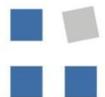


KOHLENSTOFFSTRÖME IN EINER NACHHALTIGEN ENERGIEVERSORGUNG

Zoe Stadler

IET Institut für Energietechnik

Zürich, 27. November 2019



HSR

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

Agenda

- Hintergrund
- Aktuelle Energie- und Kohlenstoffströme – Daten und Modell
- Zukunftsszenarien und Evaluation
- Schlussfolgerung

■ RMTM – Renewable Methane for Transport and Mobility

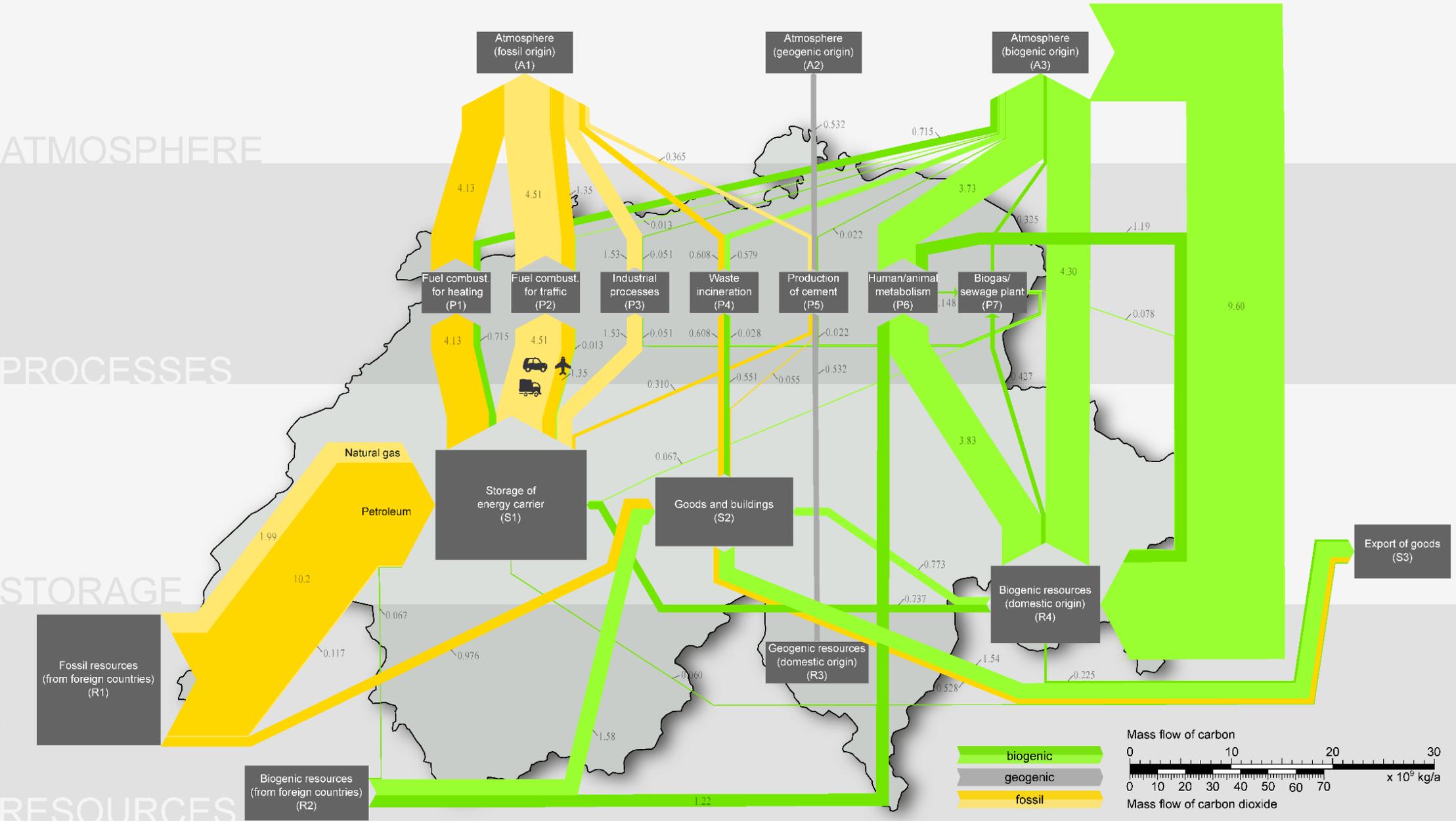
- Potential von Kohlendioxid zur Nutzung als Kohlenstoffquelle für Energieträger
- Mit dem CO₂, welches von den Zementwerken und KVAs ausgestossen wird, könnte genug synthetisches Methan produziert werden um 43% des Strassenverkehrs zu betreiben. [1]
- Limitierender Faktor: Strom aus erneuerbaren Quellen

■ Swiss Energy Scope

- Optimierungstool der EPFL zur Berechnung von Energieszenarien der Schweiz
- Hintergrund: Atomausstieg

[1] Meier, F. Ruoss and M. Friedl, "Investigation of Carbon Flows in Switzerland with the Special Consideration of Carbon Dioxide as a Feedstock for Sustainable Energy Carriers," Energy Technology, 5:864-876, 2017.

Projekt "Renewable Methane for Transport and Mobility"



Der Fokus der meisten Forschungsteams liegt auf ihrer Technologie / ihrem Fachgebiet. Der ganzheitliche und technologieunabhängige Ansatz, um die verschiedenen neuen Technologien vergleichbar zu machen, fehlt oft.

- **Kohlenstoff wird nicht nur für Energieträger sondern auch für sonstige Produkte benötigt (z.B. Kunststoff)**
- **Wie kann unser Bedarf an Energie und Kohlenstoff am günstigsten auf erneuerbare Weise gedeckt werden?**
- **Reichen unsere heimischen Ressourcen?**
- **Kombination der Energie- mit den Kohlenstoffströmen.**

Projekt-Team



HSR

- Prof. Dr. Markus Friedl
*Leiter des IET Instituts für
Energietechnik HSR*



- Boris Meier
*Projektleiter Power-to-
Gas, IET HSR*



- Zoe Stadler
Projektleiterin, IET HSR

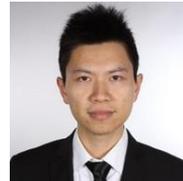


EPFL

- Prof. Dr. Francois Maréchal
*Head of Industrial Process and
Energy Systems Engineering,
IPESE EPFL*



- Dr. Theodoros Damartzis
*Postdoc, IPESE EPFL
SCCER Biosweet*



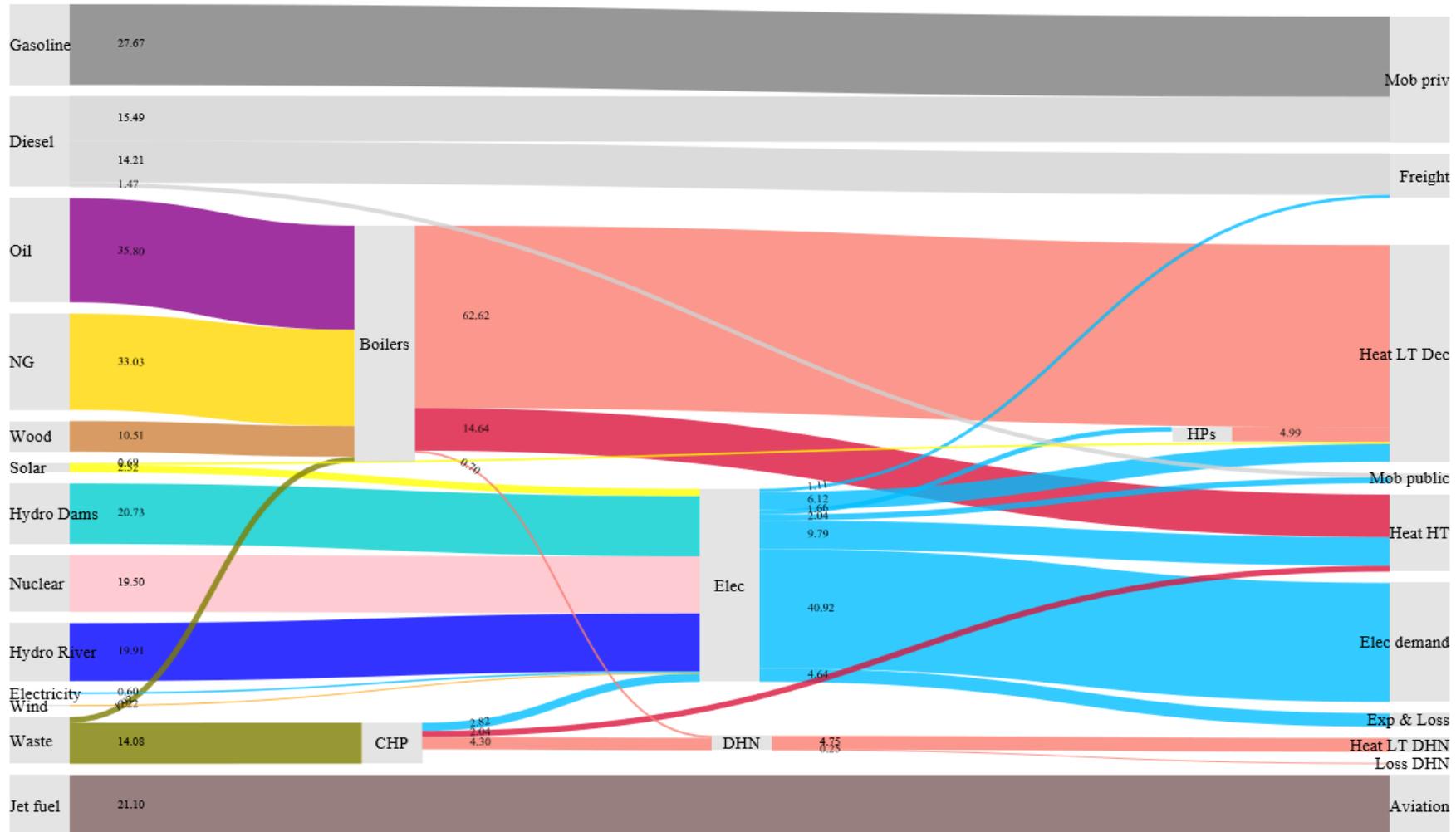
- Xiang Li
Doktorand, IPESE EPFL



- Dr. Stefano Moret
*Postdoc, IPESE EPFL (ehemals)
EnergyScope*

Hintergrund – Schweizer Energieflüsse 2017 in TWh/a

Sekundäre
Energie-
quellen



Energie-
bedarf

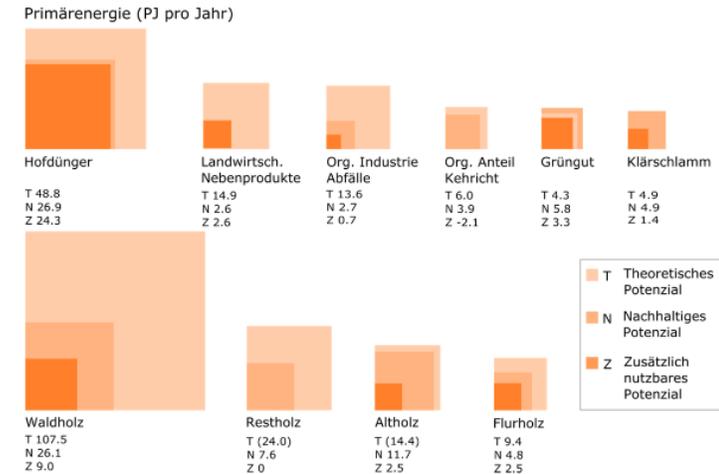
AKTUELLE ENERGIE- UND KOHLENSTOFFSTRÖME

- Potenziale erneuerbarer Energie- und Kohlenstoffquellen
- Heutiger Energiebedarf

Biomassepotenzial in der Schweiz

Die Biomassenpotenziale in der Schweiz wurden von Thees et al. (2017)¹ untersucht und unterscheiden vier verschiedene Potenziale:

- **Theoretisches Potenzial:** Umfasst die energetisch maximal nutzbare Holzmenge, für die man den jährlichen Zuwachs zuzüglich eines allfälligen Vorratsabbaus heranziehen kann.
- **Ökologisch nachhaltiges Potenzial:** Ergibt sich ausgehend vom theoretischen Potenzial nach Abzug der Restriktionen und Nutzungen wie: Mortalität, Vorratsabbau, Reservatflächen, Ernteverluste, stoffliche Nutzung.
- **Bereits genutztes Potenzial:** Holz aus dem Wald, das 2014 einer energetischen Nutzung zugeführt wurde.
- **Zusätzlich nutzbares Potenzial:** Ergibt sich aus der Differenz des nachhaltigen ökologisch-ökonomisch nachhaltiges Potenzial unter Berücksichtigung von Subventionen und des bereits genutzten Potenzials.



Primärenergiepotenziale aller 10 Biomassen in Petajoule (PJ) pro Jahr. ¹

Zusätzlich nutzbar = Theoretisch – Restriktionen – bereits genutzt

Nachhaltiges Potenzial

¹O. Thees, V. Burg, M. Erni, G. Bowman, R. Lemm, Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, WSL Berichte, Heft 57, 2017.

Kohlenstoff: Potenzial in der Schweiz (pro Jahr)

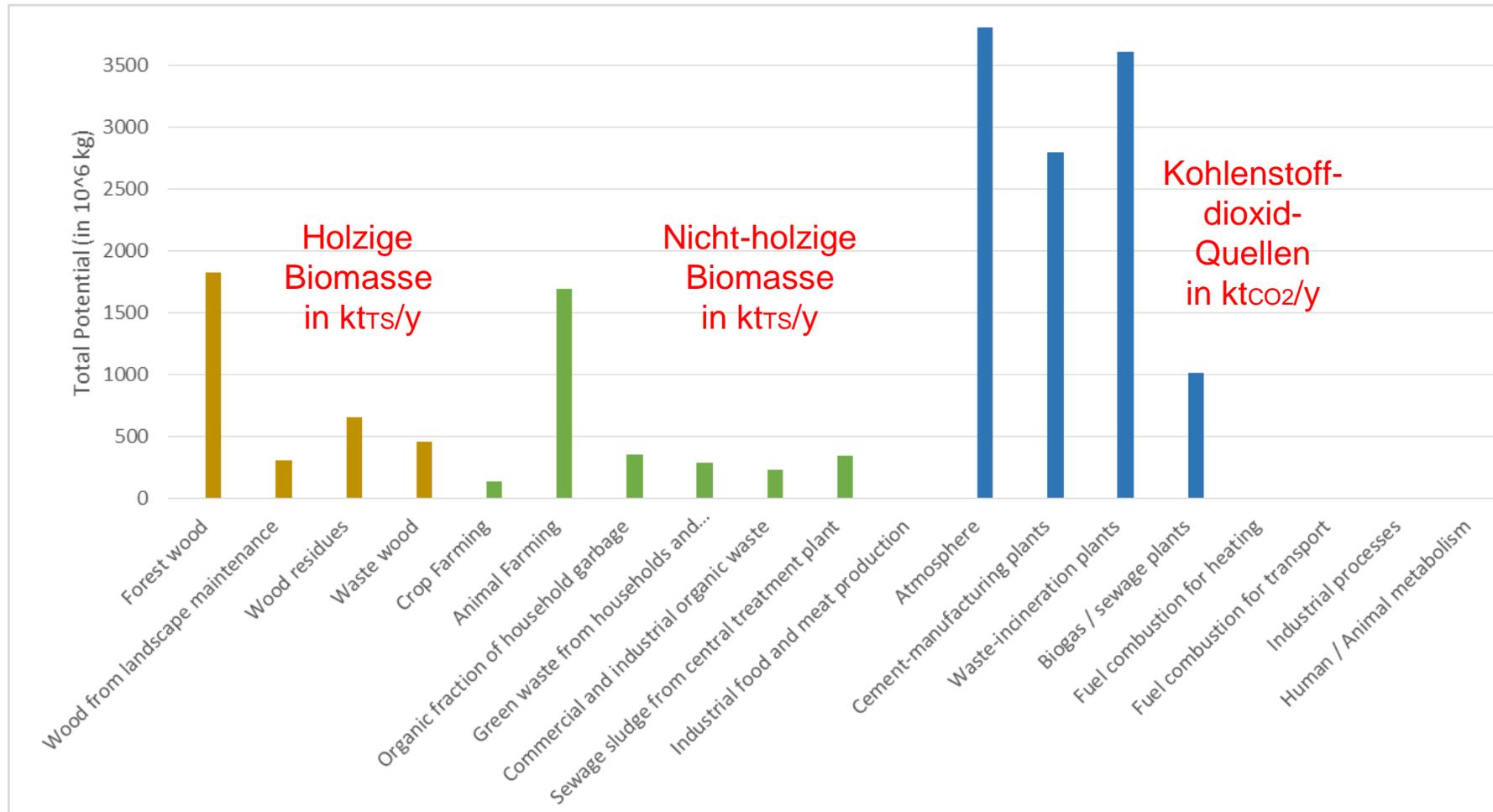
- **Holzige Biomasse (Trockensubstanz):** 3.2 Mt/a ^[1] (14.1 TWh/a)
- **Nicht-holzige Biomasse (Trockensubstanz):** 3.1 Mt/a ^[1] (13.0 TWh/a)
- **CO₂:** Zementwerke, KVAs, ARAs, Biogasanlagen: 8.64 Mt_{CO2}/a ^[2],
die Atmosphäre wird als unlimitierte CO₂-Quelle betrachtet.
- **Import:** Treib- und Heizstoffe, Kunststoff, Chemikalien

[1] Thees, Oliver, et al. 2017. Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung. Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenzzentrums SCCER BIOSWEET. Birmensdorf : WSL Berichte, 2017.

[2] Meier, F. Ruoss and M. Friedl, "Investigation of Carbon Flows in Switzerland with the Special Consideration of Carbon Dioxide as a Feedstock for Sustainable Energy Carriers," Energy Technology, 5:864-876, 2017.

Kohlenstoffpotenzial in der Schweiz

Ökologisch nachhaltiges Kohlenstoffpotenzial von verschiedenen Quellen in der Schweiz (kt/y)^{1,2}.



¹ B. Meier, F. Ruoss, M. Friedl, Investigation of Carbon Flows in Switzerland with the Special Consideration of Carbon Dioxide as a Feedstock for Sustainable Energy Carriers. *Energy Technology*. 2017, pp. 5:864-876.

² O. Thees, V. Burg, M. Erni, G. Bowman, R. Lemm, Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, WSL Berichte, Heft 57, 2017.

Energie: Potenzial in der Schweiz (pro Jahr)

- **Solarpotenzial** 67 TWh/a ^[1]
Oder 50 TWh PV und 10 TWh/a thermische Solartechnik ^[2]
- **Wind: max. Ertrag** 4.3 TWh/a ^[3]
- **Wasserkraft: max. Ertrag** 38.6 TWh/a ^[3]
- **Holzige Biomasse** 14.1 TWh/a ^[4]
- **Nicht-holzige Biomasse** 13.0 TWh/a ^[4]

Heute

PV	2.28 TWh/a ^[5]
Solar therm.	0.69 TWh/a
Wind	0.22 TWh/a ^[5]
Wasser	36.67 TWh/a ^[5]
Holz	13.73 TWh/a ^[6]

[1] Schweizer Hausdächer und -fassaden könnten jährlich 67 TWh Solarstrom produzieren, Bundesamt für Energie BFE, 15.04.2019. [Online]. Available: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-74641.html>.

[2] Meteotest, «Solarpotenzial Schweiz,» Swissolar, 13.01.2017. [Online]. Available: https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Medien/Solarpotenzial_Schweiz.pdf.

[3] Prognos AG, «Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050,» Bundesamt für Energie BFE, Basel, 2012.

[4] Ressourcenpolitik Holz. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz; Bundesamt für Umwelt BAFU; Bundesamt für Energie BFE, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, 2017.

[5] Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2017; Bundesamt für Energie BFE, Ittigen, 2018.

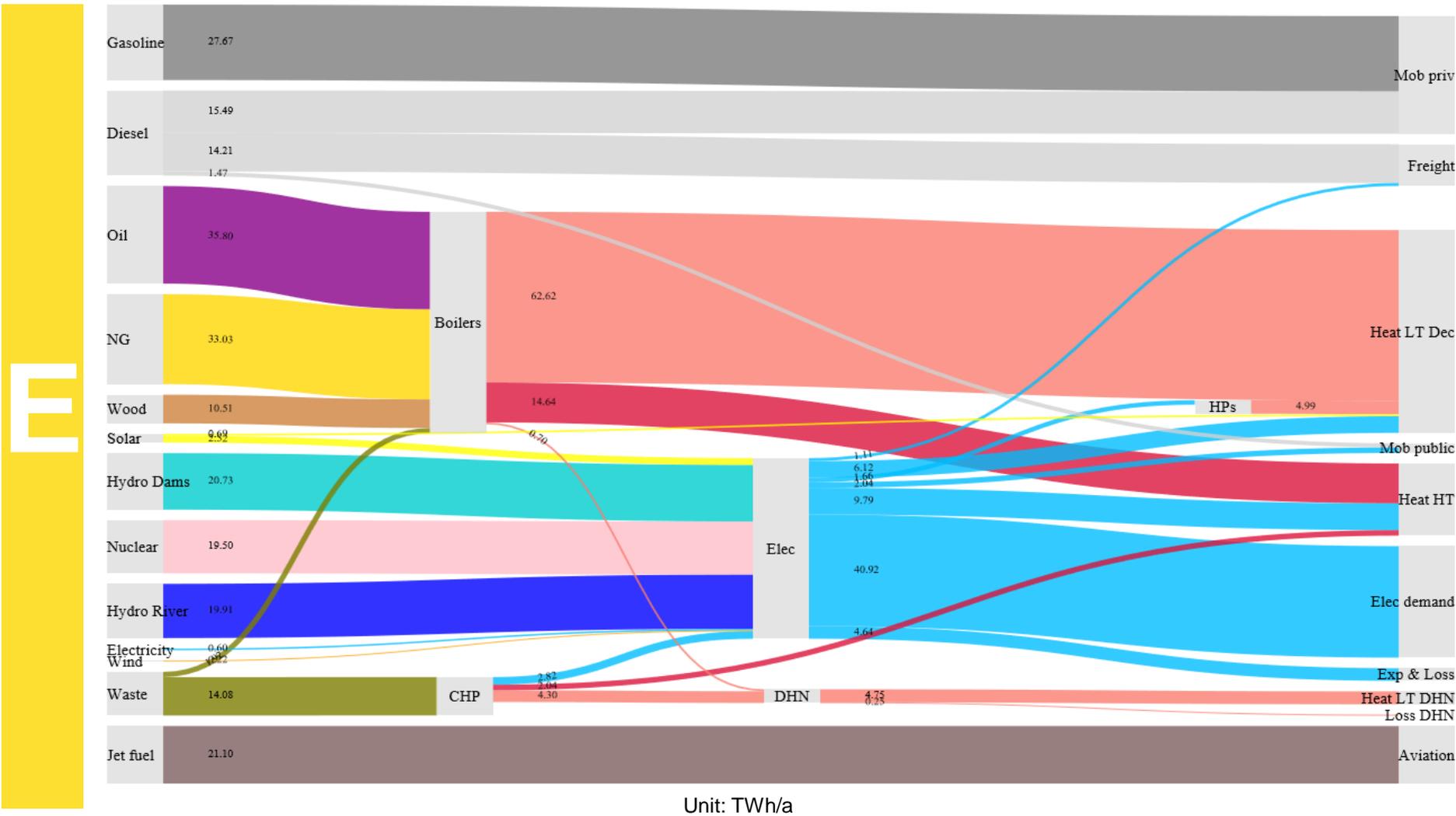
[6] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2017; Bundesamt für Energie BFE, Ittigen, Bern, 2018.

Aktueller Schweizer Energiebedarf (2017)

	Haushalte in GWh	Dienstleistungen in GWh	Industrie in GWh	Transport in GWh	Summe in GWh
Raumwärme	44'140	18'000	4'310	0	66'440
Warmwasser	8'920	3'080	720	0	12'720
Prozesswärme	1'530	580	24'360	0	26'470
Mobilität Inland	0	0	0	65'500	65'500
Elektrizität (Licht, HLK, I&K / Unterhaltung, Prozesse, andere)	10'780	15'620	14'520	0	40'920
Gesamter Energiebedarf in der Schweiz	65'390	37'280	43'890	65'500	212'060
	(30.8%)	(17.6%)	(20.7%)	(30.9%)	(100%)

BFE - Prognos. 2018. Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2017 nach Verwendungszwecken. Bern : Bundesamt für Energie BFE; Prognos AG; Infras AG; TEP Energy GmbH, 2018.

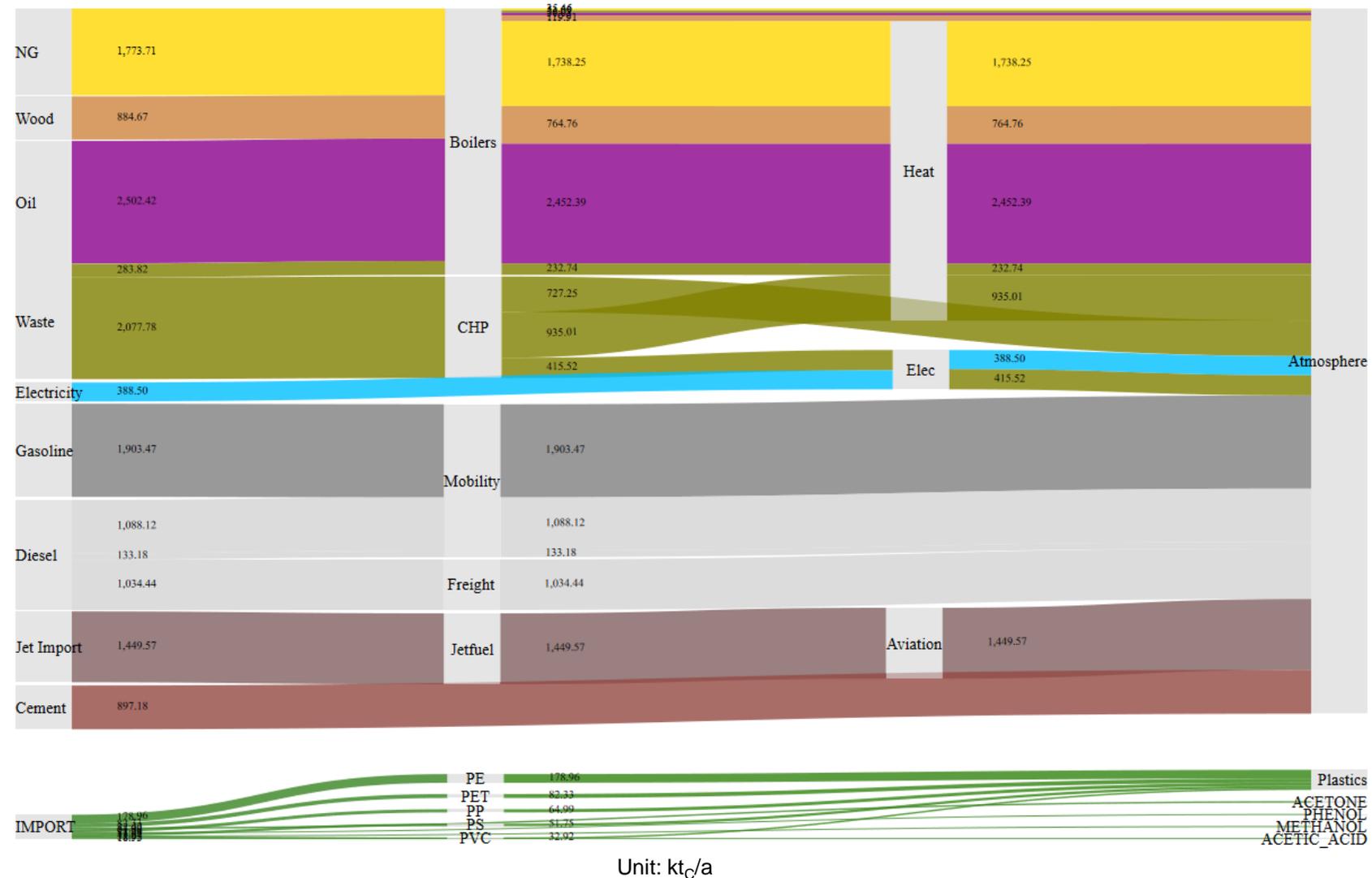
Energieflüsse heute (2017)



	19.2 Mrd. CHF/a
	Total: 239 TWh/a Davon elektr. Energie: 63 TWh/a
	Fossil: 40.7 Mt/a Non-fossil: 10.0 Mt/a

Kohlenstoffflüsse heute (2017)

C

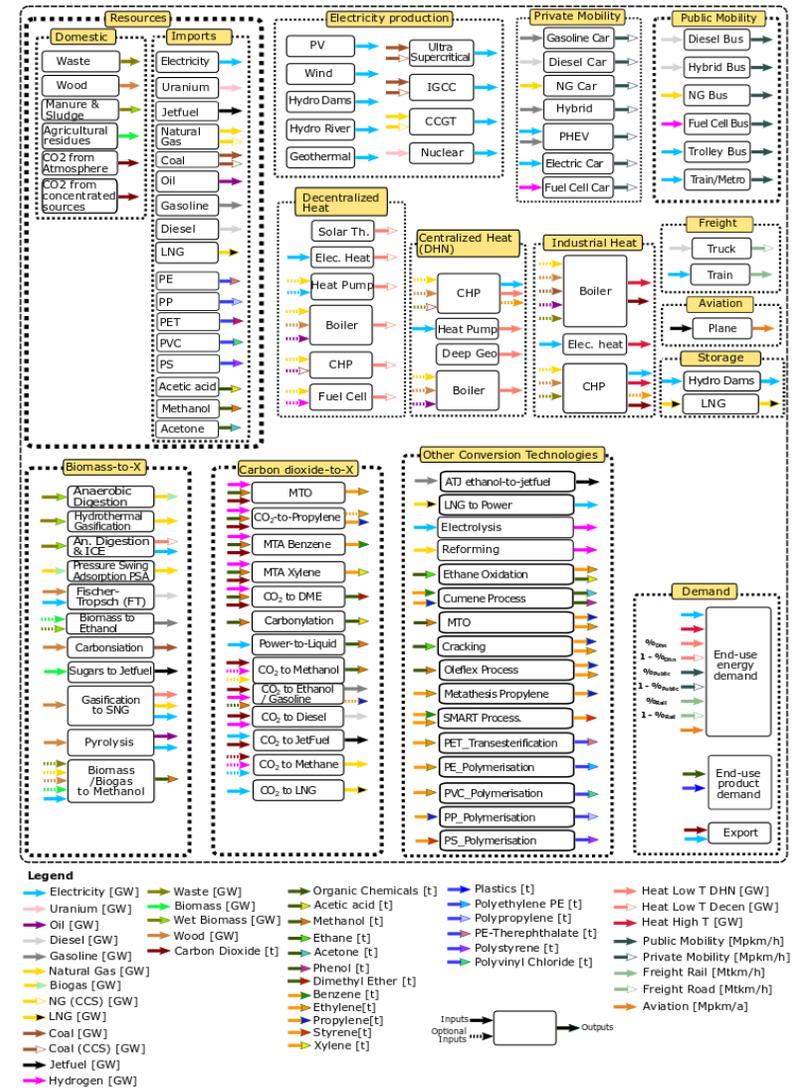


- 19.2 Mrd. CHF/a
- Total: 239 TWh/a
Davon elektr. Energie: 63 TWh/a
- Fossil: 40.7 Mt/a
Non-fossil: 10.0 Mt/a

Neue Umwandlungstechnologien

Eine Anzahl von neuen Technologien wurden dem Modell für die Berechnung von zukünftigen Szenarien hinzugefügt:

- Biomass-to-X
- CO₂ to X
- Umwandlungstechnologien für Zwischenschritte (z.B. Umwandlung von Zwischenprodukten für Chemikalien)



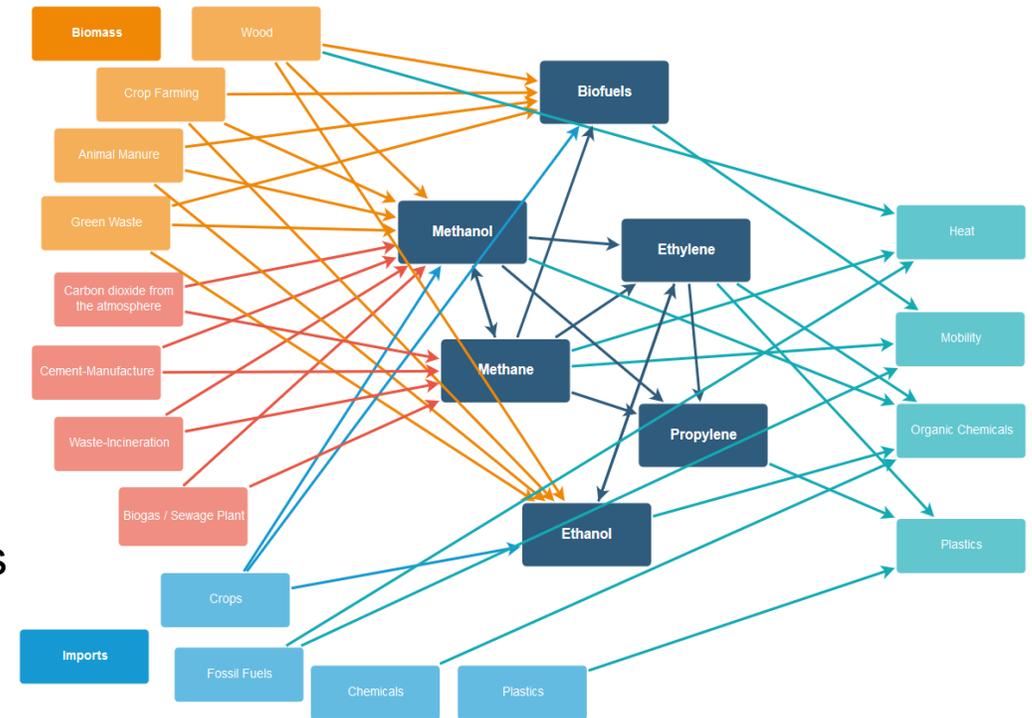
Neue Umwandlungstechnologien

Biomass to fuels:

- Pyrolysis
- Gasification/HTG
- Anaerobic digestion
- Fischer-Tropsch
- Biomass to ethanol
- Methanol synthesis
- Alcohols to jetfuel

CO₂-to-X:

- Ethylene/propylene synthesis
- Benzene
- Xylene
- Acetic acid
- DME
- Bio-SNG
- Plastics from chemicals (i.e. PE, PP, HDPE, PS, PVC)



Jetzt haben wir:

- *Ein Modell mit Energie- und Kohlenstoffflüssen und neuen Umwandlungstechnologien*
- *Potenziale erneuerbarer Energie- und Kohlenstoffquellen in der Schweiz*
- *Bedarf*

- Das Modell repräsentiert das heutige Energiesystem mit einer guten Übereinstimmung der berechneten Daten und Literatur.

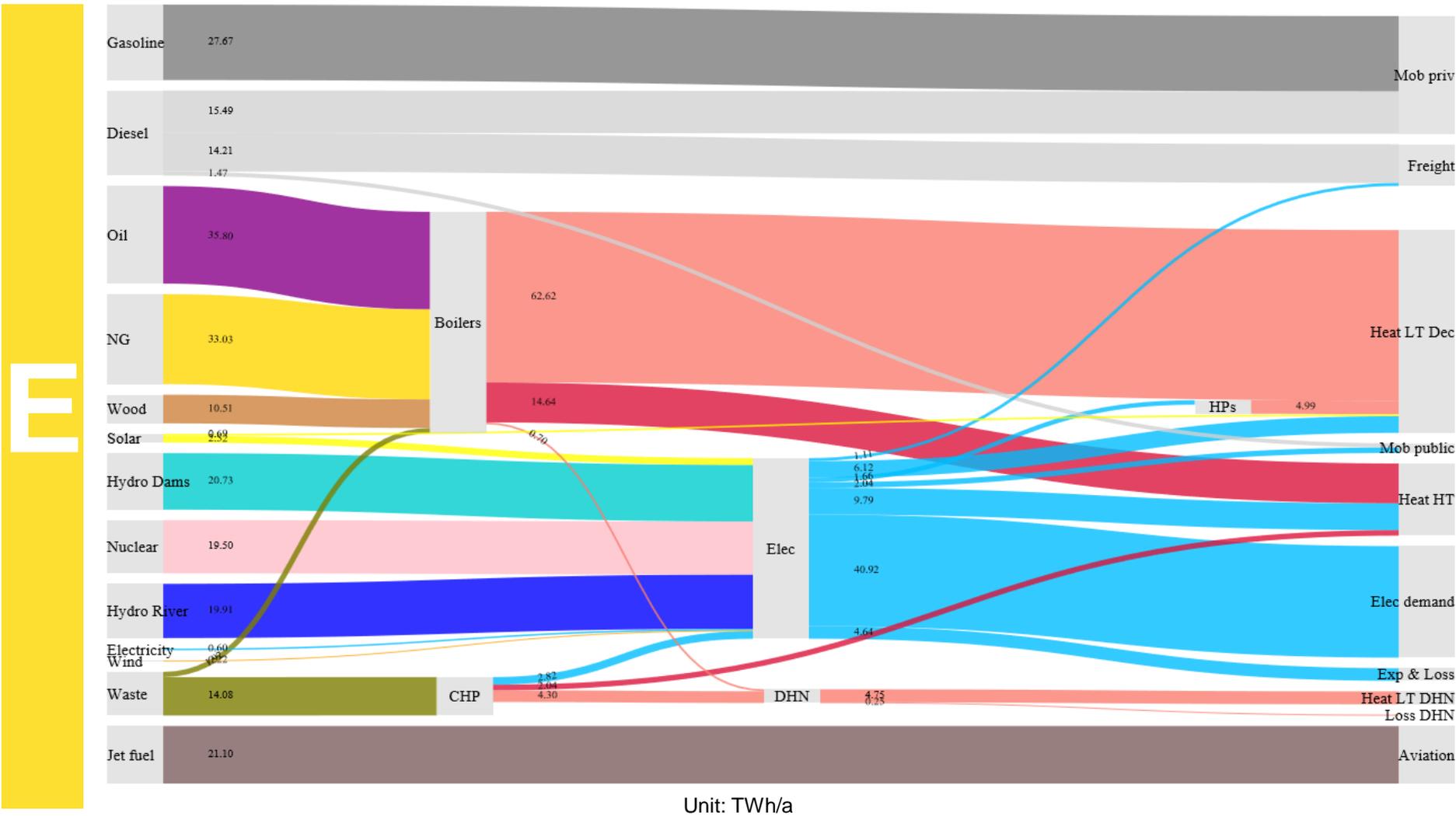
Mit dem Modell der heutigen Situation kann die Szenarien-Entwicklung gestartet werden.

Vorgehensweise:

- **Ausgangslage: heutige Situation**
- **Ändern der Parameter, welche untersucht werden sollen**

Nr.	Name	Beschreibung
0	Heute	Heutige Energie- und Kohlenstoffflüsse
1	Atomausstieg	<ul style="list-style-type: none"> Keine Kernkraftwerke Gleichbleibender Bedarf
2	Atomausstieg und Verbot von fossilen Energieträgern	<ul style="list-style-type: none"> Importverbot von fossilen Energieträgern (inkl. Flugtreibstoffe) Keine Kernkraftwerke Keine Tiefengeothermie
3	CO ₂ -Abgaben auf fossilen Energieträgern	Step-by-Step-Erhöhung der Importpreise von fossilen Energieträgern bis das Gesamtsystem aus Kostengründen zu erneuerbaren Quellen umschwenkt.

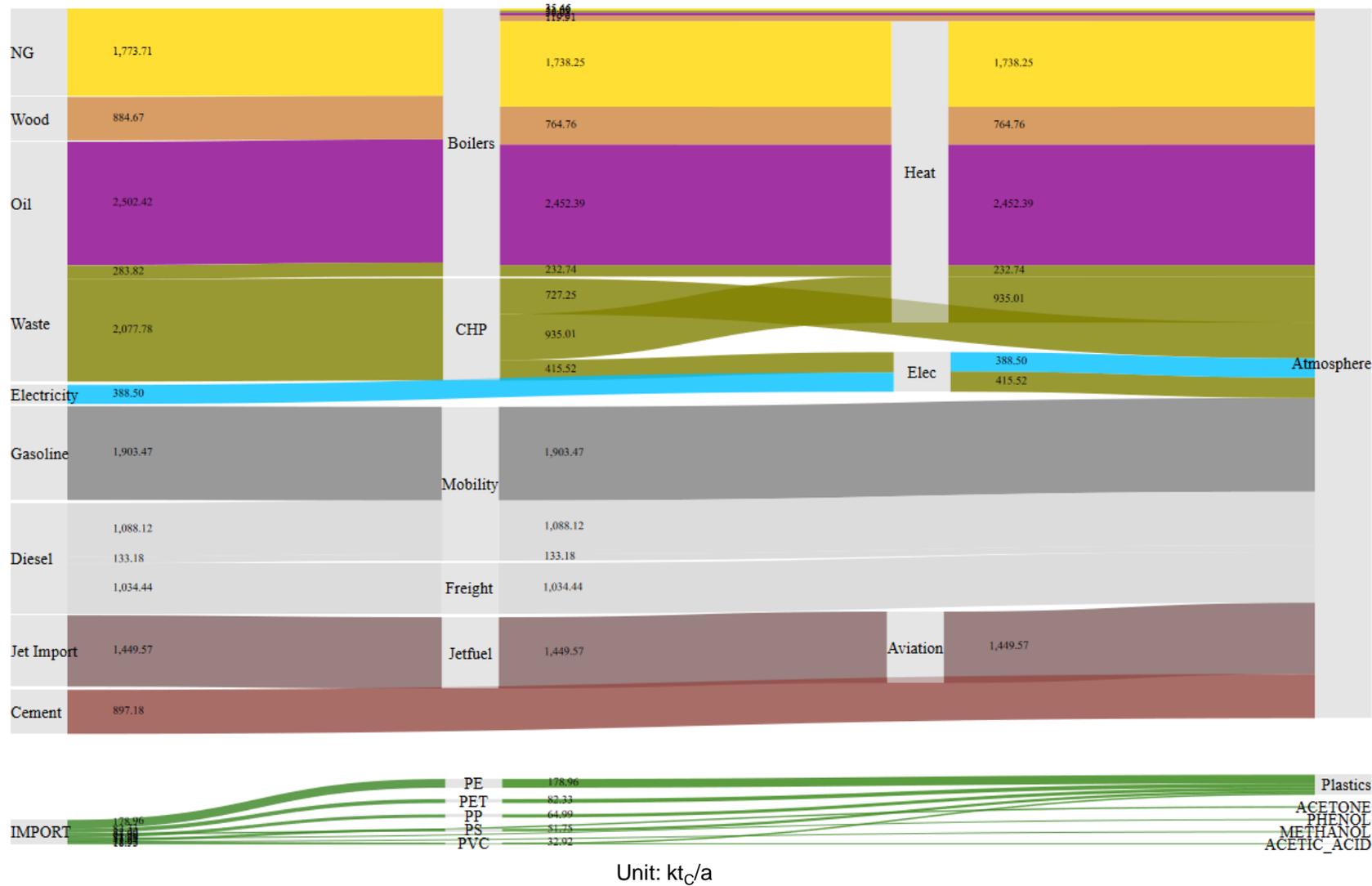
Energieflüsse heute (2017)



	19.2 Mrd. CHF/a
	Total: 239 TWh/a Davon elektr. Energie: 63 TWh/a
	Fossil: 40.7 Mt/a Non-fossil: 10.0 Mt/a

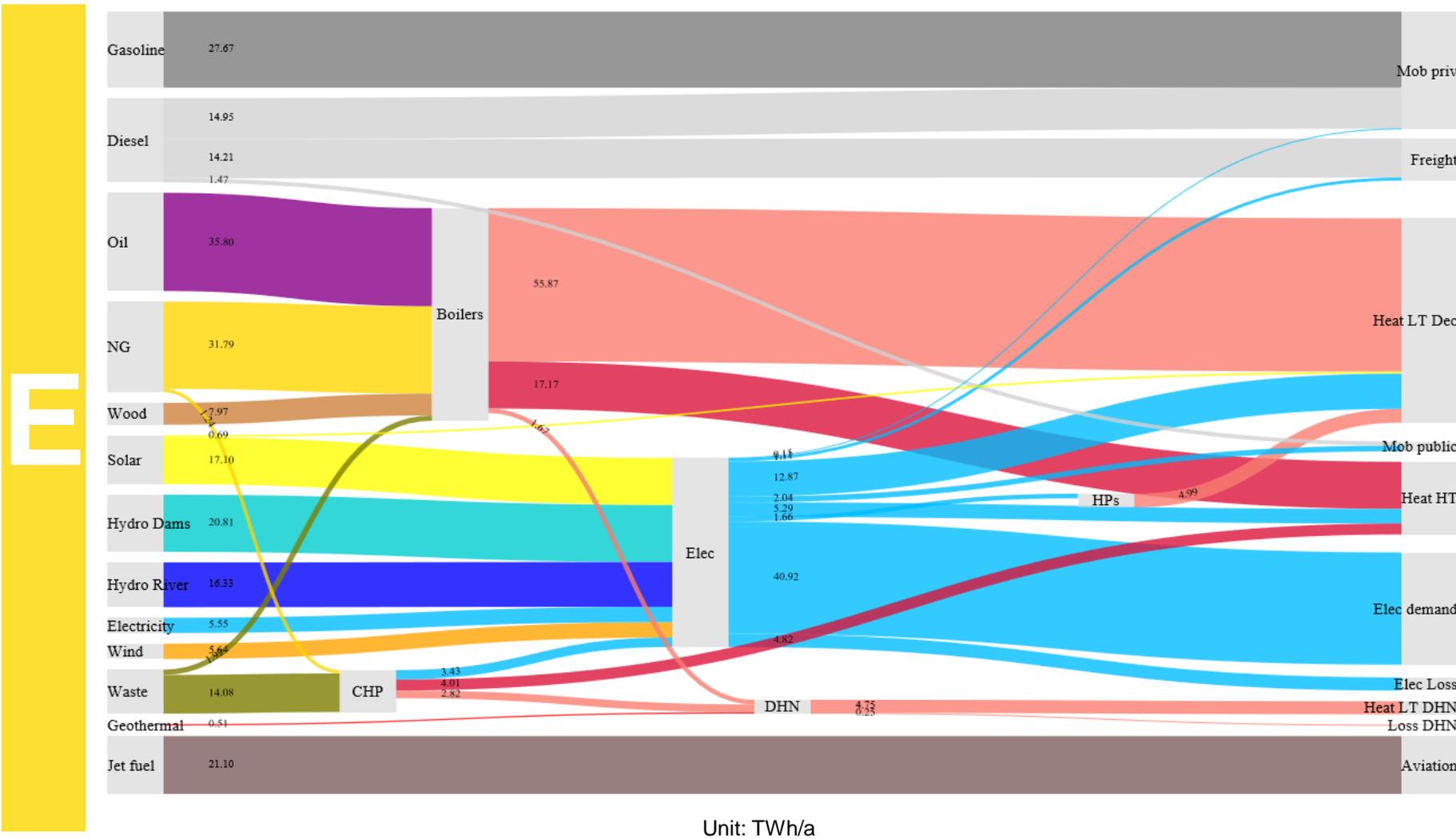
Kohlenstoffflüsse heute (2017)

C



	19.2 Mrd. CHF/a
	Total: 239 TWh/a Davon elektr. Energie: 63 TWh/a
	Fossil: 40.7 Mt/a Non-fossil: 10.0 Mt/a

Szenario 1 «Atomausstieg»



Annahmen

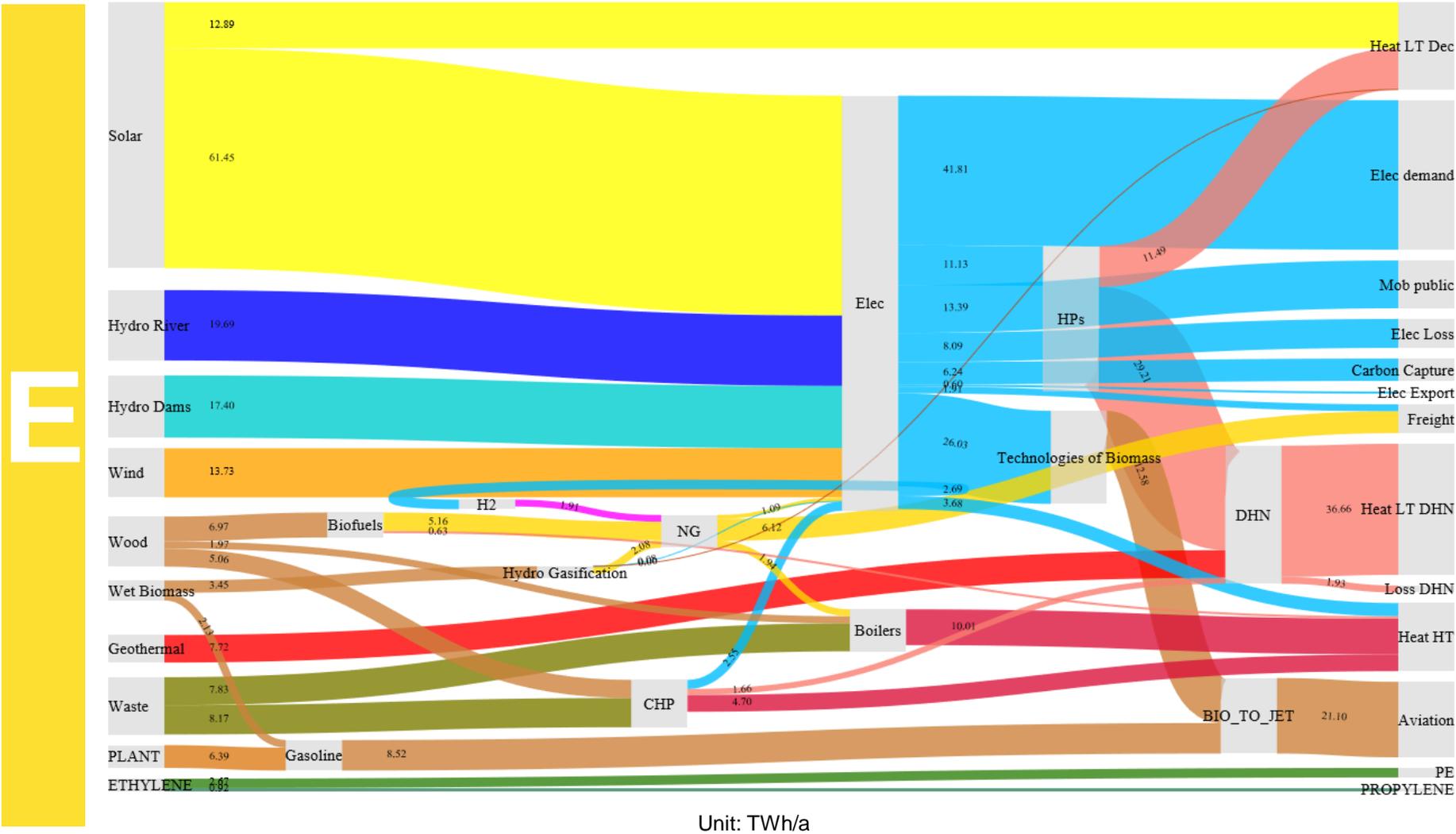
- Keine Kernkraftwerke
- Gleichbleibender Bedarf

Resultate

- Windkraft im Maximum
- Anstieg in Wasserkraft und PV

	20.4 Mrd. CHF/a
	Total: 239 TWh/a Davon elektr. Energie: 69 TWh/a
	Fossil: 41.9 Mt/a Non-fossil: 7.6 Mt/a

Szenario 2 «Atomausstieg und Verbot von fossilen Energieträgern»



Annahmen

- Importverbot von fossilen Energieträgern (inkl. Flugtreibstoffe)
- Keine Kernkraftwerke
- Keine Tiefengeothermie
- Gleichbleibender Bedarf

\$	18.3 Mrd. CHF/a
🔌	Total: 179 TWh/a Davon elektr. Energie: 116 TWh/a
☁️	Fossil: 3.6 Mt/a Non-fossil: 15.8 Mt/a

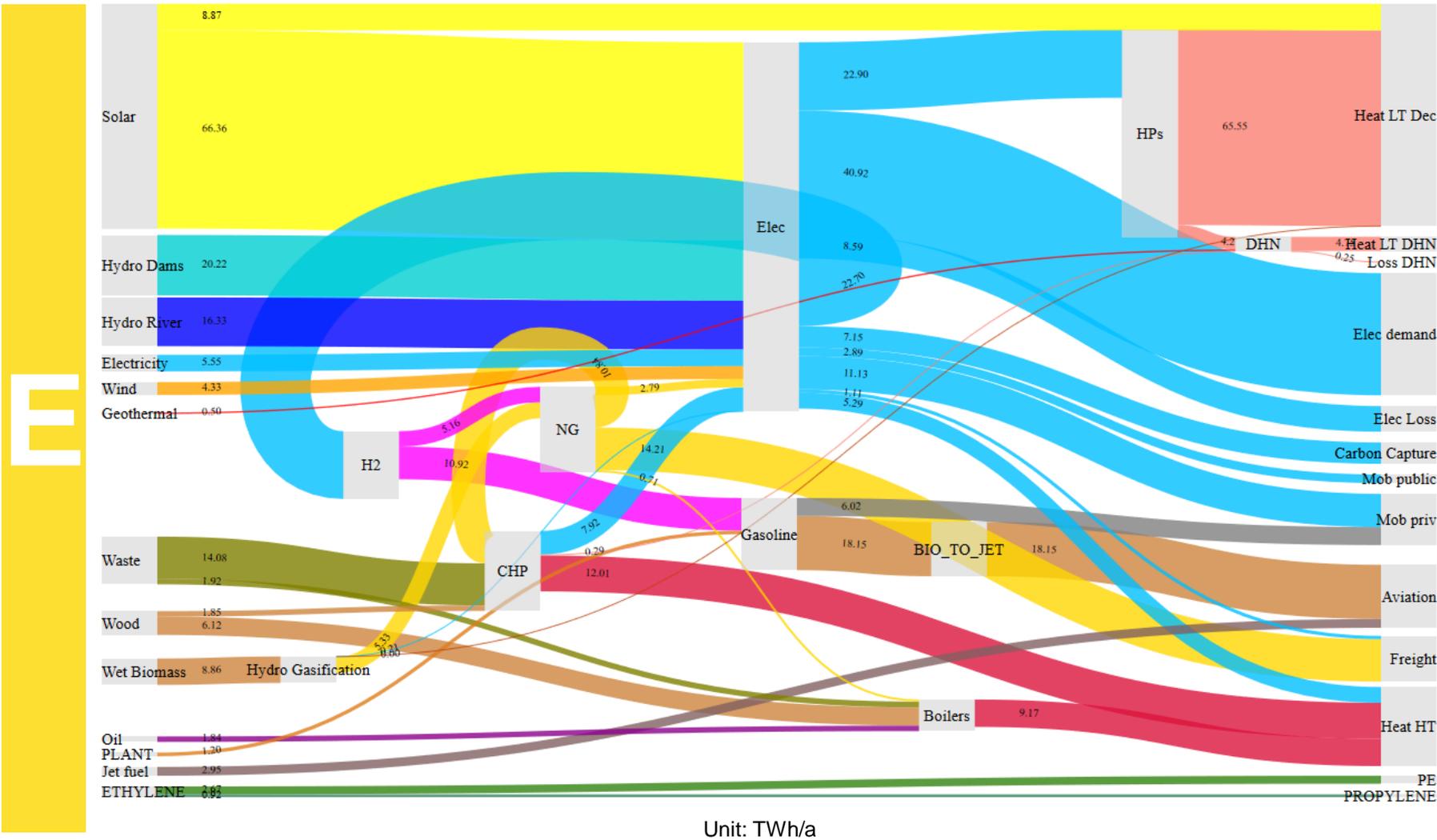
Szenario 3 «CO₂-Abgaben auf fossilen Energieträgern»

Vorgehensweise: Step-by-Step-Erhöhung der Importpreise von fossilen Energieträgern bis das Gesamtsystem aus Kostengründen zu erneuerbaren Quellen umschwenkt.

Benzin	370 CHF/t _{CO₂} (Neuer Preis: 0.19 Fr./kWh, + 0.10 Fr./kWh)
Diesel	440 CHF/t _{CO₂} (Neuer Preis: 0.20 Fr./kWh, + 0.12 Fr./kWh)
Heizöl	560 CHF/t _{CO₂} (Neuer Preis: 0.19 Fr./kWh, + 0.15 Fr./kWh)
Kerosin	560 CHF/t _{CO₂} (Neuer Preis: 0.20 Fr./kWh, + 0.14 Fr./kWh)
Erdgas	750 CHF/t _{CO₂} (Neuer Preis: 0.18 Fr./kWh, + 0.15 Fr./kWh)

Wie hoch ist eine wirkungsvolle CO₂-Abgabe?

Szenario 3 «CO₂-Abgaben auf fossilen Energieträgern»



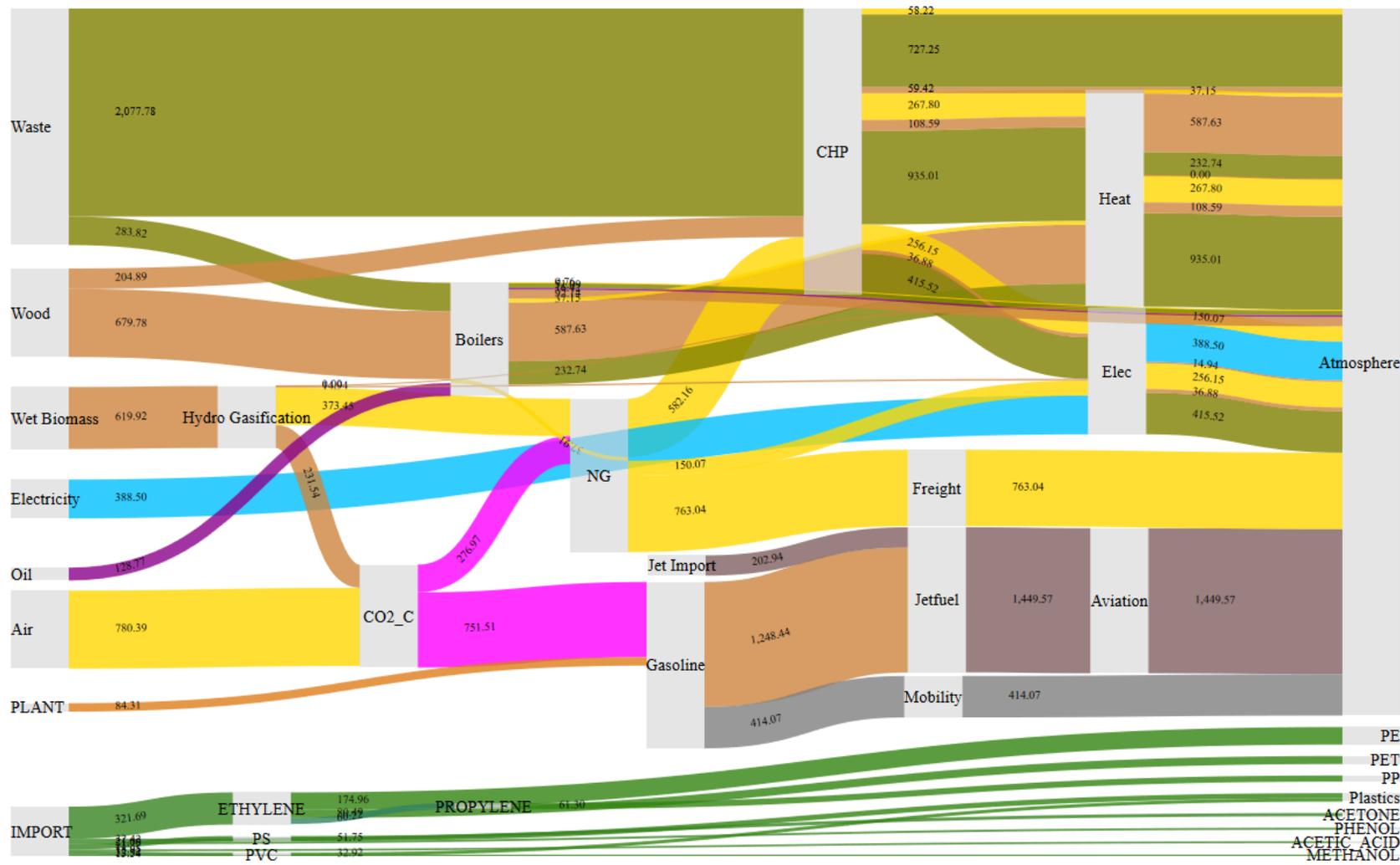
Vorgehensweise

Step-by-Step-Erhözung der Importpreise von fossilen Energieträgern bis das Gesamtsystem aus Kostengründen zu erneuerbaren Quellen umschwenkt.

	22.2 Mrd. CHF/a
	Total: 182 TWh/a Davon elektr. Energie: 124 TWh/a
	Fossil: 12.9 Mt/a Non-fossil: 13.0 Mt/a

Szenario 3 «CO₂-Abgaben auf fossilen Energieträgern»

C



Unit: kt C/a

Vorgehensweise

Step-by-Step-Erhöhung der Importpreise von fossilen Energieträgern bis das Gesamtsystem aus Kostengründen zu erneuerbaren Quellen umschwenkt.

	22.2 Mrd. CHF/a
	Total: 182 TWh/a Davon elektr. Energie: 124 TWh/a
	Fossil: 12.9 Mt/a Non-fossil: 13.0 Mt/a

Allgemeine Schlussfolgerungen

- Kohlenstoff ist und bleibt ein wichtiger Bestandteil in unserem Energie- und Produktesystem – auch wenn dieses komplett erneuerbar ist.
- Elektrizität wird in einem erneuerbaren System eine zentrale Rolle spielen! Die Installation von erneuerbaren Energiequellen muss entsprechend ausgebaut werden.
- Der Einsatz von mehr erneuerbaren Energien und die Reduktion des Imports von fossilen Energieträgern reduziert die energietechnische Abhängigkeit vom Ausland.
- Biomasse-Technologien werden aufgrund des niedrigeren Preises eine wichtige Rolle spielen.
(Produktion von SNG, Flugtreibstoffen, Wärme und Strom)
- Power-to-X-Technologien sind wichtig für die Ergänzung bei der Produktion von SNG und Flugtreibstoffen.

Was sind die
Resultate?

Die Hauptbeiträge des Projektes sind:

1. Eine strukturierte Datenübersicht zu den Kohlenstoffquellen und Kohlenstoffsenken in der Schweiz, mit einem speziellen Fokus auf Biomasse-Technologien sowie Power-to-X.
2. Die Integration dieser Daten in das Energiemodell Swiss EnergyScope um Fragen in Bezug auf die Energiestrategie beantworten zu können.

Was ist das Ergebnis?

Fragen?

Für spätere Fragen:
zoe.stadler@hsr.ch

Herzlichen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!