muss die Hälfte diesen Überschuss' saisonal gespeichert werden. Da ich jedoch, davon ausgehe, dass man Wasserstoffspeicherung für die saisonale Speicherung (siehe Kapitel 3.1.3) verwenden wird, welche einen Round-trip Wirkungsgrad

von 50% hat, müssen 39'387TJ gespeichert werden, sodass man im Winter 19'694TJ zur Verfügung hat. Die dabei verlorenen 19'694TJ müssen zusätzlich produziert werden.

Da die maximale Kapazität von Wasserkraft ausgeschöpft ist, wird dieser Verlust durch Solar- und Windkraft gedeckt werden müssen. Die finale Stromproduktion 408'419TJ beträgt.

Abb. 5.9: Stromproduktionsmix 2050 inkl. Speicherungsverluste (Szenario 1)



5.3.8 Notwendige Energieeinsparung, Energieverbrauch & Energiemix 2050 8

Für die Berechnung des Energieverbrauchs 2050 können wir nun die Werte (siehe Kapitel 5.3.1 - 5.3.6) addieren:

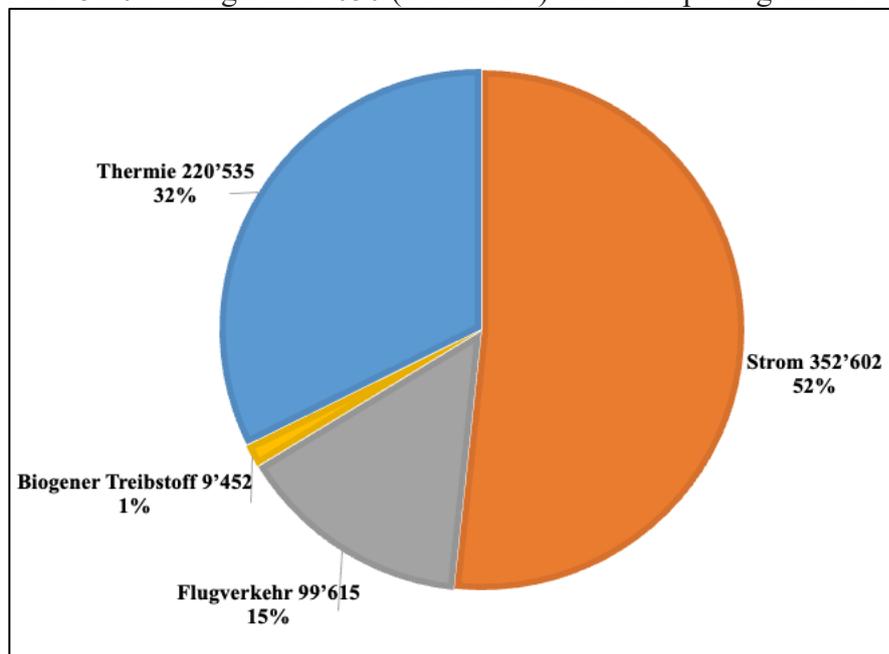
Tabelle 5.4. Energieverbrauch 2050 und notwendige Einsparung (Szenario 1)

Energieform	Energieverbrauch	
	Heute	2050
+ Besteh. erneuerbarer Strom extrapoliert		154'022TJ
+ Ersatz Nuklearstrom & Therm. Kraftwerke		100'139TJ
+ Elektrifizierung Strassenverkehr		81'444TJ
+ Strom für Wärmepumpen		16'997TJ
Strom	205'913TJ	352'602TJ
Benzin und Diesel	210'988TJ	0
Flugverkehr	80'711TJ	99'615TJ
Biogener Treibstoff	7'800TJ	9'452TJ
Thermische Energie	323'175TJ	398'901TJ
→ Davon fossile Brennstoffe	228'355TJ	0
Total	828'587TJ	860'569TJ
Vergleich mit:		
Zielvorgabe des Bundesrates	N.A.	682'204TJ
Notwendige Energie-Einsparung	N.A.	178'365TJ

Das Gesamtverbrauch liegt bei 860'569TJ und nicht bei den vom Bundesrat als Ziel geplanten 682'204. Die restlichen 178'365 TJ müssen folglich durch Einsparungen bzw. verbesserte Energieeffizienz reduziert werden. Es dürfte unrealistisch sein, einen signifikanten Beitrag durch weniger Verbrauch oder Effizienzsteigerung in der Nutzung des Stroms und/oder des Flugverkehrs zu suchen. Experten (siehe Anhang 8.2) bestätigen, dass die heutigen Stromverbraucher (z.B. Geräte, Maschinen, Beleuchtung etc.) bereits mit einem sehr hohen Wirkungsgrad arbeiten. Licht war vor ein paar Jahren noch ineffizient, wurde aber mit dem Einsatz von LED im Wirkungsgrad perfektioniert. Elektro-Motoren oder auch allgemein Elektro-Geräte arbeiten nahe an einem Wirkungsgrad von 100%. Stromfresser, die durch bessere Isolation effizienter arbeiten könnten, sind lediglich Kühltaggregate. Genau von diesen ist aber ein vermehrter Einsatz durch die allgemeine Klima-Erwärmung zu erwarten.

Die Energieeinsparung wird deshalb zwangsläufig bei dem Heizungsenergieverbrauch geschehen müssen. **Uns muss in diesem Szenario dementsprechend gelingen mit Hilfe verbesserter Isolation die gesamte Schweiz mit 220'535TJ anstatt den 398'901TJ (Einsparung von 178'365TJ, Verbesserung um 40%) Wärmeenergie zu versorgen.**

Abb. 5.10.: Energiemix 2050 (Szenario 1) nach Einsparung durch Isolation



5.3.9 Berechnung der Fläche der Solarpanels und der Anzahl Windräder

Im Szenario 1 rechne ich mit einer elektrischen Energie von 130'516TJ, welche durch Solarkraft erzeugt wird und 126'637 TJ, welche durch Windkraft erzeugt wird. Anhand dieser Annahmen kann ich die Fläche, welche von den Windrädern und Solarpanels erfordert wird, berechnen. Die durchschnittliche Energie, die von 6m² Solarpanel in den Breitengraden der Schweiz erzeugt werden, liegt bei rund 1'000kWh im Jahr. (siehe Tabelle 3.1). Das entspricht 0.0036TJ im Jahr. Wenn man dementsprechend mit dieser Annahme, die erforderlichen 130'516TJ decken will:

$$130'516 \text{ TJ} : 0.0036 \text{ TJ} = 36'254'323$$

Man benötigt also 41'479'686 6m² Solarpanels. Die Fläche, welche dafür erforderlich wäre, lässt sich folglich einfach berechnen:

$$36'254'323 \cdot 6\text{m}^2 = 217'525'938\text{m}^2 = \underline{217.53\text{km}^2}$$

Die beanspruchte Fläche, würde 217.53 km² betragen. Die gesamte Fläche der Schweiz beträgt 41'284km², wovon 4.6%, also 1'899 km² bebaut sind und 0.6% = 247.7km² unbebaute Bauzonen sind.⁴⁴⁾

Eine Fläche von 217.53km² entspricht 0.53% der gesamten Landesfläche oder relevanter, um eine Abschätzung der Machbarkeit dieser Ziele zu erhalten - **217.53km² entsprechen 11.5% der heute bebauten Fläche**. Eine Bedachung der heutigen Gebäude dürfte also problemlos ausreichen, um die notwendigen Flächen für die Herstellung des im Szenario 1 berechneten Solarstroms, bereitzustellen.

Eine ähnliche Berechnung lässt sich auch für die notwendigen Fläche zur Erzeugung der Windenergie anstellen:

«Ein typisches Windrad an einem für Schweizer Windverhältnisse typischen Standort produziert jährlich rund 6GWh Strom.»⁴⁵⁾

Wenn wir davon ausgehen, dass ein Windrad einen jährlichen Ertrag von 6 GWh oder 21.6 TJ erreichen wird, resultiert daraus die Anzahl notwendiger Windräder im Jahr 2050.

$$126'637 \text{ TJ} : 21.6 \text{ TJ} = \underline{5'863}$$

Um die benötigte Energie zu decken, werden dementsprechend 5'863 Windräder gebraucht.

5.4 Szenario 2

Tabelle 5.5.: Szenario 2 für das Jahr 2050

Szenarien	Bevölkerung	Energieverbrauch	Atomausstieg
Szenario 2	10.5 Mio	849'559 TJ (Verbrauch/ Kopf 22.43MWh)	Ja

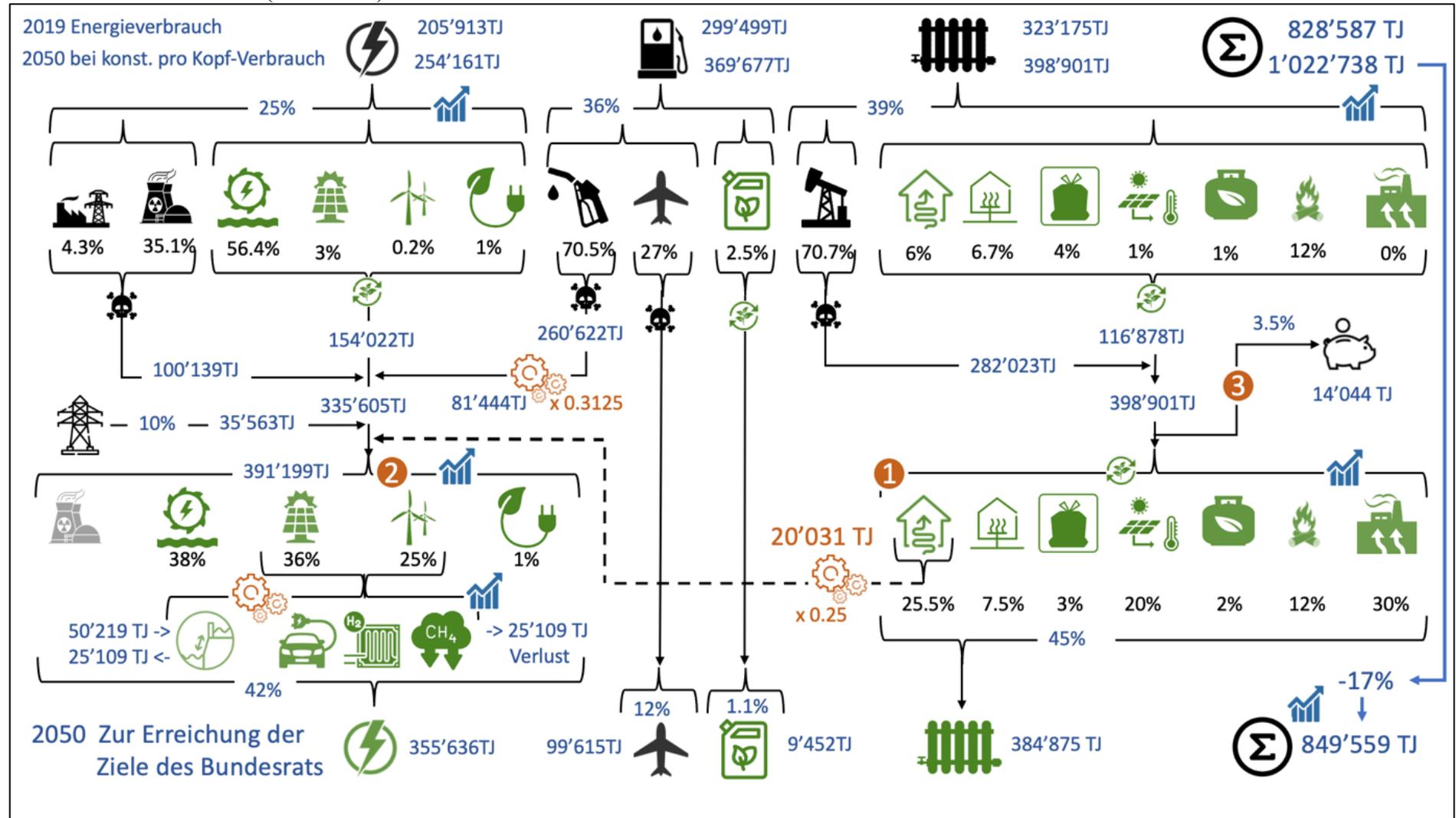
Im Szenario 2 werden die folgenden Annahmen und Berechnungen wie im Szenario 1 gemacht:

- Nuklearstrom und thermische Kraftwerke werden mit erneuerbar erzeugtem Strom ersetzt
- Der Verkehr wird elektrifiziert (ohne Flugverkehr)
- Fossile Brennstoffe werden ersetzt

Im Unterschied zum Szenario 1 werden im Szenario 2 folgende Änderungen vorgenommen:

- Es wird insgesamt mehr thermische Energie verwendet, da weniger Einsparungen angenommen wurden
- Es werden weniger Energie-Einsparungen angenommen, da dies 1. realistischer scheint als im Szenario 1 und, weil es 2. grundsätzlich möglich ist mehr erneuerbare thermische Energie zu nutzen.

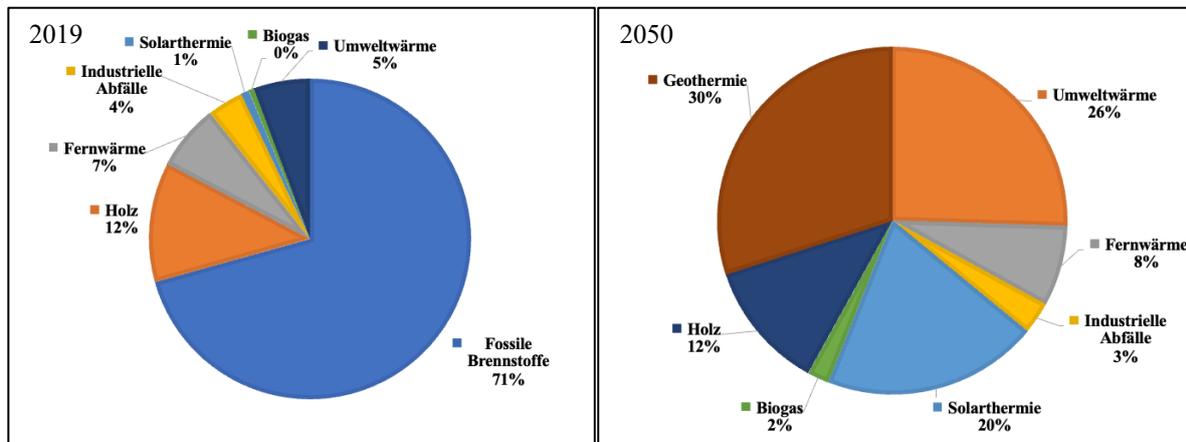
Abb. 5.11: Arbeitsmodell (Szenario 2)



5.4.1 Strom-Wärmepumpen & Solarthermie ①

In diesem Szenario gehe ich davon aus, dass 20% der thermischen Energie durch Solarthermie gedeckt wird. Dies hätte zur Folge, dass nur 25.5% der thermischen Energie durch Strom-Wärmepumpe erzeugt werden müsste. Der durch das Betreiben der Wärmepumpen zusätzlich benötigte Strom ist jedoch im Vergleich zum Szenario 1 angestiegen. Dieser Anstieg liegt an dem höheren Pro-Kopf-Verbrauch. Dieser kommt von den fehlenden Einsparungen auf der thermischen Energie.

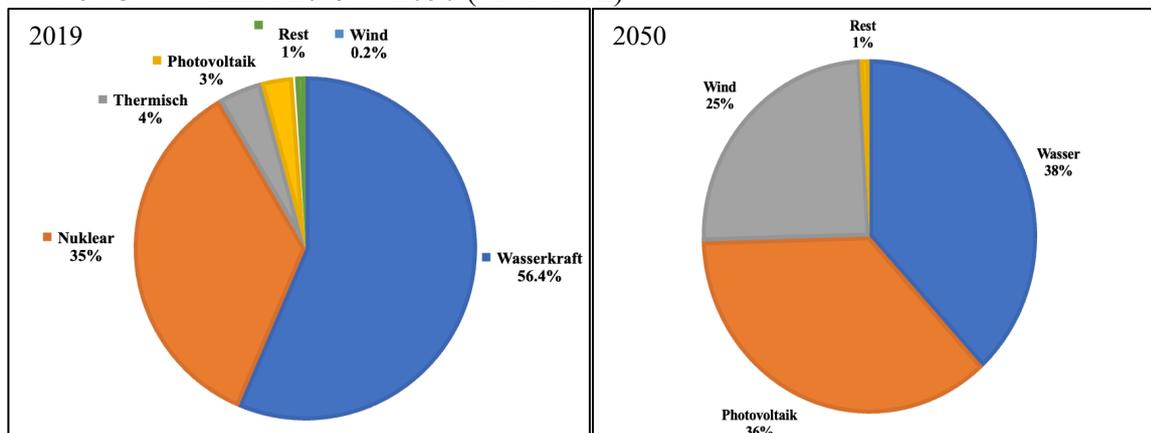
Abb. 5.12: Mix der thermische Energien 2019 & 2050 (Szenario 2)



5.4.2 Strommix 2050 & Stromspeicherung ②

Beim Strommix gehe ich im Szenario 2 von einer anderen Zusammenstellung aus. Solarenergie macht nun 36% der Stromproduktion aus und Windenergie 25%, da ich die berechnete Anzahl an benötigten Windrädern im Szenario 1 für optimistisch halte. Diese Umstellung sorgt jedoch dafür, dass der Überschuss an Strom im Sommer noch etwas grösser wird und der zusätzlich benötigte Strom für das Begleichen der Speicherverluste ein wenig zunehmen wird.

Abb. 5.13: Strommix 2019 & 2050 (Szenario 2)



Wasserkraft produziert 149'365 TJ und somit 38% des Strommix und 16'616 TJ mehr Strom im Sommer als im Winter. Solar produziert zusätzlich 48'366 TJ mehr im Sommer und Wind 14'763 TJ mehr Strom im Winter.

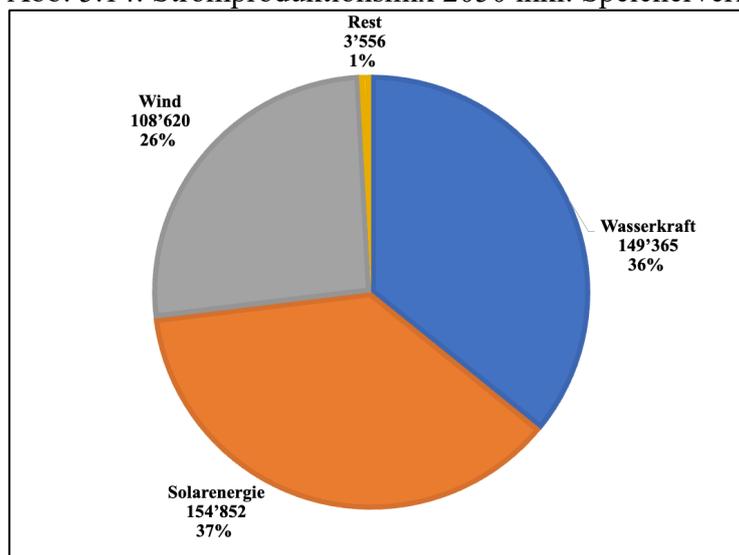
Tabelle 5.6. Stromschwankungen und Speicherverlust übers Jahr in Terajoule

Szenario 2	Gesamt	Winter	Sommer	Schwankung	Speicherverlust
Wasser	149'365	33'234	49'851	16'617	
Solar	142'252	10'669	59'035	48'366	
Wind	96'020	32'887	18'124	-14'763	
Total	387'637	76'789	127'009	50'219	25'109

Die als Folge der Speicherverluste verlorenen 25'109TJ müssen zusätzlich produziert werden.

Die Gesamtstromproduktion für Szenario 2 beträgt 416'302TJ.

Abb. 5.14: Stromproduktionsmix 2050 inkl. Speicherverluste (Szenario 2)



5.4.3 Notwendige Energieeinsparung, Energieverbrauch & Energiemix 2050 3

Das Szenario 2 geht davon aus, dass die Einsparungen von thermischer Energie relativ gering sind, d.h. dass sehr viel mehr Energie für das Heizen verwendet wird. Die eingesparte thermische Energie beträgt in diesem Szenario nur 14'044TJ.

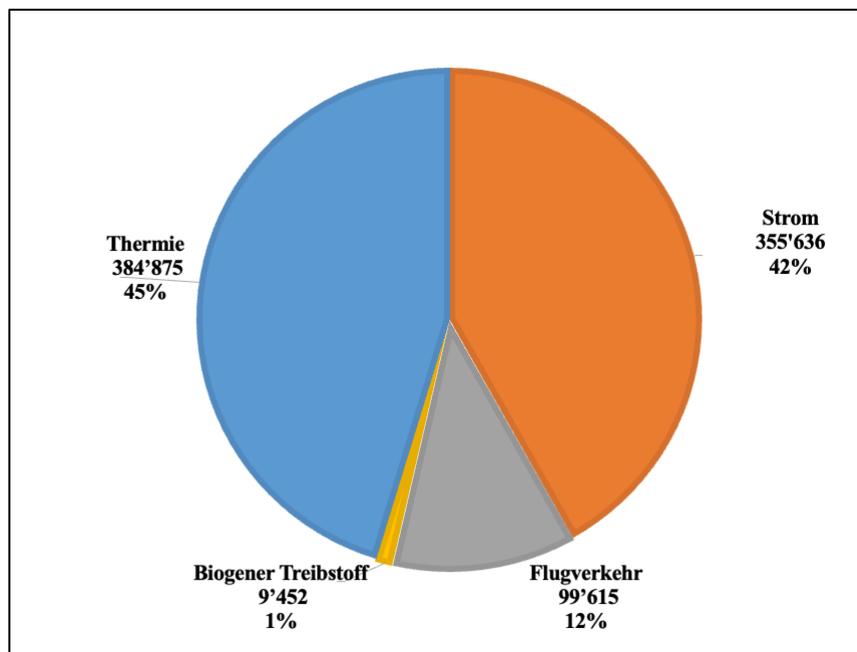
Geothermie leistet in diesem Fall einen sehr grossen Anteil, was womöglich optimistisch ist, wenn man bedenkt, dass Geothermie heute noch kaum im Einsatz ist. Ich bin jedoch der Meinung, dass Geothermie aufgrund politischer Einschränkungen nicht eingesetzt wird, dass es aber technisch möglich wäre. Dies wurde von Experten (Anhang 8.2) bestätigt.

Der Endverbrauch von Szenario 2 beträgt schliesslich 849'559TJ, wovon der Grossteil der Einsparung im Verkehr (analog Szenario 1) stattgefunden hat und nicht durch Isolation und effizienterem Heizen.

Tabelle 5.7. Energieverbrauch 2050 und notwendige Einsparung (Szenario 2)

Energieform	Heute	2050
+ Besteh. erneuerbarer Strom extrapoliert		154'022TJ
+ Ersatz Nuklearstrom & Therm. Kraftwerke		100'139TJ
+ Elektrifizierung Verkehr		81'444TJ
+ Strom für Wärmepumpen		20'031TJ
Strom (total)	205'913TJ	355'636TJ
Benzin und Diesel	210'988TJ	0
Flugverkehr	80'711TJ	99'615TJ
Biogener Treibstoff	7'800TJ	9'452TJ
Thermische Energie	323'175TJ	398'901TJ
→ Davon fossile Brennstoffe	228'355TJ	0
Total	828'587TJ	863'603TJ
Vergleich mit:		
Zielvorgabe des Szenario 2	N.A.	849'559TJ
Notwendige Energie-Einsparung	N.A.	14'044TJ

Abb. 5.15: Energiemix 2050 (Szenario 2) nach Einsparung durch Isolation



5.4.4 Berechnung der Fläche der Solarpanels und der Anzahl Windräder

In diesem Szenario machen Solar- & Windenergie 52% des Stromproduktionsmix aus. Wobei Solar für 36% oder 154'852TJ und Wind für 26% oder 108'620TJ verantwortlich ist.

Wenn wir bei der Berechnung der Fläche, welche die Solarpanels einnehmen würden, erneut von der Annahme ausgehen, dass 6m² Solarpanel im Jahr rund 1000kWh bzw. 0.0036TJ erzeugen, erhält man Folgendes:

$$154'852TJ : 0.0036TJ = 43'014'306$$

Man benötigt 43'014'306 x ein 6m² Panel. Die Fläche, welche dafür erforderlich wäre, lässt sich folglich einfach berechnen:

$$43'014'306 \cdot 6m^2 = 258'085'833m^2 = \underline{258.09km^2}$$

258.09km² müssten mit Solarpanels überdeckt sein, um die benötigte Energie zu erzeugen. **Diese Fläche entspricht 0.625% der Schweiz und 13.6% der momentan bebauten Fläche. Es sollte folglich trotz des erhöhten Solarenergieanteils, mit einer konsequenten Überdachung der heutigen Gebäude, problemlos möglich sein dieses Ziel zu erreichen.**

Bei der Windkraft gehe ich ebenfalls weiterhin mit der gleichen Annahme, wie in Szenario 1 vor. Ein Windrad in der Schweiz schafft es einen jährlichen Ertrag von 6GWh oder 21.6TJ zu erzeugen:

$$108'620TJ : 21.6TJ = \underline{5'029}$$

Es werden dementsprechend 5'029 Windräder benötigt, um den gewollten jährlichen Ertrag zu erzeugen.

5.5 Szenario 3

Tabelle 5.8.: Szenario 2 für das Jahr 2050

Szenarien	Bevölkerung	Energieverbrauch	Atomausstieg
Szenario 3	10.5 Mio	1'022'738 TJ (Verbrauch/ Kopf 27 MWh)	Nein

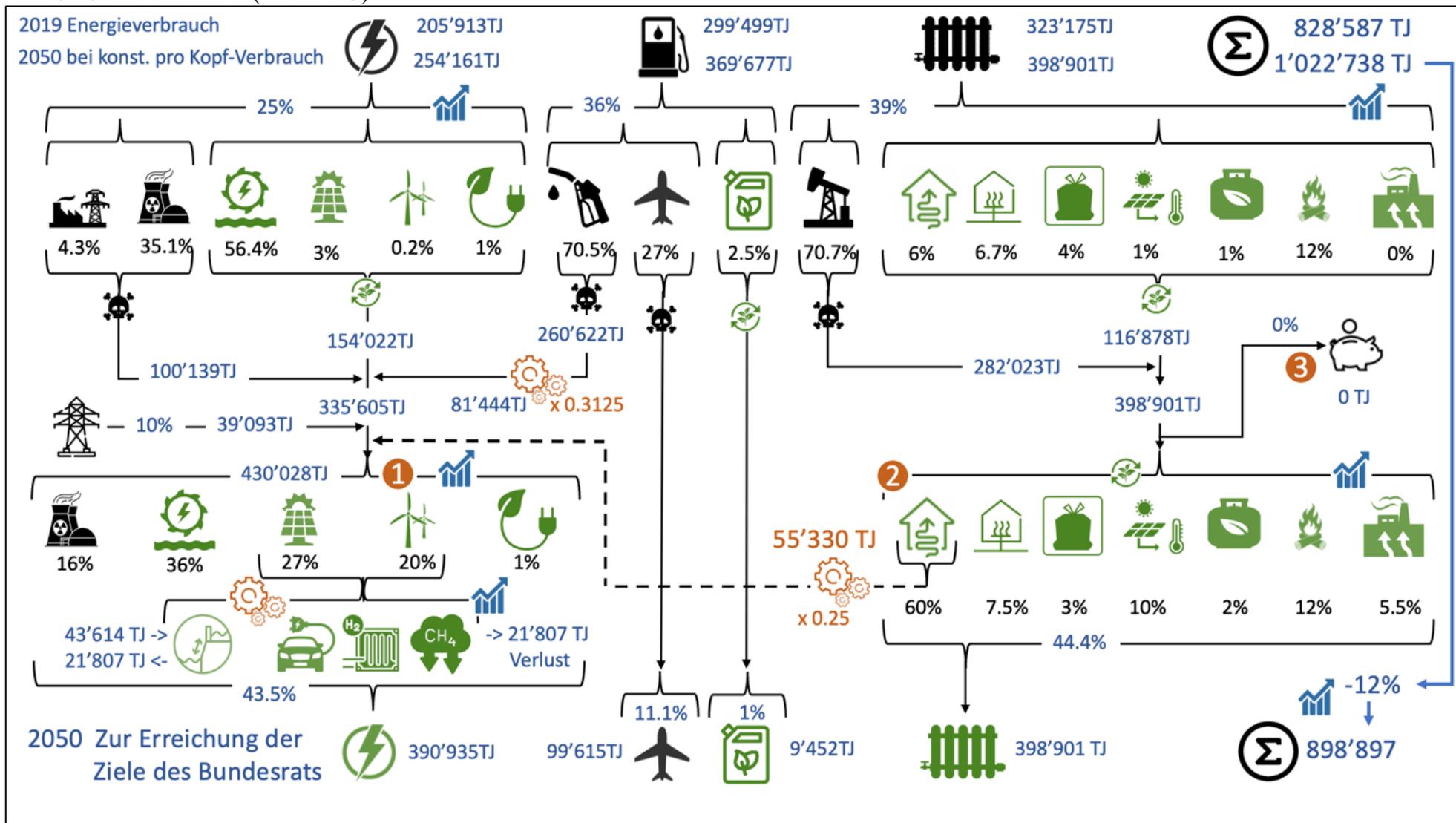
Im Szenario 3 werden die folgenden Annahmen und Berechnungen wie im Szenario 1 gemacht:

- Der Strassenverkehr wird elektrifiziert
- Fossile Brennstoffe werden ersetzt

Im Unterschied zum Szenario 1 werden im Szenario 3 folgende Änderungen vorgenommen:

- Nuklearstrom wird nicht ersetzt
- Es wird insgesamt mehr thermische Energie verwendet (deutlich weniger Geothermie als in Szenario 2, deutlich mehr elektrische Wärmepumpen als im Szenario 2)

Abb. 5.16: Arbeitsmodell (Szenario 3)



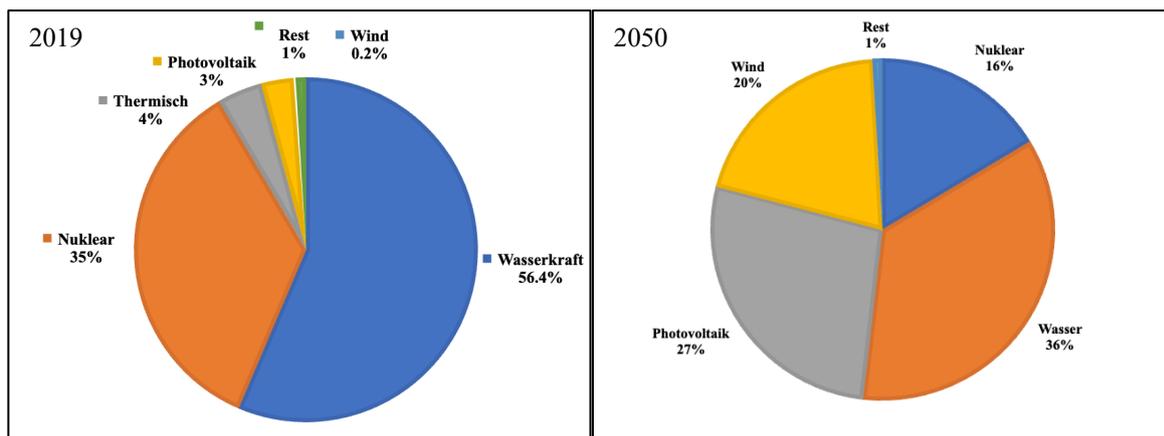
5.5.1 Nuklearstrom & Stromspeicherung ①

Im Szenario 3 gehe ich davon aus, dass der Atomausstieg nicht gelingt. Nuklearkraft würde 16% des Strommix' erzeugen, was einer Energie von 70'367TJ entspricht.

Zum Vergleich produzierten wir im Jahr 2019 91'008TJ Strom. Ich rechne dementsprechend, auch wenn der Atomausstieg nicht erreicht wird, mit einer Abnahme der Nuklearenergie. Dies liegt daran, dass man Neubauten von Kernkraftwerken zumindest bis 2050 mit ziemlicher Sicherheit ausschliessen kann.

Nun ist auch schon bekannt, dass die beiden Nuklearkraftwerke Beznau 1 & 2 noch vor 2050 abgeschaltet werden. Zusammen liefern sie einen jährlichen Ertrag von ca. 21'000TJ.⁴⁶⁾ Folglich kann man, solange man alle weiteren Kernkraftwerke restauriert, von rund 70'000TJ durch Nuklearenergie erzeugten Strom ausgehen.

Abb. 5.17: Strommix 2019 & 2050 (Szenario 3)



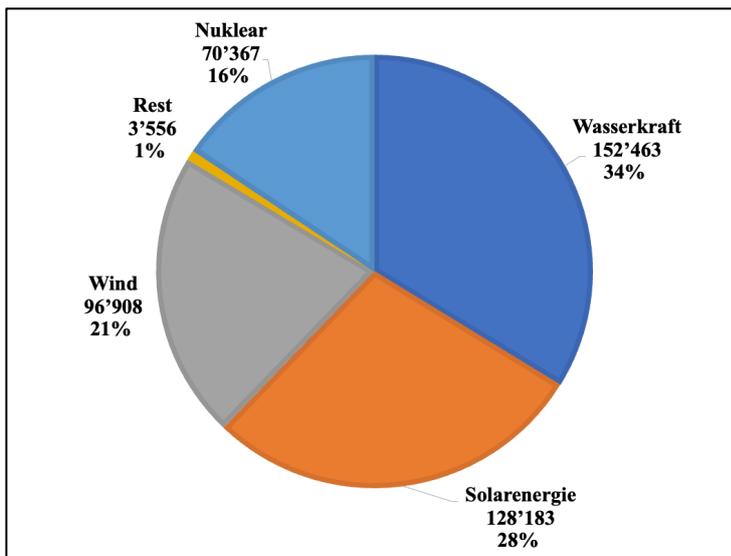
Die Stromspeicherung ist im Szenario 3 ähnlich wie in den Szenarien zuvor. Der Nuklearstrom hat keinen Einfluss auf dieses Geschehen, da Nuklearkraftwerke Bandstrom liefern. Sie liefern das ganze Jahr gleich viel Strom. Sie können aber auch keine zusätzlichen Stromverluste, welche bei der saisonalen Speicherung vorkommen, begleichen, da wie bereits erwähnt keine neuen Kraftwerke gebaut werden.

Im Szenario 3 wird im Sommer 43'614TJ mehr produziert als im Winter. Es müssen als 21'807TJ zusätzlich erzeugt werden, sodass die Verluste bei der Wasserstoffspeicherung beglichen werden.

Tabelle 5.9. Stromschwankungen und Speicherverlust übers Jahr in Terajoule

Szenario 3	Gesamt	Winter	Sommer	Schwankung	Speicherverlust
Wasser	152'463	33'923	50'885	16'962	
Solar	117'279	8'796	48'671	39'875	
Wind	86'004	29'456	16'233	-13'223	
Total	355'746	72'175	115'789	43'613	21'807

Abb. 5.18: Stromproduktionsmix 2050 inkl. Speicherverluste (Szenario 3)



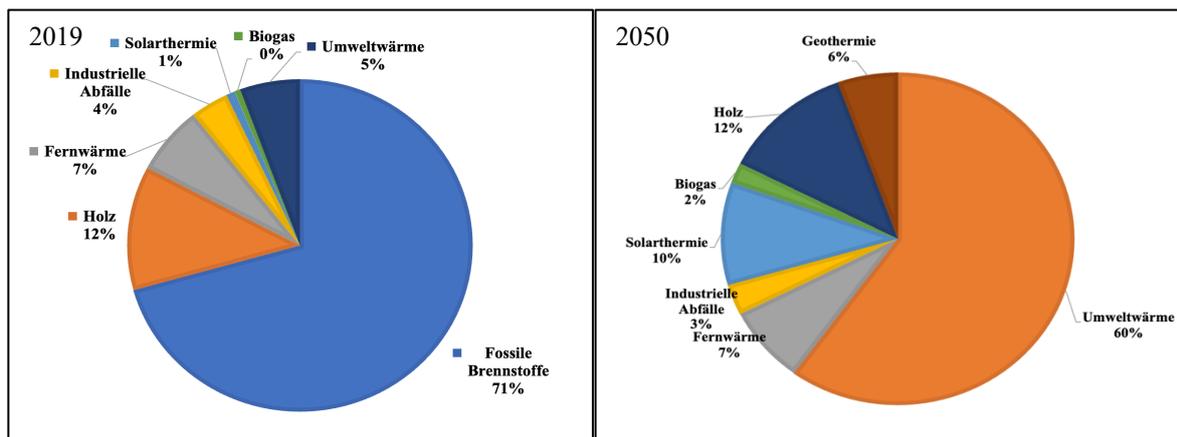
5.5.2 Thermische Energie 2050 ②

Der für mich entscheidende Grund für Restaurationen der Kernkraftwerke, wäre ein enormer Stromverbrauch, dessen Deckung durch Solar- und Windenergie sehr schwer vorstellbar wäre. Ich bin daher davon ausgegangen, dass, wie bisher der Verkehr praktisch vollständig elektrifiziert wird und dazu von einem thermischen Energiemix, welcher primär durch Strom-Wärmepumpen versorgt wird.

Das würde bedeuten, dass die Geothermie-Idee nicht stattgefunden oder fehlgeschlagen ist und dass es uns nicht möglich war, genügend Solarthermie-Tanks zu bauen.

Die vielen Stromwärmepumpen würden 55'330 TJ benötigen und sorgen selbst, für 239'340TJ Wärmeenergie.

Abb. 5.19: Mix der thermische Energien 2019 & 2050 (Szenario 3)



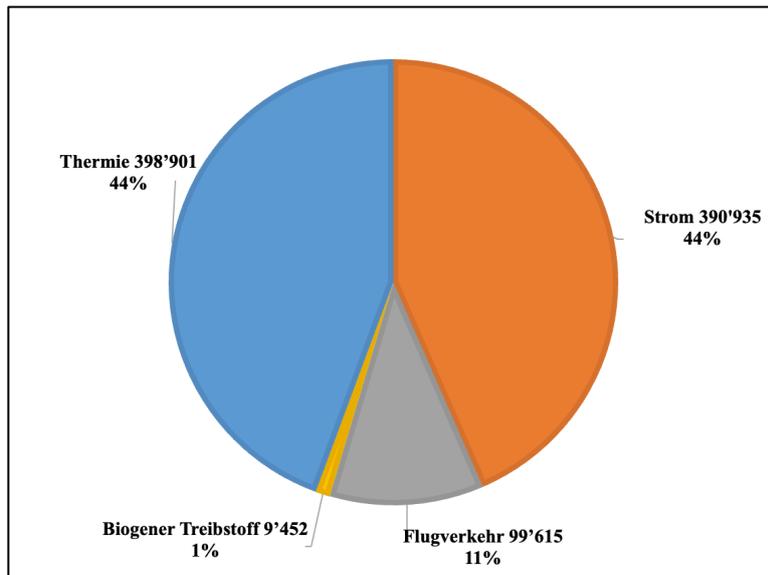
5.5.3 Notwendige Energieeinsparung, Energieverbrauch & Energiemix 2050 3

Szenario 3, ist das einzige Szenario, bei welchem trotz der Erreichung CO₂-Neutralität keine zusätzliche Einsparung nötig wäre. Die einzige Energieeinsparung kommt durch die Elektrifizierung des Verkehrs, was der Grund ist, dass der Endenergieverbrauch bei **898'897TJ** und nicht bei den erwarteten **1'022'738TJ** liegt. Dies würde jedoch immer noch einem **Anstieg des Energieverbrauchs von 70'310TJ** gegenüber dem Jahr 2019 entsprechen.

Tabelle 5.10. Energieverbrauch 2050 und notwendige Einsparung (Szenario 3)

Energieform	Energieverbrauch	
	Heute	2050
+ Besteh. erneuerbarer Strom extrapoliert		154'022TJ
+ Ersatz Nuklearstrom & Therm. Kraftwerke		29'772TJ
+ Nuklearstrom		70'367TJ
+ Elektrifizierung Verkehr		81'444TJ
+ Strom für Wärmepumpen		55'330TJ
Strom	205'913TJ	390'935TJ
Benzin und Diesel	210'988TJ	0
Flugverkehr	80'711TJ	99'615TJ
Biogener Treibstoff	7'800TJ	9'452TJ
Thermische Energie	323'175TJ	398'901TJ
→ Davon fossile Brennstoffe	228'355TJ	0
Total	828'587TJ	898'897TJ
Vergleich mit:		
Zielvorgabe des Szenario 3	N.A.	1'022'738TJ
Notwendige Energie-Einsparung	N.A.	0

Abb. 5.20: Energiemix 2050 (Szenario 3)



5.5.4 Berechnung der Fläche der Solarpanels und der Anzahl Windräder

Obwohl man in diesem Szenario 15% des Stromproduktionsmix durch Nuklearkraftwerke abdecken konnte, ging ich trotzdem davon aus, dass Solar- & Windenergie auch in diesem Szenario in Zukunft entscheidend sein werden. Es werden 128'183 TJ des Strommix sind Solarstrom. Ich gehe erneut davon aus, dass 6m² Solarpanel 1000kwh jährlich erzeugen, um die benötigte Fläche zu errechnen:

$$128'183TJ : 0.0036TJ = 35'606'250$$

Man benötigt also 35'606'250 x ein 6m² Panel. Die Fläche, welche dafür erforderlich wäre, lässt sich folglich einfach berechnen:

$$35'606'250 \cdot 6m^2 = 213'637'500m^2 = \underline{213.64km^2}$$

Dies entspricht 0.5% der gesamten Landesfläche und 11.3% der bebauten Fläche der Schweiz.

Die notwendige Anzahl Windräder zur Erzeugung der 96'908TJ Windenergie (wie bisher berechnet) beträgt:

$$96'908TJ : 21.6TJ = \underline{4'486}$$

Um die benötigte Energie zu decken, werden dementsprechend 4'486 Windräder gebraucht.

5.5. Zusammenfassung für Szenario 1-3

Die Zielvorgaben (Kapitel 5.1) für die 3 Szenarien waren die Folgenden:

Tabelle 5.11.: Szenarien (mit Parametern) als Grundlage für Energiemix im 2050

Szenarien	Bevölkerung	Energieverbrauch	Atomausstieg
Heute (2019)	8.57Mio	828'587TJ (Verbrauch/Kopf 27 MWh)	
Szenario 1	10.5Mio	682'204TJ (Verbrauch/ Kopf 18.02 MWh)	Ja
Szenario 2	10.5Mio	849'559TJ (Verbrauch/ Kopf 22.43MWh)	Ja
Szenario 3	10.5Mio	1'022'738TJ (Verbrauch/Kopf 27 MWh)	Nein

Die Möglichkeiten für Effizienzgewinne sind nachfolgend aufgeführt. Die Elektrifizierung des Verkehrs und die entsprechenden Effizienzgewinne wurde in den Szenarien 1-3 zu 100% genutzt. Isolation wird als Option für die notwendigen Einsparungen betrachtet.

Tabelle 5.12.: Möglichkeiten für Effizienzgewinne pro Verbraucher

Energieträger	Wirkungsgrad*	Effizienzgewinn	Wie?
Strom	hoch	geringfügig möglich	heute nicht ersichtlich
Verkehr	tief	möglich	Elektrifizierung
Wärme	hoch	möglich	Isolation

*Wirkungsgrad heutiger Technologien

Der errechnete Energieverbrauch und Energiemix sowie die entsprechend notwendigen Einsparungen für die 3 Szenarien sehen folgendermassen aus:

Tabelle 5.13. Energieverbrauch & Energiemix 2050 sowie notwendige Einsparung

Energieform	Energieverbrauch			
	Heute	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
+ Besteh. erneuerbarer Strom extrapoliert		154'022TJ	154'022TJ	154'022TJ
+ Ersatz Nuklearstrom & Therm. Kraftwerke		100'139TJ	100'139TJ	29'772TJ
+ Nuklearstrom		0	0	70'367TJ
+ Elektrifizierung Verkehr		81'444TJ	81'444TJ	81'444TJ
+ Strom für Wärmepumpen		16'997TJ	20'031TJ	55'330TJ
Strom (total)	205'913TJ	352'602TJ	355'636TJ	390'935TJ
Benzin und Diesel	210'988TJ	0	0	0
Flugverkehr	80'711TJ	99'615TJ	99'615TJ	99'615TJ
Biogener Treibstoff	7'800TJ	9'452TJ	9'452TJ	9'452TJ
Thermische Energie	323'175TJ	398'901TJ	398'901TJ	398'901TJ
→ Davon fossile Brennstoffe	228'355TJ	0	0	0
Total	828'587TJ	860'569TJ	863'604TJ	898'897TJ
Notwendige Einsparung (Thermie)	N.A.	178'365TJ	14'044TJ	0
Gesamtenergieverbrauch	N.A.	682'204TJ	849'559TJ	898'897TJ

6. Diskussion/Schlussfolgerungen

Ich bin mit der Fragestellung gestartet, wie sich die vom Bundesrat gesetzten Ziele umsetzen lassen. Dass sich der Pro-Kopf-Verbrauch seit 2000 bis heute bereits reduziert hat, gab Zuversicht, dass sich die 43% Reduktion bis 2050 erreichen lassen.

Mit der Untersuchung des Verkehrs, stieg meine Zuversicht. Eine Reduktion des Energie-Verbrauchs im Verkehr um 180'000 TJ von 260'000 TJ runter auf 80'000 TJ ist eindrücklich. Die genauere Betrachtung zeigt, dass die Energiereduktion im Verkehr durch einen höheren Wirkungsgrad eines elektrischen Motors im Vergleich zu einem Verbrennungsmotor begründet ist. Es ist mir aber nicht gelungen, Verbraucher zu finden, die bereits elektrisch in grosser Zahl und mit schlechtem Wirkungsgrad betrieben werden. Im Haushalt sind Kochherd, Backofen, Wäschetrockner, Waschmaschinen, Haarföhn, Kühlgeräte und Elektro-Heizlüfter die grossen elektrischen Verbraucher. Alle diese Geräte sind heute aber bereits sehr effizient. Kochen und Backen mit Gas ist eine Alternative, hilft dem Dekarbonisierungsziel aber nicht. Wenn man also bei elektrischen Verbrauchern Energie einsparen möchte, wäre die einzige Lösung weniger elektrische Verbraucher einzusetzen, also zu verzichten. Solch grosse Verzichte sind wahrscheinlich nur im Rahmen einer dramatischen Krise realistisch.

Zusammenfassend zeigt sich klar, dass die Stromproduktion in jedem Szenario essenziell für unsere karbonneutrale Zukunft sein wird.

Ich rechne in allen drei Szenarien damit, dass sich die Stromproduktion von heute 200'000TJ auf gegen 400'000TJ verdoppeln wird. Allein die Elektrifizierung des Verkehrs, was technisch sinnvoll und auch machbar ist, führt zu einem erheblichen Mehrverbrauch an Strom.

Das Ziel vom Bundesrat den Pro-Kopf-Verbrauch auf 18.02MWh (Szenario 1) zu senken, erreicht man daher nur durch grosse Einsparungen von thermischer Energie. Es braucht bessere Isolation, bessere Nutzung von Abwärme, bessere Nutzung von Umweltwärme mittels Wärmepumpen. Aber auch Wärmepumpen benötigen, wenn sie CO₂-neutral sein sollen, Strom. Der Verbrauch an Wärme-Energie muss sich etwa halbieren, wenn das Ziel vom Bundesrat erreicht werden soll.

Im Rahmen der Experten-Interviews war ich dann recht überrascht, dass wir in der Schweiz das Potential von nachhaltiger, CO₂-neutraler Wärme kaum nutzen. Mitteltiefe Geothermie kann grosse Mengen an Wärme zur Verfügung stellen. Ebenfalls bietet Solarthermie eine Möglichkeit Wärme nachhaltig und in praktisch unbegrenzter Menge zur Verfügung zu stellen.

Damit ergab sich Szenario 2. Die für Szenario 1 notwendigen Einsparungen, werden durch CO₂-neutrale Wärme-Energie, also durch Geothermie oder Solarthermie ersetzt. Damit wird zwar das Ziel des Bundesrates, den Pro-Kopf-Verbrauch auf 18.02MWh zu senken, verfehlt. Das Ziel einer CO₂-neutralen Schweiz mit gleichzeitigem Atomausstieg hingegen wird aber erreicht.

Aber auch Szenario 2 benötigt 355'000TJ Strom. Dies hat zur Folge, wie man in allen Szenarien sieht, dass grosse Mengen an Bauprojekten und Flächen notwendig sind, die für die nachhaltige Stromproduktion eingenommen werden.

Es ist nicht einfach vorstellbar, dass die Schweiz es bis 2050 schaffen wird, eine Fläche von rund 250km² mit Solarpanels zu bedecken. Jährlich sind das knapp 10km². Stellt man sich ein Einfamilienhaus vor, so verfügt ein solches Dach über durchschnittlich 100m². Um 10km² in einem Jahr zu erreichen, müssen wir ab jetzt 80'000 Einfamilienhäuser pro Monat mit einem Solardach ausrüsten. Das ist eine Voraussetzung, die auf mich doch optimistisch wirkt und eine grosse Entschlossenheit fordern würde.

Das Gleiche gilt für die Windkraftanlagen. Wenn wir im Jahr 2050, 5'000 Windräder betreiben möchten, welche je 6GWh jährlichen Ertrag leisten, sind das ab sofort rund 15 Windräder jeden Monat.

In jedem Szenario rechnete ich damit, dass Strom-Wärmepumpen einen wichtigen Anteil der Heizenergie leisten. Solar- & Geothermie sind heute praktisch nicht im Einsatz. Daher ist fraglich, wie schnell sich diese Technologien um- und durchsetzen lassen.

Die Abhängigkeit vom Strom zur Erreichung der Dekarbonisierungsziele und die recht heftigen Dimensionen der zu bauenden Anlagen, brachten mich zu Szenario 3.

Da zum Schluss alles auf den Strom zurückfällt, ist es anhand unserer heutigen Ausgangslage sehr schwer vorstellbar, dass Nuklearstrom nicht weiterhin eine Rolle spielen wird. Ich bin aber der Meinung, dass alle drei Szenarien physikalisch und technisch umsetzbar sind. Szenario 2 halte ich für die sinnvollste Variante. Sie ist am nachhaltigsten und bietet für die Schweiz die grösste Unabhängigkeit. Alle drei Szenarien erfordern aber eine sehr entschlossene Umsetzung. Zudem sind die damit verbundenen Kosten in meiner Arbeit nicht berücksichtigt. Es ist denkbar, dass über einen langen Zeitraum solche Anlagen finanzierbar sind. Die Sonne scheint und der Wind bläst letztlich CO₂-neutral und gratis.

7. Bibliographie/Quellen

- 1) Medienmitteilung Bundesrat: Der Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz, 28.8.2019
<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html> (8/2022)
- 2) Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019, Bericht des Bundesamtes für Energie (BFE)
- 3) Klimaziele 2030 - Wie die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen im Inland halbieren kann, White Paper, BCG & Sustainable Switzerland, September 2022
- 4) Bundesamt für Umwelt (BAFU), Klima: Das Wichtigste in Kürze, letzte Änderung 20.12.2022
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html> (8/2022)
- 5) Langfristige Klimastrategie 2050, Bundesamt für Umwelt (BAFU), 26.1.2022
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/emissionsverminderung/verminderungsziele/ziel-2050/klimastrategie-2050.html> (8/2022)
- 6) Remo Bürgi, Die Kernelemente der Energiestrategie 2050, Energie-Experten, 16.2.2022
<https://www.energie-experten.ch/de/detail/die-kernelemente-der-energiestrategie-2050.html> (8/2022)
- 7) Bruttoenergieverbrauch, Bundesamt für Statistik, veröffentlicht am 21.7.2022
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/energie/verbrauch.html> (9/2022)
- 8) Energiearten und Umwandlung, Energie Baden-Württemberg AG,
<https://www.enbw.com/energie-entdecken/physik/energiearten-und-umwandlung/> (10/2022)
- 9) Energieerhaltungssatz, Wikipedia
<https://de.wikipedia.org/wiki/Energieerhaltungssatz> (10/2022)
- 10) Lithium-Ionen-Akkumulator – Wirkungsgrad, Wikipedia
<https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator#Wirkungsgrad> (11/2022)
- 11) Remo Bürgi, Saisonale Wärmespeicher, Energie-Experten, 17.9.2020
<https://www.energie-experten.ch/de/wissen/detail/waermespeicher-saisonale-speicher.html> (11/2022)
- 12) Reversible Brennstoffzelle bricht Wirkungsgrad-Rekord, Medienmitteilung, Jülich Forschungszentrum, 18.12.2018
- 13) Wasserstoffwirtschaft & Speicherung, Wikipedia
https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffwirtschaft#Speicherung_und_Verteilung_von_Wasserstoff (10/2022)
- 14) Wasserkraftwerke: eine Übersicht
<https://klassewasser.de/content/language1/mobil/7274.php> (9/2022)
- 15) Berechnung des Wirkungsgrads, Wikipedia
<https://de.wikipedia.org/wiki/Carnot-Wirkungsgrad> (9/2022)
- 16) Bayrische Landeskraftwerke, Kraftwerkstypen
<https://www.landeskraftwerke.bayern/kraftwerkstypen.htm> (9/2022)
- 17) Bundesamt für Energie, Wasserkraft, letzte Änderung 1.11.2022
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft.html> (10/2022)
- 18) p-n-Übergang in Halbleiterkristallen, Wikipedia
<https://de.wikipedia.org/wiki/P-n-Übergang> (10/2022)
- 19) Von der Zelle zur Solaranlage, Energie Experten, 12.11.2018
<https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solarzelle> (10/2022)
- 20) Unterlagen zur Solarzelle, Praktikum, Technische Universität Dresden, Abteilung Angewandte Physik
https://tu-dresden.de/mn/physik/iap/ressourcen/dateien/FO-Praktikum_Solarzelle.pdf?lang=en (10/2022)
- 21) So funktioniert Solarenergie, Axpo AG
<https://www.axpo.com/ch/de/energiewissen/solarenergie.html> (10/2022)
- 22) <https://www.youtube.com/watch?v=VB0BMluyWZQ> (10/2022)
- 23) Christoph Eisenring, Die Bonanza um alpine Solaranlagen will keiner verpassen, NZZ, 23. November, 2022, S.8
- 24) Windkraftanlagen: Funktionsweise, Geschichte und Ertrag der erneuerbaren Energiequelle, Energievoll, 7.9.2021
<https://www.badenova.de/blog/funktionsweise-von-windkraftanlagen/#bauformen-von-windkraftanlagen> (10/2022)
- 25) Hermann Friedrich Wagner, Physik der Windenergie, Welt der Physik, 12.11.2006
<https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/windenergie/physik-der-windenergie/> (10/2022)
- 26) Geothermie, Bundesamt für Energie (BFE), letzte Änderung 27.1.2022
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/geothermie.html/> (12/2022)

- 27) Geothermie
http://energie-strom.com/erneuerbare_energien/geothermie.html (12/2022)
- 28) Die Funktionsweise von Erdwärmepumpen, Valliant AG
https://www.vaillant.ch/privatkunden/ratgeber-heizung/heiztechnologie-verstehen/warmepumpen/sole-wasser-warmepumpe/#table_1 (12/2022)
- 29) Erdwärme – Vor und Nachteile
<https://www.erdwaerme-gruenwald.de/Startseite/Erdwaerme-Nutzung-Vorteile/Nutzung-der-Erdwaerme/Geothermie-hat-viele-Vorteile/E1055.htm> (12/2022)
- 30) Holzenergie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), letzte Änderung 17.5.2022
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/fachinformationen/waldzustand-und-waldfunktionen/holzproduktion/holzenergie.html> (12/2022)
- 31) Biomassekraftwerk, Verivox
<https://www.verivox.de/strom/themen/biomassekraftwerk/> (12/2022)
- 32) Energie aus Biomasse, Bundesamt für Energie (BFE), letzte Änderung 20.2.2020
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/energie-aus-biomasse.html> (12/2022)
- 33) Solarthermie: Sonnenenergie für Wärme nutzen
https://www.hoval.ch/de_CH/Solarthermie%3A-Sonnenenergie-für-Wärme-nutzen/solarthermie-sonnenenergie-fuer-waerme-nutzen(12/2022)
- 34) Fernwärme
<https://www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch/allgemeine-Fragen/Was-ist-Fernwaerme.php>
- 35) So funktioniert ein Kernkraftwerk, Kernkraftwerk Leibstadt
<https://www.kkl.ch/kernenergie/unser-kraftwerk/funktion-des-kernkraftwerks> (9/2022)
- 36) Siedewasserreaktor, Eidgenössisches Nuklearinspektorat (ENSI), 17.5.2013 (9/2022)
<https://www.ensi.ch/de/2013/05/17/siedewasserreaktor/>
- 37) Druckwasserreaktor, Eidgenössisches Nuklearinspektorat (ENSI), 17.5.2013
<https://www.ensi.ch/de/2013/05/17/druckwasserreaktor/> (9/2022)
- 38) Fossile Energien, Bundesamt für Energie (BFE), letzte Änderung 26.11.2020
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/fossile-energien.html> (12/2022)
- 39) Funktionsweise eines Gasturbinenkraftwerk, Trianel GmbH
<https://www.trianel-hamm.de/kraftwerk/funktionsschema> (12/2022)
- 40) Ölkraftwerk, Energie Lexikon
<https://www.energie-lexikon.info/oelkraftwerk.html> (12/2022)
- 41) Typische Wirkungsgrade, Energie Lexikon
<https://www.energie-lexikon.info/wirkungsgrad.html> (12/2022)
- 42) Christoph Eisenring, Die Energiestrategie des Bundes sei Wunschdenken, sagt ein ETH-Forscher. 2050 könnten in einem schweren Winter zwei Drittel des Stroms fehlen, NZZ, 7.7. 2022
- 43) Effizienz und Kosten: Lohnt sich der Betrieb eines Elektroautos? Bundesministerium für Umwelt, Stand 1.10.2021
<https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten> (1/2023)
- 43) So ist der Boden in der Schweiz verteilt, Watson, 25.1.2019
<https://www.watson.ch/schweiz/zersiedelungsinitiative/215600624-zersiedelung-so-ist-der-boden-in-der-schweiz-verteilt> (1/2023)
- 45) Windenergie – die optimale Ergänzung für die Stromproduktion in der Schweiz, WWF
<https://www.wwf.ch/de/unsere-ziele/windenergie-die-optimale-ergaenzung-fuer-die-stromproduktion-in-der-schweiz> (1/2023)
- 46) Kernkraftwerke Beznau I und II, swissnuclear
https://www.swissnuclear.ch/de/kernkraftwerk-beznau-1-und-2-_content--1--1036.html (1/2023)

8. Anhang

8.1 Excel Tabellen

8.1.1 Excel Tabelle – Strom Produktion und Verluste 1994 – 2019 – Prognose 2050

Jahr	Bevölkerung Mio	Bedarf TJ	Bedarf/Per MWh	Strom Produktion (TJ)										Verluste (TJ)									
				Wasser %	Nuklear %	Therm. %	PV %	Wind %	Holz %	Biogas %	import export %	speicherpumpen %	Netzübertragung %										
1994	6.99	787'881	31.29	142'402	62.14%	82'742	36.10%	3'557	1.55%	18	0.01%	-	0.00%	36	0.02%	421	0.25%	-42'635	-18.60%	-13'140	-5.73%	-4'576	-2.00%
1995	7.06	838'058	32.99	128'149	58.98%	84'550	38.91%	4'093	1.88%	22	0.01%	-	0.00%	32	0.02%	439	0.22%	-26'176	-12.05%	13'266	6.11%	-5'472	-2.52%
1996	7.12	831'950	32.46	106'913	53.88%	85'388	43.03%	5'602	2.82%	25	0.01%	4	0.00%	50	0.03%	454	0.26%	-3'406	-1.72%	-13'421	-6.16%	-6'314	-3.18%
1997	7.18	815'595	31.54	125'258	57.42%	86'296	39.56%	6'070	2.78%	25	0.01%	7	0.00%	36	0.02%	464	0.27%	-24'314	-11.15%	-13'374	-6.73%	-5'468	-2.51%
1998	7.25	839'759	32.19	123'462	56.27%	87'725	39.98%	7'646	3.48%	29	0.02%	11	0.01%	47	0.03%	493	0.28%	-21'434	-9.77%	-13'514	-6.16%	-5'832	-2.66%
1999	7.31	845'211	32.12	146'218	60.90%	84'683	35.27%	8'590	3.58%	36	0.02%	11	0.01%	47	0.03%	511	0.28%	-36'924	-15.34%	-13'835	-5.76%	-5'069	-2.11%
2000	7.37	839'045	31.62	136'264	57.92%	89'816	38.18%	8'539	3.63%	40	0.02%	11	0.01%	50	0.03%	536	0.28%	-25'452	-10.82%	-14'152	-6.02%	-7'106	-3.02%
2001	7.44	861'957	32.20	152'140	60.22%	91'055	36.04%	8'759	3.47%	47	0.02%	14	0.01%	50	0.03%	565	0.29%	-37'598	-14.88%	-14'522	-5.75%	-7'009	-2.77%
2002	7.50	834'228	30.91	131'447	56.16%	92'491	39.52%	9'403	4.02%	54	0.03%	18	0.01%	79	0.04%	547	0.28%	-16'229	-6.93%	-14'602	-6.24%	-8'705	-3.72%
2003	7.56	854'795	31.40	131'202	55.84%	93'352	39.73%	9'680	4.12%	65	0.03%	18	0.01%	97	0.05%	544	0.27%	-11'203	-4.77%	-14'900	-6.34%	-10'415	-4.43%
2004	7.62	857'883	31.26	126'421	55.28%	91'555	40.04%	9'994	4.37%	65	0.03%	22	0.01%	104	0.05%	518	0.26%	-2'531	-1.11%	-15'178	-6.64%	-8'759	-3.83%
2005	7.69	870'916	31.47	117'932	56.56%	79'272	38.02%	10'555	5.06%	76	0.04%	29	0.01%	119	0.06%	522	0.25%	22'860	10.96%	-15'505	-7.44%	-9'472	-4.54%
2006	7.75	866'982	31.07	117'205	56.39%	94'478	42.23%	11'171	4.99%	86	0.04%	54	0.03%	158	0.08%	554	0.27%	9'731	4.35%	-15'631	-6.99%	-9'792	-4.38%
2007	7.81	845'130	30.05	130'943	55.18%	94'838	39.97%	10'418	4.39%	104	0.05%	58	0.03%	331	0.16%	605	0.29%	-7'423	-3.13%	-15'545	-6.55%	-7'574	-3.19%
2008	7.88	878'964	31.00	135'212	56.08%	94'075	39.02%	10'487	4.35%	133	0.06%	68	0.03%	472	0.22%	637	0.30%	-4'086	-1.69%	-15'905	-6.60%	-9'666	-4.01%
2009	7.94	858'620	30.04	133'690	55.85%	94'028	39.28%	10'141	4.24%	194	0.09%	83	0.04%	554	0.27%	688	0.33%	-7'765	-3.24%	-15'552	-6.50%	-9'083	-3.79%
2010	8.00	896'655	31.13	134'820	56.53%	90'738	38.04%	11'243	4.71%	338	0.16%	133	0.06%	486	0.23%	752	0.35%	1'872	0.78%	-16'175	-6.78%	-8'978	-3.76%
2011	8.07	836'229	28.80	121'662	53.74%	92'016	40.65%	10'318	4.56%	605	0.29%	252	0.12%	695	0.33%	824	0.39%	9'313	4.11%	-15'851	-7.00%	-8'878	-3.92%
2012	8.13	867'512	29.65	143'662	58.67%	87'642	35.79%	10'328	4.22%	1'076	0.51%	317	0.15%	907	0.43%	936	0.44%	-7'920	-3.23%	-15'966	-6.52%	-8'680	-3.54%
2013	8.19	889'278	30.16	142'459	57.93%	89'536	36.41%	9'799	3.98%	1'800	0.84%	324	0.15%	1'001	0.47%	1'004	0.47%	-8'626	-3.51%	-16'060	-6.53%	-7'675	-3.42%
2014	8.25	820'427	27.61	141'509	56.45%	94'932	37.87%	8'816	3.52%	3'031	1.47%	364	0.18%	983	0.48%	1'044	0.50%	-19'768	-7.89%	-15'556	-6.21%	-8'478	-3.38%
2015	8.32	833'129	27.83	142'150	59.87%	79'542	33.50%	9'580	4.03%	4'028	1.92%	396	0.19%	662	0.32%	1'091	0.52%	-3'726	-1.57%	-15'768	-6.64%	-8'266	-3.48%
2016	8.38	849'066	28.14	130'774	58.95%	72'846	32.84%	11'052	4.98%	4'802	2.29%	392	0.19%	803	0.38%	1'152	0.55%	14'123	6.37%	-15'761	-7.11%	-10'519	-4.74%
2017	8.44	844'686	27.79	131'998	59.63%	70'196	31.71%	10'264	4.64%	6'059	2.88%	479	0.23%	1'159	0.55%	1'202	0.57%	19'980	9.03%	-15'818	-7.15%	-14'976	-6.77%
2018	8.51	810'873	26.48	134'741	55.40%	87'890	36.14%	10'829	4.45%	7'002	3.63%	439	0.23%	1'044	0.54%	1'267	0.66%	-20'568	-8.46%	-15'613	-6.42%	-14'353	-5.90%
2019	8.57	828'587	26.86	146'002	55.41%	91'008	35.16%	10'976	4.24%	7'841	3.03%	526	0.20%	1'127	0.44%	1'339	0.52%	-22'536	-8.71%	-15'491	-5.99%	-14'879	-5.75%
2020	8.63	834'951	26.87	115'200	55.95%	70'069	34.03%	8450.99	4.10%	8'295	4.03%	2'597	1.26%	919	0.44%	1'086	0.52%	0.00	0.00%	-12'507	-5.95%	-12'027	-5.72%
2021	8.70	841'319	26.88	116'558	55.48%	69'107	32.89%	8334.88	3.97%	10'562	5.03%	4'872	2.32%	947	0.44%	1'106	0.52%	0.00	0.00%	-12'441	-5.92%	-11'976	-5.70%
2022	8.76	847'691	26.89	120'241	55.02%	69'413	31.76%	8371.89	3.83%	13'171	6.03%	7'381	3.38%	965	0.44%	1'127	0.52%	0.00	0.00%	-12'873	-5.89%	-12'406	-5.68%
2023	8.82	844'066	26.89	121'568	54.55%	68'250	30.63%	8231.55	3.69%	15'657	7.03%	9'883	4.43%	989	0.44%	1'148	0.52%	0.00	0.00%	-13'055	-5.86%	-12'596	-5.63%
2024	8.88	860'446	26.90	122'878	54.09%	67'001	29.49%	8080.91	3.56%	18'231	8.02%	12'479	5.49%	1'013	0.45%	1'169	0.51%	0.00	0.00%	-13'237	-5.83%	-12'786	-5.63%
2025	8.95	866'830	26.91	124'168	53.62%	65'665	28.36%	7919.80	3.42%	20'896	9.02%	15'169	6.55%	1'037	0.45%	1'190	0.51%	0.00	0.00%	-13'418	-5.79%	-12'976	-5.60%
2026	9.01	873'217	26.92	125'440	53.16%	64'241	27.22%	7748.05	3.28%	23'652	10.02%	17'955	7.61%	1'067	0.45%	1'212	0.51%	0.00	0.00%	-13'599	-5.76%	-13'167	-5.58%
2027	9.07	879'609	26.93	126'692	52.69%	62'727	26.09%	7565.49	3.15%	26'501	11.02%	20'838	8.67%	1'087	0.45%	1'233	0.51%	0.00	0.00%	-13'779	-5.73%	-13'358	-5.56%
2028	9.14	886'004	26.94	127'924	52.23%	61'123	24.95%	7371.97	3.01%	29'444	12.02%	23'820	9.72%	1'112	0.45%	1'255	0.51%	0.00	0.00%	-13'959	-5.70%	-13'548	-5.53%
2029	9.20	892'404	26.95	129'136	51.76%	59'426	23.82%	7167.30	2.87%	32'482	13.02%	26'901	10.78%	1'138	0.46%	1'277	0.51%	0.00	0.00%	-14'139	-5.67%	-13'739	-5.51%
2030	9.26	898'807	26.96	130'326	51.30%	57'635	22.69%	6951.34	2.74%	35'617	14.02%	30'082	11.84%	1'164	0.46%	1'299	0.51%	0.00	0.00%	-14'318	-5.64%	-13'930	-5.48%
2031	9.33	905'215	26.96	131'494	50.83%	55'749	21.55%	6732.90	2.60%	38'849	15.02%	33'366	12.90%	1'191	0.46%	1'321	0.51%	0.00	0.00%	-14'496	-5.60%	-14'121	-5.46%
2032	9.39	911'626	26.97	132'640	50.37%	53'767	20.42%	6484.82	2.46%	42'180	16.02%	36'754	13.96%	1'218	0.46%	1'343	0.51%	0.00	0.00%	-14'674	-5.57%	-14'312	-5.43%
2033	9.45	918'462	26.98	133'763	49.90%	51'687	19.28%	6233.94	2.33%	45'611	17.02%	40'246	15.01%	1'245	0.46%	1'366	0.51%	0.00	0.00%	-14'851	-5.54%	-14'503	-5.41%
2034	9.51	924'461	26.99	134'862	49.44%	49'508	18.15%	5971.09	2.19%	49'144	18.02%	43'845	16.07%	1'273	0.47%	1'388	0.51%	0.00	0.00%	-15'027	-5.51%	-14'694	-5.39%
2035	9.58	930'884	27.00	135'938	48.97%	47'228	17.01%	5696.10	2.05%	52'779	19.01%	47'550	17.13%	1'301	0.47%	1'411	0.51%	0.00	0.00%	-15'202	-5.48%	-14'884	-5.36%
2036	9.64	937'008	27.00	136'944	48.51%	44'831	15.88%	5407.05	1.92%	56'500	20.01%	51'348	18.19%	1'329	0.47%	1'434	0.51%	0.00	0.00%	-15'372	-5.44%	-15'070	-5.34%
2037	9.70	943'132	27.00	137'925	48.04%	42'333	14.75%	5105.73	1.78%	60'323	21.01%	55'254	19.25%	1'358	0.47%	1'456	0.51%	0.00	0.00%	-15'540	-5.41%	-15'256	-5.31%
2038	9.77	949'255	27.00	138'880	47.58%	39'731	13.61%	4791.96	1.64%	64'251	22.01%	59'268	20.30%	1'386	0.47%	1'479	0.51%	0.00	0.00%	-15'708	-5.38%	-15'441	-5.29%
2039	9.83	955'379	27.00	139'807	47.11%	37'025	12.48%	4465.60	1.50%	68'283	23.01%	63'392	21.36%	1'416	0.48%	1'502	0.51%	0.00	0.00%	-15'875	-5.35%	-15'626	-5.27%
2040	9.89	961'502	27.00	140'708	46.65%	34'214	11.34%	4126.50	1.37%	72'421	24.01%	67'627	22.42%	1'445	0.48%	1'525	0.51%	0.00	0.00%	-16'040	-5.32%	-15'810	-5.24%
2041	9.96	967'626	27.00	141'580	46.18%	31'295	10.21%	3774.49	1.23%	76'566	25.01%	71'975	23.48%	1'475	0.48%	1'548	0.51%	0.00	0.00%	-16'205	-5.29%	-15'994	-5.22%
2042	10.02	973'750	27.00	142'424	45.72%	28'268	9.07%	3409.42	1.09%	81'019	26.01%	76'436	24.54%	1'506	0.48%	1'572	0.50%	0.00	0.00%	-16'368	-5.25%	-16'178	-5.19%
2043	10.08	979'873	27.00	143'239	45.25%	25'132	7.94%	3031.14	0.96%	85'482	27.01%	81'012	25.59%	1'536	0.49%	1'595	0.50%	0.00	0.00%	-16'530	-5.22%	-16'361	-5.17%

8.1.2 Excel Tabelle – Strom Verbrauch Total 1994 – 2019 – Prognose 2050

Jahr	Bevölkerung Mio	Bedarf TJ	Bedarf/Per MWh	Strom Total	Strom Nachhaltig %	Strom to replace %	Strom Verkehr %			
1994	6.99	787'881	31.29	168'826	21.43%	82'526	10.47%	8'780	1.11%	
1995	7.06	838'058	32.99	198'904	23.73%	110'261	13.16%	8'760	1.05%	
1996	7.12	831'950	32.46	175'295	21.07%	84'305	10.13%	8'630	1.04%	
1997	7.18	815'595	31.54	175'000	21.46%	82'634	10.13%	8'680	1.06%	
1998	7.25	839'759	32.19	178'632	21.27%	83'261	9.91%	8'920	1.06%	
1999	7.31	845'211	32.12	184'367	21.81%	91'094	10.78%	8'170	0.97%	
2000	7.37	839'045	31.62	188'546	22.47%	90'191	10.75%	10'340	1.23%	
2001	7.44	861'957	32.20	193'500	22.45%	93'686	10.87%	10'540	1.22%	
2002	7.50	834'228	30.91	194'504	23.32%	92'610	11.10%	10'900	1.31%	
2003	7.56	854'795	31.40	198'439	23.21%	95'407	11.16%	11'560	1.35%	
2004	7.62	857'883	31.26	202'212	23.57%	100'663	11.73%	11'400	1.33%	
2005	7.69	870'816	31.47	206'388	23.70%	116'561	13.39%	11'550	1.33%	
2006	7.75	866'982	31.07	208'015	23.99%	102'366	11.81%	11'940	1.38%	
2007	7.81	845'130	30.05	206'755	24.46%	101'498	12.01%	11'880	1.41%	
2008	7.88	878'964	31.00	211'428	24.05%	106'866	12.16%	12'110	1.38%	
2009	7.94	858'620	30.04	206'978	24.11%	102'809	11.97%	11'830	1.38%	
2010	8.00	896'655	31.13	215'230	24.00%	113'249	12.63%	12'190	1.36%	
2011	8.07	836'229	28.80	210'956	25.23%	108'623	12.99%	11'880	1.42%	
2012	8.13	867'512	29.65	212'303	24.47%	114'332	13.18%	12'030	1.39%	
2013	8.19	889'278	30.16	213'563	24.02%	114'228	12.85%	12'180	1.37%	
2014	8.25	820'427	27.61	206'878	25.22%	103'129	12.57%	11'930	1.45%	
2015	8.32	833'129	27.83	209'689	25.17%	120'568	14.47%	12'210	1.47%	
2016	8.38	849'066	28.14	209'664	24.69%	125'766	14.81%	12'480	1.47%	
2017	8.44	844'686	27.79	210'542	24.93%	130'082	15.40%	12'340	1.46%	
2018	8.51	810'873	26.48	192'678	23.76%	93'959	11.59%	12'250	1.51%	
2019	8.57	828'587	26.86	205'913	24.85%	103'928	12.54%	12'180	1.47%	
2020	8.63	834'951	26.87	210'087	25.16%	110'634	13.25%	11'430	1.37%	
2021	8.70	841'319	26.88	214'301	24.97%	117'430	13.96%	12'200	1.45%	
2022	8.76	847'691	26.89	218'556	25.78%	124'317	14.67%	19'746	2.33%	
2023	8.82	854'066	26.89	222'851	26.09%	131'295	15.37%	27'405	3.21%	
2024	8.88	860'446	26.90	227'187	26.40%	138'363	16.08%	35'176	4.09%	
2025	8.95	866'830	26.91	231'564	26.71%	145'523	16.79%	43'059	4.97%	
2026	9.01	873'217	26.92	235'982	27.02%	152'773	17.50%	51'055	5.85%	
2027	9.07	879'609	26.93	240'440	27.33%	160'115	18.20%	59'163	6.73%	
2028	9.14	886'004	26.94	244'939	27.65%	167'547	18.91%	67'384	7.61%	
2029	9.20	892'404	26.95	249'479	27.96%	175'072	19.62%	75'718	8.48%	
2030	9.26	898'807	26.96	254'059	28.27%	182'687	20.33%	84'165	9.36%	
2031	9.33	905'215	26.96	258'681	28.58%	190'394	21.03%	92'725	10.24%	
2032	9.39	911'626	26.97	263'343	28.89%	198'192	21.74%	101'398	11.12%	
2033	9.45	918'042	26.98	268'047	29.20%	206'082	22.45%	110'184	12.00%	
2034	9.51	924'461	26.99	272'791	29.51%	214'064	23.16%	119'084	12.88%	
2035	9.58	930'884	27.00	277'577	29.82%	222'137	23.86%	128'097	13.76%	
2036	9.64	937'308	27.00	282'312	30.13%	230'228	24.57%	137'179	14.64%	
2037	9.70	943'732	27.00	287'085	30.44%	238'405	25.28%	146'369	15.52%	
2038	9.77	949'255	27.00	291'897	30.75%	246'670	25.99%	155'666	16.40%	
2039	9.83	955'379	27.00	296'746	31.06%	255'020	26.69%	165'071	17.28%	
2040	9.89	961'502	27.00	301'633	31.37%	263'458	27.40%	174'584	18.16%	
2041	9.96	967'626	27.00	306'558	31.68%	271'981	28.11%	184'205	19.04%	
2042	10.02	973'750	27.00	311'521	31.99%	280'592	28.82%	193'933	19.92%	
2043	10.08	979'873	27.00	316'523	32.30%	289'289	29.52%	203'769	20.80%	
2044	10.14	985'997	27.00	321'562	32.61%	298'073	30.23%	213'712	21.67%	
2045	10.21	992'120	27.00	326'639	32.92%	306'944	30.94%	223'764	22.55%	
2046	10.27	998'244	27.00	331'755	33.23%	315'901	31.65%	233'923	23.43%	
2047	10.33	1'004'368	27.00	336'908	33.54%	324'945	32.35%	244'189	24.31%	
2048	10.40	1'010'491	27.00	342'100	33.85%	334'076	33.06%	254'564	25.19%	
2049	10.46	1'016'615	27.00	347'329	34.17%	343'293	33.77%	265'046	26.07%	
2050	10.52	1'022'738	27.00	352'597	34.48%	352'597	34.48%	275'636	26.95%	
Lineare Veränderung pro Jahr zur Ziele				-0.01			0.71%	wirkungsgrad		0.008793
					Verkehr:	25.48%	0.31	7.963%		
					Thermie:	8%	25%	2.10%	16'997.163	1.66%
									Minus bestehende Pumpen	

8.1.3 Excel Tabelle – Treibstoff Verbrauch nach Kategorien und Total 1994 – 2019 – Prognose 2050

Jahr	Bevölkerung Mio	Bedarf TJ	Bedarf/Per MWh	Treibstoff (TJ)/Verkehr					Treibstoff Unterteilt					Ersatz in TJ	Strom					
				Flugtreibstoff	Benzin	%	Diesel	%	biogene treibs %	Flugtreibstoff	Treibstoff Tot%	Treibstoff to repl%	Treibstoff erneu %							
1994	6.99	787'881	31.29	52'116	154'045	76.17%	48'203	23.83%	-	0.00%	52'116	6.61%	202'248	25.67%	202'248	100.00%	-	0.00%		
1995	7.06	838'058	32.99	54'954	149'344	75.27%	49'063	24.73%	-	0.00%	54'954	6.56%	198'407	23.67%	198'407	100.00%	-	0.00%		
1996	7.12	831'950	32.46	56'760	153'171	76.88%	46'053	23.12%	-	0.00%	56'760	6.82%	199'224	23.95%	199'224	100.00%	-	0.00%		
1997	7.18	815'595	31.54	58'781	159'037	76.85%	47'859	23.13%	60	0.03%	58'781	7.21%	206'956	25.37%	206'896	99.97%	60	0.03%		
1998	7.25	839'759	32.19	61'275	160'202	76.29%	49'751	23.69%	50	0.02%	61'275	7.30%	210'003	25.01%	209'953	99.98%	50	0.02%		
1999	7.31	845'211	32.12	65'231	165'526	75.81%	52'761	24.16%	50	0.02%	65'231	7.72%	218'337	25.83%	218'287	99.98%	50	0.02%		
2000	7.37	839'045	31.62	68'026	165'693	74.65%	56'201	25.32%	60	0.03%	68'026	8.11%	221'954	26.45%	221'894	99.97%	60	0.03%		
2001	7.44	861'957	32.20	64'156	161'117	73.78%	57'190	26.19%	60	0.03%	64'156	7.44%	218'367	25.33%	218'307	99.97%	60	0.03%		
2002	7.50	834'228	30.91	59'340	157'872	72.70%	59'211	27.27%	60	0.03%	59'340	7.11%	217'143	26.03%	217'083	99.97%	60	0.03%		
2003	7.56	854'795	31.40	53'363	157'082	71.42%	62'780	28.54%	80	0.04%	53'363	6.24%	219'942	25.73%	219'862	99.96%	80	0.04%		
2004	7.62	857'883	31.26	50'353	154'253	69.55%	67'424	30.40%	120	0.05%	50'353	5.87%	221'797	25.85%	221'677	99.95%	120	0.05%		
2005	7.69	870'816	31.47	50'998	149'552	66.94%	73'616	32.95%	240	0.11%	50'998	5.86%	223'408	25.66%	223'168	99.89%	240	0.11%		
2006	7.75	866'982	31.07	53'449	144'934	64.44%	79'636	35.41%	340	0.15%	53'449	6.16%	224'910	25.94%	224'570	99.85%	340	0.15%		
2007	7.81	845'130	30.05	57'018	143'520	62.55%	85'484	37.26%	450	0.20%	57'018	6.75%	229'454	27.15%	229'004	99.80%	450	0.20%		
2008	7.88	878'964	31.00	60'974	140'358	59.82%	93'783	39.97%	490	0.21%	60'974	6.94%	234'631	26.69%	234'141	99.79%	490	0.21%		
2009	7.94	858'620	30.04	58'480	136'531	58.84%	95'159	41.01%	350	0.15%	58'480	6.81%	232'040	27.02%	231'690	99.85%	350	0.15%		
2010	8.00	896'655	31.13	61'404	131'622	57.01%	98'814	42.80%	420	0.18%	61'404	6.85%	230'856	25.75%	230'436	99.82%	420	0.18%		
2011	8.07	836'229	28.80	65'446	126'506	55.39%	101'437	44.41%	450	0.20%	65'446	7.83%	228'393	27.31%	227'943	99.80%	450	0.20%		
2012	8.13	867'512	29.65	67'037	122'054	53.03%	107'586	46.74%	520	0.23%	67'037	7.73%	230'160	26.53%	229'640	99.77%	520	0.23%		
2013	8.19	889'278	30.16	67'768	116'480	50.78%	112'402	49.01%	480	0.21%	67'768	7.62%	229'362	25.79%	228'882	99.79%	480	0.21%		
2014	8.25	820'427	27.61	68'241	111'779	49.05%	115'240	50.57%	870	0.38%	68'241	8.32%	227'889	27.78%	227'019	99.62%	870	0.38%		
2015	8.32	833'129	27.83	70'477	103'584	47.23%	113'649	51.82%	2'070	0.94%	70'477	8.46%	219'303	26.32%	217'233	99.06%	2'070	0.94%		
2016	8.38	849'066	28.14	73'831	100'339	45.86%	114'896	52.51%	3'560	1.63%	73'831	8.70%	218'795	25.77%	215'235	98.37%	3'560	1.63%		
2017	8.44	844'686	27.79	75'594	97'261	44.75%	114'552	52.71%	5'520	2.54%	75'594	8.95%	217'333	25.73%	211'813	97.46%	5'520	2.54%		
2018	8.51	810'873	26.48	79'894	95'722	43.66%	116'014	52.91%	7'520	3.43%	79'894	9.85%	219'256	27.04%	211'736	96.57%	7'520	3.43%		
2019	8.57	828'587	26.86	80'711	94'931	43.39%	116'057	53.05%	7'800	3.57%	80'711	9.74%	218'788	26.40%	210'988	96.43%	7'800	3.57%		
2020	8.63	834'951	26.87	81'324	92'574	41.99%	113'176	51.33%	7'855	3.56%	81'324	9.74%	220'469	26.40%	205'750	93.32%	7'855	3.56%	6'863	0.82%
2021	8.70	841'319	26.88	81'944	90'171	40.59%	110'238	49.62%	7'911	3.56%	81'944	9.74%	222'150	26.40%	200'409	90.21%	7'911	3.56%	13'831	1.64%
2022	8.76	847'691	26.89	82'565	87'721	39.19%	107'242	47.91%	7'966	3.56%	82'565	9.74%	223'832	26.40%	194'964	87.10%	7'966	3.56%	20'903	2.47%
2023	8.82	854'066	26.89	83'186	85'224	37.79%	104'190	46.20%	8'021	3.56%	83'186	9.74%	225'516	26.40%	189'415	83.99%	8'021	3.56%	28'080	3.29%
2024	8.88	860'446	26.90	83'807	82'681	36.39%	101'081	44.49%	8'076	3.55%	83'807	9.74%	227'200	26.40%	183'762	80.88%	8'076	3.55%	35'363	4.11%
2025	8.95	866'830	26.91	84'429	80'091	34.99%	97'914	42.78%	8'131	3.55%	84'429	9.74%	228'886	26.40%	178'005	77.77%	8'131	3.55%	42'750	4.93%
2026	9.01	873'217	26.92	85'051	77'454	33.59%	94'690	41.07%	8'186	3.55%	85'051	9.74%	230'573	26.40%	172'144	74.66%	8'186	3.55%	50'243	5.75%
2027	9.07	879'609	26.93	85'674	74'770	32.19%	91'409	39.36%	8'241	3.55%	85'674	9.74%	232'260	26.40%	166'179	71.55%	8'241	3.55%	57'840	6.58%
2028	9.14	886'004	26.94	86'297	72'039	30.79%	88'070	37.65%	8'296	3.55%	86'296	9.74%	233'949	26.40%	160'109	68.44%	8'296	3.55%	65'543	7.40%
2029	9.20	892'404	26.95	86'920	69'261	29.39%	84'674	35.93%	8'351	3.54%	86'920	9.74%	235'639	26.40%	153'936	65.33%	8'351	3.54%	73'352	8.22%
2030	9.26	898'807	26.96	87'544	66'436	27.99%	81'221	34.22%	8'406	3.54%	87'543	9.74%	237'330	26.40%	147'657	62.22%	8'406	3.54%	81'266	9.04%
2031	9.33	905'215	26.96	88'168	63'564	26.59%	77'710	32.51%	8'461	3.54%	88'167	9.74%	239'022	26.40%	141'274	59.11%	8'461	3.54%	89'286	9.86%
2032	9.39	911'626	26.97	88'792	60'645	25.19%	74'141	30.80%	8'516	3.54%	88'792	9.74%	240'715	26.40%	134'787	55.99%	8'516	3.54%	97'412	10.69%
2033	9.45	918'042	26.98	89'417	57'679	23.79%	70'515	29.09%	8'571	3.54%	89'417	9.74%	242'409	26.40%	128'195	52.88%	8'571	3.54%	105'643	11.51%
2034	9.51	924'461	26.99	90'043	54'666	22.39%	66'831	27.38%	8'626	3.53%	90'042	9.74%	244'104	26.40%	121'497	49.77%	8'626	3.53%	113'961	12.33%
2035	9.58	930'884	27.00	90'668	51'605	20.99%	63'090	25.67%	8'680	3.53%	90'668	9.74%	245'800	26.40%	114'695	46.66%	8'680	3.53%	122'424	13.15%
2036	9.64	937'008	27.00	91'265	48'482	19.60%	59'271	23.96%	8'732	3.53%	91'264	9.74%	247'417	26.40%	107'753	43.55%	8'732	3.53%	130'931	13.97%
2037	9.70	943'132	27.00	91'861	45'313	18.20%	55'397	22.24%	8'784	3.53%	91'861	9.74%	249'034	26.40%	100'710	40.44%	8'784	3.53%	139'539	14.80%
2038	9.77	949'255	27.00	92'457	42'099	16.80%	51'468	20.53%	8'836	3.53%	92'457	9.74%	250'650	26.40%	93'567	37.33%	8'836	3.53%	148'248	15.62%
2039	9.83	955'379	27.00	93'054	38'840	15.40%	47'483	18.82%	8'888	3.52%	93'053	9.74%	252'267	26.40%	86'323	34.22%	8'888	3.52%	157'057	16.44%
2040	9.89	961'502	27.00	93'650	35'535	14.00%	43'443	17.11%	8'939	3.52%	93'650	9.74%	253'884	26.40%	78'978	31.11%	8'939	3.52%	165'967	17.26%
2041	9.96	967'626	27.00	94'247	32'185	12.60%	39'348	15.40%	8'991	3.52%	94'246	9.74%	255'501	26.40%	71'533	28.00%	8'991	3.52%	174'977	18.08%
2042	10.02	973'750	27.00	94'843	28'790	11.20%	35'197	13.69%	9'042	3.52%	94'843	9.74%	257'118	26.40%	63'988	24.89%	9'042	3.52%	184'088	18.91%
2043	10.08	979'873	27.00	95'440	25'350	9.80%	30'991	11.98%	9'094	3.51%	95'439	9.74%	258'735	26.40%	56'341	21.78%	9'094	3.51%	193'300	19.73%
2044	10.14	985'997	27.00	96'036	21'864	8.40%	26'730	10.27%	9'145	3.51%	96'036	9.74%	260'352	26.40%	48'594	18.66%	9'145	3.51%	202'613	20.55%
2045	10.21	992'120	27.00	96'633	18'333	7.00%	22'413	8.56%	9'196	3.51%	96'632	9.74%	261'969	26.40%	40'747	15.55%	9'196	3.51%	212'026	21.37%
2046	10.27	998'244	27.00	97'229	14'757	5.60%	18'041	6.84%	9'248	3.51%	97'228	9.74%	263'586	26.40%	32'799	12.44%	9'248	3.51%	221'540	22.19%
2047	10.33	1'004'368	27.00	97'825	11'136	4.20%	13'614	5.13%	9'299	3.51%	97'825	9.74%	265'203	26.40%	24'750	9.33%	9'299	3.51%	231'154	23.01%
2048	10.40	1'010'491	27.00	98'422	7'469	2.80%	9'131	3.42%	9'350	3.50%	98'421	9.74%	266'820	26.40%	16'600	6.22%	9'350	3.50%	240'869	23.84%
2049	10.46	1'016'615	27.00	99'018	3'757	1.40%	4'593	1.71%	9'401	3.50%	99'018	9.74%	268'437	26.40%	8'351	3.11%	9'401	3.50%	250'685	24.66%
2050	10.52	1'022'738	27.00	99'615	-	0.00%	-	0.00%	9'452	3.50%</										

8.1.4 Excel Tabelle – Thermischer Energieverbrauch nach Kategorien 1994 – 2019 – Prognose 2050

Jahr	Bevölke	Bedarf TJ	Bedarf/Per MW	Thermie Erdölprodukte (TJ)								Thermie (TJ)																	
				Heizöl leicht	%	Heizöl schwer	%	Petrolkoks	%	übrig. Öl	%	Gas	%	Kohle	%	Holz	%	Fernwärme	%	Ind.abfälle	%	solartherm.	%	biogas	%	umweltth.	%	Geotherm.	%
1994	6.99	787'881	31.29	207'419	56.9%	14'299	3.92%	1'470	0.4%	1'313	0.4%	78'060	21%	7'350	2%	28'600	8%	11'280	3%	10'110	3%	250	0%	1'250	0%	3'290	1%	-	0%
1995	7.06	838'058	32.99	218'027	56.5%	13'114	3.40%	1'260	0.3%	1'313	0.3%	86'000	22%	7'920	2%	30'510	8%	11'970	3%	10'440	3%	300	0%	1'270	0%	3'670	1%	-	0%
1996	7.12	831'950	32.46	226'462	56.5%	10'626	2.65%	1'015	0.3%	1'390	0.3%	92'320	23%	5'960	1%	33'560	8%	12'480	3%	11'110	3%	359	0%	1'320	0%	4'070	1%	-	0%
1997	7.18	815'595	31.54	212'276	56.6%	9'362	2.50%	280	0.1%	1'622	0.4%	88'550	24%	4'590	1%	29'510	8%	12'980	3%	10'090	3%	400	0%	1'320	0%	3'880	1%	-	0%
1998	7.25	839'759	32.19	222'755	57.1%	9'954	2.55%	455	0.1%	1'725	0.4%	91'550	23%	3'810	1%	30'020	8%	13'250	3%	10'320	3%	460	0%	1'360	0%	4'190	1%	-	0%
1999	7.31	845'211	32.12	212'233	56.3%	7'821	2.07%	525	0.1%	1'866	0.5%	92'840	25%	3'960	1%	29'650	8%	13'210	4%	8'930	2%	510	0%	1'400	0%	4'330	1%	-	0%
2000	7.37	839'045	31.62	196'088	54.4%	5'451	1.51%	560	0.2%	1'660	0.5%	93'160	26%	5'770	2%	27'940	8%	13'180	4%	10'440	3%	560	0%	1'400	0%	4'310	1%	-	0%
2001	7.44	861'957	32.20	212'830	55.1%	7'347	1.90%	420	0.1%	1'557	0.4%	97'020	25%	6'030	2%	29'670	8%	13'900	4%	10'450	3%	600	0%	1'440	0%	4'670	1%	-	0%
2002	7.50	834'228	30.91	196'471	54.1%	4'385	1.21%	700	0.2%	1'725	0.5%	94'860	26%	5'560	2%	28'460	8%	14'020	4%	10'190	3%	640	0%	1'440	0%	4'790	1%	-	0%
2003	7.56	854'795	31.40	207'547	54.2%	4'661	1.22%	210	0.1%	1'493	0.4%	99'980	26%	5'710	1%	30'460	8%	14'590	4%	11'060	3%	680	0%	1'420	0%	5'240	1%	-	0%
2004	7.62	857'883	31.26	203'032	52.9%	5'649	1.47%	840	0.2%	1'441	0.4%	103'430	27%	5'420	1%	30'290	8%	14'770	4%	10'980	3%	720	0%	1'440	0%	5'510	1%	-	0%
2005	7.69	870'816	31.47	204'736	52.5%	4'424	1.13%	1'155	0.3%	1'287	0.3%	106'460	27%	6'040	2%	31'520	8%	15'240	4%	10'880	3%	770	0%	1'420	0%	6'090	2%	-	0%
2006	7.75	866'982	31.07	194'938	51.2%	5'214	1.37%	1'610	0.4%	1'416	0.4%	104'420	27%	5'520	1%	32'140	8%	15'720	4%	10'990	3%	840	0%	1'470	0%	6'330	2%	-	0%
2007	7.81	845'130	30.05	170'400	48.4%	3'634	1.03%	1'365	0.4%	1'274	0.4%	102'180	29%	7'300	2%	31'220	9%	14'670	4%	10'600	3%	920	0%	1'500	0%	6'840	2%	-	0%
2008	7.88	878'964	31.00	178'281	47.9%	3'595	0.97%	1'155	0.3%	1'210	0.3%	108'880	29%	6'560	2%	35'150	9%	15'260	4%	11'130	3%	1'050	0%	1'510	0%	8'150	2%	-	0%
2009	7.94	858'620	30.04	172'658	47.8%	2'607	0.72%	1'330	0.4%	1'287	0.4%	104'530	29%	6'190	2%	36'190	10%	15'120	4%	9'510	3%	1'240	0%	1'500	0%	8'960	2%	-	0%
2010	8.00	896'655	31.13	181'476	46.6%	2'133	0.55%	1'645	0.4%	1'171	0.3%	115'940	30%	6'210	2%	39'640	10%	17'030	4%	10'040	3%	1'450	0%	1'580	0%	10'850	3%	-	0%
2011	8.07	836'229	28.80	143'093	43.2%	1'422	0.43%	1'400	0.4%	1'158	0.3%	104'210	31%	5'740	2%	34'490	10%	15'660	5%	10'510	3%	1'660	1%	1'670	1%	10'420	3%	-	0%
2012	8.13	867'512	29.65	153'275	42.8%	1'422	0.40%	1'505	0.4%	1'120	0.3%	114'320	32%	5'170	1%	38'110	11%	16'650	5%	10'650	3%	1'850	1%	1'750	0%	12'190	3%	-	0%
2013	8.19	889'278	30.16	161'411	42.6%	830	0.22%	1'155	0.3%	1'120	0.3%	120'750	32%	5'570	1%	41'920	11%	17'620	5%	10'800	3%	2'040	1%	1'740	0%	13'630	4%	-	0%
2014	8.25	820'427	27.61	121'538	38.3%	356	0.11%	1'365	0.4%	991	0.3%	107'080	34%	5'700	2%	35'460	11%	16'030	5%	12'320	4%	2'210	1%	1'750	1%	12'620	4%	-	0%
2015	8.32	833'129	27.83	128'354	38.5%	237	0.07%	875	0.3%	1'004	0.3%	112'900	34%	5'210	2%	37'800	11%	18'170	5%	10'610	3%	2'360	1%	1'740	1%	14'400	4%	-	0%
2016	8.38	849'066	28.14	131'421	37.9%	119	0.03%	980	0.3%	837	0.2%	117'210	34%	4'790	1%	40'730	12%	19'350	6%	11'210	3%	2'460	1%	1'740	1%	15'930	5%	-	0%
2017	8.44	844'686	27.79	122'858	36.0%	79	0.02%	840	0.2%	940	0.3%	118'890	35%	4'610	1%	41'050	12%	19'810	6%	11'220	3%	2'530	1%	1'740	1%	16'650	5%	-	0%
2018	8.51	810'873	26.48	110'462	34.6%	40	0.01%	1'190	0.4%	914	0.3%	112'280	35%	4'290	1%	38'630	12%	19'380	6%	11'070	3%	2'600	1%	1'840	1%	16'350	5%	-	0%
2019	8.57	820'589	26.86	107'906	33.4%	40	0.01%	525	0.2%	875	0.3%	115'200	36%	3'810	1%	39'040	12%	21'560	7%	11'670	4%	2'640	1%	1'890	1%	18'020	5.6%	-	0%
2020	8.63	834'951	26.87	105'227	32.3%	39	0.01%	512	0.2%	853	0.3%	112'340	34%	3'715	1.14%	39'331	12%	22'075	7%	11'695	4%	3'100	1%	1'948	1%	21'670	7%	3'152	1%
2021	8.70	841'319	26.88	102'495	31.2%	38	0.01%	499	0.2%	831	0.3%	109'424	33%	3'619	1.10%	39'623	12%	22'596	7%	11'625	4%	3'566	1%	2'573	8%	6'351	2%	-	0%
2022	8.76	847'691	26.89	99'710	30.2%	36	0.01%	485	0.1%	809	0.2%	106'451	32%	3'521	1.06%	39'914	12%	23'122	7%	11'744	4%	4'039	1%	2'066	1%	29'130	9%	9'599	3%
2023	8.82	854'066	26.89	96'872	29.1%	35	0.01%	471	0.1%	786	0.2%	103'421	31%	3'420	1.03%	40'206	12%	23'654	7%	11'766	4%	4'519	1%	2'127	1%	32'941	10%	12'895	4%
2024	8.88	860'446	26.90	93'981	28.0%	34	0.01%	457	0.1%	762	0.2%	100'334	30%	3'318	0.99%	40'498	12%	24'191	7%	11'788	4%	5'006	1%	2'187	1%	36'805	11%	16'239	5%
2025	8.95	866'830	26.91	91'037	26.9%	33	0.01%	443	0.1%	738	0.2%	97'191	29%	3'214	0.95%	40'789	12%	24'733	7%	11'809	3%	5'499	2%	2'249	1%	40'723	12%	19'631	6%
2026	9.01	873'217	26.92	88'040	25.8%	32	0.01%	428	0.1%	714	0.2%	93'991	28%	3'109	0.91%	41'081	12%	25'281	7%	11'829	3%	5'999	2%	2'311	1%	44'696	13%	23'072	7%
2027	9.07	879'609	26.93	84'989	24.8%	31	0.01%	414	0.1%	689	0.2%	90'734	26%	3'001	0.87%	41'373	12%	25'835	8%	11'848	3%	6'506	2%	2'374	1%	48'722	14%	26'561	8%
2028	9.14	886'004	26.94	81'885	23.7%	30	0.01%	398	0.1%	664	0.2%	87'420	25%	2'891	0.84%	41'665	12%	26'394	8%	11'866	3%	7'020	2%	2'438	1%	52'802	15%	30'098	9%
2029	9.20	892'404	26.95	78'727	22.6%	29	0.01%	383	0.1%	639	0.2%	84'049	24%	2'780	0.80%	41'957	12%	26'958	8%	11'883	3%	7'540	2%	2'502	1%	65'936	16%	33'684	10%
2030	9.26	898'807	26.96	75'516	21.5%	28	0.01%	367	0.1%	612	0.2%	80'621	23%	2'666	0.76%	42'249	12%	27'528	8%	11'899	3%	8'067	2%	2'567	1%	61'125	17%	37'318	11%
2031	9.33	905'215	26.96	72'252	20.5%	26	0.01%	352	0.1%	586	0.2%	77'136	22%	2'551	0.72%	42'541	12%	28'103	8%	11'914	3%	8'601	2%	2'632	1%	65'367	19%	41'001	12%
2032	9.39	911'626	26.97	68'934	19.4%	25	0.01%	335	0.1%	559	0.2%	73'594	21%	2'434	0.68%	42'833	12%	28'684	8%	11'928	3%	9'142	3%	2'698	1%	69'664	20%	44'732	13%
2033	9.45	918'042	26.98	65'563	18.3%	24	0.01%	319	0.1%	532	0.1%	69'994	20%	2'315	0.65%	43'125	12%	29'270	8%	11'942	3%	9'689	3%	2'765	1%	74'015	21%	48'512	14%
2034	9.51	924'461	26.99	62'137	17.2%	23	0.01%	302	0.1%	504	0.1%	66'338	18%	2'194	0.61%	43'417	12%	29'862	8%	11'954	3%	10'244	3%	2'833	1%	78'420	22%	52'341	15%
2035	9.58	930'884	27.00	58'659	16.2%	21	0.01%	285	0.1%	476	0.1%	62'624	17%	2'071	0.57%	43'710	12%	30'460	8%	11'966	3%	2'901	1%	82'879	23%	56'218	15%		
2036	9.64	937'008	27.00	55'108	15.1%	20	0.01%	268	0.1%	447	0.1%	58'833	16%	1'946	0.53%	43'988	12%	31'052	8%	11'972	3%	3'069	1%	87'365	24%	60'125	16%		
2037	9.70	943'132	27.00	51'506	14.0%	19	0.01%	251	0.1%	418	0.1%	54'988	15%	1'819	0.49%	44'266	12%	31'650	9%	11'978	3%	3'038	1%	91'902	25%	64'077	17%		
2038	9.77	949'255	27.00	47'853	12.9%	18	0.00%	233	0.1%	388	0.1%	51'088	14%	1'690	0.46%	44'544	12%	32'253	9%	11'983	3%	3'107	1%	96'491	26%	68'076	18%		
2039	9.83	955'379	27.00	44'148	11.8%	16																							

8.1.5 Excel Tabelle – Thermischer Energieverbrauch Total 1994 – 2019 – Prognose 2050

Jahr	Bevölke	Bedarf TJ	Bedarf/Per MW	THERMIE TOTAL		Thermie unterteilt				Erstaz in TJ	Strom für Thermie Ersatz
				Thermie	%	Thermie nachhaltig	%	Thermie to replace	%		
1994	6.99	787'881	31.29	364'691	46%	54'780	15.02%	309'911	84.98%		-
1995	7.06	838'058	32.99	385'794	46%	58'160	15.08%	327'634	84.92%		-
1996	7.12	831'950	32.46	400'671	48%	62'899	15.70%	337'772	84.30%		-
1997	7.18	815'595	31.54	374'859	46%	58'180	15.52%	316'679	84.48%		-
1998	7.25	839'759	32.19	389'849	46%	59'600	15.29%	330'249	84.71%		-
1999	7.31	845'211	32.12	377'275	45%	58'030	15.38%	319'245	84.62%		-
2000	7.37	839'045	31.62	360'519	43%	57'830	16.04%	302'689	83.96%		-
2001	7.44	861'957	32.20	385'934	45%	60'730	15.74%	325'204	84.26%		-
2002	7.50	834'228	30.91	363'240	44%	59'540	16.39%	303'700	83.61%		-
2003	7.56	854'795	31.40	383'051	45%	63'450	16.56%	319'601	83.44%		-
2004	7.62	857'883	31.26	383'522	45%	63'710	16.61%	319'812	83.39%		-
2005	7.69	870'816	31.47	390'022	45%	65'920	16.90%	324'102	83.10%		-
2006	7.75	866'982	31.07	380'607	44%	67'490	17.73%	313'117	82.27%		-
2007	7.81	845'130	30.05	351'903	42%	65'750	18.68%	286'153	81.32%		-
2008	7.88	878'964	31.00	371'930	42%	72'250	19.43%	299'680	80.57%		-
2009	7.94	858'620	30.04	361'122	42%	72'520	20.08%	288'602	79.92%		-
2010	8.00	896'655	31.13	389'165	43%	80'590	20.71%	308'575	79.29%		-
2011	8.07	836'229	28.80	331'434	40%	74'410	22.45%	257'024	77.55%		-
2012	8.13	867'512	29.65	358'011	41%	81'200	22.68%	276'811	77.32%		-
2013	8.19	889'278	30.16	378'586	43%	87'750	23.18%	290'836	76.82%		-
2014	8.25	820'427	27.61	317'419	39%	80'390	25.33%	237'029	74.67%		-
2015	8.32	833'129	27.83	333'660	40%	85'080	25.50%	248'580	74.50%		-
2016	8.38	849'066	28.14	346'776	41%	91'420	26.36%	255'356	73.64%		-
2017	8.44	844'686	27.79	341'217	40%	93'000	27.26%	248'217	72.74%		-
2018	8.51	810'873	26.48	319'045	39%	89'870	28.17%	229'175	71.83%		-
2019	8.57	828'587	26.86	323'175	39%	94'820	29.34%	228'355	70.66%		-
2020	8.63	834'951	26.87	325'658	39%	102'971	31.62%	222'686	68.38%	0	0.00%
2021	8.70	841'319	26.88	328'141	39%	111'236	33.90%	216'905	66.10%	0	0.00%
2022	8.76	847'691	26.89	330'626	39%	119'615	36.18%	211'012	63.82%	0	0.00%
2023	8.82	854'066	26.89	333'113	39%	128'107	38.46%	205'006	61.54%	0	0.00%
2024	8.88	860'446	26.90	335'601	39%	136'713	40.74%	198'888	59.26%	0	0.00%
2025	8.95	866'830	26.91	338'091	39%	145'434	43.02%	192'657	56.98%	0	0.00%
2026	9.01	873'217	26.92	340'583	39%	154'269	45.30%	186'314	54.70%	0	0.00%
2027	9.07	879'609	26.93	343'075	39%	163'218	47.57%	179'858	52.43%	0	0.00%
2028	9.14	886'004	26.94	345'570	39%	172'281	49.85%	173'289	50.15%	0	0.00%
2029	9.20	892'404	26.95	348'066	39%	181'459	52.13%	166'607	47.87%	0	0.00%
2030	9.26	898'807	26.96	350'563	39%	190'752	54.41%	159'811	45.59%	0	0.00%
2031	9.33	905'215	26.96	353'063	39%	200'159	56.69%	152'903	43.31%	0	0.00%
2032	9.39	911'626	26.97	355'563	39%	209'682	58.97%	145'882	41.03%	0	0.00%
2033	9.45	918'042	26.98	358'065	39%	219'319	61.25%	138'747	38.75%	0	0.00%
2034	9.51	924'461	26.99	360'569	39%	229'071	63.53%	131'498	36.47%	0	0.00%
2035	9.58	930'884	27.00	363'075	39%	238'938	65.81%	124'136	34.19%	0	0.00%
2036	9.64	937'308	27.00	365'463	39%	248'840	68.09%	116'623	31.91%	0	0.00%
2037	9.70	943'732	27.00	367'851	39%	258'851	70.37%	109'000	29.63%	0	0.00%
2038	9.77	949'255	27.00	370'240	39%	268'971	72.65%	101'269	27.35%	0	0.00%
2039	9.83	955'379	27.00	372'628	39%	279'200	74.93%	93'429	25.07%	0	0.00%
2040	9.89	961'502	27.00	375'017	39%	289'537	77.21%	85'479	22.79%	0	0.00%
2041	9.96	967'626	27.00	377'405	39%	299'983	79.49%	77'421	20.51%	0	0.00%
2042	10.02	973'750	27.00	379'793	39%	310'539	81.77%	69'255	18.23%	0	0.00%
2043	10.08	979'873	27.00	382'182	39%	321'203	84.04%	60'979	15.96%	0	0.00%
2044	10.14	985'997	27.00	384'570	39%	331'976	86.32%	52'594	13.68%	0	0.00%
2045	10.21	992'120	27.00	386'959	39%	342'858	88.60%	44'101	11.40%	0	0.00%
2046	10.27	998'244	27.00	389'347	39%	353'849	90.88%	35'498	9.12%	0	0.00%
2047	10.33	1'004'368	27.00	391'735	39%	364'948	93.16%	26'787	6.84%	0	0.00%
2048	10.40	1'010'491	27.00	394'124	39%	376'157	95.44%	17'967	4.56%	0	0.00%
2049	10.46	1'016'615	27.00	396'512	39%	387'474	97.72%	9'038	2.28%	0	0.00%
2050	10.52	1'022'738	27.00	398'901	39%	398'901	100.00%	-	0.00%	86'009	8.41%
Lineare Veränderung pr			-0.01								

8.2 Interviews mit Experten

- Andy Heiz, Axpo AG, Deputy CEO and Head of the Business Area Assets
Interview durchgeführt am 20.11.2022, 0830h-0910h
- Gianni Operto, Präsident der AEE Swiss (Dachorganisation der Wirtschaft für erneuerbare Energien und Energieeffizienz)
Interview durchgeführt am 24.11.2022, 1600-1730h
- Beat Ruff, Stellvertretender Leiter Infrastruktur, Energie & Umwelt, EconomieSuisse
Interview durchgeführt am 30.11.2022, 1700h-1740h

8.3 Interviewfragebogen

"Chancen, Hürden und Möglichkeiten die Dekarbonisierungsziele 2050 der Schweiz zu erreichen"

Ausgehend vom heutigen Energiemix werden 3 Szenarien (Parameter: Bevölkerungswachstum, pro Kopf-Verbrauch, weitere) entwickelt, wie der Energieverbrauch im Jahr 2050 aussehen könnte.

Ziel meiner Arbeit ist es einen realistischen Energiemix 2050 aufzuzeigen, der einerseits die Dekarbonisierungsziele des vom Bundesrat beschlossenen und kommunizierten Ziele erreicht und andererseits auch umsetzbar ist.

1. Szenario: lineares Bevölkerungswachstum mit einer 43-prozentigen pro Kopf Verbrauch Rückgang gegenüber dem Jahr 2000. Dies entspricht den Annahmen, des Bundesrates.
2. Szenario: lineares Bevölkerungswachstum und gleichbleibender Pro-Kopf-Verbrauch. Betrachten wir die zunehmenden Bedürfnisse der Bevölkerung an Mobilität, Ansprüche und Vorstellungen in Bezug auf Ferien, Freizeit, Grösse des Wohnraums, oder Faktoren wie der Temperaturanstieg in unserem Land, was künftig zu mehr Kühlleistung führen dürfte, scheint das Ziel des Bundesrates, den Energiebedarf pro Kopf weiter zu senken allenfalls als unrealistisch?
3. Szenario: noch offen / Empfehlungen?

Meine Fragen

Szenarien:

- Szenario 1: Ist es realistisch, dass bis im Jahr 2050 der Energieverbrauch durch Energie Effizienz um 43% gesenkt werden kann?
- Gibt es neben dem Bevölkerungswachstum und dem Pro-Kopf-Verbrauch weitere Aspekte, die in ein Szenario 3 einfließen sollten? (Veränderung in der Zusammenarbeit mit dem Ausland, vermehrte Produktion im Inland etc.)

Heizen:

- Was halten Sie von der These, dass 80% der Heiz-Energie aus Solarthermie und Abfallverbrennung kommen und wir von Strom-Wärmepumpen wegkommen müssten? Wärme kann mit Solarthermie sehr viel effizienter erzeugt werden als mittels Photovoltaik und Wärmepumpe.
- Ist es aus Ihrer Sicht möglich die ganze nicht erneuerbare thermische Energie (Heizöl, Gas und Kohle) vollständig mit erneuerbarer thermischer Energie zu ersetzen? (Solarthermie, Abfallverbrennung, Photovoltaik und Wärmepumpen, Holz)
- Wie würde aus Ihrer Sicht ein solcher Energie-Mix im 2050 aussehen?

Verkehr:

- Einer der grössten Energieverbraucher ist der Verkehr. Ist es realistisch, dass bis im Jahr 2050 über 80% des privaten Verkehrs auf Elektromobilität wechselt?
- Was würde von den Elektroanbietern benötigt, um so viele Elektro-Fahrzeuge zu betreiben? (Leitungs- und Kapazitäten Ausbau)
- Wie entscheidend wäre dies für die Energieeffizienz?
- Können die vielen Batterien durch die Selbstentladung auch eine negative Auswirkung haben - Energiefresser?
- Liessen sich diese Batterien für die Netzstabilität wirklich nutzen? Was spricht technisch dafür? Wo liegen allenfalls Hürden?
- Wäre Biodiesel aus Ihrer Sicht eine gangbare Lösung, um Landwirtschaftsmaschinen und Baumaschinen erneuerbar zu betreiben?

Energiespeicherung:

- Sind Speicherseen eine Antwort auf das Problem der Sonnen-Energiespeicherung?
- Sind Speicher mittels Beton-Gewichte eine Möglichkeit, die aus dem Versuchsstadium kommen werden?
- Halten Sie die Energiespeicherung mittels Wasserstoffs für sinnvoll und umsetzbar?
- Gibt es neben Batterien, Speicherseen, die erwähnten Gewichts-Speicher und Wasserstoff noch weitere, denkbare Speicher für Strom?

Wichtigste erneuerbare Energieformen

- Gibt es neben Sonne-, Wind- und Wasserenergie weitere, für die Zukunft relevante, erneuerbare Stromherstellungsverfahren?
- Ist es denkbar, dass auch Holzverbrennung für die Stromerzeugung genutzt werden könnte? Allenfalls sogar in kleinen Block-Kraftwerken für Wohnsiedlungen?

Schweiz/Ausland

- Wie autark und unabhängig vom Ausland kann eine Schweiz in der Energieversorgung überhaupt werden?

Nuklear Strom

- Nuklearstrom gilt streng genommen nicht als erneuerbar. Zudem hat der Bundesrat den Ausstieg aus dieser Technologie beschlossen. Für 2050 sollten die Ziele also ohne Nuklearstrom erreicht werden.
Ist das ein realistisches Ziel oder werden wir aus Ihrer Sicht nicht um den Einsatz von Nuklearenergie kommen, falls wir die Dekarbonisierungsziele 2050 erreichen wollen?
- Falls ja, in welchen Dimensionen sehen Sie den Einsatz von Nuklearkraftwerken für 2050?