

Klinkerriemchenwerk Feldhaus  
GmbH & Co. KG  
49196 Bad Laer

# **"Verfahrensentwicklung zum Glasieren von Klinkerriemchen im Einbrandverfahren"**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter AZ 26139-21/0 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Karl-Heinz Thele, BL und Dipl.-Ing.(FH) Theo Mager

Dezember 2009

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>26139</b>	Referat	<b>21/0</b>	Fördersumme	<b>330 000,- €</b>
----	--------------	---------	-------------	-------------	--------------------

**Antragstitel**

Verfahrensentwicklung zum Glasieren von Klinkerriemchen im Einbrandverfahren

**Stichworte**

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>24</b>	<b>01.12.2007</b>	<b>30.11.2009</b>	<b>1</b>

Zwischenberichte	halbjährlich
------------------	--------------

**Bewilligungsempfänger**

Klinkerriemchenwerk  
Feldhaus GmbH & Co. KG  
Remseder Straße 11  
49196 Bad Laer

Tel 05424/2920-0  
Fax 05424/2920-129

Projektleitung  
Karl-Heinz Thele

Bearbeiter  
Theo Mager

**Kooperationspartner**

keine

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Ziel des FuE-Projektes war die Entwicklung einer Verfahrens zur Herstellung glasierter Klinkerriemchen in einem Einbrandverfahren ohne zusätzlichen Energieaufwand für das Glasieren.

Anlass war die zunehmende Nachfrage nach glasierten Riemchen, vor allem aus dem Ausland. Ein Überzug mit einer Glasur schützt die Oberflächen der Riemchen, besitzt dekorativen Charakter und verbessert die mechanische Festigkeit sowie die chemische Beständigkeit. Die Glasur wirkt hydrophob und besitzt eine große Härte von 7 bis 8 Härtegraden (nach Mohs).

Wir konnten diese Nachfrage zunächst nur dadurch befriedigen, dass wir gebrannte Riemchen bei Fremdfirmen in einem zweiten Brennverfahren glasieren ließen. Mit der steigenden Nachfrage wurde uns bewußt, dass der Energieverbrauch durch zweimaliges Brennen und die erforderlichen Transporte durch ein rationelles Produktionsverfahren im Hause reduziert werden musste. Dies führte zu der Überlegung das Brennen und Glasieren der Klinkerriemchen in einem Fertigungsprozess zu vereinen.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Um das angeführte Vorhabensziel zu erreichen, wurden folgende Arbeitsschritte (AS) durchgeführt:

- AS 1 Entwicklung geeigneter Tonmischungen
- AS 2 Überwachen der optimalen Materialfeuchte
- AS 3 Entwicklung der Extruderpresse
- AS 4 Festlegung geeigneter Glasuren
- AS 5 Auftrag der Glasurflüssigkeit (Einsprühen, Trocknen, Schneiden)
- AS 6 Entwicklung der Setzeinrichtung
- AS 7 Trocknen und Brennen
- AS 8 Entwicklung der Brennkurven
- AS 9 Prüfen des Einflusses der Glasur auf die Formbeständigkeit
- AS 10 Nachweis der Haftung der Glasierschicht
- AS 11 Entwicklung der Verfahrensschritte für Winkelriemchen
- AS 12 Verbreitung der Vorhabensergebnisse

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Als Ergebnis des Entwicklungsprojekts entstand eine neue Produktionslinie für die Herstellung glasierter Klinkerriemchen im Einbrandverfahren. Die Energieeinsparung gegenüber der zuvor angewandten Zweibrandglasierung beträgt etwa 74%. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung des Verfahrens sind:

Möglichst steife Verpressung möglichst reiner Tone bei hohem Vakuum in der Strangpresse, damit die auf den Tonstrang aufgesprühte Glasurflüssigkeit schnell aufgenommen wird.

Sorgfältige Abstimmung der Glasuren zum Grundmaterial. Die Glasuren in den verschiedenen Farbtönen konnten zum Grundkörper so abgestimmt werden, dass die glasierten Riemchen eine erhöhte Festigkeit aufweisen.

Um fehlerfreie Glasuren zu erhalten, darf der Auftrag der Glasurflüssigkeit nur auf gereinigte Flächen erfolgen. Das entwickelte Verfahren der Glasierung im Einbrandverfahren hat neben der bereits angeführten Energieeinsparung den Vorteil, dass die zu glasierende Rohware eine völlig saubere Oberfläche besitzt, da die Glasurflüssigkeit unmittelbar nach der Strangpresse aufgespritzt wird.

Das Aufstellen der mit Glasur besprühten Riemchen auf die Schnittkanten (senkrechte Gruppierung) zum Trocknen und Brennen, mit dem das Verkleben der Teile miteinander verhindert wird, wäre ohne Steifverpressung bei hohem Vakuum kaum möglich, da die Glasur andernfalls verlaufen würde.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Das Angebot glasierter Klinkerriemchen wurde inzwischen in unsere Broschüren für die allgemeine Kundschaft und in die Architektenbroschüre übernommen. Die Darstellungen in diesen Broschüren zeigen u. a. sämtliche bis jetzt erprobten Glasur-Farbvarianten. Diese Unterlagen werden in gedruckter Form neben Deutsch auch in den Sprachen Englisch, Französisch, Italienisch, Spanisch, Polnisch und Russisch angeboten. Sie stehen auch unseren Vertretungen und Händlern zur Verfügung. Außerdem können die Broschüren auch aus dem Internet herunter geladen bzw. ausgedruckt werden. Die Adressen lauten:

für die allgemeine Broschüre:

[http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekt\\_Riemchen\\_2009.pdf](http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekt_Riemchen_2009.pdf)

und für die Architekten-Broschüre:

[http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekte\\_PDF/Broschuere\\_Fassadensysteme\\_0908.pdf](http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekte_PDF/Broschuere_Fassadensysteme_0908.pdf).

Zusätzlich steht eine Beschreibung des neuen Verfahrens für die Presse zur Verfügung. Außerdem dürfen wir auf eine Pressemitteilung der DBU vom 01.09.2009 verweisen, in der das neue Verfahren ebenfalls kurz beschrieben wird.

## ***Fazit***

Mit dem neuen Verfahren zum Glasieren von Klinkerriemchen mittels Einmalbrand können qualitativ hochwertige Produkte in zahlreichen Farben erzeugt werden. Darüber hinaus bietet die neue Verfahrenstechnik erhebliche Vorteile in ökologischer, technologischer und ökonomischer Hinsicht.

Ökologisch bedeutsam ist die Einsparung an Energie gegenüber der zuvor angewandten Glasierungstechnik im Zweibrandverfahren um etwa 74%.

Aus technischer Sicht wurde ein neuer Stand der Glasiertechnik erreicht, der durch zahlreiche Einzelentwicklungen in den Bereichen

Formgebung,  
Schneidetechnik,  
Glasurtechnik,  
Fördertechnik,  
Trocknungs- und Brenntechnik

gekennzeichnet ist.

Die angeführte Energieeinsparung wird zu einer erheblichen Kostenreduzierung bei der Produktion der glasierten Riemchen führen, so dass die Entwicklungs- und Investitionskosten in etwa drei Jahren amortisiert werden können. Das neue Angebot und die damit verbundene Kostenreduzierung wird die Wettbewerbsfähigkeit unseres Hauses auf den internationalen Märkten wesentlich erhöhen. Ein weiteres bedeutsames Ergebnis sehen wir in der Schaffung von etwa 10 neuen Arbeitsplätzen zur Bedienung der neuen Produktionsanlage für glasierte Klinkerriemchen.



# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen.....	02
Verzeichnis der Tafel .....	03
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen .....	04
<b>1.0 Zusammenfassung .....</b>	<b>05</b>
<b>2.0 Einleitung .....</b>	<b>06</b>
<b>3.0 Hauptteil .....</b>	<b>08</b>
3.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte, der angewandten Methoden und der erzielten Ergebnisse .....	08
3.1.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte .....	08
3.1.2 Darstellung der angewandten Methoden und Ergebnisse .....	12
3.1.2.1 Tonaufbereitung und Extrusion .....	13
3.1.2.2 Verarbeitung der Glasurflüssigkeit .....	18
3.1.2.3 Schneiden des Tonstrangs.....	21
3.1.2.4 Gruppieren, Trocknen und Brennen.....	25
3.1.2.5 Entladen der gebrannten und glasierten Formlinge.....	30
3.2 Diskussion der Ergebnisse.....	33
3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse .....	35
3.3.1 Ökologische Bewertung.....	35
3.3.2 Technologische Bewertung.....	36
3.3.3 Ökonomische Bewertung .....	37
3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse.....	38
<b>4.0 Fazit .....</b>	<b>40</b>
<b>5.0 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>41</b>

## Verzeichnis der Bilder, Zeichnungen und Grafiken

Abbildg. 1	Seite 06	=	WDS mit Formteilen aus Hartschaum
Abbildg. 2	Seite 11	=	Verfahrensschritte zum Glasieren von Klinkerriemchen im Einmalbrand
Abbildg. 3	Seite 12	=	Vergleich des simulierten Strömungsverlaufs im Presskopf vor und nach der Optimierung.
Abbildg. 4	Seite 13	=	Gefrästes Negativ des Presskopfs
Abbildg. 5	Seite 13	=	Presskopf im Schnitt
Abbildg. 6	Seite 14	=	Strangabschnitt mit ungleichmäßigem Vortrieb
Abbildg. 7	Seite 14	=	Ermittlung von Verbesserungen am Presskopf durch FEM-Simulation
Abbildg. 8	Seite 15	=	Blick in Flussrichtung auf den neuen Presskopf
Abbildg. 9	Seite 15	=	Auslaufender Strang beim zweiten Pressversuch
Abbildg.10	Seite 16	=	Trägerstein mit Winkelriemchen, rechts abgelöstes Winkelriemchen
Abbildg.11	Seite 17	=	Ergebnisse von Glasierversuchen
Abbildg.12	Seite 18	=	Versuchsweise im Einbrandverfahren glasierte Riemchen
Abbildg.13	Seite 19	=	Auftrag der Glasurflüssigkeit und Vortrocknung
Abbildg.14	Seite 19	=	Einrichtung zum Auffangen überschüssiger Glasurflüssigkeit.
Abbildg.15	Seite 20	=	Versuch mit drei Schneidscheiben
Abbildg.16	Seite 21	=	Versuch mit Korrekturschnitt
Abbildg.17	Seite 21	=	Korrekturschnitt mit Abfall
Abbildg.18	Seite 22	=	Riemchenschnitt mit 3 Schneidscheiben auf zwei Achsen (endgültige Ausführung)
Abbildg.19	Seite 23	=	Verschleiß der Schneidscheiben mit zunehmendem Einsatz
Abbildg.20	Seite 24	=	Gruppiertes Türmchen vor dem Brennen
Abbildg.21	Seite 25	=	Greiferleiste für die Setzroboter
Abbildg.22	Seite 26	=	Druckplatten an den Greifern der Setzroboter
Abbildg.23	Seite 27	=	Besatz mit Schwindplatten

Abbildg.24	Seite 28	=	Besatz mit Schwindplatten; einige Riemchen sind durch den Schub teilweise verschoben.
Abbildg.25	Seite 28	=	Tunnelofenwagen mit Besatz, eine Lage ist durch die Schubbeschleunigung gekippt
Abbildg.26	Seite 29	=	Sortieren und Entladen des ersten, gebrannten Besatzes.
Abbildg.27	Seite 30	=	Die Greifer der Abladeroboter bei Zugriff auf den Besatz
Abbildg.28	Seite 30	=	Vorsichtiges Anheben der gebrannten und glasierten Türmchen dank neuer Programmierung der Entladeroboter
Abbildg.29	Seite 31	=	Glasierte Klinkerriemchen bei Ofenausfahrt
Abbildg.30	Seite 31	=	Winkelriemchen, glasiert im Einbrandverfahren
Abbildg.31	Seite 33	=	Die neue Produktionslinie für glasierte Klinkerriemchen
Abbildg.32	Seite 38	=	Farbvarianten glasierter Riemchen
Abbildg.33	Seite 39	=	Hoher Besuch bei Feldhaus

## Verzeichnis der Tafeln

Tafel 1	Seite 22	=	Maßhaltigkeit geschnittener Riemchen
Tafel 2	Seite 35	=	Energieverbrauch beim konventionellen Zweibrandverfahren
Tafel 3	Seite 35	=	Energieverbrauch beim neu entwickelten Einbrandverfahren
Tafel 4	Seite 36	=	Jährliche Einsparung an Energie und CO <sub>2</sub> -Ausstoß
Tafel 5	Seite 37	=	Kostenreduzierung durch das neue Einbrandverfahren pro Jahr

## Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

€/km	=	Fahrkosten in EUR je km
AS	=	Arbeitsschritt
atro	=	absolute Trockensubstanz
CO <sub>2</sub>	=	Kohlendioxid
DIBt	=	Deutsches Institut für Bautechnik
FEM	=	Finite Elemente Methode
GHz	=	Gigahertz (10 <sup>9</sup> Hz)
km	=	Kilometer
km/a	=	Fahrleistung in km pro Jahr
kWh	=	Kilowattstunden
kWh/kg	=	Brennenergie in Kilowattstunden je kg Rohlinge
l/100 km	=	Treibstoffverbrauch in Liter pro 100 km
m/min	=	Geschwindigkeit in Meter pro Minute
mbar	=	Millibar
Mcal	=	Megacalorie; ältere Energieeinheit; 1 Mcal = 1,163 kWh
Mcal/t	=	Megacalorien je Tonne
MJ	=	Megajoule; 1 MJ = 0,278 kWh
MJ/t	=	Megajoule je Tonne
mW	=	Milliwatt
MWh	=	Megawattstunde
MWh/t	=	Megawattstunden je Tonne
NF	=	Normalformat der Riemchen; 71 x 240 mm; 17 mm stark
PE	=	Polyethylen
rel.	=	relativ
s	=	Sekunde
Schnitte/min	=	Leistung der Trennvorrichtung am extrudierten Strang
t	=	Tonne
TOW	=	Tunnelofenwagen
U/min	=	Drehzahl je Minute
v <sub>μ</sub>	=	mittlere Schubgeschwindigkeit
WDS	=	Wärmedämmsystem
Δ <sub>t</sub>	=	Temperaturdifferenz

# "Verfahrensentwicklung zum Glasieren von Klinkerriemchen im Einbrandverfahren"

## 1.0 Zusammenfassung

Ziel des FuE-Projektes war die Entwicklung einer Verfahrens zur Herstellung glasierter Klinkerriemchen in einem Einbrandverfahren ohne zusätzlichen Energieaufwand für das Glasieren.

Anlass der Entwicklung war die zunehmende Nachfrage nach glasierten Klinkerriemchen, vor allem aus dem Ausland. Eine Glasur auf klinkerriemchen bietet verschiedene Vorteile. Sie wirkt dekorativ, schützt die Oberfläche und verbessert die mechanische Festigkeit.

Wir konnten diese Nachfrage zunächst nur dadurch befriedigen, dass wir gebrannte Riemchen bei Fremdfirmen in einem zweiten Brennverfahren glasieren ließen. Mit der steigenden Nachfrage wurde uns bewußt, dass der Energieverbrauch durch zweimaliges Brennen und die erforderlichen Transporte durch ein rationelles Produktionsverfahren im Hause ersetzt werden mussten. Dies führte zu der Überlegung, das Brennen und Glasieren der Klinkerriemchen in einem Brennprozess zu vereinen.

Der Lösung dieser Aufgabe ging zunächst eine eingehende Information über die Glasierungstechnik und die verwendeten Glasurflüssigkeiten voraus, wobei der Verwendung von Glasuren mit unbedenklichen Farbstoffen der Vorzug gegeben wurde.

Um eine Glasierung im Einbrandverfahren zu erreichen, muss die Glasurflüssigkeit auf den feuchten Tonstrang aufgesprüht werden. Dies ist jedoch nur dann erfolgversprechend, wenn der Strang sehr steif, das heißt mit geringem Feuchteanteil und unter hohem Vakuum extrudiert wird. Nur unter dieser Voraussetzung nimmt der Ton die Glasurflüssigkeit schnell auf. Dann genügt ein kurzes Antrocknen, um die Glasur gleichmäßig auf den Formlingen zu halten, so dass sie nach dem Schneiden bei der Gruppierung auf den Tunnelofenwagen auf die Schnittkanten gestellt werden können. Dazu musste der gesamte Extrusionsvorgang, beginnend bei der Materialaufbereitung bis zum Schneiden des extrudierten Tonstrangs überarbeitet und an die neuen Anforderungen angepasst werden. Hohe Anforderungen stellte auch die Gruppierung der Riemchen in 8 Lagen auf den Tunnelofenwagen mittels Robotern. Der labile Aufbau der gruppierten Türmchen aus hochkant gestellten Rohlingen erforderte Änderungen sowohl im Ablauf des Trocken- und Brennprozesses, als auch an der hydraulischen Schubmaschine.

Das Vorhabensziel konnte in allen Punkten erreicht werden. In ökologischer Hinsicht ist eine Energieeinsparung gegenüber dem ursprünglich angewendeten Glasierverfahren von 74% von Bedeutung. In Bezug auf die angewandten Technologien wird durch das Einbrandglasieren ein neuer Stand der Technik erreicht. Ökonomisch führt die erzielte Energieeinsparung zu einer Kostensenkung von etwa 224 000,- € (bezogen auf die Fertigung von 5000 t/a). Zusätzlich werden wir mittelfristig etwa 10 Arbeitskräfte zur Betreuung der neuen Fertigungslinie einstellen und damit einen Beitrag zur Senkung der Arbeitslosenquote im Raum Osnabrück leisten.

Die erzielten Vorhabensergebnisse haben wir durch die Veröffentlichung entsprechender Broschüren im Internet und als Printmedien jeweils in den Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch, Spanisch, Polnisch und Russisch sowie durch Pressemitteilungen bekannt gegeben.

## 2.0 Einleitung

Klinkerriemchen werden seit langem zur Fassadengestaltung von Bauten aller Art eingesetzt. Unser Unternehmen ist mit einer Jahresproduktion von ~ 90 Mio. Klinkerriemchen und ~3 Mio. Winkelriemchen europäischer Marktführer. Wir stellen die Klinker in zahlreichen Farben und Formaten, sowie mit unterschiedlich strukturieren Oberflächen her. Unser Angebot umfasst inzwischen über 700 Varianten. Die Verwendung von Klinkerriemchen hat in den letzten Jahren eine große Bedeutung bei der Wärmedämmung von Gebäudefassaden gewonnen. Zur Außendämmung werden spezielle Wärmedämmsysteme eingesetzt, die zum Beispiel nach Abbildung 1 aufgebaut sind.



Abbildung 1: WDS mit Formteilen aus Hartschaum, der auf die Außenwand gedübelt wird. Die Klinkerriemchen werden aufgeklebt.

Die Anwendung der Klinker und Klinkerriemchen für Außenwandbekleidungen ist in DIN 18515 festgelegt. Die zulässigen Wärmedämmschichten sind in DIN 18164 bzw. DIN 18165 festgelegt. Eine Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin (DIBt) liegt vor.

Keramische Produkte besitzen nach dem Brennen meist eine merkliche Oberflächenrauheit, die von den Korngrößen des aufbereiteten Materials und der beim Brand entstehenden, kristallinen Phase abhängen. Diese Rauheit begünstigt nach Einbau den Ansatz von Verschmutzungen. Ein Überzug mit einer Glasur schützt die Oberflächen der Riemchen, besitzt dekorativen Charakter und verbessert die mechanische Festigkeit sowie die chemische Beständigkeit. Die Glasur wirkt hydrophob und weist eine große Härte von 7 bis 8 auf. Sie ist damit wesentlich härter als selbst Stahl, dessen Härte 5 beträgt (Härtegrade nach Mohs DIN EN 101). Glasierte Oberflächen sind deshalb gut zu reinigen, Reste von Verlegekleber oder Mörtel, selbst Graffiti-Schmierereien lassen sich gut entfernen. Außerdem dichtet eine Glasur die Klinkerriemchen weiter ab, so dass die an sich geringe Wasseraufnahme (< 6% nach WDVS DIN 18515-1) nochmals reduziert wird.

Diese Vorteile glasierter Keramik sind vermutlich Ursache für eine steigende Nachfrage nach glasierten Klinkerriemchen, die uns in den vergangenen Jahren vor allem aus dem Ausland erreichte. Bisher dato waren wir und auch unsere Wettbewerber aus technischen Gründen nicht in der Lage, die Klinkerriemchen in der eigenen Fertigung zu glasieren. Wir waren deshalb gezwungen, die gebrannten Klinkerriemchen zu entsprechenden

Unternehmen zu transportieren, die die Glasur aufsprühten und in einem zweiten Brand glattbrannten.

Dieser zweite Brand erfolgte bei holländischen und deutschen Spezialfirmen in Herdwagenöfen, die aus Qualitätsgründen umfangreiche Brennhilfsmittel zum Gruppieren der Klinkerriemchen auf den Herdwagen benutzen mussten. Der Brennvorgang war deshalb sehr energieintensiv und erforderte mit etwa 1,63 kWh/kg die 3,5-fache Energie des normalen Brennvorgangs von Klinkerriemchen. Zuzüglich war der Transportaufwand zu berücksichtigen.[01]

Wir definierten deshalb als Vorhabensziel:

**Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung glasierter Klinkerriemchen in einem Einbrandverfahren ohne zusätzlichen Energieaufwand.**

## 3.0 Hauptteil

Der Lösung dieser Aufgabe ging zunächst eine eingehende Information über die Glasierungstechnik und die verwendeten Glasurflüssigkeiten voraus. Glasuren bestehen aus einem fein gemahlenen Glas als Flussmittel und einem farbgebenden Anteil in Form von Farbpigmenten. Die Glasurflüssigkeiten werden meist als flüssige Suspension auf die vorgebrannte, keramische Unterlage mittels verschiedener Methoden aufgetragen und bisher in einem zweiten Ofendurchgang eingebrannt. Zu unseren Zielen gehörte die Verwendung von Glasuren mit unbedenklichen Farbstoffen. Hier bietet sich der Einsatz von Einschlusspigmenten an, das heißt ökologisch bedenkliche Pigmente, wie z. B. Metalloxide, die im Lauf der Jahre ausgewaschen werden könnten, werden in Zirkonsilikat eingeschlossen. Farbstoffe mit Bleiverbindungen werden nicht verwendet. Eine sehr gute Übersicht über die verfügbaren Rohstoffe für Glasuren fanden wir in [02].

Zu Beginn des Vorhabens wurde der im nächsten Abschnitt beschriebene Arbeitsplan aufgestellt, der konsequent abgearbeitet wurde.

## 3.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte, der angewandten Methoden und der tatsächlich erzielten Ergebnisse

### 3.1.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte (AS)

#### AS 1 Entwicklung geeigneter Tonmischungen

Das beabsichtigte Steifverpressen mit anschließendem Glasieren setzt die Verwendung geeigneter Rohstoffmischungen voraus. Dazu sollen unter Verwendung von Ton aus dem Westerwald und des eigenen Tones aus der Werksgrube sowie ggf. von Magerungsmitteln verschiedene Tonmischungen mit unterschiedlichen Plastizitätsgraden hergestellt werden. Um den Trend der Plastizitätsreduktion erkennen zu können, muss die Plastizität fortlaufend geprüft werden. Dies erfolgt mittels der üblichen Plastizitätsmessung nach Pfefferkorn oder mittels Penetrometer. Nach den Vorversuchen wird die gewünschte Plastizität bei einem Wassergehalt von nur 14% erreicht.

(Mit dem Plastizitätsprüfer nach Pfefferkorn wird die Verarbeitbarkeit keramischer Massen durch Bestimmung einer Plastizitätszahl gemessen. Dazu wird eine zylindrische, plastische Probe auf eine Metallplatte aufgesetzt und durch einen aus definierter Höhe herabfallenden Fallstempel auf die sogen. Reststauchhöhe  $h$  gestaucht. Das Höhenverhältnis der zylindrischen Probe vor und nach der Verformung ist die Plastizitätszahl nach Pfefferkorn. Je größer diese Verhältniszahl ausfällt, umso bildsamer ist die Masse. Man verwendet die Messung auch um den optimalen Zusatz an Anmachwasser für eine gewünschte Plastizität zu ermitteln. Penetrometer arbeiten ähnlich, werden jedoch durch einen bestimmten Federdruck betätigt. Maßgebend ist dann die Eindringtiefe eines Stiftes mit definiertem Querschnitt).

#### AS 2 Überwachen der optimalen Materialfeuchte

Für die weitere Verarbeitung des Materials ist es sehr wichtig, die als optimal ermittelte Plastizität bis zum Strangpressen beizubehalten. Da der Ton offen behandelt und transportiert wird, kann Feuchte aus dem Material fortlaufend verdunsten. Deshalb muss der Wassergehalt bei der Aufbereitung und nochmals zwischen Kasten- und Siebrundbeschicker gemessen und ggf. nachgeregelt werden. Dazu ist in der Aufbereitung eine fortlaufende Wägung des Materials vorgesehen, während eine direkte Bestimmung des Wassergehalts vor dem Siebrundbeschicker mittels eines speziellen Feuchtemessgerätes, das mit elektrischen Mikrowellen arbeitet, vorgesehen ist. Ggf. kann der Feuchtegehalt durch Dampfzugabe nachgeregelt werden.

Der Wassergehalt wird über die Verstimmung und Dämpfung der Resonanzfrequenz eines Resonators im GHz-Bereich ermittelt. Die Mikrowellenleistung beträgt  $< 10$  mW. Eine Beeinflussung des Messgutes ist damit ausgeschlossen. Es können bis zu 50 Messungen pro Sekunde durchgeführt werden. Derartige Messeinrichtungen für die industrielle Anwendung werden z.B. von der Firma TEWS Elektronik Hamburg angeboten.

### **AS 3 Entwicklung der Extruderpresse**

Aufgrund des geringen Wassergehalts entsteht die gewünschte Steifverpressung, die eine besonders stabile Pressenausführung voraussetzt. Mit dem Vakuumaggregat der Presse soll die im Ton eingeschlossene Luft entfernt werden. Dazu ist ein Vakuum  $\leq 40$  mbar erforderlich. Um den Ton in der Presse nicht zu sehr durch die Materialreibung und Verluste durch Rückstafluß zu erwärmen, ist ein Schneckendurchmesser von 400 mm bei einer Drehzahl von nur 2 bis 4 U/min vorgesehen. Außerdem soll der Füllungsgrad dieser Schnecke 80 bis 90% betragen. Die Entwicklung der Presse erfolgt in Zusammenarbeit mit einem Pressenhersteller.

### **AS 4 Festlegung geeigneter Glasuren**

Die Auswahl der verwendeten Glasurqualitäten und Farbpigmente ist in Zusammenarbeit mit den Glasurherstellern sowie durch entsprechende Versuche zu treffen.

### **AS 5 Auftrag der Glasurflüssigkeit (Einsprühen, Trocknen, Schneiden)**

Der aus dem Extruder auslaufende Strang wird auf der Sichtfläche mit Glasur besprüht. Er durchläuft anschließend eine oberflächliche Vortrocknung und wird dann mit einer geeigneten Schneidevorrichtung, die möglicherweise neu entwickelt werden muss, auf Riemchenbreite geschnitten. Die erforderlichen Einrichtungen müssen beschafft, montiert und erprobt werden.

### **AS 6 Entwicklung der Setzeinrichtung**

Das Setzen der mit Glasur beschichteten Klinkerriemchen auf den Ofenwagen soll, wie bei unseren anderen Produkten mittels Setzrobotern erfolgen. Die Setzart muss unter Berücksichtigung der aufgesprühten Glasur ermittelt werden. Dafür müssen entsprechende Programme und Greifer entwickelt und erprobt werden,

### **AS 7 Trocknen und Brennen**

Hier müssen zunächst die erforderlichen Trocken- und Brenntemperaturen durch Versuche miteinander abgestimmt werden. Ferner ist der Verzug der Riemchen, der durch den einseitigen Auftrag der Glasur zu erwarten ist, zu ermitteln. Er kann bereits im Trockenofen auftreten. Ggf. sind Gegenmaßnahmen zu entwickeln, wie z. B. Änderungen am Mundstück, Menge und Zusammensetzung des aufgesprühten Glasurmittels, Änderung der Setzart.

### **AS 8 Entwicklung der Brennkurven**

Für diese Prozessschritte sind die optimalen Bedingungen in Form von Trocken- und Brennkurven zu ermitteln. Der optimale Temperaturverlauf verhindert einen Verzug der Rohlinge durch das unterschiedliche Schwinden des Scherbens und der Glasur, garantiert eine feste Verankerung der Glasur im Grundmaterial und erzielt den gewünschten Glanzeffekt, der je nach Art der Glasur ab 950°C eintritt. Um diese Eigenschaften zu erreichen, werden weitere Versuchsreihen erforderlich sein.

### **AS 9 Prüfen des Einflusses der Glasur auf die Formbeständigkeit**

Da die Formlinge und die Glasuren beim Brennen unterschiedliche Schwindungen aufweisen, entsteht dadurch eine Spannung im Werkstück. Handelt es sich dabei um eine Zugspannung, so wird die Festigkeit des glasierten Riemchens insgesamt ansteigen, während Druckspannungen das Gegenteil bewirken.

### **AS 10 Nachweis der Haftung der Glasierschicht**

Zum Nachweis der Haftung müssen mehrere Frost – Tau – Zyklen im Klimaschrank gefahren werden, ferner soll der HARKOC-Test angewendet werden.

Der HARKOC-Test ist eine Entwicklung des Instituts für Ziegelforschung Essen e.V.

### **AS 11 Entwicklung der Verfahrensschritte für Winkelriemchen**

Die glasierten Klinkerriemchen werden auch als Winkelriemchen benötigt. Daher müssen die Arbeitsschritte Nr. 5 bis 9 unter Beachtung der besonderen Problematik dieser Teile wiederholt werden. Dabei ist mit Problemen der Formstabilität und des Verzugs zurechnen.

### **AS 12 Verbreitung der Vorhabensergebnisse**

Das Vorhaben wird mit Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse abgeschlossen. Die Bearbeitung der Dokumentation und des Abschlußbericht sind ebenfalls in diesem Arbeitsschritt vorgesehen

### 3.1.2 Darstellung der angewandten Methoden und der Ergebnisse

Im Verlauf der Entwicklungsarbeiten wurde ein Verfahren zum Glasieren von Klinkerriemchen mit den in Abbildung 2 dargestellten Verfahrensschritten entwickelt.

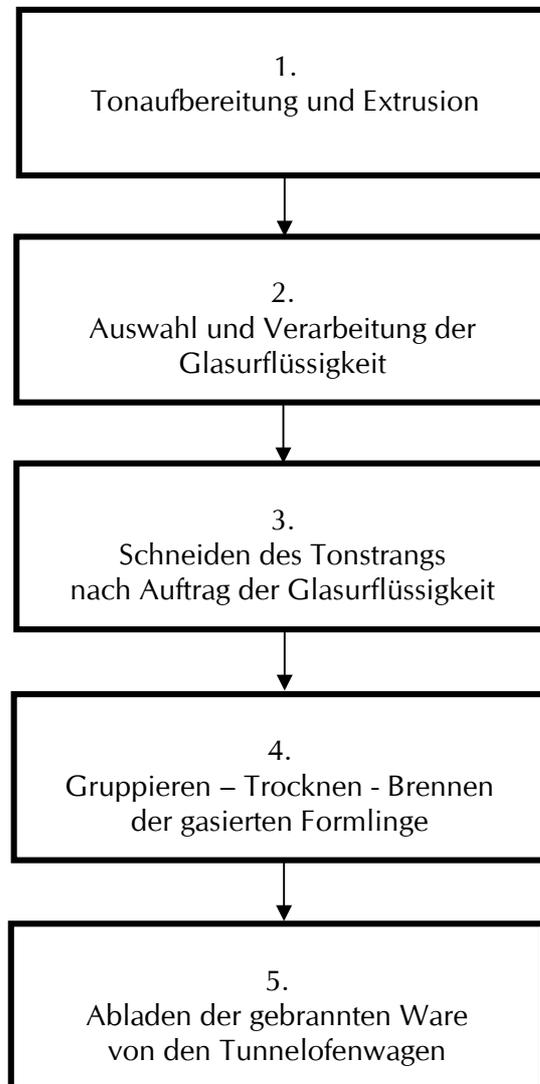


Abbildung 2: Verfahrensschritte zum Glasieren von Klinkerriemchen im Einmalbrand

Die einzelnen Verfahrensschritte werden in den nächsten Abschnitten kurz besprochen.

### 3.1.2.1 Tonaufbereitung und Extrusion [04]

Die Projektarbeiten begannen mit der Untersuchung verschiedener Tonqualitäten aus den wichtigsten Gruben des Westerwalds. Die Einflüsse von Lagerzeit, Luftsauerstoff, Zusammensetzung, Feuchtigkeit und Feinstanteil wurden untersucht mit dem Ziel optimale Rohstoffmischungen zusammenzustellen. U. a. wurden Tone der Firma Iphigenie Bergbau GmbH verwendet, die Qualitätstone aus ergiebigen Lagerstätten des östlichen Westerwalds liefert. Obwohl diese Tone organisch sehr gering belastet sind, zeigten sich Reaktionen mit der Glasur in Form schwarzer Flecken. Nach Rücksprache mit Fa. Iphigenie wurde der Ton so aufbereitet, dass die Mineralphasen zerstört wurden. Danach traten keine Reaktionen mit der Glasur mehr auf.

Zur Versatzoptimierung wurden ebenfalls verschiedene Versuche durchgeführt und die Liefermöglichkeiten von Brechsand in verschiedenen Qualitäten als Schamott-Ersatz zur Abmagerung untersucht.

Um das natürliche Saugvermögen der Tonmasse für die Verankerung der aufgespritzten Glasurflüssigkeit zu nutzen, ist es von Vorteil, Ton mit möglichst geringem Wasseranteil zu verarbeiten, das heißt das Material muss möglichst steif verpresst werden. Damit sind jedoch Probleme beim Extrudieren verbunden, da die Fließfähigkeit der Tonmasse mit dem Feuchtegehalt abnimmt. Durch analytische Grundlagenarbeit konnte auf Basis der Finiten Elemente Methode (FEM) ein Simulationsverfahren gefunden werden, mit dem es möglich ist, die Vorgänge in Extrusionswerkzeugen unter Einbezug der Bingham-Gleichungen\*) detailgetreu nachzustellen bzw. zu simulieren.

\*) Ein Bingham-Medium, wie z. B. das Tongemisch im Presskopf, beginnt erst nach Überschreiten der Fließgrenze zu fließen. Darunter verhält es sich wie ein elastischer Körper, darüber wie eine Newtonsche Flüssigkeit.

Dieses Verfahren wurde eingesetzt, um die Presswerkzeuge, also Presskopf und Mundstück, zu optimieren. Auf Basis dieser Simulationen wurden nicht nur neue Erkenntnisse gewonnen, sondern zukünftig können auch Presswerkzeuge auf den jeweiligen Einsatzzweck hin berechnet und ausgelegt werden. Mit dem neuen Presskopf sollte mittels Steifverpressung ein möglichst spannungsfreier Formling extrudiert werden.

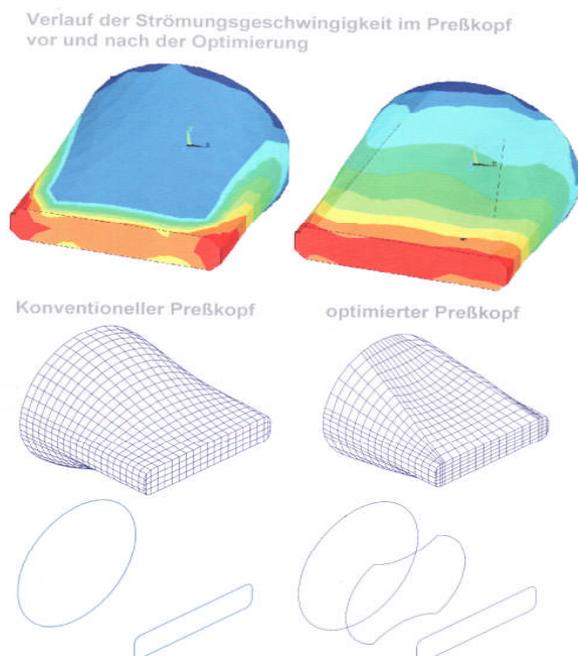


Abbildung 3: Vergleich des simulierten Strömungsverlaufs im Presskopf vor und nach der Optimierung.

Die Funktion des Presskopfes einer Extruderpresse besteht darin, die Materialströmung von der Rotation im Schneckengang in eine gleichmäßig laminar fließende Strömung im Mundstück umzuwandeln. Dies wird durch ein hohes Vakuum von 40 mbar (96%) unterstützt. Zudem hat er für einen gleichmäßigen Zufluss zu allen Mundstücksbereichen zu sorgen. Diese Gestaltung des Presskopfs wird daher mit abnehmendem Feuchtegehalt des Tons immer wichtiger.

Die Herstellung eines Presskopfs als geschweißte Konstruktion in der gezeigten Ausführung wäre für unsere Zwecke unbrauchbar, da die benötigte Maßhaltigkeit nicht erreicht würde. Deshalb wurde zunächst ein Negativmodell des Presskopfes (Abbildung 4) mit den optimierten Fließeigenschaften gefräst und daraus ein Presskopf mittels Abguss hergestellt. Dazu lässt man das Negativmodell in den Rohpresskopf ein und gießt den frei gebliebenen Hohlraum mit Kunststoff aus (Abbildung 5). Das Negativ wird nach dem Erhärten wieder entfernt und der fertige Presskopf ist einsatzbereit. Dieses Verfahren bietet eine sehr hohe Maßhaltigkeit und hat den Vorteil, dass die Presskopf-Innenform jederzeit reproduzierbar ist.



Abbildung 4: Gefrästes Negativ des Presskopfs

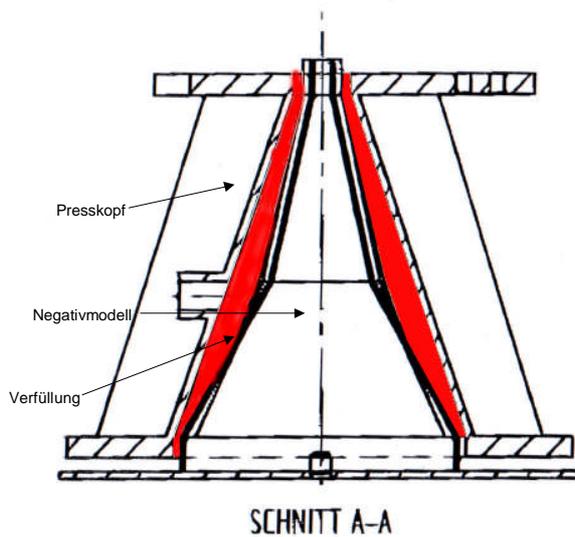


Abbildung 5: Presskopf im Schnitt; der Abguss (Verfüllung) ist in rot eingezeichnet.

Der in der beschriebenen Weise ausgefüllte Presskopf wurde dann montiert und erste Pressversuche mit Steifverpressung gefahren. Mit Hilfe von Markierungen am auslaufenden Tonstrang wurde erkannt, dass der Vortrieb im Presskopf noch optimiert werden musste, da der Strang auf eine Länge von 300 mm in der Mitte ca. 7mm mehr vortrieb, als an den Seiten (Abbildung 6)



Abbildung 6: Strangabschnitt mit ungleichmäßigem Vortrieb, links ist der Vortrieb mittig mit ca. 7 mm zu erkennen.

Dies würde zu Verzug und Verspannungen im Strang und später in den Riemchen führen. Der Abgleich des ungleichmäßigen Vortriebs erforderte weitere Nacharbeit im Presskopf (Abbildung 7).

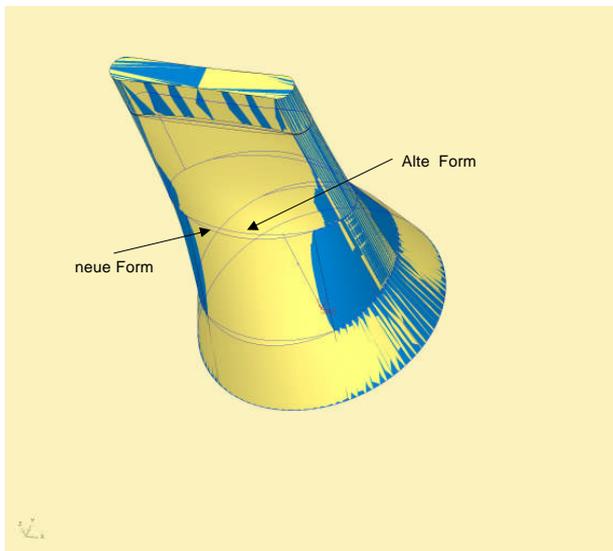


Abbildung 7: Ermittlung von Verbesserungen am Presskopf durch FEM-Simulation des Negativs.

Die erneute Simulation ergab, dass an den hellgelb gefärbten Stellen des oben dargestellten Negativ-Modells noch Material entfernt werden musste. Die unterschiedlichen Ellipsen zeigen die alte und neue Form des Presskopfs. Am bereits ausgegossenen Presskopf wurden die relevanten Flächen nachgearbeitet. Zugleich wurde eine weitere Ungenauigkeit beseitigt, die darin bestand, dass die Mündung nicht genau zentrisch gearbeitet war, wodurch der Strang leicht nach links trieb. Anschließend wurde ein zweiter Presskopf gefertigt, der in der nächsten Abbildung mit Blick in Flussrichtung der Tonmasse zum Mundstück gezeigt wird.

Unter Verwendung dieses Presskopfs wurde ein Vorversuch an der jetzigen Presselinie 3 gefahren, um zu erkennen, wie sich der Tonstrang nach dem Austritt aus dem Mundstück

verhält. Der Ton lief sauber mit einer Geschwindigkeit von 6 m/s aus dem Mundstück. Da die dem weiteren Transport dienende Kastenkette etwa 5% schneller lief, konnte der Strang auch nicht stauchen.



Abbildung 8: Blick in Flussrichtung auf den neuen Presskopf



Abbildung 9: Auslaufender Strang beim zweiten Pressversuch mit dem korrigierten Presskopf nach Abbildung 8

Später wurden noch weitere Pressköpfe entwickelt entsprechend den in den einzelnen Abnehmerländern gebräuchlichen Maßen, z. B. USA mit Riemchenlängen von 212 bis 320 mm (nass) oder Russland mit 270 mm usw.

Bei weiteren Versuchen stellten wir fest, dass der Feuchtegehalt der verpressten Masse sehr genau eingehalten werden muss, da er einerseits die Qualität des Pressverfahrens mit bestimmt und andererseits für die hydrophile Eigenschaft des Strangs beim Aufsprühen der Glasur maßgebend ist. Für die Verpressung eines Stranges mit anschließendem Aufsprü-

hen der Glasur ist eine Genauigkeit der Wasserregelung von 0,1 % einzuhalten. Das war mit unserer bisherigen Regelung, die auf einem Mikrowellen-Sensor basierte, nur unzureichend zu erreichen. Eine neue Einrichtung arbeitet wie folgt: Angenommen der Ton wird mit weniger Feuchte aufbereitet als nach der Messung erforderlich wäre. Die Feuchte des Tones wird vor der Verpressung mittels einer Sartorius-Verdunstungswaage bestimmt. Eine Präzisionsbandwaage ermittelt die geförderte Menge an Ton. Der Maschinenführer gibt nun die fehlende Menge (Feuchtedifferenz) an Anmachwasser in den Rechner ein. Der Rechner wiederum errechnet die Menge Wasser, die hinzu gegeben werden muss, um die geforderte Pressfeuchte für glasierte Riemchen zu erhalten. Die errechnete Wassermenge wird aus einem Wasserbehälter mit Niveauregulierung mittels einer Laborkolbenpumpe, die selbst kleinste Mengen exakt fördern kann, zugegeben. Sämtliche Eckdaten wie z.B. Pressdruck, Stranggeschwindigkeit, Feuchte und Steife des Tons werden vom Rechner erfasst und dokumentiert.

Beim morgendlichen Pressenanlauf bei Betriebsbeginn bestand bisher immer das Problem, dass die Presse und das Material erst auf Betriebstemperatur gebracht werden mussten, ehe der Strang glatt auslief. Dieser Anlauf konnte energie- und materialsparend gestaltet werden dadurch, dass eine zeitgesteuerte, einfache Heizung am Presszylinder eingebaut wurde. Dadurch ist gewährleistet, dass bei Betriebsbeginn sofort mit der Produktion gestartet werden kann. Ferner wurde eine Messeinrichtung eingebaut, um den Füllgrad der Extruderschnecke zu überwachen.

Parallel zur Entwicklung des Riemchen-Presskopfes wurde auch an der Entwicklung eines Mundstückes für glasierte Winkelriemchen gearbeitet. Dabei zeigte sich, dass das zuvor entwickelte Verfahren zur Produktion von Winkelriemchen ohne Trägerstein hier nicht eingesetzt werden konnte, da sich bei der Setzweise der Winkelriemchen die glasierten Flächen berühren und beim Brennen verkleben. Es musste deshalb ein entsprechend optimierter "Trägerstein" entwickelt werden. Dieser Trägerstein wurde mit einem Lochanteil von 51% entwickelt, um die erforderliche Brennenergie zu minimieren.



Abbildung10: Trägerstein mit Winkelriemchen, rechts das glasierte, abgelöste Winkelriemchen

Wie aus Abbildung 10 zu entnehmen ist, verbleibt das glasierte Winkelriemchen verzugsfrei auf dem Trägerstein. Es ist nur durch kleine Stege mit dem Trägerstein verbunden. Das Winkelriemchen löst sich durch leichtes Aufschlagen vom Trägerstein. Der Trägerstein wird zermahlen und als Magerungsmittel verwendet.

### 3.1.2.2 Verarbeitung der Glasurflüssigkeit

Zunächst wurden Versuche mit Glasuren verschiedener Hersteller durchgeführt. Die Glasurflüssigkeiten wurden auf frisch gepresste Riemchen aufgetragen, um Eigenschaften und mögliche Auswirkungen beim Brennen auf die Riemchen zu testen. Wichtige Ergebnisse waren:

- Durch die Glasur entstanden keine verzogenen Riemchen;
- Die Riemchen klebten nur an den benetzten Schnittkanten. Dies ist jedoch unerheblich, da es sich als vorteilhaft erwies, den Strang zukünftig erst nach dem Auftrag der Glasur auf Riemchenbreite zu schneiden;
- Die Glasuren waren nicht verlaufen, die Viskosität der Glasurflüssigkeit ist ausreichend;
- Der Besatz war nach dem Brennen stabil;
- Bei einigen Farben wurde eine Trübung durch die Ofenatmosphäre beobachtet.

Darauf hin wurden Glasuren der Fa. Grothe in 10 verschiedenen Farben auf "Manchester-ton" aufgebracht. Dies ist ein rot brennender Ton aus dem Westerwald mit geringen organischen Verunreinigungen, wodurch Ausgasungen in die Glasur vermieden werden. Diese Teile wurden im Ofen bei 1070° C, oxidierend gebrannt, wobei die glasierten Flächen senkrecht standen. Keine der Glasuren waren beim Brennen verlaufen. Überwiegend erschienen aber die gebrannten Glasuren blasser, pastellfarben und matter. In weiteren Glasierversuchen galt es daher, die passende Grundglasur heraus zu finden. Kriterien waren der Trägerrohstoff und die Raumtemperatur des Tunnelofens. Die Grundglasur ist üblicherweise transparent oder weiß und wird nach Bedarf eingefärbt. Trägerrohstoff ist die verwendete Tonmischung, die möglichst geringe Verunreinigungen bzw. Organik enthalten soll. Dadurch werden chemische Reaktionen mit der Glasur vermieden, die zu sichtbaren Reaktionsprodukten an der Glasuroberfläche führen würden. Wichtig hierbei war auch, dass die Glasuren ein gutes Bindemittel enthielten, da sie anschließend den gesamten Trocknungs- und Brennprozess entsprechend den Original-Trocknungs- und Brennkurven durchlaufen mussten.

Die einzigen Reaktionen, die noch auftraten, entstanden zwischen Glasur und Ofenraum-atmosphäre. Bei weiteren Versuchen traten Blasen- oder Orangenhautbildung auf. Die Grundglasur mit dem besten Erscheinungsbild wurde mit Farbkörpern verschiedener Farben versetzt. Diese Glasuren wurden dann für weitere Versuche mittels Spritzpistole aufs Gramm genau auf die nassen Riemchen aufgebracht.



Abbildung 11: Ergebnisse von Glasierversuchen

Leider war nach dem Brand wieder zu erkennen, dass die Ofenatmosphäre doch einen erheblichen Einfluss auf die Glasur hat. Es bildeten sich Blasen, so dass die Versuchsteile optisch nicht unseren Anforderungen entsprechen konnten.

Die Glasurversätze mussten ein weiteres Mal geändert werden. Es wurden neue Glasur-Rezepturen entwickelt, in denen die Flussmittelintensität variiert wurde, um der Blasenbildung entgegen zu wirken. Die Firma Grothe/Bückerburg lieferte Proben verschiedener, glasierter Riemchen, die im Tunnelofen unter realen Bedingungen bei 1070°C oxidierend gebrannt wurden. Einige Glasuren waren optisch akzeptabel. Zum Vergleich wurden in einem weiteren Versuch nochmals Glasuren aus früheren Entwicklungsstufen eingesetzt, um sie mit den neu entwickelten Glasuren zu vergleichen. Dabei zeigten die neuen Glasuren eine deutliche Verbesserung. Darauf hin wurde mit der Glasur Nr. 422 (blau) ein Versuch an der Presse gefahren. Trägermaterial war Manchesterterton, der mit einer Feuchte von 17,8% extrudiert wurde. Die Glasur wurde mittels Spritzpistole auf den nassen Strang gespritzt. Die Stranggeschwindigkeit betrug 4 m/min.

Das Auftragsgewicht der Glasur konnte nicht ermittelt werden. Es war aufgrund der manuellen Auftragsmethode nicht konstant. Die Rohlinge wurden nass mit aufgespritzter Glasur von Hand auf einen TOW<sup>\*)</sup> gesetzt getrocknet und gebrannt. Eine kleinere Menge wurde parallel im Gaslaborofen gebrannt. Die folgende Abbildung 12 zeigt das Ergebnis dieses Versuchs.

(<sup>\*)</sup>TOW = Tunnelofenwagen)

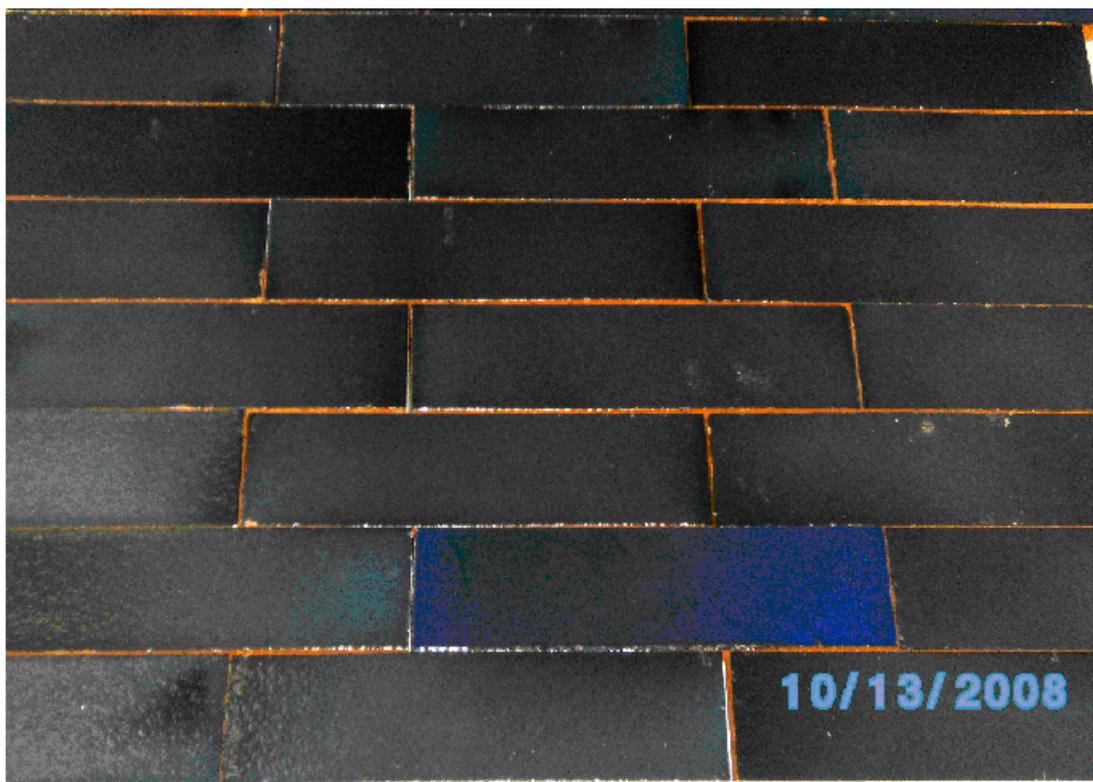


Abbildung 12: Versuchsweise im Einbrandverfahren glasierte Riemchen

Die im Gaslaborofen gebrannten Riemchen unterschieden sich nicht von den im Tunnelofen gebrannten Teilen. Glanz und Oberfläche sind sehr zufriedenstellend (Abbildung 12). Es sind aber deutliche Farbabweichungen zu sehen, die durch das versuchsweise, ungleichmäßige Aufspritzen der Glasur mit einer Handspritzpistole entstanden sind. Die

Glasurflüssigkeit muss also je Flächeneinheit in genau gleicher Menge aufgespritzt werden (konstantes Auftragsgewicht).

Es wurden entsprechende Sprüheinrichtungen zum gleichmäßigen Auftrag der Glasurflüssigkeit entwickelt. Die folgende Abbildung zeigt die Sprüheinrichtung sowie die anschließende Vortrocknung der Glasurflüssigkeit.



Abbildung 13: Auftrag der Glasurflüssigkeit und Vortrocknung (rechts)

Die überschüssige Glasurflüssigkeit wird unter der Sprüheinrichtung aufgefangen, in einen Tank geleitet und zur weiteren Verwendung wieder aufbereitet (Abbildung 14). Es entsteht also kein Abfall.



Abbildung 14: Einrichtung zum Auffangen überschüssiger Glasurflüssigkeit.

Mit Glasurflüssigkeiten der Firma Grothe konnten demnach gute Ergebnisse erzielt werden. Es kann in folgenden Farben glasiert werden:

- blau
- bunt geflammt
- grün.

Weitere Farben nach Kundenanforderungen sind möglich, müssten jedoch noch erprobt werden

### 3.1.2.3 Schneiden des Tonstrangs

Die baukeramischen Erzeugnisse werden nach dem Strangpressen quer geschnitten, je nach den gewünschten Produktmaßen. Üblicherweise verwendet man dazu spezielle Drahtschneider. Diese schneiden vorwiegend in eine Richtung, zumeist vertikal von oben nach unten. Um einen rechtwinkligen Schnitt zu erhalten, wird der Vorschub des Schneidwagens erst mit der Stranggeschwindigkeit synchronisiert, ehe der Schnitt erfolgt. Um den Draht anschließend wieder in seine Ausgangslage zu bringen, muss durch entsprechende Vereinzelung eine kleine Lücke zwischen den Formlingen gebildet werden, bevor der Draht durch diese Lücke wieder in die Ausgangsposition gebracht werden kann. Die neuesten Drahtabschneider arbeiten in beiden Richtungen (bidirektional). Aufgrund dieses Ablaufs ist die Geschwindigkeit der Schneidvorrichtung auf 40 bis 50 Schnitte/min beschränkt. Außerdem wird der Drahtschnitt bei höheren Geschwindigkeiten unsauber. Beim Schneiden der schmalen Riemchen sind jedoch Geschwindigkeiten  $> 80$  Schnitte/min erforderlich, weshalb ein Drahtschneider nicht in Frage kam.

Nach mehreren Versuchen in Zusammenarbeit mit der Firma Keller HCW/49479 Ibbenbüren-Laggenbeck wurde eine Schneidvorrichtung mit rotierenden Schneidscheiben entwickelt, die zunächst mit einem Reibradgetriebe vor jedem Schnitt so beschleunigt wurde, dass der Strang beim Schneiden nicht gestaucht wurde. Anfänglich wurden zwei Achsen mit je 2 Schneidscheiben erprobt. Sie mussten mit Abstreifern ausgerüstet werden, da der Ton teilweise anhaftete. Beim nächsten Versuch wurden drei Schneidscheiben auf zwei Achsen verteilt. Schließlich wurden die drei Scheiben auf eine Achse montiert (Abbildung 15). Es stellte sich jedoch heraus, dass die Riemchen hochgezogen wurden und dann verzogen und krumm aus dem Abschneider kamen.



Abbildung 15: Versuch mit drei Schneidscheiben

Des Weiteren wurde ein so genannter "Elektronischer Schnitt" erprobt, bei dem ein Rechner, abhängig von der gewünschten Breite und der Stranggeschwindigkeit, die zu schneidende Wegstrecke berechnete und den Schnitt entsprechend ansetzte. Die Ergebnisse

diese Versuche waren nicht zufriedenstellend, da zu große Maßunterschiede zwischen den einzelnen Riemchenbreiten entstanden.

Beim nächsten Versuch wurden jeweils nur zwei Riemchen pro Arbeitsschritt geschnitten, wobei die rechte Schneide (eine der zwei Scheiben dient als Gegenhalter) beim Durchtrennen einen Korrekturschnitt ausführte. Auffallend war, dass der dadurch anfallende Abfall am Riemchen haften blieb.

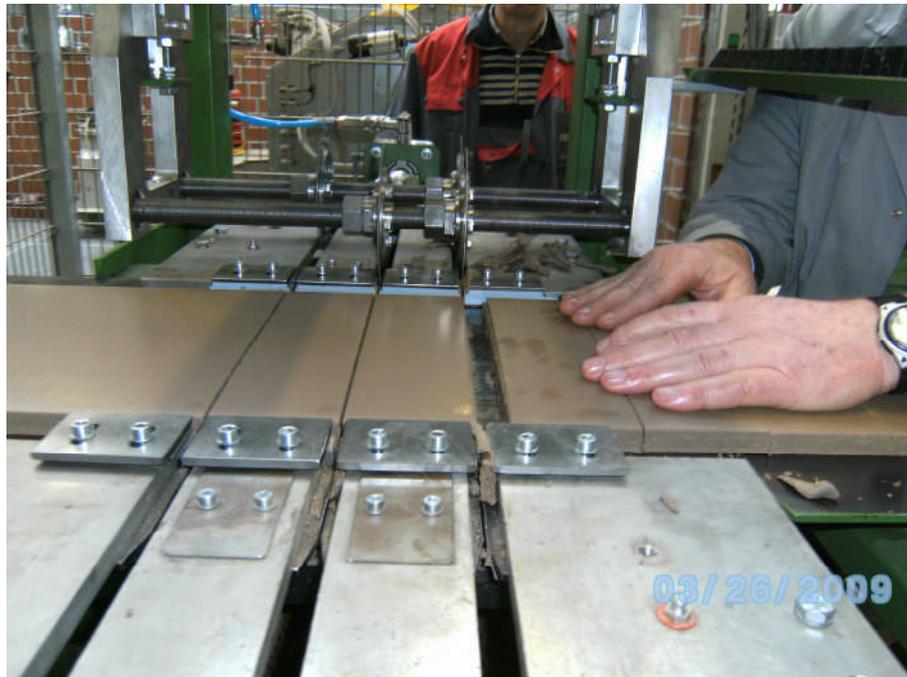


Abbildung 16: Versuch mit Korrekturschnitt

In einer Weiterentwicklung sollte der Tisch die geschnittenen Riemchen nach dem Abschneider mit einer Linearführung von den Schneidscheiben wegziehen (lüften), so dass der Abfall nach unten wegfallen konnte (Abbildung 17).



Abbildung 17: Korrekturschnitt mit Abfall

Die Maßhaltigkeit der geschnittenen Riemchen war jedoch ungenügend, wie die folgende Aufstellung beweist:

Breite links	Mitte	rechts
76,0 mm	76,4 mm	76,0 mm
75,6 mm	76,0 mm	76,2 mm

Tafel 1: Maßhaltigkeit geschnittener Riemchen nach Abbildung 17

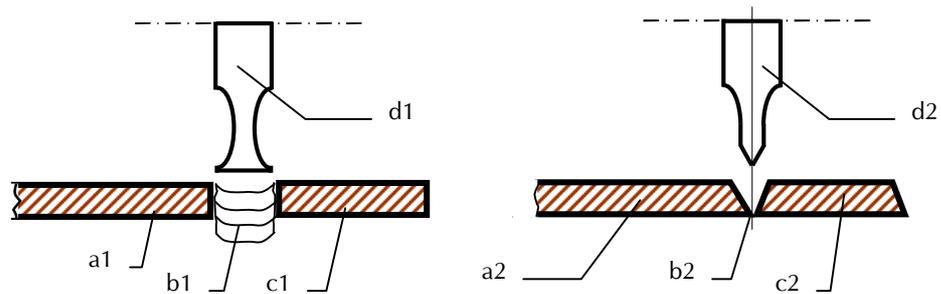
Zusätzlich lag eine Abstandsdifferenz von 0,2 mm zwischen den Schneiden vor. Bei weiteren Versuchen brachte ein System von 3 angetriebenen Rollen auf zwei Achsen die besten Ergebnisse. (Abbildung 18). Diese Schneidetechnik, die 5000 Schnitte/h bzw. > 83 Schnitte/min erreicht, kann selbst für die kleinsten Riemchenstärken von 15 mm eingesetzt werden. Die Schneideanlage wird mit Rapsöl beölt, so dass die geschnittenen Riemchen bei der weiteren Förderung gut gleiten.



Abbildung 18: Riemchenschnitt mit 3 Schneidscheiben auf zwei Achsen (endgültige Ausführung)

Der Schneidetisch mit den Schneidscheiben fährt während des Schnittes mit dem Strang mit und wird nach dem Schnitt, innerhalb von  $< 2$  s zurück geschoben. Der Reibradantrieb der Schneidscheiben wurde durch einen Riemenantrieb ersetzt.

Man sollte annehmen, dass die Form der Schneidscheiben möglichst schmal mit scharfer Schneide ausgebildet sein müsste. Diese Ansicht erwies sich als falsch. Der Strang kann im strengen Sinn gar nicht geschnitten werden, sondern es handelt sich immer um eine Materialverdrängung. Die Schneidscheiben müssen daher plan mit einem Hinterschnitt und mit scharfen Kanten ausgeführt werden, so dass der Strang nach der folgenden Abbildung (linkes Bild) getrennt wird:



**Abbildung 19:** Verschleiß der Schneidscheiben mit zunehmendem Einsatz

(Links: Schneidscheibe neu, rechts: abgenutzt)

a1	=	Strang, senkrecht geschnitten	a2	=	Strang, Material konisch verdrängt
b1	=	abgetrenntes Material	b2	=	kein abgetrenntes Material
c1	=	Riemenchen, senkr. geschnitten	c2	=	Riemenchen mit Trapez-Querschnitt
d1	=	Schneidscheibe	d2	=	abgenutzte Schneidscheibe

Die Standzeit der Schneidscheiben aus Stahl ist rel. kurz. Durch die stark abrasive Wirkung des Tonstrangs werden die Stahlscheiben allmählich spitz (rechtes Bild oben). Dadurch erhalten die Formlinge beim Trennen zunehmend schräge Seitenkanten mit der Folge, dass sie später für das Gruppieren nicht mehr auf die Kante gestellt werden können, also unbrauchbar sind. Auf Dauer müssen die Schneidscheiben daher entweder aus keramischem Werkstoff gefertigt oder aber in relativ kurzen Zeitabständen überschliffen werden.

Für das Schneiden der Winkelriemenchen kann die Schneidetechnik mit Schneidscheiben aufgrund des Trägersteins nicht angewendet werden. Sie müssen bis auf weiteres mit einem konventionellen Drahtschneider geschnitten werden.

### 3.1.2.4 Gruppieren, Trocknen und Brennen der Formlinge

Die Riemchen werden anschließend an das Schneiden vereinzelt, hochkant gestellt, mit Robotern zu Paketen vereinigt und in Form von Türmchen auf die Ofenwagen gesetzt.

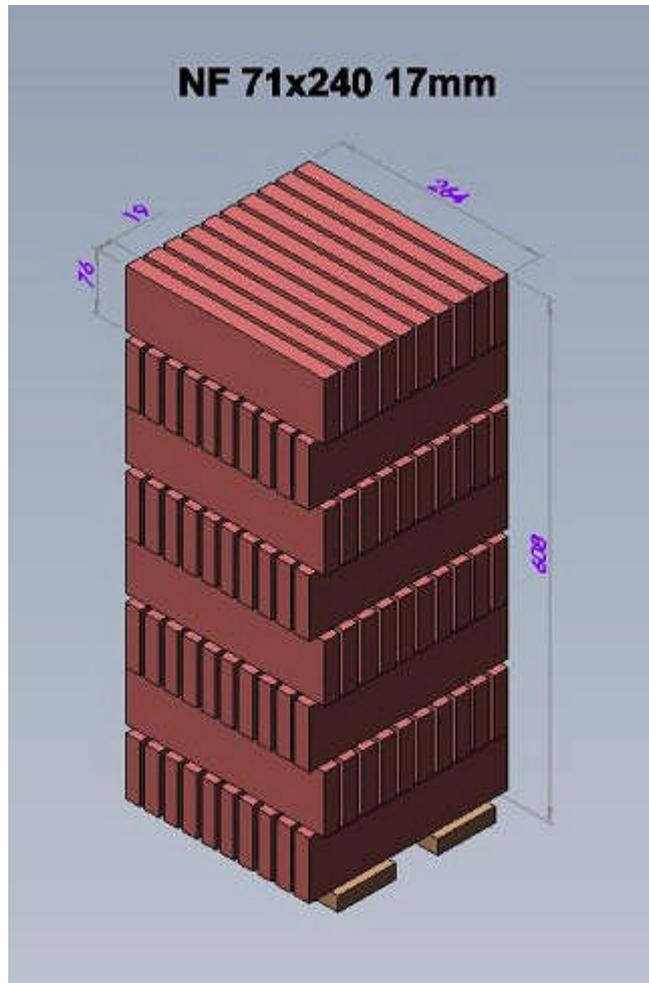


Abbildung 20: Gruppiertes Türmchen vor dem Brennen;  
Klinker im Normalformat 71 x 240 mm; 17 mm stark

Diese Besatzart ist nicht sehr stabil, die Riemchen müssen aber auf die Kanten gesetzt werden, da andernfalls die Glasur beschädigt würde. Für den Setzroboter wurden speziell geformte Greiferleisten aus mehrschichtigem Schaumstoff entwickelt. Sie besitzen schräg ausgeformte Gummilippen (Abbildung 21). Diese Form konnte mit herkömmlichen Schneidgeräten nicht hergestellt, sondern nur mittels Hochdruckwasserstrahl (Fa. CNC-Speedform, Werther) ausgeschnitten werden.

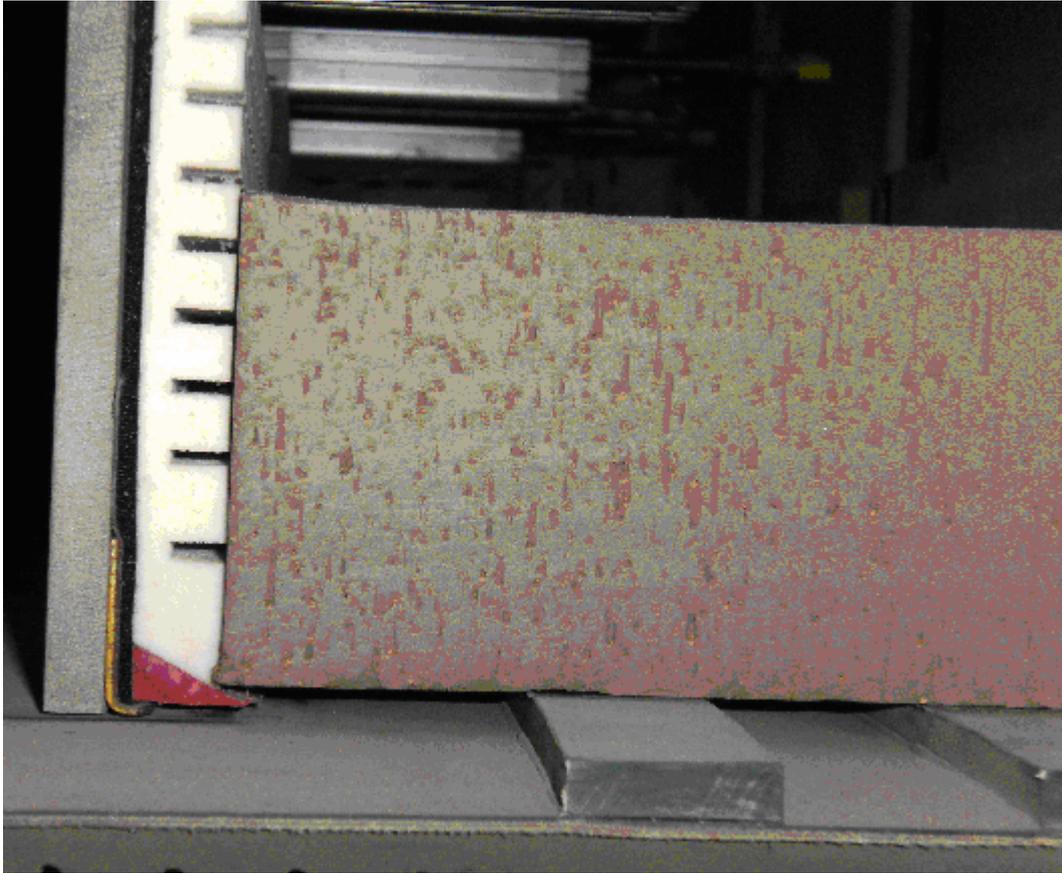


Abbildung 21: Greiferleiste für die Setzroboter

Um den Besatz auf den Tunnelofenwagen über den Trockenraum bis zur Brennzone zu stabilisieren, wurden zunächst Kunststoffnetze aus PE zwischen den einzelnen Lagen eingesetzt. Entsprechende Versuche führten aber nicht zu einem befriedigenden Ergebnis. Weitere Versuche beschränkten sich dann auf das Einlegen je eines Netzes je Türmchen. Trotzdem kam es zu Schwierigkeiten mit den Greifarmen der Roboter, in denen sich die Netze verhakten. Die Verwendung von Kunststoffnetzen wurde daher nicht weiter verfolgt.

Bessere Stabilität erzielten wir dadurch, dass die gesetzten Türme auf den Ofenwagen mit den Robotern um ca. 5 mm zusammengedrückt wurden. Bei einem 8-lagigen Aufbau entspricht dies 0,4 mm je Schicht. Das Verfahren wurde zunächst in einem Vorversuch erprobt. Anschließend wurden Druckplatten an die Setzroboter montiert, die den Besatz von oben mit 70 kg andrücken. Unebenheiten an den Schnittkanten werden dadurch ausgeglichen, der Besatz wird stabiler. Die Schnittbreite der Formlinge wurde entsprechend korrigiert.



Abbildung 22: Druckplatten an den Greifern der Setzroboter

Zum Trocknen und Brennen werden die Formlinge grundsätzlich nicht direkt auf die Tunnelofenwagen sondern auf Abstandsplatten, sogenannte Plateauplatten, gesetzt, da das Brenngut im Tunnelofen von allen Seiten, also auch von unten, gleichmäßig mit Heißluft umspült werden muss. Die Plateauplatten sind gelocht und stehen auf Abstandshaltern über den Tunnelofenwagen. Diese Platten bilden jedoch keine völlig ebene Fläche. Abweichungen entstehen, weil die Wagenfläche nicht eben ist, so dass Stöße und Stufen zwischen den einzelnen Plateauplatten auftreten. Wird ein Turm auf eine Fuge gesetzt, so kann er umfallen und eine Kettenreaktion in dem labilen Besatz in Gang setzen. Schon Sandkörner können den gleichen Effekt auslösen. Zur Überbrückung der Fugen wurde zunächst hitzebeständiges Keramikpapier unterlegt. Diese Papiere basieren auf reinen, gebrochenen Aluminiumoxid-Fasern. Sie können wie gewöhnliches Papier geschnitten und gefaltet werden. Das Fasermaterial ist extrem beständig gegen Alterung, ist temperaturschockresistent, hat eine geringe thermische Leitfähigkeit und ist für Einsatztemperaturen zwischen 1260°C - 1650°C geeignet. Schon im Trockner stellte sich aber heraus, dass das Papier die senkrechten Luftströmungen abdeckt, so dass die Türmchen von außen antrockneten, innen aber feucht blieben. Die dadurch entstandenen geringen Maßunterschiede genügten, um die Türmchen zum Kippen zu bringen.

Zum Niveaueausgleich wurde deshalb zugeschnittenes Keramikpapier verwendet, auf das Schwindplatten aufgelegt wurden. Das sind unglasierte, feuchte Riemchen, die nach dem Brennen gemahlen und als Magerungsmittel wieder verwendet werden. Sie bieten den Vorteil, dass sie beim Brennen in gleichem Maß wie der Besatz schwinden und damit Instabilitäten des Besatzes in der Brennzone verhindern. Die zwischen Schwindplatten und Plateauplatten aufgelegten Papierzuschnitte reduzieren die Reibung, so dass durch den Schwund der Schwindplatten im Brennofen hier keine Wärmespannungen entstehen.

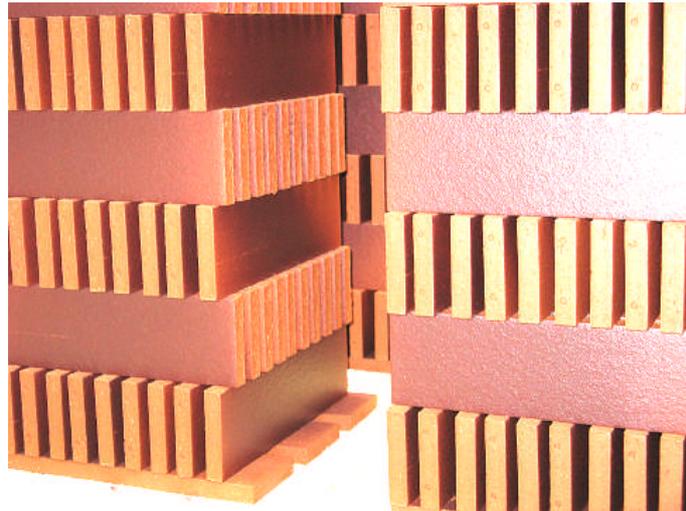


Abbildung 23: Besatz mit Schwindplatten (nach dem Brand)

Der Effekt der ungleichmäßigen Trocknung mit Destabilisierung der gesetzten Türmchen trat trotzdem bei längeren Wartezeiten vor dem Trockner immer wieder auf. Abhilfe wurde schließlich dadurch geschaffen, dass ein sogenannter Nassspeicher vor den Trockner gebaut wurde, in dem die Tunnelofenwagen in Warteposition abgestellt werden. Der Nassspeicher ist etwa 30 m lang, 5 m breit und 2 m hoch. Sein Volumen beträgt somit 300 m<sup>3</sup> abzüglich des Volumens der beladenen Ofenwagen. Um das ungleichmäßige Vortrocknen in diesem Nassspeicher zu verhindern, ist das Verhältnis zwischen Taupunkt und Kühlgrenztemperatur maßgebend.

(Die Kühlgrenztemperatur ist die tiefste Temperatur, die sich abhängig von der Luftfeuchte durch Verdunstungskühlung erreichen lässt, z. B. Lufttemperatur = 5°C; rel. Luftfeuchte = 100%, Kühlgrenztemperatur = 5,0°C; aber: Lufttemperatur = 5°C; rel. Luftfeuchte = 40%, Kühlgrenztemperatur = 0,3°C; der Zusammenhang folgt einer zyklometrischen Funktion.)

Der Temperaturunterschied  $\Delta_t$  zwischen Taupunkt und Kühlgrenztemperatur bestimmt die Trocknungsgeschwindigkeit. Um eine zu schnelle Austrocknung zu vermeiden, muss  $\Delta_t$  möglichst gering sein oder die rel. Luftfeuchte im Nassspeicher muss über 80% gehalten werden. Zur Regelung der Luftfeuchte, abhängig von der Kühlgrenztemperatur wird ein Luftbefeuchter der Firma Hygromatik eingesetzt.

Die beladenen Tunnelofenwagen werden mit einer hydraulischen Schubmaschine durch den Tunnelofen geschoben. Der Schub erfolgt in Intervallen von etwa 20 bis 30 Minuten. Er beträgt jeweils etwa 300 mm, die in 20 bis 25 s ( $v_{\mu} = 15$  mm/s) erreicht werden. Der Ablauf eines Schubes erfolgt in der Weise, dass die Schubmaschine zunächst den nötigen Druck aufbaut, ehe sich die Ofenwagen in Bewegung setzen. Dadurch entsteht zu Beginn und Ende jedes Schubes je eine, wenn auch geringe Beschleunigungsspitze, die aber ausreicht, um einzelne Riemchen, vor allem in den oberen, weniger belasteten Lagen der Türmchen entgegen der Richtung der Beschleunigung zu verschieben. Dieser Effekt kann bis zum Umkippen ganzer Lagen führen. Bei unglasierten Riemchen tritt dieser Effekt nicht auf, da sie beim Trocknen und Brennen flach liegen, so dass der gesamte Besatz wesentlich stabiler ist. Wir versuchen, diesen Effekt durch Verdopplung der Schubzeit abzumildern. Evtl. muss noch eine Dämpfung zwischen Schubmaschine und Tunnelofenwagen eingebaut werden, um die Beschleunigungsspitzen bei Beginn und Ende der Schubbewegung zu reduzieren.



Abbildung 24: Tunnelofenwagen mit Besatz, die glasierten Riemchen sind durch den Schub teilweise verschoben.



Abbildung 25: Tunnelofenwagen mit Besatz, eine Lage ist durch die Schubbeschleunigung gekippt.

Beim Brennen ist zu berücksichtigen, dass die Glasur Flussmittel enthält, im Gegensatz zu den Riemchen. Sie wirkt deshalb lösend auf den Scherben, wodurch sich eine Zwischenschicht bildet, die zu einer festen Verankerung auf dem Riemchen führt. Für diesen Brennvorgang wurden die erforderlichen Brennkurven ermittelt und in der Ofensteuerung abgespeichert. In der Hochtemperaturzone wird der Garbrand mit  $1070^{\circ}\text{C}$  erreicht. Danach erfolgt eine langsame Abkühlung unter Berücksichtigung des sogenannten Quarzsprungs bei etwa  $573^{\circ}\text{C}$ .

Unter "Quarzsprung" versteht man die Umwandlung in den Tonmineralien bei der Abkühlung von Beta- zu Alpha-Quarz, die mit einer Volumenänderung von  $\sim 0,8\%$  verbunden ist und zu Kühlrissen führen kann. Beim Erhitzen verläuft der Vorgang umgekehrt, führt aber seltener zu Rissen, da die Aufheizung langsamer verläuft.

Der Trocken- und Brennprozess wird von einer SPS Siematic S7 gesteuert. Die Visualisierung erfolgt mit Hilfe des Softwarepakets WinCC

### 3.1.2.5 Entladen der gebrannten und glasierten Klinkerriemchen

Bei der Entladung der glasierten Riemchen vom Tunnelofenwagen ergaben sich unerwartete Probleme, denn der Entladevorgang durch die Roboter war nicht an die labile Struktur der Türmchen angepasst worden. Die Greifer führten deshalb nach dem zu schnellen Anheben Pendelbewegungen aus. Weil die Greifer den ganzen Turm nur mehr oder weniger einseitig klemmen und der Besatz an sich schon sehr labil ist, kippten die oberen Lagen der Türmchen durch die Pendelbewegungen des beladenen Greifers um. Es kam zu Beschädigungen, die Riemchen mussten zunächst von Hand sortiert und abgeladen werden.



Abbildung 26: Sortieren und Entladen des ersten, gebrannten Besatzes.

Zur Lösung des Problems wurden neue, programmierbare Frequenzumrichter mit Vektorregelung der Antriebsmotoren der Roboter eingesetzt. Durch die Vektorregelung, die auch als feldorientierte Regelung bezeichnet wird, erreichen die Frequenzumrichter einen erweiterten Drehzahlbereich. Sie können bis gegen Drehzahl 0 geregelt werden und ermöglichen dadurch eine hohe Positioniergenauigkeit bei elektromotorischen Antrieben. Jetzt können die Greifer sowohl beim Anheben, als auch beim Absetzen der Türmchen mit einer Rampenfunktion gefahren werden, so dass keine Beschleunigungsspitzen entstehen.



Abbildung 27: Die Greifer der Abladeroboter bei Zugriff auf den Besatz



Abbildung 28: Vorsichtiges Anheben der gebrannten und glasierten Türmchen dank neuer Programmierung der Entladeroboter

In beiden Abbildungen sind die mehrfach erwähnten Plateauplatten, die mit Abstandshaltern auf den Tunnelofenwagen stehen, gut zu erkennen.

Wie die nächste Abbildung zeigt, wird das entwickelte Glasiervverfahren im Einbrand inzwischen in großem Maßstab angewandt.



Abbildung 29: Glasierte Klinkerriemchen bei Ofenausfahrt

Als Beispiel für das neue Angebot an hochwertig glasierten Klinkerriemchen dient die folgende Abbildung.



Abbildung 30: Klinkerriemchen, glasiert im Einbrandverfahren

Bereits die ersten, glasierten Riemchen wurden für Testzwecke auf verschiedene Baustellen gegeben, um das Verhalten der Glasur auf der Baustelle zu testen. Dazu wurden sie in Mörtel eingeschlämmt, also alkalisch belastet. Es traten keine Beanstandungen auf.

Während des Produktionsprozesses erfolgt eine permanente, werkseigene Produktkontrolle. Damit wird eine gleichbleibend hohe Qualität der Rohstoffe und der glasierten Klinkerriemchen sichergestellt. Die glasierten Riemchen werden nach dem Brennen bifilar, das heißt jeweils mit den glasierten Flächen zueinander, getrennt durch einen dünnen Papierzuschnitt, in Kartons verpackt. Die Auslieferung erfolgt in Paletten mit je nach Format der Riemchen 42 bis 75 m<sup>2</sup> je Palette. Das mehrfach besprochene NF (siehe Abbildung 20) wird als Paketware mit 45 m<sup>2</sup> je Palette ausgeliefert.

### 3.2 Diskussion der Ergebnisse

Als Ergebnis des Entwicklungsprojekts entstand eine neue Produktionslinie für die Herstellung glasierter Klinkerriemchen im Einbrandverfahren. Mit dieser Linie können monatlich im Dreischichtbetrieb 200 000 glasierte Klinkerriemchen (NF = 71 x 240 mm) im Einbrandverfahren produziert werden.



Abbildung 31: Blick auf die neue Produktionslinie für glasierte Klinkerriemchen

Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung des Verfahrens sind:

1. Möglichst steife Verpressung des Tons bei hohem Vakuum in der Presse, damit die auf den Tonstrang aufgesprühte Glasurflüssigkeit schnell aufgenommen wird. Das Verhalten von Tonmassen bei der Formgebung mittels Strangpressen wird außer von Material, Körnung, Zuschlagstoffen und Temperatur insbesondere vom Wassergehalt bestimmt. Die Reduzierung des Wassergehalts von etwa 20 bis 21% atro auf nur noch 14% atro, wie wir es im Projekt erfolgreich einführt, führt zur sogenannten "Steifverpressung" des Rohstoffs. Neben den geschilderten Vorteilen bei der Aufnahme der Glasurflüssigkeit durch die Strangoberfläche, ergibt sich durch diese Steifverpressung auch eine erhebliche Energieeinsparung beim Trocknen, die zu den im vorigen Abschnitt angegebenen Einsparungen beiträgt. Allerdings müssen für die Steifverpressung erheblich größere Presskräfte aufgewendet werden. Die erforderliche Presskraft bei konstanter Feuchte steigt mit der Querschnittsfläche des Strangs, also quadratisch. Weitere Nachteile sind - wie beschrieben - schlechterer Vortrieb des Strangs, erhöhter Verschleiß am Mundstück und

Probleme beim Abschneiden. Aus diesen Gründen ist eine Steifverpressung bei 14% atro vor allem bei den relativ kleinen Strangquerschnitten für die Klinkerriemchen sinnvoll, erforderte aber auch in diesem Fall die Beschaffung einer entsprechend verstärkten Extruderpresse.[04]

2. Sorgfältige Abstimmung der Glasuren zum Grundmaterial. Die Glasuren in den verschiedenen Farbtönen konnten zum Grundkörper so abgestimmt werden, dass die fertigen Riemchen eine erhöhte Festigkeit aufweisen. Dies wurde durch die entsprechende Anpassung der Wärmedehnungskoeffizienten der Glasur an den Scherben erreicht. Für weitere Farbtöne muss diese Abstimmung wiederholt werden.
3. Um fehlerfreie Glasuren zu erhalten, darf der Auftrag der Glasurflüssigkeit nur auf gereinigte Flächen erfolgen. Das entwickelte Verfahren der Glasierung im Einbrandverfahren hat neben der bereits besprochenen Energieeinsparung den Vorteil, dass die zu glasierenden Rohware eine völlig saubere Oberfläche besitzt, da die Glasurflüssigkeit unmittelbar nach der Strangpresse aufgespritzt wird. Eine Vorbehandlung, wie sie bei den Zweibrandverfahren zur Entfernung von Schmutz und Staub erforderlich ist, kann daher entfallen.
4. Das Aufstellen der mit Glasur besprühten Riemchen auf die Schnittkanten (senkrechte Gruppierung) zum Trocknen und Brennen, mit dem das Verkleben der Teile miteinander verhindert wird, wäre ohne die unter Punkt 1 angeführte Steifverpressung bei hohem Vakuum kaum möglich. Die Glasur würde andernfalls verlaufen.

### 3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

#### 3.3.1 Ökologische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Die ökologisch bedeutsamen Vorhabensergebnisse konzentrieren sich auf die Energieeinsparung im Transportbereich und vor allem in der Trocken- und Brenntechnik.

Bis zur Entwicklung des in Rede stehenden Glasierverfahrens im Einmalbrand waren wir, wie auch unsere Wettbewerber, aus technischen Gründen nicht in der Lage, die Riemchen selbst zu glasieren. Wir waren gezwungen, die gebrannten Klinkerriemchen zu entsprechenden Herstellern zu transportieren, die die Glasur aufsprühten und in einem zweiten Brand glattbrannten. Diese Unternehmen befinden sich in den Niederlanden (Fa. Royal Tichelaar in Makkum bei Leuwarden) und in D-16727 Velten (Fa. B.O.S. Keramik GbR), also in Entfernungen von 282 km (Makkum) bzw. 439 km (Velden). Da anfänglich nur geringe Nachfrage nach glasierten Klinkerriemchen bestand, genügten etwa je 18 Fahrten im Jahr mit jeweils etwa 25 t Ware zu Royal Tichelaar und B.O.S. Keramik. Sie wurden etwa hälftig auf die genannten Firmen aufgeteilt, um die langen Lieferzeiten abzukürzen, da beide Firmen nur über eingeschränkte Fertigungskapazität verfügen. Somit ergaben sich je 18 Fahrten pro Jahr nach Makkum = 10.152 km/a und nach Velten = 15.804 km/a mit insgesamt 25.956 km. Bei einem Treibstoffverbrauch der LKW von etwa 35 l/100 km erforderten diese Fahrten einen Treibstoffverbrauch von 9.085 l pro Jahr. Dies entspricht einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 3 t pro Jahr allein für Transportzwecke.

Zum Trocknen und Brennen glasierter Riemchen im üblichen Zweibrandverfahren wurde bisher insgesamt Energie nach Tafel 2 verbraucht:

Glasieren im Zweibrandverfahren				
Einheit:	Mcal/t	MWh/t	MJ/t	CO <sub>2</sub> -Ausstoß/t
Trocknen	235	0,273	853,2	
1. Brand	167	0,194	698,4	
2. Brand*)	1000	1,163	4186,8	
Summen	1.402	1,630	5.738,4	0,29 t

\*) in Makkum oder Velden

Tafel 2: Energieverbrauch beim konventionellen Zweibrandverfahren (zuzüglich Transport)

Verwendete Umrechnungsfaktoren:  
 Verbrennung von 1 l Dieselöl ergibt 0,29 kg CO<sub>2</sub>  
 Verbrennung von 1 m<sup>3</sup> Erdgas ergibt 0,18 kg CO<sub>2</sub>

Durch das neu entwickelte Verfahren zum Glasieren und Brennen im Einbrandverfahren wird dieser Verbrauch nach Tafel 3 reduziert:

Glasieren im Einbrandverfahren				
Einheit:	Mcal/t	MWh/t	MJ/t	CO <sub>2</sub> -Ausstoß/t
Trocknen	235	0,237	853,2	
Brennen	167	0,194	698,4	
2. Brand	entfällt	entfällt	entfällt	
Summen	402	0,431	1551,6	0,08 t

Tafel 3: Energieverbrauch beim neu entwickelten Einbrandverfahren

Die Energieeinsparung beträgt also rund 74% zuzüglich Transporte. Rechnet man diese Angaben auf eine Jahresproduktion von 5 000 t glasierte Klinkerriemchen um, so ergeben sich jährliche Energieeinsparungen nach Tafel 4:

<b>Einheit:</b>	<b>MWh</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>
Transport (200 Fahrten pro Jahr = 144 200 km = 50 470 l Diesel/a	494,10	14,64
Trocknen + Brennen	5.995,00	1.079,10
<b>Summen</b>	<b>6.489,10</b>	<b>1.093,74</b>

Tafel 4: Jährliche Einsparung an Energie und CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch das Einbrandverfahren

Aus der Verwendung der Glasurflüssigkeiten entsteht keine zusätzliche Umweltbelastung, da überschüssige Glasur aufgefangen und dem Ton als Feuchtezusatz beigemischt wird.

Die zu Beginn des FuE-Vorhabens anvisierte Verminderung von Umweltbelastungen wird demnach voll erreicht.

### 3.3.2 Technologische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Mit dem erfolgreichen Abschluss des FuE-Projekts wurde für die baukeramische Industrie mit der Glasierung im Einbrandverfahren ein neuer Stand der Glasurtechnik geschaffen. Die wichtigsten Neuheiten werden kurz angeführt:

Steifverpressung: In der Ziegelproduktion spricht man von Steifverpressung bei einem Feuchtegehalt von 16 bis 18%. Diese Technik wird vor allem in den USA angewandt. Es können natürlich nur Ziegel mit geringem Lochanteil und dickem Rahmen hergestellt werden. Die steif gepressten Formlinge sind rel. stabil, weshalb man sie in bis zu 8 Lagen sofort auf den Tunnelofenwagen gruppiert, der zunächst die Trockenzone und anschließend den Brennofen durchfährt. Für die Trocken- und Brennenergie wird ein Bedarf von 1600 bis 1800 kJ/kg (0,440 bis 0,50 kWh/kg) angegeben.

Für die Anwendung des Steifverpressens bei Klinkerriemchen galten ähnliche Überlegungen. Dieses Verfahren trägt auch hier zur Reduzierung des Energieverbrauchs beim Trocknen und Brennen bei. Zusätzlich stellt die Evakuierung des Rohmaterials in der Vakuumpresse auf  $\leq 40$  mbar eine neue Anwendung dar, denn sie sorgt nicht nur für ein homogenes Grundmaterial sondern auch für eine gute Verzahnung der wenig später aufgesprühten Glasurflüssigkeit mit diesem Grundmaterial.

Schneiden des Tonstrangs: Stand der Technik sind ein- und mehrfache Vertikal-Schneidegeräte. Eine Weiterentwicklung sind die Durchhub-Harfenschneider, die in einem Hub Strangabschnitte bis zu 3500 mm in max. 54 Formlinge zerschneiden. Auch bidirektional wirkenden Schneider werden angeboten. Diese Schneidegeräte arbeiten ausnahmslos mit Schneidedrähten. Beim Schneiden entsteht ein leichter Grat an den Kanten und Lochungen, der aber für die Ziegelherstellung keinen Nachteil darstellt.

Für die Anwendung im Projekt waren diese Konstruktionen nicht anwendbar, da die senkrechte Gruppierung der Formlinge auf den Schnittkanten nur mit sauberen, gratfreien, rechtwinkligen Schnittflächen möglich ist. Diese Notwendigkeit führte zur Entwicklung der beschriebenen Schneidgeräte mit Schneidrollen.

Gruppieren, Trocknen und Brennen: Als Neuheiten in diesem Bereich sind der Nassspeicher als Vorratsraum vor dem Trockner, die Gestaltung der Greifer der Setzroboter sowie die Ausrüstung und Programmierung der Entladeroboter für die gebrannten Riemchen anzuführen. [05]

Insgesamt erwies sich die gesamte Entwicklung als sehr umfangreich, gekennzeichnet durch die Bewältigung zahlreicher Detailfragen, die bei Vorhabensbeginn in dieser Vielfalt nicht erkannt worden waren. Außerdem ergab sich ein bedeutender Nebeneffekt der Verfahrensentwicklung dadurch, dass das Hochkantstellen auch von unglasierten Klinkerriemchen jetzt die Möglichkeit bietet, diese bis 1200°C zu brennen und dadurch ihre Wasseraufnahme noch weiter zu reduzieren. Dies war bei der bisherigen Gruppierungsmethode, bei der die Riemchen flach aufeinander gelegt wurden nur bedingt möglich, da sie sonst zusammengesintert wären. Um dies zu verhindern wurde bisher weißer Sand zwischen die flach liegenden Formlinge gestreut, der aber teilweise einbrannte, was zu Kundenreklamationen führte.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das innovative Entwicklungsziel auch in technischer Hinsicht voll erreicht wurde.

### 3.3.3 Ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Durch die Entwicklung der Glasierung im Einbrandverfahren ergeben sich finanzielle Entlastungen für die Produktion glasierter Riemchen durch die Vermeidung von Transportkosten für den Transport der Riemchen zu den Glasierbetrieben und den Wegfall der Energiekosten für den bisher erforderlichen zweiten Brand zum Glasieren. Diese Einsparungen können wie folgt beziffert werden:

Kostenart	Kosten je Einheit	Jährliche Einsparung
Transportkosten bei 144 200 km/a	1,20 €/km	173.040,00 €
Energiekosten (Erdgas) 5995 MWh/a	0,033 €/kWh	197.835,00 €
Einsparung pro Jahr:		<b>370.875,00 €</b>

Tafel 5: Kostenreduzierung durch das neue Einbrandverfahren pro Jahr

Dieser Einsparung sind die Entwicklungskosten gegenüber zu stellen, die sich gemäß Verwendungsnachweis auf 1,03 Mio. € belaufen. Sie wären demnach allein durch die Reduzierung der Energiekosten in knapp drei Jahren amortisiert.

Für den Arbeitsmarkt, speziell im Raum Osnabrück, ist von Bedeutung, dass mit Abschluss des Vorhabens neue Arbeitsplätze für die entwickelte Produktionslinie geschaffen wurden. Es ist beabsichtigt 3 Arbeitskräfte als Pressenführer einzustellen und entsprechend zu schulen. Ferner wird ein Schlosser für die Instandhaltung der Anlagen benötigt. Weitere Arbeitsplätze werden für die Überwachung der Setzeinrichtung sowie des Trocken- und Brennofens, für Kontrollaufgaben und für die Verpackungsanlage der glasierten Riemchen benötigt, so dass insgesamt von 10 neuen Arbeitsplätzen ausgegangen werden kann.

Ein wirtschaftlicher Erfolg der Entwicklung ist abzusehen. Darüber hinaus wird durch die Schaffung neuer Arbeitsplätze ein wichtiger Beitrag zur Senkung der lokalen Arbeitslosenquote geleistet.

### 3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Das Angebot glasierter Klinkerriemchen wurde inzwischen in unsere Broschüren für die allgemeine Kundschaft und in die Architektenbroschüre übernommen. Die Broschüren werden in gedruckter Form neben Deutsch in den Sprachen Englisch, Französisch, Italienisch, Spanisch, Polnisch und Russisch angeboten. Sie können auch im Internet als allgemeine Broschüre, ebenfalls vielsprachig unter

[http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekt\\_Riemchen\\_2009.pdf](http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekt_Riemchen_2009.pdf)

und als Architekten-Broschüre unter

[http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekte\\_PDF/Broschuere\\_Fassadensysteme\\_0908.pdf](http://www.feldhaus-klinker.de/ibase/module/medienarchiv/dateien/Prospekte_PDF/Broschuere_Fassadensysteme_0908.pdf)

herunter geladen bzw. ausgedruckt werden. Die Darstellungen in diesen Broschüren zeigen sämtliche bis jetzt erprobten Farbvarianten. Sie sind in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

#### **Farbvarianten glasierter Riemchen**



Abbildung 32: Farbvarianten glasierter Riemchen

Die glasierten Riemchen erhielten mit Rücksicht auf den internationalen Vertrieb als Markenname die Bezeichnung "glaso". Sie werden bisher angeboten in den Farben (in der Abbildung 32 von oben nach unten):

- glaso diamant
- glaso onyx
- glaso rubin
- glaso smaragd
- glaso saphir

Zusätzlich soll eine Werbeaktion zum Jahresende 2009 mit einem speziellen Prospekt für die glasierten Klinkerriemchen gestartet werden.

Ein weiterer, sehr öffentlichkeitswirksamer Hinweis auf das neue Glasierverfahren für Klinkerriemchen entstand durch einen Besuch der Umweltministerin des Landes Baden-Württemberg, Frau Tanja Gönner im Riemchenwerk, der die neue Produktionslinie für glasierte Riemchen vorgeführt werden konnte.



Abbildung 33: Hoher Besuch bei Feldhaus

(von links: MdB Georg Schirmbeck, Umweltministerin Tanja Gönner, Feldhaus-Betriebsleiter Karl-Heinz Thele)

In Begleitung von MdB Georg Schirmbeck ließ sich die Besucherin von Firmenchef Bernhard Feldhaus und Betriebsleiter Karl-Heinz Thele durch das Werk im niedersächsischen Bad Laer führen. Frau Gönner zeigte großes Interesse an der aufwendigen Produktion und ließ sich die neuesten technischen Entwicklungen erklären. Der Besuch kam auf Anregung des DBU-Generalsekretärs Dr. Fritz Brickwedde zustande.

## 4.0 Fazit

Vorhabensergebnis ist die Entwicklung eines Verfahrens zum Glasieren von Klinkerriemchen im Einbrandverfahren. Mit dem neuen Verfahren können qualitativ hochwertige Produkte mit Glasierungen in zahlreichen Farben erzeugt werden.

Mit der neuen Verfahrenstechnik zum Glasieren mittels Einmalbrand verbunden sind erhebliche Vorteile in ökologischer, technologischer und ökonomischer Hinsicht. Ökologisch bedeutsam ist die Einsparung an Energie gegenüber der zuvor angewendeten Glasierung im Zweibrandverfahren um etwa 74%.

Aus technischer Sicht wurde ein neuer Stand der Glasiertechnik erreicht, der durch zahlreiche Einzelentwicklungen in den Bereichen

- Formgebung
- Schneidetechnik,
- Glasurtechnik,
- Fördertechnik
- Trocknungs- und Brenntechnik

gekennzeichnet ist.

Auch Ökonomisch ist die erreichte Energieeinsparung von Bedeutung, denn sie wird zu einer Kostenreduzierung von jährlich etwa 230 000,- € führen. Das neue Angebot und die damit verbundene Kostenreduzierung wird unsere Wettbewerbsfähigkeit auf den internationalen Märkten wesentlich erhöhen. Ein weiteres bedeutsames Ergebnis sehen wir in der Schaffung von etwa 10 neuen Arbeitsplätzen zur Bedienung der neuen Produktionsanlage.

## 5.0 Literaturverzeichnis

- [01] o. Prof. Dr. Otto Rentz und Mitarbeiter  
Exemplarische Untersuchung der praktischen Umsetzung des integrierten  
Umweltschutzes in der Keramischen Industrie unter Beachtung der IVU-Richtlinie  
und der Erstellung von BVT-Merkblättern  
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung an der Universität Karlsruhe  
im Auftrag des Umweltbundesamtes; August 2001;
- [02] Rohstoffe – Übersicht, herausgegeben von Fa. Töpfereibedarf Ing. Lehrer GmbH,  
Villach/Österreich ([www.keramik.at/DeRohsto.html](http://www.keramik.at/DeRohsto.html))
- [03] Brevier technische Keramik; herausgegeben vom Verband der keramischen Industrie  
e. V. im Verlag Hans Carl, Nürnberg
- [04] Hans Lingl;  
Steifverpressung und Direktbesatz auf Ofenwagen;  
Zeitschrift ZI 07/2001
- [05] N.N. Stand der Technik bei der Herstellung keramischer Erzeugnisse(Dachziegel, Ziegelsteinen, feuerfesten Steinen und Feinkeramik) durch Brennen  
Studie im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Wien, März 2003; Seite 62 ff.