

Überblick über die weltweiten Märkte von Silizium und Ferrosilikolegierungen

DERA Industrieworkshop Silizium

Dr. Harald Elsner, *EurGeol*

21.11.2023

Silizium – Daten, Fakten, Eigenschaften



Silizium (Si)

		Hauptgruppen				
		II	III	IV	V	VI
Periode	2	9,0 Be 4	10,8 B 5	12,0 C 6	14,0 N 7	16,0 O 8
	3	24,3 Mg 12	27,0 Al 13	28,1 Si 14	31,0 P 15	32,1 S 16
	4	40,1 Ca 20	69,7 Ga 31	72,6 Ge 32	74,9 As 33	79,0 Se 34
	5	87,6 Sr 38	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	127,6 Te 52
	6	137,3 Ba 56	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	209 Po 84

© LEIFiPhysik

- Halbmetall, wie Bor (B) und Arsen (As)
- Halbleiter, wie Germanium (Ge), Gallium (Ga), Phosphor (P) und Antimon (Sb)
- Leiter durch Dotierung mit B oder As
- zweithäufigstes Element der Erdkruste, dritthäufigstes in der Erde, achthäufigstes im Sonnensystem
- löst sich in den meisten Metallschmelzen (z.B. Ca, Fe, Wo, Ni, Co) zu Siliciden
- gediegen, gelöst, mit Sauerstoff (SiO_2) oder in Form von derzeit 1.437 Silikatmineralen
- Häufigstes Siliziummineral: Quarz (SiO_2)
- Si aus Gangquarz, Pegmatitquarz, Quarzit, Kieselgestein, Quarzkies, NICHT jedoch Quarzsand!

Verwendung von Quarz



- als Schmuckstein (Achat, Amethyst, Citrin, Jaspis, Bergkristall, Rauchquarz, Rosenquarz u.a.)
- in Form von Quarzsand als wichtiges Industriemineral, z. B. als Rohstoff für die Glasherstellung
- in Form von Quarzsand für die Produktion von Siliziumkarbid (SiC) nach dem Acheson-Verfahren
- in hochreiner Form (engl.: high-purity quartz) für Schmelztiegel für die Herstellung von monokristallinem Silizium, optischen Glasfasern und Linsen, Halogenleuchten sowie Hochtemperaturleuchtröhren
- künstlich gezogen aufgrund seiner piezoelektrischen Eigenschaften als Schwingquarz
- bei der Produktion von Phosphor aus Phosphaten. SiO_2 als Schlackebildner.
- als Siliziumrohstoff in zwei von zahlreichen Varianten zur Produktion von Calciumsiliciden, die als starke Desoxidationsmittel in der Stahlindustrie verwendet werden
- als Siliziumrohstoff in der Produktion von **Siliziummetall** (Si)
- als Siliziumrohstoff in der Produktion von **Ferrosilizium** (FeSi)
- als Siliziumrohstoff für die Produktion von **Ferrosilikolegierungen** (FeSiMn, FeSiMg, FeSiCr, FeSiAl u.a.)

Silizium - Herstellung



- Siliziumrohstoff (Quarz, Quarzit, Quarzkies, Kieselgestein) (2,7 t/t Si)
- + Reduktionsmittel (Holzkohle, aschearme Kohle, Petrolkoks, Holzhackschnitzel) (3 t/t Si)
- + Kohlenstoffelektroden (100 kg/t Si)
- + Energie (12.500 – 13.000 kWh/t Si)



im Elektrolichtbogenofen @ 2.000 °C

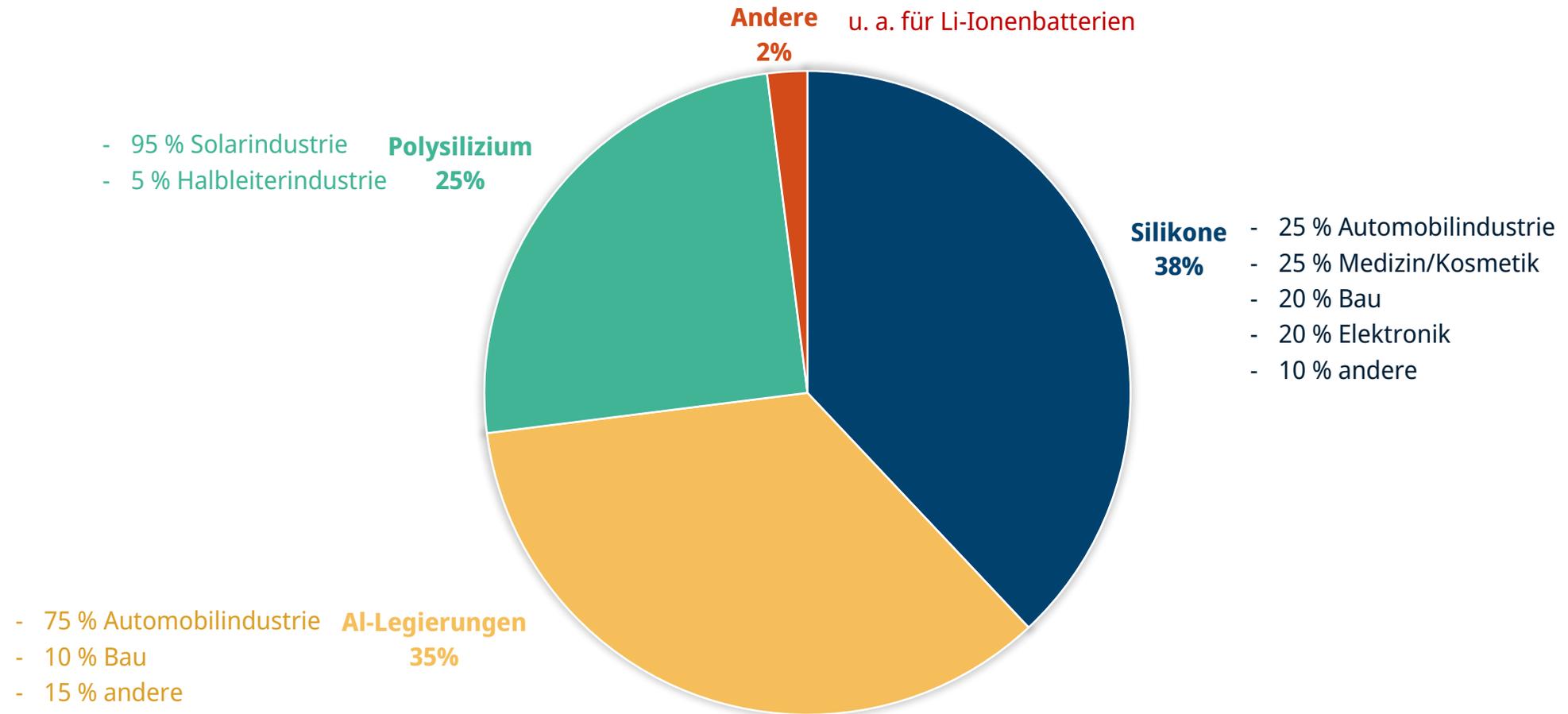


- = Silizium (Siliziummetall, Rohsilizium, metallurgisches Silizium) @ min. 98,0 % Si
- + amorpher Quarzstaub (Mikrosilika) (300 – 400 kg/t Si)
- + CO₂ (5 t/t Si)

Silizium – Verwendung und Wertschöpfung



Verwendung von Silizium (2022)



Polysilizium - Herstellung und Verwendung



Foto: Silicon Products Bitterfeld GmbH & Co. KG



Foto: Wacker Chemie AG



Foto: BGR

Herstellung

- nach dem Siemens-Verfahren (> 90 %) aus Silizium über Trichlorsilan
- im Wirbelschichtreaktor (FBR) (< 10 %) aus Silizium über Silangase
- Reinheit 7N (Solarsilizium) bis 12N (Halbleitersilizium)

Verwendung

- zur Herstellung von monokristallinem Silizium (97 %) für die Solar- (95 %) und Halbleiterindustrie (5 %)
- nach dem Czochralski-Verfahren (Schmelztiegelverfahren)
- nach dem Zonenschmelzverfahren (ultrarein)



Foto: Wacker Chemie AG



Foto: BGR



Foto: pixnio

Ferrosilizium – Herstellung



- Siliziumrohstoff (Quarz, Quarzit, Quarzkies, Kieselgestein) (1,7 t/t FeSi 75 %)
- + Reduktionsmittel (Koks, Kokskohle, Holzkohle) (1,1 t/t FeSi 75 %)
- + Eisenträger (Eisenerzpellets, Walzzunder, Stahlschrott) (330 kg/t FeSi 75 %)
- + Kohlenstoffelektroden (35 - 65 kg/t FeSi 75 %)
- + Energie (8.300 kWh/t FeSi 75 %)

im Elektrolichtbogenofen @ 2.000 °C

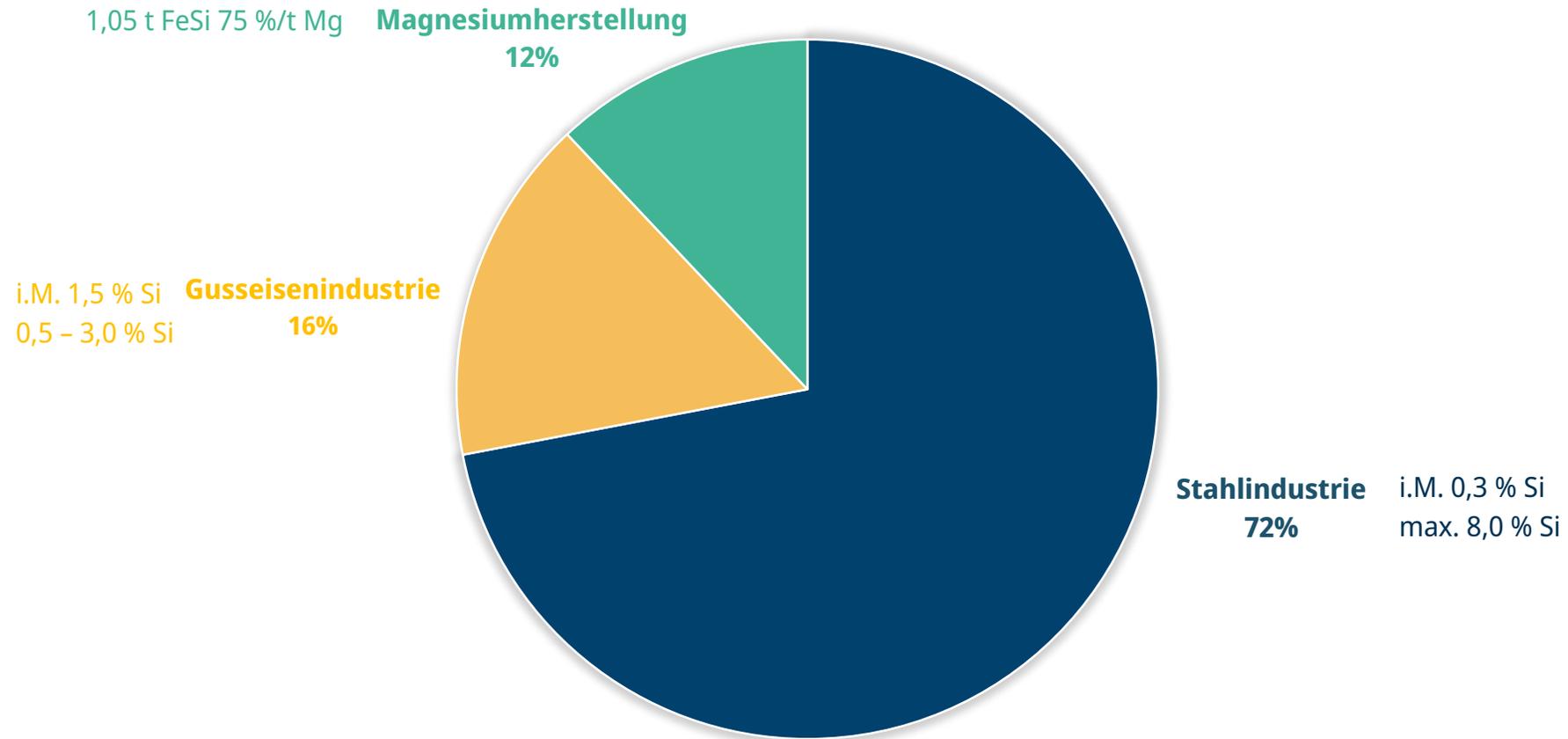
- = Ferrosilizium @ 72 – 75 % Si
- + amorpher Quarzstaub (Mikrosilika) (200 – 300 kg/t FeSi 75 %)
- + CO₂ (4 t/t FeSi 75 %)



Ferrosilizium – Verwendung und Wertschöpfung



Verwendung von Ferrosilizium (2022)



Ferrosilizium high-purity (HP)

Verwendung für

- Stahlcords (Keilriemen, Förderbänder, Stahlgürtelreifen)
- Elektrobleche (E-Mobilität, Energiewende)

Produktion in nur ca. zehn Hütten weltweit!

Höchste Anforderungen an Ausgangsrohstoffe:



Quartz lumps Grade A

Qualität	Si (%) min.	Al (%) max.	Ca (%) max.	Ti (%) max.	Cr (%) max.	P (%) max.	S (%) max.	C (%) max.
FeSi HP 75 % (typisch)	75 - 77	0,03	0,02	0,02	0,30	0,02	0,003	0,02
Tana (N) Quarzit 5005	99,5	0,50	0,01	0,035		0,01		
Erimisa (E) Quarzkies 1806	99,7	0,18	0,015	0,055		0,045		
Imerys (F) Quarzkies	99,8	0,50	0,01	0,035		0,01		
Karpuzlu (TR) Quarz								
Marsa Alam (EG) Quarz	99,6	0,066	0,017			0,003		
Nasafjell (N) Quarz		0,01	0,06	0,001	0,02	0,001		
KW Rheinbach (D) Quarzkies	99,85	0,10	0,003	0,002				

Weitere Ferrosilikolegierungen



Ferrosilikomangan (Silikomangan) (FeSiMn): Stahl- und Gusseisenindustrie, Herstellung von LCFeMn und MCFeMn

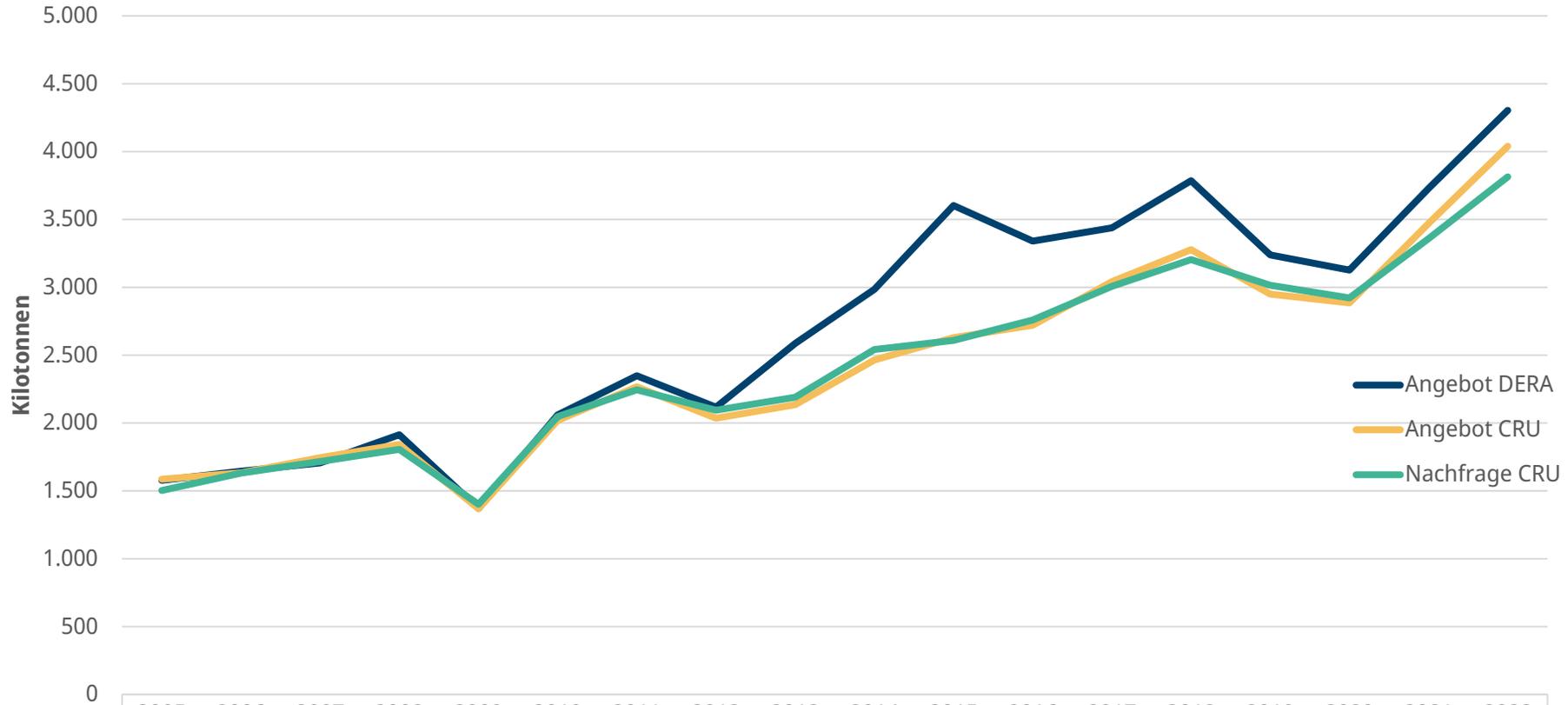
- Produktion 2022: 10,20 Mio. t in 26 Ländern, davon China 68 %
- Kapazität 2022: 22,15 Mio. tpa, davon China 70 % (China: Auslastungsquote: 44,7 %)
- 127 Unternehmen (davon 72 in Indien) (zzgl. China)
- 136 Hütten mit 140 Öfen (zzgl. Indien und China: 80 Hütten)

Ferrosilikomagnesium (FeSiMg): Gusseisenindustrie, Kapazitäten in zehn Ländern

Ferrosilikochrom (FeSiCr): Edelstähle und Herstellung von LCFeCr, Kapazitäten in sieben Ländern

Ferrosilikoaluminium (FeSiAl): Stahl- und Gusseisenindustrie, Kapazitäten in vier Ländern

Angebot und Nachfrage nach Silizium 2005 - 2022

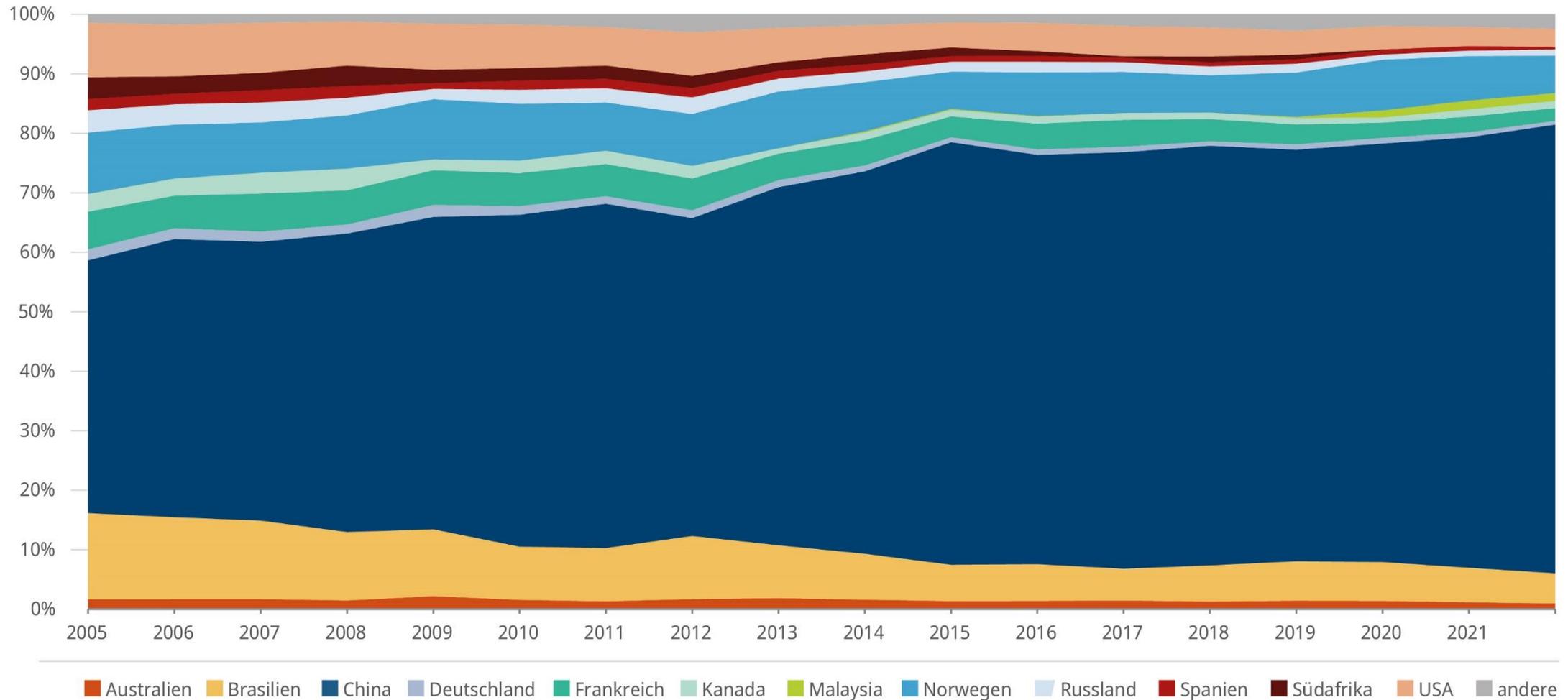


	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
— Angebot DERA	1.578	1.646	1.706	1.913	1.371	2.060	2.348	2.116	2.587	2.984	3.603	3.341	3.437	3.785	3.238	3.127	3.729	4.304
— Angebot CRU	1.586	1.634	1.745	1.843	1.370	2.019	2.267	2.035	2.136	2.464	2.629	2.720	3.041	3.278	2.950	2.885	3.471	4.038
— Nachfrage CRU	1.504	1.632	1.717	1.805	1.401	2.048	2.244	2.095	2.189	2.541	2.609	2.759	3.006	3.203	3.014	2.921	3.359	3.813

Silizium - Markt



Anteilige Produktion von Rohsilizium 2005 - 2022



Silizium – Markt



Silizium 2022:

Produktion in 17 (19?) Ländern, in acht Ländern Si-Hütten gestundet

Produktion: 4,31 Mio. t, davon China 3,25 Mio. t = ca. 75 % (CNIA) (andere: 69 – 77 %)

Nachfrage: 3,81 Mio. t (CRU)

Globale Kapazität: 7,23 Mio. tpa (= Auslastung 59,6 %), davon China ca. 79 % (CNIA)

China: 124 (AM) – 210 (SMM) Hütten @ Gesamtkapazität: 5,70 Mio. tpa (CNIA)

RoW: 24 Unternehmen @ 37 Hütten @ 107 Öfen @ Gesamtkapazität: 1,53 Mio. tpa

Angekündigte Kapazitätserweiterungen: + 6,61 Mio. tpa, davon 358.000 tpa (5,8 %) außerhalb Chinas

Silizium 2027:

Nachfrage: 5,22 Mio. t (+ 37 %)

Globale Kapazität: 12,02 Mio. tpa (+ 66 %)

CNIA: China Nonferrous Metals Industry Association
AM: Asian Metal
SMM: Shanghai Metals Market

Silizium - Markt

Wichtige internationale Handelswege (2022)

Rohsilizium (HS-Code 280469, Silizium < 99,99 % Si)

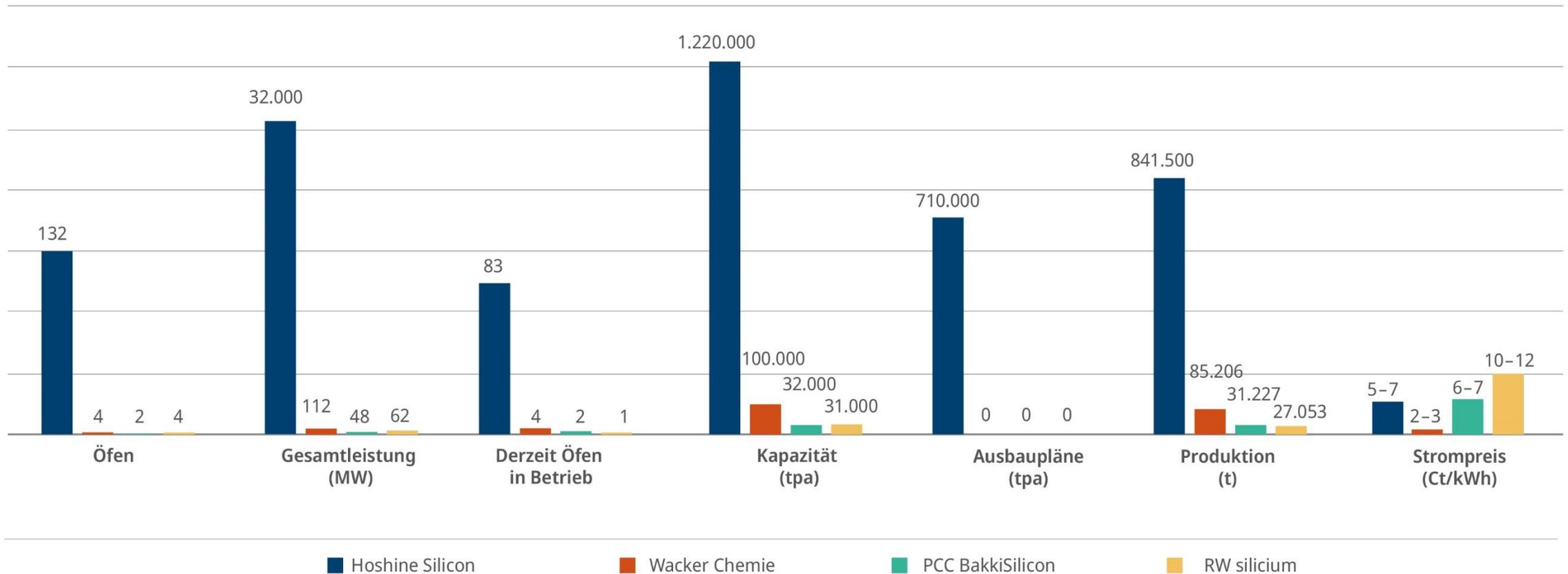


 Produktion & Export

 Exporte

 wichtiger Importeur

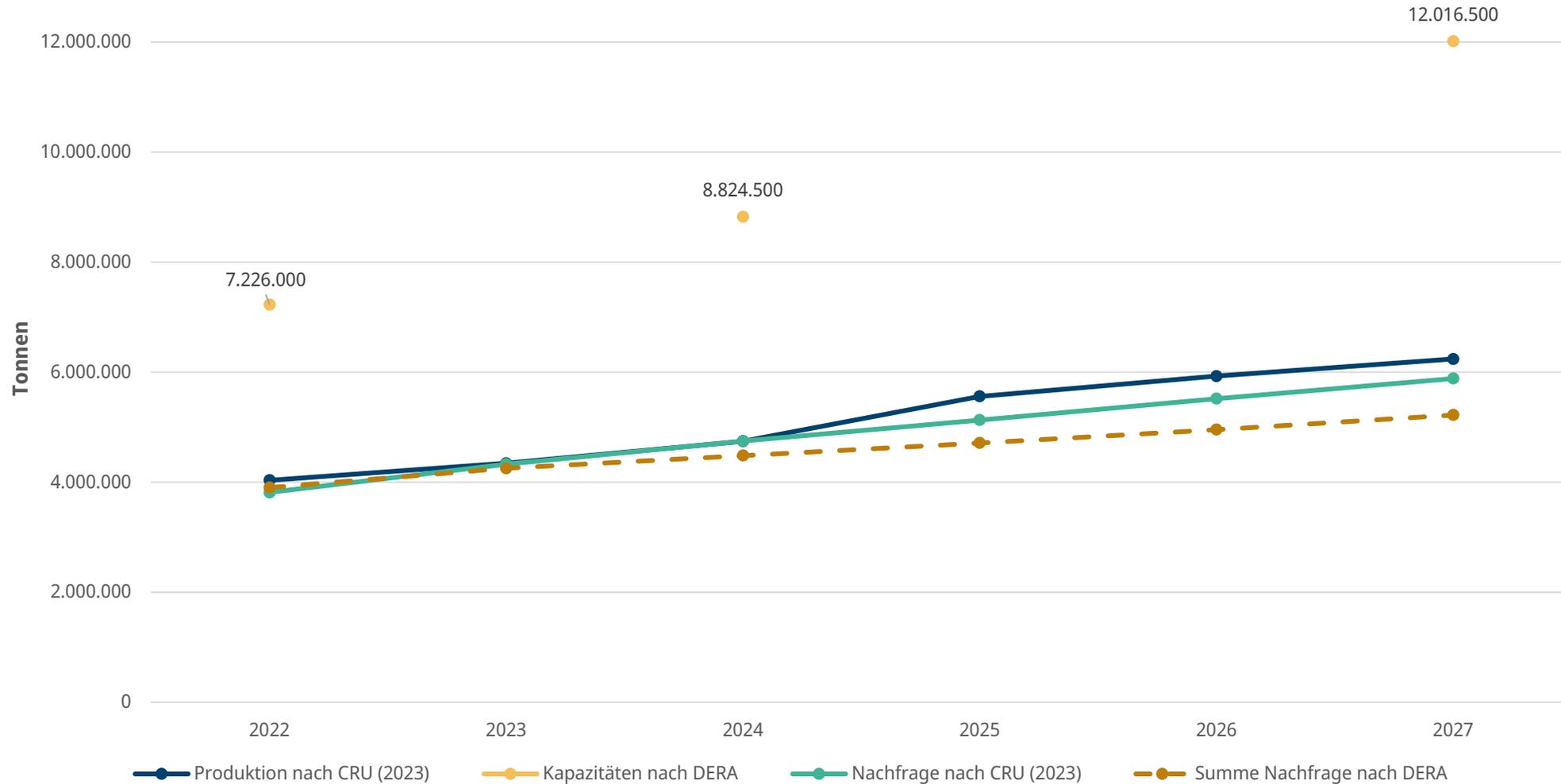
Siliziumproduzenten im Vergleich (Stand 2022)



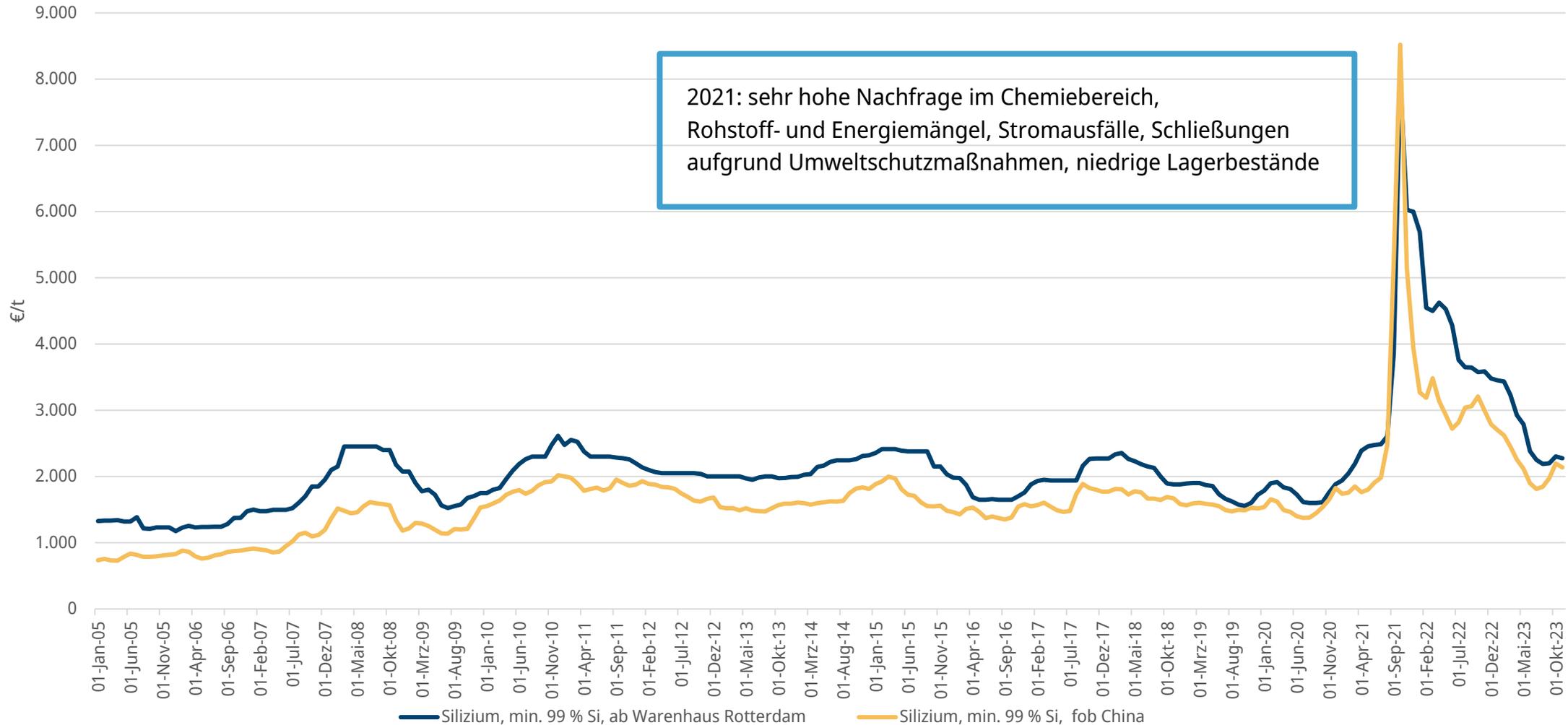
Silizium - Markt



Rohsilizium: Prognosen von Produktion, Kapazitäten und Nachfrage



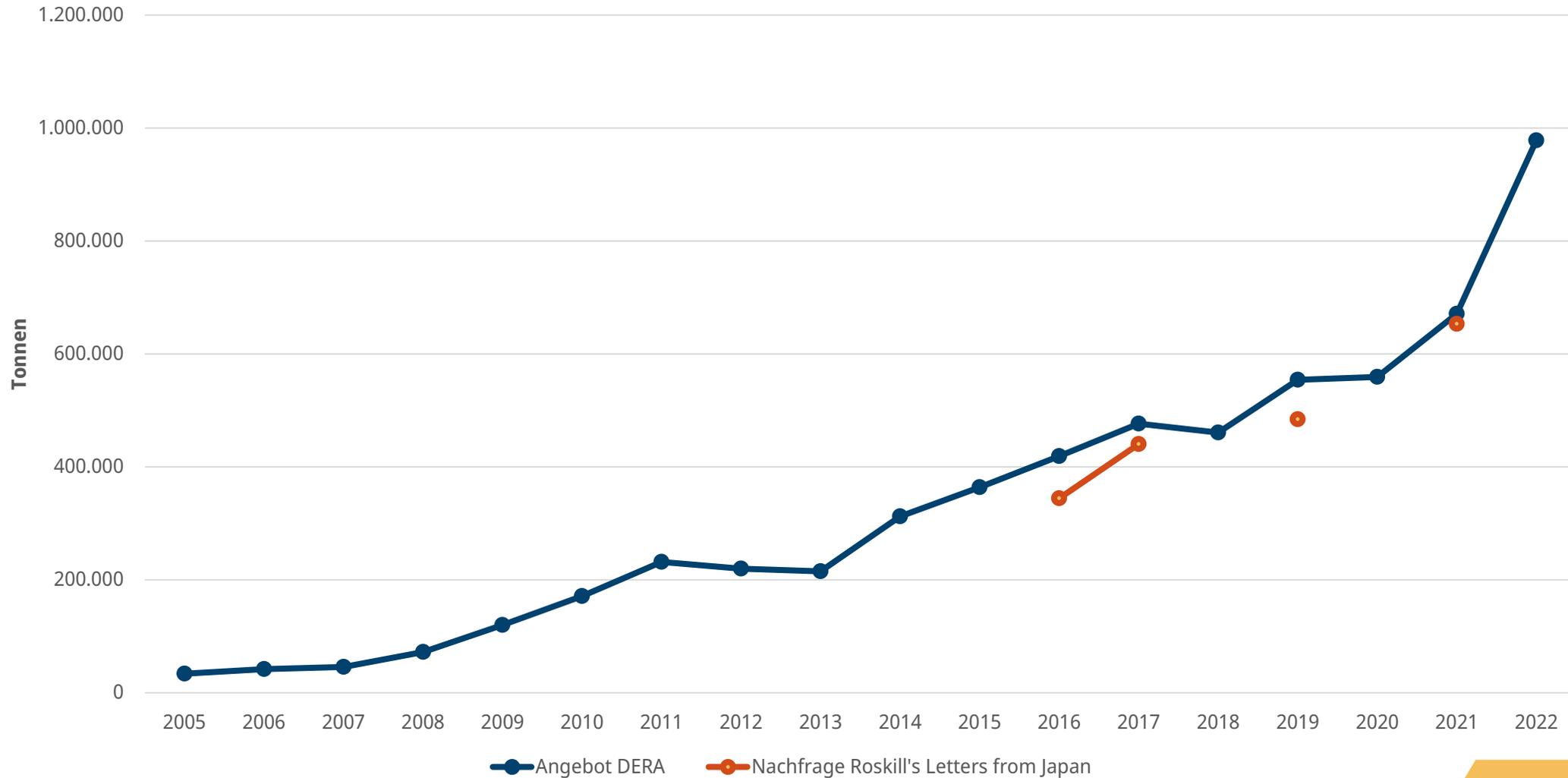
Silizium - Preisentwicklung



Polysilizium - Markt



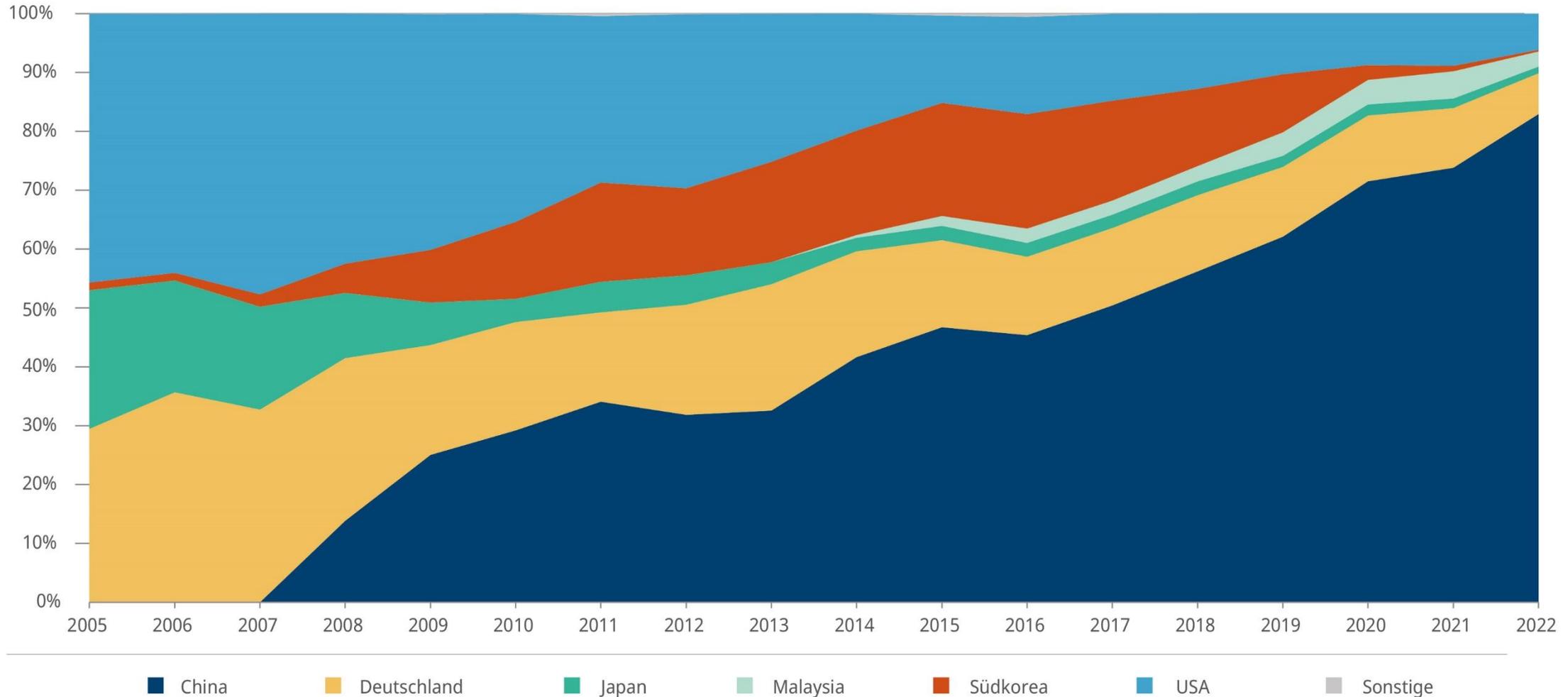
Angebot und Nachfrage nach Polysilizium 2005 - 2022



Polysilizium - Markt



Anteilige Produktion von Polysilizium 2005 - 2022



Polysilizium – Markt



Polysilizium 2022:

Produktion in 6 (7?) Ländern: China, Deutschland, USA, Malaysia, Japan, Südkorea (Katar?)

Produktion: 978.000 t, davon China 811.000 t = 83 % (CNIA)

Nachfrage: 669.400 t (DERA)

Globale Kapazität: 1,35 Mio. tpa (= Auslastung 72,4 %), davon China ca. 86 % (CNIA)

China: 15 Unternehmen @ 24 Werke @ Gesamtkapazität: 1,16 Mio. tpa (CNIA) (DERA: 1,60 Mio. tpa)

RoW: 9 Unternehmen @ 12 Werke @ offizielle Gesamtkapazität: 186.500 tpa

Angekündigte Kapazitätserweiterungen: + 5,93 Mio. tpa, davon 388.100 tpa (6,5 %) außerhalb Chinas

Polysilizium 2027:

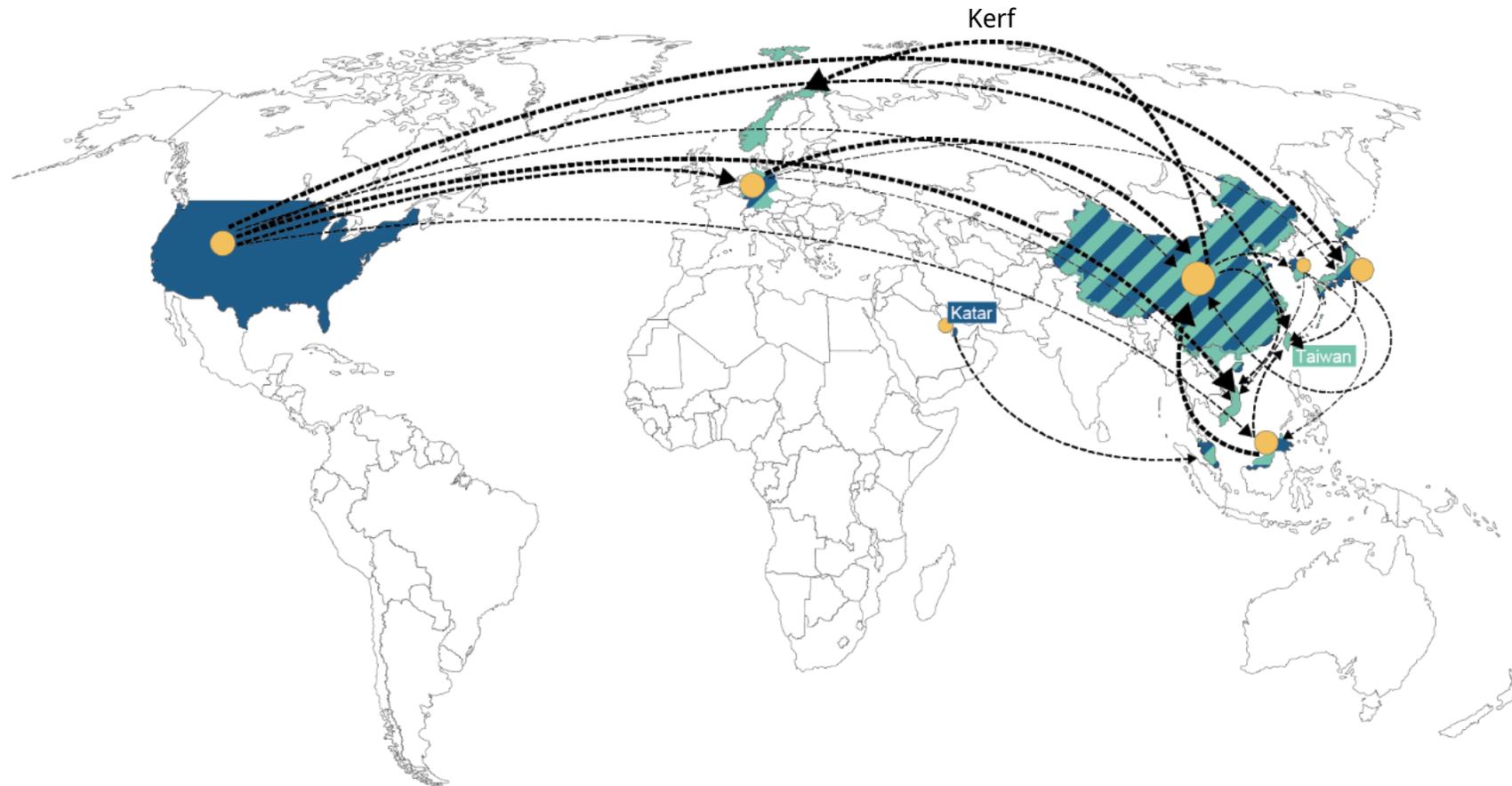
Nachfrage: 1,35 Mio. t (+ 103 %)

Globale Kapazität: 5,89 Mio. tpa (+ 437 %)

CNIA: China Nonferrous Metals Industry Association

Polysilizium - Markt

Wichtige internationale Handelswege (2022)
Polysilizium (HS-Code 280461, Silizium > 99,99 % Si)

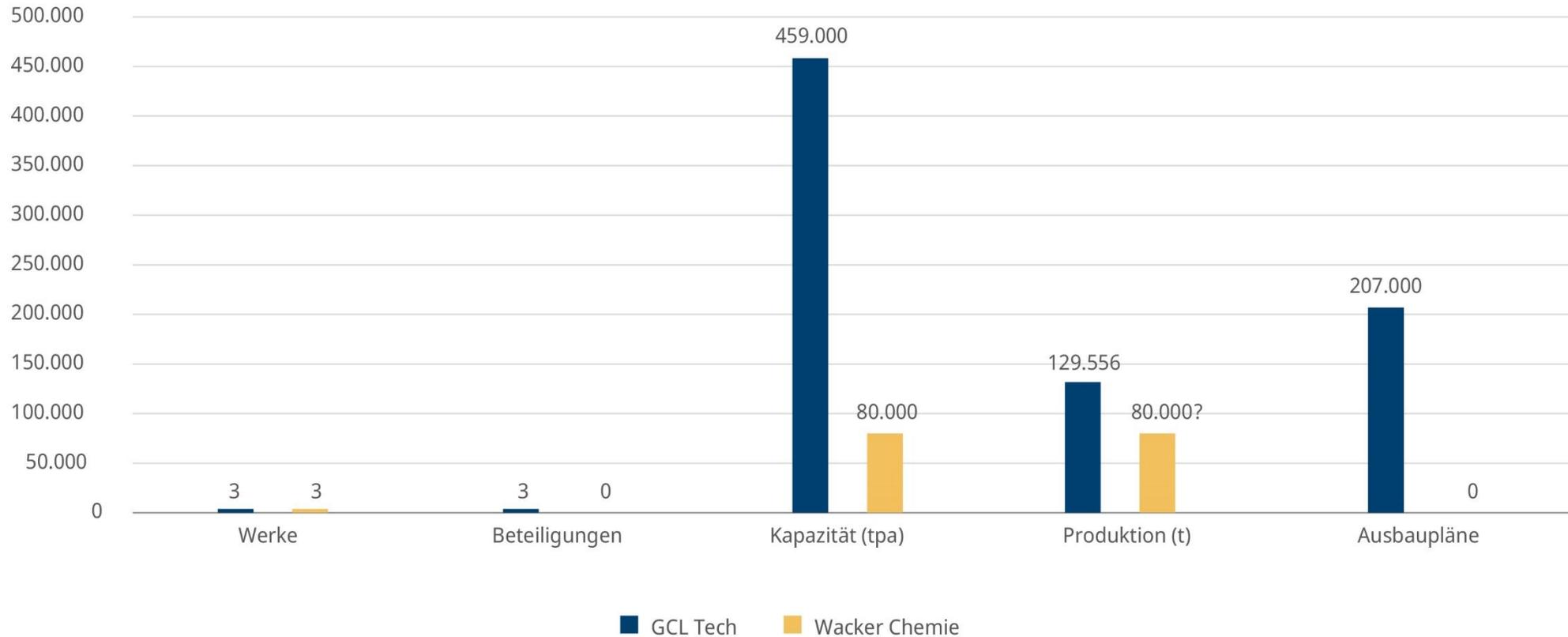


 Produktion & Export  Exporte  wichtiger Importeur

Polysilizium - Markt



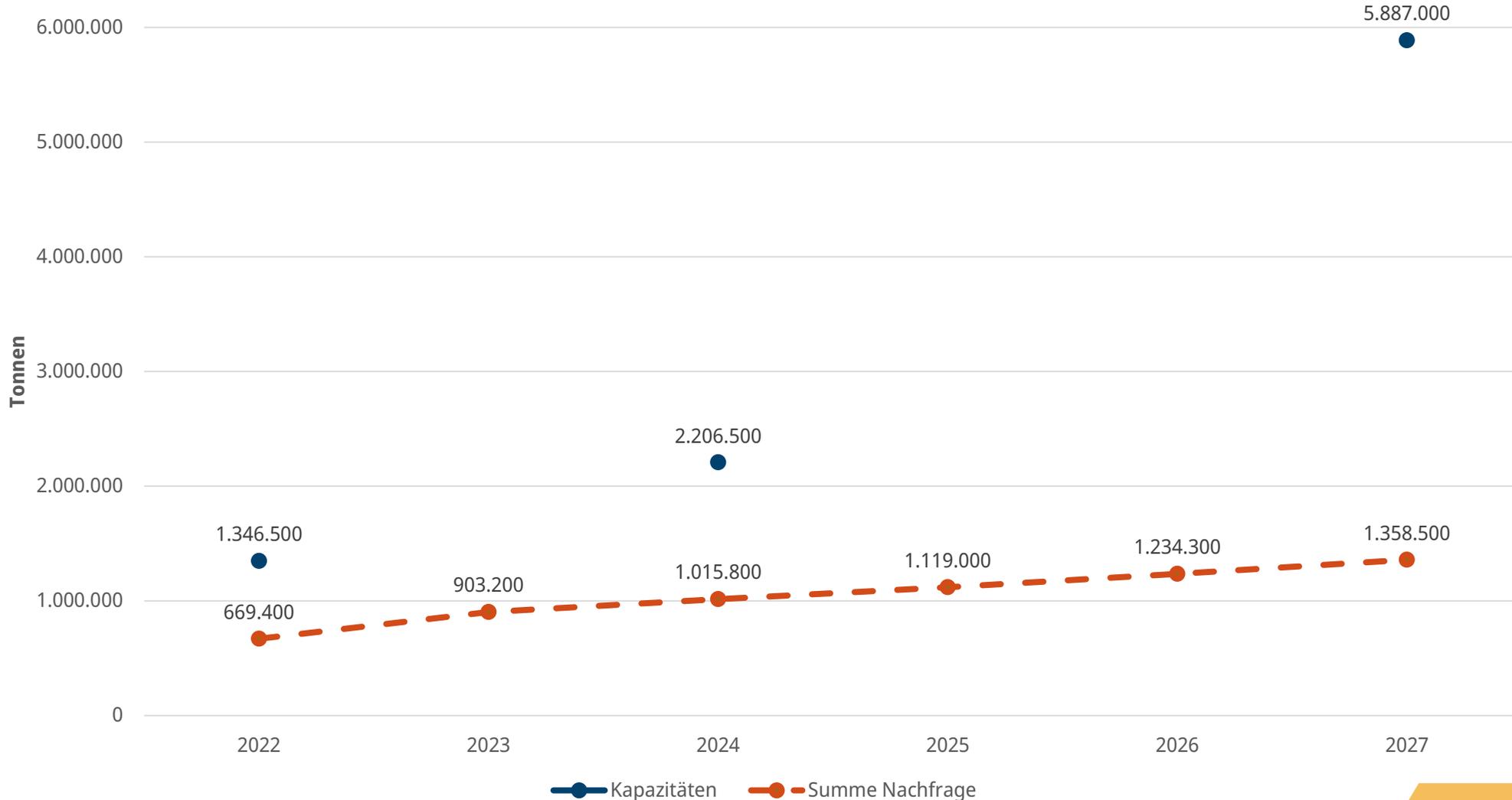
Polysiliziumproduzenten im Vergleich (Stand 2022)



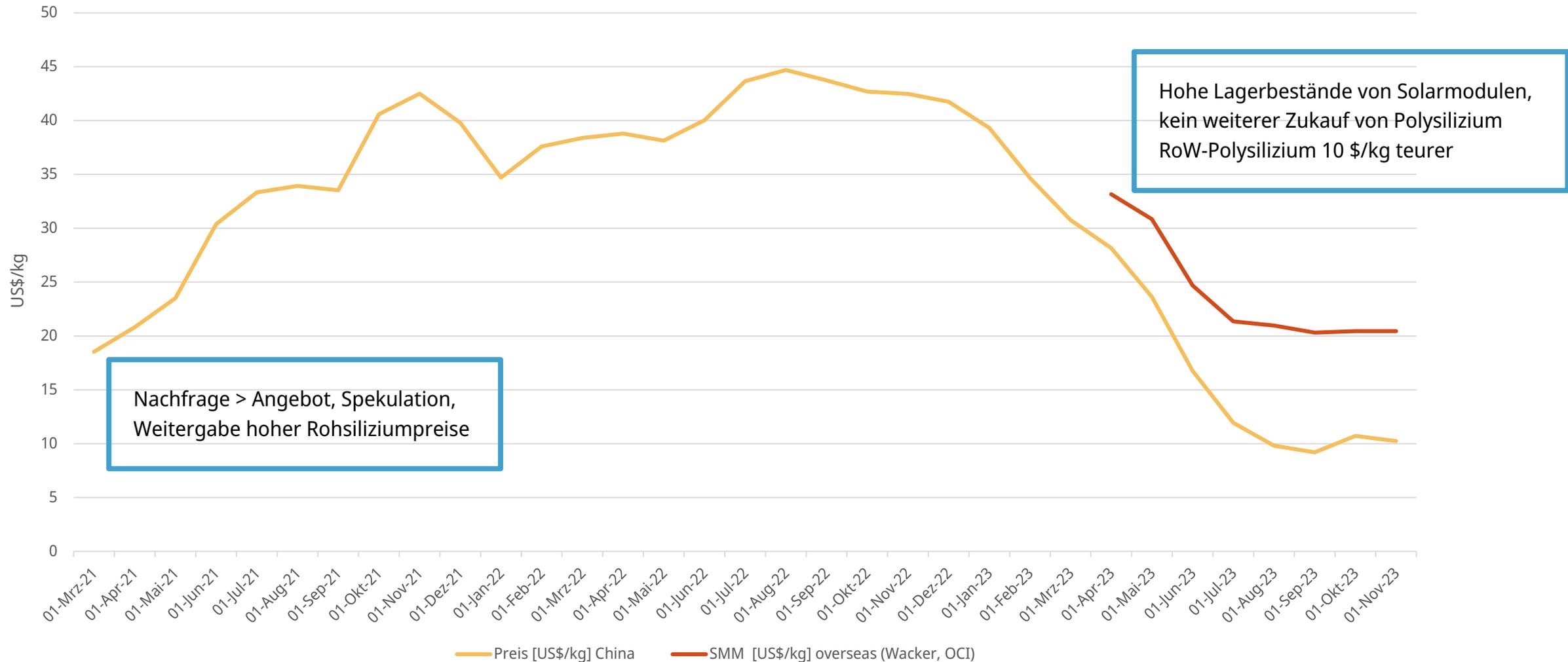
Polysilizium – Markt



Polysilizium: Prognose der Entwicklung von Kapazitäten und Nachfrage



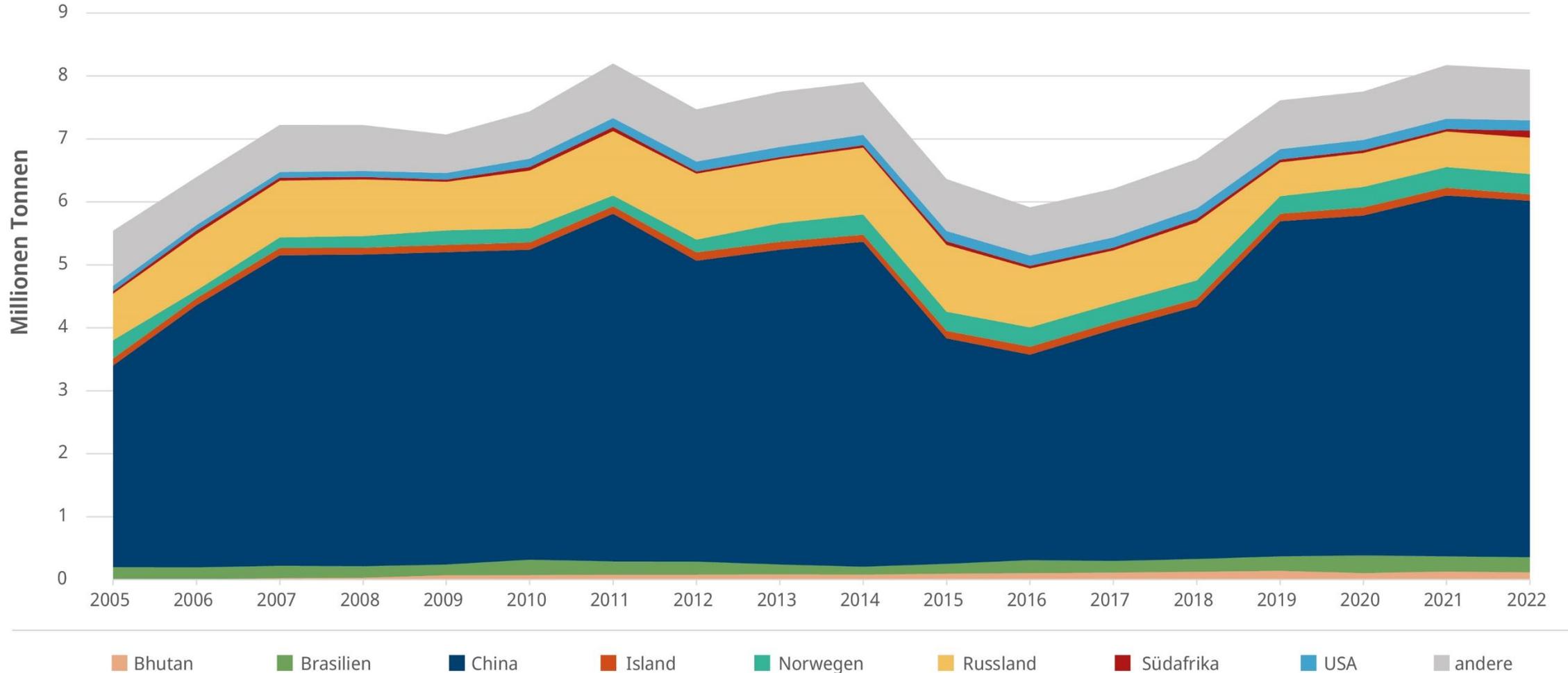
Polysilizium – Preisentwicklung



Ferrosilizium – Markt



Produktion von Ferrosilizium 2005 - 2022



Ferrosilizium – Markt



Ferrosilizium 2022:

Produktion in 33 Ländern, in drei Ländern FeSi-Hütten gestundet

Produktion: 8,06 Mio. t, davon China 5,66 Mio. t = 70 %

Globale Kapazität: 13,48 Mio. tpa (= Auslastung 59,6 %), davon China 71 %

China: 121 Hütten @ Gesamtkapazität: 9,58 Mio. tpa

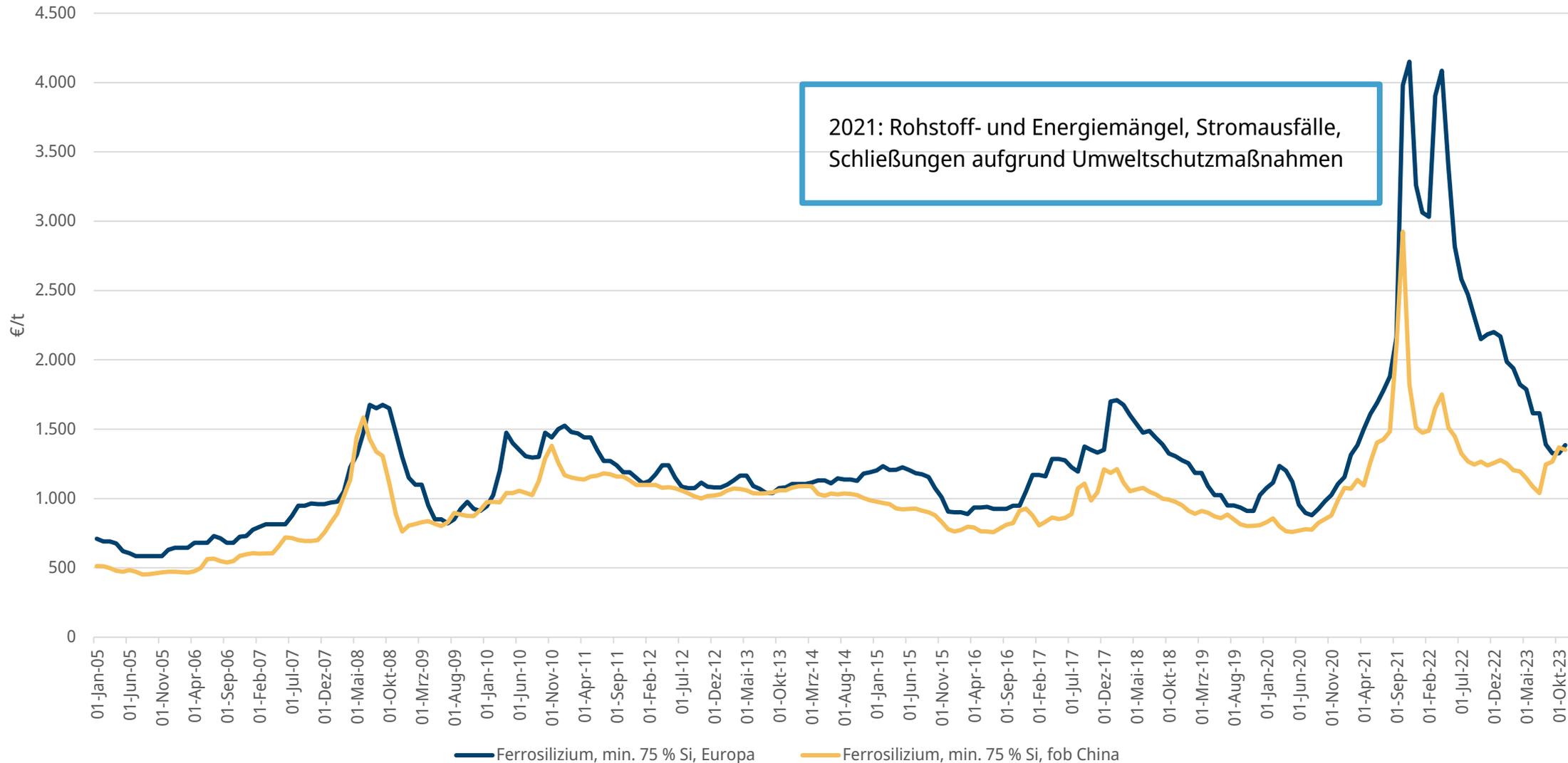
RoW (ohne Thailand, Nordkorea): 104 Unternehmen @ 93 Hütten @ 177 Öfen @ Gesamtkapazität: 3,90 Mio. tpa

Ferrosilizium high-purity 2022:

Produktion in Brasilien (4 Hütten), China (> 2 Hütten), Island / USA / Frankreich / Iran (je 1 Hütte)

Produktionsmengen und -kapazitäten größtenteils nicht publiziert

Ferrosilizium – Preisentwicklung



Silizium:

2022: Kapazität (CN 79 %) >> Produktion (CN 75 %) > Nachfrage (38 % Silikone, 35 % Al-Leg., 25 % Poly-Si)

2027: Kapazität (CN 86 %) >> Nachfrage (38 % Silikone, 33 % Al-Legierungen, 26 % Poly-Si)

Fortsetzung der Si-Produktion in Europa nur bei sehr niedrigen Strompreisen möglich!

Polysilizium:

2022: Kapazität (CN 86 %) > Produktion (CN 83 %) > Nachfrage (95 % PV / 5 % Halbleiter)

2027: Kapazität (CN 96 %) >>> Nachfrage (96 % PV / 4 % Halbleiter)

Kapazitäten zur Produktion von Polysilizium in Halbleiterqualität in China wachsend!

Ferrosilizium / Ferrosilikomangan:

Produktion in 33 / 26 Ländern, meist für die heimische Stahl- und Gusseisenindustrie

Ausreichende weltweite Kapazitäten

Angebot und Nachfrage nach Ferrosilizium high-purity unbekannt

Überblick über die weltweiten Märkte von Silizium und Ferrosilikolegierungen

DERA Industrieworkshop Silizium

Dr. Harald Elsner, *EurGeol*

**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!**