DOI: https://doi.org/10.15480/882.4480
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6300-4218

CC BY

HY.SH Lunch-Break
19.07.2022

Grüne Wasserstoffbereitstellung für Deutschland

Eine techno-ökonomische Potenzialanalyse

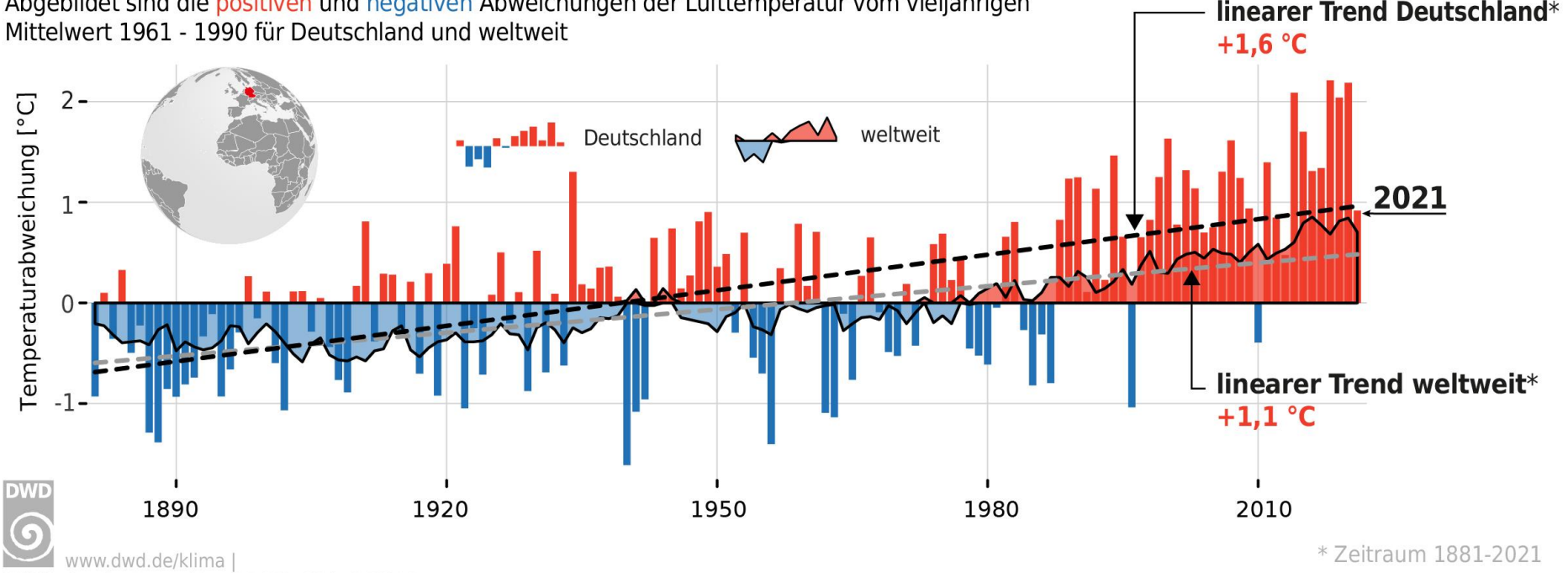
Lucas Sens, Ulf Neuling, Martin Kaltschmitt

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

Hamburg University of Technology (TUHH), Institute of Environmental Technology and Energy Economics (IUE)
www.tuhh.de/iue

Erwärmungstrend in Deutschland stärker als weltweit

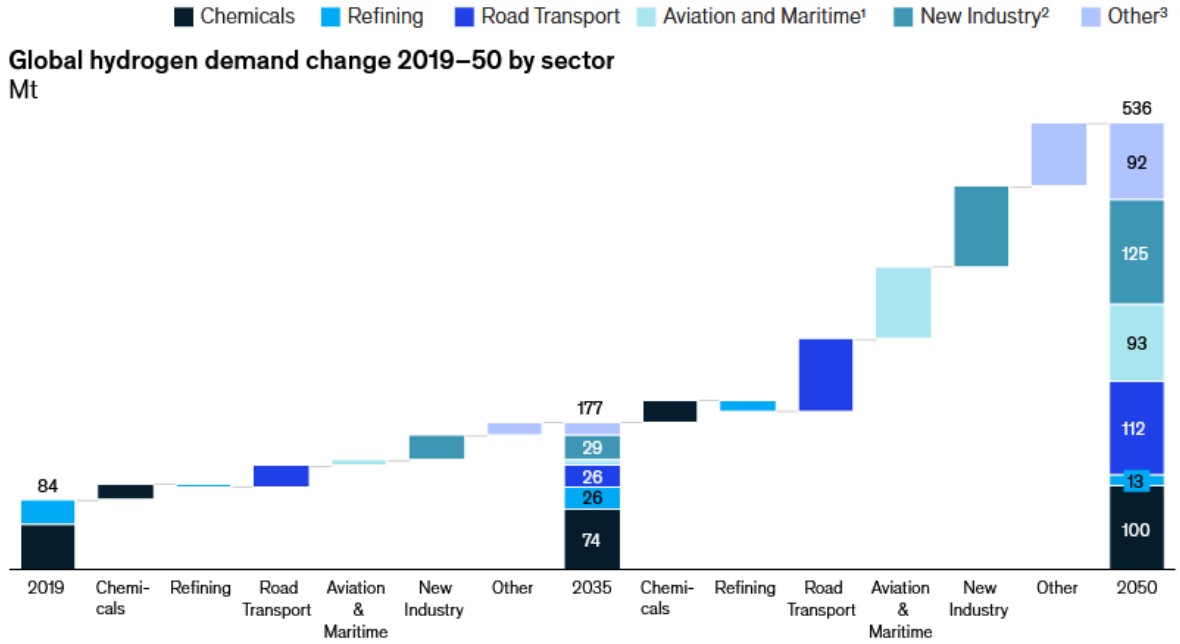
Abgebildet sind die positiven und negativen Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1961 - 1990 für Deutschland und weltweit



DWD

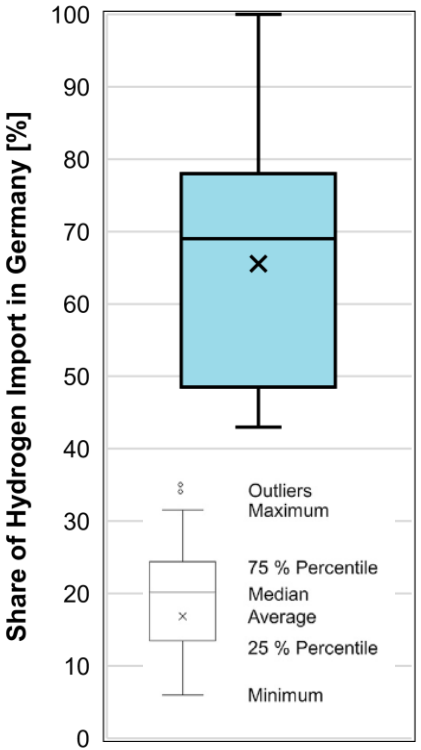
www.dwd.de/klima |
2022 Quelle: Deutschland: DWD, Global: NOAA

* Zeitraum 1881-2021



1. Aviation and maritime include direct use of hydrogen and hydrogen-derived synfuels including kerosene, diesel, methanol, gasoline, and ammonia. The category also includes some hydrogen-derived synfuels 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



Fragestellung

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

[7]

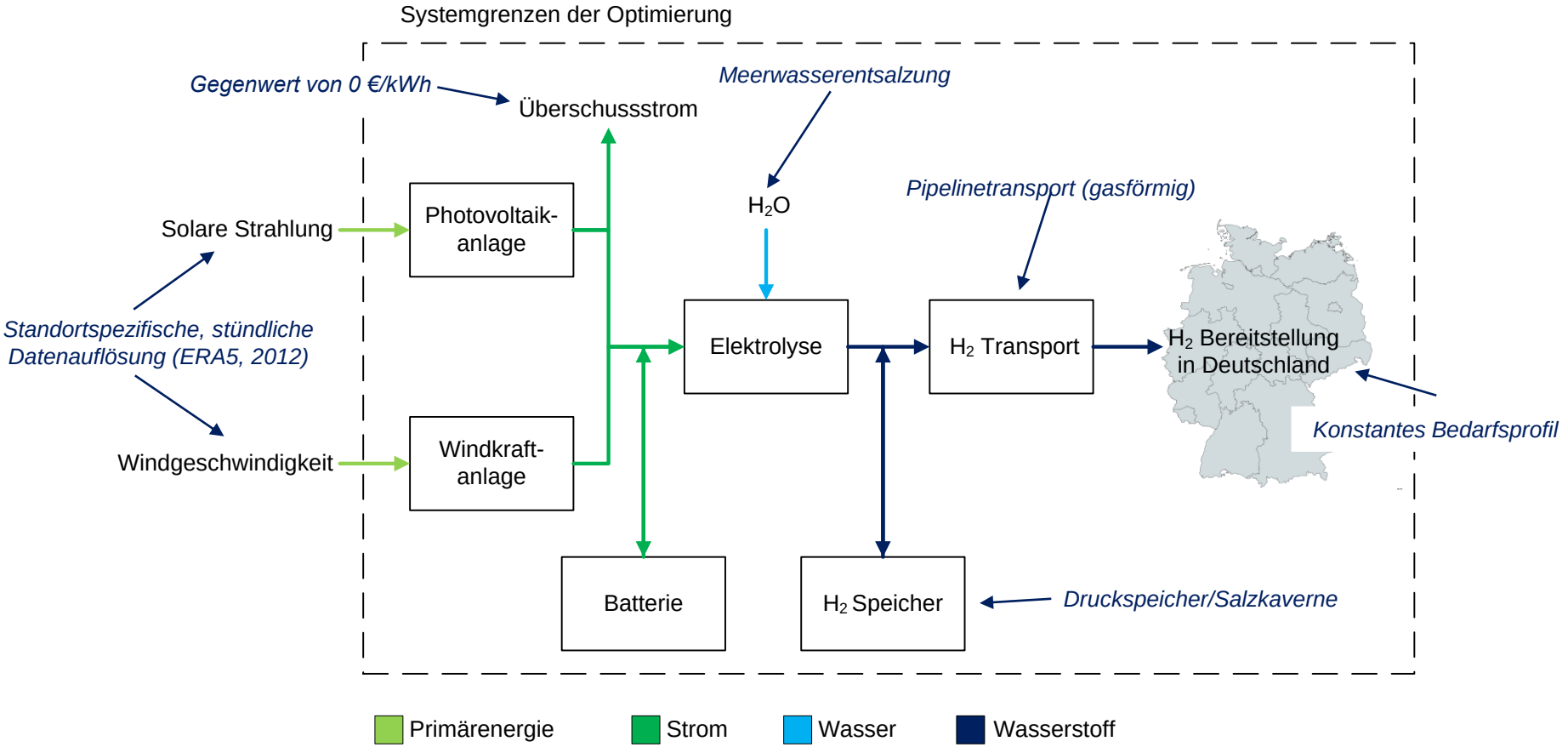
Fragestellung und Bewertungsgrößen

1. Welche Kosten sind für die Wasserstoffproduktion und Bereitstellung in Deutschland zu erwarten?
   - Produktionskosten am Standort
   - Bereitstellungskosten nach Deutschland

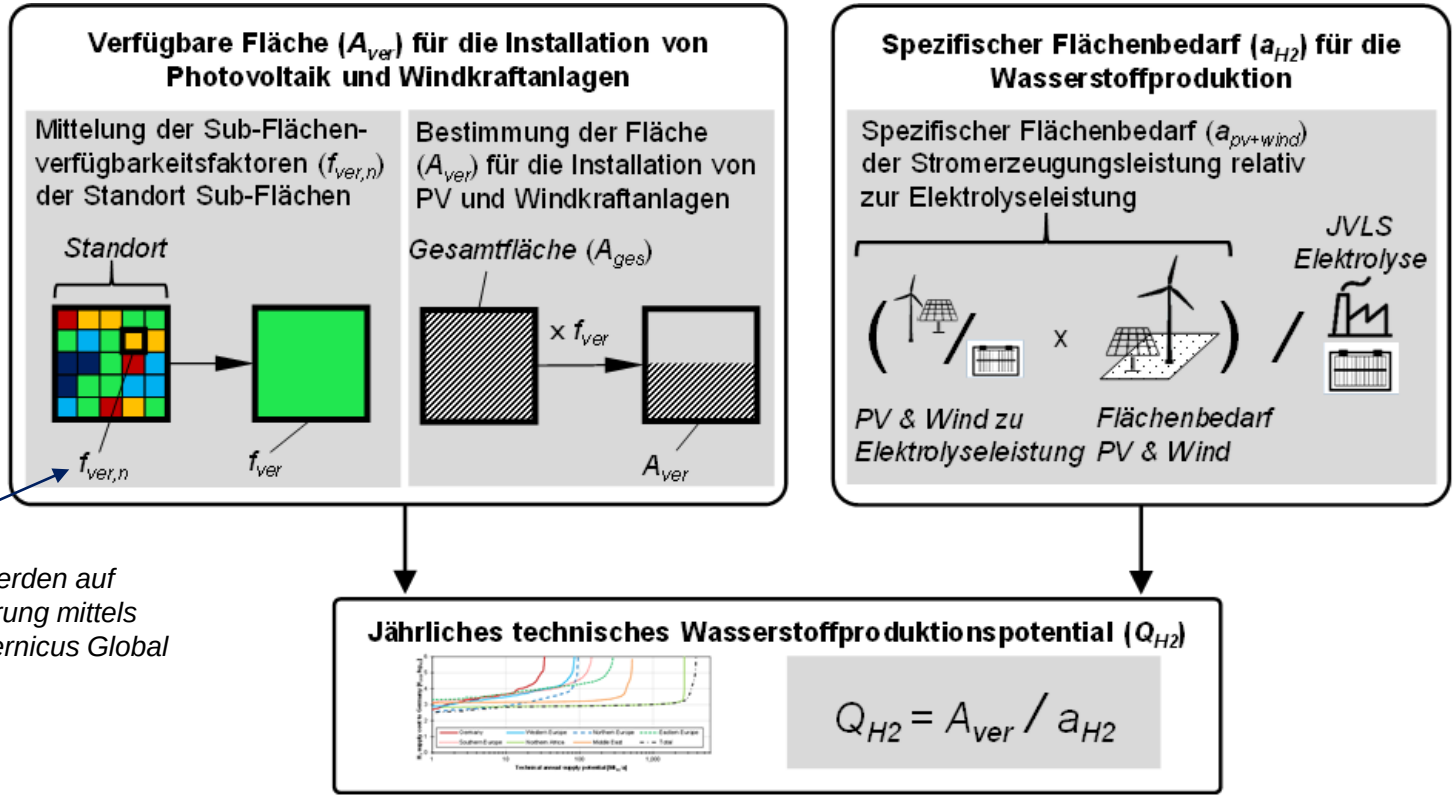
2. Welche Produktionskonfigurationen sind für minimierte Kosten notwendig?
   - Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung
   - Verteilung von PV und Windkraftanlagen an Stromerzeugungsleistung
   - Notwendige Speicherkapazitäten

3. Welche technischen Produktionspotenziale sind gegeben?
   - Flächenverfügbarkeit
   - Flächenbedarf
   - Jährliches Produktionspotential

Optimierungsmodell

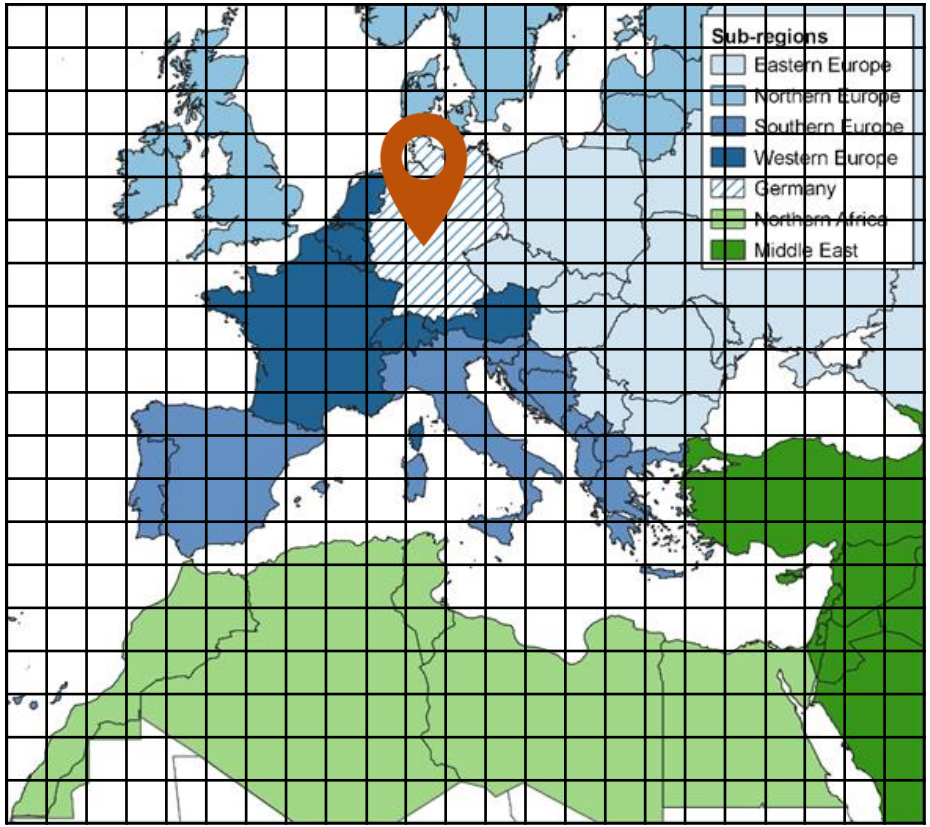


Produktionspotenzialmodell



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

Betrachtetet Einzugsgebiet



Rasterbildung mit einer Auflösung von 0,5 x 0,5° in Längen- & Breitengradrichtung pro Standort & nachfolgender Kosten-minimierung der H_2-Produktion für jeden einzelnen Standort (insgesamt 15.600)

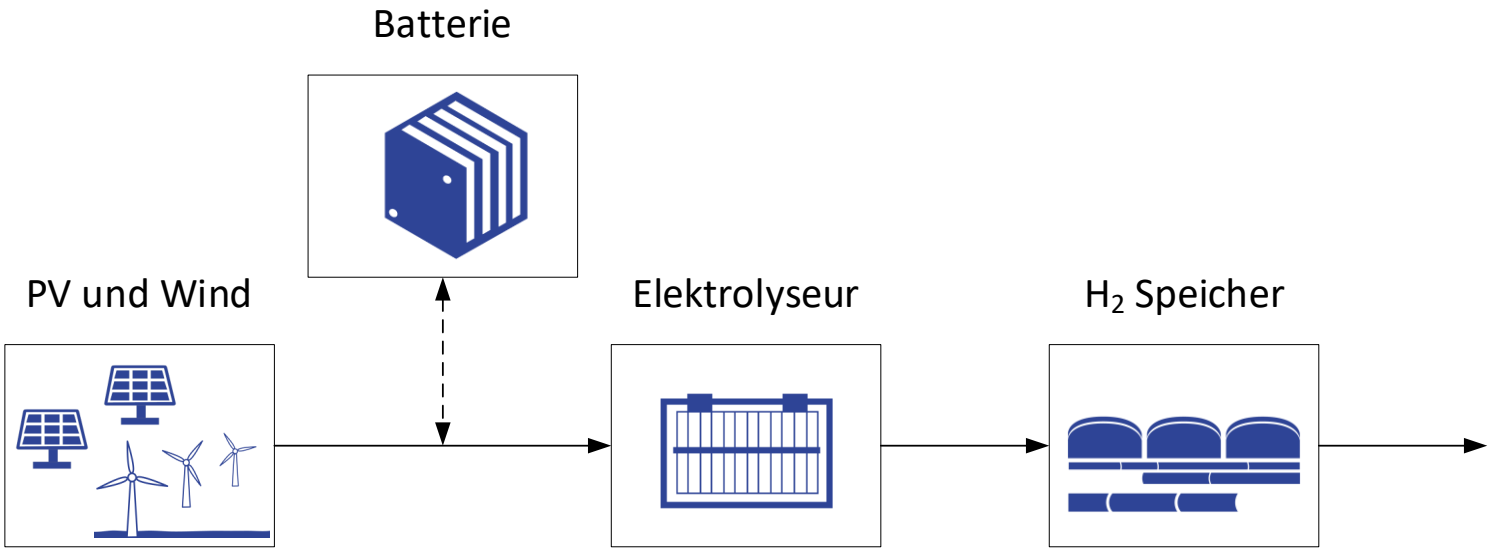
Frage 1

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

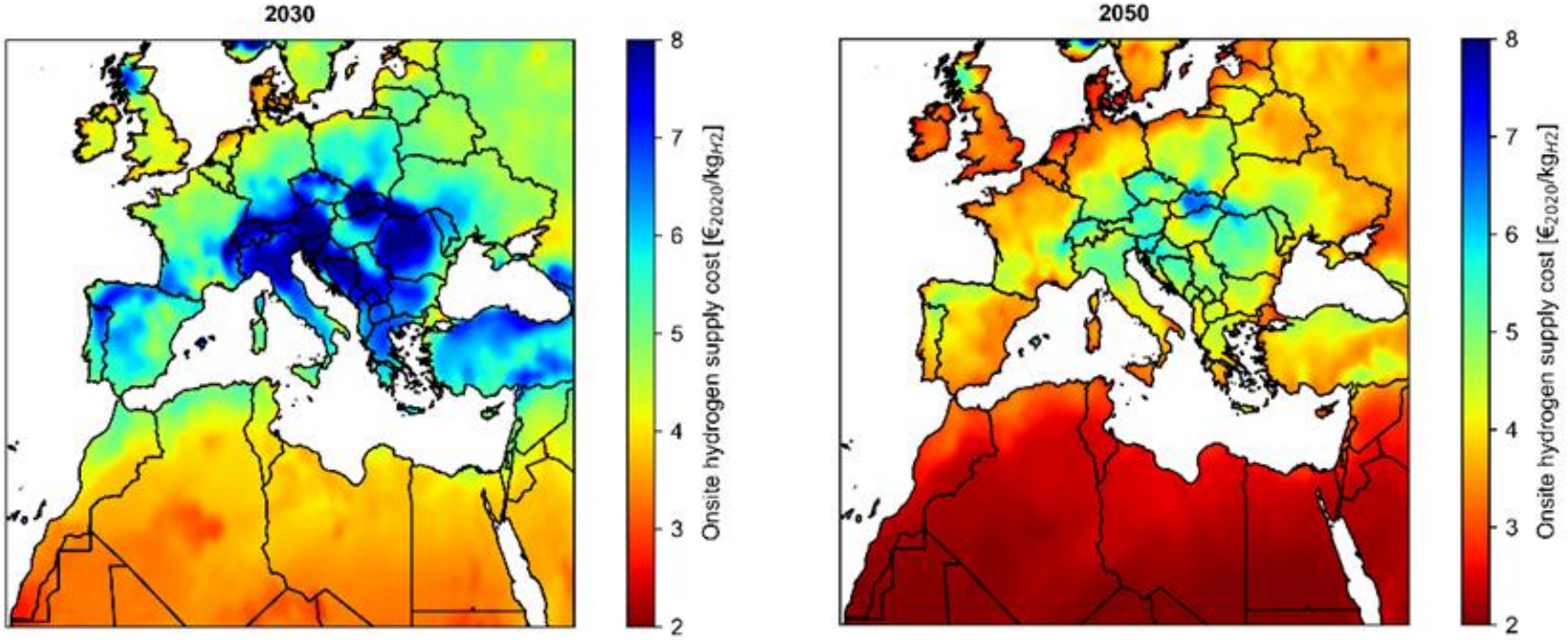
- Produktionskosten am Standort
- Bereitstellungskosten nach Deutschland

[7]

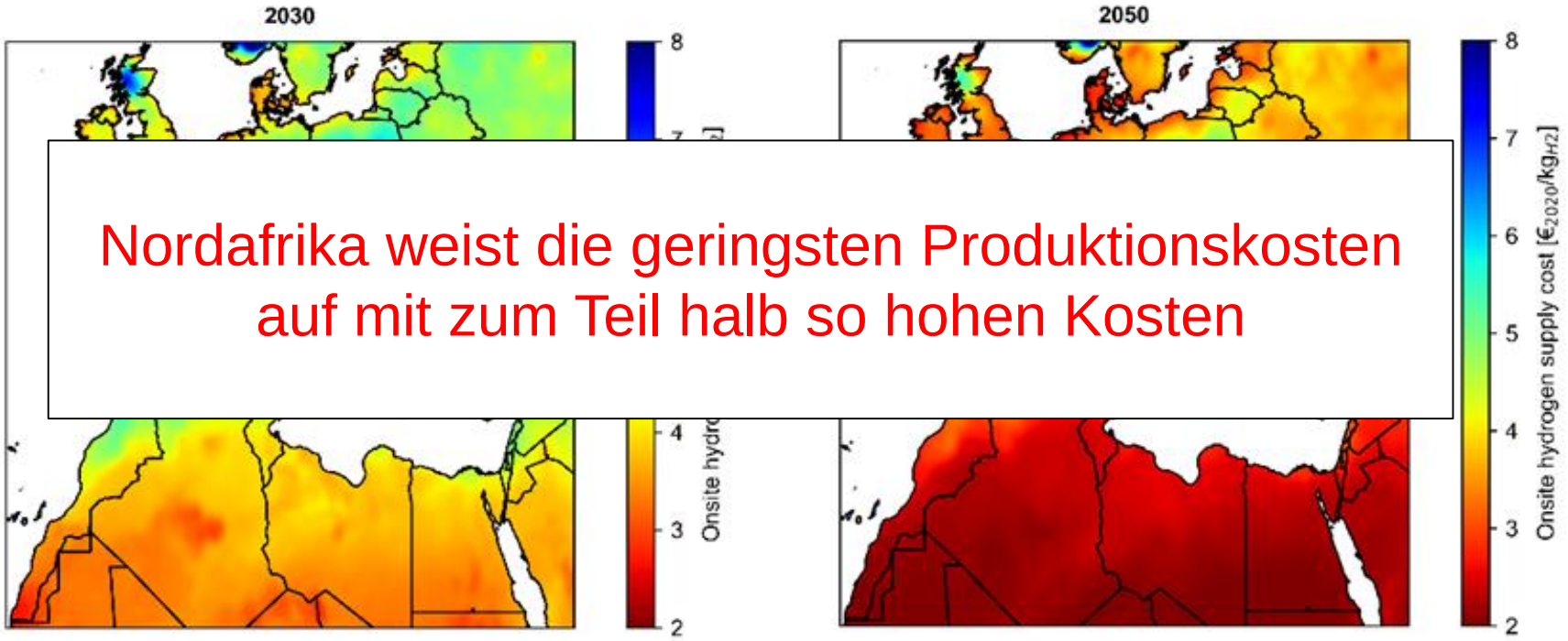
Wasserstoffproduktionskosten



Wasserstoffproduktionskosten

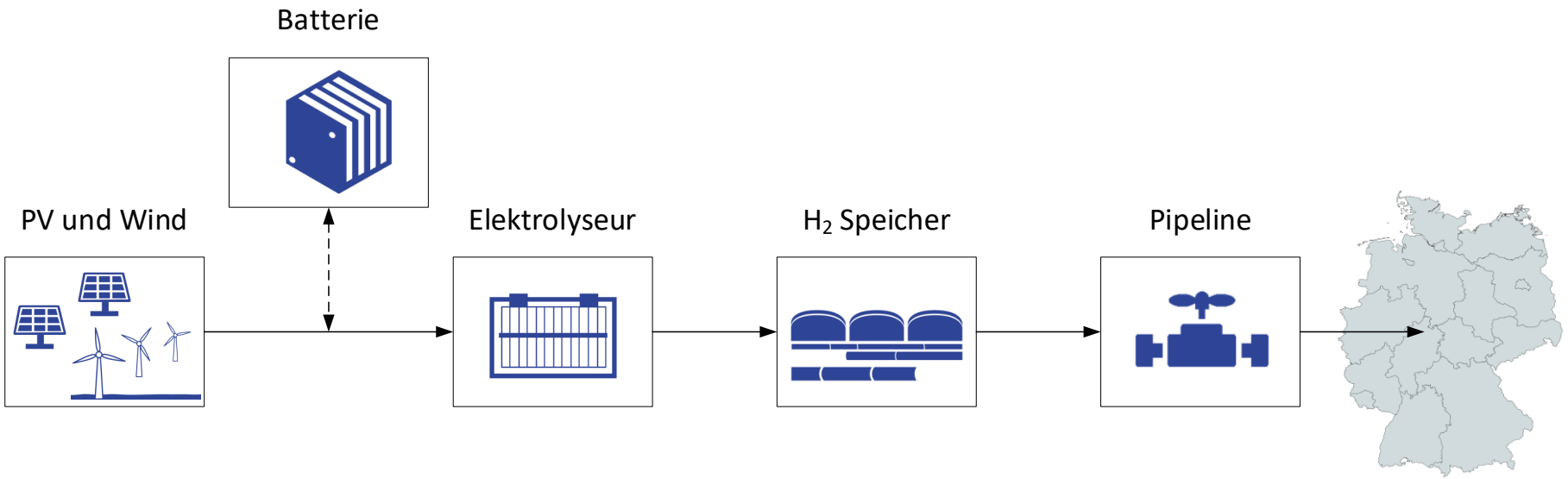


Wasserstoffproduktionskosten

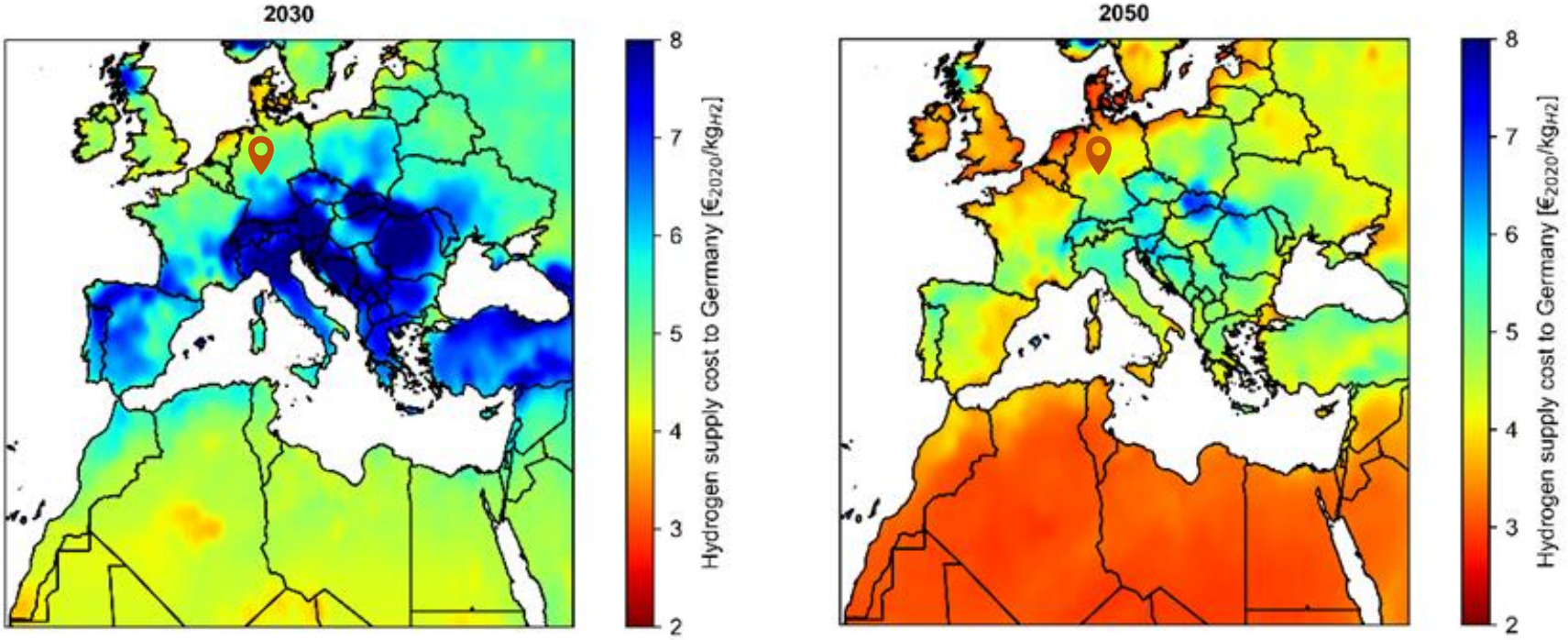


Nordafrika weist die geringsten Produktionskosten auf mit zum Teil halb so hohen Kosten

Wasserstoffbereitstellungskosten nach Deutschland



Wasserstoffbereitstellungskosten nach Deutschland



Wasserstoffbereitstellungskosten nach Deutschland

Bereitstellungskosten nach Deutschland aus Nordafrika auf einem ähnlichen Niveau wie an Küstenstandorten der Nordsee

Frage 2

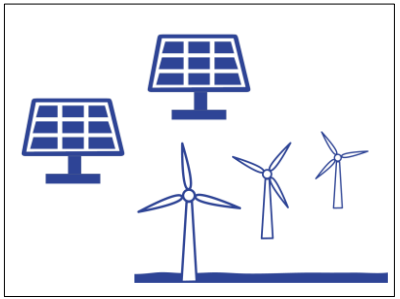
Welche Produktionskonfigurationen sind für minimierte Kosten notwendig?

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

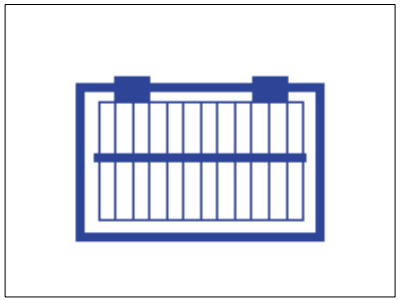
[7]

Stromerzeugungsleistung

PV und Wind

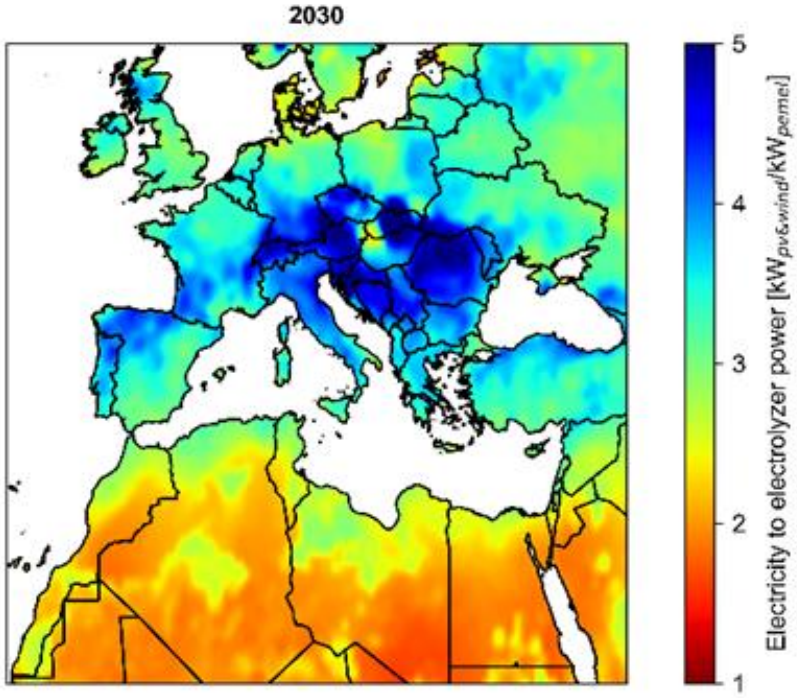


Elektrolyseur

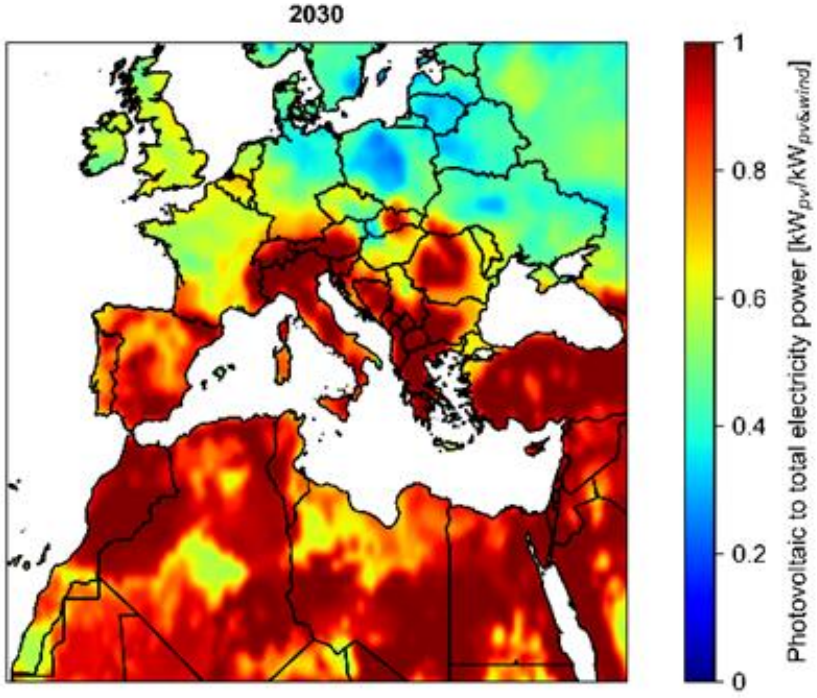


Stromerzeugungsleistung

Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung

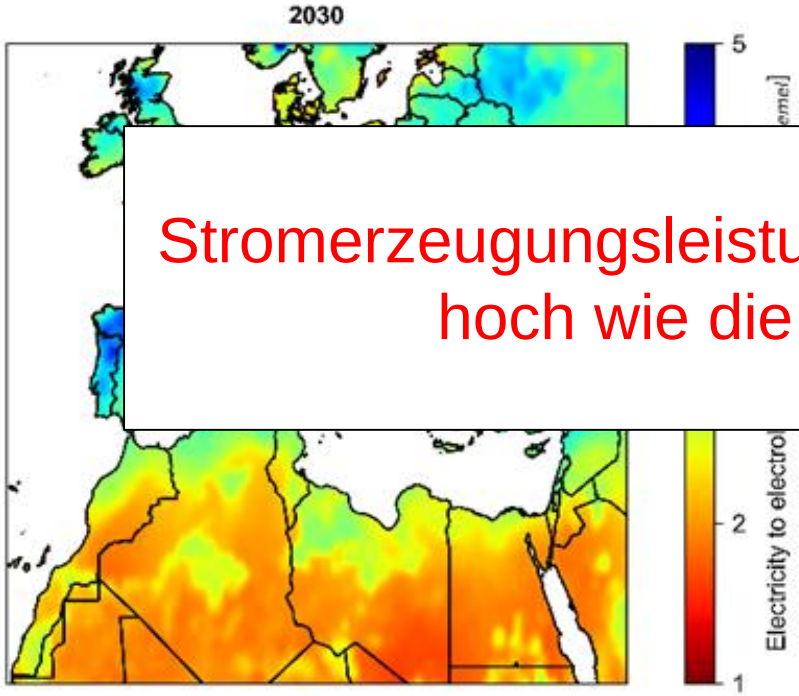


Photovoltaikanteil an Stromerzeugungsleistung

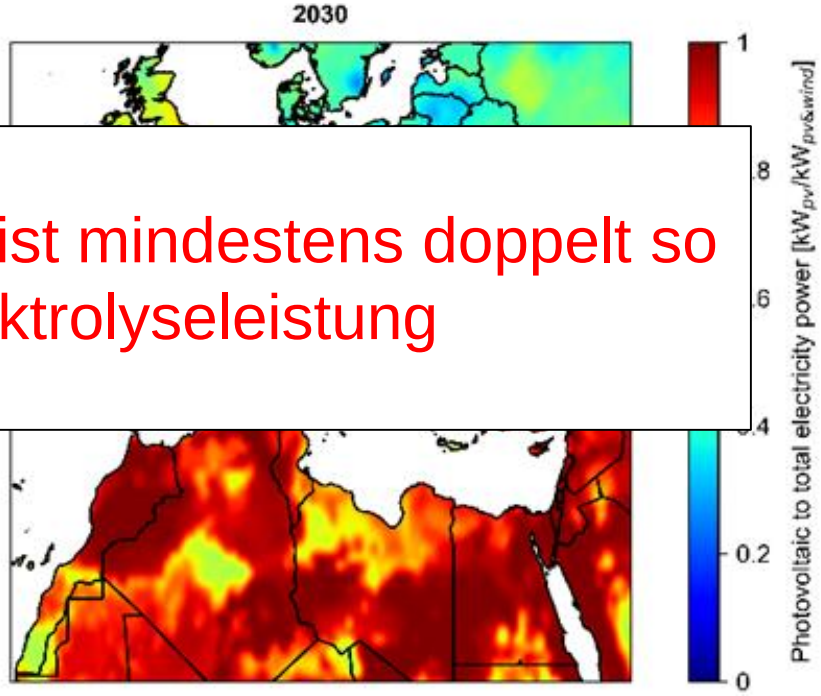


Stromerzeugungsleistung

Stromerzeugungs- zu Elektrolyseleistung



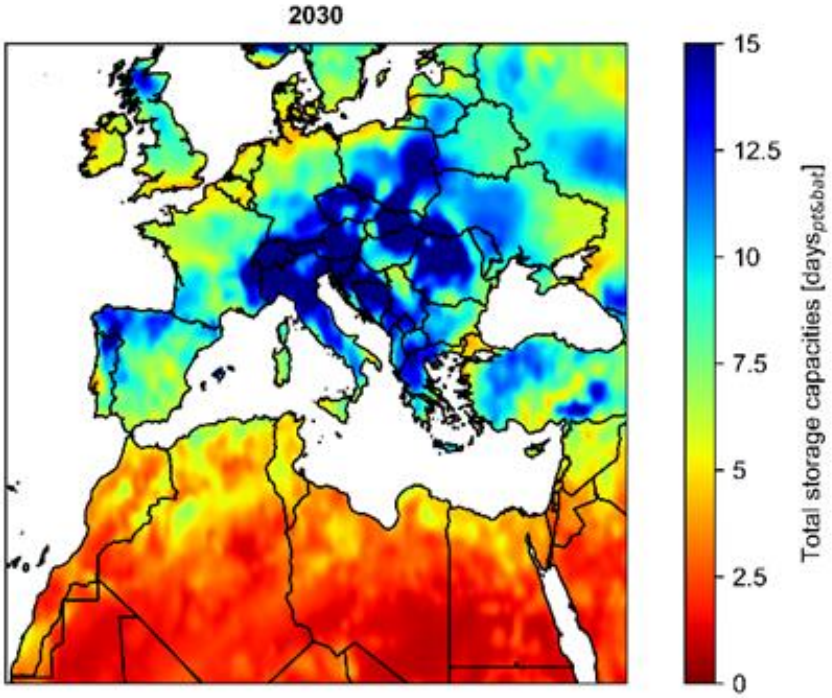
Photovoltaikanteil an Stromerzeugungsleistung



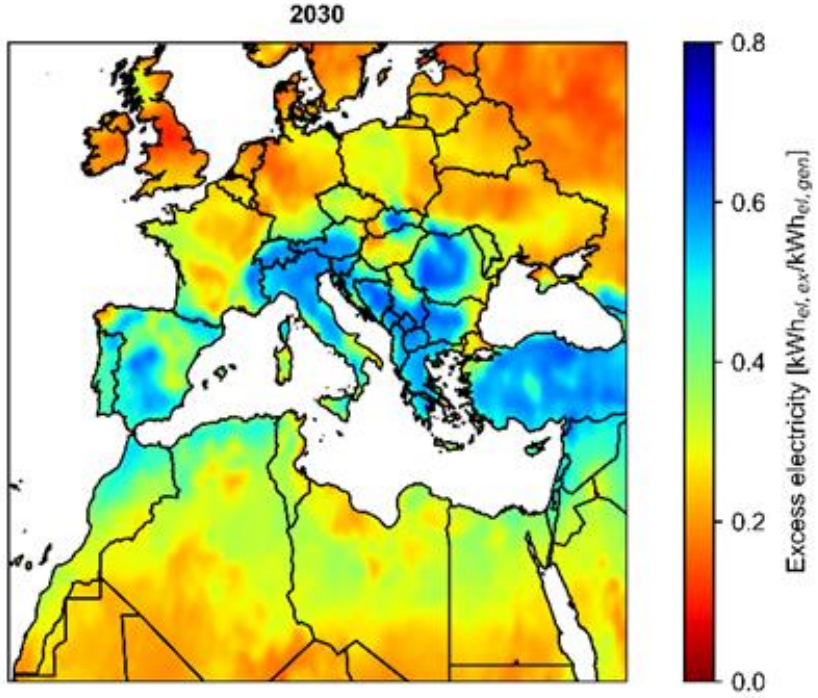
Stromerzeugungsleistung ist mindestens doppelt so hoch wie die Elektrolyseleistung

Speicherkapazität und Überschussstrom

Gesamtspeicherkapazitäten

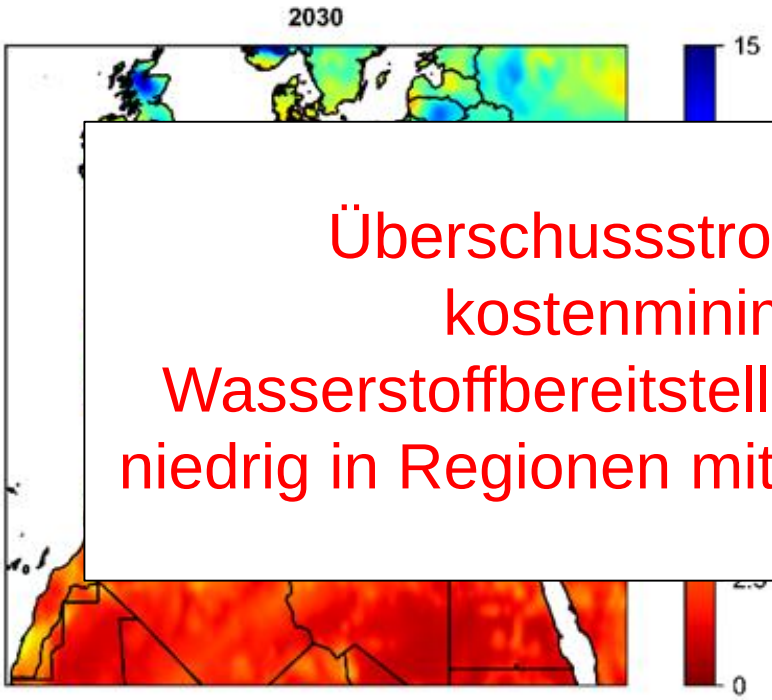


Überschussstrom

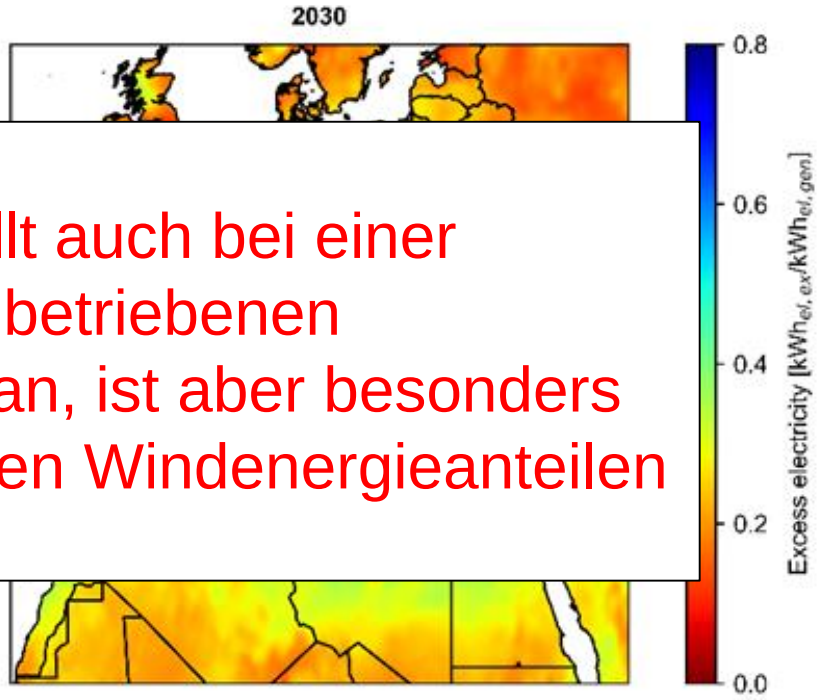


Speicherkapazität und Überschussstrom

Gesamtspeicherkapazitäten



Überschussstrom



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

Frage 3

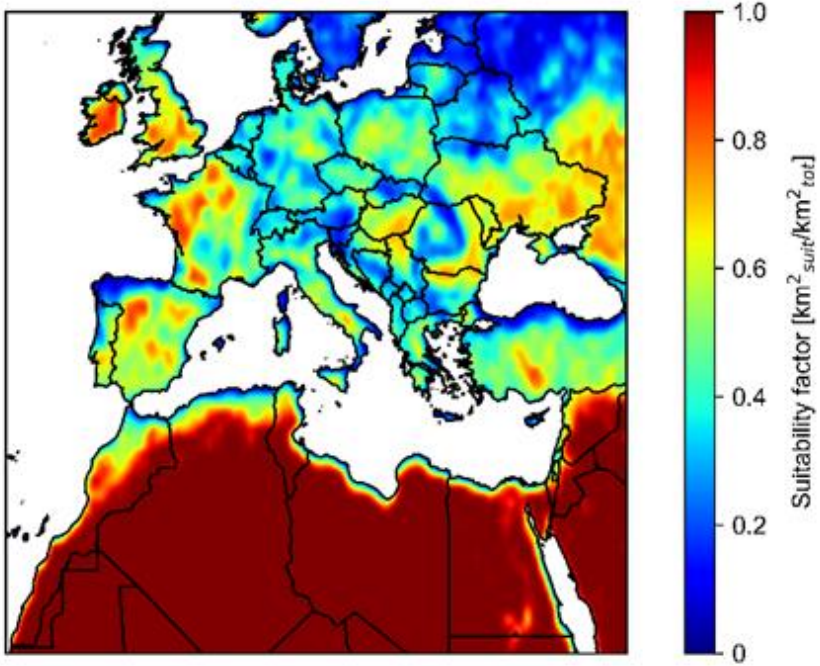
Welche technischen Produktionspotenziale sind gegeben?

- Flächenverfügbarkeit
- Flächenbedarf
- Jährliches Produktionspotential

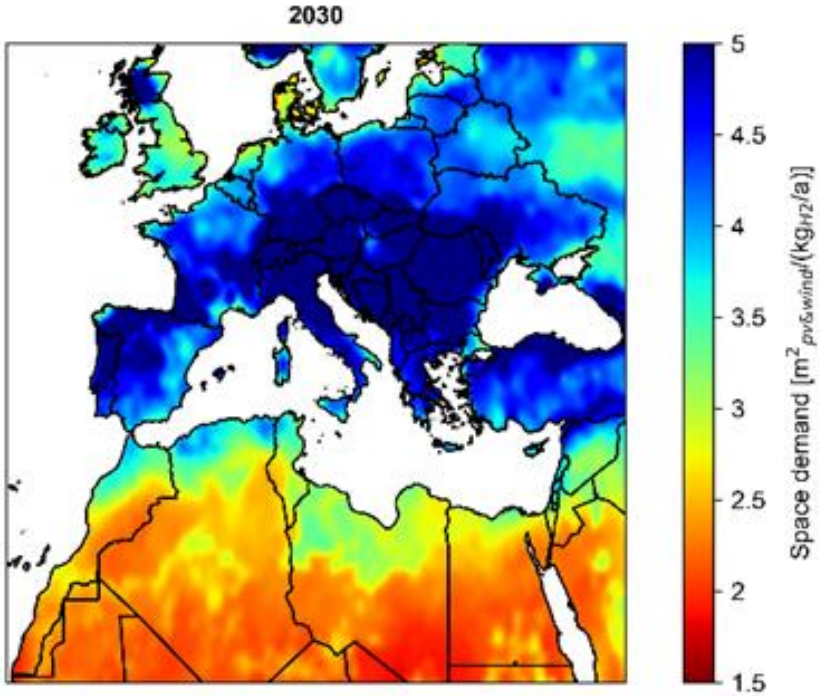
[7]

Flächenverfügbarkeit und -Bedarf

Flächenverfügbarkeitsfaktor



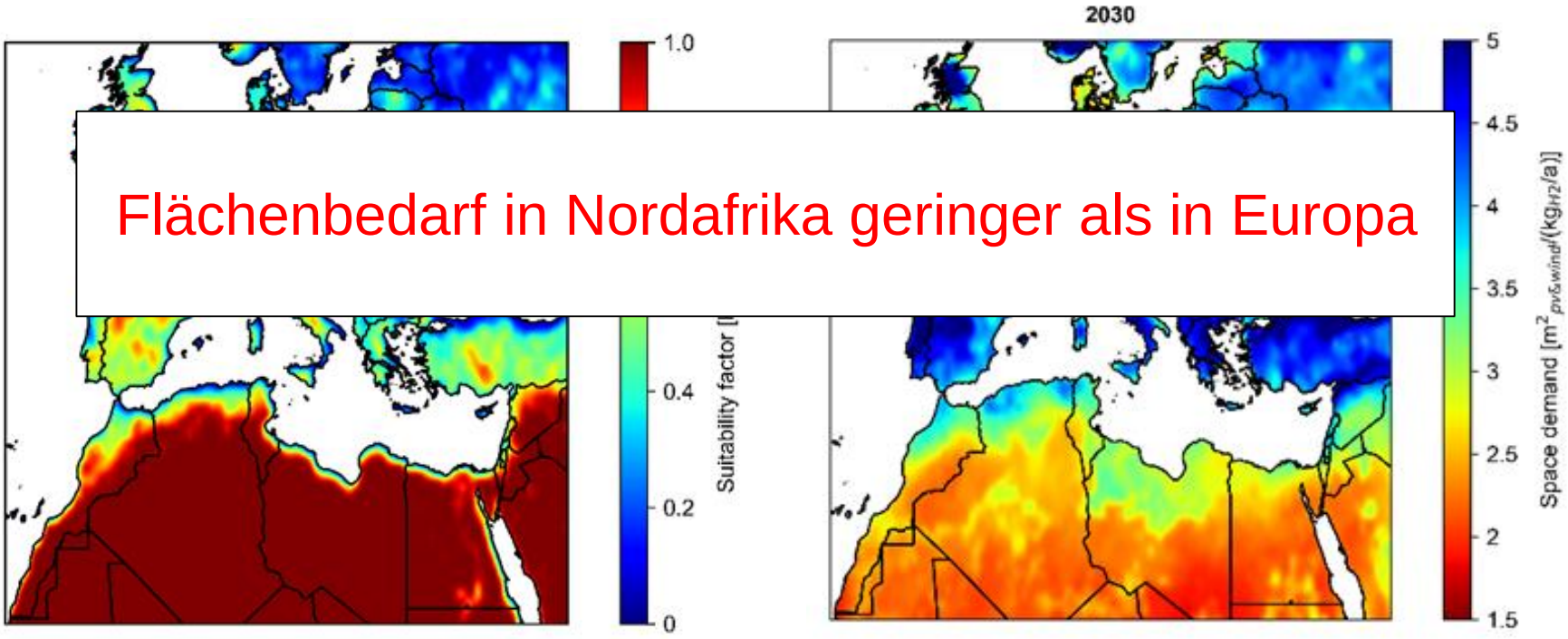
Flächenbedarf



Flächenverfügbarkeit und -Bedarf

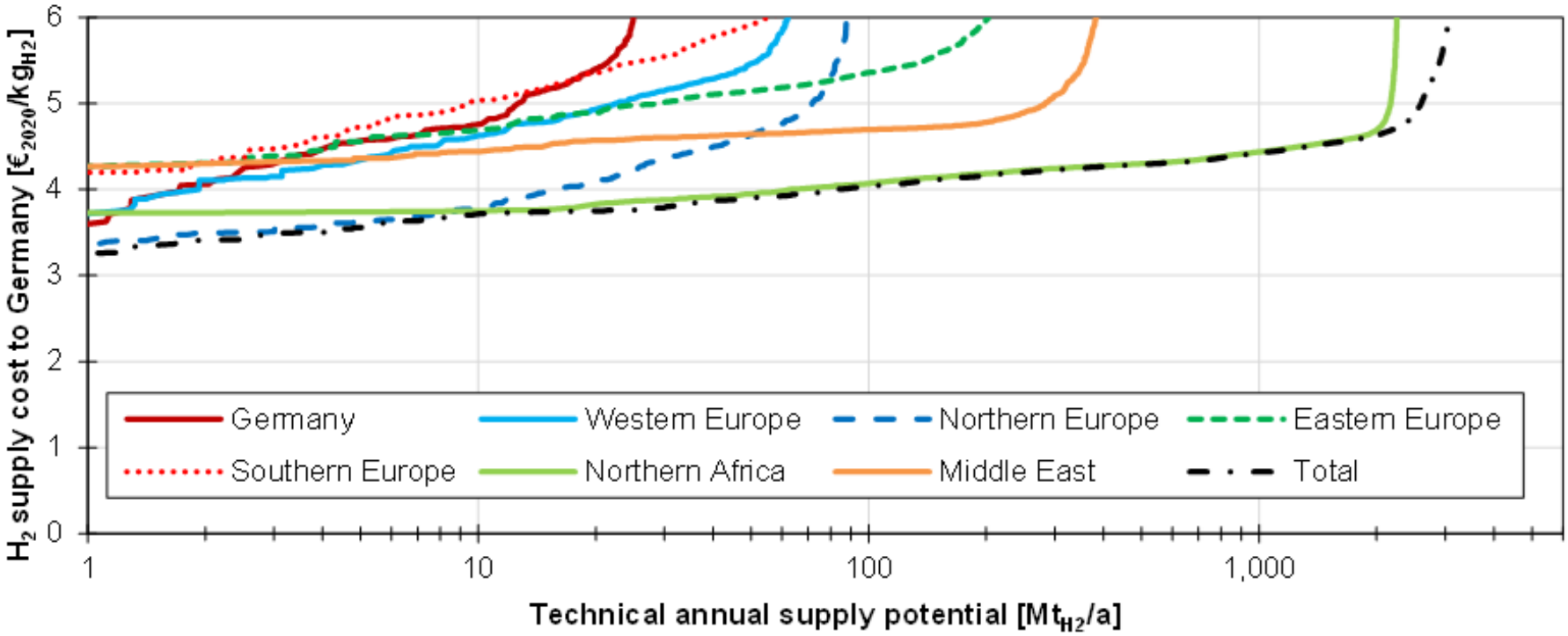
Flächenverfügbarkeitsfaktor

Flächenbedarf



Flächenbedarf in Nordafrika geringer als in Europa

Technisches Wasserstoffbereitstellungspotenzial 2030



Sensitivität

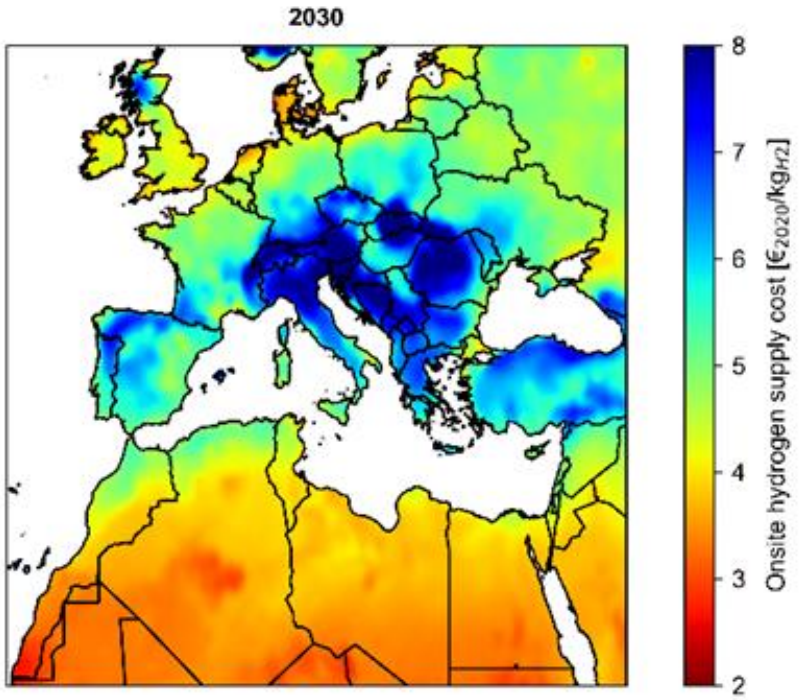
Ändern sich die Bereitstellungskosten bei der Verwendung von kostengünstigeren Salzkavernenspeichern in Deutschland?

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

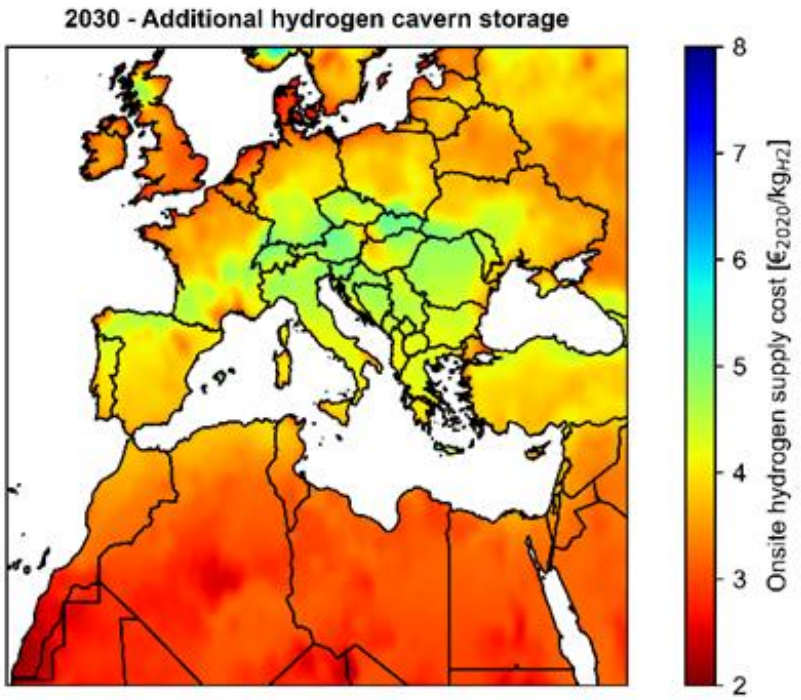
[7]

Wasserstoffproduktionskosten

Ohne Salzkaverne



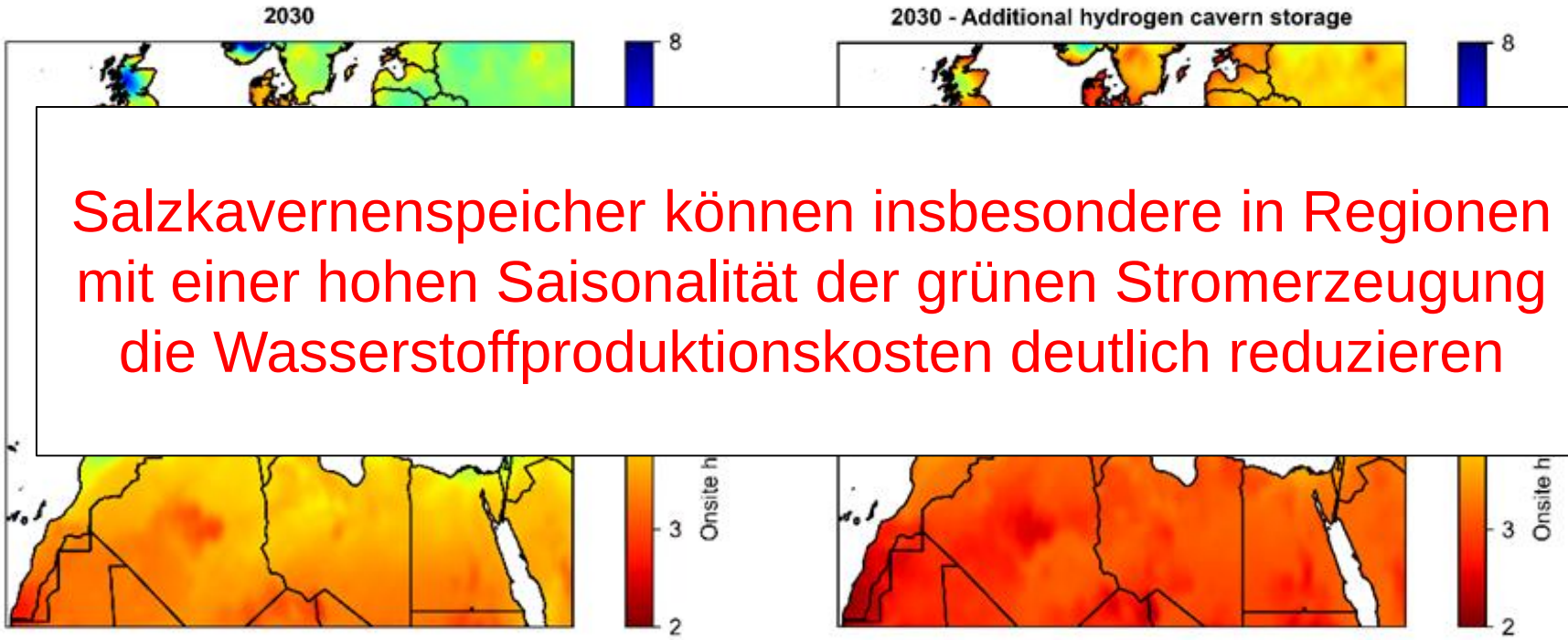
Mit Salzkaverne



Wasserstoffproduktionskosten

Ohne Salzkaverne

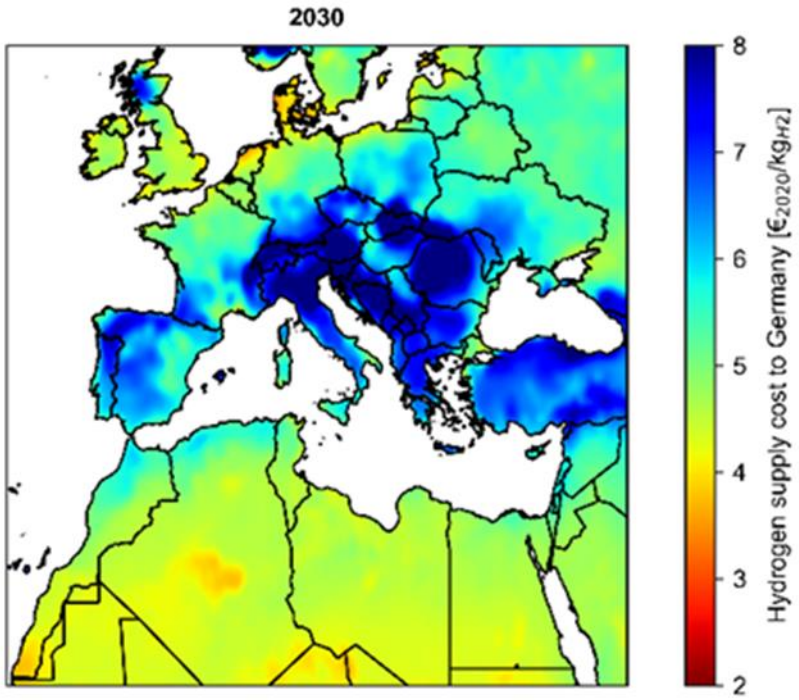
Mit Salzkaverne



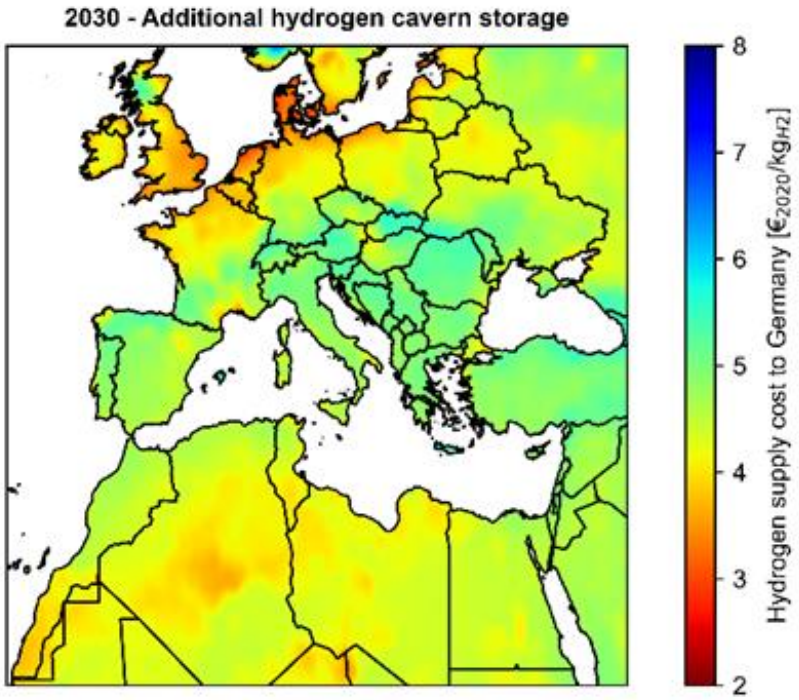
Salzkavernenspeicher können insbesondere in Regionen mit einer hohen Saisonalität der grünen Stromerzeugung die Wasserstoffproduktionskosten deutlich reduzieren

Wasserstoffbereitstellungskosten

Ohne Salzkaverne



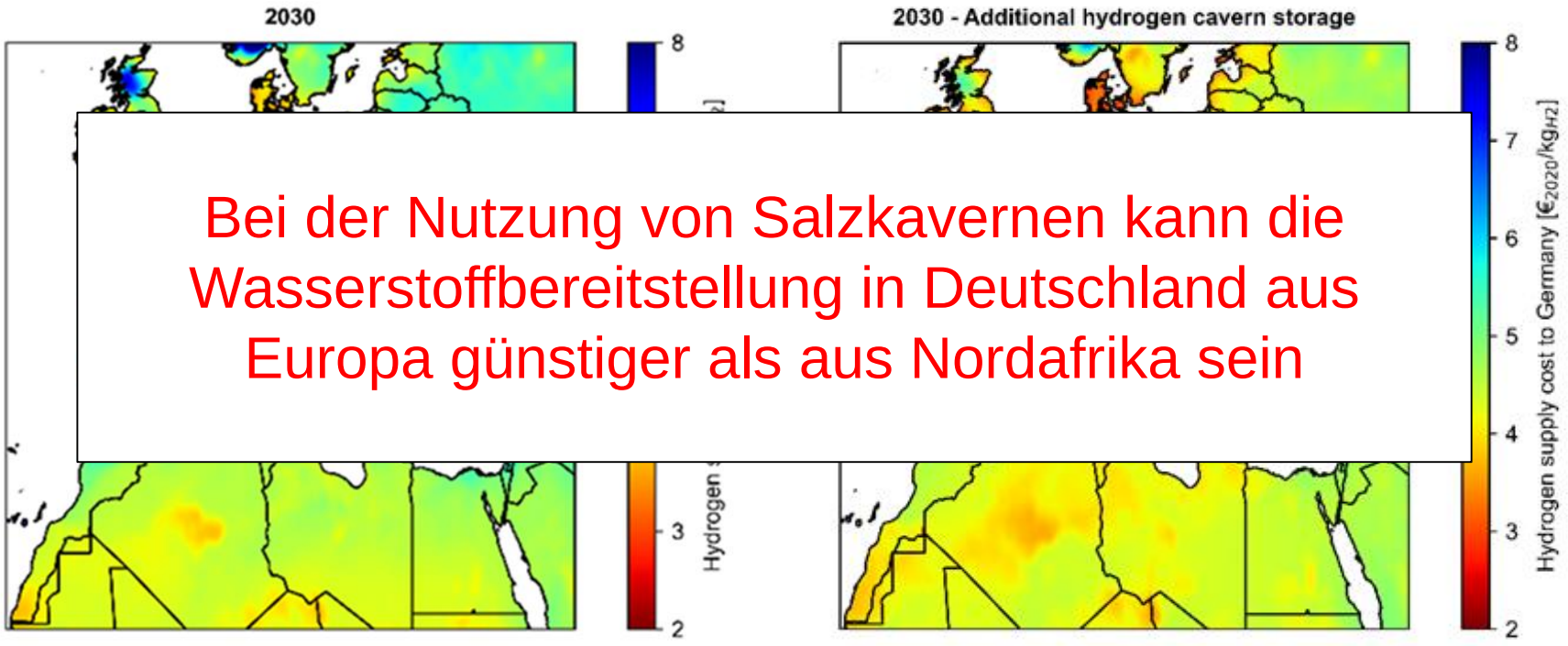
Mit Salzkaverne



Wasserstoffbereitstellungskosten

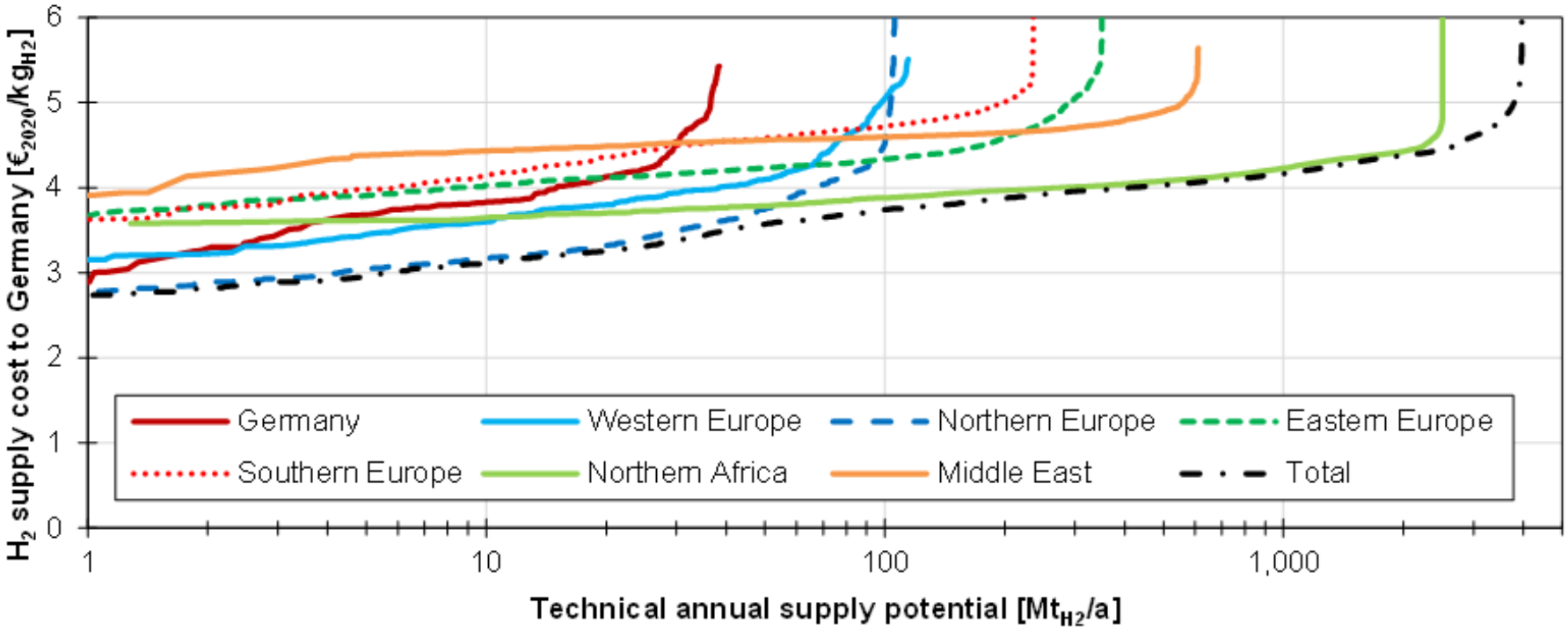
Ohne Salzkaverne

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



Zusammenfassung

- Regionen mit den geringsten Wasserstoffproduktionskosten sind die West Sahara, Zentral Algerien und Küstenregionen an der Nordsee mit rund **3 €$_{2020}$/kg$_{H2}$** (2030) und **2 €$_{2020}$/kg** (2050)

- Das technische Wasserstoffbereitstellungspotential in Deutschland beläuft sich auf rund **20 Mt$_{H2}$/a** zu **4 €$_{2020}$/kg$_{H2}$** und für Nordafrika zu mehr als **100 Mt$_{H2}$/a** zu **3,5 €$_{2020}$/kg$_{H2}$** (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^2/(kg$_{H2}$/a)**

Paper Download

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 Technlogy and Energy Economics (IUE)
Eissendorfer Str. 40; D-21073 Hamburg
lucas.sens@tuhh.de
LinkedIn

References

[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/58YNgjNLviaWJ1rZA

[7] https://powerpoint-männchen.de/?l=de