

DOI: <https://doi.org/10.15480/882.4480>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6300-4218>



**HY.SH Lunch-Break**

19.07.2022

# **Grüne Wasserstoffbereitstellung für Deutschland**

Eine techno-ökonomische Potenzialanalyse

[Lucas Sens](#), Ulf Neuling, Martin Kaltschmitt

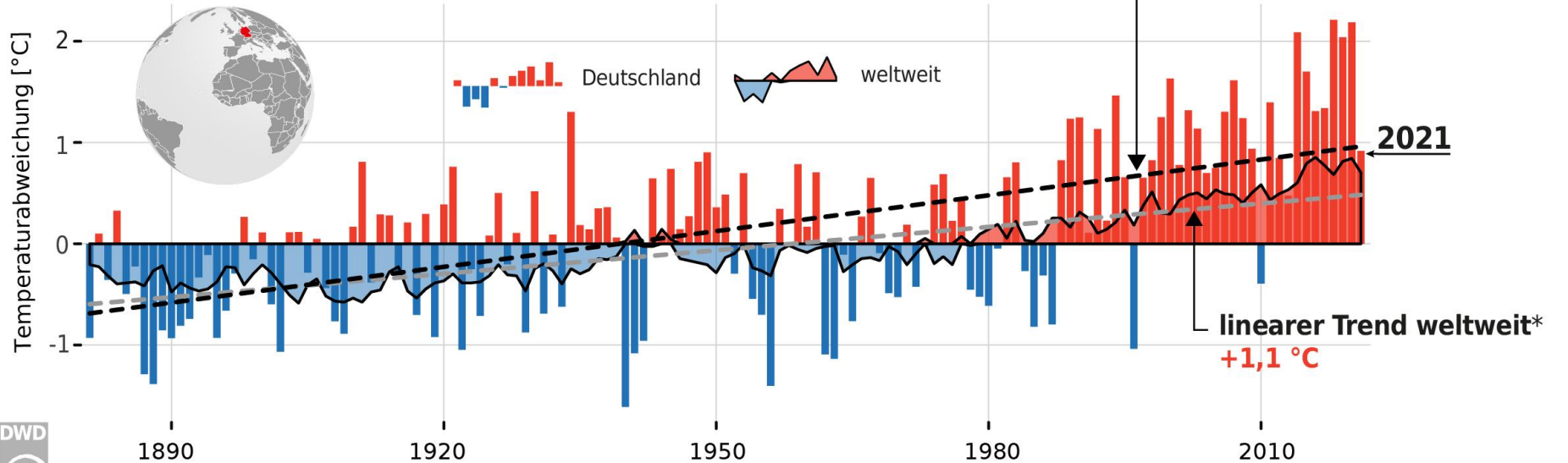
[1] [2] [3] [4] [5] [6]

Hamburg University of Technology (TUHH), Institute of Environmental Technology and Energy Economics (IUE)

[www.tuhh.de/iue](http://www.tuhh.de/iue)

## Erwärmungstrend in Deutschland stärker als weltweit

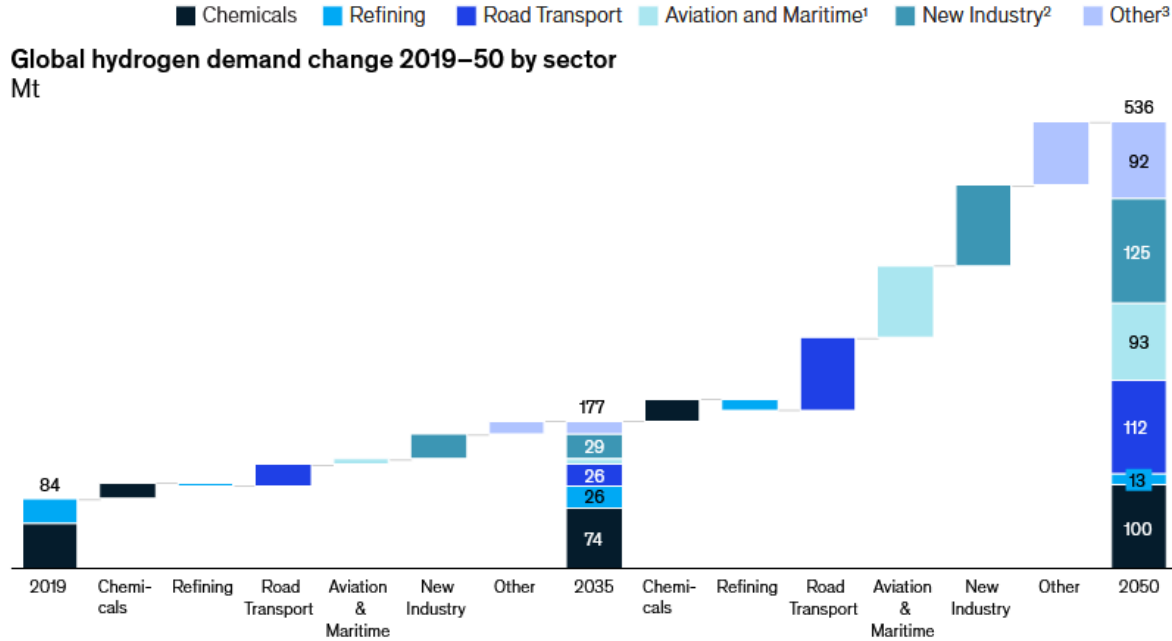
Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1961 - 1990 für Deutschland und weltweit



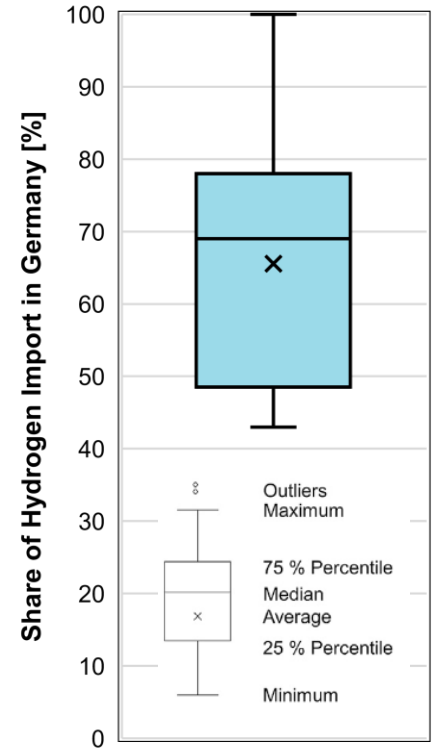
[www.dwd.de/klima](http://www.dwd.de/klima) |

2022 Quelle: Deutschland: DWD, Global: NOAA

\* Zeitraum 1881-2021



1. Aviation and maritime include direct use of hydrogen and hydrogen-derived syngas including kerosene, diesel, methanol, gasoline, and ammonia. The category also includes some hydrogen-derived syngas in road transport
2. New industry includes all new uses of hydrogen in industrial processes, eg, iron and steel production, whereas chemicals and refining are traditional hydrogen uses
3. Other includes buildings and electricity generation



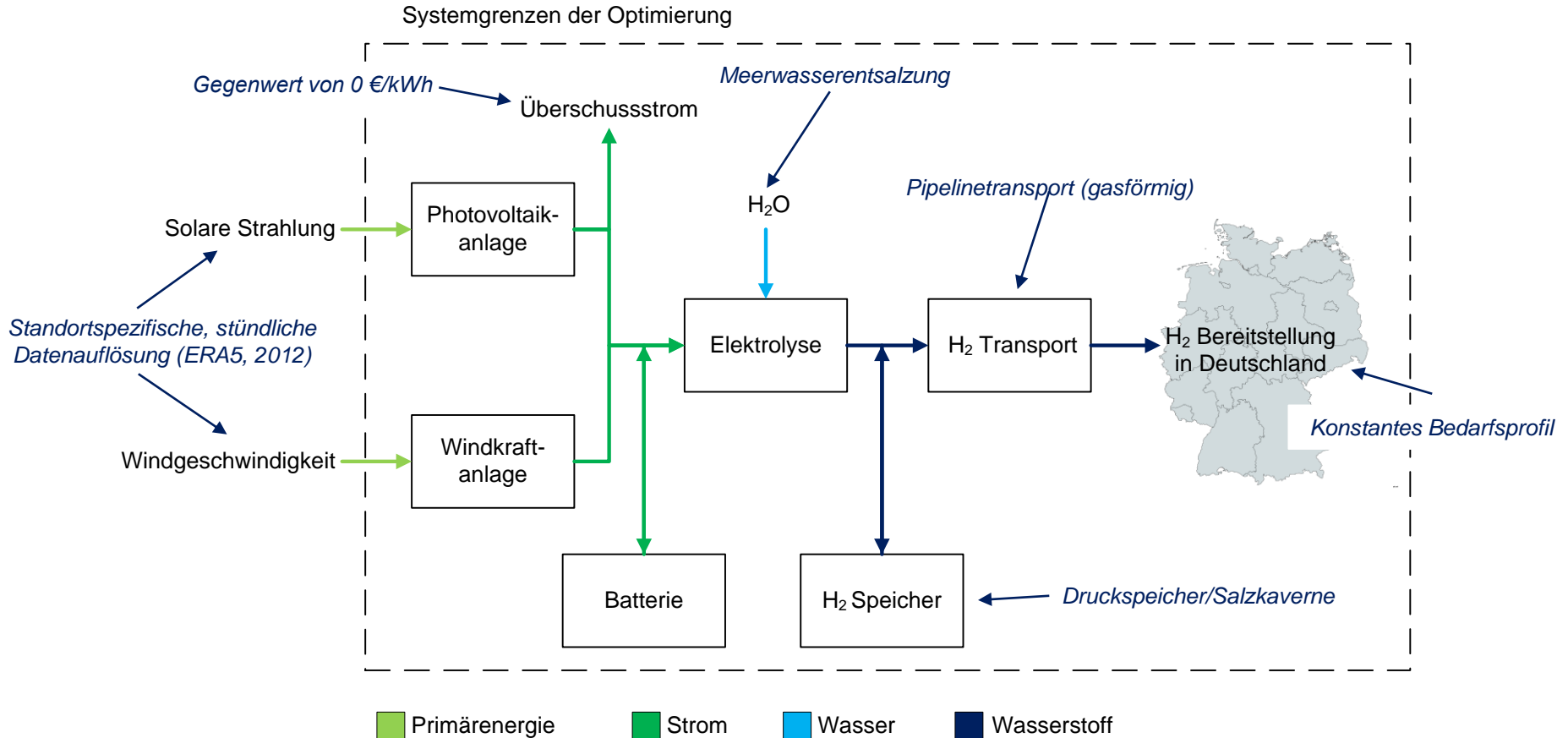
[McKinsey Energy Insights Global Energy Perspective 2022](#)

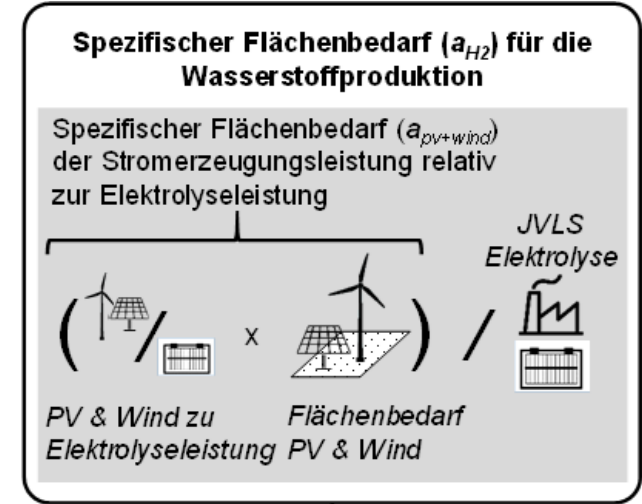
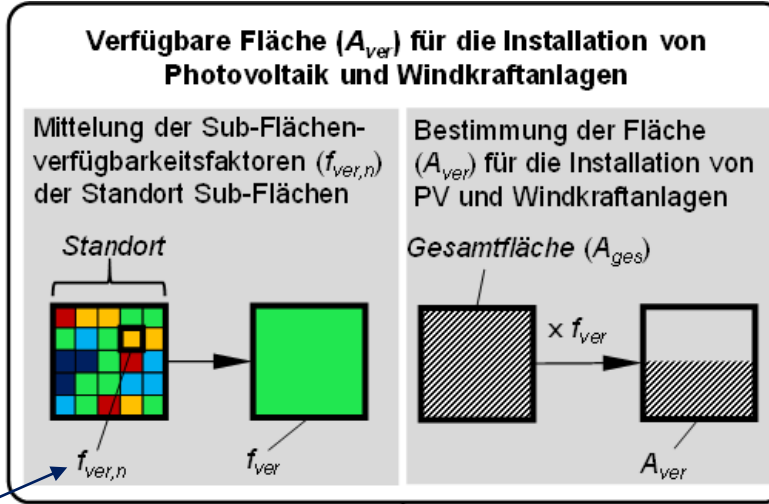
Welche Regionen bieten sich besonders für eine grüne Wasserstoffbereitstellung in Deutschland an?



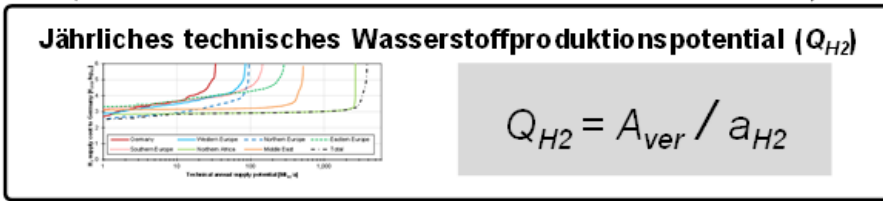
[7]

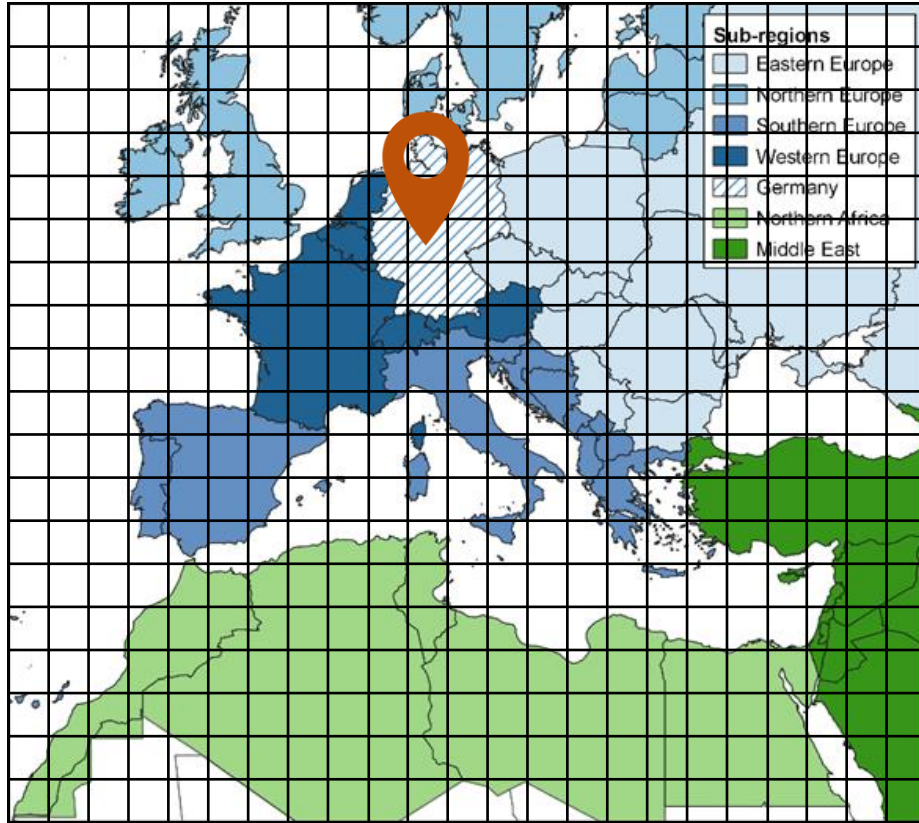
1. Welche Kosten sind für die Wasserstoffproduktion und Bereitstellung in Deutschland zu erwarten?
  - Produktionskosten am Standort
  - Bereitstellungskosten nach Deutschland
  
2. Welche Produktionskonfigurationen sind für minimierte Kosten notwendig?
  - Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung
  - Verteilung von PV und Windkraftanlagen an Stromerzeugungsleistung
  - Notwendige Speicherkapazitäten
  
3. Welche technischen Produktionspotenziale sind gegeben?
  - Flächenverfügbarkeit
  - Flächenbedarf
  - Jährliches Produktionspotential





Flächenverfügbarkeitsfaktoren werden auf Basis von Landflächenklassifizierung mittels Satellitenbildern abgeleitet (Copernicus Global Land Services, 2020)





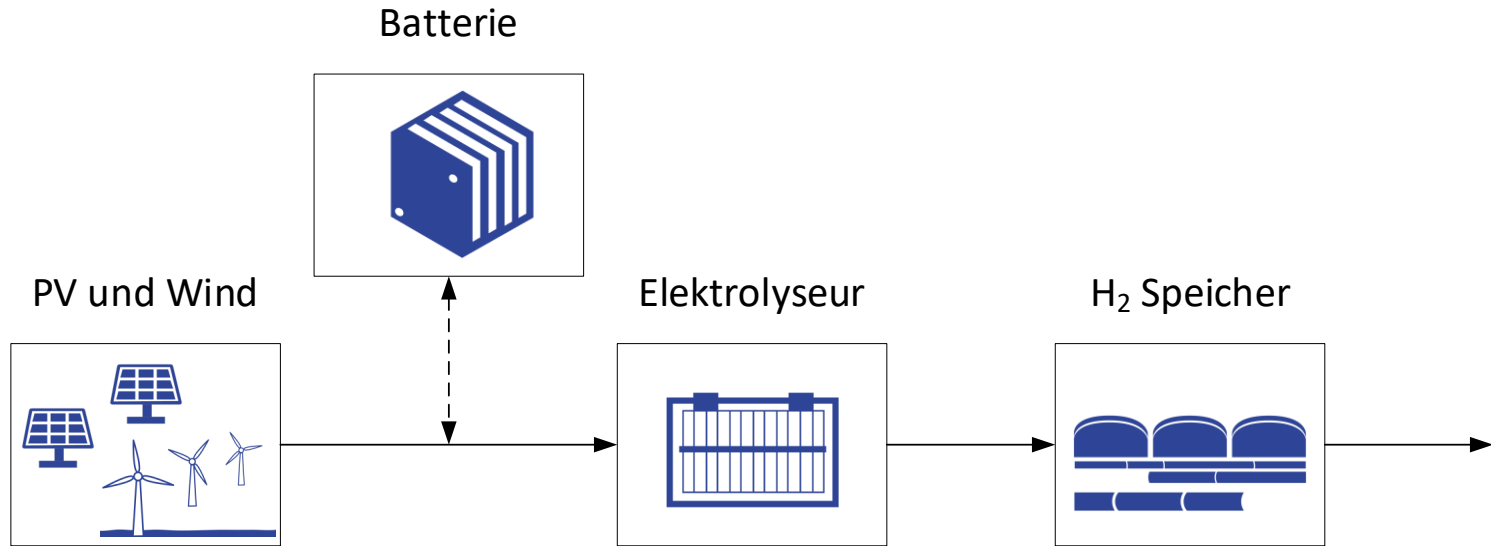
*Rasterbildung mit einer Auflösung von  $0,5 \times 0,5^\circ$  in Längen- & Breitengradrichtung pro Standort & nachfolgender Kostenminimierung der  $H_2$ -Produktion für jeden einzelnen Standort (insgesamt 15.600)*

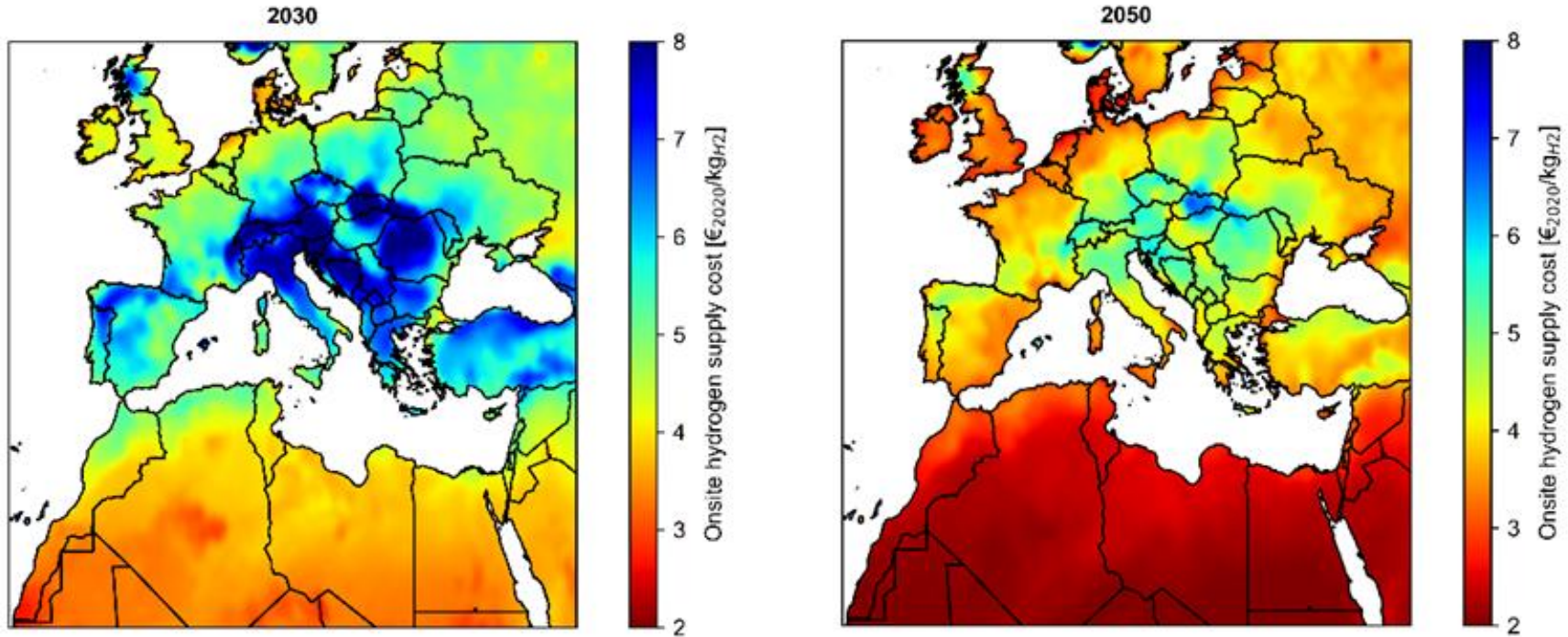


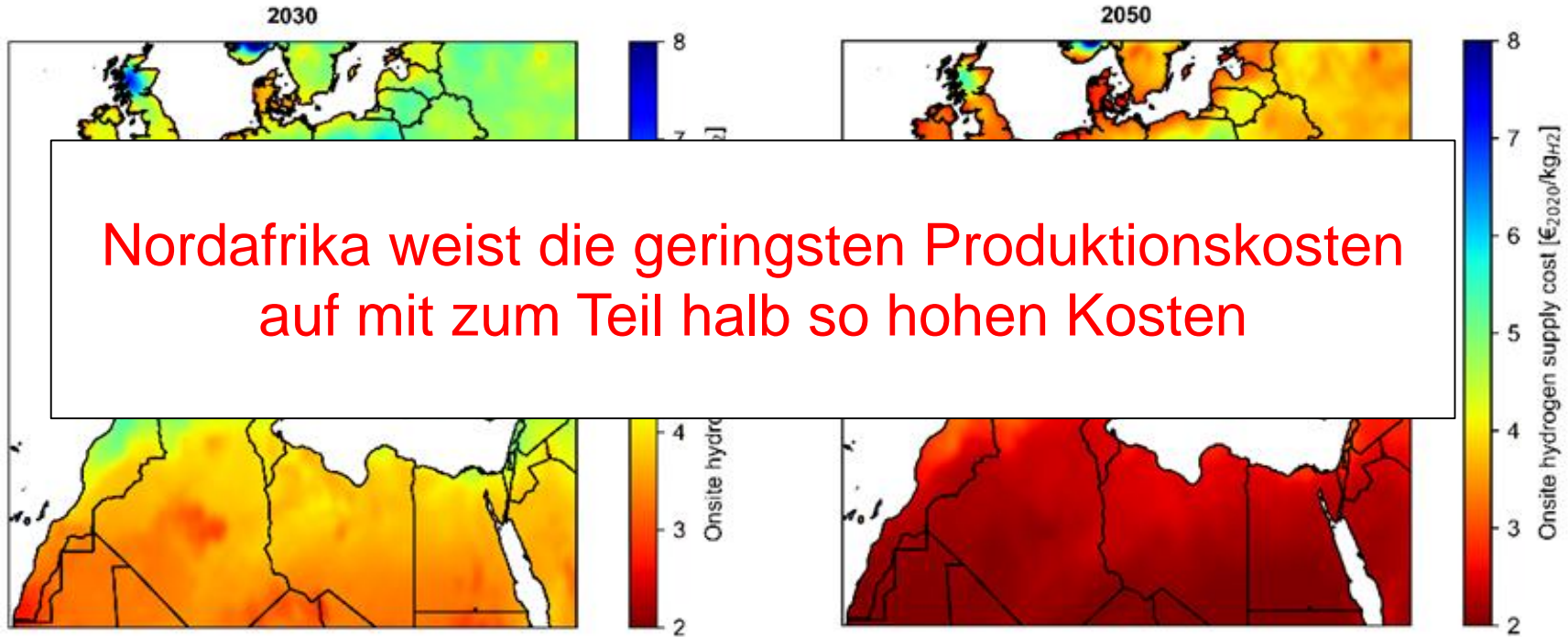
Welche Kosten sind für die Wasserstoffproduktion und Bereitstellung in Deutschland zu erwarten?

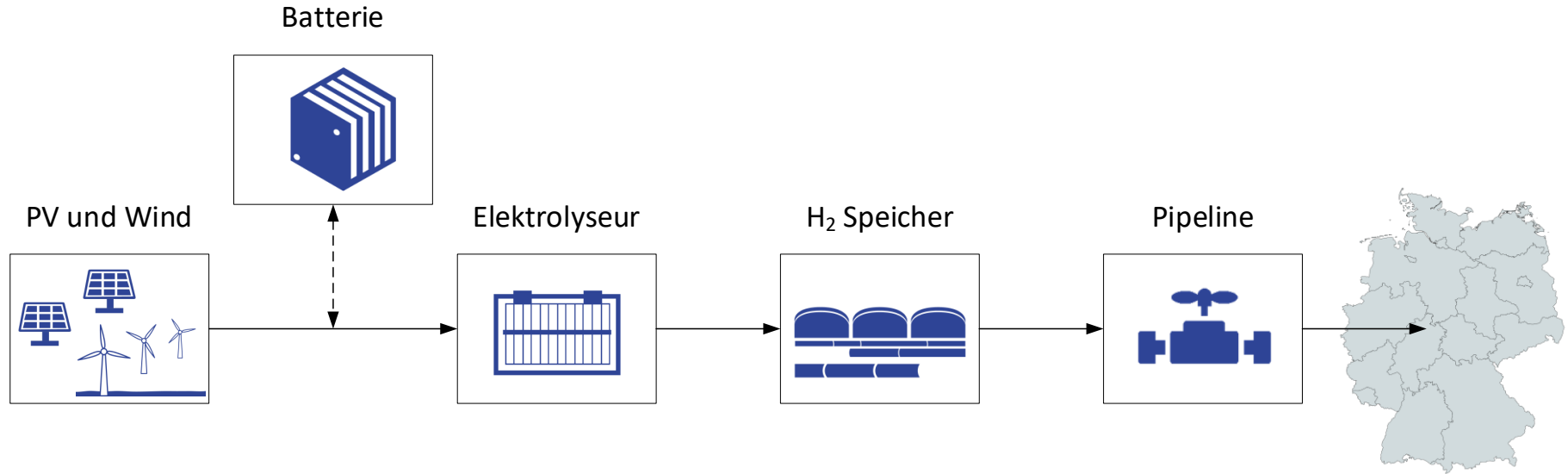
- Produktionskosten am Standort
- Bereitstellungskosten nach Deutschland

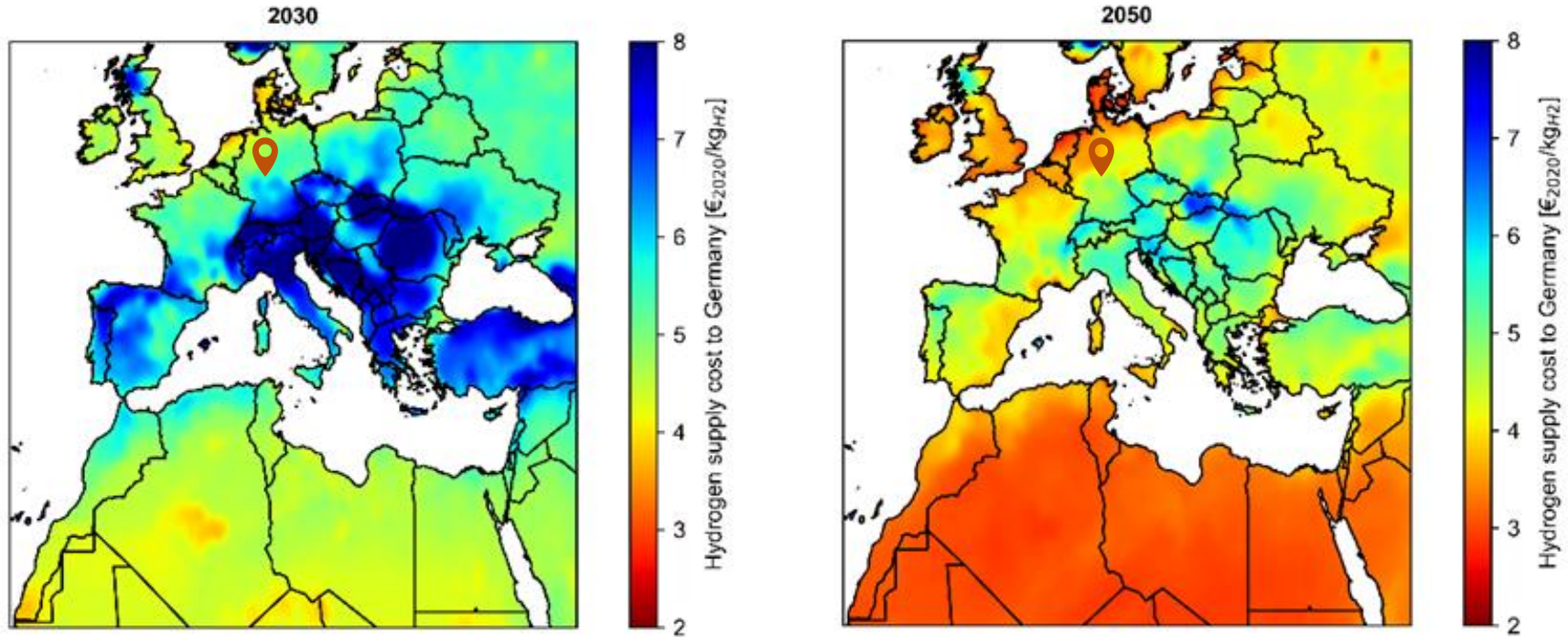












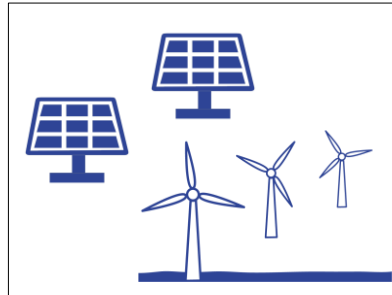


Welche Produktionskonfigurationen sind für minimierte Kosten notwendig?

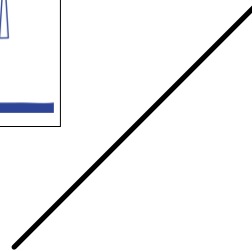
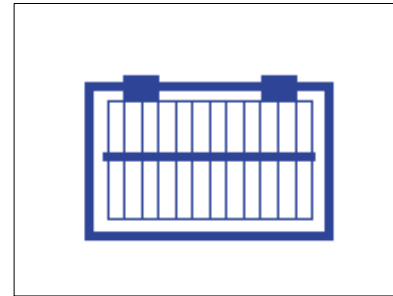
- Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung
- Verteilung von PV und Windkraftanlagen an Stromerzeugungsleistung
- Notwendige Speicherkapazitäten



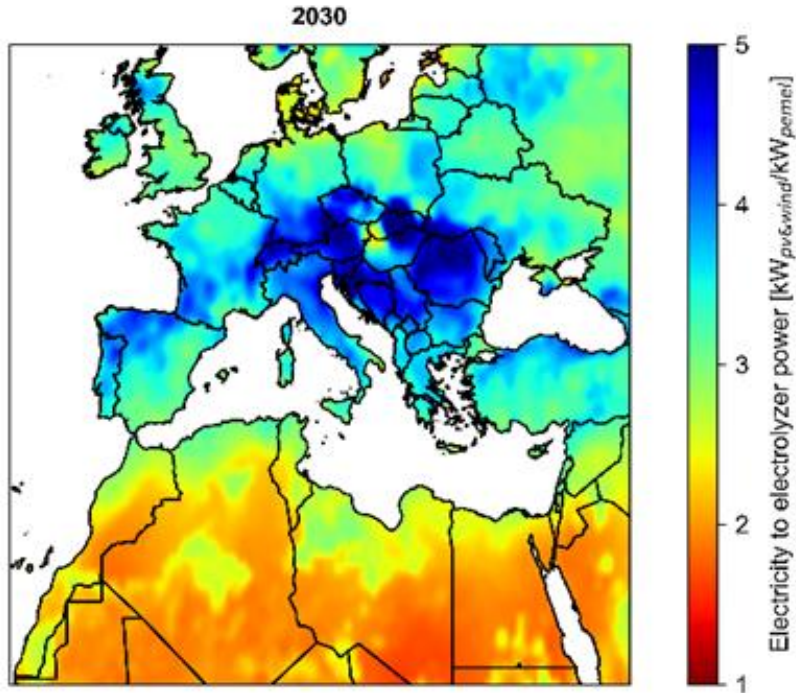
PV und Wind



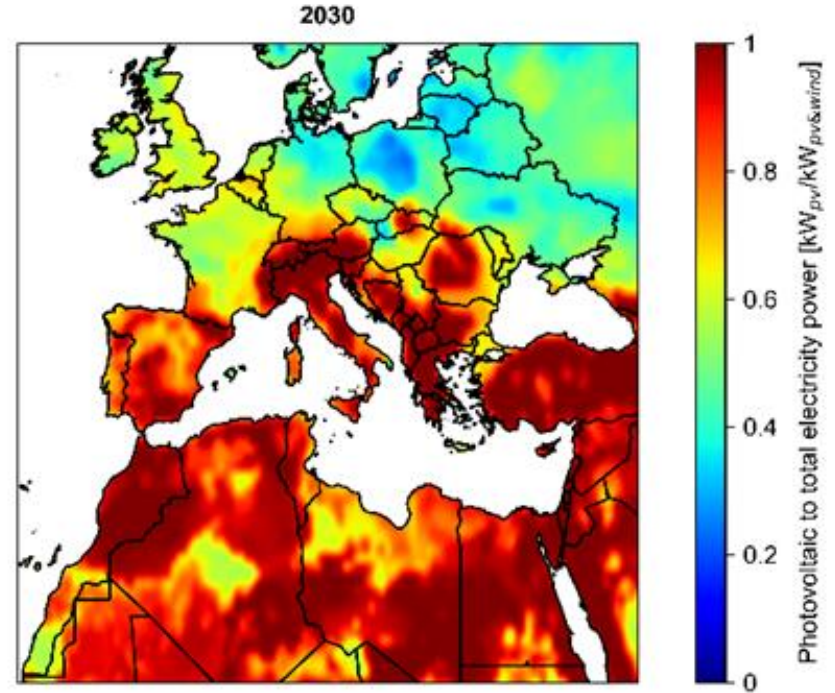
Elektrolyseur



## Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung

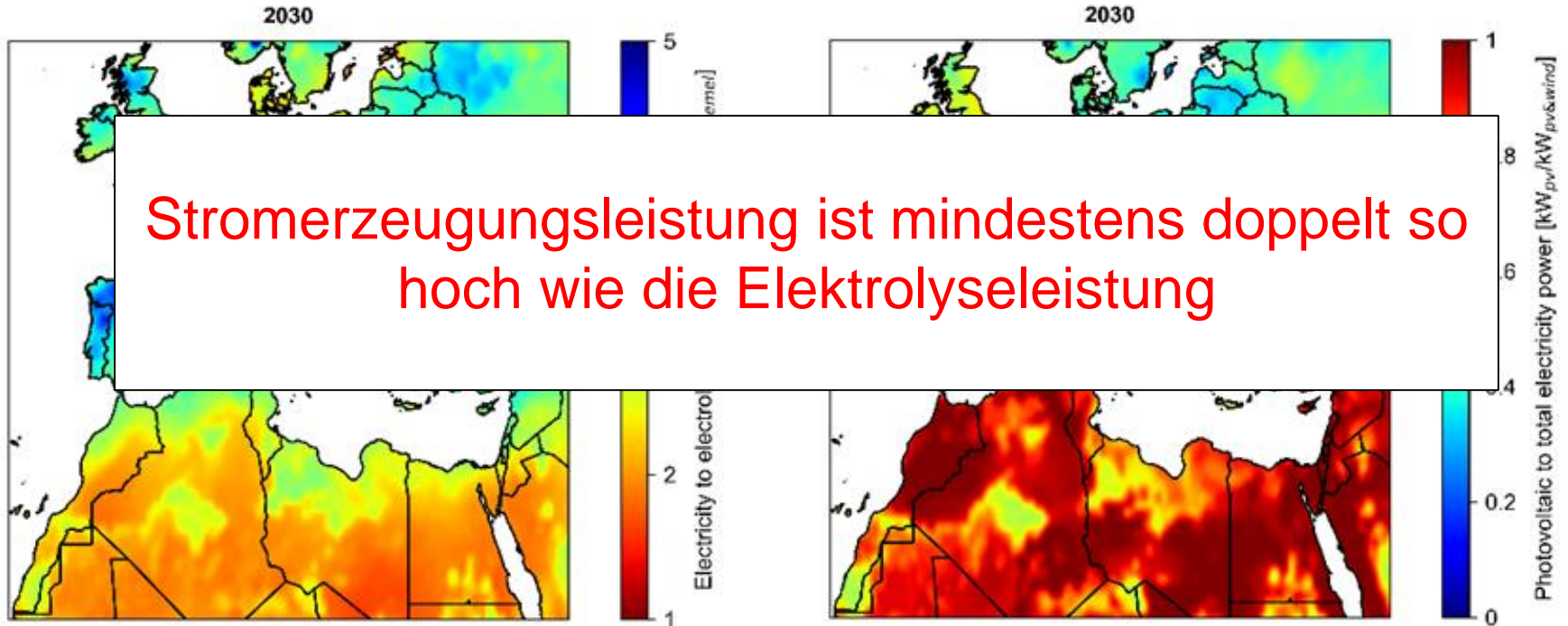


## Photovoltaikanteil an Stromerzeugungsleistung



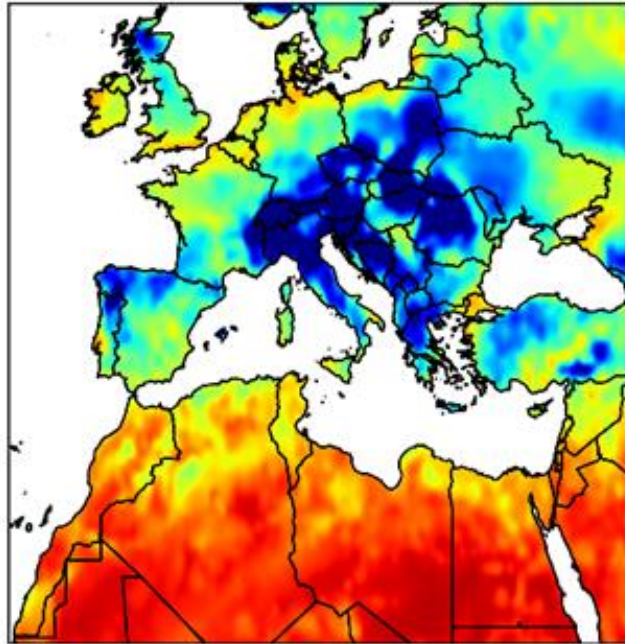
## Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung

## Photovoltaikanteil an Stromerzeugungsleistung

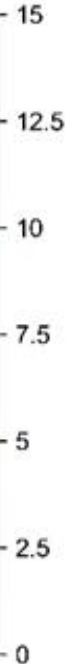


## Gesamtspeicherkapazitäten

2030

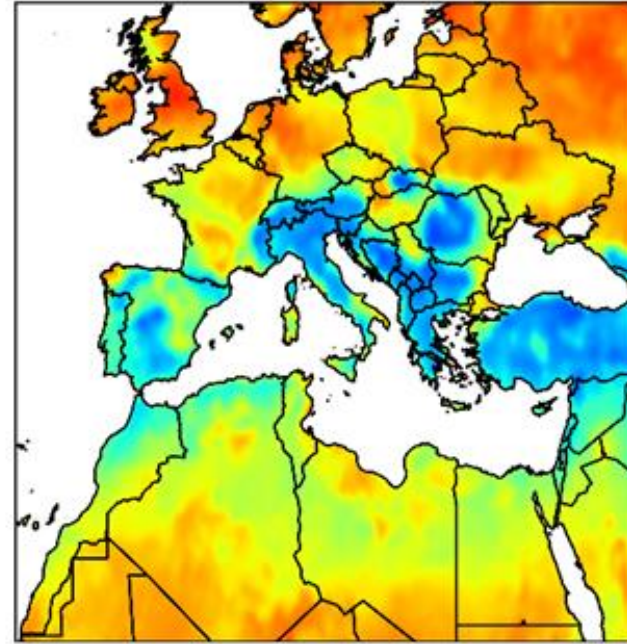


Total storage capacities [days<sub>pts,bat</sub>]

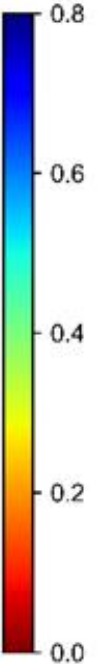


## Überschussstrom

2030



Excess electricity [kWh<sub>el,ex</sub>/kWh<sub>el,gen</sub>]



Gesamtspeicherkapazitäten

2030

15

Überschussstrom

2030

0.8

Excess electricity [kWh<sub>el</sub>, ex/kWh<sub>el</sub>, gen]

2.0

0

0.0

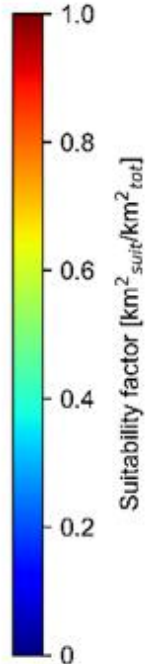
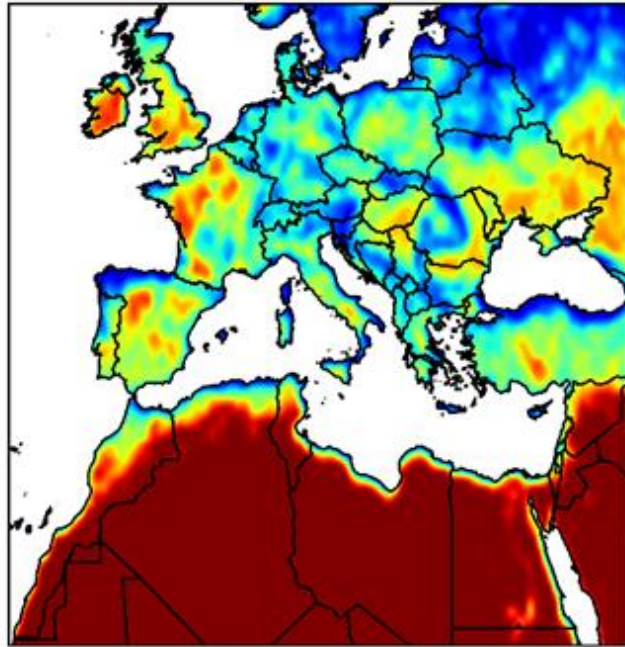
Überschussstrom fällt auch bei einer  
kostenminimiert betriebenen  
Wasserstoffbereitstellung an, ist aber besonders  
niedrig in Regionen mit hohen Windenergieanteilen

## Welche technischen Produktionspotenziale sind gegeben?

- Flächenverfügbarkeit
- Flächenbedarf
- Jährliches Produktionspotential

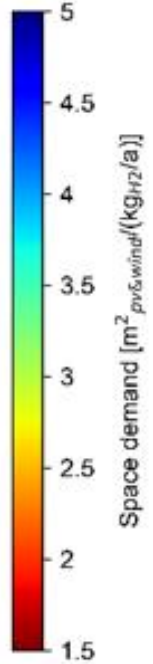
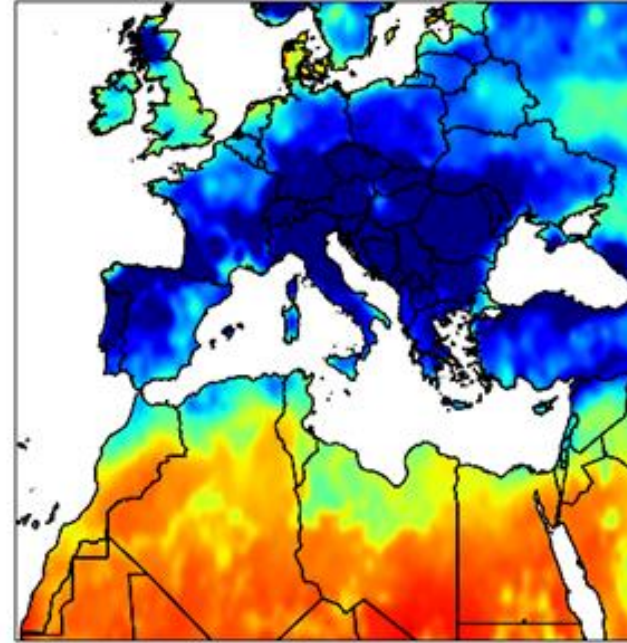


## Flächenverfügbarkeitsfaktor

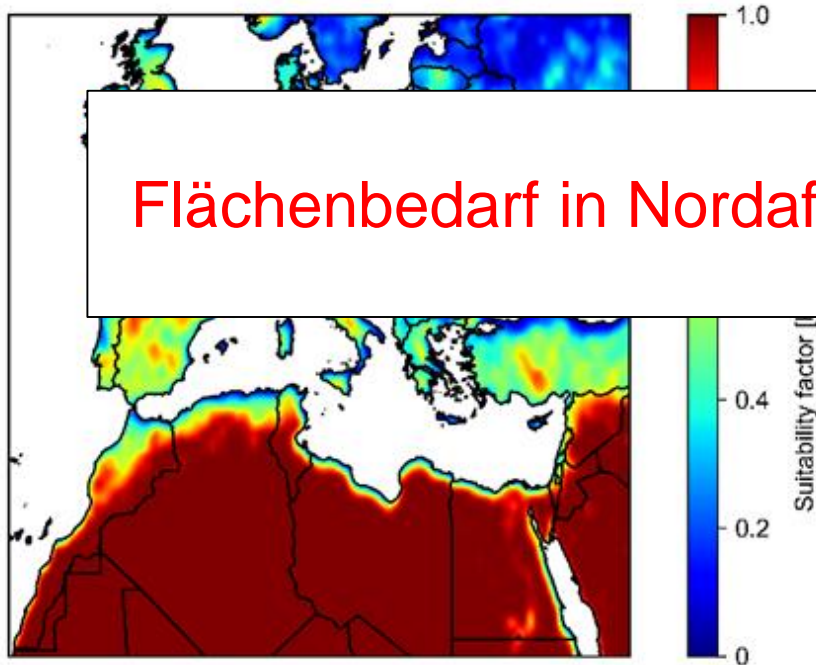


## Flächenbedarf

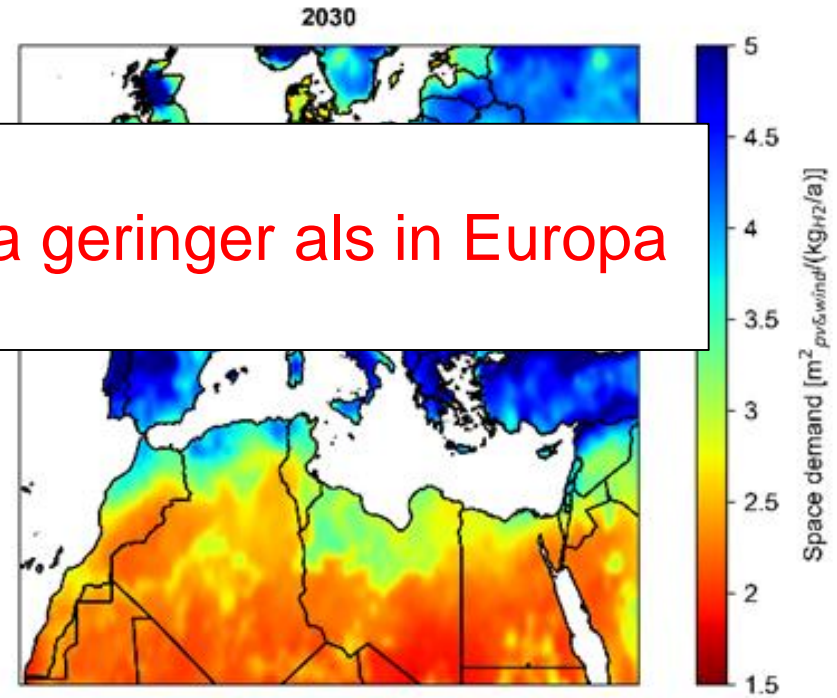
2030



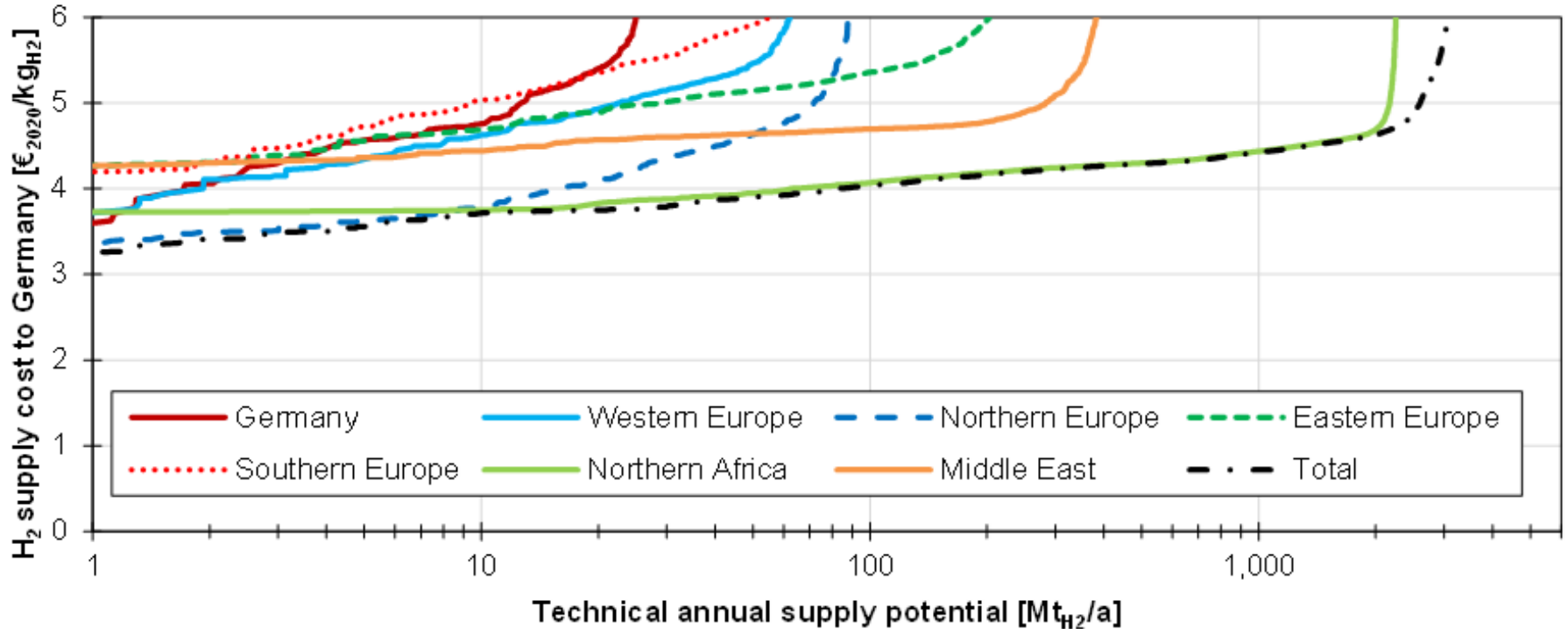
## Flächenverfügbarkeitsfaktor



## Flächenbedarf



Flächenbedarf in Nordafrika geringer als in Europa



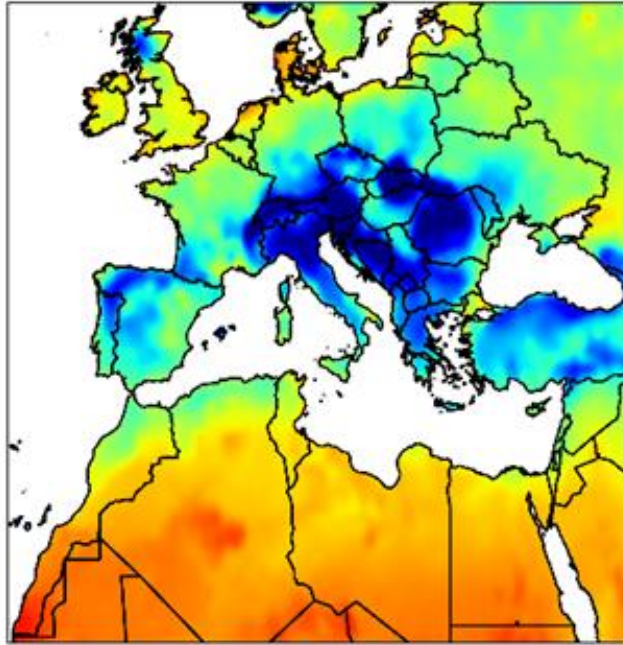
Ändern sich die Bereitstellungskosten bei der Verwendung von kostengünstigeren Salzkavernenspeichern in Deutschland?

- Fluktuierende Wasserstoffeinspeisung ins Pipelinenetzwerk
- Saisonale Speicherung in Salzkavernen in Deutschland



## Ohne Salzkaverne

2030

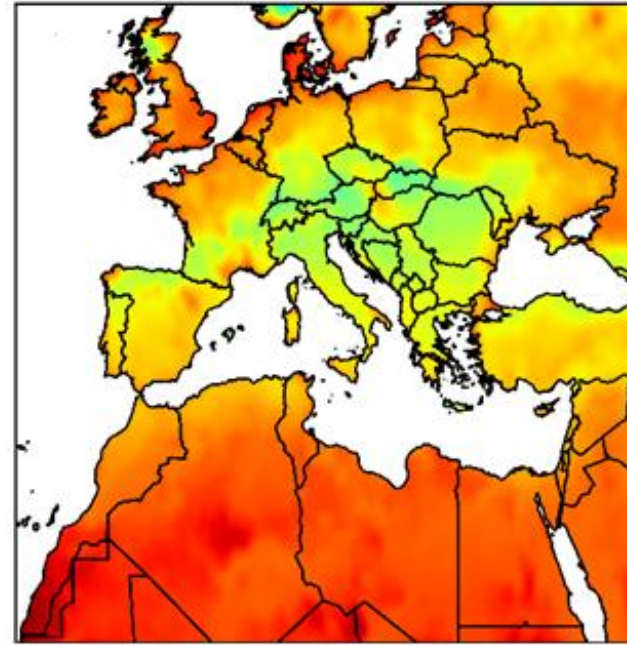


Onsite hydrogen supply cost [€/2020/kgH<sub>2</sub>]

2

## Mit Salzkaverne

2030 - Additional hydrogen cavern storage

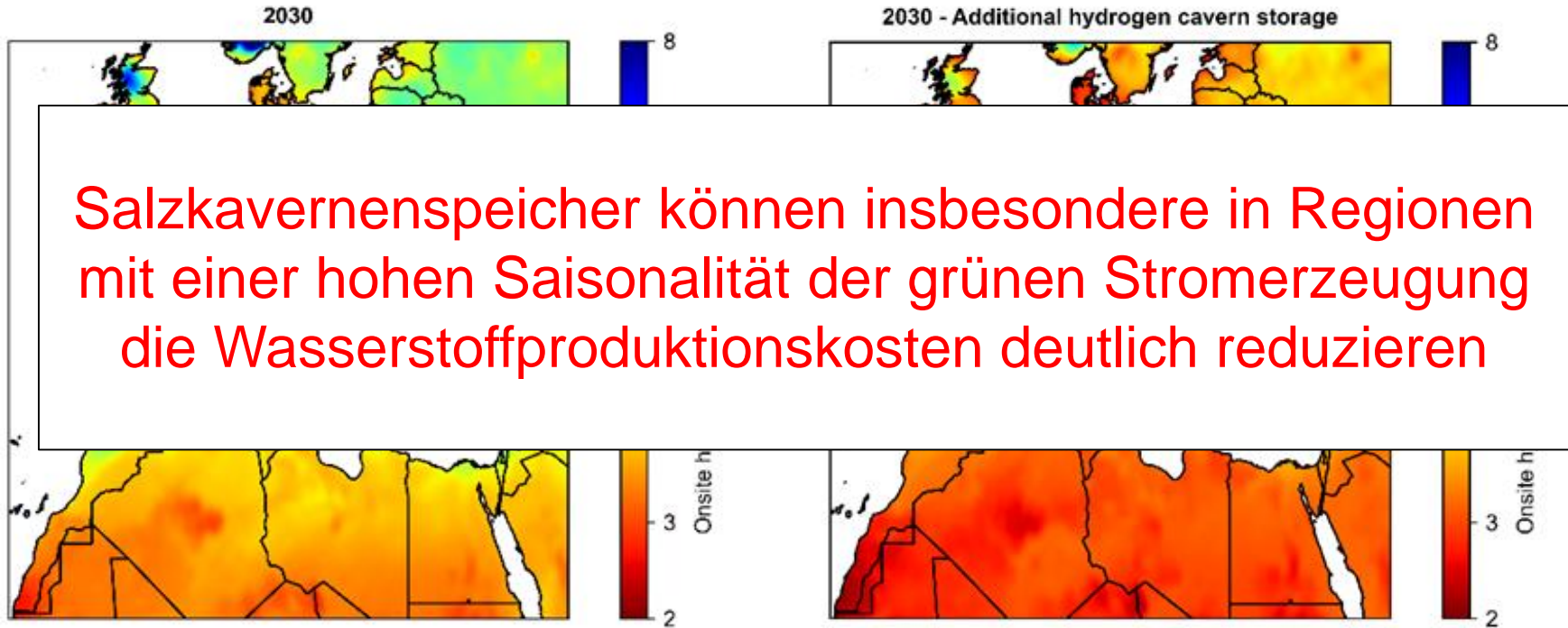


Onsite hydrogen supply cost [€/2020/kgH<sub>2</sub>]

2

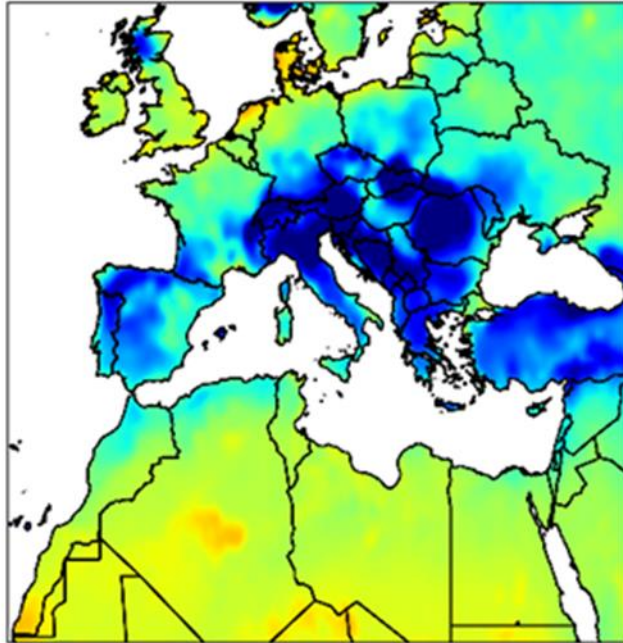
Ohne Salzkaverne

Mit Salzkaverne



## Ohne Salzkaverne

2030

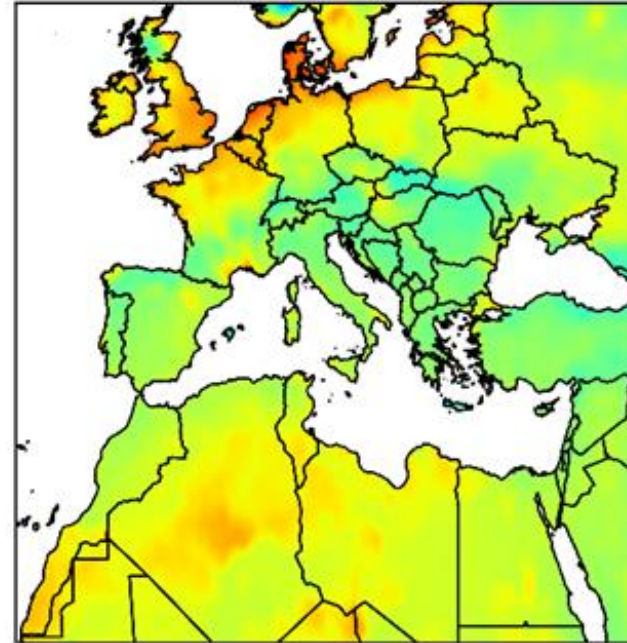


Hydrogen supply cost to Germany [€/2020/kgH<sub>2</sub>]

8  
7  
6  
5  
4  
3  
2

## Mit Salzkaverne

2030 - Additional hydrogen cavern storage

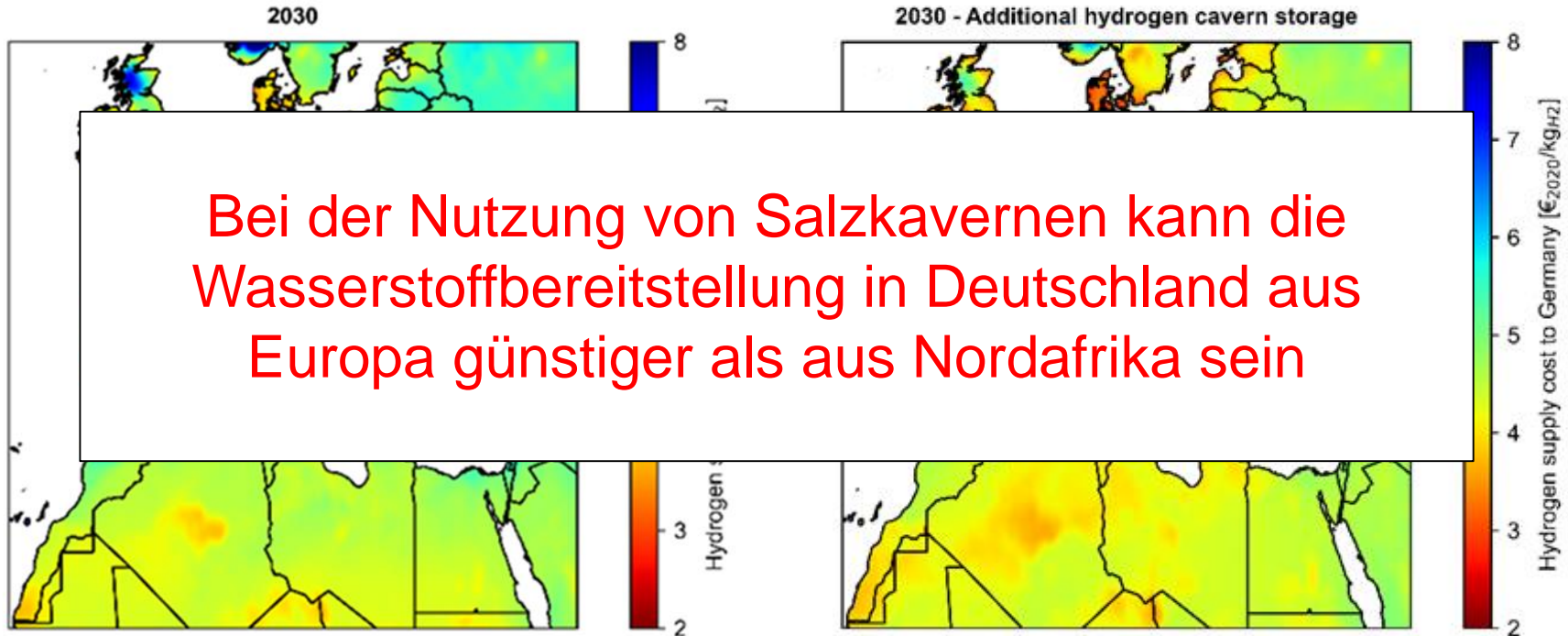


Hydrogen supply cost to Germany [€/2020/kgH<sub>2</sub>]

8  
7  
6  
5  
4  
3  
2

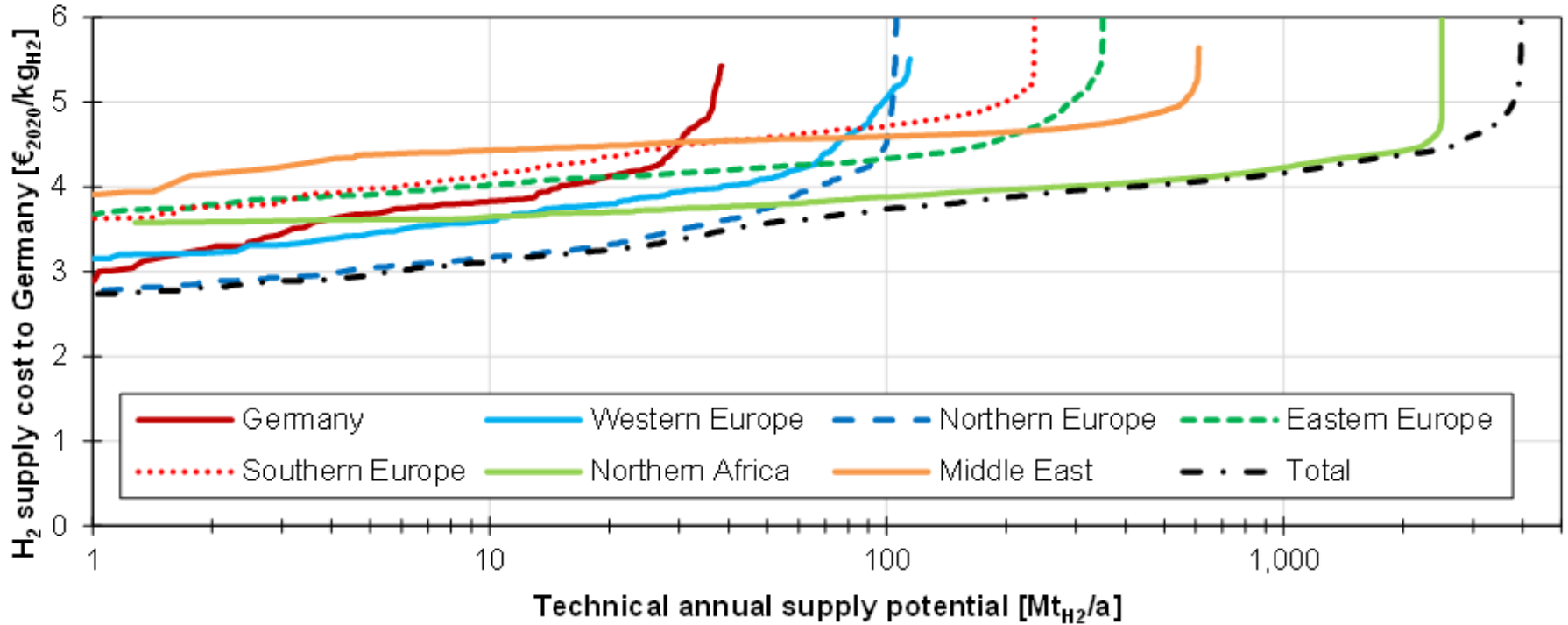
Ohne Salzkaverne

Mit Salzkaverne



Bei der Nutzung von Salzkavernen kann die Wasserstoffbereitstellung in Deutschland aus Europa günstiger als aus Nordafrika sein

# Technisches Wasserstoffbereitstellungspotenzial 2030 bei Salzkavernennutzung in Deutschland



- Regionen mit den geringsten Wasserstoffproduktionskosten sind die West Sahara, Zentral Algerien und Küstenregionen an der Nordsee mit rund **3 €<sub>2020</sub>/kg<sub>H2</sub>** (2030) und **2 €<sub>2020</sub>/kg** (2050)
- Das technische Wasserstoffbereitstellungspotential in Deutschland beläuft sich auf rund **20 Mt<sub>H2</sub>/a** zu **4 €<sub>2020</sub>/kg<sub>H2</sub>** und für Nordafrika zu mehr als **100 Mt<sub>H2</sub>/a** zu **3,5 €<sub>2020</sub>/kg<sub>H2</sub>** (2030, Salzkavernennutzung)
- Das optimale Verhältnis von Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung liegt zwischen **2:1** bis **4:1**
- Für die vielversprechendsten Regionen beträgt der Überschussstromanteil bei rund **10** bis **30 %** (würde aber im Falle von Salzkavernennutzung signifikant reduziert werden)
- Die Nutzung von Salzkavernen führt zu Produktionskostenreduzierungen von bis zu **50 %**, insbesondere in Regionen mit einer ausgeprägten Saisonalität der grünen Stromerzeugung
- Der Flächenbedarf für die Wasserstoffproduktion liegt bei rund **2** bis **4 m<sup>2</sup>/(kg<sub>H2</sub>/a)**

Weitere Erkenntnisse und Hintergrundinformationen können in folgender Veröffentlichung gefunden werden:

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115742>



Hamburg University of Technology (TUHH)  
Institute of Environmental Technology and Energy Economics (IUE)  
Eissendorfer Str. 40; D-21073 Hamburg

[lucas.sens@tuhh.de](mailto:lucas.sens@tuhh.de)

[LinkedIn](#)

- [1] <https://images.app.goo.gl/q2W7NAgYantkJjKZ9>
- [2] <https://images.app.goo.gl/tgVUA1EQwqGEsxhm8>
- [3] <https://images.app.goo.gl/emZiwi4GPQbrGvHu6>
- [4] <https://images.app.goo.gl/wpf5beDJPAXoCJxF6>
- [5] <https://images.app.goo.gl/bD24v1L26ANsmx4n8>
- [6] <https://images.app.goo.gl/58YNqjNLviaWJ1rZA>
- [7] <https://powerpoint-männchen.de/?l=de>