

Kernenergie in Zeiten des Klimawandels: Nachteilige Auswirkungen oder begründete Hoffnung?

10. Wiener Nuklearsymposium, 20. September 2019

Nikolaus Müllner



Überblick

- Kernkraftwerke als Klimatechnologie
- CO₂ Emissionen von Kernkraftwerken
- Führt kein Weg an Kernenergie vorbei?
- Möglicher Beitrag der Kernenergie
- Problemfelder

KKWs als Klimatechnologie

- CO₂-neutrale Energiebereitstellung – ein zentrales Argument in der “nuklearen Renaissance”
- Vision – CO₂ freie Energiebereitstellung, KKWs im Verbund mit erneuerbaren Energietechnologien bis hin zu KKWs als Rückgrat der Strombereitstellung
- Oft verweis darauf, dass erneuerbare Energiequellen den Energiebedarf nicht decken können, und dass erneuerbare Energiequellen stark fluktuieren (Grundlast). Schlussfolgerung, ohne KKWs wird eine CO₂ neutrale Strombereitstellung nicht möglich sein
- In Europa: Druck von einigen Mitgliedstaaten, KKWs zumindest gleichwertig mit erneuerbaren Energietechnologien zu fördern („carbon neutral“ statt „renewable“).

CO₂ – Emissionen von KKWs

- Stark umstrittenes Thema
- Umfassende Analyse von Sovacool 2008
- Metaanalyse:
 - 103 Studien wurden erhoben
 - Studien vor 1997 wurden ausgeschlossen
 - kostenpflichtige Studien in anderen Sprachen als Englisch wurden ausgeschlossen
 - „nicht transparente“ Studien wurden ausgeschlossen
 - 19 Studien wurden in die Analyse einbezogen
- Über diese 19 Studien wurde gemittelt, jede Studie wurde gleich gewichtet
- Gesamter Lebenszyklus wurde betrachtet

CO₂ – Emissionen im KKW Lebenszyklus

- Frontend (Mining, Milling, Conversion, Enrichment, Fuel Fabrication)
- Construction (Material & Energy Input for the Facility)
- Operation (Energy for Maintenance, Cooling during Outage, DG, etc)
- Backend (Fuel Processing, Conditioning, Reprocessing, Interim & Final Storage)
- Decommissioning (Deconstruction of Facility & Mines, Land Restoration)

Ergebnisse Sovacool

Total 66 g CO₂eq / kWh

g CO ₂ eq / kWh	Frontend	Construction	Operation	Backend	Decommissioning	Total
Min	0,58	0,27	0,1	0,4	0,01	1,36
Max	118	35	40	40,75	54,5	288,25
Mean	25,09	8,20	11,58	9,2	12,01	66,08
N	17	19	9	15	13	

Kritik an Sovacool:

Ausschlusskriterien nicht nachvollziehbar

Anzahl der berücksichtigten Studien letztlich gering (19)

Drei der Studien von Storm van Leeuwen

Ergebnisse anderer Metastudien

World Nuclear Association, 2011

GHG emissions, in tonnes CO₂ eq/GWh

Technology	GHG emissions, in tonnes CO ₂ eq/GWh		
	Mean	Lower range	Upper range
Lignite	1 054	790	1 372
Coal	888	756	1 310
Oil	733	547	935
Natural gas	499	362	891
Solar PV	85	13	731
Biomass	45	10	101
Nuclear	29	2	130
Hydroelectric	26	2	237
Wind	26	6	124

Source: WNA, 2011.

Einfluss von Urangehalt im Erz

Wiberg 2009

Figure 2.2: CO₂ emissions for different fuel cycles for ore grade 0.01%

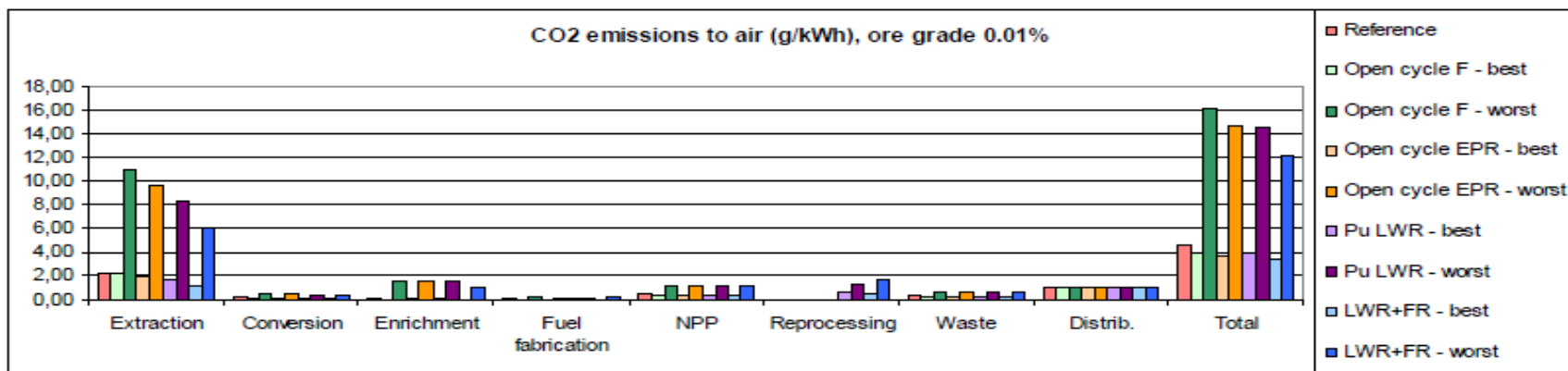
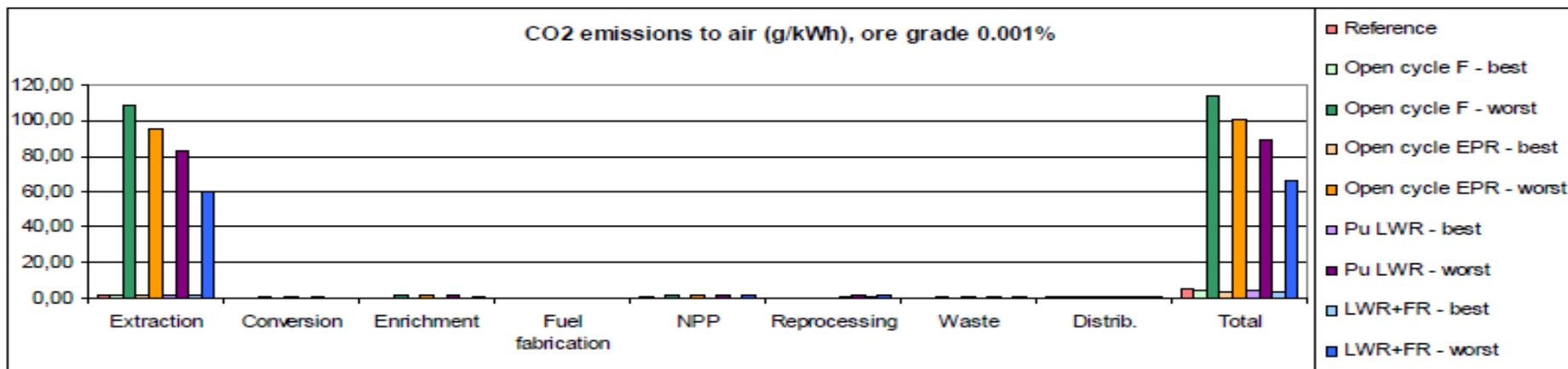


Figure 2.3: CO₂ emissions for different fuel cycles for ore grade 0.001%



Kann der Energiebedarf der Welt ohne Kernenergie CO₂-neutral gedeckt werden?

- Annahmen, um die Frage zu beantworten
 - Entwicklung der Weltbevölkerung
 - Entwicklung der Weltwirtschaft
 - Entwicklung des Weltenergiebedarfs
 - Energieintensität der Wirtschaft
 - Verkehr
 - Energietechnologien

- Energy Outlook der IEA
 - Szenarien reflektieren verschiedene Policies

Kann der Energiebedarf der Welt ohne Kernenergie CO₂-neutral gedeckt werden?

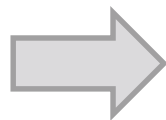
- Global Energy Assessment
- Koordination IIASA
- Report 2012
- Normativer Ansatz – Klimaziele müssen bis 2050 erreicht sein, welche Pfade führen dort hin?

Energiebedarf

Niedrig (GEA-Efficiency)

Mittel (GEA-Mix)

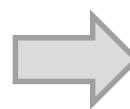
Hoch (GEA-Supply)



Transport

Conventional

Advanced



Energiebereitstellung

Unrestricted

No Nuclear

No BioCCS

No Sinks

Limited Bio-energy

Limited Renewables

No CCS

No Nuclear & no CCS

Lim. Bio-energy & Renewables

No BioCCS, Sinks, lim. Bio-energy

2x3x10=60 Pathways zu evaluieren

Kann der Energiebedarf der Welt ohne Kernenergie CO2-neutral gedeckt werden?

- Laut GEA, ja – Kernenergie muss selbst in „Supply“ nicht genutzt werden:

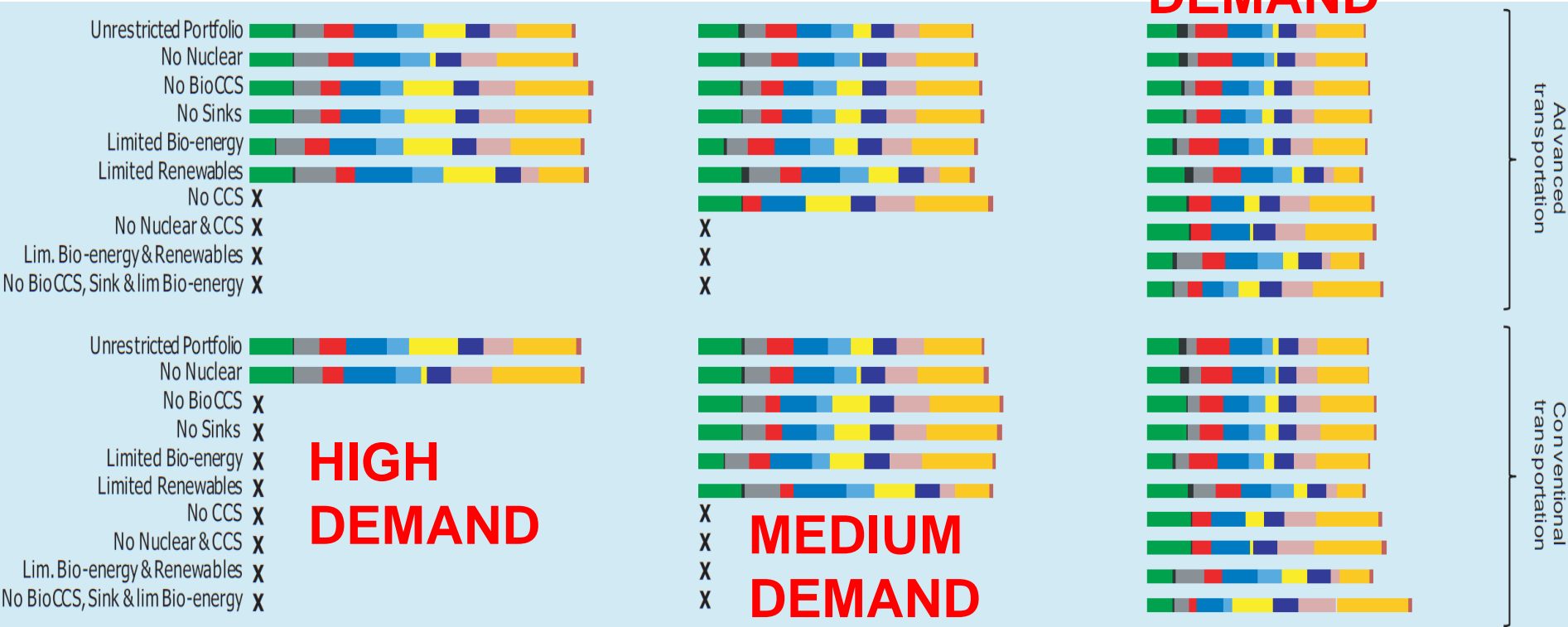
LOW DEMAND

HIGH DEMAND

MEDIUM DEMAND

Advanced transportation

Conventional transportation



Kernenergie ist also keine notwendige Bedingung, sondern eine Option – welchen Beitrag könnte sie leisten?

	IAEA low	IAEA high
Total generated electricity (TWh)	43300	49500
Nuclear generated electricity (TWh)	4100	6900
Nuclear share of electricity production	9.8 %	13.8 %
CO2 intensity of electricity generation (g CO2 eq. / kWh)	530	530
Nuclear CO2 prevention potential for the year 2035 (Gt CO2 eq.)	2.17	3.66
Extrapolated total emissions in the year 2035 (Gt CO2 eq.)	71.5	71.5
Nuclear share of “prevented” emissions	<u>3.0 %</u>	<u>5.1 %</u>

Nach IAEA-Szenarien für Ausbau würde die Kernenergie 3%, bzw 5% Emissionen einsparen (verglichen mit Energie-Mix)

Wie wäre es bei einem Expansionszenario?

- Verzehnfachung der installierten Leistung bis 2035 auf 4000 GWe
- Annahme: KKWs ersetzen keinen Energie-Mix, sondern Kohlekraftwerke

Fossil fuels substituted by nuclear in 2035 (TWh)	26800
CO2 intensity of electricity generation (g CO2 eq. / kWh)	750
Nuclear CO2 prevention potential for the year 2035 (Gt CO2 eq.)	20.1
Extrapolated total emissions in the year 2035 (Gt CO2 eq.)	71.5
Nuclear share of “prevented” emissions	<u>28.1 %</u>

Nicht die Lösung, aber signifikanter Beitrag?

- Grundsätzlich ja, aber:
- 4000 GWe bis 2035 – 4000 Neuanlagen (alte müssen ersetzt werden), bedeutet mehr als 200 pro Jahr
- Uranressourcen werden zum Problem – Brennstoffkreislauf muss geschlossen werden (schnelle Brüter)
- Forschungsbedarf für „schnelle Reaktoren“ bis zum Einsatz ~20 Jahren

Realistisches Szenario – Einsparungen von 3% - 5%

- Allerdings kommt die Nutzung mit Problemen:
 - Risiko eines schweren Unfalls
 - Endlagerung und Rückbau
 - Proliferation
- Weiteres Problem – Zusammenspiel mit Erneuerbaren
 - Erneuerbare sind intermittierend
 - On/Off oder Speichertechnologie wäre ergänzend
 - KKW's schwierig im Lastfolgebetrieb
- Lange Lebensdauer und extrem hohe Errichtungskosten – „lock in“

Zusammenfassung

- KKWs haben derzeit, über ihren Lebenszyklus, niedrige CO₂ Emissionen / kWh
- Ihr Bau könnte aber energetisch fragwürdig sein, wenn der Urangehalt im Erz sehr niedrig ist (Energy-Payback time)
- Ein massiver Ausbau würde, aus Ressourcengründen, einen geschlossenen Brennstoffkreislauf erfordern und käme für die Energiewende nicht rechtzeitig
- Realistisch könnte die Kernenergie 3-5 % der THG-Emissionen verhindern
- Allerdings nimmt man dafür das Risiko katastrophaler Unfälle, die Probleme mit der Endlagerung und Proliferationsrisiken in Kauf.