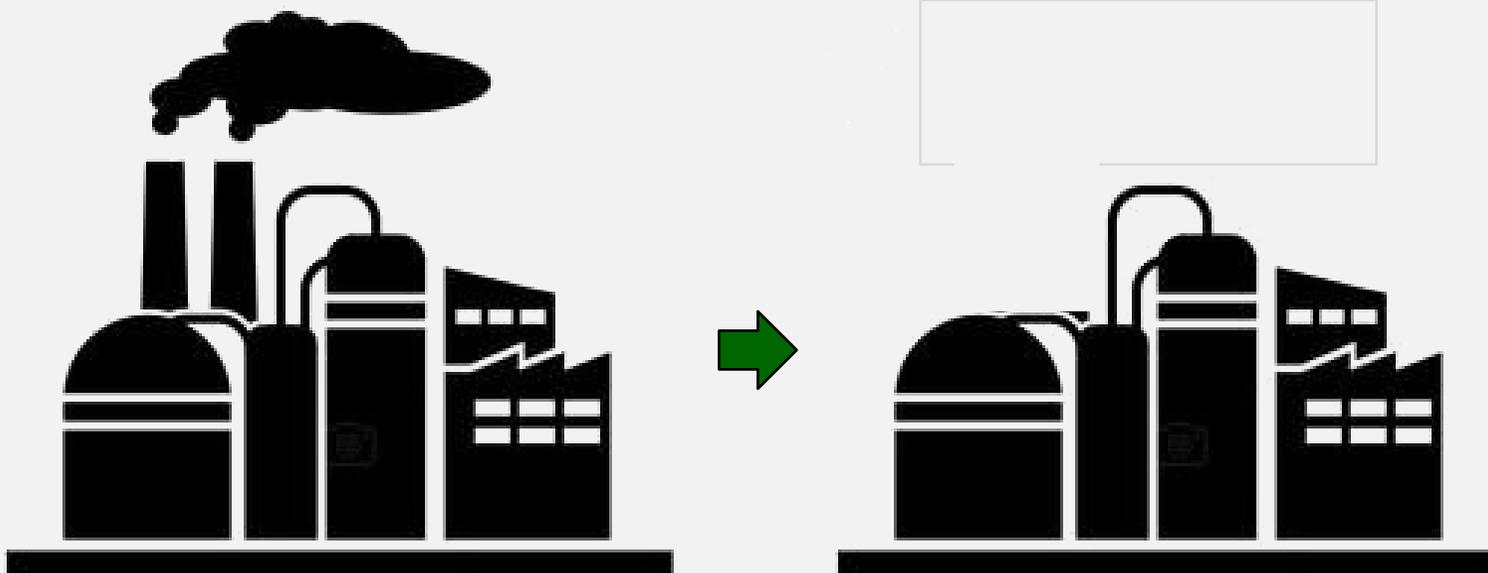


# Klimaschutz - Energiewende 2.0

## Klimaneutrale Grundstoff-Industrie



Stand FV06 vom 16.08.2025



# Agenda

- Einführung
- Endenergieverbrauch, Bestand 2020
- Technologische Handlungsoptionen zur Klimaneutralität
- Drei Grundstoff-Branchen mit besonderer Relevanz: Chemie, Stahl, Zement
- Energiebilanz, Endenergiebedarf
- Energiepotenziale für die Transformation in der Grundstoff-Industrie
- Fazit



- Um die Transformation zur Klimaneutralität in der Grundstoff-Industrie zu erreichen, sind zum Teil erhebliche Veränderungen bei den verschiedenen verfahrenstechnischen Prozessen erforderlich. Davon abgeleitet wird sich zum Teil die notwendige zusätzliche Energie deutlich erhöhen.
- Das ISE e.V.-Konzept-Team hat deshalb den energetischen Anteil für die klimaneutrale Grundstoff-Industrie in diesem eigenen Abschnitt behandelt und den Energiebedarf (513 TWh) gesondert ausgewiesen.

Basis sind folgende Studien:

- BBG und Partner, Fraunhofer FfE etc. 2020: „Energiewende in der Industrie, Dekarbonisierungsmaßnahmen in den Fokus-Branchen“
- Agora, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie 2019: „Klimaneutrale Industrie, Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement“
- FutureCamp Climate , DECHEMA 2019: „ROADMAP CHEMIE 2050: Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie“ (auch VCI-Studie genannt) aus dem Jahr 2019



# Klimaneutrale Industrie

## Endenergieverbrauch/a, Bestand in 2019

		Chemie	Stahl	Papier	Nahrung	Zement/ Kalk	Glas	NE- Metalle	Keramik	Summen
<b>Gesamtenergieverbrauch</b>	<b>TWh/a</b>	<b>171,2</b>	<b>166,8</b>	<b>65,7</b>	<b>57,64</b>	<b>38,7</b>	<b>18,53</b>	<b>18,2</b>	<b>11,4</b>	<b>548,17</b>
Stromverbrauch	TWh/a	51,4	25,3	18,8	16,11	4,5	3,99	10,4	1,4	131,9
(Erd-)Gasverbrauch	TWh/a	56,9	20,8	27,7		1,1	13,51	4,2	8,6	
Heizölverbrauch	TWh/a						0,77			
Mineralölverbrauch	TWh/a			0,176						
Erdölverbrauch	TWh/a	14,8				0,7		0,26		
Biomasseverbrauch	TWh/a			13,7						
Kohleverbrauch	TWh/a	11,3	133	4,8		14,8				
Brennstoffverbrauch	TWh/a							7,8		
Thermischer Energieverbrauch	TWh/a					34,2			10	
<b>Gesamtemissionen</b>	<b>Mio. t CO<sub>2</sub></b>	<b>26,4</b>	<b>59</b>	<b>7,2</b>	<b>8,9</b>	<b>27,7</b>	<b>4,88</b>	<b>8,8</b>	<b>3,36</b>	<b>146,24</b>
		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	

Quelle: x) Quellenliste

Heute bestimmen fossile Stoffe die verfahrenstechnischen Prozesse

# Klimaneutralität in den Grundstoff-Branchen, technologische Handlungsoptionen



Branche	Subbranche	Status Quo	Elektrifizierung	Synthetisch	H <sub>2</sub>	Bio	CCS / CCU	Sonstige
Glas	Behälter- und Flachglas	Reg. U-Flammenwanne Reg. Querbrennerwanne	Vollelek. Schmelzwanne	Synthet. Methan			Oxy-Fuel-Schmelzwanne	
Papier	Papier-herstellung	Fossiler Brennstoffkessel	Wärmepumpen					
			Elek. Dampferzeugung					Brennstoffwechsel zu Biomasse / Biogas
			Prozesselek.					
Chemie	HVC	Dampfspalter	Elektro-Cracker	MTO		Bionaphtha Bioethylen	Dampfspalter mit CCS	
	Ammoniak	Dampfreformierung mit Methan			Wasserelektrolyse	Dampfreformierung mit Biomethan	Dampfreformierung mit CCS	Methanpyrolyse
NE-Metalle	Aluminium	Bayer und Hall- Héroult Prozess						Sekundärroute In. Anoden & benetzte Kathoden
	Kupfer	Primärroute						Sekundärroute
	Gießerei	Fossil befeuerter Ofen	Elektroofen					
Zement	Zement-herstellung	Klinker aus dem Drehofen					CCS Oxyfuel neu	Innov. Bindemittel
							CCS Oxyfuel Nach.	Flugasche
							CCS – Absorptionst.	Granuliert. Schlacke
Nahrung	Milch-verarbeitung	Erwärmung mit Brennstoff	Industriewärmepumpe Mikrowelle					
	Backwaren-herstellung	Erwärmung mit Brennstoff	Industriewärmepumpe Mikrowelle					
Stahl	Stahlherstellung	Primärstahlerzeugung			Direktreduktion mit Wasserstoff	Direktreduktion mit Biogas	z.B. Hisarna, Carbon2Chem, Steelanol	Gichtgasrückf. Stahlrecycling

Quelle: 9) BMWi 2020, Energiewende in der Industrie .

Unterschiedliche Handlungsoptionen beim stofflichen Transformationsprozess



# Drei Grundstoff-Branchen mit besonderer Relevanz Chemie, Stahl, Zement

Im ISE e.V.-Konzept „Klimaschutz – Energiewende 2.0“ werden nur 3 Grundstoff-Branchen mit besonderer Relevanz betrachtet (**Chemie, Stahl und Zement**) weil hier z.T. enorme zusätzliche Energie gegenüber der im Kapitel „Energieerzeugung“ enthaltenen Energiezahlen benötigt werden. Alle weiteren Grundstoff-Branchen sind energetisch bereits im Kapitel „Energieerzeugung“ berücksichtigt.

## Chemie

In der Studie „ROADMAP CHEMIE 2050: Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie“ (auch VCI-Studie genannt) aus dem Jahr 2019 werden 3 Technologieoptionen behandelt: Pfad 1: **Referenzpfad**; Pfad 2: **Technologiepfad**; Pfad 3: Pfad **Treibhausgasneutralität**.

Da wir als ISE e.V. in unserer Zieldefinition Klimaneutralität bis 2040 festgelegt haben, werden im Weiteren die Zahlen vom Pfad 3 verwendet. Allerdings erwarten wir von der Chemie, dass sie ihre Ziele von 2050 auf 2040 vorzieht! Bei diesem Pfad wird enorme zusätzliche Energie gegenüber dem Kapitel „Energieerzeugung“ benötigt!

## Stahl

Hier gibt es bei der Transformation zur Klimaneutralität neben der Direktreduktion mit Wasserstoff und anderen Verfahren auch die Elektrolyse nach dem Molten Oxide Electrolysis/ Boston Metal Verfahren.

## Zement

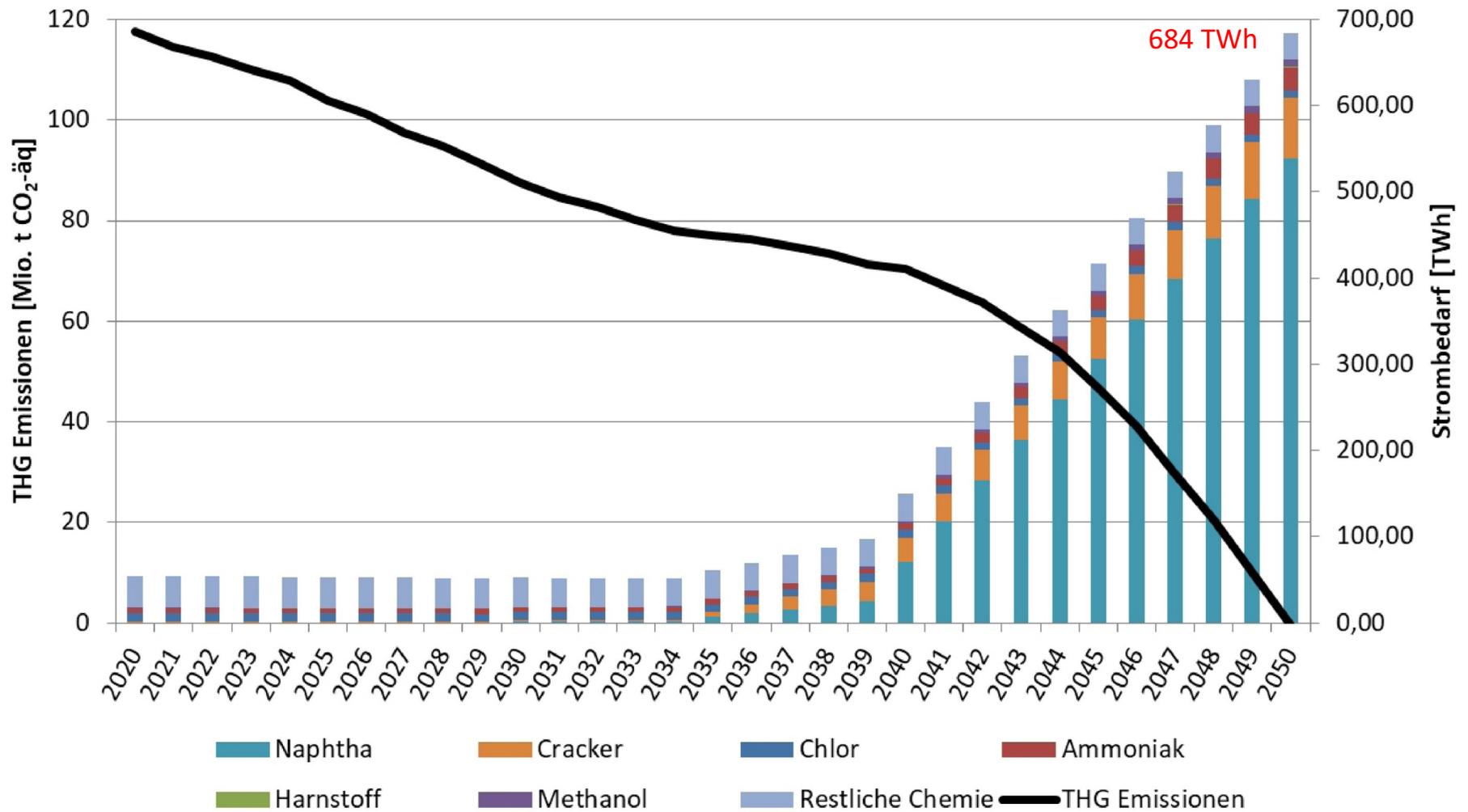
Nach den vorliegenden Studien bleibt nur die Möglichkeit das im verfahrenstechnischen Prozess entstehende CO<sub>2</sub> mit CCS/CCU-Verfahren klimaneutral zu machen. Dabei wird zusätzliche Energie benötigt.

**Der stoffliche Transformationsprozess wirkt sich unterschiedlich stark in den Branchen aus!**



# Chemie: VCI-Studie, Pfad 3 „Klimaneutralität“

## Strombedarf nach Produkt bzw. Prozess

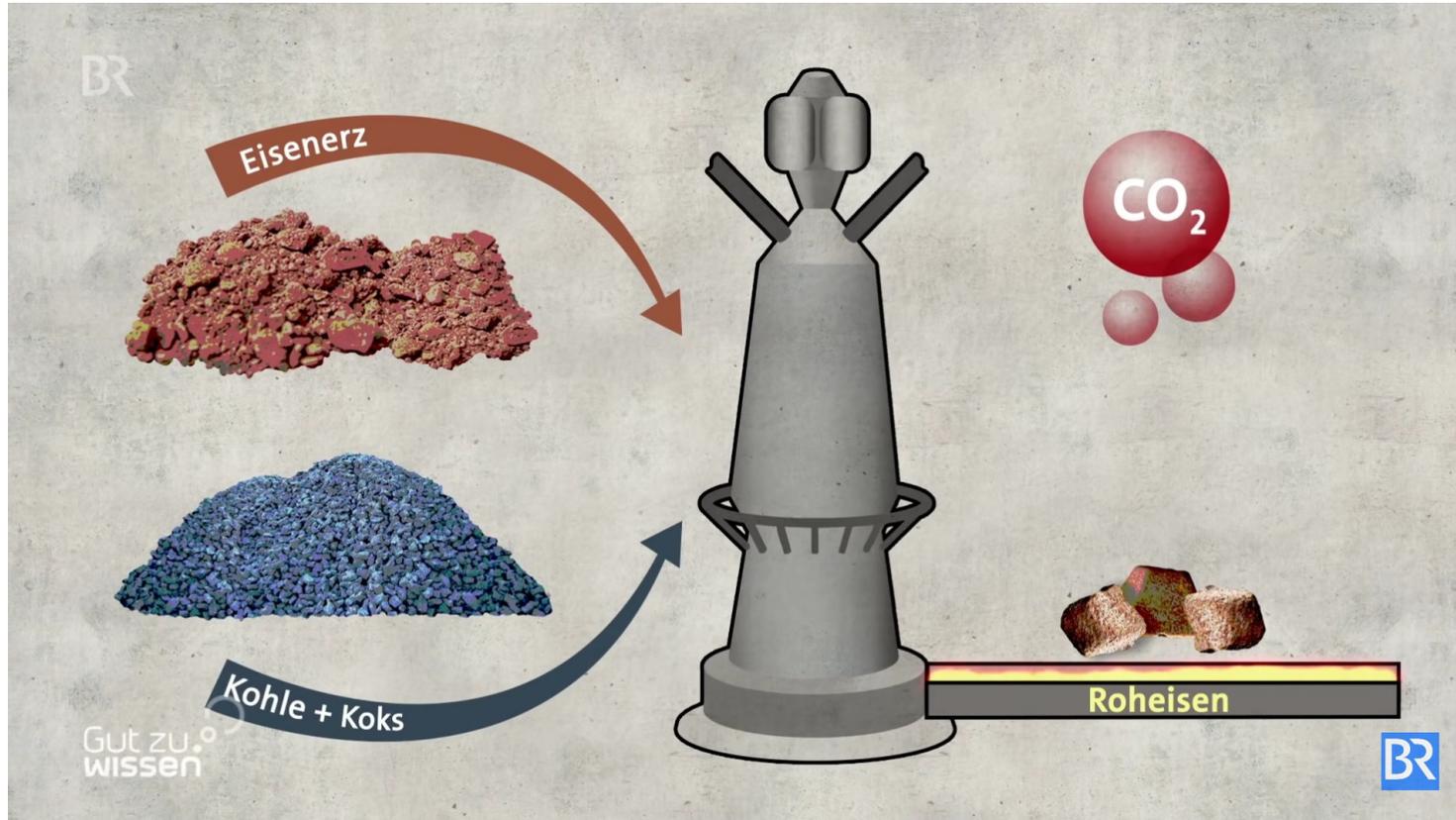


Quelle: 10) VCI-Studie Pfad 3

Klimaneutralität ist sehr gut, aber bitte schon 2040!

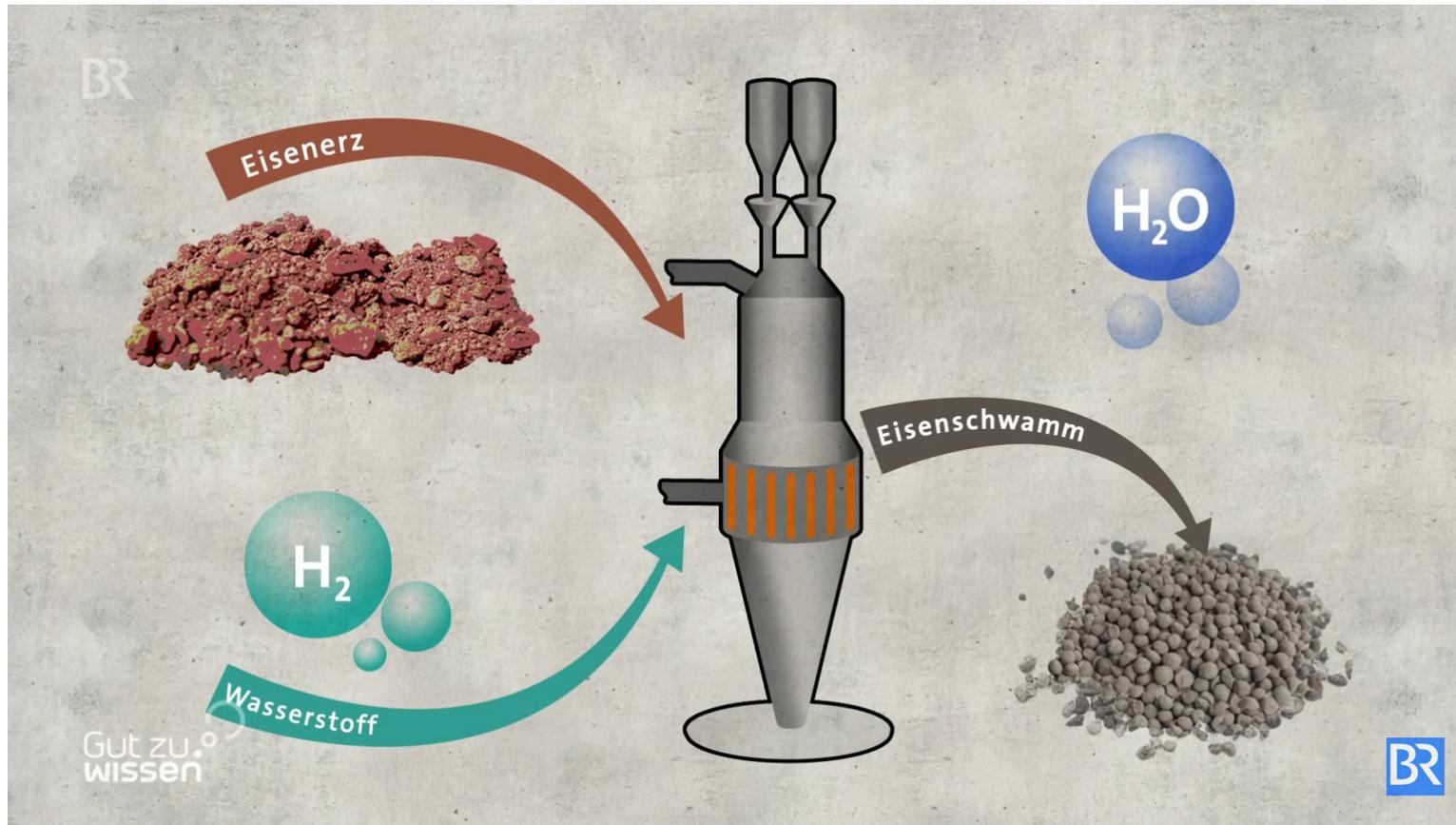
# Stahl

## Eisenelektrolyse und Einschmelzen im Elektrolichtbogenofen



Quelle: Bayrischer Rundfunk

???



Quelle: Bayrischer Rundfunk

???



### **Verfahren**<sup>11)</sup>

„Bei der (alkalischen) Eisenelektrolyse werden Eisenerze bei einer Temperatur von 110 °C in einer Natronlauge zu Eisen reduziert und anschließend im Lichtbogenofen zu Rohstahl geschmolzen. Auf ein kohlenstoffhaltiges Reduktionsmittel kann verzichtet werden. Das Verfahren verspricht somit eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz gegenüber der Hochofenroute und könnte bei der ausschließlichen Nutzung von erneuerbarem Strom prinzipiell CO<sub>2</sub>-frei sein.“

### **Strombedarf**<sup>12)</sup>

„Der Strombedarf für die Herstellung von Stahl mittels des ULCOWIN-Prozesses beträgt rund 2,9 MWh pro Tonne (abgeleitet aus Lavelaine de Maubeuge et al. 2016).<sup>7</sup> Dies entspricht in etwa dem 7-fachen Strombedarf der konventionellen Primärstahlherstellung über die Hochofen-Konverter-Route. Der Strombedarf entsteht hauptsächlich (zu gut 80 %) durch den elektrolytischen Reduktionsprozess. Der restliche Strombedarf ist im Wesentlichen auf den Schmelzprozess zurückzuführen. **Würden 50 % (100 %) der in Deutschland über die Hochofenroute laufenden Stahlproduktion des Jahres 2017 in Höhe von 29,5 Mio. t mittels des ULCOWIN-Verfahrens hergestellt, so würde dadurch ein zusätzlicher Elektrizitätsbedarf von 43 TWh (85 TWh) entstehen.** Für den Referenzfall der Hochofenroute wurde dabei angenommen, dass kein Nettostrombedarf vorliegt, da sich die Hochofenroute über die Kuppelgasnutzung in den Kraftwerken selbst versorgen kann.“

Der zusätzliche Endenergiebedarf ist durch den Wegfall fossiler Energien bei der stofflichen Transformation im Einsparpotenzial des Endenergieverbrauchsektors „Industrie“ enthalten.

Quelle: x) Quellenliste

Der neue Prozess spart eine Menge fossiler Energie ein!



### **Verfahren** <sup>13)</sup>

*Das Oxyfuel-Verfahren ist ein Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung, für das der Zementklinkerbrennprozess mit einem Gemisch aus Sauerstoff und wieder aufbereitetem CO<sub>2</sub> anstelle von Luft durchgeführt wird. Dies erleichtert die Abscheidung des CO<sub>2</sub> aus dem Abgasstrom und ermöglicht in der Praxis eine Abscheidung von ca. 90 % der gesamten Emissionen. Das CO<sub>2</sub> müsste anschließend über eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur z.B. Pipelines oder an flussnahen Standorten von Binnenschiffen, abtransportiert werden und könnte schließlich an geeigneten Speicherorten (z.B. leere Ölfelder in der Nordsee) verpresst werden.*

### **Strombedarf** <sup>14)</sup>

*Der Strombedarf für die Herstellung von Zement mittels Oxyfuel-Verfahren beträgt circa 0,25 MWh/t Zement (CEMCAP 2019). Dies entspricht in etwa dem 2,5-fachen Strombedarf der konventionellen Zementherstellung ohne CCS. Der zusätzliche Strombedarf entsteht hauptsächlich durch die Bereitstellung von Sauerstoff mittels einer Luftzerlegungsanlage (circa 35%) und den Betrieb der Carbon-Capture-Anlage und der Kühlung und Verdichtung des CO<sub>2</sub> für den Abtransport per Schiff (circa 65 %). Würden 50 % der deutschen Zementproduktion des Jahres 2017 (insgesamt 34 Mio. t; VDZ 2019) mittels des Oxyfuel-Verfahrens hergestellt, so würde dadurch ein zusätzlicher Strombedarf von circa 2,5 TWh entstehen.*

**Der zusätzliche Endenergiebedarf ist durch den Wegfall fossiler Energien bei der stofflichen Transformation im Einsparpotenzial des Endenergieverbrauchsektors „Industrie“ enthalten.**

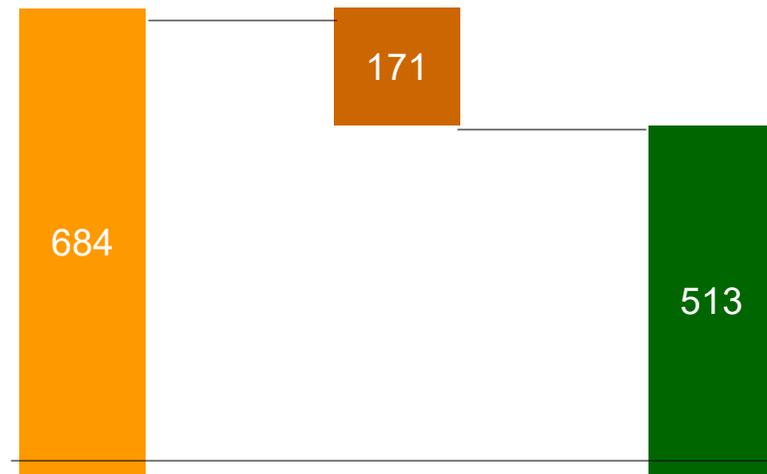
Quelle: x) Quellenliste

**Bei der Zementherstellung wird weiterhin CO<sub>2</sub> entstehen, das aber gespeichert werden soll!**



# Energiebilanz, zusätzlicher Endenergiebedarf für die stoffliche Transformation in der Chemie

	Strombedarf Pfad 3	Bestand 2019	Bedarf 2040
TWh/a	684	171	513



Für RLP werden ca. 30 TWh/a  
Angenommen. Davon benötigt  
die BASF ca. 20 bis 25 TWh/a

1)

Quelle: x) Quellenliste

Die zusätzlich notwendige Energie bei der stofflichen Transformation erhöht den Gesamtenergiebedarf von 2000 TWh/a um ca.  $\frac{1}{4}$  auf 2500 TWh!



# Energiepotenziale für die Energieversorgung in der Grundstoff-Industrie

Den zusätzlichen Endenergiebedarf von 513 TWh/a gegenüber dem im Kapitel „Energieerzeug“ soll mit folgenden Potenzialen gedeckt werden (vorzugsweise mit dem Modell des PPA):

- PV
- Flächenkulisse bei Wind-on-/offshore erweitern
- floating-offshore-Wind (Nezzy<sup>2</sup>) auf hoher See (außerhalb der Hoheitsgewässer)

Es gibt noch genügend EE-Potenziale!



- Der Bestand des Gesamtverbrauchs von fossilen Brennstoffen zeigt auf, dass er sowohl für die stoffliche Verwertung als auch für die Energiebereitstellung verwendet wird.
- Bei der Chemie erfordert die stoffliche Transformation einen beachtlichen zusätzlichen Strombedarf (513 TWh/a)
- Bei Stahl und Zement wird der zusätzliche Strombedarf durch die verfahrenstechnische Prozessumstellung bei weitem durch die Einsparung fossiler Brennstoffe kompensiert!
- Der zusätzliche Energiebedarf für die stoffliche Transformation (513 TWh/a) bei der Grundstoff-Industrie muss mit den Potenzialen aus PV und Wind-offshore gedeckt werden. Hier kommt das Modell des „Power Purchase Agreements (PPA)“ zum Einsatz .



# Quellen (1)

Nr.	Quelle
1	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Grundstoffchemie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
2	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Eisen- und Stahlindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
3	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Papierindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
4	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Nahrungsmittelindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
5	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Zement- und Kalkindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
6	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Glasindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
7	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der NE-Metallindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1



# Quellen (2)

Nr.	Quelle
8	<u>NAVIGANT 2019:</u> "Energiewende in der Industrie; Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Keramikindustrie Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle 1-1
9	<u>NAVIGANT 2020:</u> "Energiewende in der Industrie; AP2A DEKARBONISIERUNGSMÄßNAHMEN IN DEN FOKUS-BRANCHEN Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie" Tabelle BRANCHENÜBERGREIFENDER ÜBERBLICK ALLER BETRACHTETEN TECHNOLOGISCHEN HANDLUNGSOPTIONEN
10	<u>DECHEMA und FutureCamp 2019:</u> "Roadmap Chemie 2050, Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland" Abb.27
11	<u>Agora 2020:</u> "Klimaneutrale Industrie, Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement" Teil F, Kapitel 2.3
12	<u>Agora 2019:</u> "Klimaneutrale Industrie, Ausführliche Darstellung der Schlüsseltechnologien für die Branchen Stahl, Chemie und Zement" Kapitel 2.2.3
13	<u>Agora 2020:</u> "Klimaneutrale Industrie, Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement" Teil F, Kapitel 4.2
14	<u>Agora 2019:</u> "Klimaneutrale Industrie, Ausführliche Darstellung der Schlüsseltechnologien für die Branchen Stahl, Chemie und Zement" Kapitel 4.1.3

!100%!

## Kern-Team

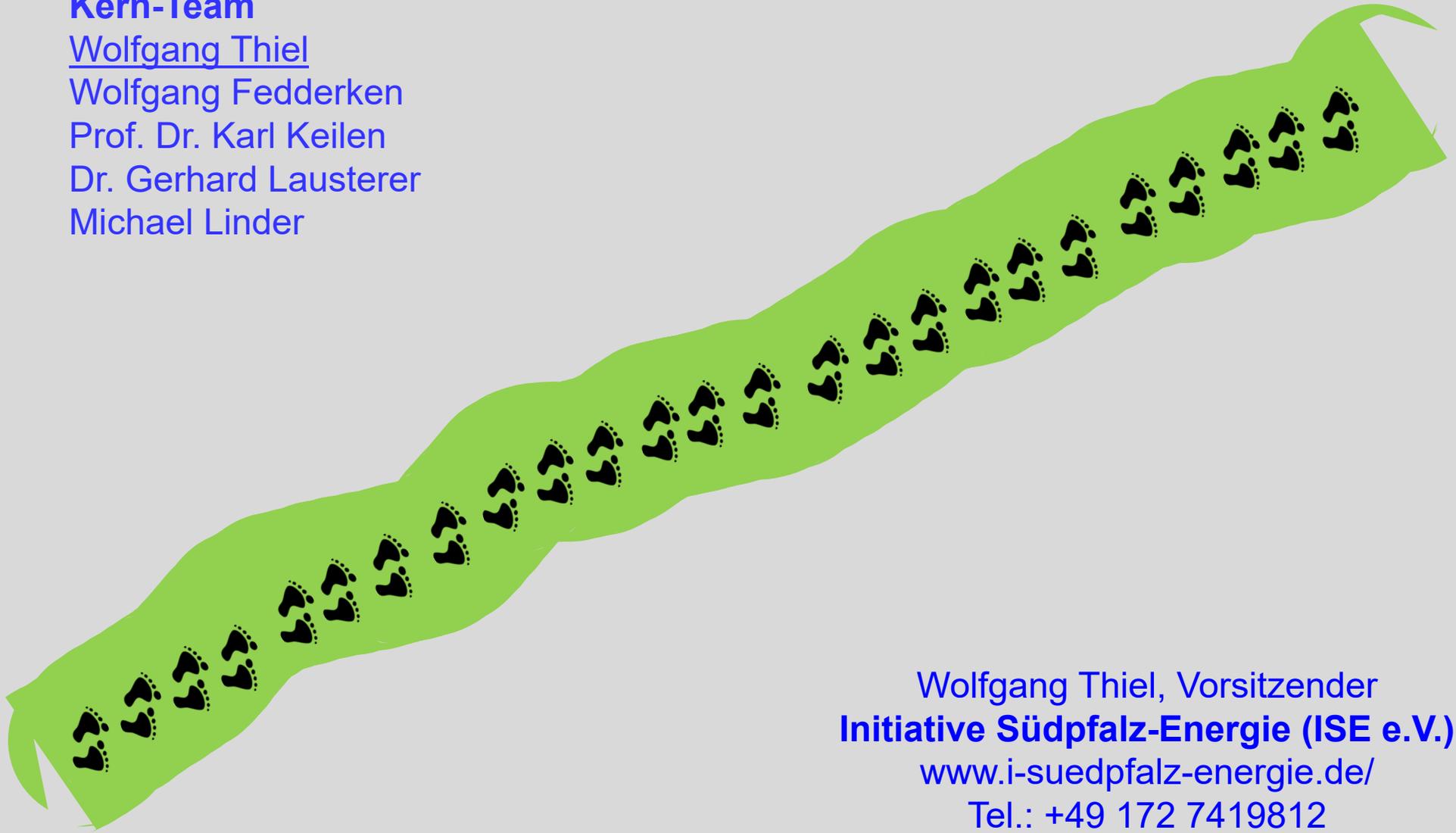
Wolfgang Thiel

Wolfgang Fedderken

Prof. Dr. Karl Keilen

Dr. Gerhard Lausterer

Michael Linder



Wolfgang Thiel, Vorsitzender  
**Initiative Südpfalz-Energie (ISE e.V.)**

[www.i-suedpfalz-energie.de/](http://www.i-suedpfalz-energie.de/)

Tel.: +49 172 7419812

eMail: [wolfgang@thiel-wt.de](mailto:wolfgang@thiel-wt.de)