



Roger Nordmann

**SONNE FÜR DEN
KLIMASCHUTZ**

Ein Solarplan für die Schweiz

Vorwort von Jacques Dubochet,
Chemie-Nobelpreisträger 2017

ZYTGLOGGE

ROGER NORDMANN

SONNE FÜR DEN KLIMASCHUTZ

Der Zytglogge Verlag wird vom Bundesamt für Kultur mit einem Strukturbeitrag für die Jahre 2016–2020 unterstützt.

Die folgenden Unternehmen und Institutionen haben zur Finanzierung der Übersetzung dieses Buches vom Französischen ins Deutsche beigetragen:

- Asgalium Unitec SA, Cortaillod
- ADEV Solarstrom AG, Liestal
- Energiebüro[®] ag, Zürich
- Helion (Bouygues E&S InTec Schweiz AG), Zuchwil,
- Planeco GmbH, Münchenstein
- Winsun AG, Steg
- und der Verband Swissolar, Zürich.

© 2019 Zytglogge Verlag AG, Basel

Alle Rechte vorbehalten

Übersetzt aus der französischsprachigen Originalausgabe «Le plan solaire et climat. Comment passer de 2 à 50 GW photovoltaïque pour remplacer le nucléaire, électrifier la mobilité et assainir les bâtiments» (Editions Favre, 2019) von Cornelia Schmidt, TransLations, Weisslingen

Coverbild: © Aline Lehmann

Korrektur: www.korrigieren.biz

Layout/Satz: Zytglogge Verlag

e-Book: mbassador GmbH, Basel

ISBN epub: 978-3-7296-2268-5

ISBN mobi: 978-3-7296-2269-2

www.zytglogge.ch

Roger Nordmann

**SONNE FÜR DEN
KLIMASCHUTZ**

Ein Solarplan für die Schweiz

ZYTGLOGGE

**«KLEINE SCHRITTE, KLEINE SCHRITTE,
KLEINE SCHRITTE REICHEN EINFACH NICHT!»**

(an der Demonstration vom 2.2.2019 in Lausanne
von Klimaschützer/-innen skandierte Parole)

Dank

Der Autor dankt folgenden Personen herzlich, die auf die eine oder andere Weise zur vorliegenden Arbeit beigetragen haben:

Pascal Affolter, Christophe Ballif, Samuel Bendahan, Cédric Chanez, François Cherix, Romaine Fauchère, Benoît Gaillard, Bruno Ganz, Florence Germond, Jordan Holweger, Steve Jaunin, Christian Levrat, Dominique Martin, Cédric Moullet, Edith Nordmann, Jean Nordmann, Marie-France Nordmann, Philippe Nordmann, Ursula Nordmann-Zimmermann, Lionel Perret, Jürg Rohrer, Séverine Scalia Giraud, David Stichelberger, Peter Toggweiler, Tobias Wyss und sämtlichen Vorstandsmitgliedern und Mitarbeitenden der Geschäftsstelle von Swissolar.

Hinweis

Dieses Buch wurde von Swissolar unterstützt, ist jedoch eine persönliche Arbeit des Verfassers, der allein für den Inhalt verantwortlich ist. Dazu gehören insbesondere mögliche Irrtümer, die auf den Forschungscharakter des Werks zurückzuführen sind.

Weitere Veröffentlichungen des Verfassers:

- <Atom- und Erdölfrei in die Zukunft>, Orell Füssli Verlag, 2011.

- <Die Angstgenossenschaft>, mit François Cherix, Vorwort Sergio Romano, Editions Favre 2011.

Weitere Aufsätze und Berichte auf www.roger-nordmann.ch

INHALT

Vorwort

1 Das Wichtigste in Kürze

- 1.1 Eine langfristige Klimaschutzpolitik
- 1.2 Den Strombedarf berücksichtigen
- 1.3 Jederzeit genügend Strom
- 1.4 Mit Solarstrom durch den Winter
- 1.5 Kohlenstoffarme Energieversorgung und wirtschaftlicher Nutzen

2 Neuste Entwicklungen bei Energieproduktion und -verbrauch

- 2.1 Schweizer Stromproduktion aus Wasserkraft und neuen erneuerbaren Energieträgern
- 2.2 Strom aus Atomkraftwerken
- 2.3 Stromverbrauch
- 2.4 Fossile Energien

3 Künftige Stromproduktion und künftiger -verbrauch im Jahresdurchschnitt

- 3.1 Verbrauchsentwicklung und Ablösung der Atomkraftwerke
- 3.2 Gebäudesanierung
- 3.3 Elektrifizierung der Mobilität (ohne Luftverkehr)
- 3.4 Stromproduktionsbedarf für Mobilität und Gebäude

4 Das Photovoltaik-Potenzial in der Schweiz

- 4.1 Ein wirtschaftliches PV-Potenzial von 118 TWh
- 4.2 Ökologischer Fussabdruck der Photovoltaik

5 Die saisonalen Schwankungen

- 5.1 Aktueller Stand und Produktionsprofil der Wasserkraft
- 5.2 Zukünftige jahreszeitliche Situation bei voller Dekarbonisierung und ohne Atomstrom

6 Profil, Schwankungen und Glättung der Photovoltaikproduktion

- 6.1 Wie addiert sich die Stromproduktion vieler Anlagen?
- 6.2 Schwankungen im Stunden-, Tages-, Wochen- und Jahreszeitenverlauf
- 6.3 Effizientes PV-Produktionsprofil in höheren Lagen
- 6.4 Monatliche Produktionsprofile von Photovoltaik und Wasserkraft im Vergleich
- 6.5 Kurzzeitige PV-Produktionsüberschüsse und Peak Shaving

7 Stromspeicherung: Bedarf und Möglichkeiten

- 7.1 Kurzzeitspeicherung
- 7.2 Langzeitspeicherung (saisonal)
- 7.3 Synergie zwischen Kurz- und Langzeitspeicherung im Sommer
- 7.4 Vorbild Deutschland
- 7.5 Die Stromspeicherung im Gesamtkontext

8 Ergebnisse der Modellierung auf monatlicher Basis

- 8.1 Basisszenario: 50 GW Solarstrom, Elektrifizierung des Strassenverkehrs und Gebäudesanierung
- 8.2 Variante: Gebäudesanierung
- 8.3 Variante: ungenügender PV-Ausbau
- 8.4 Varianten: Einfluss der saisonalen Speicherung
- 8.5 Variante: Windkraft statt Erdgas
- 8.6 Variante: stärkerer PV-Ausbau und Konzentration der Speicherwasserkraft-Produktion auf Wintermonate

mit der geringsten Sonneneinstrahlung

8.7 Schlussfolgerungen aus dem Basisszenario und den Varianten

9 Wirtschaftliche Überlegungen

9.1 Was kostet uns die zukünftige Abhängigkeit von fossilen Energieträgern?

9.2 Vergleich der Kosten einer Kilowattstunde Strom aus erneuerbaren Energien zwischen 2010 und 2017

9.3 Die Finanzierung von Gebäudesanierung und Mobilität

9.4 Verteilnetz und Speicherung

9.5 Gesamtinvestitionskosten der PV-Strategie in der Schweiz ohne Kapitalrendite

9.6 Kosten pro Kilowattstunde Photovoltaik inkl. Kapitalrendite

9.7 Wirtschaftliche Auswirkungen des Peak Shaving

9.8 Die Eigenart des Strommarktes berücksichtigen

10 Aktionsplan

10.1 Die Selbstversorgung der Schweiz im Jahresdurchschnitt zum Ziel erklären und kommunizieren

10.2 Mehr Mittel für die Einmalvergütung für Anlagen mit Eigenverbrauch bereitstellen

10.3 Ein Ausschreibeverfahren für Anlagen auf-Landwirtschaftsgebäuden und Infrastrukturbauten einführen

10.4 Die verfügbaren Finanzressourcen optimal einsetzen

10.5 Rechtliche Grundlagen für das Peak Shaving schaffen

10.6 Die acht technischen Massnahmen

11 Schlusswort

12 Anhang

12.1 Statische Daten

12.2 Variable Parameter

12.3 Keine höhere gegenseitige Abhängigkeit

12.4 Abhängige Variablen

12.5 Ergebnisse der Szenarien im Vergleich zum Status quo

13 Abbildungsverzeichnis

VORWORT

Aus der Eiskälte des Kosmos schickt die Sonne sanft ihre Wärme auf unsere Erde. Diese strahlt ihre Wärme wiederum ins Weltall ab. Die Ausgleichstemperatur zu berechnen scheint eine einfache Gymnasiums-aufgabe zu sein: Energieaufnahme, Energieabgabe, Gleichgewichtstemperatur = Endtemperatur? Dabei kommt man zuerst auf -18 °C . Zum Glück falsch. In Wirklichkeit sind es dank der Atmosphäre angenehme $+15\text{ °C}$. Sonst wären wir wohl nicht hier!

Joseph Fourier war möglicherweise der Erste, dem diese erstaunliche Diskrepanz auffiel. Er war Präfekt des Departements Isère unter Napoleon I. und ein erfolgreicher Funktionär seiner Majestät. Darüber hinaus studierte er die Wärmeausbreitung in Kanonenrohren. Bis zur Temperatur der Erde war es nur noch ein kleiner Schritt, für den er einen grossen Aufwand betrieb. (Nur so am Rande: Fourier erfand auch die nach ihm benannte mathematische Methode, die mir in meiner gesamten Wissenschaftlerlaufbahn immer wieder sehr nützlich war.) Weiter fand er heraus, dass ein Gegenstand in einem Glasgefäss an der Sonne wärmer wird als unter direkter Sonneneinstrahlung. Meine Mutter hatte das Prinzip auch begriffen: Sie legte die Melonen zum Reifen jeweils hinter ein Stück Fensterglas. Ob daraus der Begriff <Treibhauseffekt> abzuleiten ist? Auf jeden Fall sind Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2) und einige weitere Luftbestandteile wie Methan (CH_4) so genannte Treibhausgase (THG).

Die Temperaturdifferenz zwischen Aufnahme und Abgabe hat einen interessanten Hintergrund. Sie hat mit der

Zusammensetzung der Erdatmosphäre zu tun; diese besteht hauptsächlich aus Sauerstoff- (O_2) und Stickstoffmolekülen (N_2). In der Luft sind ausserdem ein bisschen Wasser (H_2O) und ganz wenig - unter einem halben Promille - Kohlendioxid (CO_2) enthalten. Das Licht bringt Bewegung ins Ganze, und die aufgenommene Energie wird konstant zurückgeworfen, ebenfalls in Form von Licht.

Der Tanz der zweiatomigen Moleküle (O_2 und N_2) ist einfach: Sie können nur auf eine Art schwingen. Aus thermischer Sicht sind diese Moleküle allerdings neutral, und wir können sie getrost vergessen. Die dreiatomigen Moleküle hingegen sind komplizierter: Dank ihrer dreieckigen Form können sie unterschiedliche Schwingungsverhalten aufweisen. Das aufgenommene Licht werfen sie in umgewandelter Form zurück. Zwar sind sie aus energetischem Blickwinkel betrachtet ebenfalls neutral, doch nicht bezüglich der Farbe. Sie werfen Licht mit einem höheren Rotanteil zurück, das vermehrt in der Atmosphäre gefangen bleibt und von dem lediglich ein kleinerer Teil ins All entweicht. Deshalb ist die Erde überhitzt: Die Temperatur fällt um 33 °C höher aus als ohne den Treibhauseffekt. Was bedeutet das nun?

Bekanntermassen ist die Zukunft schwer vorherzusagen, doch wir können die Vergangenheit sprechen lassen. Vor 20000 Jahren lag Europa unter einer 1 km dicken Eisdecke. Aus den Eiskappen von Grönland und der Antarktis können wir herauslesen, dass der THG-Gehalt und die Lufttemperatur bereits vor 800 000 Jahren konstant im Verhältnis zueinander standen - also lange, bevor der Mensch die Bühne betrat. Ein Temperaturanstieg oder -rückgang stand immer im Zusammenhang mit einem höheren bzw. geringeren THG-Gehalt. Grob gesagt blieb das Klima in den letzten paar Millionen Jahren stabil. Die Wärmeperioden machten lediglich während einiger Eiszeiten Pause - ideale Bedingungen für das Leben auf der Erde.

Svante Arrhenius hatte dies bereits Ende des 19. Jahrhunderts erfasst. Er sah eine neue Eiszeit voraus und stellte sich vor, dass sie mit der Zufuhr riesiger Mengen CO₂ in die Atmosphäre verhindert werden könnte. Gilt er nun als Pionier im Bereich der Geophysik? Wie dem auch sei: Unsere hochtechnisierte, industrialisierte Gesellschaft hat seine Idee in die Tat umgesetzt - wenn auch völlig unkontrolliert. Deshalb ist unser Klima aus dem Gleichgewicht geraten. Die THG-Konzentration in der Atmosphäre wird bald doppelt so hoch sein. Hier kann uns kein Blick in die Vergangenheit mehr helfen: So stark ist das Klima schon lange nicht mehr durcheinandergeraten. Um einen Vergleich ziehen zu können, müssten wir wohl 70 Millionen Jahre zurückschauen, als ein Meteor dem Leben der Dinosaurier ein Ende setzte.

Wie Arrhenius vor 150 Jahren wissen auch unsere heutigen Forscher dennoch recht genau, wohin die Zukunft führt. Sie haben all ihr Wissen gebündelt und ihre Schlussfolgerungen im Bericht des IPCC (<https://www.ipcc.ch>) veröffentlicht. Es besteht kein Zweifel: So kann es nicht weitergehen - wir laufen direkt gegen die Wand! Seit einiger Zeit schon sind die Vorboten für alle erkennbar. Meine geliebten Gletscher verschwinden - doch das ist nicht so dramatisch wie die verheerenden Wirbelstürme oder die gnadenlosen Dürren, die das Leben vieler Menschen in seinen Grundfesten erschüttern. Trotzdem stehen wir erst am Anfang. Denn unsere Erde ist ein riesiges Schiff, das im Abdriften begriffen ist. Wir müssen uns schon sehr anstrengen, um es wieder aufzurichten und möglichst auf Kurs zu bringen.

2015 beschloss die UNO-Klimakonferenz in Paris in weiser Voraussicht, dass die globale Erwärmung auf 2 °C, nach Möglichkeit sogar auf 1.5 °C beschränkt werden müsse. Sollte dies nicht gelingen, würde die Erde zwar nicht stillstehen. Doch nicht nur das bequeme Leben, das viele

von uns bis zum Exzess führen, sondern auch unsere gesamte Zivilisation und alle Werte, die unsere Kultur der Menschheit gebracht hat, wären in höchster Gefahr.

Dennoch ist das den meisten von uns ziemlich egal. Ist es wirklich so schwierig, der Wahrheit ins Gesicht zu sehen?

Den meisten von uns? Natürlich nicht! Viele von uns haben den Ernst der Lage erkannt und bemühen sich, wo sie können. Wir löschen die Lichter beim Verlassen des Zimmers oder fahren vermehrt Rad. Doch wo ist die grosse Bewegung, die bis 2050 unsere Erde aus dem verhängnisvollen Zyklus der fossilen Brennstoffe befreien kann? Glauben Sie, dass es möglich ist? Als einer derjenigen, die am meisten von der technisch-wirtschaftlichen Entwicklung Ende des letzten Jahrtausends profitiert haben, glaube ich es. Schliesslich ist in meinem Alter der Optimismus zur philosophischen Pflicht geworden.

Doch seit Kurzem nimmt die Hoffnung eine neue, viel realere Gestalt an. Für mich wird sie von einem 15-jährigen Mädchen verkörpert: Greta Thunberg, einer entfernten Nachfahrin von Svante Arrhenius. Sie ist ein Kind, das die Wahrheit ganz einfach beim Namen nennt. Im richtigen Moment ist sie die richtige Person für eine Welt, die vielleicht trotz allem bereit ist, ihr zu folgen. Es sind eindruckliche Zeichen, die da ausgesendet werden. Ich durfte an der Bewegung der Jugendlichen teilnehmen, die zum Klimastreik aufriefen. Auch sie sind genau richtig: Sie wissen, wohin sie wollen. Es ist ihnen bewusst, dass sie sich für ihr eigenes Leben einsetzen und dass es niemand anders tun wird.

Doch auch wir, die Vorgängergenerationen, haben ein Wörtchen mitzureden. Und das sollten wir sehr vorsichtig tun, denn wie es Greta Thunberg formuliert: Neue Lösungen können nicht auf «alten Ideen, die uns in dieses Schlamassel gebracht haben», aufgebaut werden.

Doch wie präsentieren sich diese Lösungen? Ich gebe es zu: Das weiss ich leider auch nicht. Doch ich weiss, dass sie aufgrund der Realität und im Einklang mit der Natur entwickelt werden müssen. Hier können die Erfahrung und die Weisheit der <Alten> sinnvoll eingesetzt werden.

Gemäss dem IPCC muss die Welt bis 2050 THG-neutral werden. Die Jugendlichen sind hier noch strenger und fordern dies bereits bis 2030. Sie haben recht: Jedes noch so kleine Stück bringt uns weiter. Für die Schweiz sind die Energieträger die grösste Herausforderung. Vier Fünftel davon stammen aus fossilen Quellen. Diese müssen verschwinden. Das Ziel ist klar – und überraschenderweise auch der Weg dorthin. Wir müssen bloss ein bisschen sparen und die Solarstromproduktion um das 25-Fache steigern.

Sie denken: Das 25-Fache, der spinnt ja!

Aber halt, keine Angst! Die Sonne spendet uns grosszügig ihr im Überfluss vorhandenes Licht. Und die Technologien, um es zu nutzen, bestehen bereits. Roger Nordmann ist Experte auf dem Gebiet der Solarenergie. Als erfahrener Parlamentarier kennt er auch die politischen und gesetzlichen Grundlagen, die den Wandel herbeiführen müssen. Mit seinem Buch <Sonne für den Klimaschutz> liefert er eine Roadmap für all jene – ob jung oder weniger jung –, die ihn unterstützen wollen. Ich gehöre auch dazu. Mein Dank geht an Roger Nordmann, der sich die Mühe gemacht und die Zeit dafür aufgewendet hat, dieses Rezept für die Hoffnung zu schreiben.

Morges, im April 2019
Jacques Dubochet
Chemie-Nobelpreisträger 2017

1 DAS WICHTIGSTE IN KÜRZE

Die weltweite Klimakrise ist hauptsächlich ein Energieproblem, denn der Einsatz fossiler Brennstoffe verursacht rund zwei Drittel des Treibhausgasausstosses¹, vor allem durch Kohle, Erdöl und Erdgas.

Zur Bekämpfung der globalen Erwärmung müssen Gesellschaft und Wirtschaft deshalb auf ein klimaneutrales Energieversorgungsmodell umsteigen. Dafür braucht es nicht nur die Zusammenarbeit aller Staaten, sondern auch ein entschlossenes innenpolitisches Handeln jedes einzelnen Landes. Der Umstieg muss für alle ohne Einbussen beim Komfort geschehen beziehungsweise einen angemessenen Lebensstandard für jene schaffen, die ihn noch nicht haben. Ohne den Wandel kann der Wohlstand nämlich nicht dauerhaft sichergestellt werden. Im Gegenteil: Die Zerstörung der Umwelt – Grundlage allen menschlichen Lebens – führt unaufhaltsam zu einer Verarmung der Menschheit insgesamt.

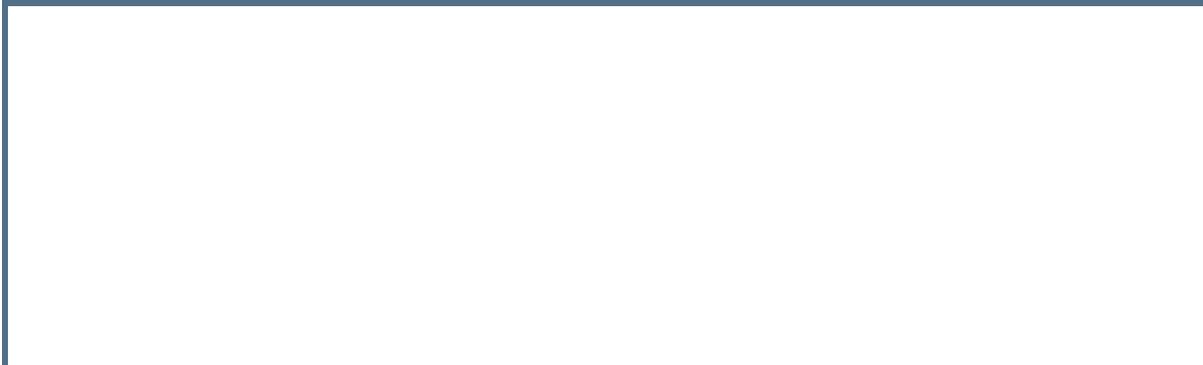
Die UNO-Konvention zum Klimawandel und die Folgevereinbarungen, etwa das Ende 2015 unterzeichnete Pariser Klimaabkommen, bilden das international geltende Regelwerk zur Eindämmung der globalen Erwärmung. Das weltweite Ziel besteht in der Beschränkung der Erderwärmung auf höchstens 1.5 °C bis 2 °C. Für die Umsetzung muss jeder Staat seinen eigenen Beitrag leisten. Gemäss dem neusten Bericht des IPCC² müssen bis 2050 alle menschlichen Aktivitäten klimaneutral sein, damit die globale Erwärmung auf 1.5 °C beschränkt werden kann. Das

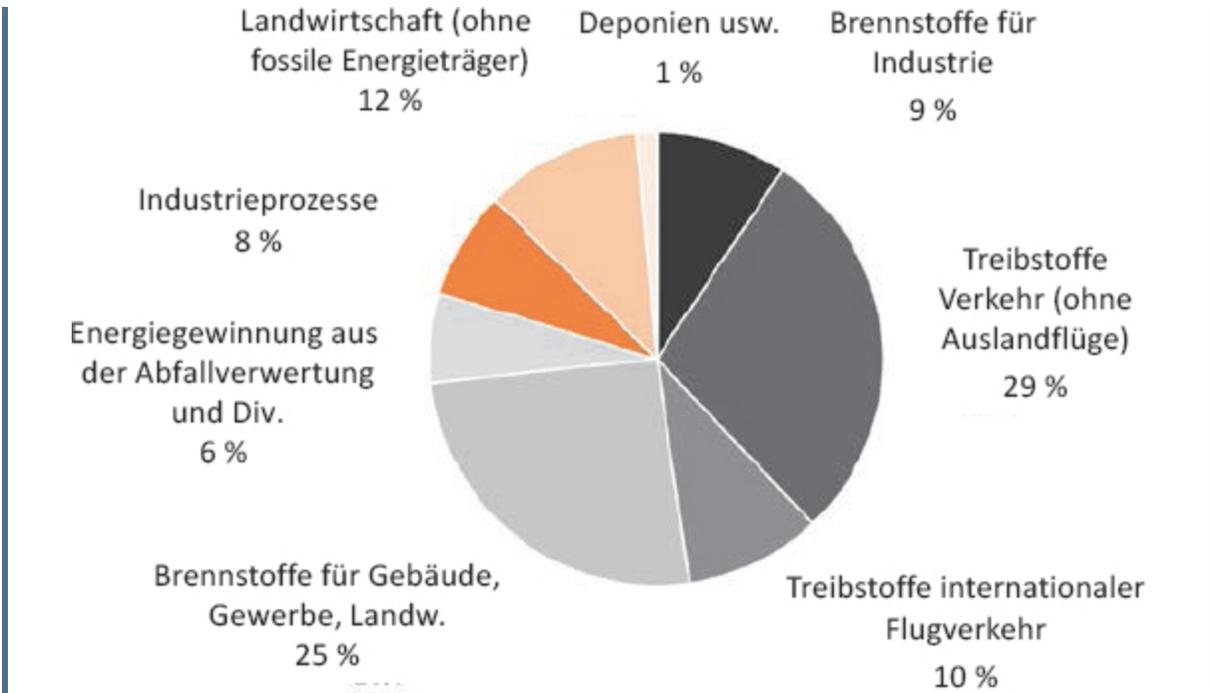
heisst, die CO₂-Emissionen müssten netto bis Mitte des 21. Jahrhunderts auf null reduziert werden.

Die Schweiz ist jedoch von diesem Ziel noch weit entfernt. Zwischen 1990 – dem Bezugsjahr für die weltweite Klimapolitik – und 2016 ging der Treibhausgasausstoss lediglich um 10.1% zurück. In dieser mittelmässigen Leistung ist der neuste Anstieg der Emissionen durch die Luftfahrt nicht einmal berücksichtigt. Deshalb steht die Schweiz beim Klimaschutz noch längst nicht dort, wo sie sein sollte.

Nahezu unsere gesamte Wirtschaft müsste dekarbonisiert werden. Der Verbrauch an fossilen Energieträgern muss drastisch gesenkt werden, um eine Verringerung des CO₂-Ausstosses als wichtigsten Verursacher von Treibhausgasen zu erreichen. Der grösste Handlungsbedarf besteht im Gebäudebereich und im Verkehr, wie Grafik 1 zeigt. Vier Fünftel des Treibhausgasausstosses stammen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe (in Grau und Schwarz). In Orange sind die Emissionen aus den übrigen Bereichen dargestellt. Folgerichtig leitet sich daraus das **erste energie- und klimapolitische Ziel für die Schweiz ab: eine möglichst vollständige Dekarbonisierung unserer Energiewirtschaft.**³

Grafik 1: Treibhausgasemissionen 2017 in der Schweiz (ausgenommen graue Energie durch Importe)





Die vorliegende Arbeit will aufzeigen, wie Solarstrom – also die Photovoltaik – entscheidend zur Dekarbonisierung, zum konsequenten Abbau der Kohlenstoffintensität der Schweizer Energiewirtschaft beitragen kann. Mit einem Solarplan soll die Grundlage einer auf Sonnenenergie basierenden Elektrifizierungsstrategie geschaffen werden.

Die Plausibilität dieser Strategie wird hauptsächlich auf Grundlage des heutigen Stands der Technik und der aktuellen Kosten nachgewiesen, ohne fortlaufende Entwicklungen zu berücksichtigen. Am Einsatz der Wasserkraft wird mit Absicht wenig verändert. In Anbetracht der absehbaren Fortschritte etwa bei Energieeffizienz und Ökobilanz der Speicherlösungen sind die Hypothesen tendenziell vorsichtig formuliert. Sie haben dafür den Vorteil, dass sie für spätere Diskussionen eine einfache, gut verständliche Basis bilden.

1.1 Eine langfristige Klimaschutzpolitik