

---

Bernhard Fleischmann

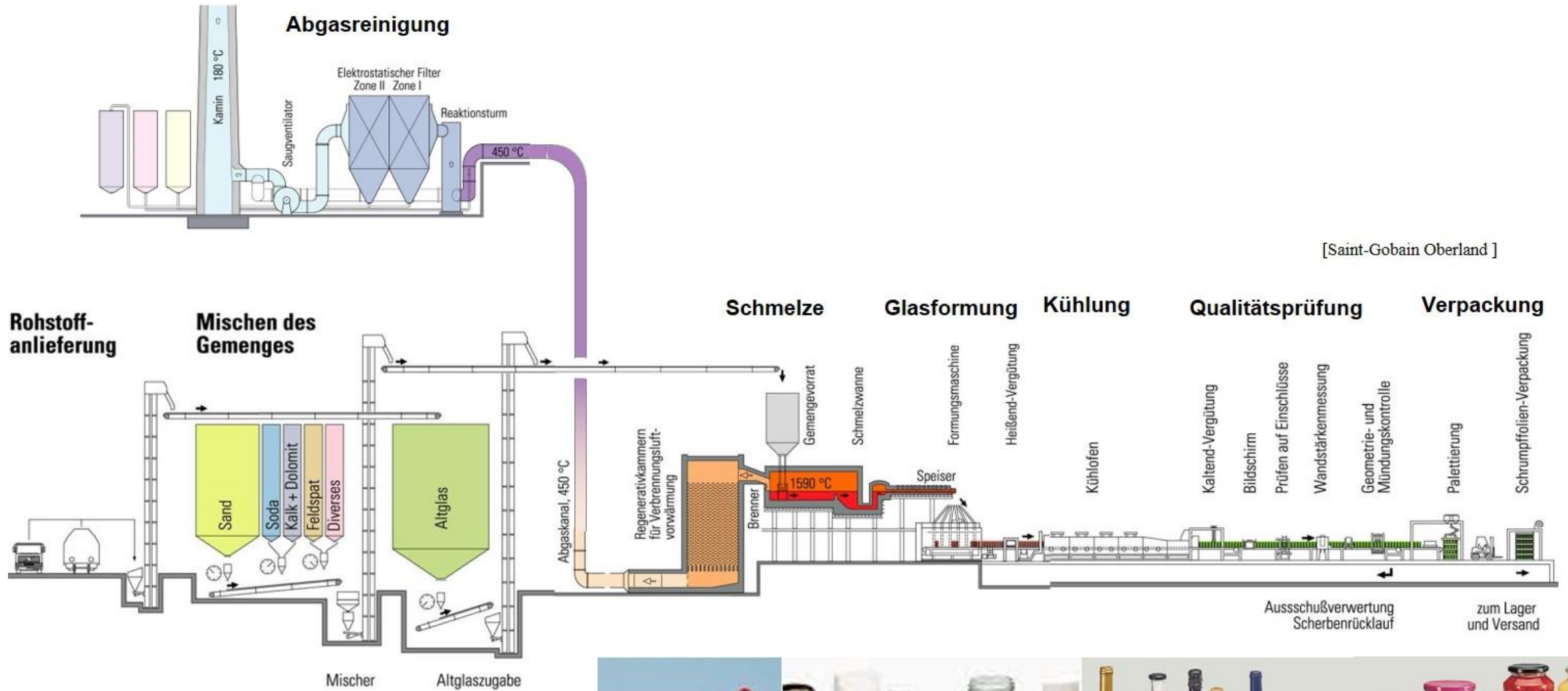
Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V. (HVG)

# **ENERGIE- UND CO<sub>2</sub>-BILANZ BEI DER GLASPRODUKTION – DEKARBONISIERUNGS- UND EFFIZIENZPOTENTIALE**



**HVG-DGG**

# Behälterglasherstellung



HVG-DGG



# Energiekennzahlen ?!?

container glass  
(HVG emission measurements):  
**4637 MJ/t** average (1990-2016)

**VDI 2578:2017-05;**  
**BAT Glass 2013:**  
new furnace, (example for  
„modern, energy efficient“  
furnaces); 70 % cullet,  
without electrical boosting,  
preheating or secondary  
waste utilisation

		area *)	Glass bath depth Melting end	Tank cap Melting		output	Specific energy consumption **)	
		m <sup>2</sup>	mm	metric		m <sup>2</sup> d	kJ/kg glass	
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Container glass or water glass	15 – 155	1200 – 1700	50 – 50		1.0	4200	
Regenerative horseshoe-fired furnace	Container glass	15 – 140	1200 – 1700	50 – 500	1.9 – 2.5 : 1	40 – 450	2.5 – 4.0	<b>3800</b>
Recuperative furnace	Container glass	up to 250	1100 – 1600	50 – 650	2.0 – 2.8 : 1	40 – 450	2.0 – 3.0	5000

Produktion von Glas und Glaswaren nach Branchensektoren: 2015 und 2016  
Production of glass and glass products by industrial sector 2015 and 2016

BRANCHENSEKTOR/ PRODUKTBEZEICHNUNG INDUSTRY SECTOR/PRODUCT NAME	MENGEN- EINHEIT QUANTITY UNIT	PRODUKTIONSMENGE PRODUCTION UNIT 2015	2016	VERÄND. IN % CHANGE IN %	PRODUKTIONSWERT IN 1.000 EUR PRODUCTION VAL. IN 1.000 EUR 2015	2016	VERÄND. IN % CHANGE IN %
Herstellung von Flachglas Manufacture of flat glass	1.000 t	2.142,8	2.116,1	-1,2	826.404,0	913.677,0	10,6
Gegossenes oder gewalztes Glas Cast or rolled glass	1.000 t	84,8	91,9	8,3	61.288,0	60.732,0	-0,9
Gezogenes oder geblasenes Glas Drawn or blown glass	1.000 t	11,8	11,3	-4,7	13.960,0	12.107,0	-13,3
Floatglas Float glass	1.000 t	2.046,2	2.013,0	-1,6	751.156,0	840.838,0	11,9
Flachglasveredelung und -bearbeitung Flat glass finishing and processing	-	-	-	-	3.150.946,0	3.317.039,0	5,3
Optisches Glas, gebogen oder anders bearbeitet Optical glass, bent or otherwise processed	1.000 t	-	-	-	57.527,9	59.523,6	3,5
Anderes Glas, gebogen oder anders bearbeitet Misc. glass, bent or otherwise processed	1.000 t	241,0	269,7	11,9	493.808,0	545.005,0	10,4
Einscheibensicherheitsglas für Fahrzeuge Toughened safety glass for vehicles	1.000 m <sup>2</sup>	6.853,1	6.697,8	-2,3	118.172,0	98.041,0	-17,0
Anderes Einscheibensicherheitsglas Other toughened safety glass	1.000 m <sup>2</sup>	15.512,2	16.493,5	6,3	297.813,0	304.034,0	2,1
Verbundsicherheitsglas für Fahrzeuge Laminated safety glass for vehicles	1.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	171.877,1	177.839,4	3,5
Anderes Verbundsicherheitsglas Other laminated safety glass	1.000 m <sup>2</sup>	23.264,0	24.670,1	6,0	498.160,0	514.797,0	3,3
Wärmedämmglas Insulated glazing	1.000 m <sup>2</sup>	22.825,7	21.858,6	-4,2	1.043.283,0	1.095.979,0	5,1
Fahrzeugsgrünpiegel Vehicle rear-view mirror glass	1.000 St.	22.055,1	21.153,8	-4,1	271.186,0	282.199,0	4,1
Anderer Spiegel Other mirror glass	1.000 m <sup>2</sup>	6.509,1	5.496,2	-15,6	36.079,0	51.211,0	41,9
Sonstiges veredeltes und bearb. Flachglas Misc. finished and processed flat glass	-	-	-	-	163.040,0	188.410,0	15,6
Herstellung von Hohlglas Manufacture of hollow glass	1.000 t	3.980,0	4.004,1	0,6	2.130.146,0	2.120.104,0	-0,5
Einheitsglas Container glass	1.000 t	3.934,1	3.959,6	0,6	1.641.376,0	1.631.003,0	0,6
Getränkflaschen und Gläser für Nahrungsmittel Beverage bottles and food jars	1.000 t	3.532,1	3.562,9	0,9	1.285.081,0	1.299.614,0	1,1
Verpackungsgläser für Pharmazie Glass packaging for pharmaceuticals	1.000 t	274,1	266,6	-2,7	249.740,0	245.999,0	-1,5
Sonstige Verpackungsgläser	1.000 t	128,0	130,1	1,7	106.555,0	105.390,0	-1,1

WZ-Nr. 3)		Insgesamt	
		Fallzahl der Betriebe 4)	GJ
22.19	H v. sonst. Gummiwaren	307	9 249 636,77
22.2	H v. Kunststoffwaren	2 845	67 053 415,99
22.21	H v. Platten, Folien usw. a. Kunststoffen	560	29 288 771,19
22.22	H v. Verpackungsmitteln a. Kunststoffen	398	13 094 588,35
22.23	H v. Baubedarfsartikeln a. Kunststoffen	488	4 118 314,22
22.29	H v. sonst. Kunststoffwaren	1 399	20 551 742,23
23	H v. Glas-, -waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	3 167	276 644 397,40
23.1	H v. Glas u. Glaswaren	401	66 696 549,72
23.11	H v. Flachglas	20	19 589 234,72
23.12	Veredlg. u. Bearb. v. Flachglas	214	7 105 095,54
23.13	H v. Hohlglas	59	29 245 289,46
23.14	H v. Glasfasern u. Waren daraus	39	5 490 478,33
23.19	H, Veredlg. u. Bearb. v. sonst. Glas, techn. Glasw.	69	5 266 451,68
23.2	H v. feuerf. keramischen Werkstoffen u. Waren	61	4 638 830,83



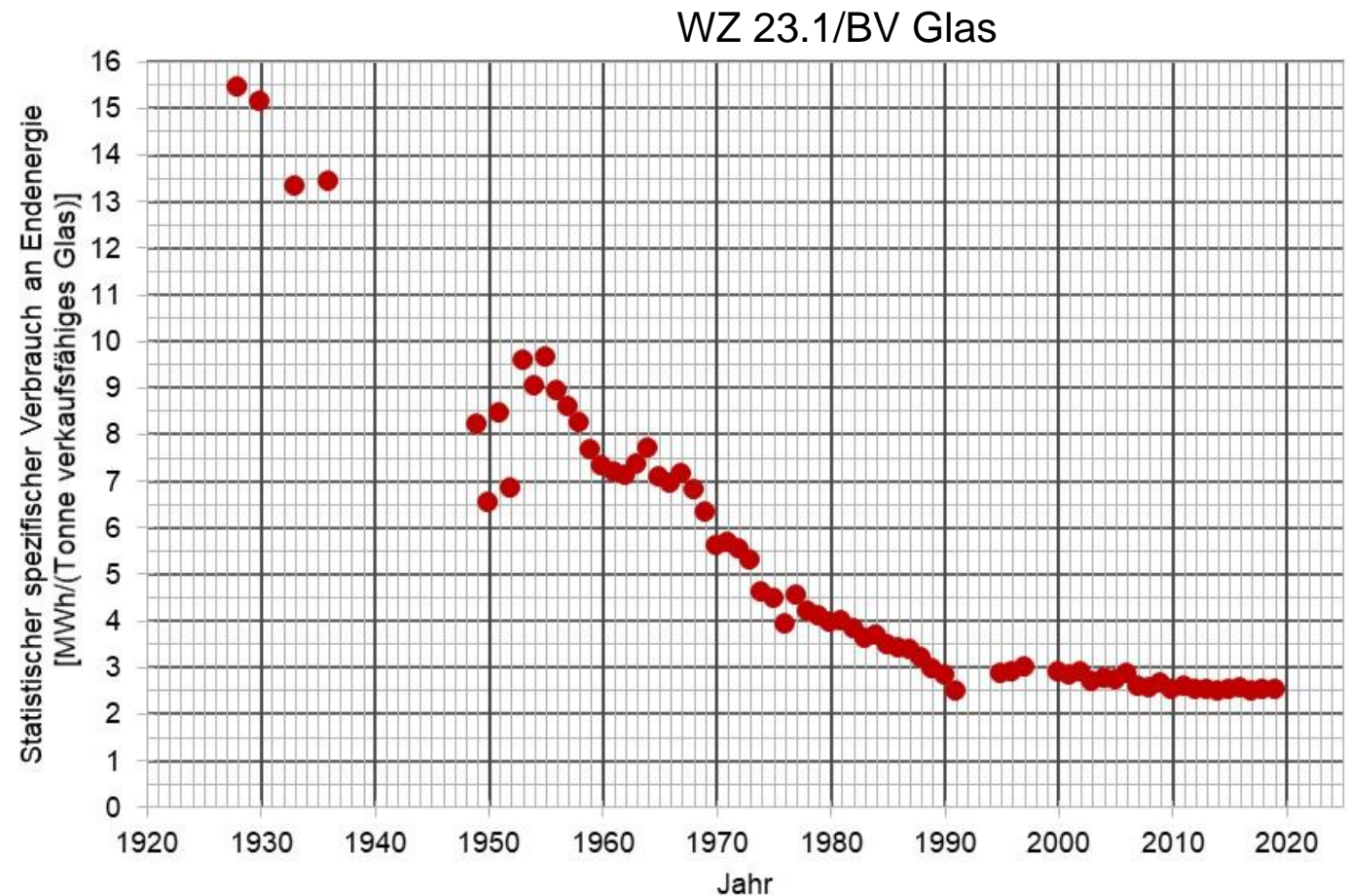
Statistischer spezifischer Energiebedarf nach  
Produktart des Glases und Energieträger (2015)



# Glasherstellungsprozess – statistischer spezifischer Energieverbrauch



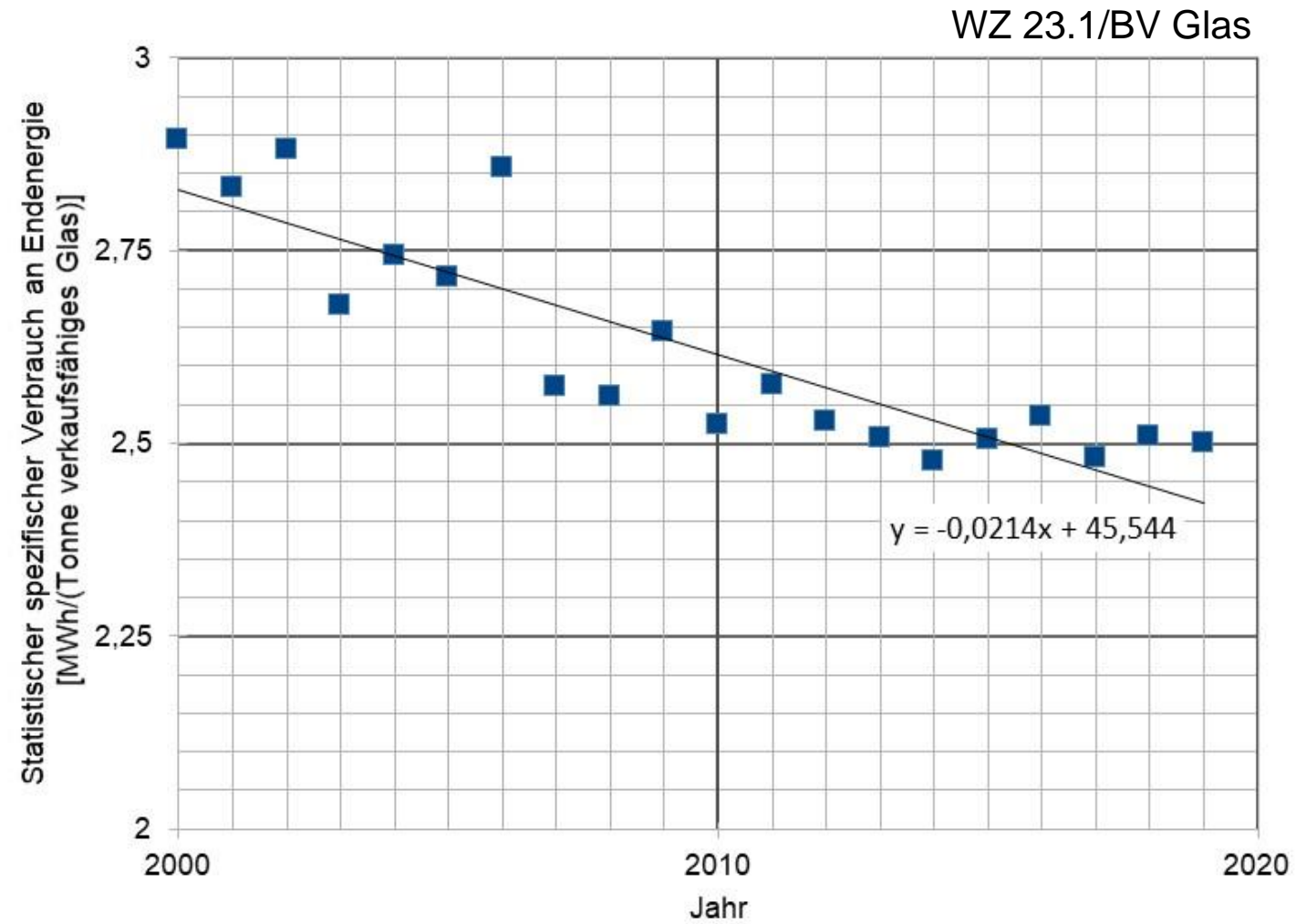
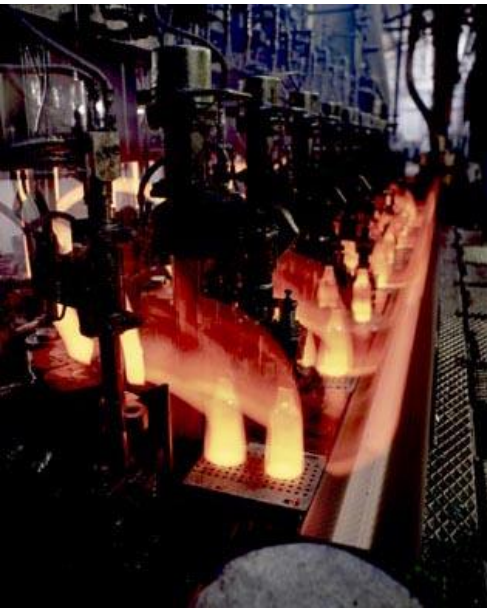
- Rohstoffanlieferung
- Mischen/Bereiten des Gemenges
- Schmelze
- Glasformung
- Kühlung
- Qualitätsprüfung
- Verpackung und Versand



# Glasherstellungsprozess – spezifischer Energieverbrauch



- Rohstoffanlieferung
- Mischen/Bereiten des Gemenges
- Schmelze
- Glasformung
- Kühlung
- Qualitätsprüfung
- Verpackung und Versand



# Glasherstellungsprozess - Energiebedarf



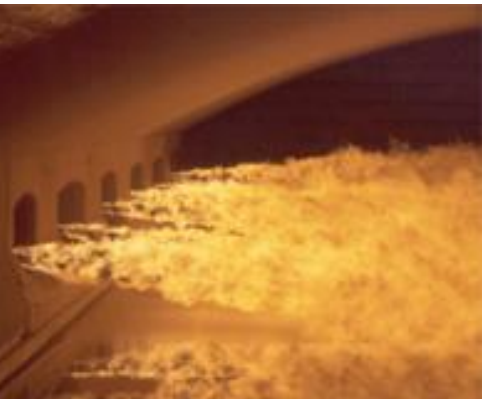
- Rohstoffanlieferung
- Mischen/Bereiten des Gemenges
- **Schmelze**
- Glasformung
- Kühlung
- Qualitätsprüfung
- Verpackung und Versand



# Glasherstellungsprozess - Energiebedarf



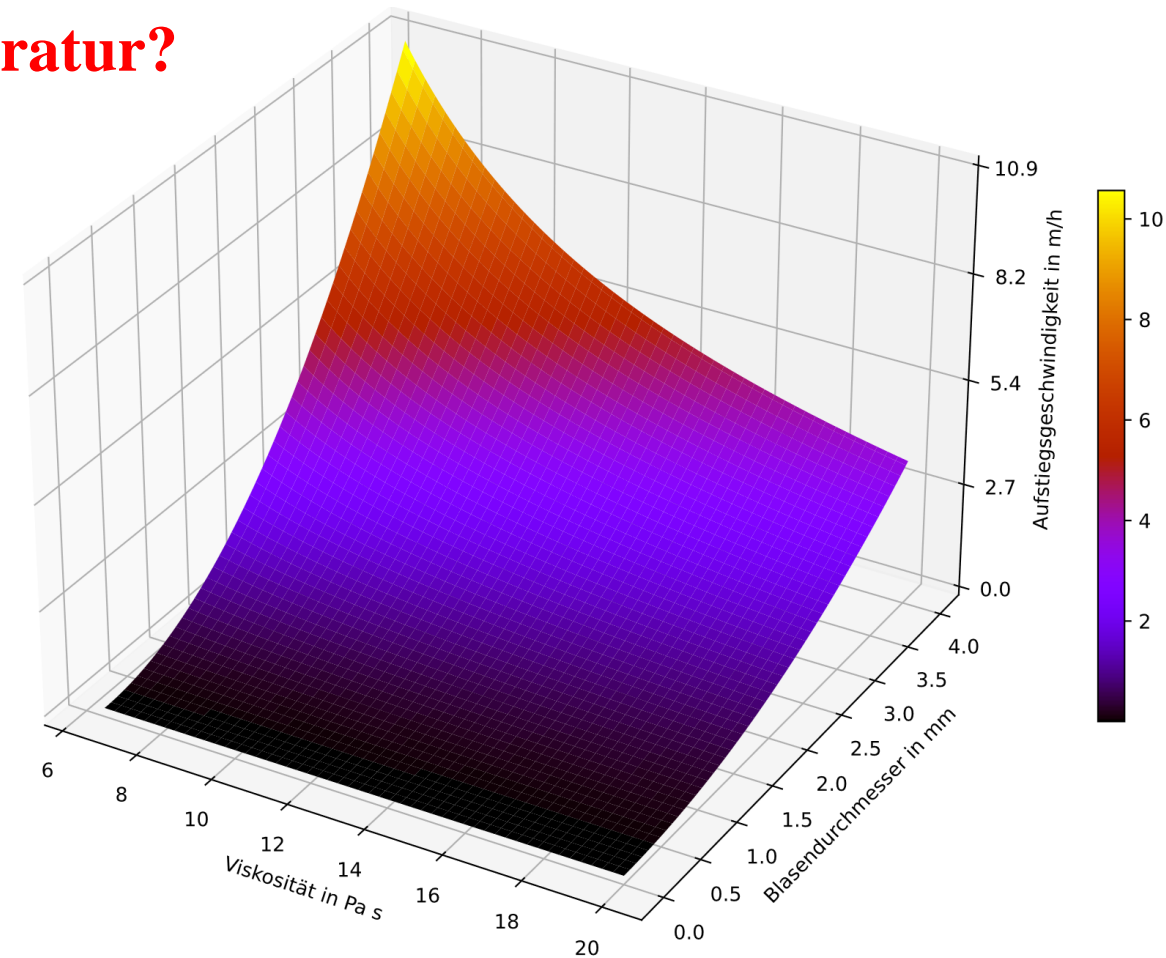
- Rohstoffanlieferung
- Mischen/Bereiten des Gemenges
- **Schmelze** (50 bis >85% des Energieverbrauchs im Werk)
  - **Umwandlung der Rohstoffe (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Silicate, Oxide) in eine silicatische Oxidmischung**
  - **Temperatur (erhöhen für Läuterung = „flüssig genug machen“)**
- Glasformung
- Kühlung
- Qualitätsprüfung
- Verpackung und Versand



# Schmelzen – Theoretischer Energiebedarf

- **Umwandlung der Rohstoffe (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Silicate, Oxide) in eine silikatische Oxidmischung**
- **Temperatur erhöhen = schmelzen, „flüssig genug machen“**

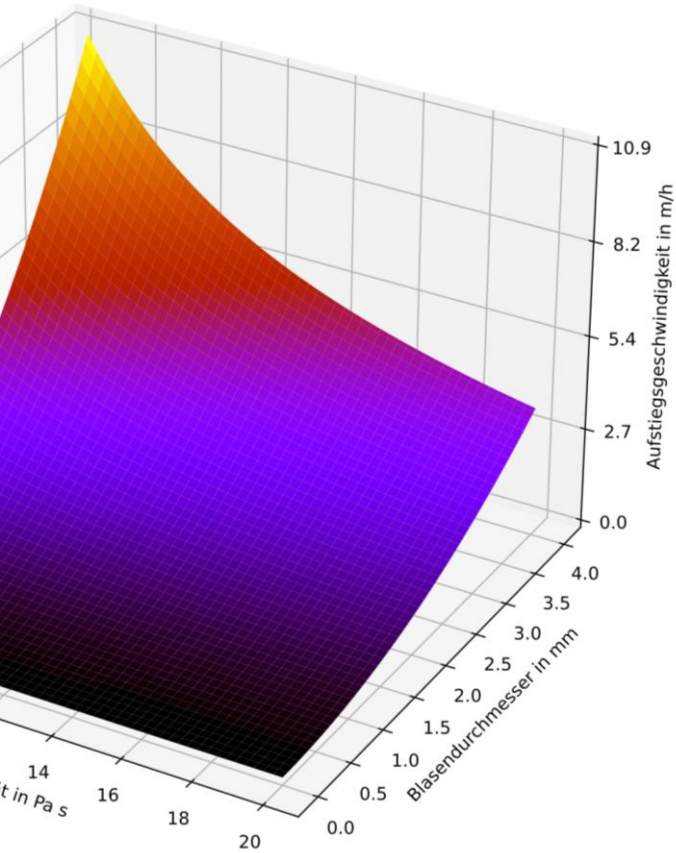
**Bis zu welcher Temperatur?**



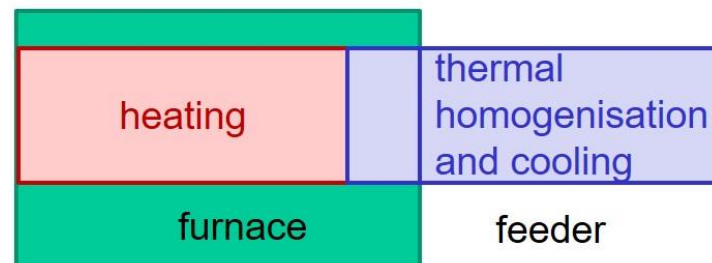
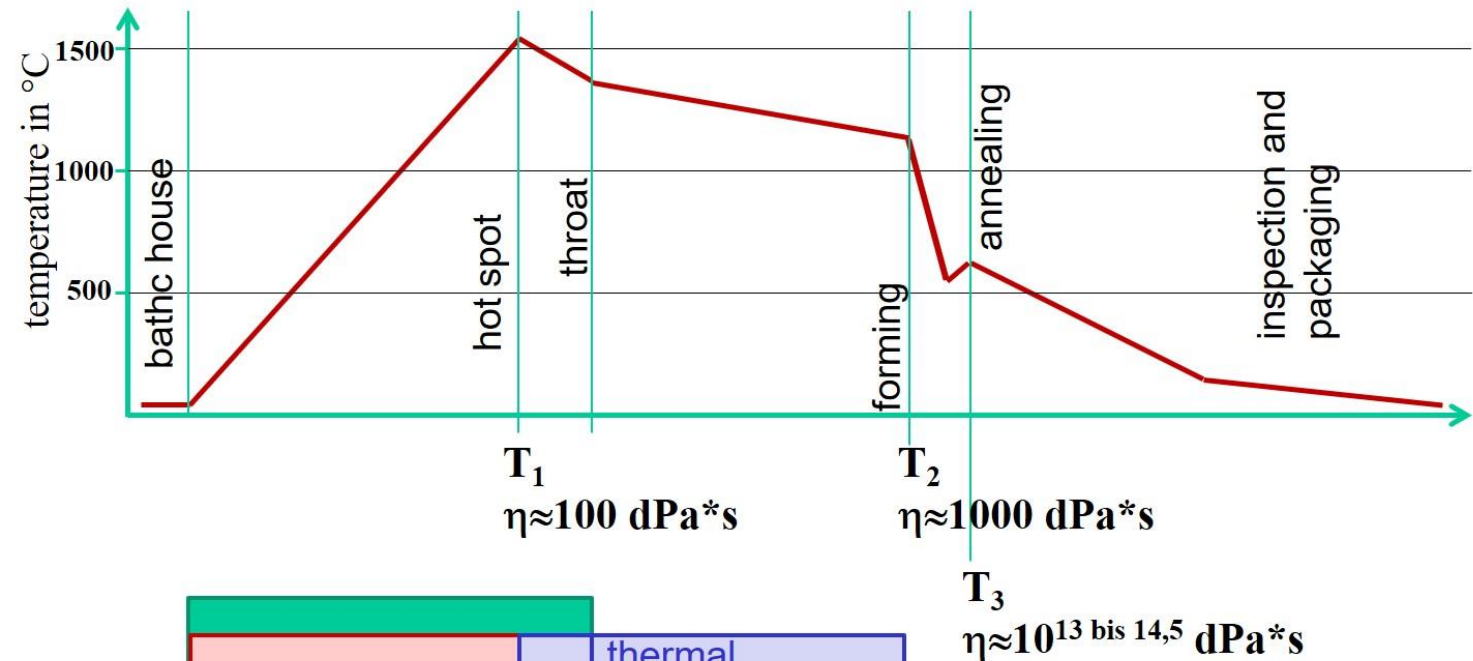


# Schmelzen – Theoretischer Energiebedarf

- **Umwandlung der Rohstoffe (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Silicate, Oxide) in eine silikatische Oxidmischung**
- **Temperatur erhöhen = schmelzen, „flüssig genug machen“**



## Bis zu welcher Temperatur?



# Schmelzen – Theoretischer Energiebedarf

Glaseigenschaften  
und  
Verarbeitbarkeit



Glaschemie

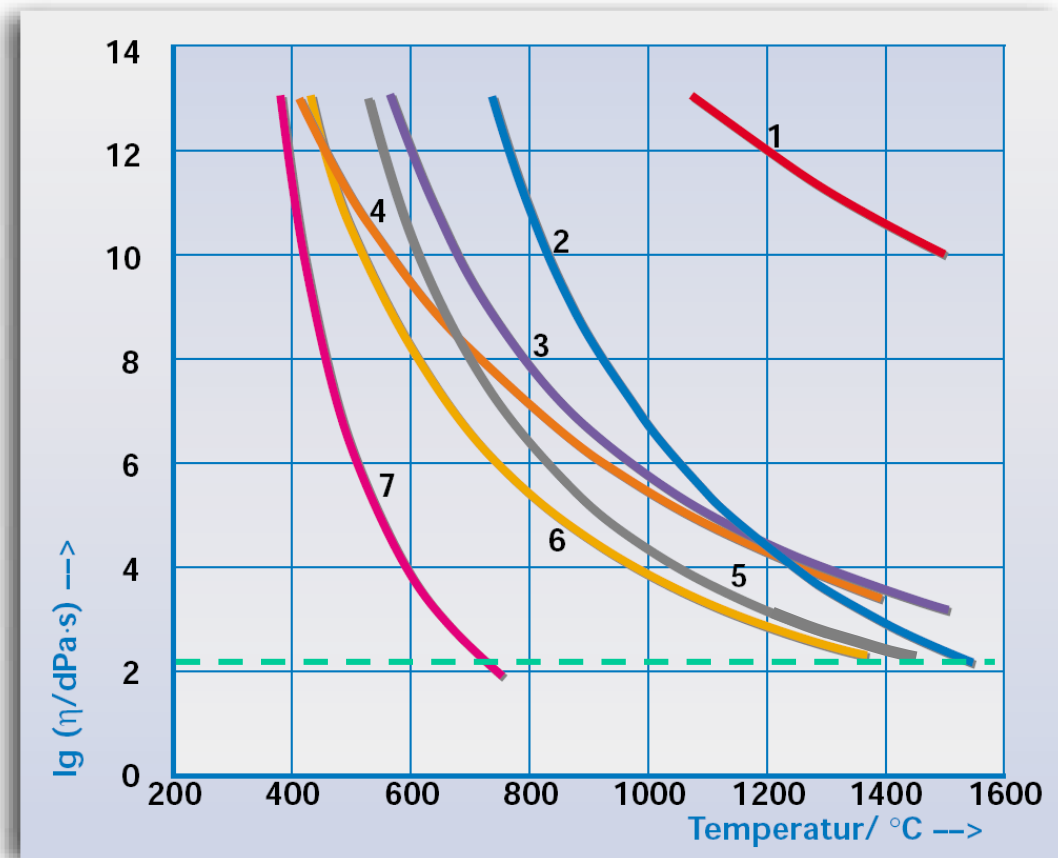


Viskosität-  
Temperatur-  
Verhalten

- **Umwandlung der Rohstoffe (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Silicate, Oxide) in eine silikatische Oxidmischung**
- **Temperatur erhöhen = schmelzen, „flüssig genug machen“**

**Bis zu welcher Temperatur?**

- 1: Quarzglas
- 2: Erdalkali-Alumosilicatglas
- 3: Borosilicatglas
- 4: Borosilicatglas
- 5: Soda-Kalk-Silicatglas
- 6: Bleisilicatglas
- 7: Lötglas



HVG-DGG

# Schmelzen – Theoretischer Energiebedarf

- **Umwandlung der Rohstoffe (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Silicate, Oxide) in eine silikatische Oxidmischung**
- **Temperatur erhöhen = schmelzen, „flüssig genug machen“**

Behälterglas

| Floatglas

Flint 1 | Emerald 1 | Amber 1 | Flint 2 | Emerald 2 | Amber 2 | Flint 3 | Emerald 3 | Amber 3 | Float 1 | Float 2

kWh/t<sub>geschmolzenes Glas</sub>

H(chem)	171	170	147	168	172	159	179	185	150	158	183
H(T,melt)	457	481	469	469	472	469	468	462	474	475	464
<b>H(theo)</b>	<b>628</b>	<b>651</b>	<b>616</b>	<b>637</b>	<b>644</b>	<b>628</b>	<b>647</b>	<b>647</b>	<b>624</b>	<b>633</b>	<b>647</b>
T [log(Vis. dPas)=2.1] °C	1435	1427	1448	1438	1437	1428	1429	1410	1448	1432	1409

	MJ/t molten glass (kWh/t)	MJ/t packed glass (kWh/t)	System boundary
<b>New approach</b> T <sub>max</sub> ← log(Visc. in dPa*s)=2.1			
Theoretical H <sub>theo</sub> dry, pure batch Reference: 25/0; 1013.25	2218-2344 (615-651)	2460-2604 (683-723)	



# (statistischer, mittlerer, theoretischer) Energieverbrauch bei der Behälterglasherstellung

$T_{max} \leftarrow \log(\text{Visc. in dPa}\cdot\text{s})=2.1$	MJ/t molten glass  (kWh/t)		MJ/t packed glass  (kWh/t)	System boundary
Theoretical $H_{theo}$ dry, pure batch Reference: 25/0; 1013.25	2218-2344 (615-651)		2460-2604 (683-723)	furnace
Energy consumption: new furnace (VDI 2578: 70 % cullets, no boosting)	3800 (1055)		4222 (1173)	
Energy consumption: container glass furnace (HVG: including electric boosting; no consideration of age, cullet content, ...)	4650 (1290)	Pack to melt: 0,9	5166 (1435)	
Additional consumption of fuel (feeder, annealing, preheating moulds, compressed air, ...)	900 (250)		1000 (278)	Peripheral devices, others
Additional consumption of electric power (compressed air, light, electronic devices, ...)	1062 (295)		1180 + (328)	
Statistic consumption of final energy	6611 (1837)		7346 (2041)	Site
Statistic consumption of primary energy			≈10580 (2939)	



# Theoretischer Energiebedarf – praktischer Energieverbrauch - Potentiale

## Glas in D

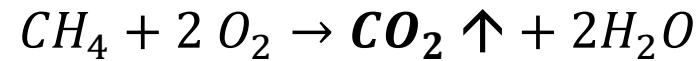
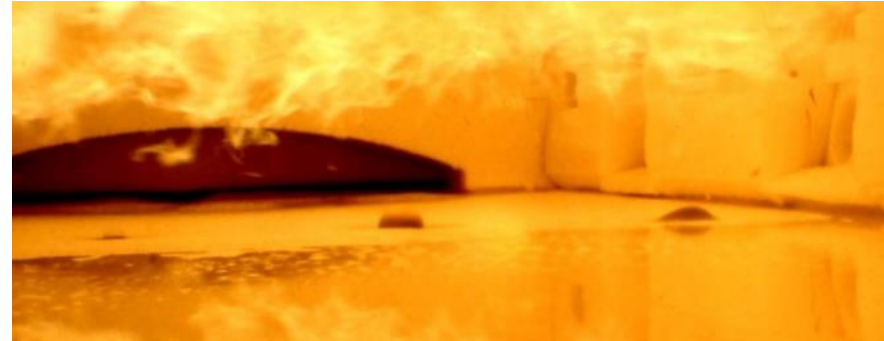
- Theoretischer Energiebedarf
  - Chemische Energie: Umwandlung Rohstoffe – Glasoxide
  - Thermische Energie
- Praktische Energieverbrauch
  - Gemengegase nehmen Abgastemperatur an
  - Wandverluste → Isolierung
  - Ausbeute (Pack to Melt)
  - Abgasverluste → Wärmerückgewinnung
    - Regenerator → ca. 16 PJ/a Ersparnis
    - Abgasrestwärme
      - Genutzt → ca. 3 PJ/a
        - Gemenge- und Scherbenvorwärmer
        - Stromerzeugung
        - Wärme (Raumheizung, Warmwasser)
        - Fernwärme
      - Potential → ca. 3 PJ/a



# CO2-Emissionen

- Energy sources
  - Fuel
    - Natural gas
    - Heavy oil
  - ~~Electric power~~

Is added to production of electricity



≈ 3/4

- Raw materials
  - Lime  $CaCO_3$
  - Dolomite  $MgCa(CO_3)_2$
  - Soda ash  $Na_2CO_3$



≈ 1/4

In Germany: (↔ amount of recycling cullets, energy consumption and sales mix)



HVG-DGG

# CO2 - Minderungspotential

Es geht nicht (mehr) um Potentiale  
sondern darum,  
wann (wie schnell)  
Minderungspotentiale (die Klimaneutralität)  
erreicht werden.



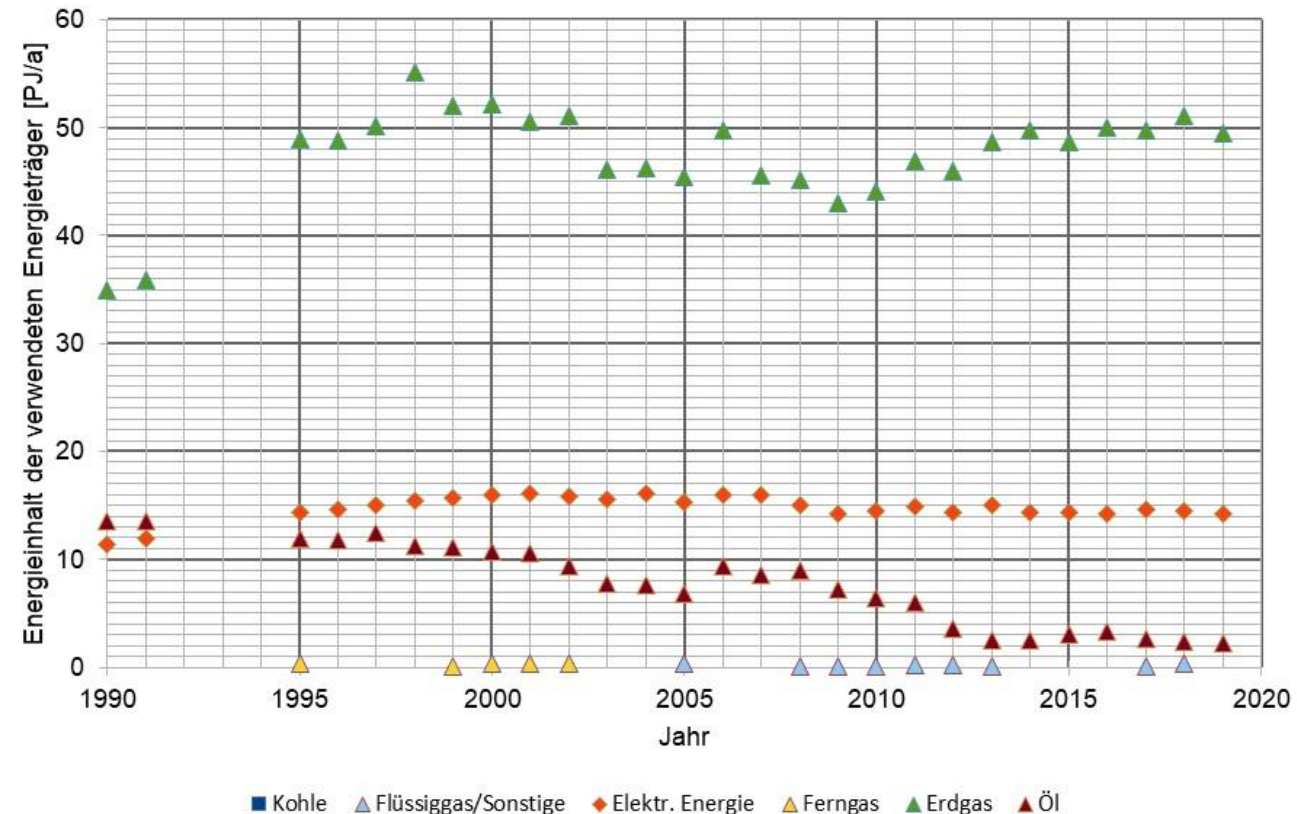
# Ersatz fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energieträger



- Klimaneutrale elektrische Energie
- Grüner Wasserstoff
- Synthetische, klimaneutrale CH-Brennstoffe (passende Energieträger/Brennstoffe für bestehende, Energie(kosten)-optimierte Anlagen): (Bio-)Methan, Methanol, ... ?
- An den Energieträgermix angepasste neue Schmelzanlagen

Bei diesen Fragen geht es auch um

- Sicherheitsaspekte
- Speichermöglichkeit
- Verfügbarkeit
- ...





# Ersatz von karbonatischen Rohstoffen

- Durch Oxid-Mischungen
  - Mehr (Recycling-)Scherben
  - entkarbonisierter, calcinierter, gebrannter Kalk, Dolomit
  - Schlacken
  - Andere CO<sub>2</sub>-freie Rohstoffe (z. B.: Hydroxide)
- CO<sub>2</sub>-neutrale, aber CO<sub>2</sub>-haltige, Rohstoffe
  - Aschen von organischen Abfällen



# Wege zur Erreichung der **Klimaneutralität** bei der Glasherstellung

ReInvent

TransHyDE-Sys  
H2-Glas  
HyGlass

PtX-TP

Glas-CO2

- „All electric“ ← erneuerbare, klimaneutrale und CO<sub>2</sub>-neutrale Erzeugung der elektrischen Energie
- Synthetische und/oder klimaneutrale Brennstoffe  
← elektrische Energie, zumindest partiell im „Überfluß“
  - H<sub>2</sub>
  - synth. Methan, Biomethan
  - Methanol, Ethanol
  - Ammoniak
  - ...?
  - (Roh-)Biogas
- CO<sub>2</sub> ausschleusen
  - und als Rohstoff nutzen: Carbon Capture and Usage
  - und als Abfallprodukt behandeln: Carbon Capture and Storage
- Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden
- Energieeffizienz verbessern
  - ...
  - Wärmerückgewinnung

MaxScherben, Na-Träger



HVG-DGG

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



**HVG-DGG**

Service und Forschung für die Glasherstellung