



Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

8. NORDDEUTSCHER BIOGAS-BRANCHENTREFF, Rendsburg, 19.9.2024

# Impulsvortrag – Biogas im künftigen Energiesystem

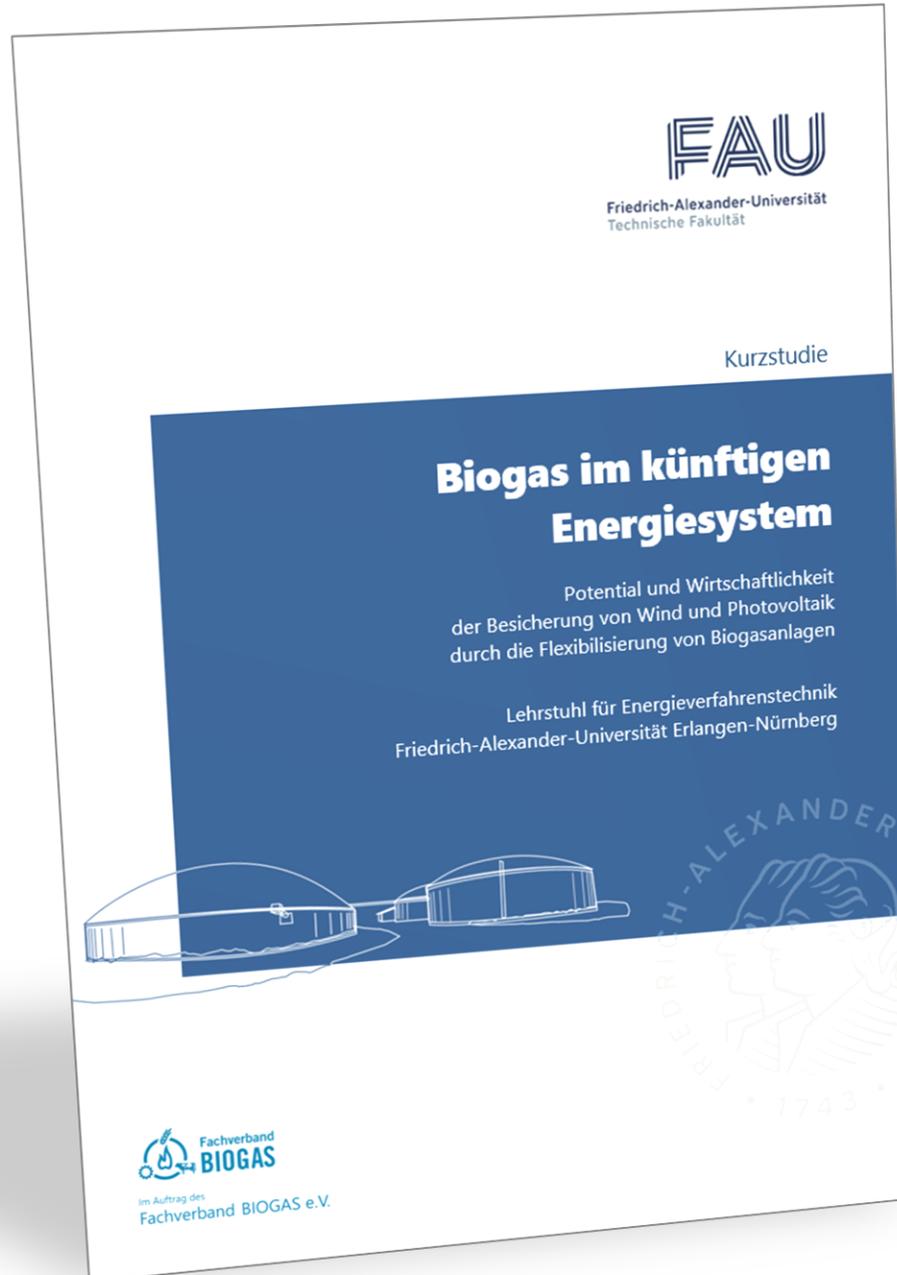
Potential und Wirtschaftlichkeit der Besicherung von Wind und  
Photovoltaik durch die Flexibilisierung von Biogasanlagen

Nora Elhaus, Jürgen Karl  
Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



## FAU Studie

# “Biogas im künftigen Energiesystem”



Download der Studie



[https://www.evt.tf.fau.de/faustudie\\_biogasimenergiesystem2024](https://www.evt.tf.fau.de/faustudie_biogasimenergiesystem2024)

# 1. Ausgangsszenarien

- Netzentwicklungsplan 2037/2045NEP
- Fraunhofer-Studie „Neues Strommarktdesign“

# 2. Problem Dunkelflaute

- Historische Dunkelflauten
- Definition zur Quantifizierung der Dunkelflaute

# 3. Was Reserveleistung kostet

- Notwendige Investitionen
- Spezifische Stromerzeugungskosten

# 4. Warum mit Wasserstoff der Strompreis steigt

- Angebot und Nachfrage am Strommarkt
- Reservekraftwerke in der Merit Order

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

Download der Studie



[https://www.evt.tf.fau.de/faustudie\\_biogasimenergiesystem2024](https://www.evt.tf.fau.de/faustudie_biogasimenergiesystem2024)

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

# 1. Ausgangsszenarien

- Netzentwicklungsplan 2037/2045NEP
- Fraunhofer-Studie „Neues Strommarktdesign“



# Kernproblem:

- Durch die Sektorenkopplung (und die **Elektrolyse**) wird der Strombedarf in Deutschland massiv steigen

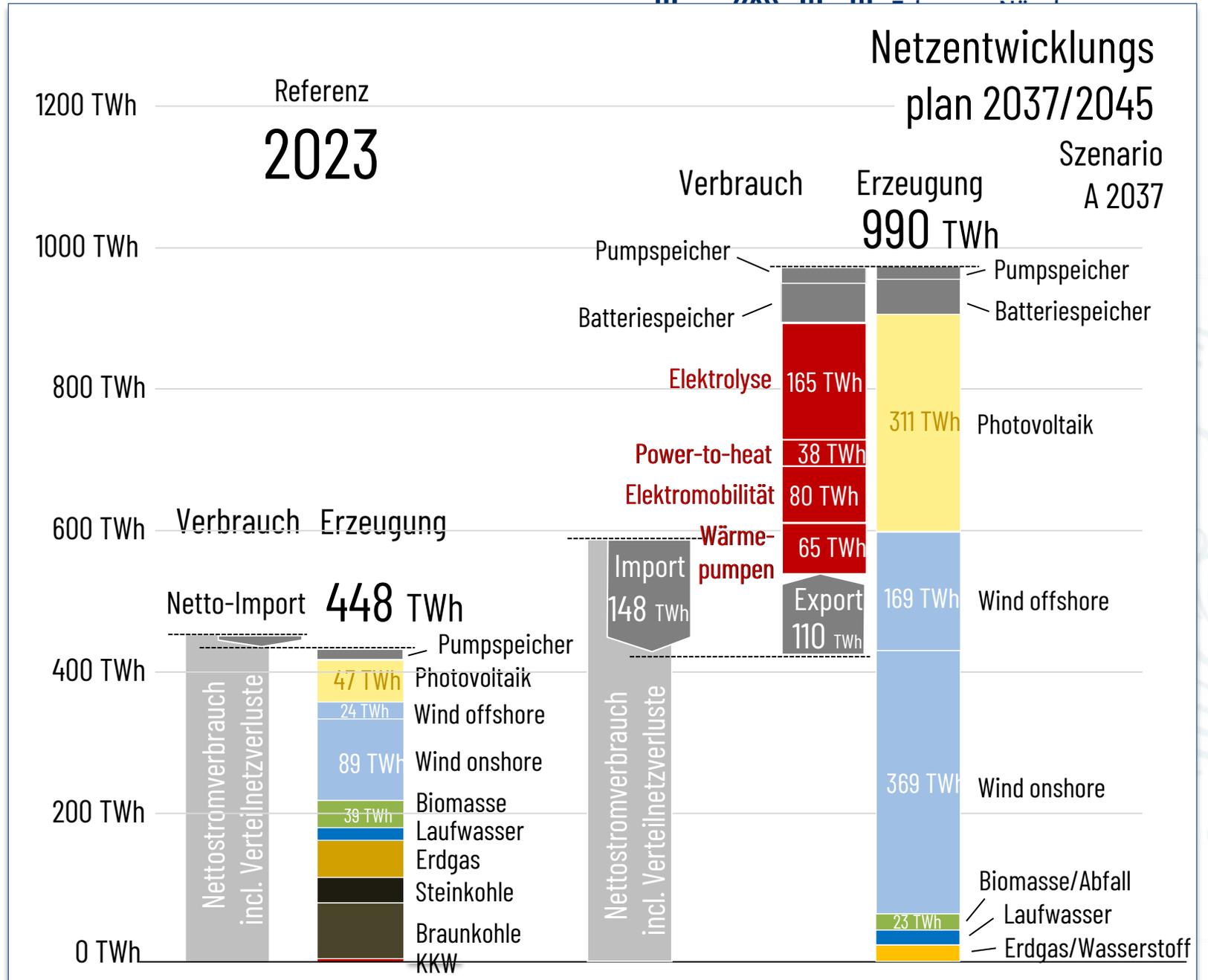
Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit



# Kernproblem:

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

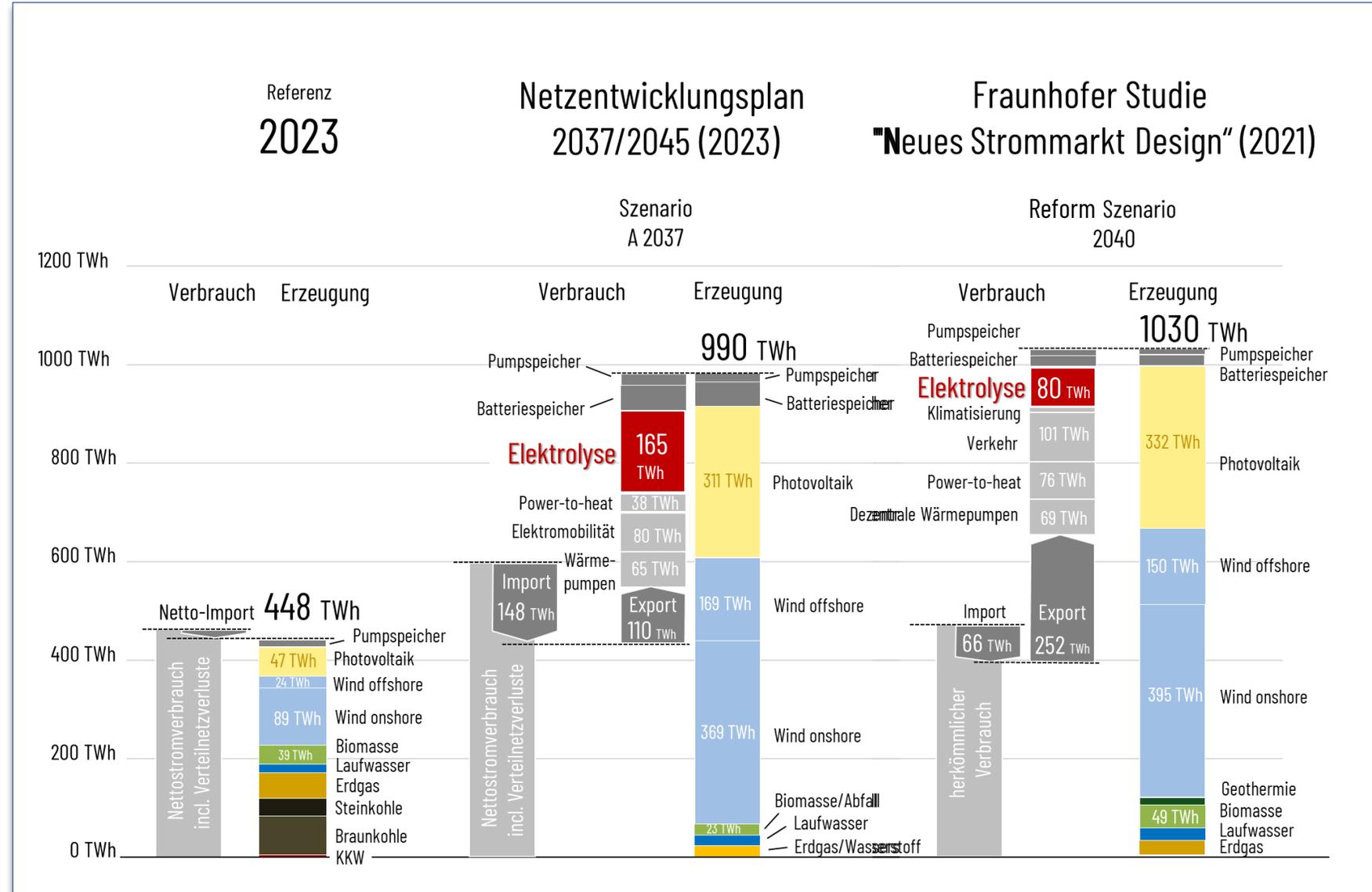
Kosten und Nutzen

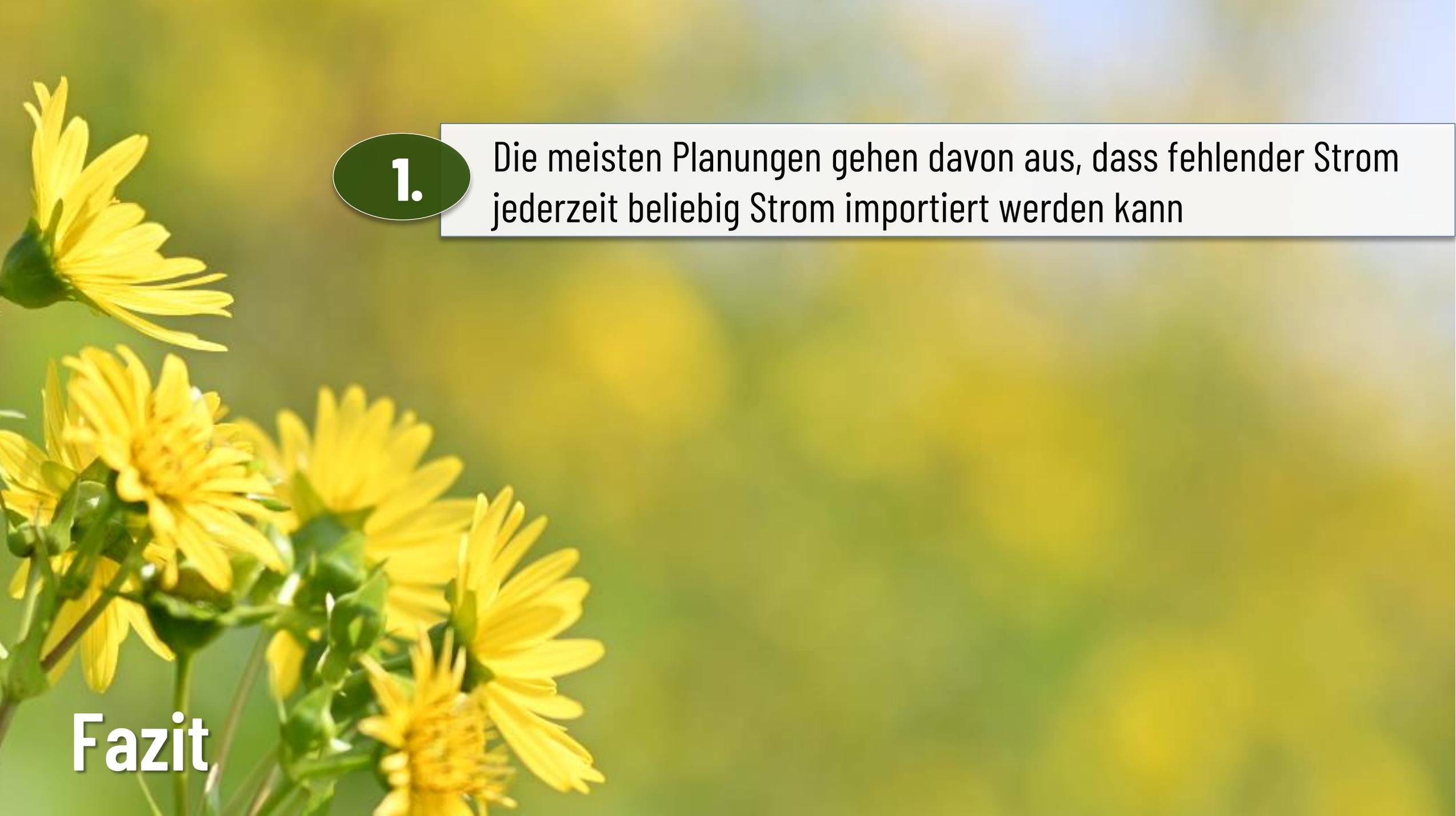
Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

- Durch die Sektorenkopplung (und **die Elektrolyse**) wird der Strombedarf in Deutschland massiv steigen

- Fraunhofer Studie "Neues Strommarktdesign" postuliert einen moderateren Anstieg des Stromverbrauchs
- **Auch die Fraunhofer Studie setzt voraus, dass bei Engpässen importiert werden kann...**



The background of the slide features a soft-focus image of several bright yellow flowers, likely chrysanthemums, with green stems and leaves. The flowers are positioned on the left side of the frame, with some in sharp focus and others blurred in the background. The overall color palette is warm and natural, dominated by the yellow of the petals and the green of the foliage.

**1.**

Die meisten Planungen gehen davon aus, dass fehlender Strom jederzeit beliebig Strom importiert werden kann

**Fazit**

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

## 2. Problem Dunkelflaute

- Historische Dunkelflauten
- Definition zur Quantifizierung der Dunkelflaute

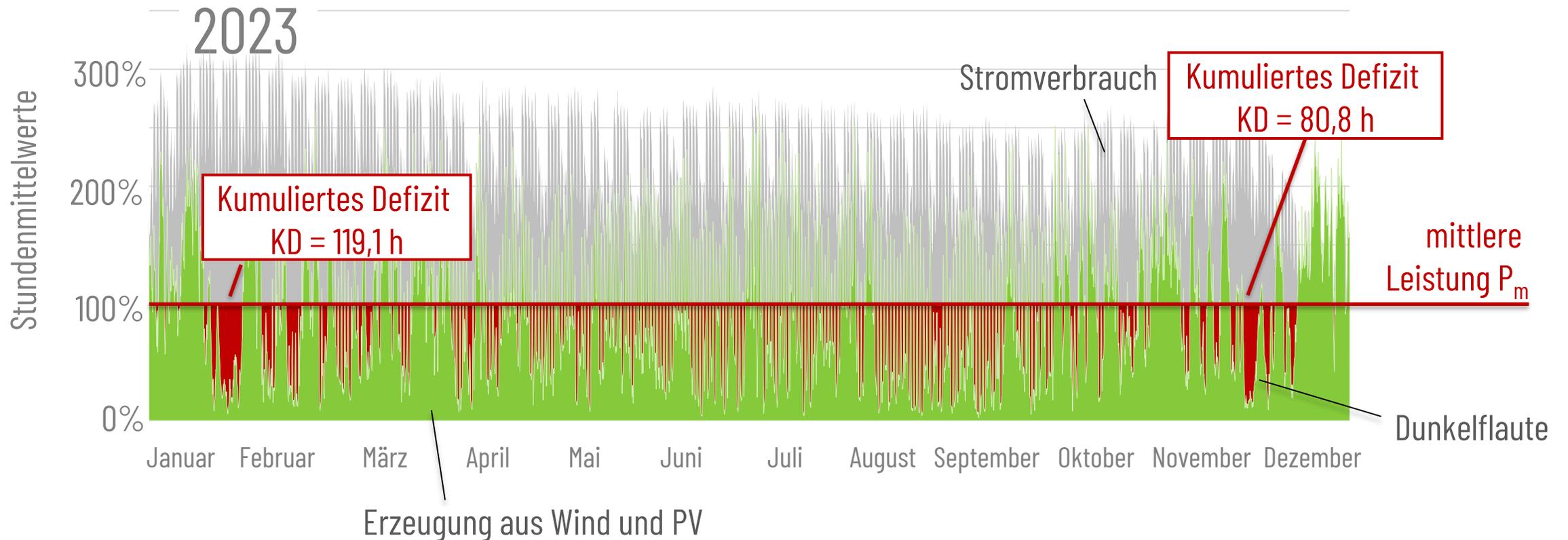
Download der Studie



[https://www.evt.tf.fau.de/faustudie\\_biogasimenergiesystem2024](https://www.evt.tf.fau.de/faustudie_biogasimenergiesystem2024)

# Herausforderung „Dunkelflaute“

- Vor allem im Winter treten regelmäßig längere Perioden mit wenig PV und Winderzeugung auf („Dunkelflauten“)
- Historische Daten zeigen: Dunkelflauten dauern bis 280 Stunden bzw. 160 „Volllaststunden“



# Herausforderung „Dunkelflaute“

## Methodik

- Stündlicher Stromverbrauch des Referenzjahres 2023 wurde in folgende Jahre skaliert

- Einsatz der Anlagen erfolgt nach Merit-Order
- (Merit Order legt den Strompreis fest...)

Strombedarf

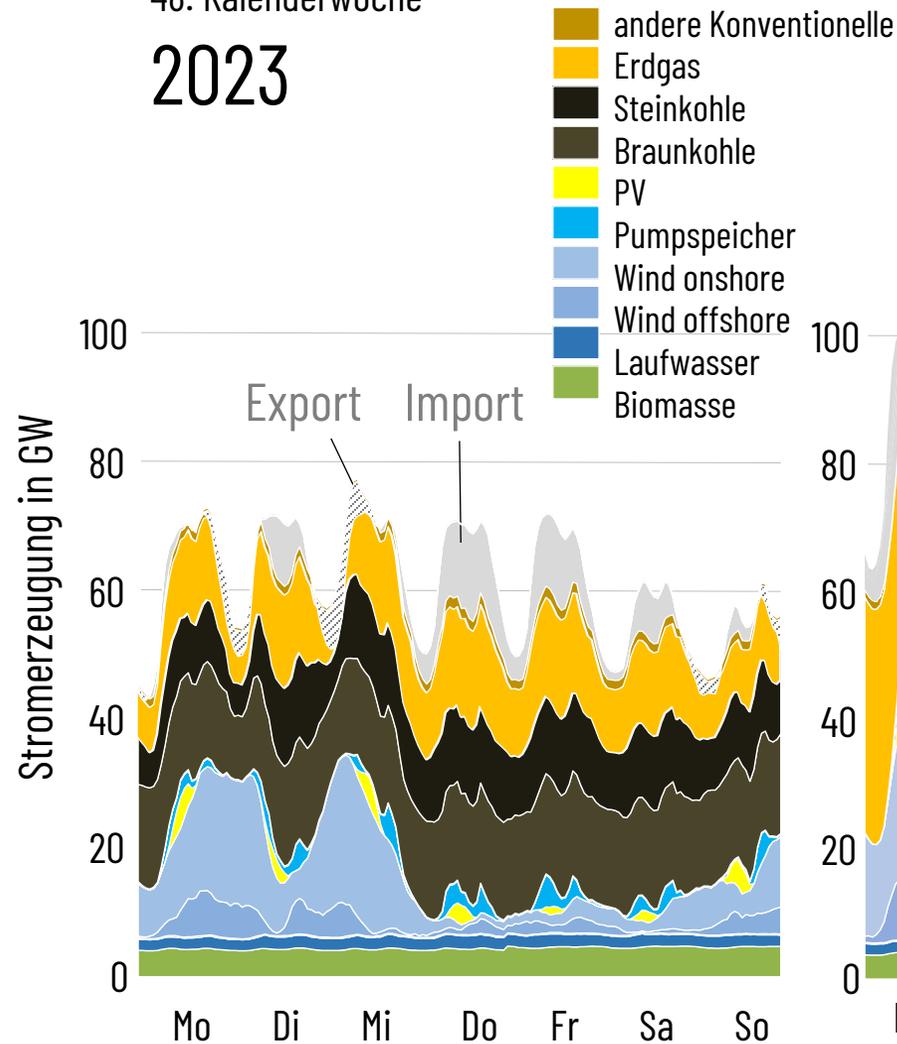
Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

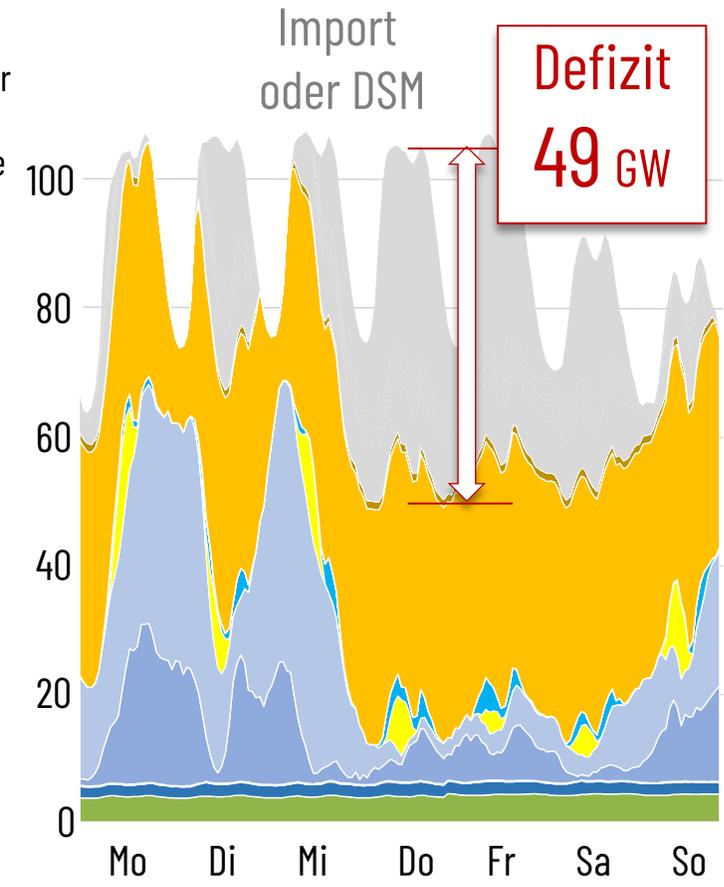
Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

Dunkelflaute  
48. Kalenderwoche  
2023



Projektion der Dunkelflaute  
48. Kalenderwoche  
2030



Nach dem Kohleausstieg müsste ohne Reservekraftwerke fast die Hälfte des Stroms importiert werden oder durch DSM-Maßnahmen/Abschaltungen eingespart werden

# Herausforderung „Dunkelflaute“

## Methodik

- Stündlicher Stromverbrauch des Referenzjahres 2023 wurde in folgende Jahre skaliert

- Einsatz der Anlagen erfolgt nach Merit-Order
- (Merit Order legt den Strompreis fest...)

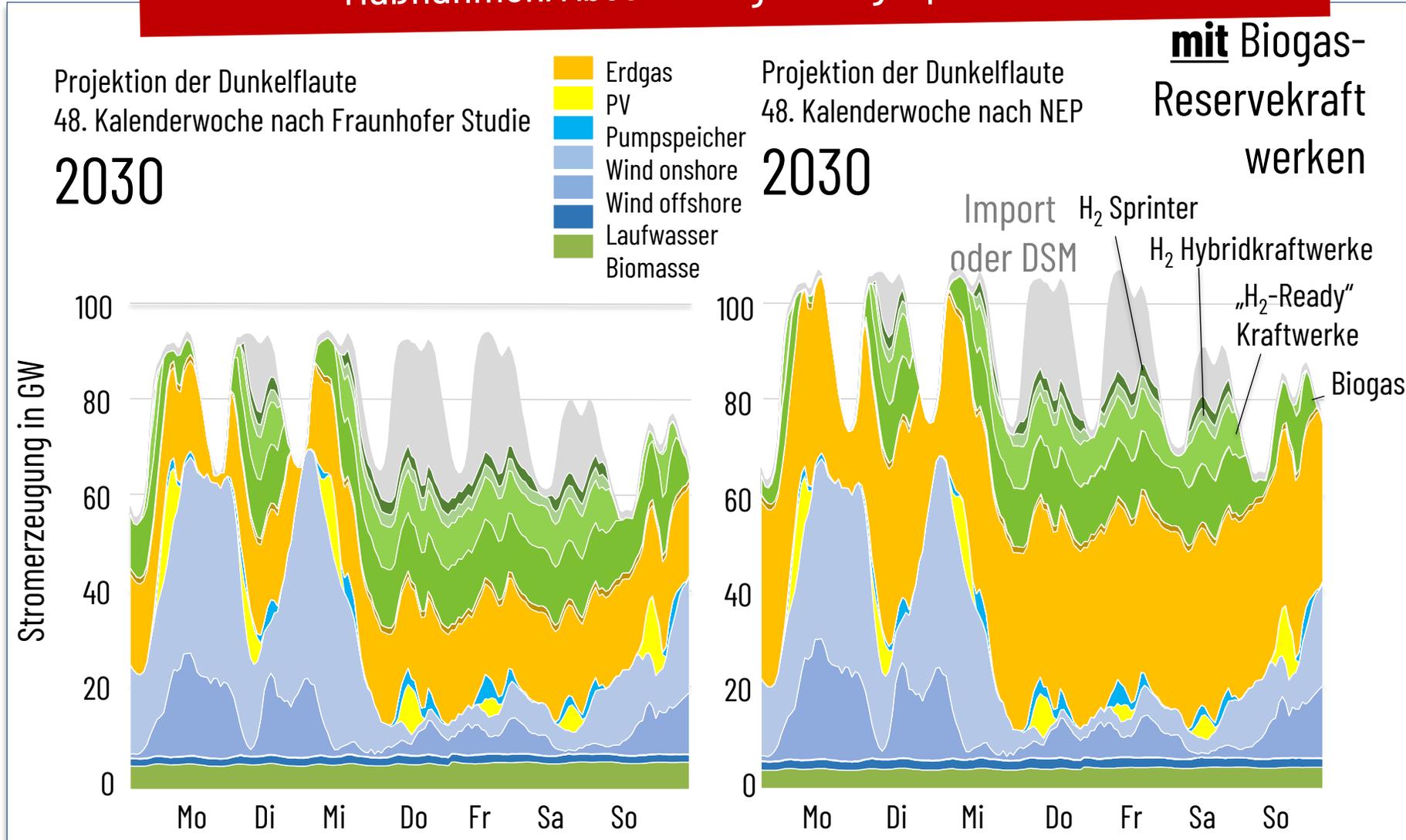
Strombedarf

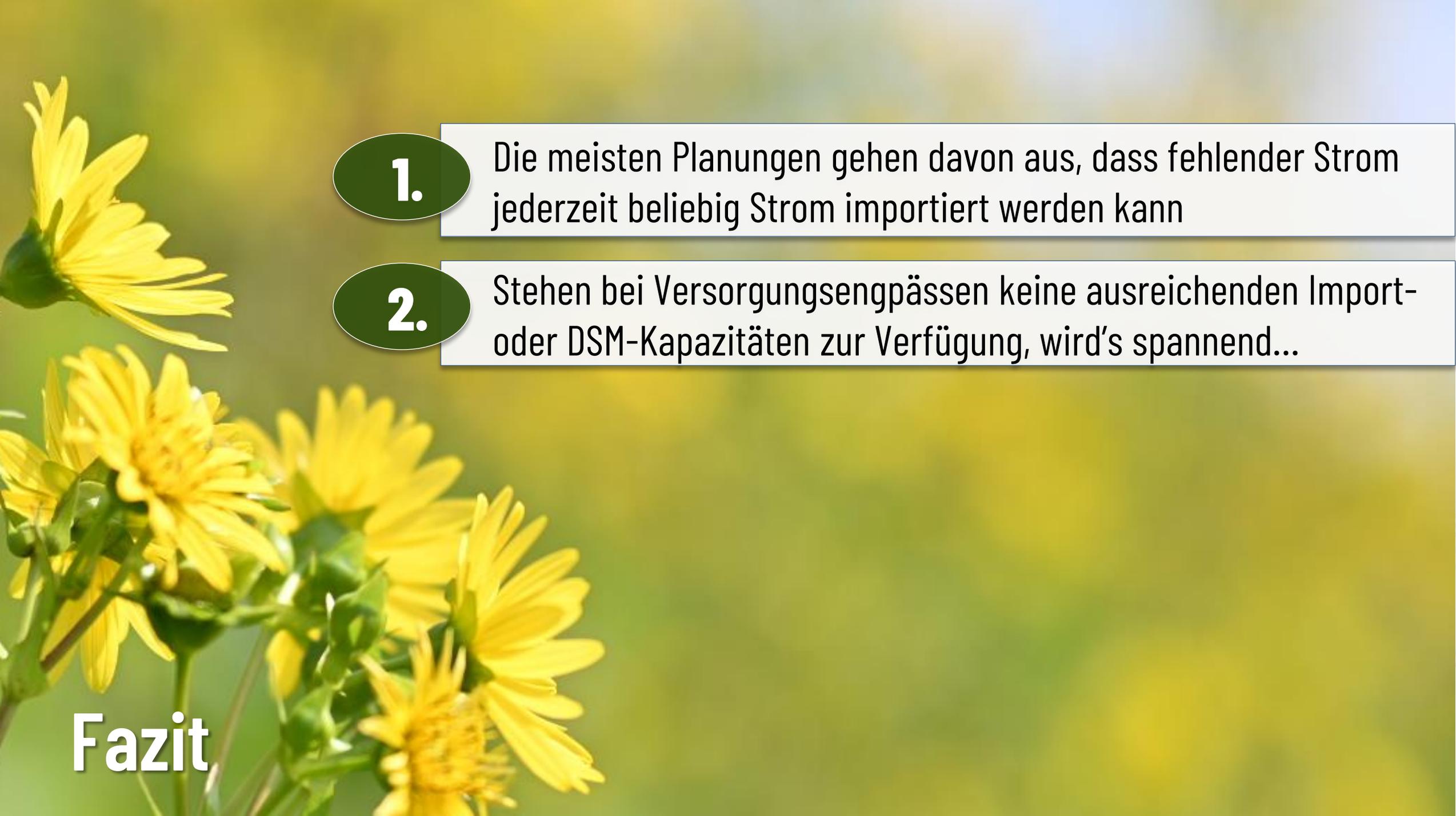
Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit



The background of the slide features a soft-focus image of several bright yellow flowers, likely chrysanthemums, with green leaves. The flowers are positioned on the left side of the frame, with some in sharp focus and others blurred. The overall color palette is warm and natural, dominated by the yellow of the petals and the green of the foliage.

**1.**

Die meisten Planungen gehen davon aus, dass fehlender Strom jederzeit beliebig Strom importiert werden kann

**2.**

Stehen bei Versorgungsengpässen keine ausreichenden Import- oder DSM-Kapazitäten zur Verfügung, wird's spannend...

**Fazit**

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

### 3. Was Reserveleistung kostet

- Notwendige Investitionen
- Spezifische Stromerzeugungskosten
- Die CO<sub>2</sub>-Bilanz

Download der Studie



[https://www.evt.tf.fau.de/faustudie\\_biogasimenergiesystem2024](https://www.evt.tf.fau.de/faustudie_biogasimenergiesystem2024)

# Notwendige Investitionen für Reservekraftwerke

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

## Kraftwerksstrategie der Bundesregierung vom 1.8.2023

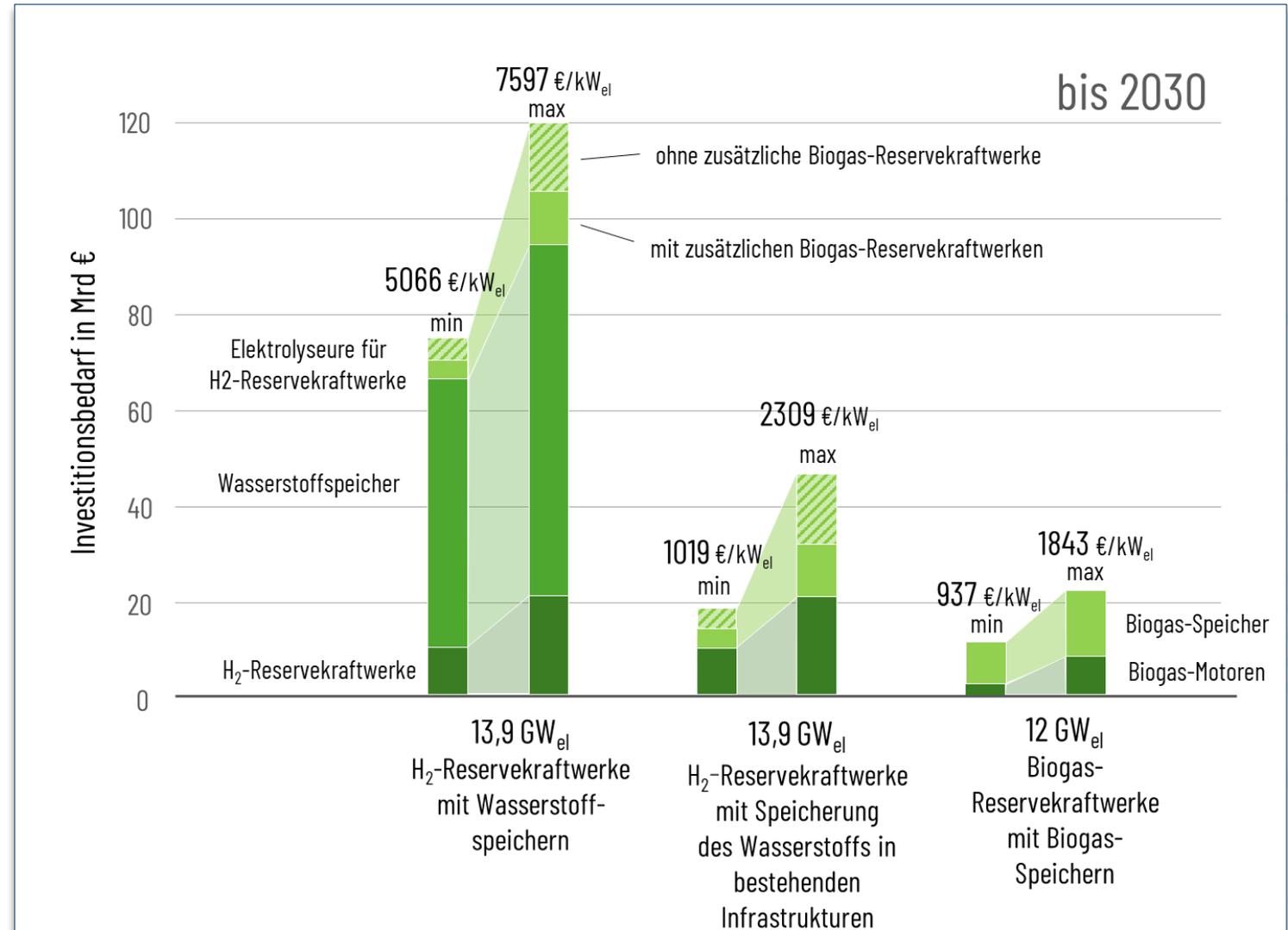
- 15 GW<sub>el</sub> „H<sub>2</sub>-Ready“-Gaskraftwerken
- 4,4 GW<sub>el</sub> H<sub>2</sub>-„Hybridkraftwerken“
- 4,4 GW<sub>el</sub> „H<sub>2</sub>-Sprinter“-Kraftwerke bis 2035 (13,9 GW<sub>el</sub> bis 2030)

## Empfehlung Fachverband Biogas

- Flexibilisierung auf 12 GW bis 2030

## Investitionsbedarf bis 2030

- Wasserstoff-Reserve bis 120 Mrd. €
- Biogas -Reserve bis 22 Mrd. €



# Stromerzeugungskosten der Reservekraftwerke

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

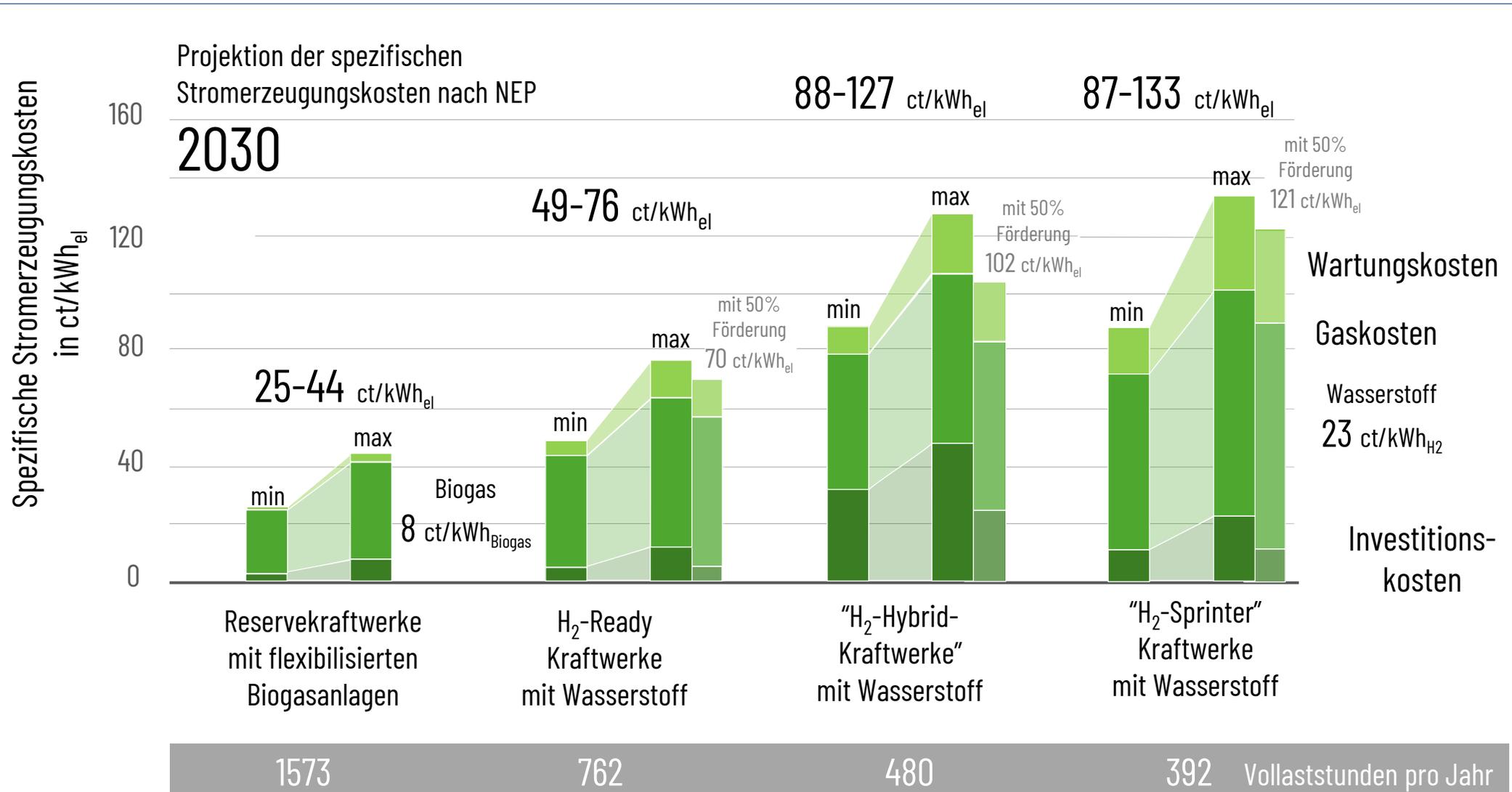
Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

- LCOE<sup>\*)</sup> liegen für Wasserstoff-Reserve bei bis zu 133 ct/kWh<sub>el</sub>
- für Biogas-reserve bei bis zu 44 ct/kWh<sub>el</sub>

\*) LCOE: Levelized Costs of Electricity



# CO<sub>2</sub>-Bilanz der Flexibilisierung von Biogasanlagen

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

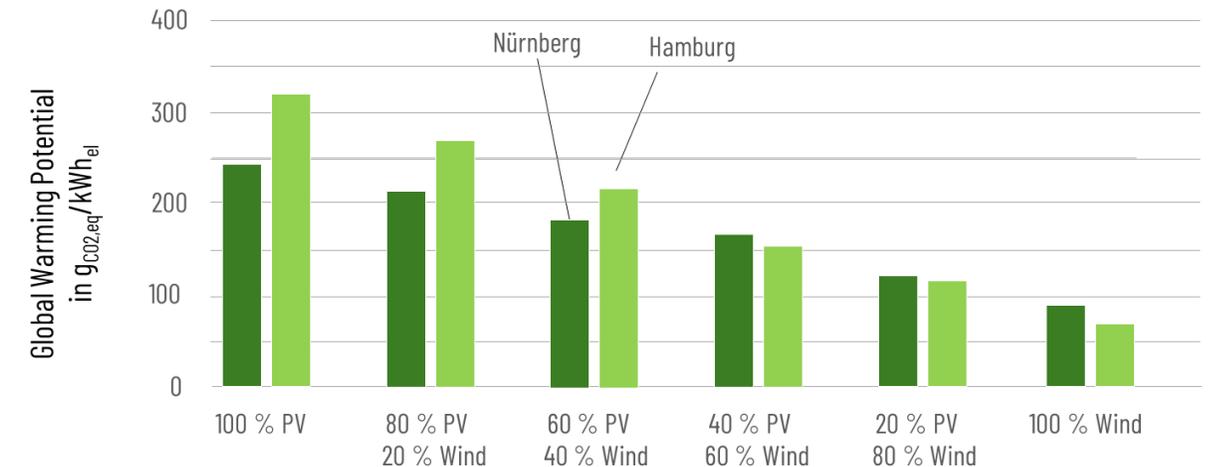
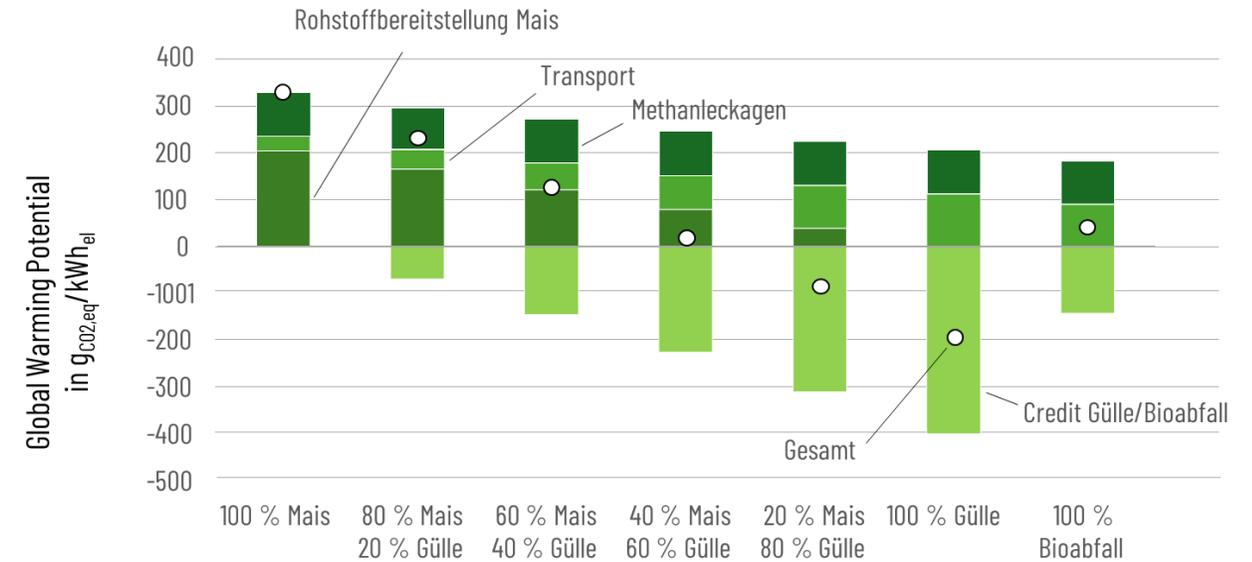
Kosten und Nutzen

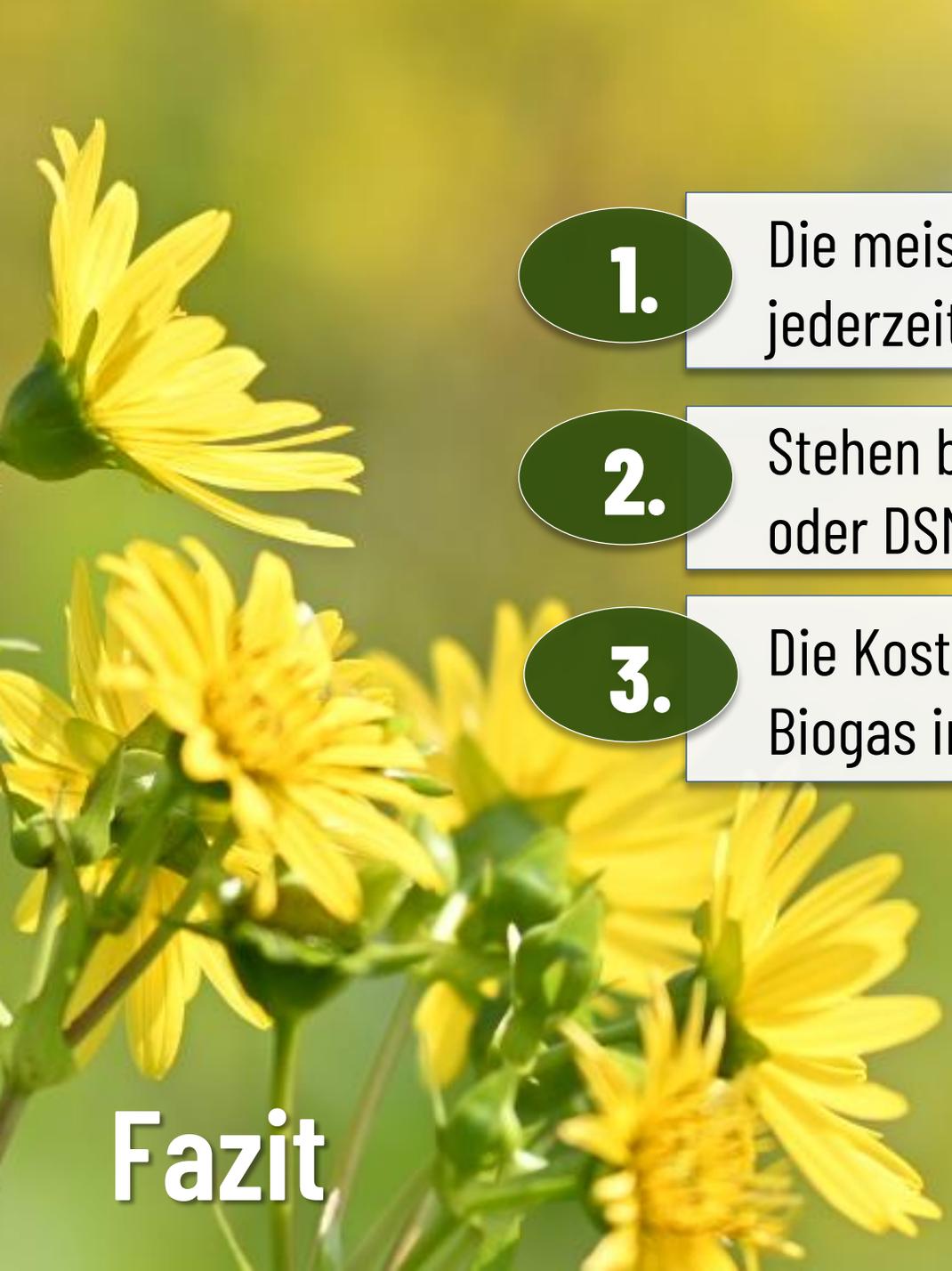
Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

- Durch die schlechten Wirkungsgrade der Wasserstoffwirtschaft sind die Life-Cycle-Emissionen von Strom aus Wasserstoff-Kraftwerken nicht zu vernachlässigen

- mit Gülle und Bioabfall sprechen negative Emissionen für Biogaslösungen
- Mit Mais sind CO<sub>2</sub>-Emissionen in ähnlicher Größenordnung wie mit Wasserstoff aus PV-Strom





1.

Die meisten Planungen gehen davon aus, dass fehlender Strom jederzeit beliebig Strom importiert werden kann

2.

Stehen bei Versorgungsengpässen keine ausreichenden Import- oder DSM-Kapazitäten zur Verfügung, wird's spannend...

3.

Die Kosten (und CO<sub>2</sub>-Emissionen) sprechen für Biogas in als Kraftwerksreserve

Fazit

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

## 4. Warum mit Wasserstoff der Strompreis steigt

- Angebot und Nachfrage am Strommarkt
- Reservekraftwerke in der Merit Order

Download der Studie



[https://www.evt.tf.fau.de/faustudie\\_biogasimenergiesystem2024](https://www.evt.tf.fau.de/faustudie_biogasimenergiesystem2024)

# Einfluss von Wasserstoffkraftwerken auf die künftigen Strompreise

Strombedarf

Die „Dunkelflaute“

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

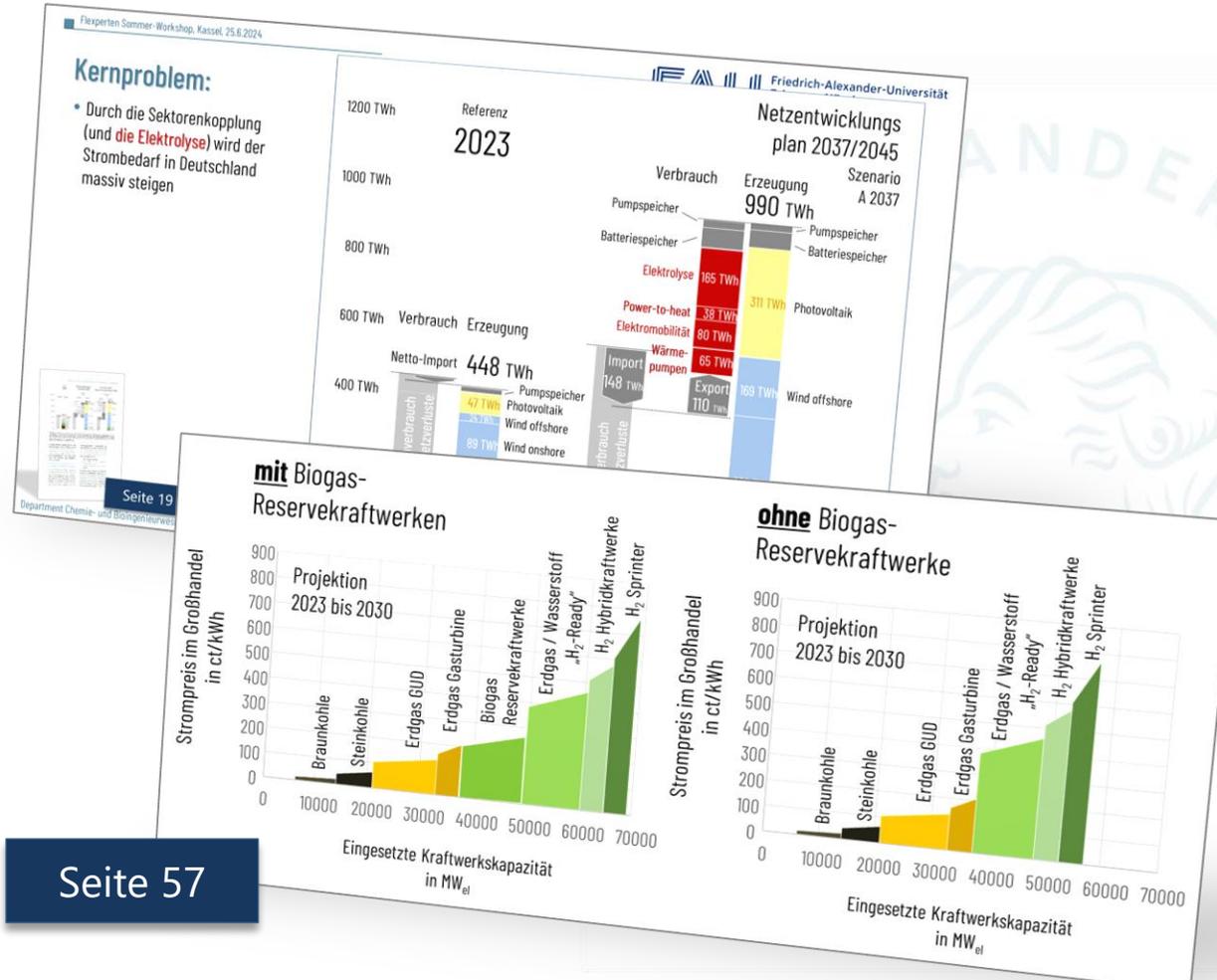
- **Wasserstoff lässt künftige Strompreise steigen**

## 1. Grund:

- Der höhere Strombedarf / die höhere Nachfrage für die Elektrolyse lässt künftige Strompreise steigen

## 2. Grund

- Reservekraftwerke (mit teuren Gasen) lassen Strompreise durch das **Prinzip der Merit Order** steigen

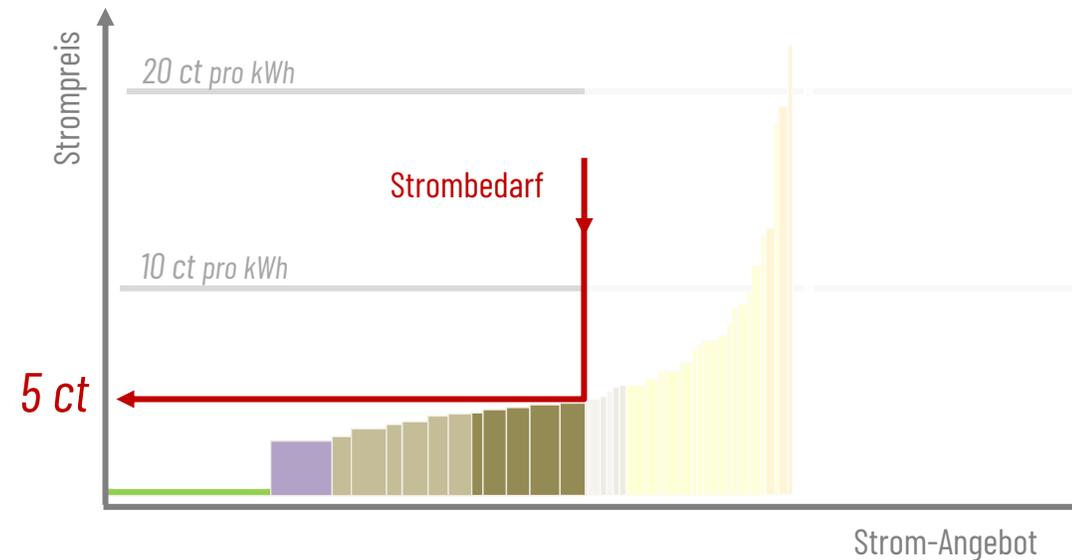


Seite 57

# „Merit-Order“-Effekt

- An der Strombörse zählen nur die aktuellen „Grenzkosten“ der Stromerzeugung

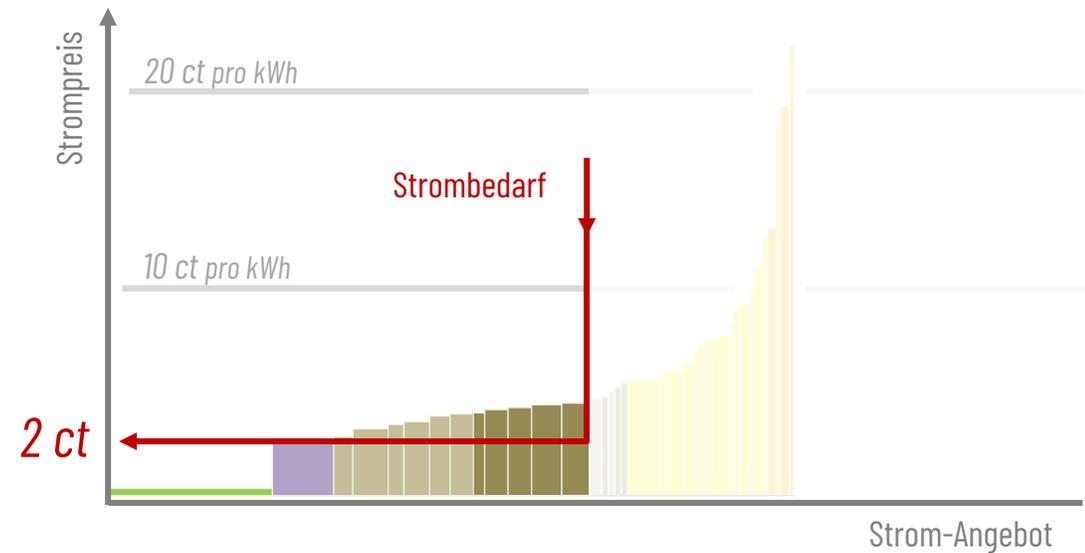
mit Wind und Sonne



# „Merit-Order“-Effekt

- An der Strombörse zählen nur die aktuellen “Grenzkosten” der Stromerzeugung
- Bei Stromüberschuss (mit viel Wind und PV) wird der Börsenstrom billig

mit **viel** Wind und Sonne

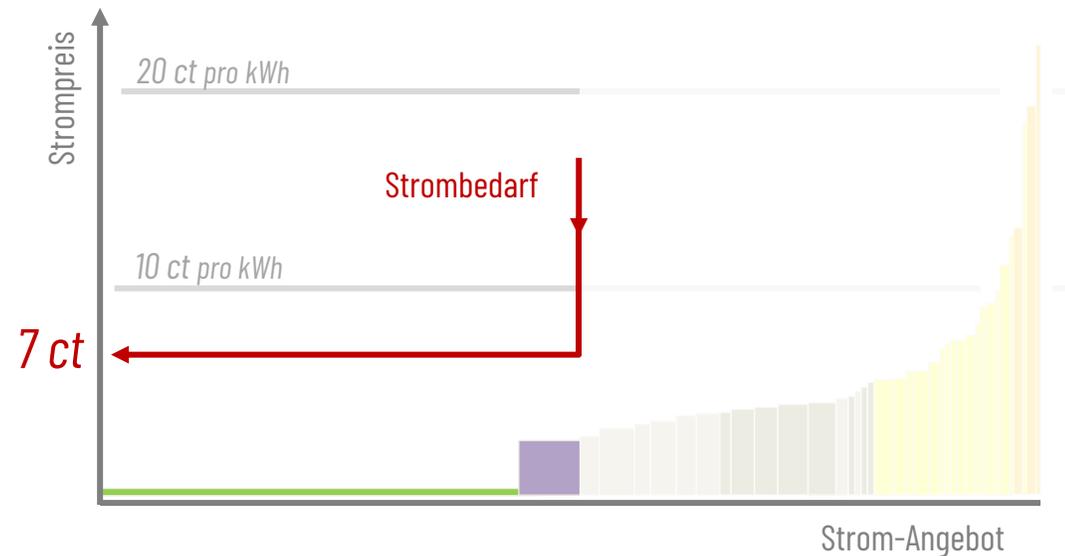


# „Merit-Order“-Effekt

- An der Strombörse zählen nur die aktuellen “Grenzkosten” der Stromerzeugung
- Bei Stromüberschuss (mit viel Wind und PV) wird der Börsenstrom billig
- Bei Strommangel (z.B. bei Dunkelflaute) wird der Börsenstrom teurer

**Gas** Das letzte notwendige Kraftwerk bestimmt den Börsenpreis

**wenig** Wind und Sonne



# „Merit-Order“-Effekt

- An der Strombörse zählen nur die aktuellen „Grenzkosten“ der Stromerzeugung
- Bei Stromüberschuss (mit viel Wind und PV) wird der Börsenstrom billig
- Bei Strommangel (z.B. bei Dunkelflaute) wird der Börsenstrom teurer

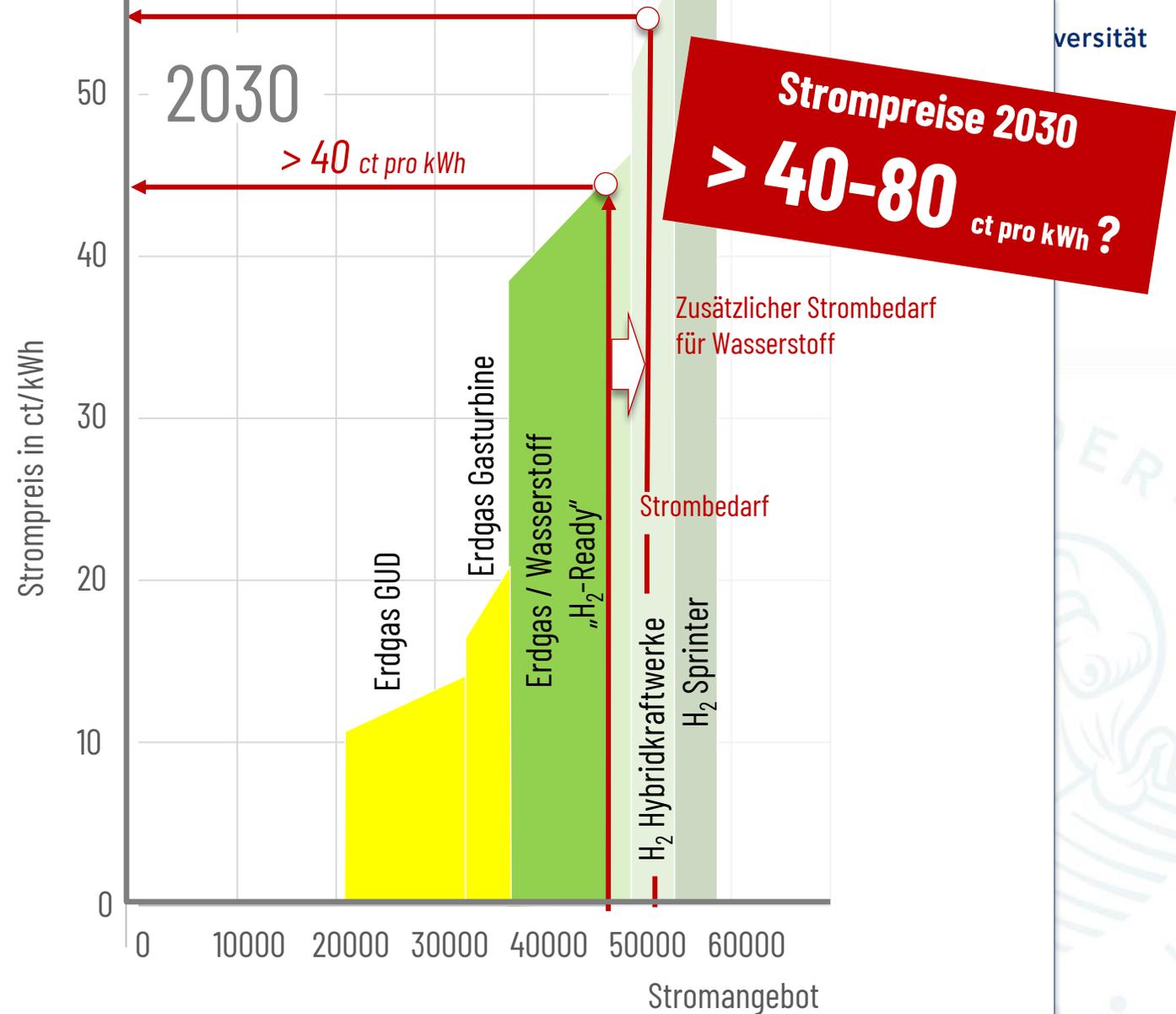
Gas Das letzte notwendige Kraftwerk bestimmt den Börsenpreis



## „Merit-Order“-Effekt

- An der Strombörse zählen nur die aktuellen „Grenzkosten“ der Stromerzeugung
- Bei Stromüberschuss (mit viel Wind und PV) wird der Börsenstrom billig
- Bei Strommangel (z.B. bei Dunkelflaute) wird der Börsenstrom teurer

Gas Das letzte notwendige Kraftwerk bestimmt den Börsenpreis



# Einfluss von Wasserstoffkraftwerken auf die künftige Strompreise

Strombedarf

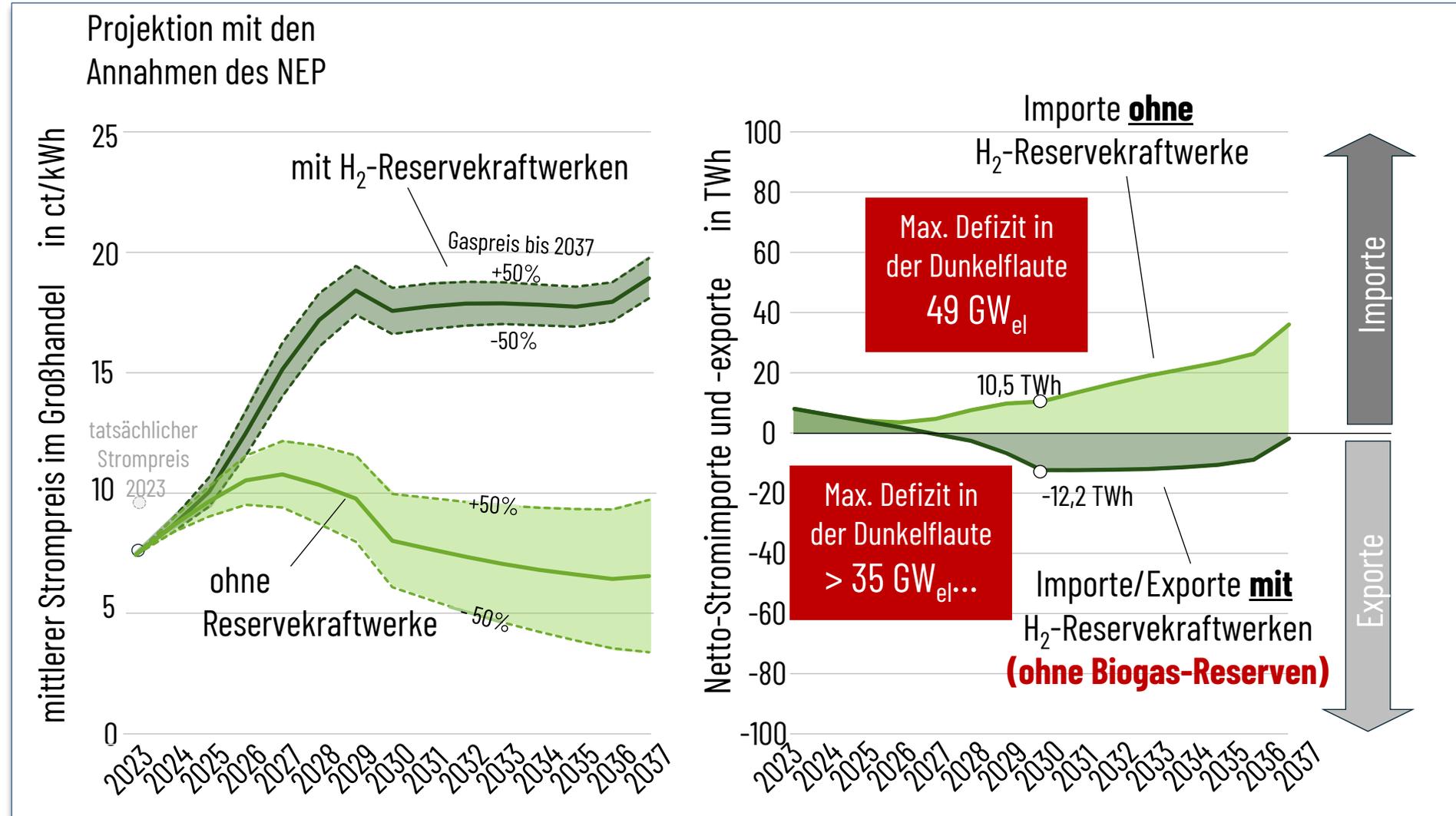
Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

- Ohne Reservekraftwerke (mit ausreichenden Importen) sinkt der Strompreis
- mit Reservekraftwerken steigt der Börsenpreis auf 18 ct/kWh<sub>el</sub> bis 2030



# Einfluss flexibler Wasserstoffkraftwerke und Biogasanlagen auf künftige Strompreise

Strombedarf

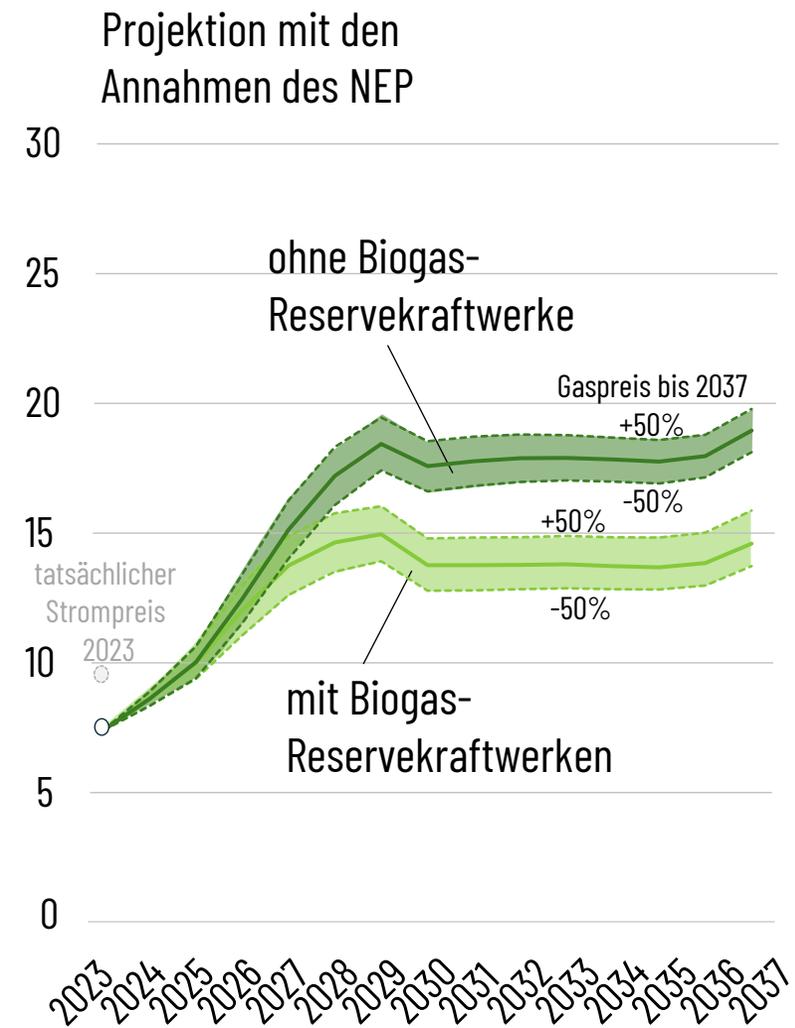
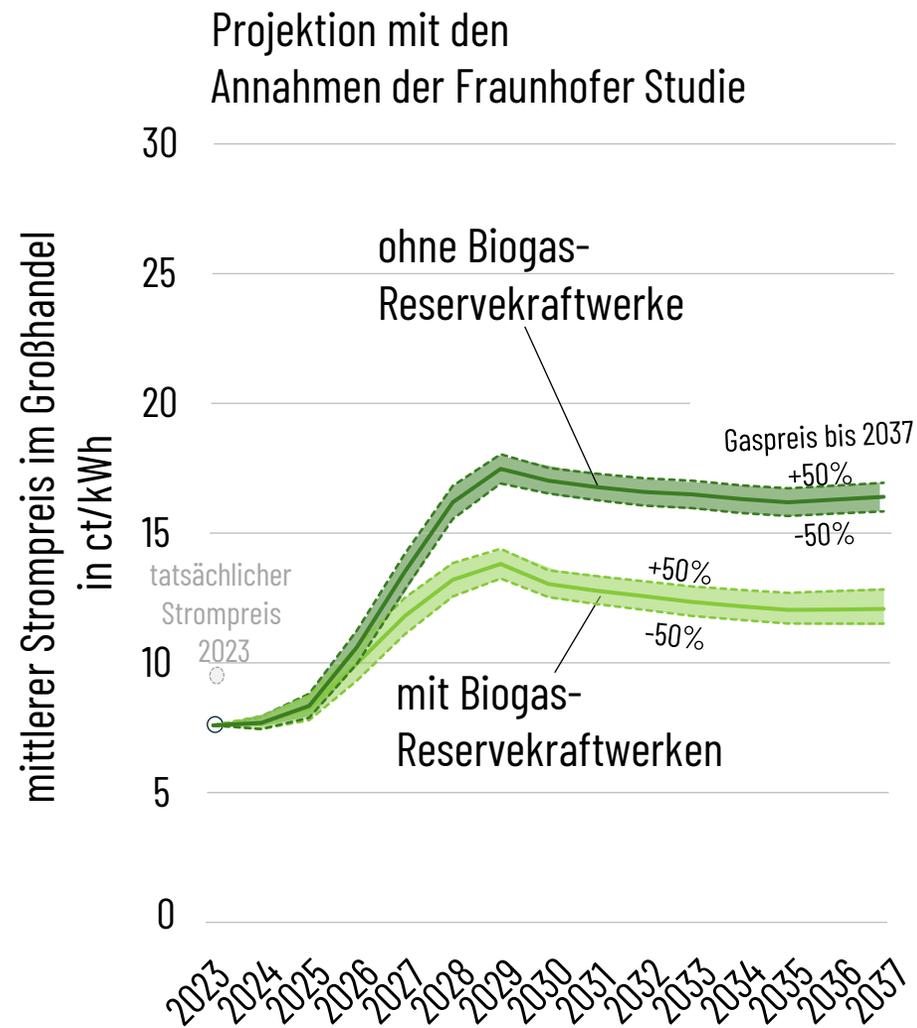
Die „Dunkelflaute“

Kosten und Nutzen

Strompreise mit H<sub>2</sub>

Fazit

- Ohne Reservekraftwerke (mit ausreichenden Importen) sinkt der Strompreis
- mit Reservekraftwerken steigt der Börsenpreis auf 18 ct/kWh<sub>el</sub> bis 2030
- Biogas-Reservekraftwerke begrenzen künftige Preissteigerungen





1.

Die meisten Planungen gehen davon aus, dass fehlender Strom jederzeit beliebig Strom importiert werden kann

2.

Stehen bei Versorgungsengpässen keine ausreichenden Import- oder DSM-Kapazitäten zur Verfügung, wird's spannend...

3.

Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen sprechen für Biogas in als Kraftwerksreserve

4.

Deutschland braucht Biogas für die Kraftwerksreserve, um drohende Strompreissteigerungen zu begrenzen...

und

Fazit