

Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

1. Institut für Gesteinshüttenkunde (GHI), RWTH Aachen
2. Institut der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **16181 N**

Einsatz alternativer boroxidhaltiger Rohstoffe in der Glasindustrie

(Bewilligungszeitraum: 01.08.2009 - 31.07.2011)

der AiF-Forschungsvereinigung

Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V. -HVG

Aachen, 25.11.2011

Ort, Datum

Prof. Dr. rer. nat. Reinhard Conradt

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	ii
Tabellenverzeichnis	iv
1. Zusammenfassung	1
2. Forschungsthema.....	3
3. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	3
4. Stand der Forschung & Vorarbeiten der RWTH Aachen University	4
5. Forschungsziel	6
6. Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	6
7. Ergebnisse in Laborversuchen	8
7.1 Recherche Boroxidträger	8
7.2 Charakterisierung der einzelnen Borrohstoffe	10
7.3 Rohstoffauswahl und Mengeberechnung	16
7.4 Elektrische Leitfähigkeit	17
7.5 Batch Free Time (BFT)	24
7.6 10 kg Tests.....	27
7.7 Thermochemische Berechnungen	34
7.8 Auswertung und Interpretationen der erarbeiteten Ergebnisse	39
8. Ergebnisse in der Industriekampagne	40
8.1 Schmelzversuche in der Industrieanlage	40
8.2 Emissionsmessungen	46
9. Wirtschaftliche Bedeutung für kleinere und mittlere Unternehmen.....	55
9.1 Voraussichtliche Nutzung der erzielten Forschungsergebnisse	55
9.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der kmU	56
10. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	56
11. Verwendung der Zuwendung und Förderhinweis.....	57
Literatur.....	59
Anhang.....	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Borlagerstätten auf der Welt [KIS 1975]	8
Abbildung 2:	Kommerzielle Borherstellung zwischen 2002-2006	9
Abbildung 3:	Phasendiagramm des Systems $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$ (isotherm-isobar)	12
Abbildung 4:	Phasendiagramm des Systems $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – $2\text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$	12
Abbildung 5:	Phasendiagramm des Systems $4\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} -$ H_2O	13
Abbildung 6:	Kernit und Tincal	13
Abbildung 7:	DTA-TG Ergebnisse der Gruppe der Na-Borminerale; N = Na_2O , B = B_2O_3 , H = H_2O	15
Abbildung 8:	DTA-TG Ergebnisse für die natürliche Mineralmischung „Kernit“ (vgl. Abb. 6); Detailauswertung	15
Abbildung 9:	DTA-TG Ergebnisse der Gruppe der Mg-Ca-Na-Borminerale	16
Abbildung 10:	Conductogramm eines Kalk-Natron-Silicat-Gemenges	18
Abbildung 11:	Elektrische Leitfähigkeit κ von Gemengen mit unterschiedlichen Boroxidträgern (Laborversuche, 10 K/min)	18
Abbildung 12:	Thermodynamische Berechnung des Phasenbestandes im Gleichgewicht für eine kommerzielle Laborbedarfsglas- Zusammensetzung	19
Abbildung 13:	Conductogramme vom Lampenglasgemengen mit unterschied- lichen Boroxidträgern	19
Abbildung 14:	Phasendiagramm des Systems $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{BaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$	20
Abbildung 15:	Conductogramme von E-Glasgemengen	21
Abbildung 16:	Thermodynamische Berechnung des Phasenbestandes im Gleichgewicht für eine kommerzielle E-Glas-Zusammensetzung	22
Abbildung 17:	Conductogramme von Gemengen einer Glaswolle	23
Abbildung 18:	BFT-Ergebnisse von Laborbedarfsglas-Gemengen	24
Abbildung 19:	BFT-Ergebnisse von Lampenglasgemengen	25
Abbildung 20:	BFT-Ergebnisse von E-Glas-Gemengen	26

Abbildung 21: BFT-Ergebnisse von Glaswolle-Gemengen	26
Abbildung 22: Schematische Darstellung der 10 kg Tests	27
Abbildung 23: Vertikale Temperaturverteilung an fünf unterschiedlichen Positionen im Gemenge (vgl. Abb. 22).....	28
Abbildung 24: Reproduzierbarkeit der Methode, bestimmt an früher untersuchten Glaswollegemengen; Doppelversuch	29
Abbildung 25: Mittelwert des Zeitbedarfes für das Vollenden der endothermen Reaktionen im Glaswollegemenge	29
Abbildung 26: Temperaturverteilung in Laborbedarfsglasgemengen im 10 kg Test.	30
Abbildung 27: Temperaturverteilung in Lampenglasgemengen im 10 kg Test.....	31
Abbildung 28: Temperaturverteilung in E-Glas-Gemenges im 10 kg Test.....	32
Abbildung 29: Temperaturverteilung in Glaswollegemengen im 10 kg Test.....	32
Abbildung 30: Conductogramme der Glaswollegemenge, ergänzt durch Daten der Temperaturleitfähigkeit a der Gemenge als Funktion des temperaturbezogenen Stadiums der Gemengesmelze.....	33
Abbildung 31: Wärmebilanz einer Schmelzwanne mit Wärmetauscher;	35
Abbildung 32: Wärmebedarf der chemische Reaktionen ΔH_{chem} im Gemenge	38
Abbildung 33: Nutzwärme ΔH_{ex} des Schmelzens.....	38
Abbildung 34: Eingangsleistung P_{in} [kW] der Wanne in der Abhängigkeit von der Zeit [Tage] während einer industriellen Schmelzkampagne mit borax-pentahydrat-haltigem (Referenz)- und ulexithaltigem Gemenge.....	41
Abbildung 35: Nutzleistung P_{ex} [kW] des Schmelzprozesses als Funktion der Zeit [Tage], wie Abb. 34.....	42
Abbildung 36: Entnahmetemperatur der Glasschmelze in Durchlass, T_{ex} , zwischen Referenz- und Test-Phase (mit Ulexit).....	43
Abbildung 37: Eingangsleistung P_{in} als Funktion des Durchsatzes in t/h	44
Abbildung 38: Nutzleistung P_{ex} in kW als Funktion des Durchsatzes in t/h	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Borgehalt, Korngrößenverteilung und Phasenbestand von der Gruppe der Na-Borminerale.	11
Tabelle 2:	Borgehalt, Korngrößenverteilung und Phasenbestand von der Gruppe der Na-Ca-Mg-Borminerale.	14
Tabelle 3:	Thermochemische Berechnungen von realen Borosilicatgläsern (Laborbedarfs- bzw. Lampenglas) mit unterschiedlichen Boroxidträgern.	36
Tabelle 4:	Thermochemische Berechnungen von realen E-Glasfasergemengen mit unterschiedlichen Boroxidträgern.	37
Tabelle 5:	Thermochemische Berechnungen von realen Glaswollgemengen mit unterschiedlichen Boroxidträgern.	37
Tabelle 6:	Durchschnittliche Wärmebilanz bei der Verwendung von Ulexit als alternative Boroxidträger in der industriellen C-Glaswanne (Glaswolle).	45
Tabelle 7:	Mittelwerte der Emissionsmessungen im Rohgas vor der Filteranlage mit Borax-Pentahydrat (Referenzgemenge) und Ulexit als alternativer Boroxidrohstoff.	48
Tabelle 8:	Mittelwerte der Emissionsmessungen im Reingas hinter der Filteranlage mit Borax-Pentahydrat (Referenzgemenge) und Ulexit als alternativer Boroxidrohstoff.	49
Tabelle 9:	Analyse des abgeschiedenen Filterstaubes mit Borax-Pentahydrat (Referenzgemenge) und Ulexit als alternativer Boroxidrohstoff.	52
Tabelle 10:	Bor-Analysen und Massenströme beim Einsatz von Borax-Pentahydrat und von Ulexit als Boroxidrohstoff.	53
Tabelle 11:	Bor-Bilanzen für die Systemgrenze Filteranlage beim Einsatz von Borax-Pentahydrat und von Ulexit als Boroxidrohstoff.	54
Tabelle 12:	Bor-Bilanzen für die Systemgrenze Wanne / Rohgasmessstelle beim Einsatz von Borax-Pentahydrat und von Ulexit als Boroxidrohstoff.	54