



TUBAF

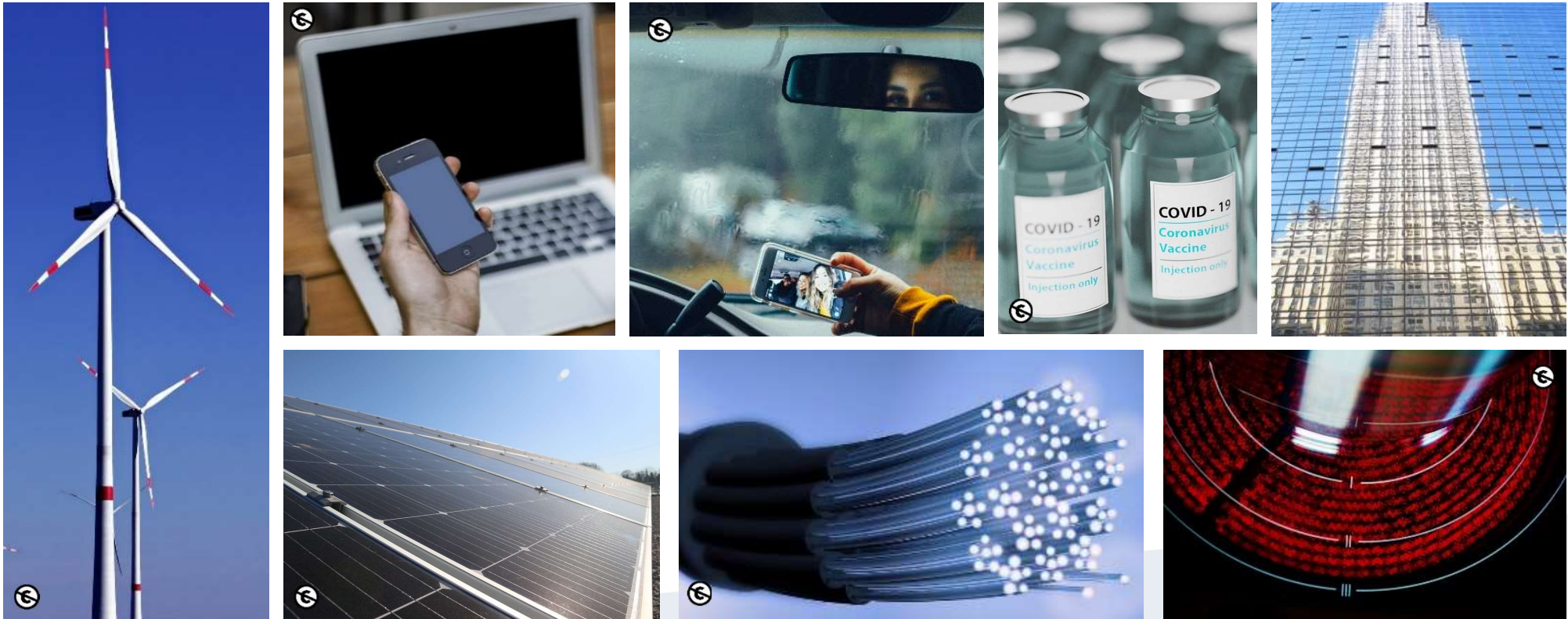
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

HERAUSFORDERUNGEN IN DER GLASSCHMELZE – MATERIAL – WECHSELWIRKUNG VOR DEM HINTERGRUND DER DEKARBONATISIERUNG DER GLASINDUSTRIE

Aktuelle Forschung am Institut für Glas und Glastechnologie
der TU Bergakademie Freiberg

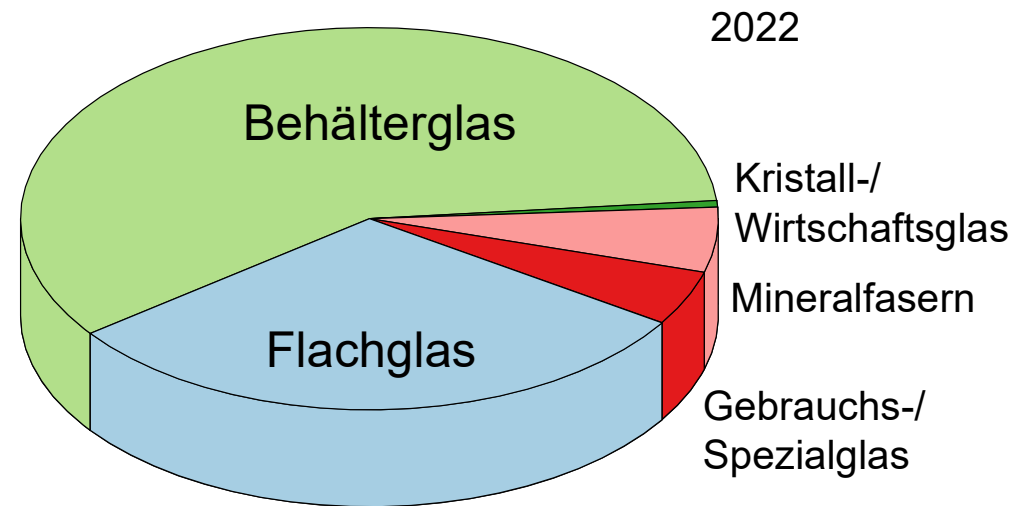
Sindy Fuhrmann, Juniorprofessorin Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie

Ohne Produkte aus Glas keine moderne Gesellschaft.



Die Glasindustrie in Deutschland.

- ✓ knapp 400 Betriebe
- ✓ circa 55.000 Beschäftigte
- ✓ 7.274.000 t Glas (ohne Steinwolle)
- ✓ Umsatz circa 12,6 Milliarden Euro



→ Viele Produkte, viele Spezifizierungen, viele Technologien, viele Prozesse

Zahlen für 2022

BV Glas: DIE DEUTSCHE GLASINDUSTRIE AUF EINEN BLICK: 2021 UND 2022; Online Zugriff https://www.bvglas.de/media/Facts_and_figures_Jahresberichte/Ueberblick_Glasindustrie.pdf 23.04.2024

Die Glasindustrie ist eine der Energie intensivsten Branchen Deutschlands.

- Rohstoffe (und Scherben) werden aufbereitet und gemischt: „Gemenge“ (Engl.: „batch“)
- Das kühle, bzw. vorgewärmte Gemenge wird bei hohen Temperaturen in die Glasschmelzwanne, bzw. Tiegel eingebracht
- Energie wird zugeführt → das Gemenge wandelt sich in eine Glasschmelze

→ Viele Produkte, viele Spezifizierungen, viele Technologien, viele Prozesse

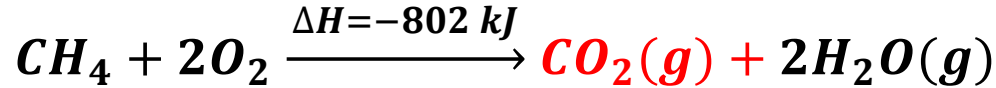


Die Glasindustrie ist eine der Energie intensivsten Branchen Deutschlands.

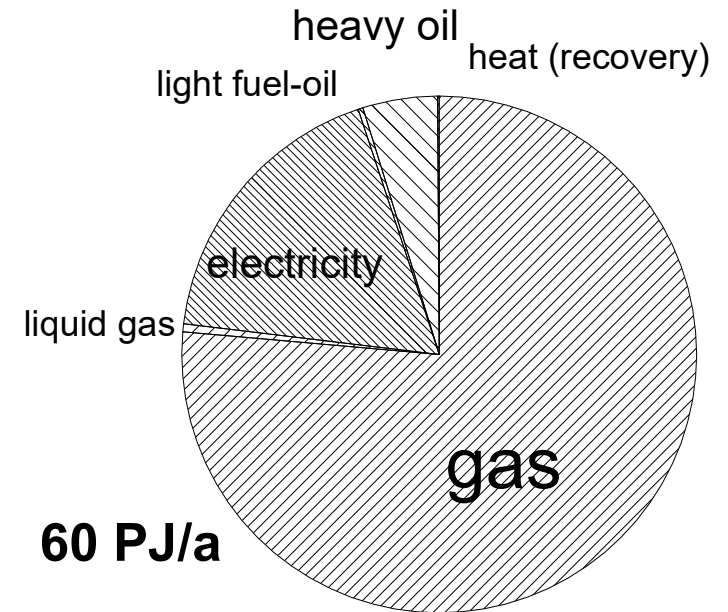
2021: 289 PJ/a
Erdgasanteil 38,1 %.

Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung Nr. N 017 vom 16. März 2023, Online Zugriff
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/03/PD23_N017_42_61.html 12.04.2024

- Oxyfuel-Verfahren:



- ~40 MJ/kg (~35 MJ/m³ Normalbed.;
Methan: 50 MJ/kg)

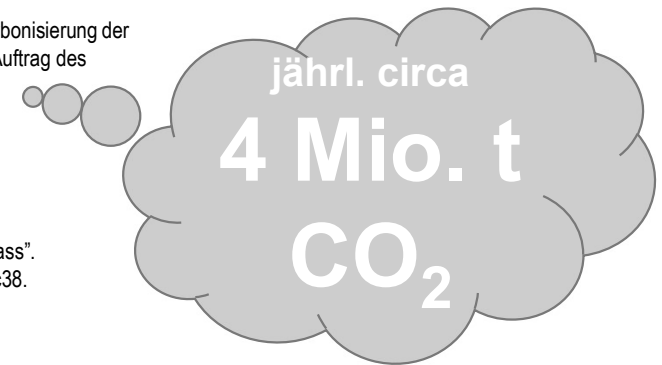


Zahlen von 2017; Zimmermann, Gerdes, Fachforum Glas 2020

Wärmeübergang: 95% Strahlung; nur 5% Konvektion-Leitung

Die Glasindustrie ist eine der Energie intensivsten Branchen Deutschlands.

Leisin, Matthias; Radgen, Peter: Glas 2045 - Dekarbonisierung der Glasindustrie. IER, Universität Stuttgart, Studie im Auftrag des Bundesverband Glasindustrie e.V., Stuttgart, 2022



Crawford, Robert, André Stephan, and Fabian Prideaux. "Epic Database - Laminated Glass". The University of Melbourne, November 20, 2019. <https://doi.org/10.26188/5da5556225c38>.

Embodied carbon - VSG

2,8 kgCO₂e/kg



Rohstoffe (inkl. PVB) 33%	Schmelzen (fossil) 30%	Formgebung 22%	Processing 15%
---------------------------------	---------------------------	-------------------	-------------------

Herausforderungen angenommen.

Klimaneutral bis ~~2050~~ ~~2045~~ ~~2035~~

→ Investitionslängen der Glasindustrie 6 Jahre ... 20 Jahre



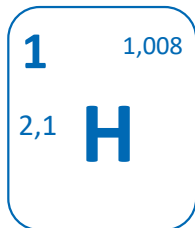
- Betriebseffizienz steigern (Infrastruktur Upgrades; Scherbenmanagement)
- Implementieren erneuerbarer Energien (Beschaffung; Selbst erzeugt: Turbinen, Wärmetauscher, Solar, ect.)
- Entwicklung und Implementierung neuer Technologien (Carbon capture, Brennstoffe, Elektrifizierung, alternative Rohstoffe, ect.)
- Wertschöpfungskette optimieren (Verstehen und Reduzieren von Scope 3)
- „Carbon Offset“

Herausforderungen angenommen.



Elektrifizierung

- Vollelektrische Schmelzwanne (Elektroden)



Alternative Brennstoffe

- Wasserstoff
- Syngas / Biogas
- NH_3



Hybridbetrieb

- Strom / Wasserstoff / Erdgas



Kreislaufführung

- Interne Scherben
- Externe / Post-consumer Scherben



Alternative Rohstoffe

- Ersatz; andere Minerale

Energieträger der Zukunft

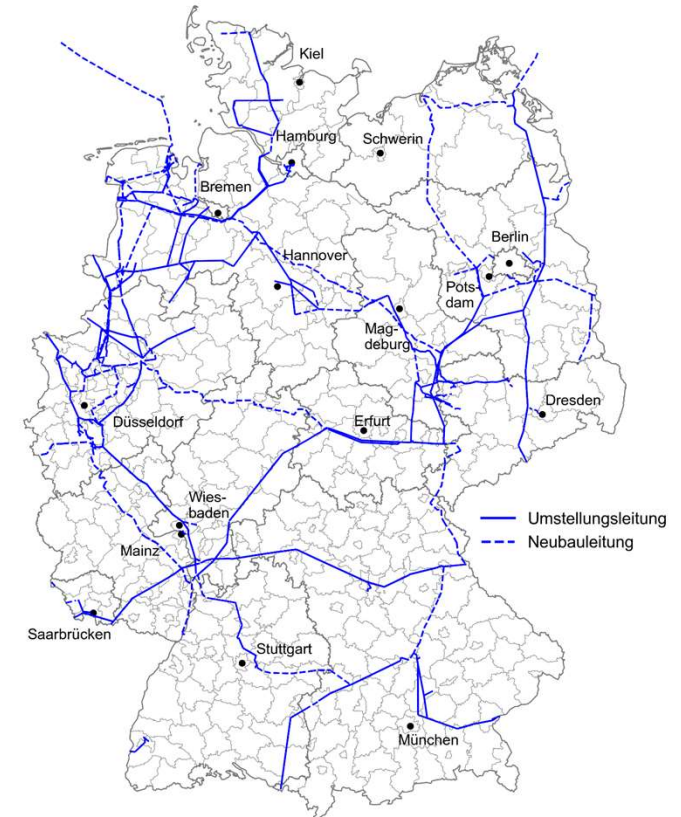
Wasserstoff

- Thematik: von Grau/Blau zu Grün → Preis?
- Infrastruktur zur Nutzung von Wasserstoff für die Glashersteller
- Welchen Einfluss wird es auf die Wannan, d.h. FF-Materialien haben? Wie verändern sich Investzyklen? Wird es Probleme mit Korrosion/Verunreinigungen geben?
- **Werden Adaptionen in der Prozessführung (Gemengerezepte, Befeuerungszyklen, Verweilzeiten, Läuterprozesse, etc.) notwendig sein? Wird es einen Einfluss auf die resultierende Glasqualität (z.B. Farbbildung; Schlieren) geben?**
- Wie werden sich die Gasemissionen verändern? → Thema NOx-Bildung

„QualiGlas“ wird grundl. Erkenntnisse liefern.

Entwurf für das Wasserstoff-Kernetz 2032

CCO Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V.



Facts ESF - Nachwuchsforschungsgruppe „QualiGlas“

Prädiktive Bewertung der Glasqualität bei zukünftigen Technologien zur nachhaltigen, CO₂-emissionsneutralen Glasherstellung



Europa fördert Sachsen.
ESF
Europäischer Sozialfonds



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

- **Start:** 01. Januar 2023; Laufzeit 24 Monate + 12 Monate vorgesehener Verlängerung
- **Aufgabe:** Grundlegende Erkenntnisse zu Prozessparametern und Glasqualität bei einer CO₂-emissionsneutralen Glasproduktion, d.h. unter Einsatz erneuerbarer Energieträger, bzw. alternativer Rohstoffe zu Karbonaten



M.Sc. M. Hutter



M.Sc. S. Rodmacher



Dipl.-Ing J. Scherer



M.Sc. F.
Hoseinian-Maleki



Dipl.-Ing R.
Schaarschmidt



M.Sc. Y. Yuan

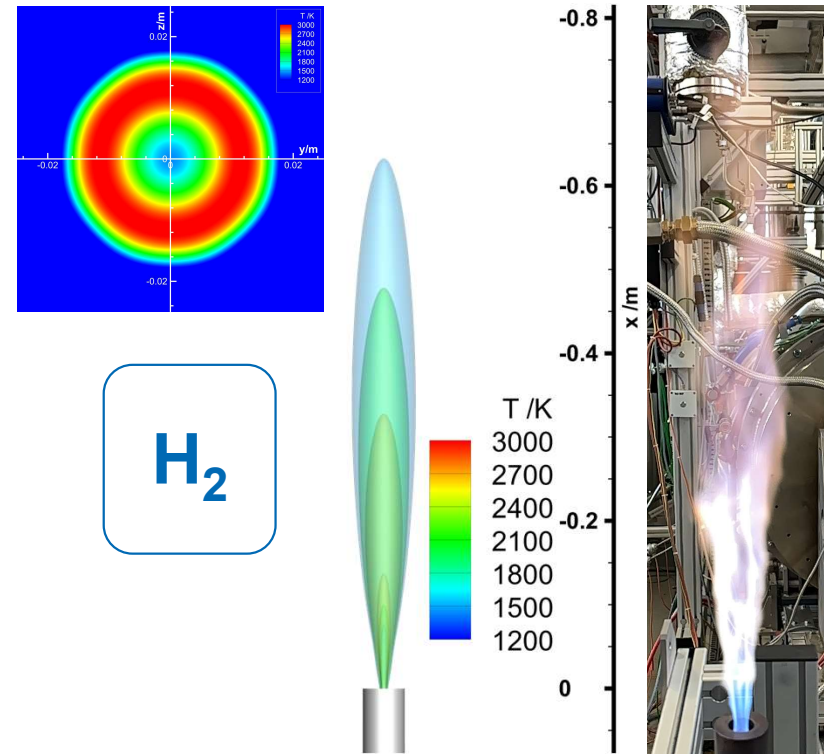
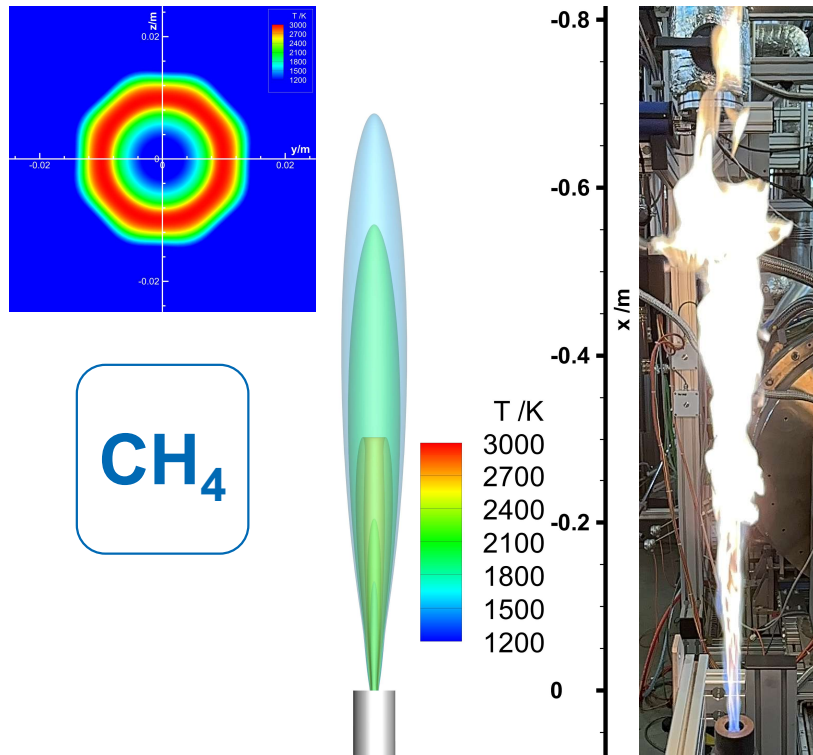
Institut für Energieverfahrenstechnik
und Chemieingenieurwesen (IEC)
Prof. A. Richter

Institut für Glas und Glastechnologie (IGT)
Jun.-Prof. S. Fuhrmann

Energieträger der Zukunft

Wasserstoff

Numerisches Modell - erste QualiGlas Ergebnisse für 15 kW-Brennersysteme

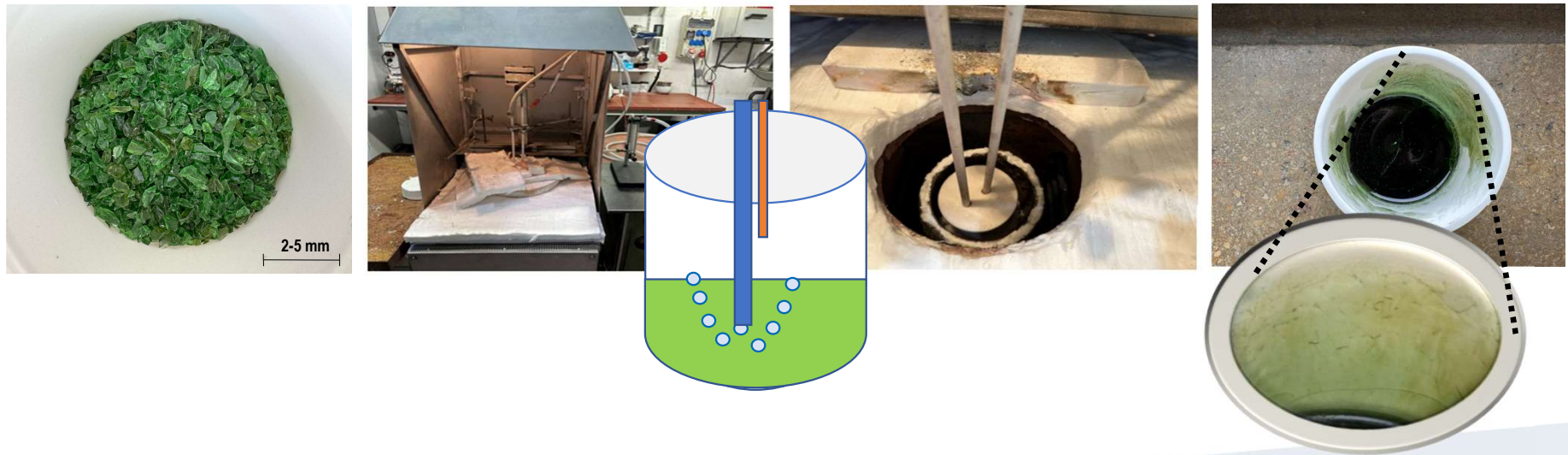


Flammensimulation CH₄ vs. H₂: Martin Hutter QualiGlas; Brenner/Experiment: TUBAF Partner GWA Anna Hasche, Sven Eckart, Hartmut Krause

Energieträger der Zukunft Wasserstoff

Erste QualiGlas Ergebnisse zum direkten Einfluss H_2 auf Glasschmelze

Schmelzen grüner Flaschenglasscherben ($T = 1200^\circ C$) in einem Elektroofen unter Einleitung von Wasserstoff

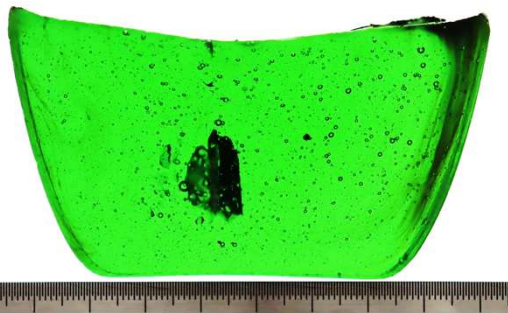


Experiment: Yuan Yuan QualiGlas; Facility TUBAF partner INEMET Ludwig Blenau, Alexandros CHARITOS

Energieträger der Zukunft Wasserstoff

Erste QualiGlas Ergebnisse zum direkten Einfluss H₂ auf Glasschmelze

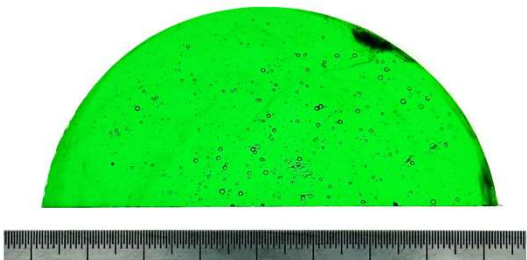
Schmelzen grüner Flaschenglasscherben ($T = 1200^{\circ}\text{C}$) in einem Elektroofen unter Einleitung von Wasserstoff



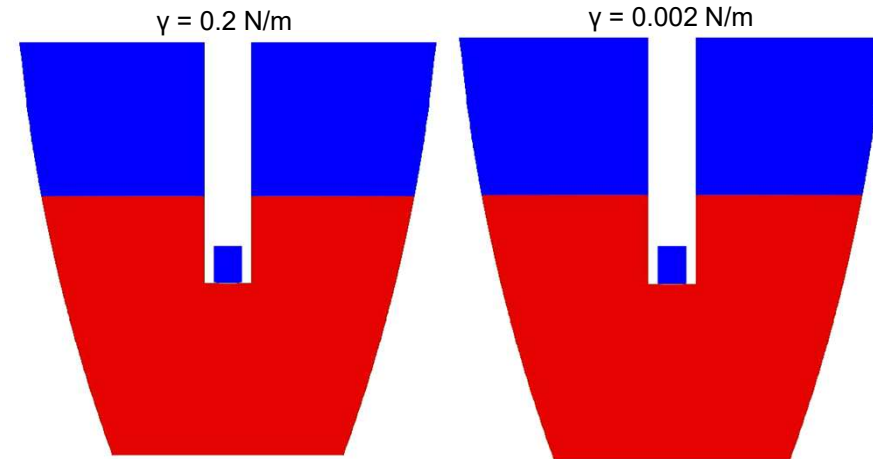
- Farbänderung; Schlieren
- Untersch. Blasenarten/-größen
- Änderung Redoxzustand

	H ₂ bubbled	Referenz
Fe ³⁺ (mol ⁻¹ cm ⁻¹)	3.11*10 ⁻⁵	4.27*10 ⁻⁴
Fe ²⁺ (mol ⁻¹ cm ⁻¹)	2.15*10 ⁻⁵	7.07*10 ⁻⁵
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	1.45	6.03

- Kein struktureller Einbau nachweisbar



Oberflächenspannung

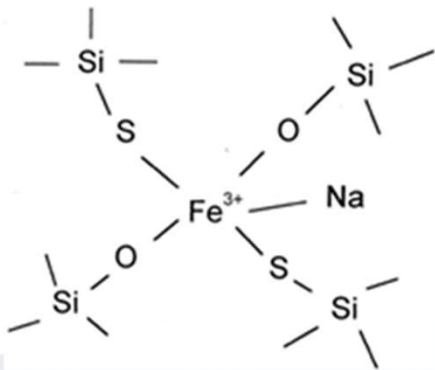


Analytik: Yuan Yuan QualiGlas; Simulation CH₄ vs. H₂: Martin Hutter QualiGlas

AiF Forschungsvereinigung „Schmelzen von Braunglas in VES“



- **Start:** 01. Januar 2023; Laufzeit 24 Monate **Koordination:** Dr.-Ing. Khaled Al Hamdan, IGT
- **Aufgabe:** Einstellung der Farbe und Blasenentfernung mittels Natriumsulfat und Kohle, bei gleichzeitiger Stabilität der Gemengeeinschmelzreaktionen (stabile Gemengedecke).
- **Ansatz:**
 - a) alternative Rohstoffe zur Bildung des farbgebenden Amber-Chromophor-Komplexes
 - b) Optimierung der Bildungsbedingungen vollelektrischen Bedingungen



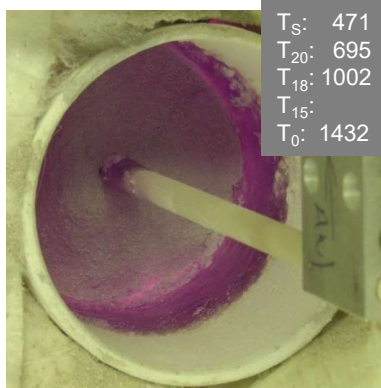
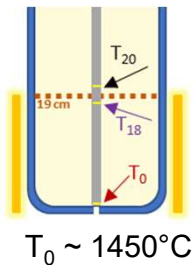
Braunfärbung von silik. Glas wird durch Sulfoferrit dem Amberchromophor $[\text{Fe}^{3+}\text{S}^{2-}]$ (und $[\text{Fe}^{2+}]$) bereits in sehr geringen Konzentrationen hervorgerufen.

- Elektronen-Donator-Akzeptor-Komplex,
- starke und breite UV-Absorptionsbanden.

AiF Forschungsvereinigung „Schmelzen von Braunglas in VES“

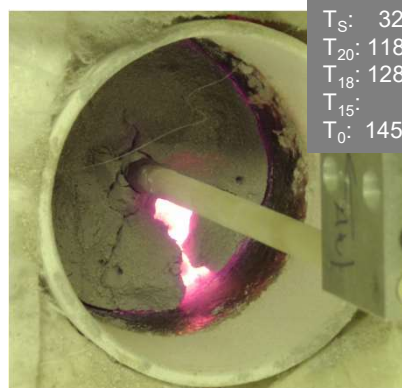
Untersuchungen mit variiertem Gemenge: CaO statt Kalk, NaOH statt Soda, Koks vs. Kohle vs. Graphit, ...

- Beispiel:
- 24 g/min (2 t/Tag/m²), gehalten über 1h
 - Einlage: 240 g / 10 min
 - T₀ ~ 1450°C



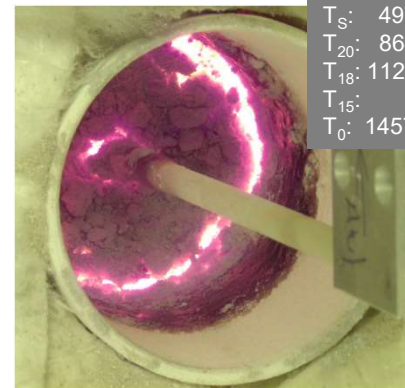
15:07 Uhr
Einlage (2 cm)

T_S: 471
T₂₀: 695
T₁₈: 1002
T₁₅:
T₀: 1432



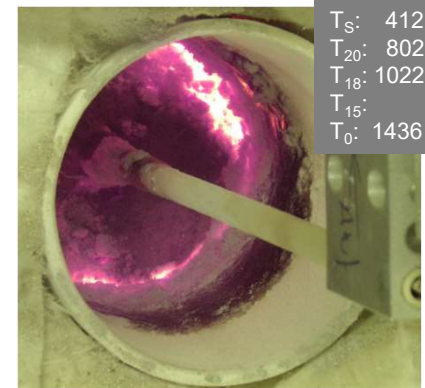
15:41 Uhr
Gemengedecke bricht ein
(vorher 25 min in gleicher Höhe
ca. 20cm)

T_S: 326
T₂₀: 1187
T₁₈: 1289
T₁₅:
T₀: 1458



15:48 Uhr
Entstehen einer Strömung bis
zum oberen Rand (nach innen
gerichtet)

T_S: 497
T₂₀: 864
T₁₈: 1127
T₁₅:
T₀: 1457



16:04 Uhr
Konvektion und sichtbare
Strömung, Gemenge wird
transportiert

T_S: 412
T₂₀: 802
T₁₈: 1022
T₁₅:
T₀: 1436

WIR!-recomine „VeharstGlas“ Verwertung von Haldenreststoffen in Glasprodukten

- **Förderung:** BMBF **Koordination:** Jun:-Prof. Fuhrmann, IGT
Partner: ERZLABOR Advanced Solutions GmbH;
ass. Partner: PQ Germany Corp.; LAMILUX GmbH
- **Start:** 01.04.2023 - 31.12.2025
- **Aufgabe:** Überführung von Rest- und Abfallstoffen, z.B. Schlacken und Sande, in Glas und geeignete Glasprodukte zu überführen.

wir! Wandel durch
Innovation
in der Region

recomine
rethinking resources



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

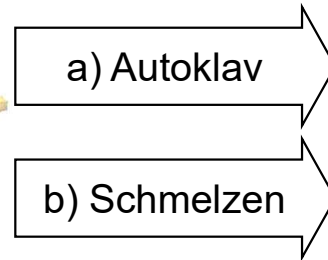


WIR!-recomine „VeharstGlas“

Verwertung von Haldenreststoffen in Glasprodukten

- **Ansatz:**
 - a) Hydrotherm. Auflösen der Reststoffe, bzw. über Alkalien Zugabe erzeugtes Wasserglas
 - b) Mix/Kombination als altern. Rohstoffe und Zusätze zur Herstellung von Glasfasern

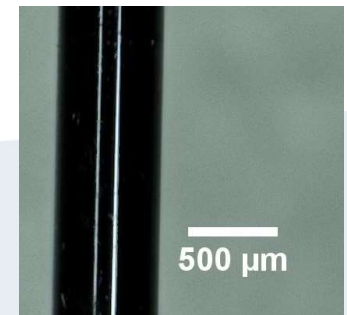
Reststoffe, z.B. hier getrocknete inerte Reste aus Remining^{PLUS}



Wasserglas, z.B. als Bindemittel, Abdichtmaterial

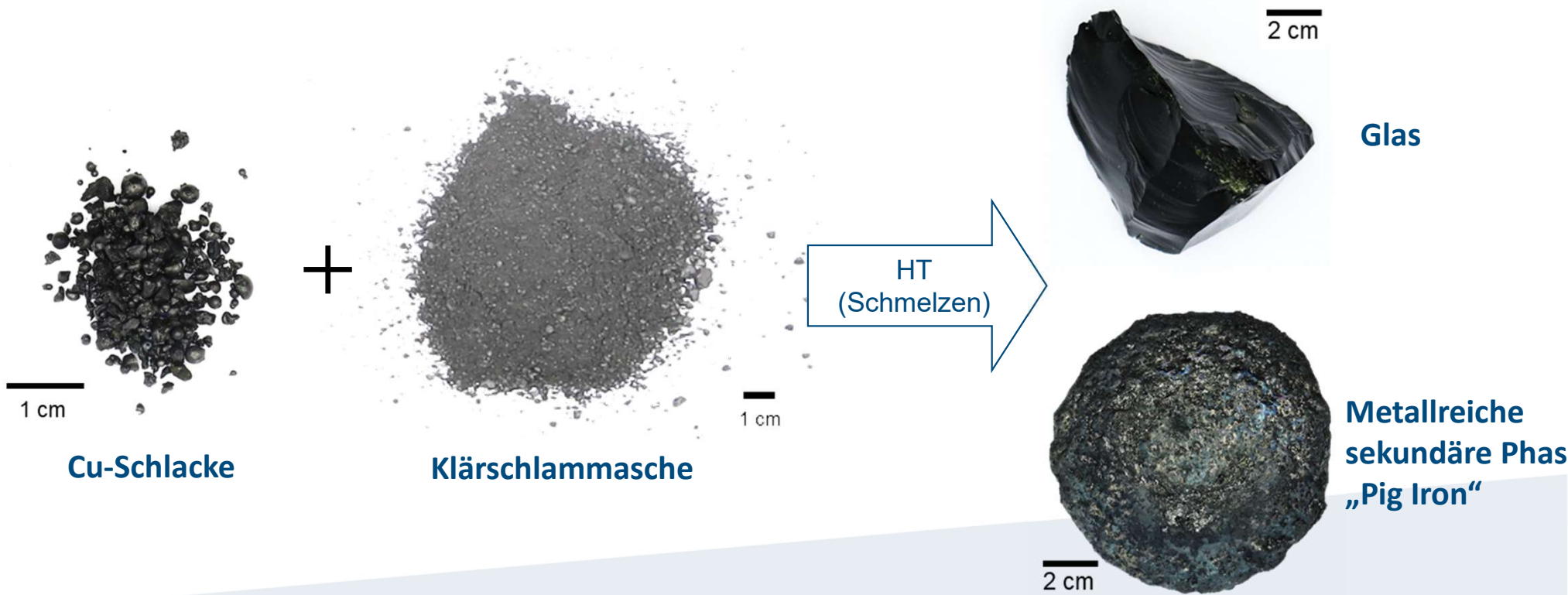


Glasfasern, z.B. für Glasfaserverstärkte Kunststoffe



Additive, z.B. andere Reststoffe, Aschen, ect.

WIR!-recomine „VeharstGlas“ Verwertung von Haldenreststoffen in Glasprodukten



MyGlass Mikrowellen-Hybrid beheiztes Glasschmelzen



Kofinanziert von der
Europäischen Union



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch
Steuermittel auf der Grundlage des vom
Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

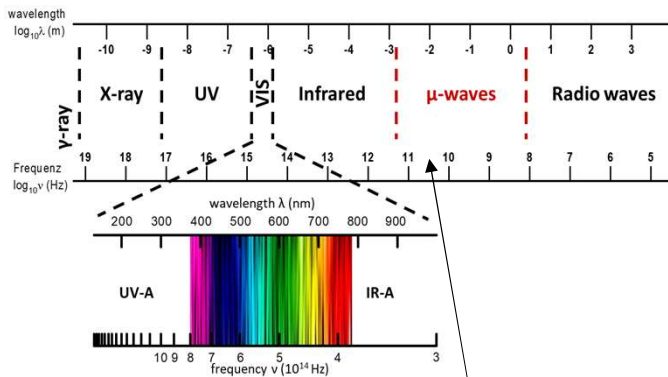
- **Förderung:** SAB / SMWA **Koordination:** Prof. Hartmut Krause, GWA
Partner: Fuhrmann/IGT; Leischnig/B2B Marketing
- **Start:** 01.10.2023 - 31.03.2025
- **Aufgabe:** Entwicklung und Bau eines Schrägbettschmelzer mit einem hybriden Beheizungskonzept (Kombination aus Mikrowellen- und el. Beheizung) als Demonstrator zum kontinuierlichen Aufschmelzen von Glas. Bewertung und Optimierung der Prozessführung und Glasqualität. Marktwirtschaftliche Validierung der technologischen Innovation und die Abschätzung des Vermarktungspotentials.

MyGlass Mikrowellen-Hybrid beheiztes Glasschmelzen



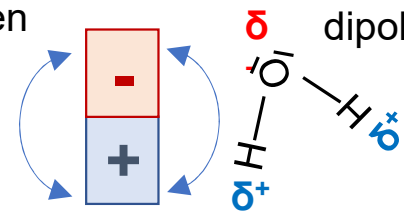
Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Mikrowellen

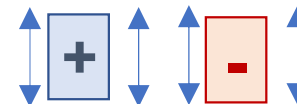


- Dielektrische Erwärmung

- Rotation Moleküle mit Dipolen



- Anziehung/Abstoßung geladener Teilchen (Ionen)



- Energieverteilung – Strahlungserw.



Aufschmelzen von Glas mittels Mikrowellenstrahlung, GWA, Dr.-Ing. R. Behrend

Zusammenfassung Glasindustrie

Ableitung Herausforderungen – Ofenbau; FF-Materialien

- Die Glasindustrie ist „divers“.
- Traditionalist vs. Wille zur Änderung
- Die Prozessführung wird sich ändern. Insbesondere T , t „Befeuerung“ und Verweilzeiten.
- Neue Ofenkonzepte werden entwickelt. „Hybride“ Systeme mit einer Kombination verschiedener Energieträger/-quellen inkl. „Exoten“ für z.B. direkte Wärmeeinkoppelung über Mikrowelle
- Die Gemengezusammensetzung wird sich ändern
 - Recyclingmaterialien mit hoher chemischer Komplexität
 - Höherer Scherbenanteil; post-consumer Anteil
 - Andere mineralische Rohstoffe

Cluster Glass – GlasLAB Torgau



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

33 M€ Förderung



Europa fördert Sachsen.
ESF
Europäischer Sozialfonds



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

- Stärkung & Ausbau des GlasCampus Torgau zu einem hochmodernen Bildungs- und Innovationszentrum
- Industriehalle mit Lehr-, Versuchs- und Versuchsanlagen
- **Forschungseinrichtung im halbindustriellen Bereich für Technologieforschung, z.B.**
 - ✓ **alternative Brennstoffe und Technologien**
 - ✓ **Rohstoffe, Mischungen und Reaktionen**
 - ✓ **Feuerfeste Materialien, Ofenbau, Sensorik und Prozessüberwachung**
 - ✓ **Formgebung, Maschinenbau, Robotik, Verfahrenstechnik**
 - ✓ ...



Gestaltungsvorschläge Baumaßnahme GlasLAB



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT.

Jun.-Prof. Sindy Fuhrmann
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Glas und Glastechnologie
sindy.fuhrmann@igt.tu-freiberg.de