

# Klimaneutralität von Skigebieten

**Samuel Renggli**  
Project Engineer Nexus-e,  
Energy Science Center, ETH Zürich



# Agenda

1. Einleitung
2. Fragestellung
3. Verbrauchsdaten von einem Skigebiet
4. Transition in den Sektoren
5. Systemerweiterung
6. Zusammenfassung
7. Diskussion

# Einleitung

- Bachelor und Master in Maschinenbauingenieurwissenschaften der ETH Zürich
- Energy Science Center der ETH Zürich, Nexus-e Team (Modellierung des zukünftigen Schweizer Energiesystems)
- Masterarbeit: Techno economic energy system optimization for a CO<sub>2</sub> neutral ski resort operation

## Nexus-e Team

### Principal investigators



Prof. Dr. Gabriela Hug  
Power System Lab (PSL)



Dr. Turhan Hilmi Demiray  
Research Center for Energy Networks (FEN)



Prof. Dr. Giovanni Sansavini  
Reliability and Risk Engineering Laboratory (RRE)



Prof. Dr. Andre Bardow  
Chair of Energy and Process Systems Engineering (EPSE)



Dr. Christian Schaffner  
Energy Science Center (ESC)

### Researchers



Dr. Jared Garrison  
FEN  
   



Dr. Blazhe Gjorgiev  
RRE  
  



Dr. Mengshuo Jia  
PSL  
 



Florian Baader  
EPSE  
 



Elena Raycheva  
PSL  




Maria Parajeles  
PSL  
 



Ambra van Liedekerke  
PSL  
 

### Project management & infrastructure



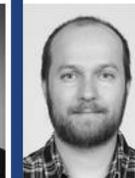
Dr. Jonas Savelsberg  
ESC  
  



Dr. Marius Schwarz  
ESC  
    



Samuel Renggli  
ESC  
 



Matthieu Boubat  
ESC  


<https://nexus-e.org/researchers/>

# Fragestellung

Klimaneutralität von Skigebieten – geht das überhaupt?

## Definition von Klimaneutralität:

- Klimaneutralität ist die allumfassendste Form, in deren Folge die globale Durchschnittstemperatur unverändert bleibt
- Treibhausgasneutralität beschreibt den Zustand, in dem eine Balance aus Quellen und Senken aller Treibhausgasen herrscht
- Die CO<sub>2</sub>-Neutralität tritt ein, wenn alle CO<sub>2</sub>-Quellen und -Senken ausgeglichen sind. Bei Erreichen einer globalen CO<sub>2</sub>-Neutralität schreitet die Erwärmung des Klimas fort (wenn auch deutlich verlangsamt); sie kann also als Übergangsziel auf dem Weg zur Klimaneutralität betrachtet werden.

Honegger, M ; Schäfer, S ; Poralla, M ; Michaelowa, A, 2020 :  
Klimaneutralität: ein Konzept mit weitreichenden Implikationen

# Fragestellung

Treibhausgase haben eine unterschiedliche Wirkung auf die Erwärmung der Atmosphäre:

- Z.B Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist 25mal stärker als  $\text{CO}_2$
- Um vergleichbar zu bleiben, rechnet man alles in  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ :
  - $1 \text{ CH}_4 = 25 \text{ CO}_{2\text{eq}}$

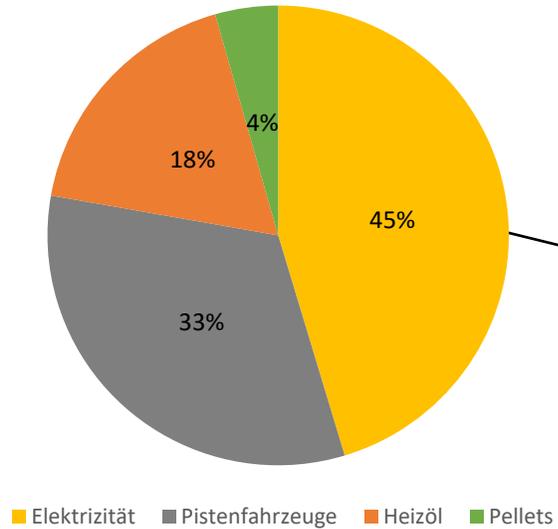
Die Treibhausgasneutralität wird in  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  gemessen, man könnte es auch  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  - Neutralität nennen

Im Folgenden werden wir eine Analyse der Treibhausgasneutralität eines Skigebiets durchführen

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>

# Verbrauchsdaten von einem Skigebiet (Laax)

Energieverbrauch Skigebiet Laax



Verbraucher	Anteil [%]
Pistenfahrzeuge	32.4
Heizöl	17.8
Pellets	4.4
Seilbahnen	25
Gastronomie	7.7
Schneekanonen	5.4
Hotel Resort	2.4
Sonstiges	2.5
Infrastruktur Gebäude	2.3

Gesamtverbrauch: ca. 30'000 MWh

Jahresverbrauch von ca. 6000 Haushalte

# Verbrauchsdaten von einem Skigebiet (Laax)

## CO<sub>2eq</sub> Ausstoss berechnen

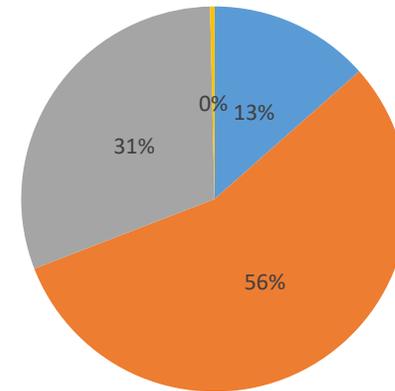
### CO<sub>2eq</sub> Intensität des Strommix für einige Ländern

Schweiz	46 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Frankreich	85 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Österreich	158 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Deutschland	386 g CO <sub>2eq</sub> /kWh

### CO<sub>2eq</sub> Intensität der Kraftstoffe

Diesel	266 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Heizöl	266 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Pellets	13 g CO <sub>2eq</sub> /kWh

### CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax



■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

Gesamtausstoss: 4540t CO<sub>2eq</sub>

≈ 380 Personen Ausstoss pro Jahr (Schweiz)

<https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&time=2020..latest&country=AUT~ITA~FRA~CHE>

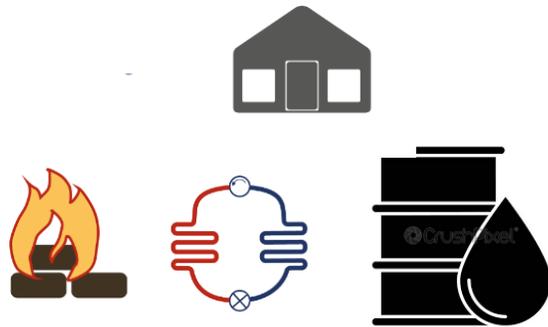
[https://www.volker-quaschning.de/datserv/CO2-spez/index\\_e.php](https://www.volker-quaschning.de/datserv/CO2-spez/index_e.php)

<https://www.myclimate.org/de-ch/informieren/faq/faq-detail/wer-produziert-co2/>

# Transition in den Sektoren – Massnahmen zur CO<sub>2eq</sub> Reduktion

Im Folgenden werden wir Massnahmen, die in dem Skigebiet getroffen werden können, in den 3 Sektoren Wärme, Mobilität und Strom einführen und den Effekt quantifizieren.

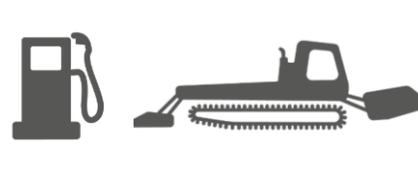
## Wärmesektor



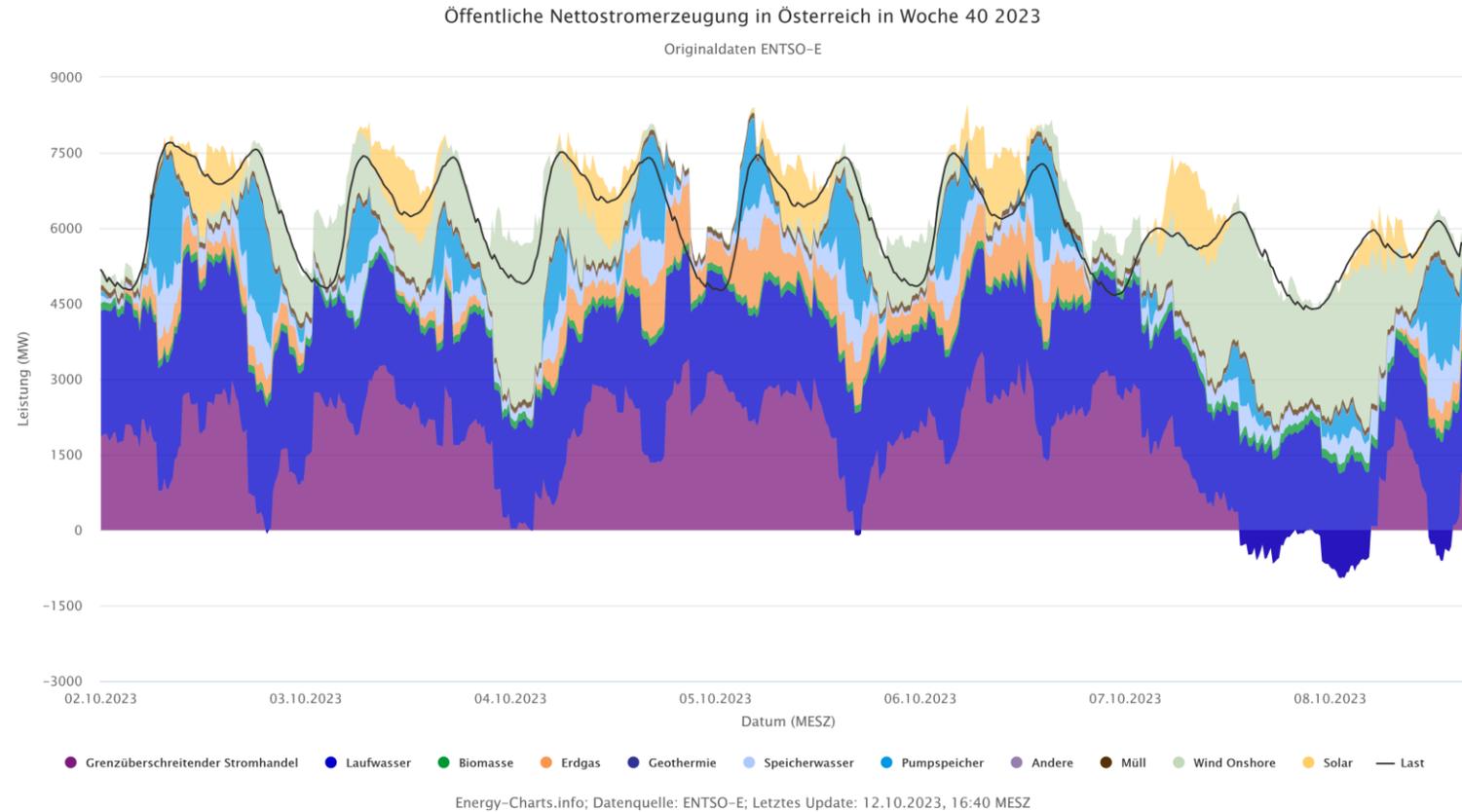
## Stromsektor



## Mobilitätssektor



# Transition in den Sektoren Stromsektor



Unterschiedliche Technologien  
zur Stromproduktion

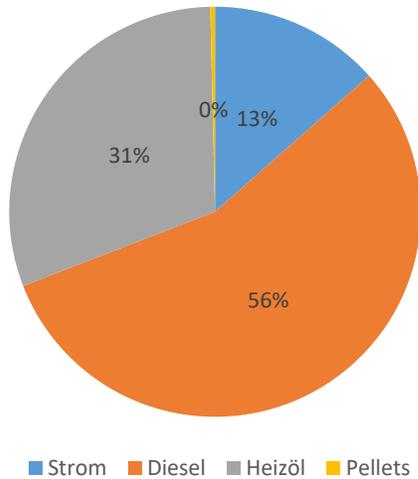
Unterschiedliche CO<sub>2eq</sub> Intensität

CO<sub>2eq</sub> Intensität des  
Stromproduktionsmix

# Transition in den Sektoren Stromsektor

## Strommix CH

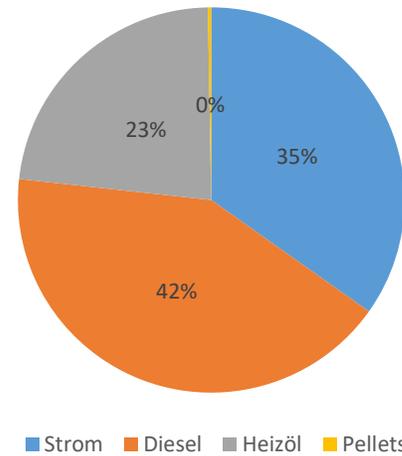
CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax CH



Gesamtausstoss: 4540t CO<sub>2eq</sub>

## Strommix AT

CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax AT



Gesamtausstoss: 6030t CO<sub>2eq</sub>

## CO<sub>2eq</sub> Intensität des Strommix für einige Ländern

<b>Schweiz</b>	<b>46 g CO<sub>2eq</sub>/kWh</b>
Frankreich	85 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
<b>Österreich</b>	<b>158 g CO<sub>2eq</sub>/kWh</b>
Deutschland	386 g CO <sub>2eq</sub> /kWh

# Transition in den Sektoren Stromsektor

## Emissionen von Stromproduktionstechnologien

PV	50 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Wind	18 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Wasser	6.5 g CO <sub>2eq</sub> /kWh

## CO<sub>2eq</sub> Intensität des Strommix für einige Ländern

Schweiz	46 g CO <sub>2eq</sub> /kWh
Österreich	158 g CO <sub>2eq</sub> /kWh

## Massnahme:

- Eigene Kraftwerke bauen
- Langfristige Strombezugsverträge für erneuerbare Energien abschliessen

# Transition in den Sektoren Stromsektor - Massnahmen

Skigebiet als Kraftwerk? → PV, Wind, Wasser je nach Potential

Abbildung 13 PV-Anlage Wildkogel



Quelle: <https://www.brandpower.at/wildkogel>

Aufgrund der Höhenlage und des Albedoeffektes ist der Energieertrag im Winter um 48 % höher als vergleichsweise im Stadtgebiet in Salzburg.



<https://www.horizonte-magazin.ch/wp-content/uploads/2020/02/ho-124-reformstau-bei-der-wasserkraft-1170x780-1.jpg>

Beispiel: PV-Anlagen auf Infrastruktur mit Relevanz für Bergbahnen

Abbildung 14 PV-Anlage auf Lawinverbauungen und auf Staumauern bzw. -dämmen



Quelle: <https://www.solar-bellwald.ch/> ; <https://www.energate-messenger.ch>

# Transition in den Sektoren Stromsektor

## Massnahmen:

- Effizientere Antriebe
  - Sparsame Betriebskonzepte
- Einsparungspotential ca. 10%
- Eigene Kraftwerke bauen
  - Langfristige Strombezugsverträge für erneuerbare Energien abschliessen

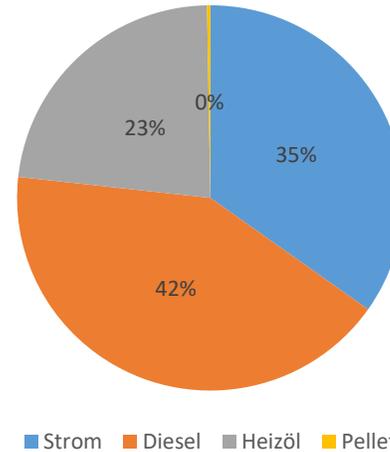


## Wirkung:

Reduktion der Emissionen um ca. 30%

## Strommix AT

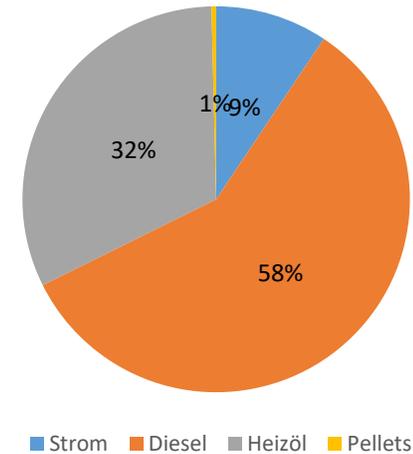
CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax AT



Gesamtausstoss: 6030t CO<sub>2eq</sub>

## Massnahmen im Stromsektor

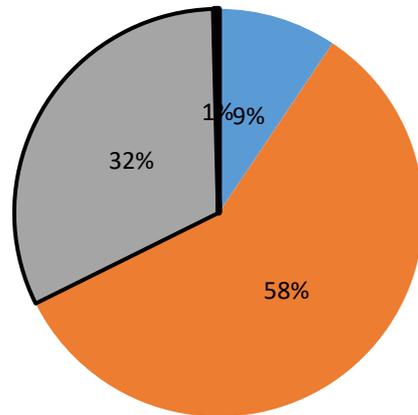
CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax



Gesamtausstoss: 4355t CO<sub>2eq</sub>

# Transition in den Sektoren Wärmesektor

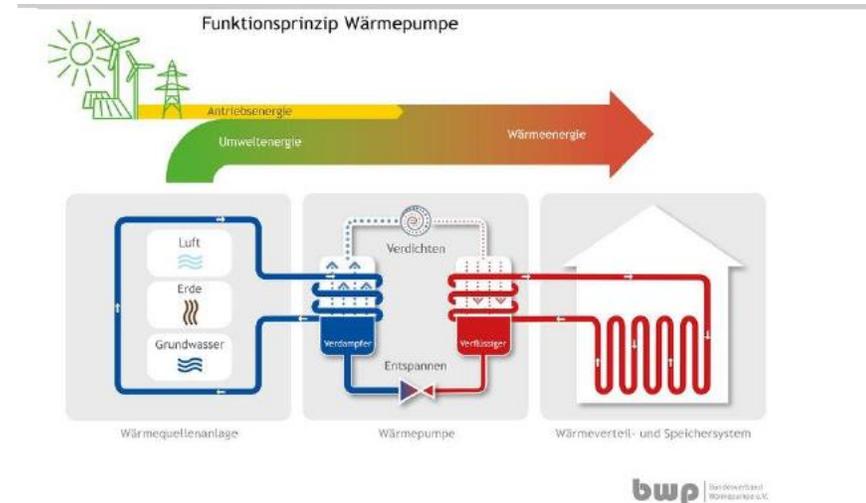
CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax



■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

## Massnahmen:

- Gas, Ölheizungen mit Wärmepumpen oder Pelletsheizungen ersetzen
- Wärmedämmung + Wärmerückgewinnung, ca. 20% Einsparungen



Quelle: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>



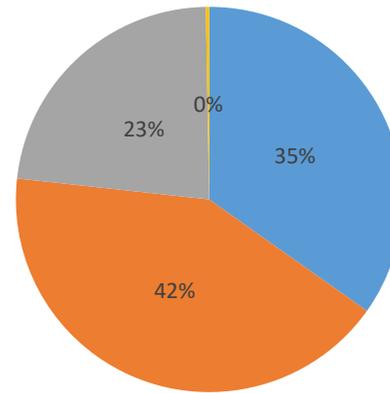
# Transition in den Sektoren Wärmesektor

## Massnahmen:

- Gas, Ölheizungen mit Wärmepumpen oder Pelletsheizungen ersetzen
- Wärmedämmung + Wärmerückgewinnung (Bsp), ca 20%

## Strommix AT

CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax AT

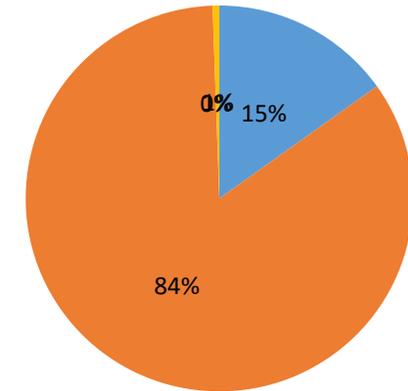


■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

Gesamtausstoss: 6030t CO<sub>2eq</sub>

## Massnahmen im Strom & Wärmesektor

CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax



■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

Gesamtausstoss: 3000t CO<sub>2eq</sub>



## Wirkung:

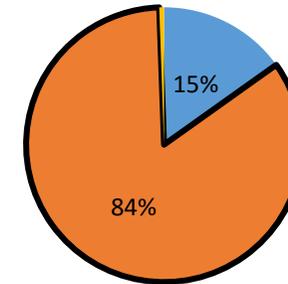
Reduktion der Emissionen um weitere  
ca. 20%

# Transition in den Sektoren Mobilitätssektor

- Die Emissionen werden hauptsächlich durch die Diesel betriebenen Pistenfahrzeuge verursacht

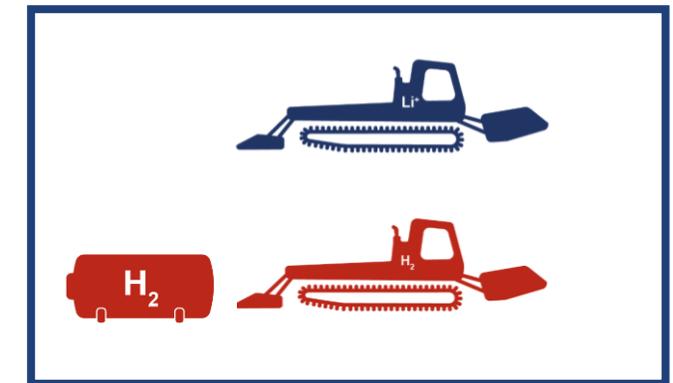


CO<sub>2</sub>eq Ausstoss Skigebiet Laax



■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

Gesamtausstoss: 3000t CO<sub>2</sub>eq



## Massnahmen:

Wasserstoff oder Batteriepistenfahrzeuge verwenden:

<https://www.prioth.com/de/pistenfahrzeuge/produkte/co2-freie-pistenfahrzeuge/leitwolf-h2motion-772/>

<https://www.prioth.com/de/pistenfahrzeuge/produkte/co2-freie-pistenfahrzeuge/husky-emotion-762/>

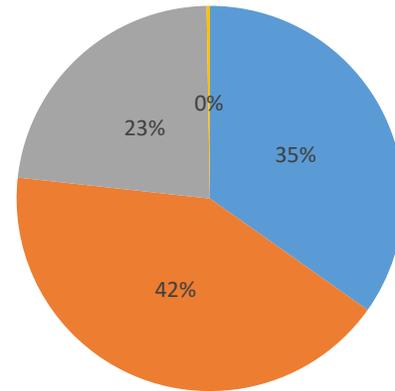
# Transition in den Sektoren Mobilitätssektor

## Massnahmen:

- Wasserstoff oder Batteriependelbusse anstatt Dieselfahrzeuge

## Strommix AT

CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax AT

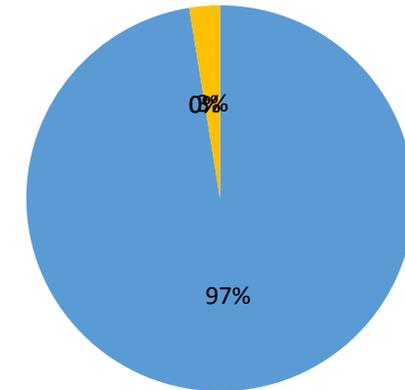


■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

Gesamtausstoss: 6030t CO<sub>2eq</sub>

## Massnahmen Strom, Mobilitäts und Wärmesektor

CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax



■ Strom ■ Diesel ■ Heizöl ■ Pellets

Gesamtausstoss: 660t CO<sub>2eq</sub>



## Wirkung:

Reduktion der Emissionen um weitere  
ca. 40%

Ca. 10 % der Emissionen  
des ursprünglichen Systems  
sind nicht vermeidbar

# Negative Emissionstechnologien

Negative Emissionstechnologien sind nötig um die Restemissionen zu kompensieren

## Direct Air Capture (DAC)



<https://framerusercontent.com/images/E1M4aGBiRVm2ckbYONDw1t4dWY.jpeg>

## Aufforstungsprojekte



<https://www.sueddeutsche.de/image/sz.1.5703629/704x396?v=1669387568>

# Investitionsemissionen vs Betriebsemissionen

- Investitionsemissionen sind Emissionen, die bei der Herstellung von einem Produkt anfallen



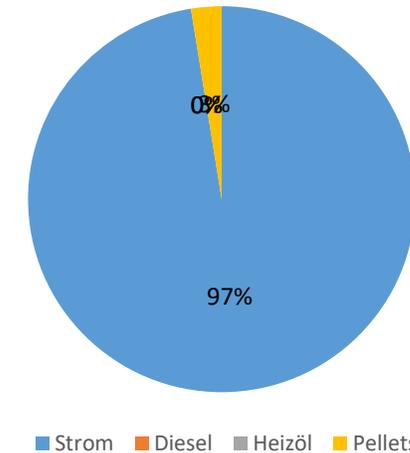
Ein Batteriebetriebenes Pistenfahrzeug hat Investitionsemissionen von ca. 32t CO<sub>2eq</sub>

- Das Skigebiet Laax hat eine Flotte von 26 Pistenfahrzeuge die nach ca. 5 Jahren erneuert werden muss

- Zu den jährlichen Betriebsemissionen kommen unvermeidbare Investitionsemissionen dazu!

Massnahmen Strom, Mobilitäts und Wärmesektor

CO<sub>2eq</sub> Ausstoss Skigebiet Laax



Gesamtausstoss: 660t CO<sub>2eq</sub>

# Systemerweiterung - Anreise

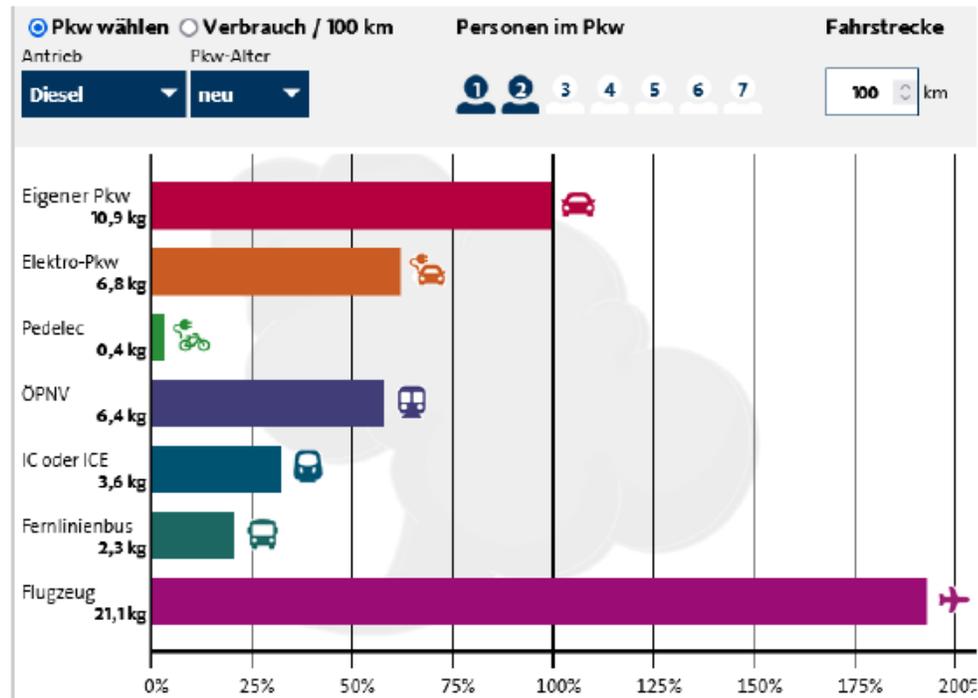
- Bis jetzt haben wir nur die Emissionen betrachtet, die im Skigebiet verursacht werden.
- Wie kommt man zum Skigebiet?  
-> Massgebend!

Einen Tag Skifahren in Laax entspricht ca. den Emissionen von 30-40km Auto fahren mit einem durchschnittlichen PKW zu zweit.

# Systemerweiterung - Anreise

Der CO2 Rechner zeigt: Anreisen per Diesel-PKW oder Flugzeug bewirken den höchsten CO<sup>2</sup>-Ausstoß. Schnellzug und Fernbus schneiden deutlich besser ab.

Abbildung 25 CO<sub>2</sub>-Ausstoß 2 Person auf 100 km (bei PKW 6,9 Liter Diesel pro 100 km)



## Massnahmen der SkifahrerInnen:

- Anreise mit dem Zug
- Anreise mit dem Bus
- Anreise mit dem e-Auto
- Fahrgemeinschaft

## Massnahmen des Skigebiets:

- Mobilitätsangebote erweitern
- Z.b in der Schweiz gibt es «Snow'n'Rail» günstigere Angebote der Bahn mit den Skigebietten zusammen

# Zusammenfassung

## Betriebsemissionen

### Stromsektor

→ *Einsparungen bis ca. 30%*



### Wärmesektor

→ *Einsparungen bis ca. 20%*



### Mobilitätssektor

→ *Einsparungen bis ca. 40%*



→ *Ca. 10% Betriebsemissionen sind unvermeidbar*

→ *Negativemissionstechnologien sind nötig!*

# Zusammenfassung

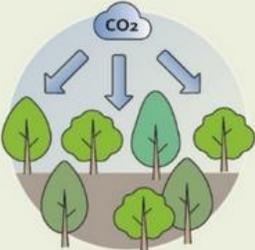
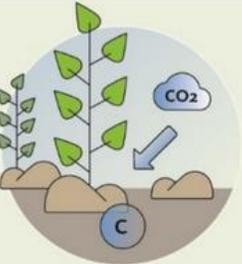
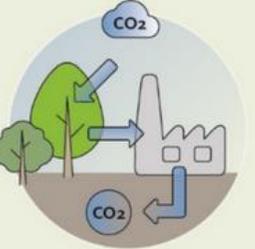
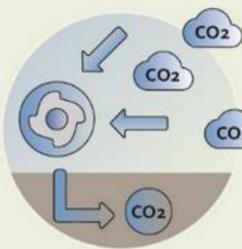
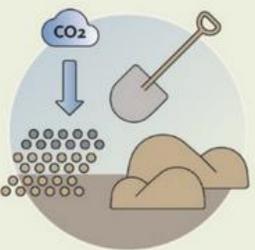
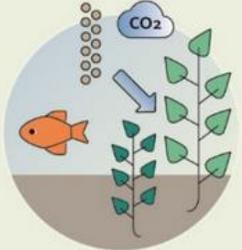
## Weitere unvermeidbare Emissionen

- Entstehen bei der Investition in neue Anlagen und Fahrzeuge
- Entstehen bei der Anreise der Gäste

→ Negativemissionstechnologien sind nötig!



# Exkurs: Mehr zu Negativemissionstechnologien

<p><b>Aufforstung, Wiederaufforstung, Waldbewirtschaftung und Holznutzung</b> Baumwachstum entzieht der Luft CO<sub>2</sub>. Dieses kann in Bäumen, Böden und Holzprodukten gespeichert werden.</p>		<p><b>Bodenmanagement (inkl. Pflanzenkohle)</b> Einbringung von Kohlenstoff (C) in die Böden, z. B. mittels Ernterückständen oder Pflanzenkohle, kann C im Boden anreichern.</p>	
<p><b>Bioenergienutzung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (BECCS)</b> Pflanzen wandeln CO<sub>2</sub> in Biomasse um, die Energie liefert. CO<sub>2</sub> wird aufgefangen und im Untergrund gespeichert.</p>		<p><b>Maschinelle CO<sub>2</sub>-Luftfiltrierung und Speicherung (DACCS)</b> CO<sub>2</sub> wird der Umgebungsluft durch chemische Prozesse entzogen und im Untergrund gespeichert.</p>	
<p><b>Beschleunigte Verwitterung</b> Zerkleinerte Mineralien binden chemisch CO<sub>2</sub> und können anschliessend in Produkten, im Boden oder im Meer gelagert werden.</p>		<p><b>Ozeandüngung</b> Eisen oder andere Nährstoffe werden dem Ozean zugesetzt, um die CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Algen zu erhöhen.</p>	

← Braucht zusätzlich viel Energie!

<https://grunliberale.ch/klimafakten/negative-emissionen.html>

# Zusammenfassung

*Klimaneutralität von Skigebieten – geht das überhaupt?*

## **Definition von Klimaneutralität:**

- Klimaneutralität ist die allumfassendste Form, in deren Folge die globale Durchschnittstemperatur unverändert bleibt
- Treibhausgasneutralität beschreibt den Zustand, in dem eine Balance aus Quellen und Senken aller Treibhausgasen herrscht.

- Treibhausgasneutralität kann nur mit einer Kombination von Massnahmen und Negativemissionstechnologien im Skigebiet erreicht werden
- Um Klimaneutral zu werden, müssten die Skigebiete zu einer Treibhausgassenke umgebaut werden. Netto Null Emissionen reicht nicht, Negativemission sind zwingend nötig.

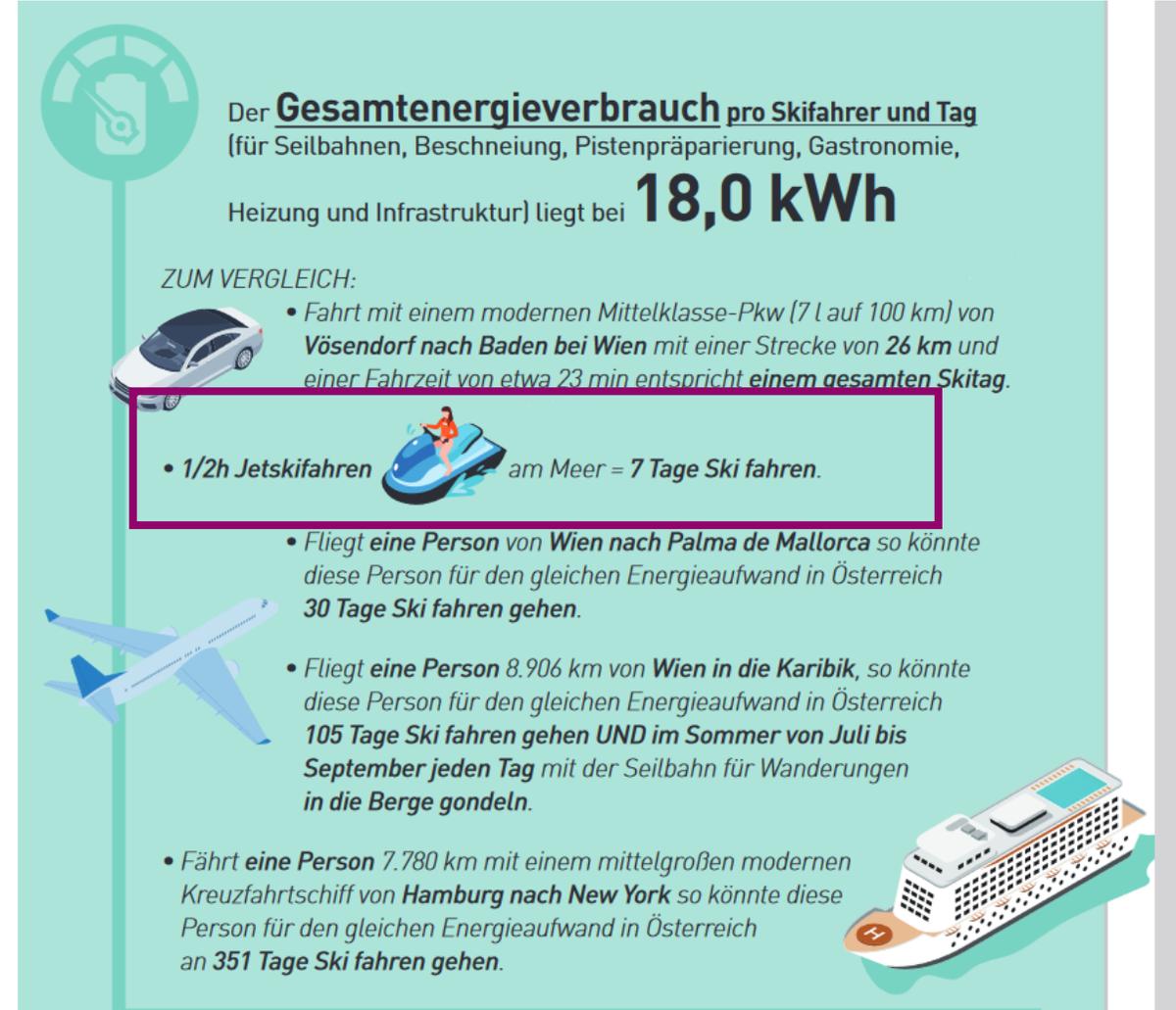
# Zusammenfassung - Ist Skifahren klimaschädlich?

Der **Gesamtenergieverbrauch pro Skifahrer und Tag** (für Seilbahnen, Beschneigung, Pistenpräparierung, Gastronomie, Heizung und Infrastruktur) liegt bei **18,0 kWh**

Achtung: Vergleich von Energie, nicht von CO<sub>2eq</sub> Emissionen!

-> 1/2h Jetskifahren ≈ 10Tage Ski fahren

**Fazit:** Skifahren ist nicht besonders klimaschädlich. Aber auch nicht klimaneutral.



[https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/seilbahnen/Oekologie\\_und\\_Umwelt.html](https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/seilbahnen/Oekologie_und_Umwelt.html)

An aerial, black and white photograph of a snowy mountain slope. The snow is marked with numerous ski tracks. A skier is visible in the lower right quadrant, moving down the slope. The overall scene is serene and captures the texture of the snow and the patterns of human activity.

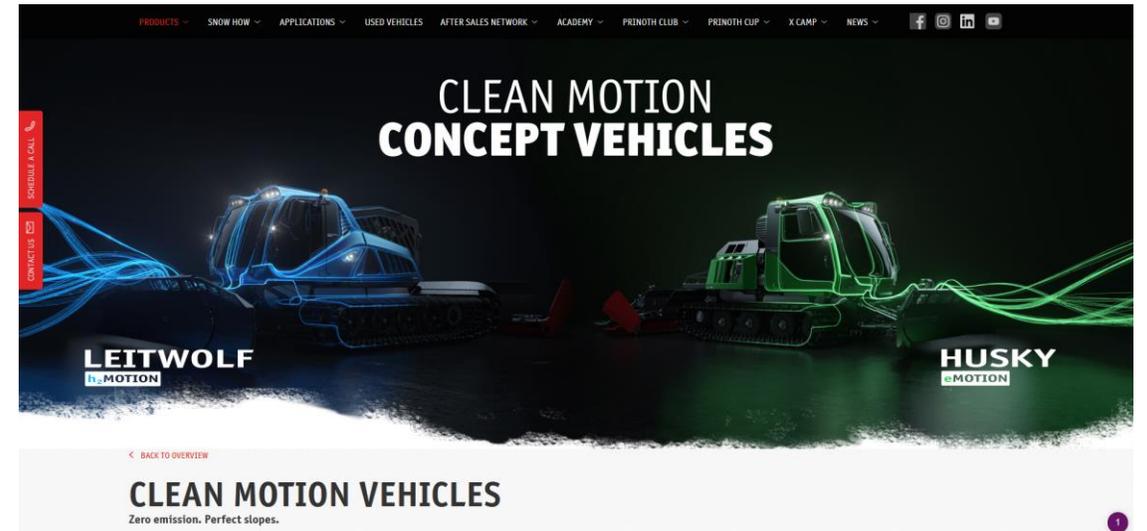
"Klimaneutralität ist das Versprechen, unser Erbe an die Erde nicht zu einer Belastung für die Zukunft werden zu lassen." - ChatGPT

# Backup Slides

# Pistenfahrzeuge

- **10'500'000 kWh Total**
- **7'700l diesel per winter season day**  
(90'860 kWh)
- H2 Snowgroomers (1600kg H2 per day)
- Battery Snowgroomers
- Solar Fuels

## Industrial Partner Prinoth



# Technische Daten Pistenfahrzeuge

## Li Battery Snowgroomer

Year	2020	2025	2030
Investment costs [CHF]	850'000	750'000	650'000
Capacity [kWh]	150		
Running time [h]	3		
Refuel time [h]	1		

## H2 Snowgroomer

	2020	2025	2030
Investment costs [CHF]	850'000	750'000	650'000
Power [kW]	400		
Tank [kg_H2], [kW <sub>1</sub> ]	10, 333		
Running time [h]	4 ↔ Diesel snowgroomer: 12h		
Refuel time [min]	10-20		



# Exkurs: Technische Daten Pistenfahrzeuge

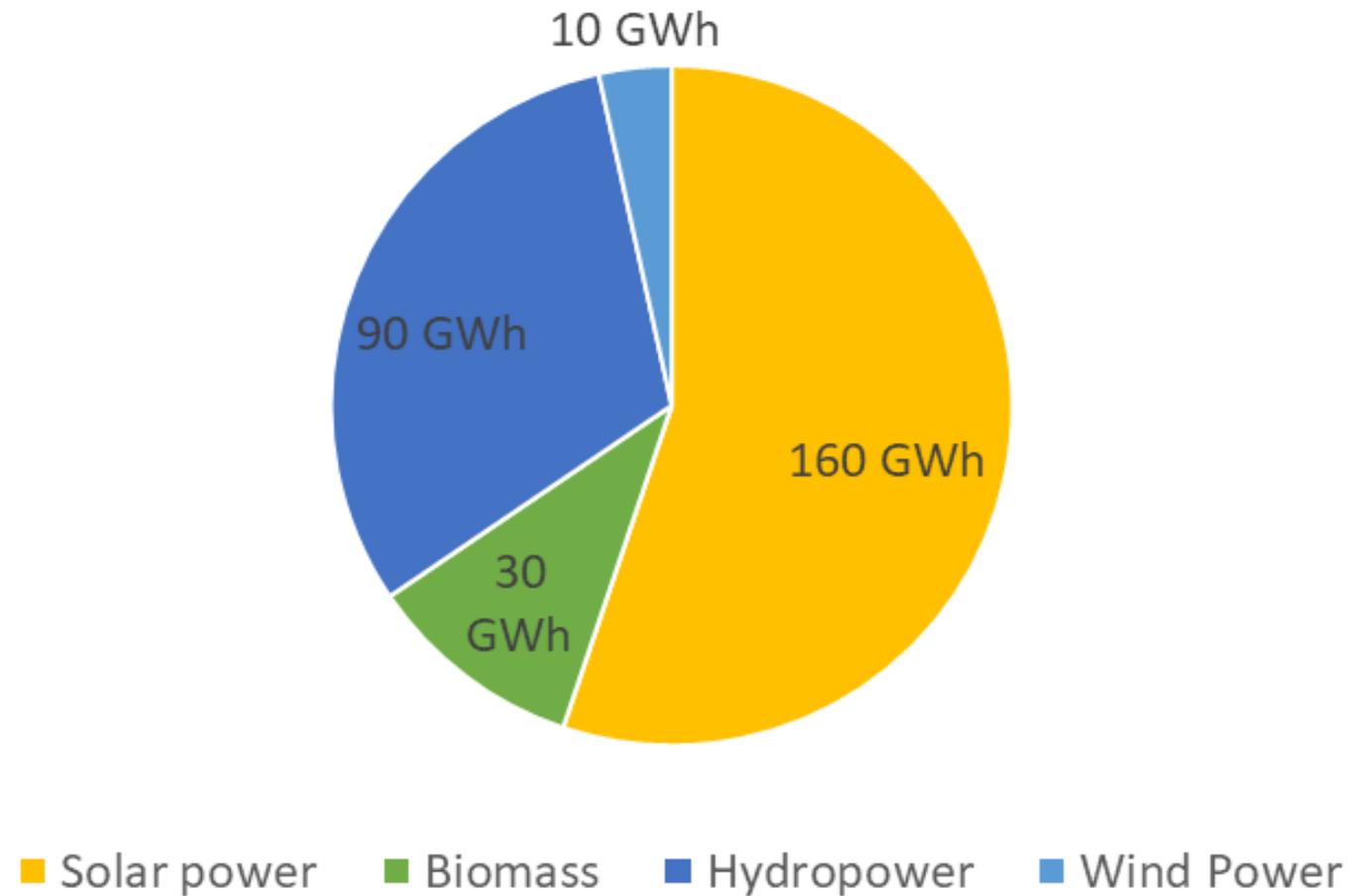
- Auflade Vorgang dauert länger für Batteriefahrzeuge (1h vs 15-20min)
- Deutlich geringere Betriebszeit (12h Diesel vs 4h H2 vs 1h Batterie)
- → Anderes Betriebskonzept nötig

# Technische Daten Pistenfahrzeuge

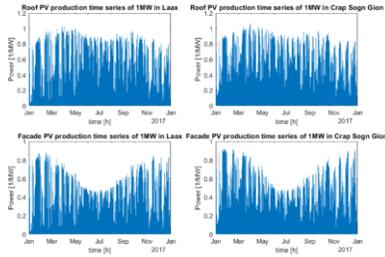
- Auflade Vorgang dauert länger
- Deutlich geringere Betriebszeit (12h Diesel vs 4h H2 vs 1h Batterie)
- → Anderes Betriebskonzept nötig
- Wasserstoff aus Überschuss produzieren oder importieren

# Potentialstudie der Destination

The destination's potential energy production

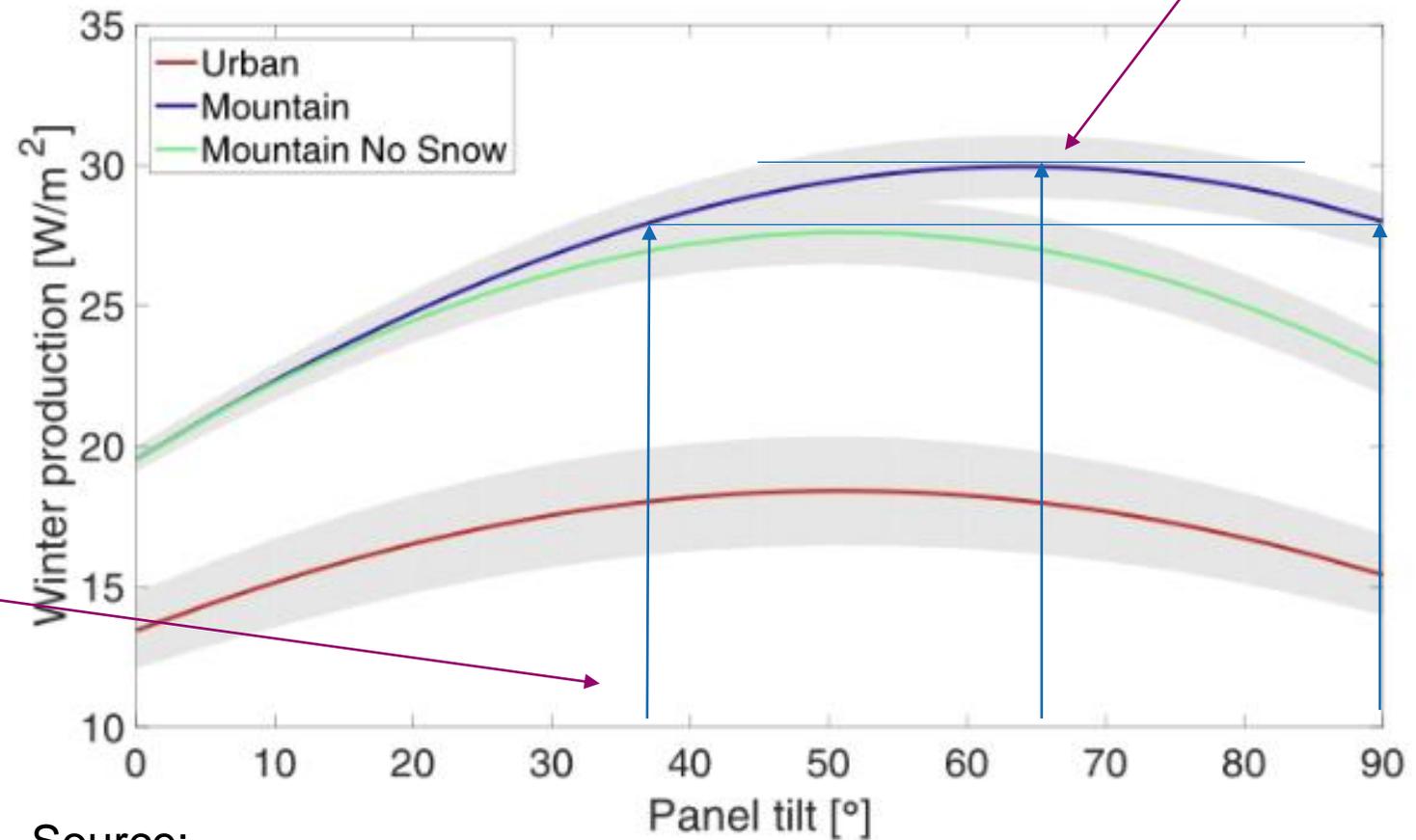


# PV Produktionsprofil



Bei 37 Grad ist die Wintereproduktion besser bei Fassaden PV als bei Dach PV

Optimaler Winterproduktionswinkel



Source:

# Zusammenfassung

Da wir jetzt schon zu viel CO<sub>2</sub> emittiert haben, reicht es nicht, Netto-Null zu erreichen. Wir brauchen negative Emissionen um das überschüssige CO<sub>2</sub> wieder aus der Atmosphäre zu holen.