



Energiesystemmodellierung: Szenarien, Technologien, Transformationspfade

Für das Arbeitspaket 3 – Projekt RES-TMO:
Joris Dehler-Holland (KIT-DFIU)

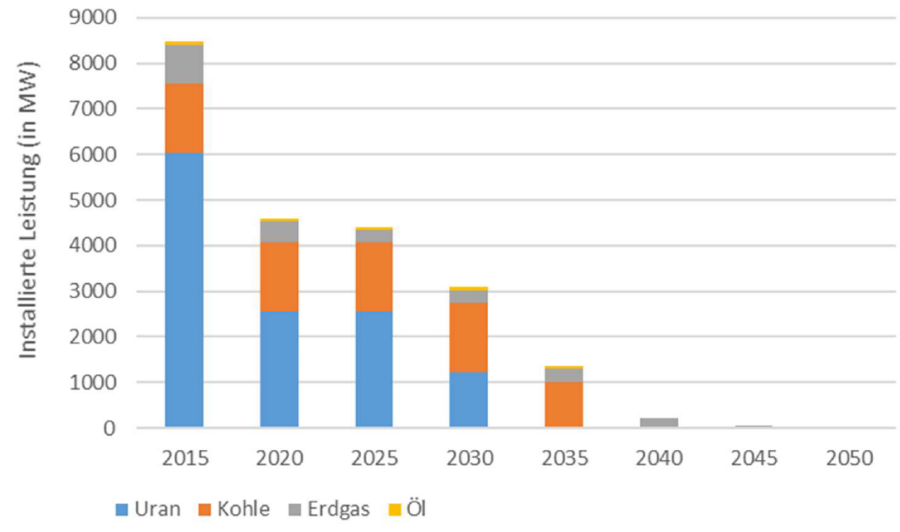


Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)
Dépasser les frontières : projet après projet
Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt

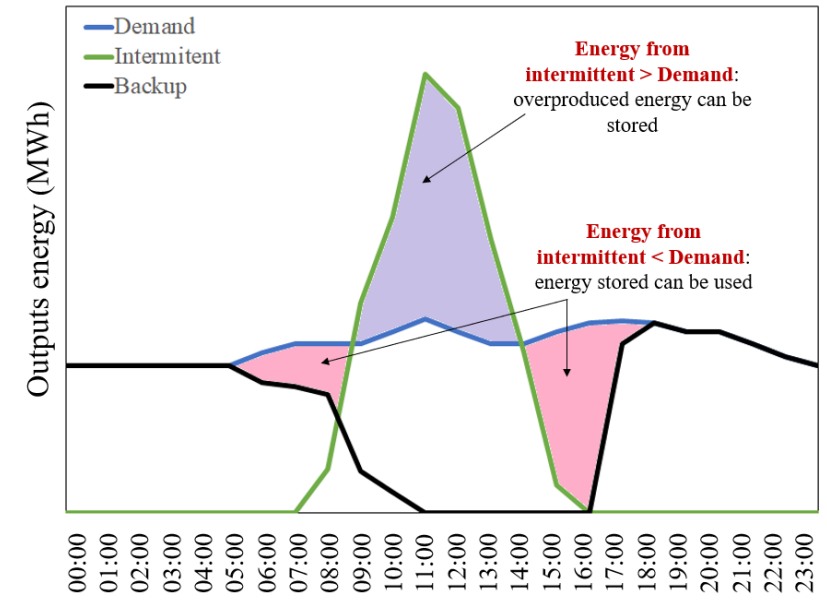


Motivation

- Zur Erreichung der **ambitionierten Klimaziele** auf nationaler und EU-Ebene sind weitreichende Transformationen des Energiesystems notwendig (**Anteil von EE 2019: 23% in Frankreich und 42%? in Deutschland**)
- **Große regionale Potentiale** erneuerbarer Energien verfügbar
- Herausforderungen
 - **Lange Investitionshorizonte** erzeugen Pfadabhängigkeiten im Energiesystem
 - **Ausgleich der Erzeugung** von Strom aus Wind- und Sonnenenergie



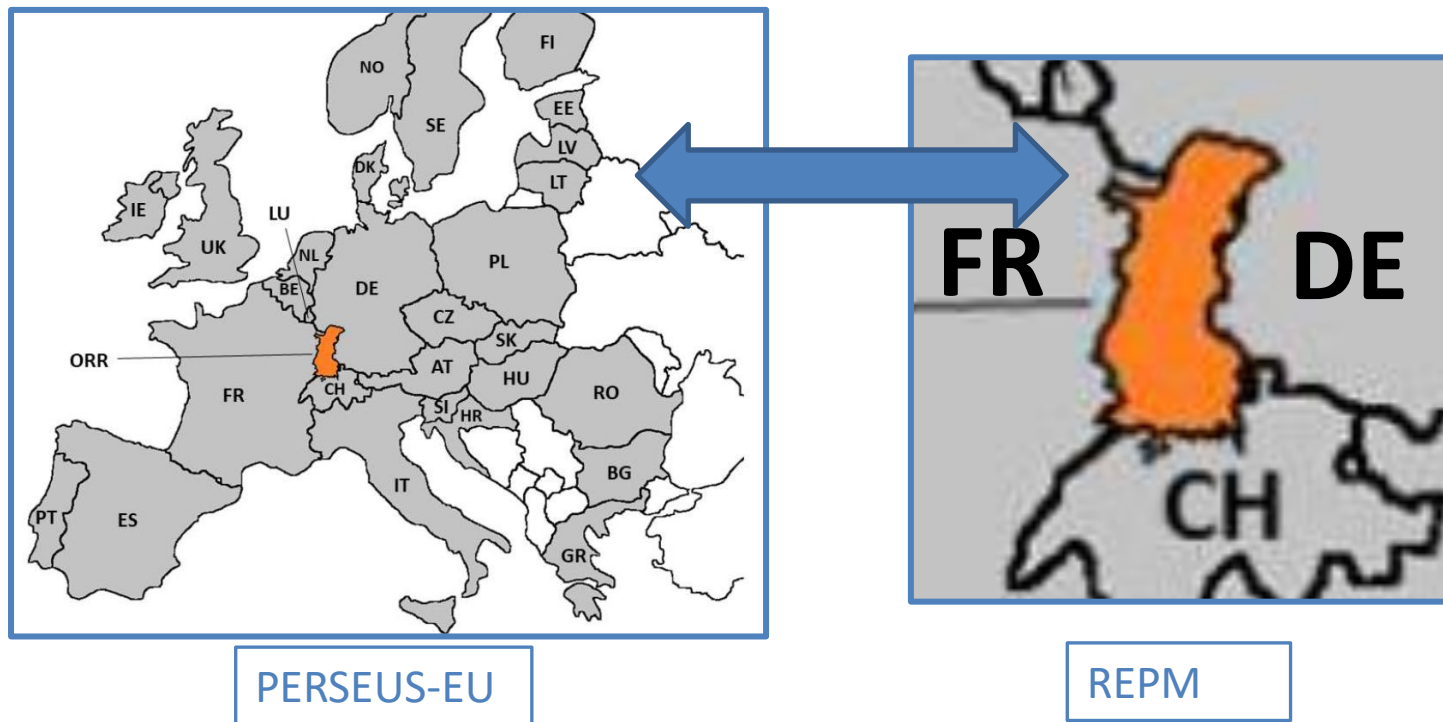
Ökonomische "Sterbelinie" der konventionellen Kapazitäten in der ORR (Eigene Darstellung)



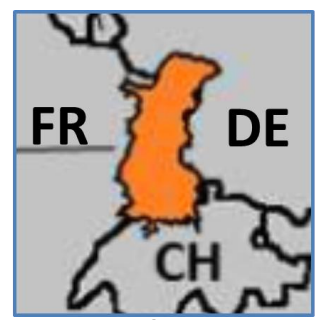
Ausgleich von erneuerbarer Stromerzeugung und Stromnachfrage

Zwei Perspektiven auf die ORR

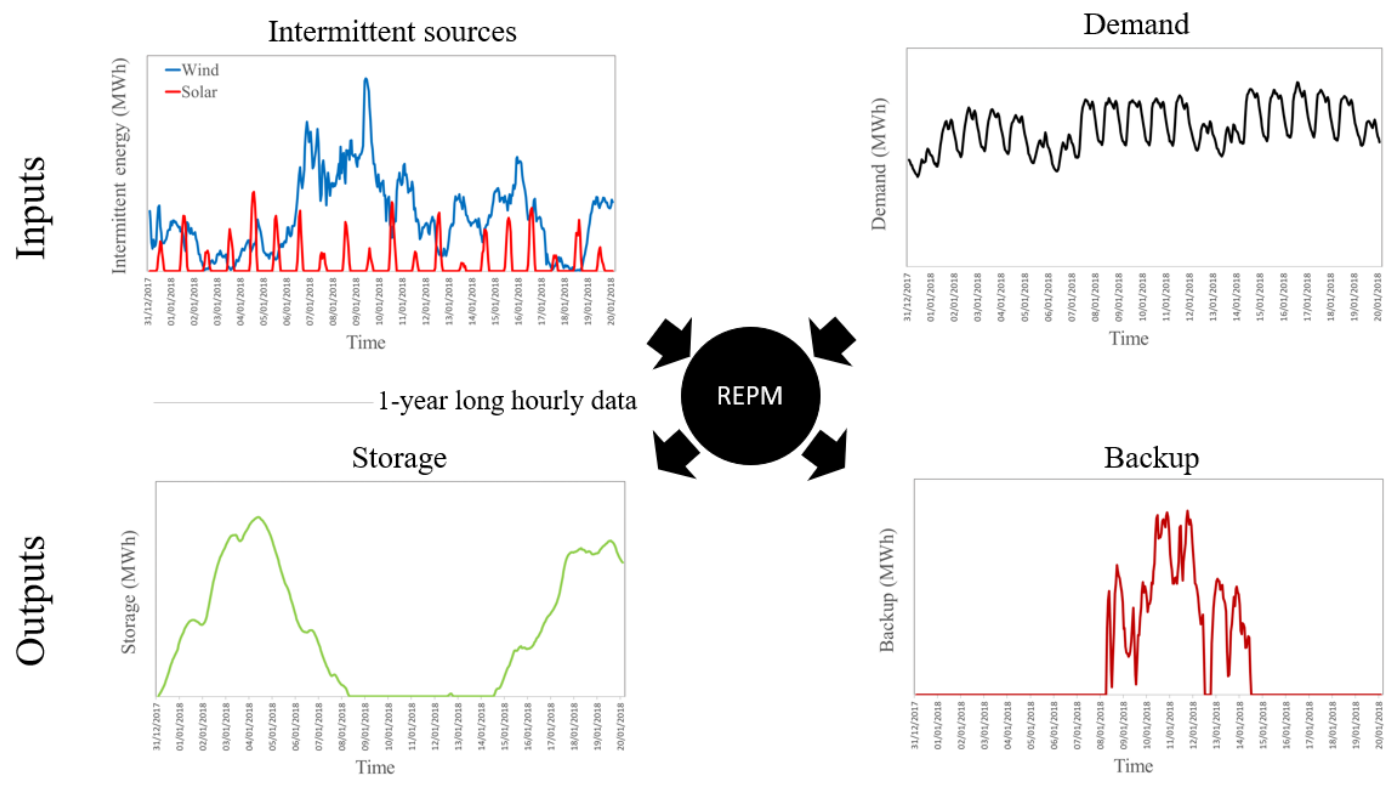
- Im Projekt RES-TMO werden verschiedene Perspektiven des Energiesystems der ORR eingenommen:
 - Regionale Perspektive: Wie können Erneuerbare genutzt werden, um die regionale Nachfrage auszugleichen?
 - Europäische Integration: Welchen Beitrag kann die Vernetzung des Europäischen Stromsystems leisten, um die Nachfrage in ORR nachhaltig und kosteneffizient zu decken?
- Dazu werden im Projekt RES-TMO zwei Energiesystemmodelle entwickelt



REPM



- Ausgleich von Stromerzeugung aus Erneuerbaren und der regionalen Nachfrage, um den Bedarf für Backup- und Speicherkapazität abzuschätzen



*Reference data for the scenario with 100% intermittent and 50% solar/wind.

Regional Energy Planning Model (REPM)



Mögliche Szenarien
 % Solar/Wind Repartition
 % of the demand erzeugt durch Erneuerbare

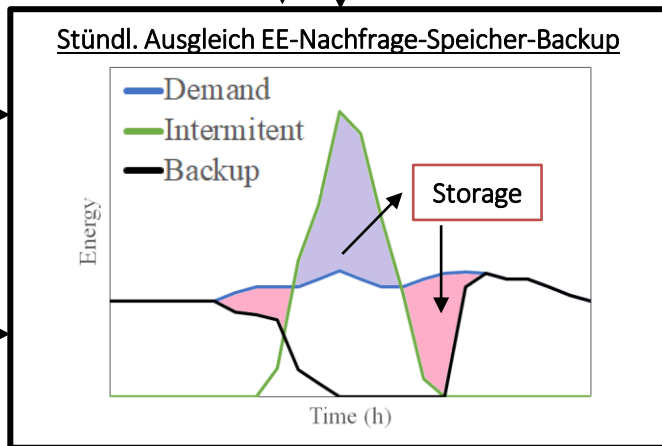
(Regionale) Einschränkungen:
 z.B. verfügbare Fläche, Akzeptanz, Politikmaßnahmen, oder Netzverluste



— Jährliche Zeitreihen mit stündlicher Auflösung —

(Regionale) Erneuerbaren **Potenziale – Stündliche Profile**
 Kapazitätsfaktoren

(Regionale) Strom**nachfrage** – Stündliche Profile



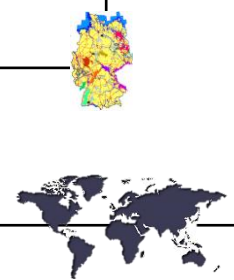
(Regionaler) **Speichereinsatz**

(Regionaler) **Backup-Einsatz**

Technologieauswahl
 Kosten

Konventionelles Backup

Ausgleich durch Stromaustausch mit Nachbarn



Das Energiesystem-Model PERSEUS-EU



Szenarioannahmen

Technologische Entwicklung der Stromproduktion

Erneuerbare Potentiale und Erzeugungsprofile

Energieträger- und CO₂-Preise

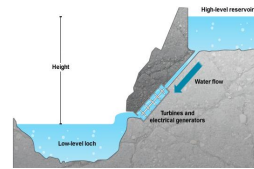
(Regionaler) Strombedarf

Politische Entwicklungen (z. B. Atomausstieg in Deutschland)

Bestehende Infrastruktur



Konventionelle Kraftwerke



Speicherkraftwerke



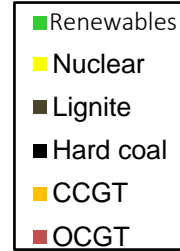
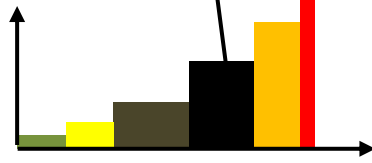
Übertragungsleitungen



Marktmodell

Minimierung der Aufwendungen zur Nachfragedeckung

Var. Kosten (€/MWh)



Verfügbare Kapazität (GW)

Ergebnisse

- Entwicklung der Erzeugungskapazitäten

- Bedarf Energieträger
- CO₂ Emissionen

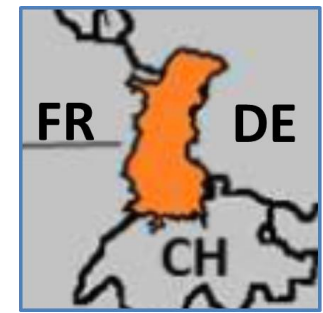
- Strompreise
- Gesamtsystemkosten

heute → 2050

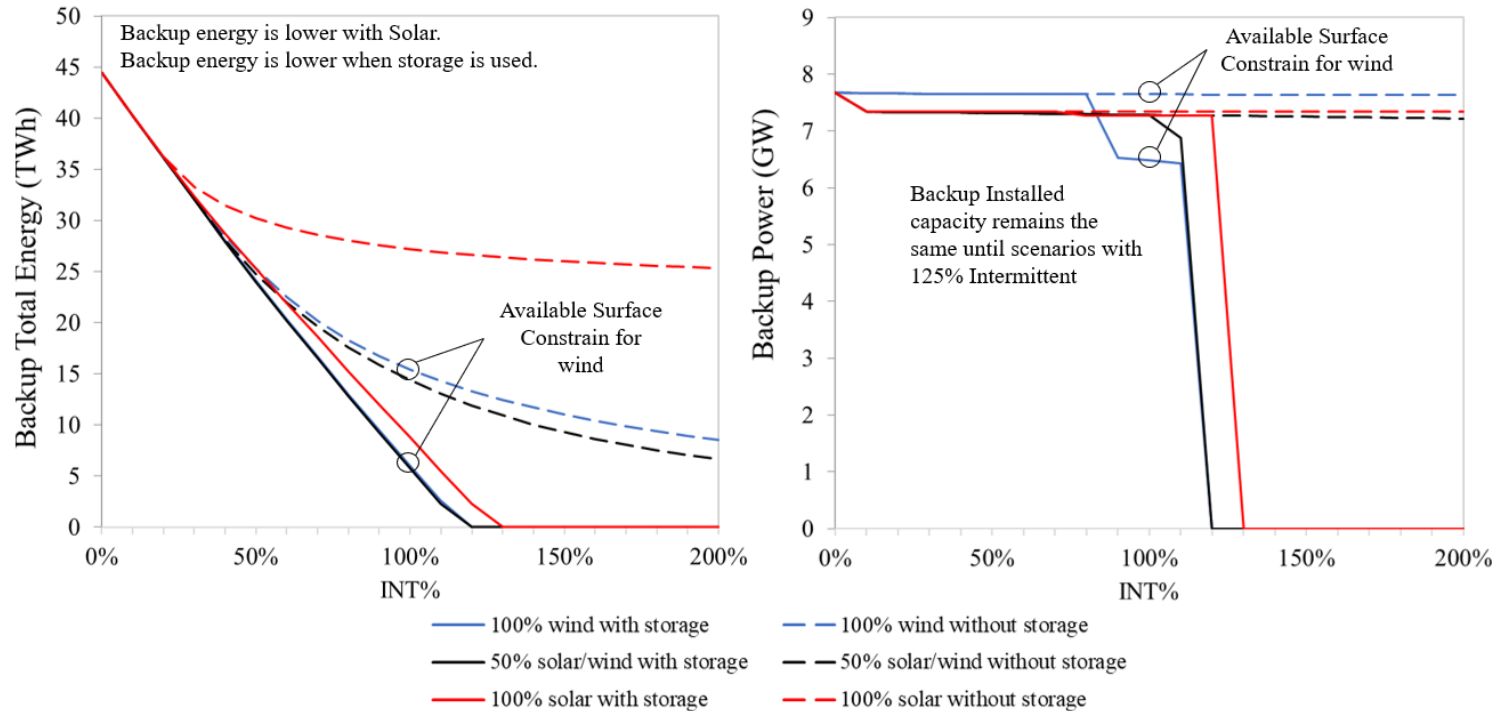




[Vorläufige] Ergebnisse



Bedarf für Backup-Energie in Abhängigkeit vom Anteil der Erneuerbaren im Energiesystem



- Mit der Hilfe von Stromspeichern kann der Bedarf für Backup-Energie auf Null gesenkt werden
- Ein hoher Anteil von Windenergie erscheint erstrebenswert, ist aber limitiert durch die verfügbare Fläche

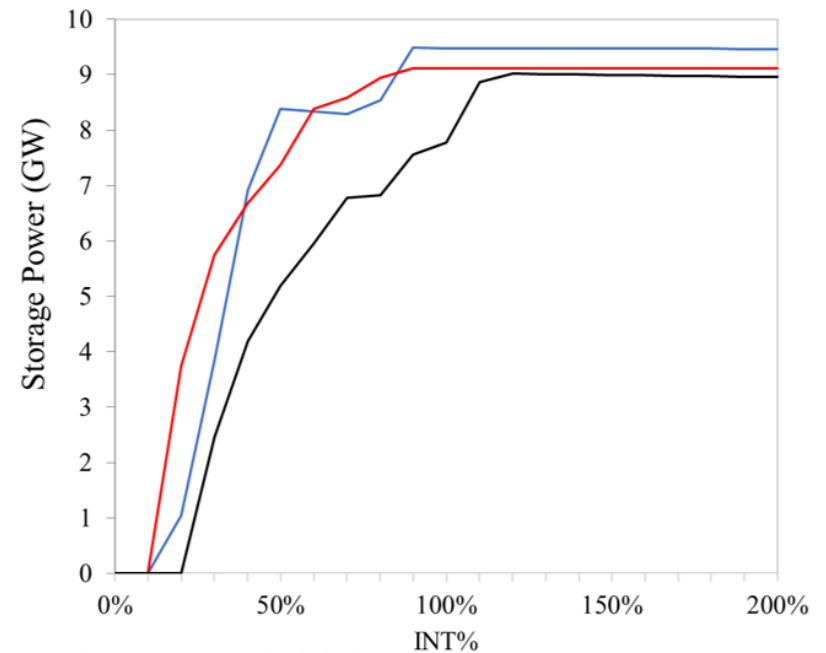
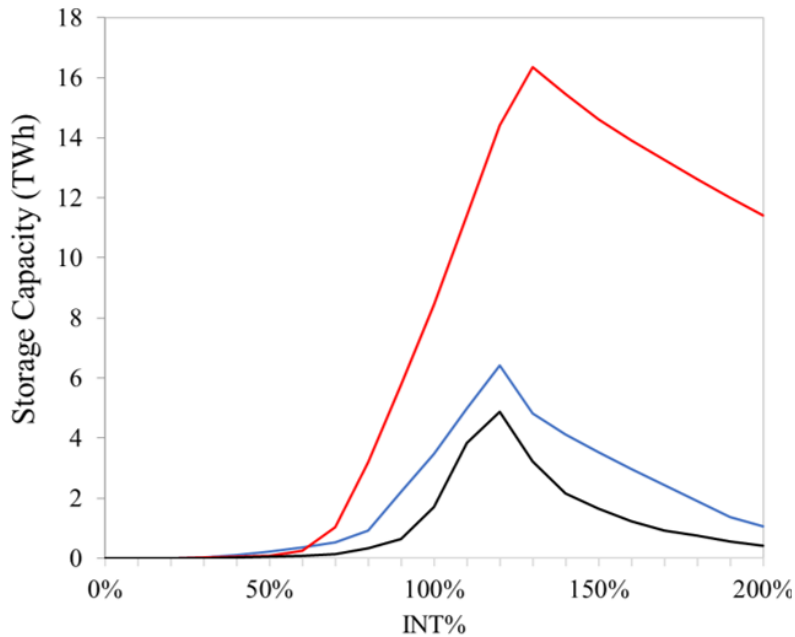
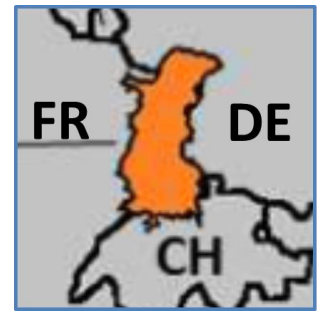


Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)

Dépasser les frontières : projet après projet
Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt



[Vorläufige] Ergebnisse



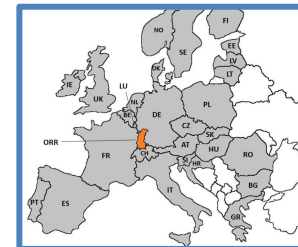
- Der **Bedarf für Stromspeicher ist hoch** aus regionaler Perspektive
- Zum Vergleich: In 2015 betrug die Stromnachfrage in ORR 40,6 TWh/a



Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)
Dépasser les frontières : projet après projet
Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt

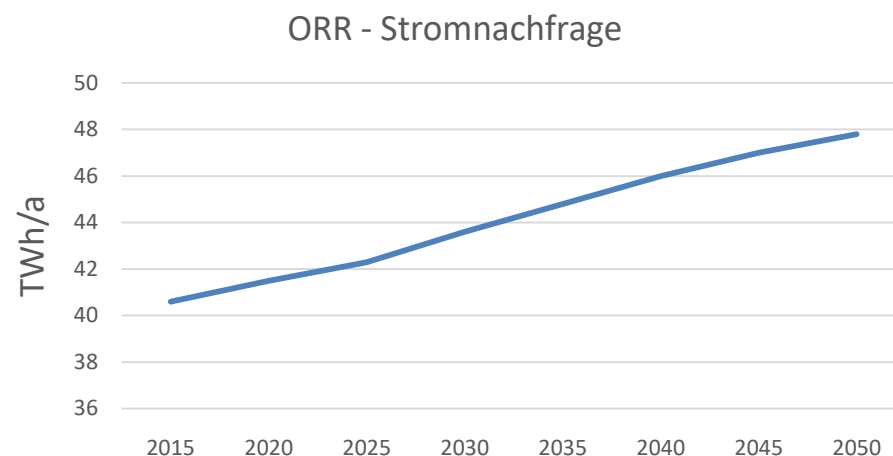


Szenarien für die langfristige Entwicklung des Energiesystems



Szenarien	[€/tCO ₂]	2020	2030	2040	2050
„LOW-CO ₂ -PRICE“		16	27	36	88
„HIGH-CO ₂ -PRICE“		18	90	125	160

- Szenariohorizont **2015-2050**
- Die langfristige Entwicklung ist abhängig von **regionaler und globaler wirtschaftlicher und politischer Entwicklung**
- Zielvorgabe: Deckung der europaweiten Nachfrage mit **mindestens 80% Erneuerbaren**



ORR	[TWh/a]	40,6	41,5	42,3	43,6	44,8	46,0	47,0	47,8
ORR-ch		10,1	10,3	10,5	11,0	11,6	12,0	12,2	12,2
ORR-de		18,1	18,4	18,9	19,4	19,5	19,6	19,9	20,1
ORR-fr		12,4	12,8	13,0	13,3	13,8	14,4	14,9	15,5



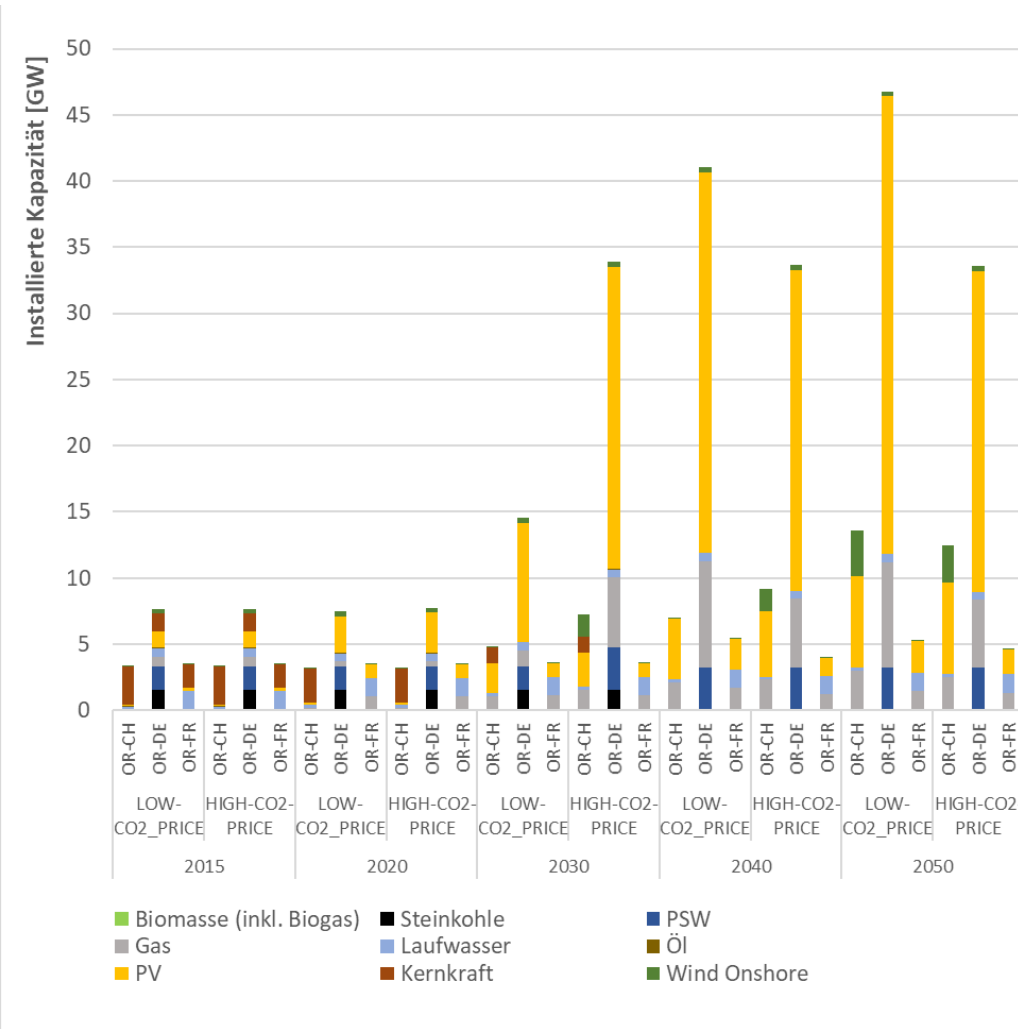
Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)
Dépasser les frontières : projet après projet
Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt



[Vorläufige] Ergebnisse



Installierte Kapazitäten in den drei Regionen der Oberrheinregion

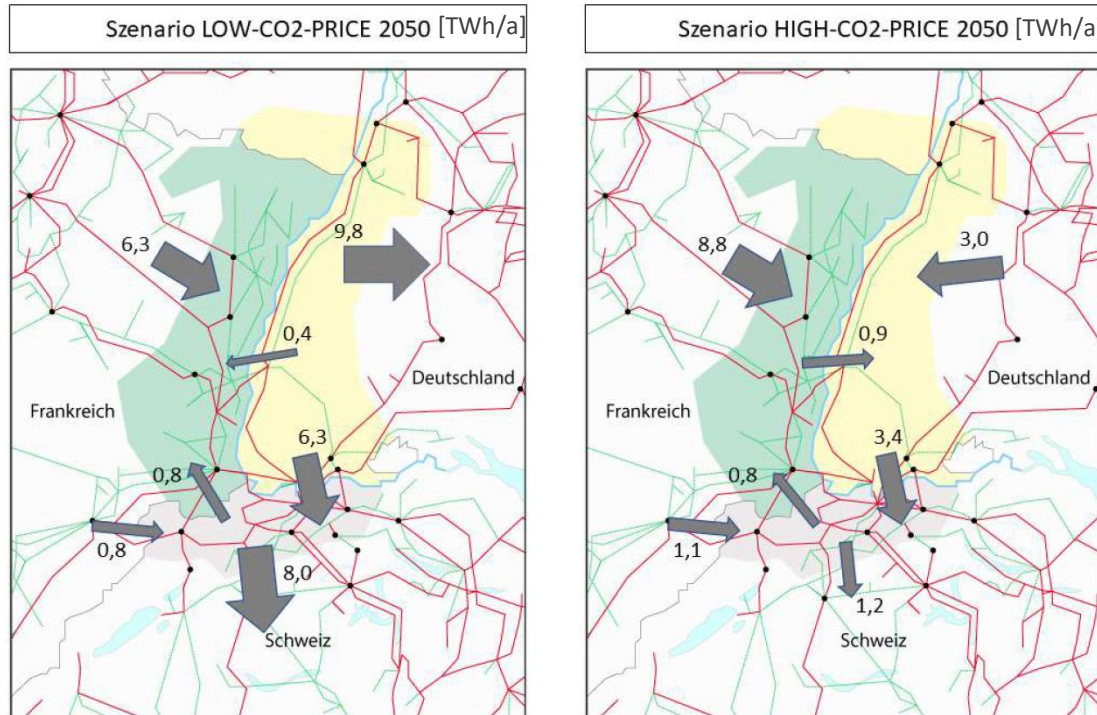


- Solare Erzeugungskapazitäten werden am stärksten entwickelt
- Windenergie spielt nur eine untergeordnete Rolle
- Größte Nachfrage in der ORR im deutschen Teil
- Nachfrage wird auch aus den angrenzenden Regionen gedeckt

[Vorläufige] Ergebnisse



Nettoaustauschflüsse der ORR mit Nachbarländern unter verschiedenen CO2-Preis-Szenarien



- Das Europäische Energiesystem ist eine wichtige Quelle für Elektrizität in der ORR
- Die ökonomische Effizienz von regionaler Autarkie ist abhängig von externen Entwicklungen
- CO2-Preis-Szenarien beeinflussen die Stromflüsse zwischen den Ländern

[Vorläufige] Ergebnisse

- Erste Ergebnisse deuten auf die **Wichtigkeit von Speichertechnologien**, um (fossile) Kapazitäten zu ersetzen
- Hypothese: Der **Speicherbedarf kann gesenkt werden** durch das EU-Energiesystem
- **Solarenergie ist kosteneffizient** in der ORR, allerdings wird **viel Speicher zum Ausgleich benötigt**
- Der “kostenoptimale” Strommix in der ORR **hängt von externen Faktoren ab**





Université
de Strasbourg



badenova
Energie. Tag für Tag



TRÄNSNET BW

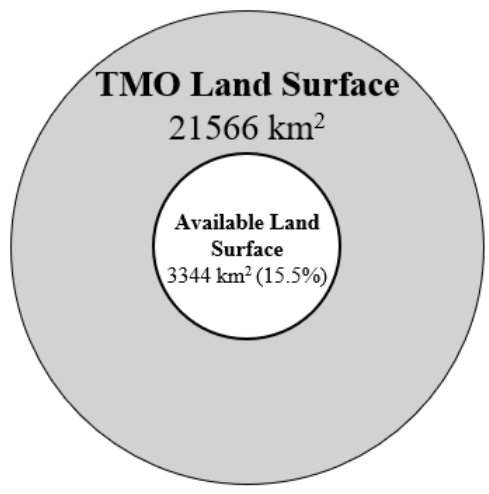
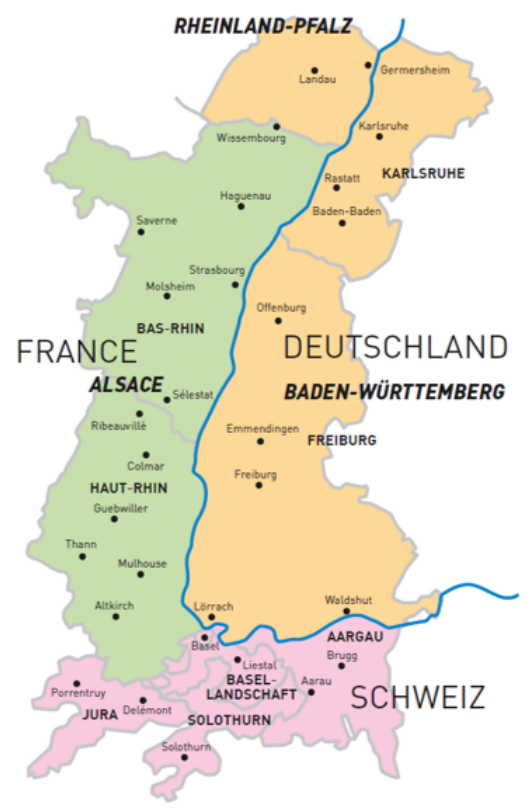


- Dankeschön / Merci



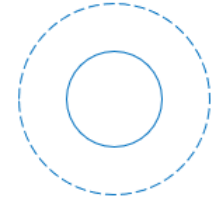
Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)
Dépasser les frontières : projet après projet
Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt





Land Surface required for 100% of the electric energy demand

Onshore Wind Turbines
 1042-3320 km²
 (4.84% - 15.42%)

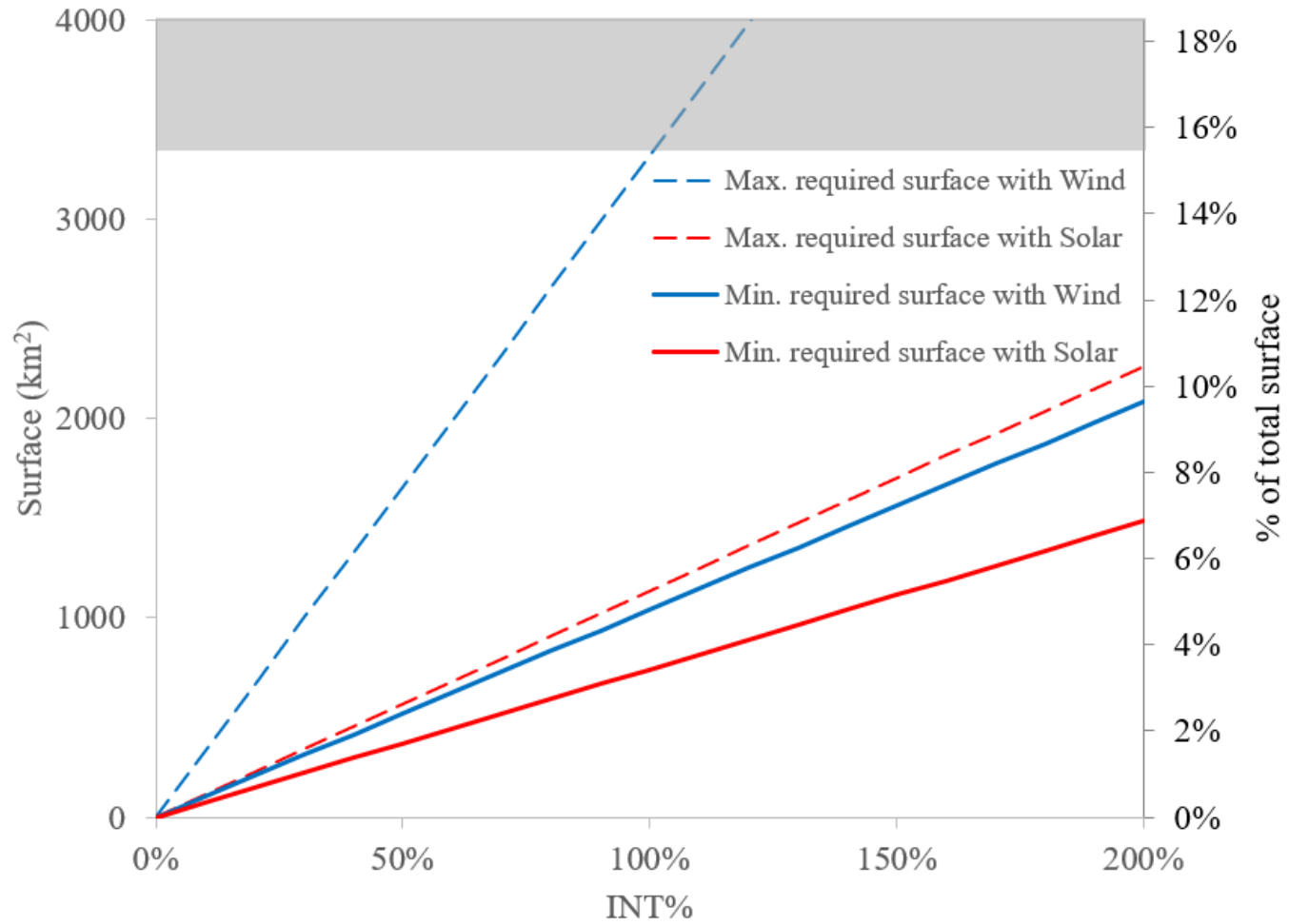


Utility Solar Photovoltaic
 742-1133 km²
 (3.45% - 5.26%)



Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
 Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)
 Dépasser les frontières : projet après projet
 Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt





Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)
 Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)
 Dépasser les frontières : projet après projet
 Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt

