



Abschlussbericht

im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms

**Anlage zur Herstellung von Einscheiben-
Sicherheitsglas im innovativen Float_{plus}-Verfahren**

Glas Trösch GmbH

Elsässer Straße 6 | 88512 Mengen

UMWELT  INNOVATIONS
PROGRAMM

 **glaströsch**

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
Berichts-Kennblatt	2
Report Coversheet	3
1 Einleitung	4
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	4
1.2 Ausgangssituation	4
2 Vorhabenumsetzung	9
2.1 Ziel des Vorhabens	9
2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung	10
2.3 Umsetzung des Vorhabens	11
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	12
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	12
3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	12
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	12
3.2 Energie- und Umweltbilanz.....	12
3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse	13
3.4 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	13
4 Übertragbarkeit	18
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	18
4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit	19
5 Zusammenfassung/Summary	19
5.1 Zusammenfassung	19
5.2 Summary	20
6 Literatur	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Glasherstellung im Floatglas-Verfahren.....	5
Abbildung 2: Floatglas im Zinnbad	5
Abbildung 3: Verfahren zur Herstellung von Temperglas	6
Abbildung 4: Druck- und Spannungsverteilung im Einscheibensicherheitsglas	7
Abbildung 5: Bruchstruktur von Einscheibensicherheitsglas	7
Abbildung 6: Maschinenverkettung im Float _{plus} -Verfahren	9
Abbildung 7: Anlagenlayout des Float _{plus} -Verfahrens (Auszug).....	9
Abbildung 8: Float _{plus} -Anlage nach der Inbetriebnahme.....	11
Abbildung 9: CNC-Schleifmaschine.....	14
Abbildung 10: Drehbare Aufhängungen der Schleifköpfe	15
Abbildung 11: Bohrbearbeitungszentrum und Wasserstrahlschneiden	16
Abbildung 12: Ofen	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiebedarfe Stand der Technik vs. Innovation	13
Tabelle 2: Vergleich Stand der Technik und Float _{plus}	13

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Zusammenfassung

Abschlussbericht zum Vorhaben

„Anlage zur Herstellung von Einscheiben-Sicherheitsglas
im innovativen Float_{plus}-Verfahren“

Zuwendungsempfänger

Glas Trösch GmbH

Umweltbereich

Ressourceneffizienz und Energieeinsparung

Laufzeit des Vorhabens

Von 30.06.2017 bis 31.03.2018

Autor

Bernd Wilhelm

Datum der Erstellung

30.11.2018

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen des UBA:	Projekt-Nr.: Nka3 - 003186
Titel des Vorhabens: Anlage zur Herstellung von Einscheiben-Sicherheitsglas im innovativen Float _{plus} -Verfahren	
Autor: Bernd Wilhelm	Vorhabenbeginn: 30.06.2017
	Vorhabenende: 31.03.2018
Zuwendungsempfänger: Glas Trösch GmbH Elsässer Straße 6 88512 Mengen	Veröffentlichungsdatum: 30.11.2018
	Seitenzahl: 22
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.	
Kurzfassung: Ziel des Vorhabens war die großtechnische Umsetzung des Float _{plus} -Verfahrens zur Herstellung von Einscheibensicherheitsglas. Bisherige Verfahren und Anlagen waren mit erheblichen Nachteilen verbunden, insbesondere mit geringer Energieeffizienz und hohem Ressourcenverbrauch. Diese Problemstellungen wurden durch eine neuartige Verkettung hochinnovativer Anlagenkomponenten erstmals umgangen. Im Vergleich zu konventioneller Technik wird durch eine signifikante Erhöhung der Anlageneffizienz jährlich 308,5 t CO ₂ eingespart. Zudem kann durch eine Reduzierung des Ausschusses eine weitere Einsparung von 139,3 t CO ₂ erreicht werden.	
Schlagwörter: Einscheiben-Sicherheitsglas – Energieeffizienz – Ressourceneffizienz	
Anzahl der gelieferten Berichte: 8 Papierform: 7 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: – Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite: www.glastroesch.de

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environmental Agency:	Project-No.:
Report Title: Production system of toughened safety glass by applicationing the innovative Float _{plus} - Procedure	
Author: Bernd Wilhelm	Start of project: 30/06/2017
	End of project: 31/03/2018
Performing Organisation: Glas Trösch GmbH Elsässer Straße 6 88512 Mengen	Publication Date: 30/11/2018
	No. of Pages: 22
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
Summary: The goal of the project was the large-scale implementation of the innovative Float _{plus} process for manufacturing toughened safety glass. Previous processes and systems were associated with considerable disadvantages, in particular low energy efficiency and high resource consumption. For the first time, these problems were circumvented by a new linking of highly innovative production processes and composites of machines. Compared to conventional technology, a significant increase in this production system efficiency saves 308.5 t of CO ₂ per year. In addition, a further 139.3 t CO ₂ saving can be achieved by reducing the scrap rate/defective parts	
Keywords: Toughened safety glass – efficiency of energy – efficiency of resources	

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Glas Trösch wurde im Jahr 1905 von Johann Friedrich Trösch gegründet, der sich als Glasppezialist einen Namen mit Schriftgläsern und einem pionierhaften Verfahren zur Übertragung von Bildern auf Glas und Porzellan machte. Die heutige Aktiengesellschaft wurde 1938 von Rudolf Friedrich Trösch, Sohn von Johann Friedrich, aufgebaut. Mit einer Glasschleiferei und einer Spiegelfabrik wurden die Grundlagen für das künftige industrielle Wachstum gelegt. In den darauffolgenden Jahrzehnten entwickelte sich Glas Trösch rasant zu einem der größten und wichtigsten Unternehmen in der Branche. Stand heute beschäftigt die Unternehmensgruppe in Familienbesitz mehr als 5000 Mitarbeiter an acht Standorten in Deutschland. Antragstellerin im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms war die Glas Trösch GmbH, Mengen. Vier Produktgruppen bilden den Tätigkeitsschwerpunkt dieses Unternehmens:

- Isolierglas – Fassadenpaneel – Sicherheitsglas
- Designglas – Spiegel – Spezialglas
- Innenanwendung – Ausbau – Einrichtung
- Außenanwendung – Glashalterung – Glassysteme

1.2 Ausgangssituation

Ziel des Vorhabens war die Implementierung einer Anlage zur hocheffizienten Bearbeitung und Veredelung von Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) im innovativen Float_{plus}-Verfahren. Bevor auf dieses neue Verfahren eingegangen wird, werden nachfolgend die prozess- und verfahrenstechnischen Grundlagen der Glasherstellung und -veredelung beschrieben, um darauf aufbauend den Stand der Technik vor Antragstellung sowie die damit verbundenen Problemstellungen zu erläutern.

Herstellung von Floatglas

Floatglas ist Flachglas, welches im Floatprozess (auch: Floatglasverfahren) hergestellt wurde, ein Prozess, bei dem die flüssige Glasschmelze fortlaufend auf ein Bad aus flüssigem Zinn geleitet wird. Auf diesem schwimmt (engl. to float) das Glas. Das Verfahren wird seit den 1960er Jahren industriell angewendet, hat seither die meisten anderen Methoden zur Flachglasherstellung weitgehend verdrängt und dient inzwischen zur Herstellung von etwa 95 Prozent des gesamten Flachglases aller Anwendungsbereiche wie Fensterglas, Autoscheiben und Spiegel. Abbildung 1 stellt das Verfahren schematisch dar.

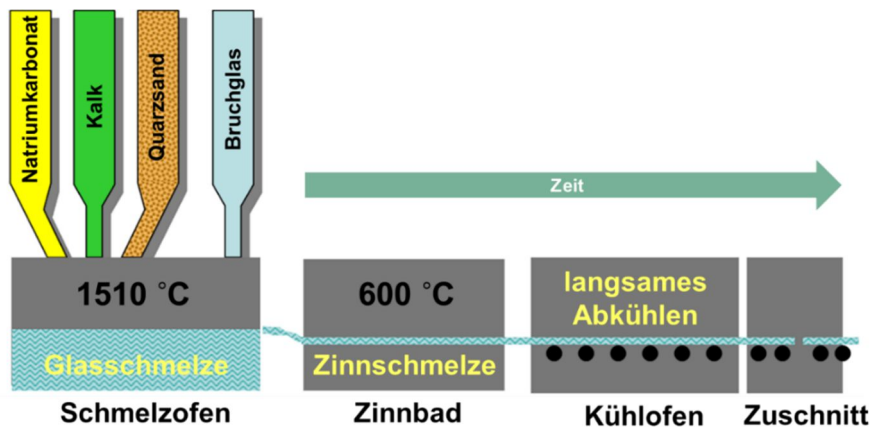


Abbildung 1: Glasherstellung im Floatglas-Verfahren

Die Floatglasherstellung geht in einem endlos-kontinuierlichen Prozess vonstatten. In der Abbildung sind auf der linken Seite die Rohstoffsilos, die die Grundbestandteile des modernen Glases enthalten, als Ausgangspunkt des Herstellprozesses dargestellt. Diese werden in den Verhältnissen von ca. 72 % Quarzsand (SiO_2), 13 % Natriumkarbonat (Na_2CO_3), 12 % Kalk (Ca_2CO_3), Bruchglas sowie weiteren Inhaltsstoffen (CaO , MgO , K_2O etc.) abgewogen, gemischt und in den Schmelzofen gegeben, wo sie bei etwa 1510 °C geschmolzen, homogenisiert und auf etwa 1100 °C abgekühlt werden.

Die reine, bei 1100 °C teigig-flüssige, Glasschmelze wird fortlaufend auf ein längliches Bad aus flüssigem Zinn geleitet, auf welchem das etwa zwei Drittel leichtere Glas schwimmt und sich wie ein Film gleichmäßig ausbreitet. Durch die Oberflächenspannung des Zinns und des flüssigen Glases bilden sich sehr glatte Oberflächen. Bei einer Glasdicke von etwa 6 mm sind die Oberflächenspannung und die auf das Glas wirkende Schwerkraft im Gleichgewicht (Abbildung 2). Um andere Dicken zu erreichen, wird das Glas mittels Oberwalzen gezogen oder gestaucht, bevor es in erstarrtem Zustand mit einer Temperatur von 600 °C das kühlere Ende des Bades erreicht.

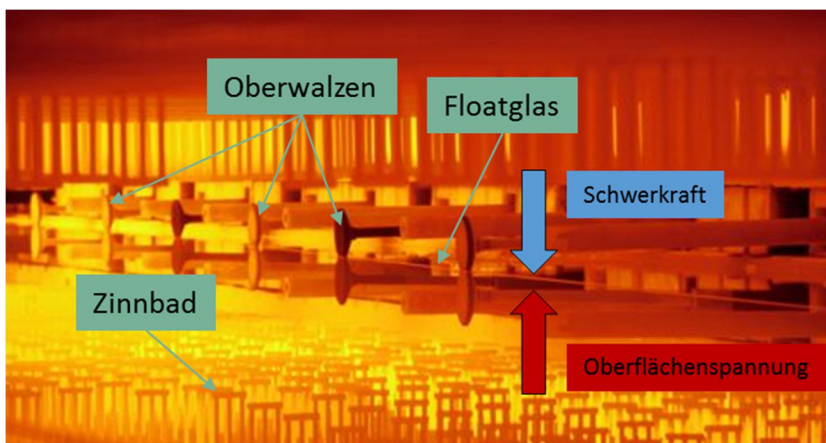


Abbildung 2: Floatglas im Zinnbad

Das warme Glas wird anschließend fortlaufend aus dem Zinnbad herausgezogen und durchläuft einen Kühllofen, in welchem es verspannungsfrei heruntergekühlt wird. Nach einer optischen Qualitätskontrolle wird das Glas geschnitten.

Das im beschriebenen Verfahren hergestellte Floatglas ist dabei mit zahlreichen Nachteilen (z. B. Stoß- und Hitzeempfindlichkeit) verbunden, weshalb es einer Weiterverarbeitung bedarf, um in sicherheitsrelevanten Bereichen verwendet werden zu können. Bei einem Bruch des Glases entstehen aufgrund der inhärenten Struktur gefährliche Glassplitter, die zu Verletzungen führen können. Um die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische oder thermische Beanspruchungen zu verbessern, die Tragfähigkeit zu erhöhen und ein spezielles, ungefährliches Bruchbild zu erreichen, werden Gläser vorgespannt. Das Vorspannen kann auf verschiedene Weise erfolgen – für das Innovationsvorhaben war das sogenannte „Thermische Vorspannen“ von Relevanz, das es ermöglicht, Floatglas zu Temperglas (prozesstechnischer Oberbegriff von Einscheibensicherheitsglas), weiter zu verarbeiten.

Weiterverarbeitung von Floatglas zu Temperglas

Thermisch vorgespanntes Temperglas bietet im Vergleich zu konventionellem Floatglas einen erhöhten mechanischen Widerstand für eine hohe Biegebruch-, Schlag-, Stoß- und Hagelfestigkeit, eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit und ein besseres Bruchbild (passive Sicherheit durch Krümelbruch). Somit eignet sich Temperglas für sicherheitskritische bzw. -relevante Bereiche, beispielsweise für Brandschutzverglasungen, Türen, Ganzglasanlagen, Trennwände, Duschen etc. und ermöglicht dabei gleichzeitig diverse Gestaltungsoptionen, wie Farbbeschichtungen, Dekorsatinierungen oder Emaillierungen.

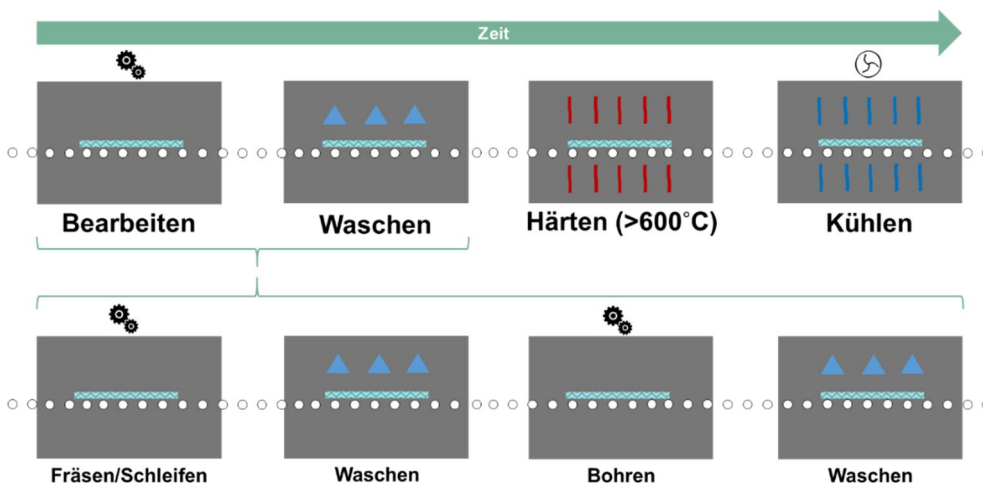


Abbildung 3: Verfahren zur Herstellung von Temperglas

Da die Bearbeitung des Floatglases im vorgespannten Zustand nicht mehr möglich ist, erfolgt dieser Prozessschritt vorgelagert. Mögliche Bearbeitungsverfahren sind hierbei das Fräsen, Schleifen und Bohren. Nach jedem dieser Prozessschritte erfolgt ein Reinigungsschritt

(Abbildung 3). Nach der letzten Reinigung erfolgt das Härten des Floatglases. Durch das Erhitzen auf mindestens 600 °C und das darauffolgende schnelle Abkühlen (sog. „quenching“) entsteht auf der Glasoberfläche eine Druckspannung und im Glaskern eine Zugspannung. Diese innere parabolische Spannungsverteilung ergibt sich infolge der zeitlich verzögerten Kühlung, wobei zuerst die Temperatur der Oberflächen und zuletzt die des Kernes sinkt. Diese Spannungsverteilung, dargestellt in Abbildung 4, führt zu einer Biegebelastbarkeit von 90-150 MPa (Floatglas 40 MPa) sowie einer Temperaturwechselbeständigkeit von bis zu 150 °C (Floatglas 40 °C).

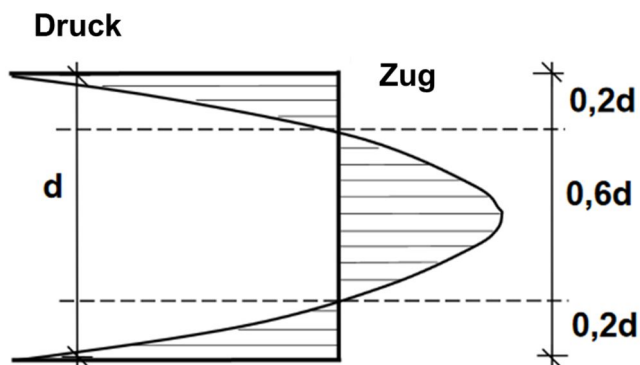


Abbildung 4: Druck- und Spannungsverteilung im Einscheibensicherheitsglas

Eine Temperglas-Scheibe zerspringt beim Bruch aufgrund der hohen Energie, die in dem Eigenspannungszustand gespeichert ist, in kleine, würfelförmige Bruchstücke (Abbildung 5). Hierdurch wird das Risiko von größeren Schnittverletzungen gesenkt. Die spezielle Bruchstruktur ist charakteristisch für derartiges Glas. Die stumpfkantigen Bruchstücke bleiben zusammen und weisen Größen von weniger als 1 cm² auf.

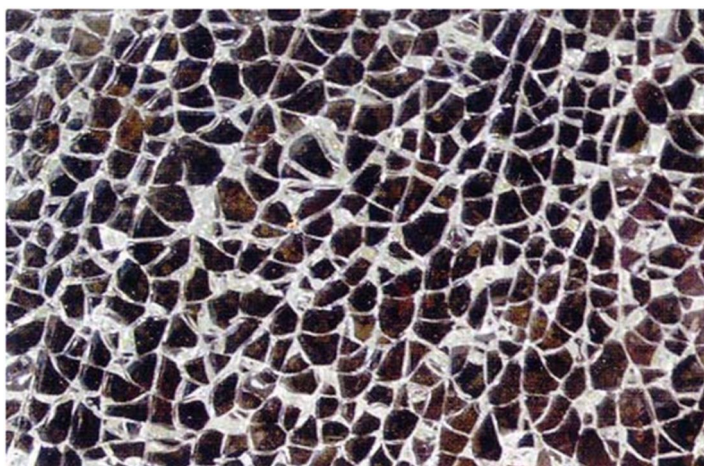


Abbildung 5: Bruchstruktur von Einscheibensicherheitsglas

Wie bereits aufgezeigt wurde, kann das Glas nach dem Vorspannen aufgrund der im Eigenspannungszustand gespeicherten Energie nur sehr bedingt bearbeitet werden. Deshalb

müssen Kantenbearbeitungen, Bohrungen oder Ausschnitte im Wesentlichen vor dem Vorspannprozess vorgenommen werden.

Nachteile des Stands der Technik

Der Prozess zur Veredelung von Floatglas zu Einscheibensicherheitsglas (Abbildung 3) war mit zahlreichen Nachteilen verbunden, die nachfolgend erläutert werden.

- **Gesamtanlage.** Ein wesentlicher Nachteil der Gesamtanlage war die Tatsache, dass bis dato lediglich unzureichende Konzepte zur Verkettung der einzelnen Maschinen bzw. Anlagenkomponenten vorhanden waren. Das hatte zur Folge, dass sich der Prozess auf dem damaligen Stand der Technik einerseits vergleichsweise langsam darstellt (hohe Durchlaufzeiten), dabei gleichzeitig starr und unflexibel hinsichtlich variierender Glasformen und -dicken ist.
- **Schleifen und Fräsen.** Die Schleif- und Fräsbearbeitung des Floatglases erfolgte in vertikaler Ausrichtung der Glasplatte. Dies erforderte ein Kippen der horizontal transportierten Glasscheiben, was sich negativ auf die Durchlaufzeiten auswirkte. Aufgrund der Anordnung der Fräs- und Schleifköpfe konnte lediglich die Bearbeitung gerader Kanten realisiert werden. Freiflächen mussten aufgrund der von der Norm abweichenden Konturen separat in einer CNC-Maschine gefräst bzw. geschliffen werden. Dies erforderte das Abtasten zur Konturerkennung und die manuelle Programmierung der Maschine in Abhängigkeit von der jeweiligen Scheibe. Weiterhin erfolgte die Bestückung der Maschine weitestgehend manuell, was mit einer hohen physischen Arbeitsbelastung der jeweiligen Mitarbeiter einherging.
- **Bohren.** Anlagen des damaligen Stands der Technik ermöglichten keine integrierte Wasserstrahlbearbeitung und keine Bearbeitung von Freiformflächen. Die Bohrungen als solche waren mit vergleichsweise hohen Toleranzen verbunden, was zu einem erhöhten Ausschuss im Bohrprozess führte.
- **Reinigung.** Zudem war es nötig, nach jedem Arbeitsschritt (Schleifen, Fräsen, Bohren etc.) einen Waschgang durchzuführen. Dies ging mit zahlreichen Nachteilen einher, insbesondere mit einem erhöhten Wasserverbrauch von 13,5 m³/Tag sowie einem hohen Energieeintrag. Weiterhin wirkten sich die Reinigungsprozesse negativ auf die Durchlaufzeiten aus.
- **Ofen.** Eine Schwachstelle war zudem eine durchschnittliche Belegungsquote von lediglich 50–55 % der maximal möglichen Kapazität. Die Bestückung erfolgte dabei vollständig manuell, was mit einer erheblichen physischen Belastung der Mitarbeiter einherging. Insgesamt wies der Stand der Technik hohe Anschlusswerte auf, nicht nur

aufgrund einer veralteten und aus energetischer Sicht ineffizienten Technologie, sondern insbesondere auch aufgrund der Tatsache, dass die einzelnen Teilprozesse nicht verkettet und aufeinander abgestimmt waren.

Die genannten Nachteile belegten deutlich den Innovationsbedarf bei der Herstellung und Veredelung von Einscheibensicherheitsglas, insbesondere in den Bereichen Energieeffizienz und Umweltschutz.

2 Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Mit der erstmaligen Umsetzung des Float_{plus}-Verfahrens konnten die oben skizzierten Nachteile vollends gelöst werden. Dieses innovative Verfahren zeichnet sich durch vollständig verkettete und vollautomatisierte Anlagenkomponenten aus, die optimal aufeinander abgestimmt sind. Abbildung 6 zeigt die wesentlichen Anlagenkomponenten, Abbildung 7 einen Auszug aus dem Anlagenlayout.

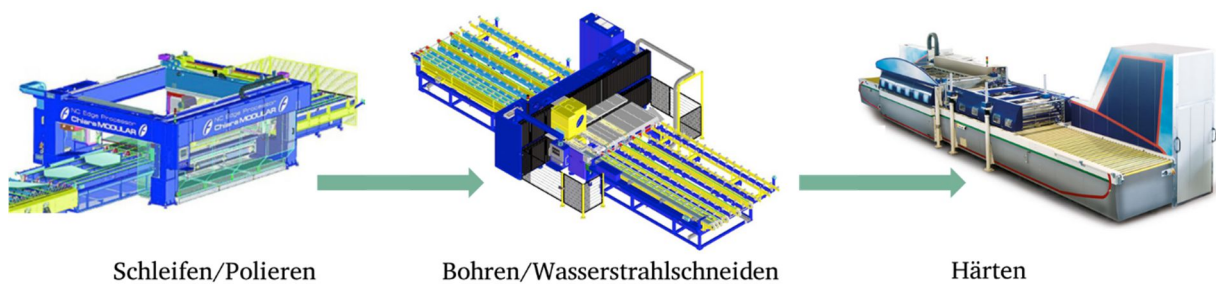


Abbildung 6: Maschinenverkettung im Float_{plus}-Verfahren

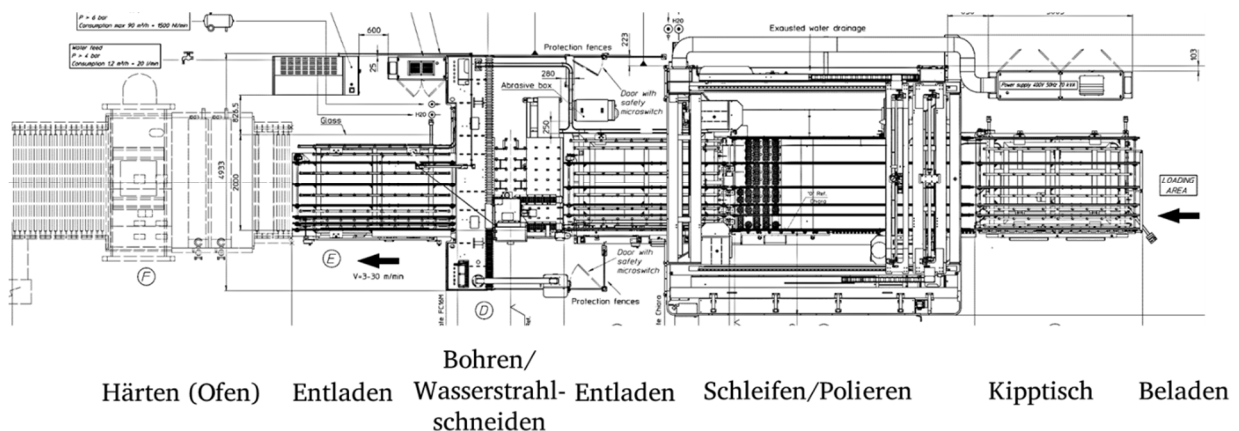


Abbildung 7: Anlagenlayout des Float_{plus}-Verfahrens (Auszug)

2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung

Mit der erstmaligen Umsetzung des Float_{plus}-Verfahrens konnten wesentliche Umweltentlastungspotenziale realisiert werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Glasindustrie zu den energieintensiven Branchen zählt, kommt dieser mit Blick auf Umweltentlastungen und CO₂-Reduktion eine zentrale Rolle zu.

Zusammenfassung von Bearbeitungsaufgaben

Die Float_{plus}-Anlage verfügt aufgrund der überlegenen Technologie über einen Anschlusswert von insgesamt 372 kW statt bisher 1832 kW, da einzelne Bearbeitungsschritte zusammengefasst werden konnten. Die Anlagenkomponenten zum Bohren wurden nunmehr um die Möglichkeit zum Wasserstrahlschneiden ergänzt.

Reduzierung der Durchlaufzeiten

Durch ein effizienteres Handling innerhalb der einzelnen Anlagenkomponenten konnte die mittlere Durchlaufzeit wesentlich reduziert werden. Beim Stand der Technik vor Antragstellung benötigt die Bearbeitung (einschließlich Härten) einer Floatglasscheibe 26,9 Minuten. Durch das innovative Float_{plus}-Verfahren und die Zusammenfassung mehrerer einzelner Arbeitsschritte in einer Anlagenkomponente konnte die Durchlaufzeit im Mittel auf 6,3 Minuten gesenkt werden. Dies reduzierte den Energiebedarf pro Scheibe deutlich und führte somit – in Verbindung mit der Erhöhung der Anlageneffizienz – zu einer weiteren Umweltschutzwirkung.

Senkung des Wasserverbrauchs

Aufgrund der Tatsache, dass im Float_{plus}-Verfahren lediglich ein anstatt bislang vier bis fünf Waschgänge vonnöten sind, konnte der Wasserverbrauch durch eine innovative Wasseraufbereitungsanlage von aktuell 13,5 m³ auf 10,0 m³ pro Tag gesenkt werden. Durch eine innovative Wasseraufbereitungsanlage war es weiterhin möglich, den Frischwasserbedarf um 60 % auf 4,0 m³ pro Tag zu reduzieren. Dies wurde durch eine neue Filtertechnologie erreicht, die das gebrauchte Wasser in einer Qualität aufbereitet (Entfernung von Glasstaub etc.), die es ermöglicht, dieses Wasser einem Kreislaufsystem zur Versorgung der Maschinenkomponenten für Fräsen, Kanten schleifen und Bohren zu führen. Im Vergleich zum damaligen Stand der Technik wird hier erstmals kein Frischwasser eingesetzt. Bei 250 Arbeitstagen pro Jahr konnte somit über den gesamten Prozess insgesamt 2375 m³ Frischwasser eingespart werden.

Reduzierung der Ausschussquote

Durch das Float_{plus}-Verfahren gelang es, die Ausschussquote von bislang 5,0 % auf 1,5 % zu senken. Bei einer jährlichen Produktionsmenge von 350.000 m² (1400 m²/Tag bei durchschnittlich 250 Tagen p. a.) ergibt sich bei einer Dichte von Floatglas von 2,5 kg/qm/mm

und einer Standarddicke von 6 mm eine Menge von insgesamt 5.250.000 kg. Die Reduzierung der Ausschussquote um insgesamt 3,5 % entspricht 183.750 kg eingespartes Glas. Studien zeigen, dass die Herstellung einer Tonne Glas pro Tonne 5,1 GJ Energie bedarf. Bezogen auf 183,8 t ergibt sich eine Energieeinsparung von jährlich 937,1 GJ. Dies entspricht etwa 260.326,4 kWh¹ respektive 139,3 t CO₂-Äquivalent bei einem spezifischen CO₂-Emissionsfaktor von 0,535 kg CO₂/kWh. Diese imposanten Werte zeigen eindrücklich, welches immense Potenzial mit dem Float_{plus}-Verfahren verbunden ist.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Im Juli 2017 erfolgte in einem Zeitraum von drei Wochen die Montage der Anlage sowie die Schulung der Mitarbeiter. Am 1. August 2017 konnte die Anlage in Betrieb genommen werden. Die Inbetriebnahme erfolgte ohne Zwischenfälle, die Anlage konnte direkt in einen stabilen Betrieb überführt werden. In den Monaten August und September 2017 wurde die Produktion sukzessive hochgefahren, seit Oktober 2017 wird im 3-Schicht-Betrieb produziert. Abbildung 8 zeigt die fertige und in Betrieb genommene Anlage am Standort Mengen.



Abbildung 8: Float_{plus}-Anlage nach der Inbetriebnahme

¹ 1 GJ entspricht etwa 277,8 kWh.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die Einrichtung und der Betrieb der Anlage bedurften keiner behördlichen Genehmigung.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Erfolgskontrolle im Rahmen des Investitionsvorhabens fußt auf zwei Säulen. So erfolgte erstens eine stetige Überwachung der Inbetriebnahme der Float_{plus}-Anlage. Nach einer Prüfung der Anlageninstallation samt Optimierung und einer mehrwöchigen Zertifizierung, konnte die Anlage in den Serienbetrieb überführt werden.

Nach Abschluss der genannten Inbetriebnahme und Zertifizierung, wurden als zweite Säule der Erfolgskontrolle umfangreiche Auswertungen und Analysen durchgeführt, um die im Antrag berechneten Umweltentlastungen zu überprüfen und zu bestätigen.² Dies betraf zum einen den elektrischen und thermischen Energieeinsatz, zum anderen die angestrebte Senkung der Ausschussquote und des Wasserverbrauchs.

3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Wie bereits dargestellt, konnte das Projekt ohne Zeitverzug umgesetzt und abgeschlossen werden. Das Kostenbudget für die geförderten Komponenten Härteanlage und Waschmaschine in Höhe von 604.850 EUR wurde um 14.850 EUR knapp unterschritten. Sämtliche dem Vorhaben zuordenbare Rechnungen wurden bis November 2017 beglichen.

3.2 Energie- und Umweltbilanz

Im Zuwendungsbescheid der KfW wurden die beiden Anlagenkomponenten Härteanlage (Ofen) und Waschmaschine als zuwendungsfähig anerkannt. Die weiteren Bestandteile der Gesamtanlage (CNC-Kantenschleifmaschine, CNC-Bohr-, Fräs- und WaterJet-Maschine und Wasseraufbereitungsanlage) waren aufgrund ihrer Einstufung als Stand der Technik nicht zuwendungsfähig. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt der nachfolgenden Darstellung auf den beiden geförderten Anlagenkomponenten.

Nachfolgende Tabelle 1 stellt die Ist-Energiebedarfe zwischen dem Stand der Technik und der umgesetzten Innovation gegenüber (rot: alte, grün: neue Anlage). Alle dargestellten Verbräuche beziehen sich auf einen 24 Stunden 3-Schicht-Betrieb. Daraus ergibt sich eine Einsparung von 2306,4 kWh pro Tag respektive bei 250 Arbeitstagen pro Jahr insgesamt

² Hierbei wurde und wird auf erfasste Maschinendaten zurückgegriffen.

576.600,0 kWh. Dies entspricht bei einem CO₂-Emissionsfaktor von 0,535 kg CO₂/kWh einer **CO₂-Einsparung von 308,5 t**.

Bearbeitungsschritt	Energiebedarf (Ist) [kWh]	Bearbeitungsschritt	Energiebedarf (Ist) [kWh]
Ofen	2488,0	Ofen	1140,0
Bohr-/Fräszentrum	121,4	Bohr-/Fräszentrum	86,4
Schleifmaschine	163,7	Schleifmaschine	137,5
Modellschleifanlage	153,2	<i>entfällt</i>	–
Waschen	1632,0	Waschen	888,0
SUMME	4558,3	SUMME	2251,9

Tabelle 1: Energiebedarfe Stand der Technik vs. Innovation³

Der Vergleich der beiden Anlagen bezieht sich auf eine tägliche Ausbringungsmenge von ca. 1400 m² Einscheibensicherheitsglas. Dies entspricht bei einem spezifischen Gewicht von 2,5 kg pro Millimeter Glas etwa 25.000 kg fertigem Glas. Die Ausschussmenge beträgt bei beiden Konzepten ca. 1,5–2,0 Prozent.

3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Zur Analyse der Wirtschaftlichkeit des Vorhabens wurden folgenden Daten herangezogen:

	Anlage Stand der Technik	Anlage Float _{plus}
Ausbringungsmenge [m ² /Tag]	420	1400
Kapazitätsbereinigungsfaktor	3,33	1,00
Nutzungsdauer [a]	8,0	8,0
Fixe Kosten [TEUR/a]	240	110
Variable Kosten [TEUR/a]	25	170

Tabelle 2: Vergleich Stand der Technik und Float_{plus}

Der Diskontierungszinssatz betrug 6,5 Prozent und stellte die Rendite einer Alternativinvestition dar. Hieraus ergab sich ein Kapitalwert vor Steuern von 1267 TEUR, ein IRR (Internal Rate of Return) von 22 Prozent und eine Amortisationszeit von 4,4 Jahren. Durch einen Zuschuss im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms in Höhe von 20 Prozent der Investitionssumme konnte, bei sonst gleichen Bedingungen, die Amortisationszeit auf 3,4 Jahre (Kapitalwert 1648 TEUR, IRR 30 Prozent) gesenkt werden.

3.4 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Ein Vergleich mit konventionellen Verfahren ist in diesem Rahmen nicht direkt möglich, da diese Anlagen letztlich individuell je nach Anwendungszweck zusammengestellt werden. Das

³ Die dargestellten Werte stammen aus der Maschinendatenerfassung der jeweiligen Anlage.

Investitionsvorhaben ist jedoch mit zahlreichen technischen Neuerungen verbunden, die im Rahmen der Umsetzung erstmalig Anwendung fanden:

Gesamtanlage

Aufgrund des neuartigen Verkettungskonzepts gelang es erstmals, die mittlere Durchlaufzeit pro Scheibe von 26,9 Minuten auf 6,3 Minuten zu senken, bei einer gleichzeitigen Senkung des Wartungsaufwands der Gesamtanlage um 60 Prozent. Realisiert wurde dies durch die Verwendung von Barcodes, die nach der Flachglasherstellung auf die Scheiben aufgebracht werden und sämtliche relevanten Informationen zur Weiterverarbeitung im Float_{plus}-Verfahren enthalten.

Schleif- und Fräsbearbeitungszentrum (nicht Teil der Förderung)

Für die Teilprozesse Schleifen und Polieren kam eine vollautomatische CNC-gesteuerte Maschine des italienischen Herstellers FORVET S.r.l. erstmalig in Deutschland zum Einsatz (Abbildung 9).



Abbildung 9: CNC-Schleifmaschine

Folgende Innovationen sind damit verbunden:

- **Höchste Flexibilität.** Das Schleif- und Fräsbearbeitungszentrum ist die erste Maschine ihrer Art, die alle vier Seiten von rechteckigen Gläsern sowie auch nicht-rechteckige Formate (Parallelogramme/Dreiecke etc.) automatisch schleifen und polieren kann. Das Funktionsprinzip ist ein patentiertes, überwiegend simultanes Schleifen und Polieren aller Glasseiten, wobei jede Glasseite von einem individuell gesteuerten Schleifwagen mit acht Werkzeugen bearbeitet wird. Der Glastransport erfolgt vollautomatisch, ebenso die Einstellung der Maschine auf das jeweilige Glasmaß sowie die Kontrolle und Nachstellung der Werkzeuge (z. B. der Polierscheiben).
- **Geringste Toleranzen.** Die Anlage gleicht Zuschnitt-Toleranzen von bis zu 5 mm aus und trägt damit zu einer Reduzierung des Ausschusses bei. Das fertig geschliffene Glas

bleibt innerhalb einer Toleranz von $\pm 0,20$ mm zu den Maßvorgaben. Dies ermöglicht im Vergleich zu konventionellen Anlagen ein wesentlich genaueres Ergebnis und somit ein qualitativ höherwertiges Endprodukt.

- **Bearbeitung von schrägen Kanten.** Dank der drehbaren Aufhängung der Schleifköpfe wird eine interpolierte Bewegung für die Bearbeitung von Glas auch außerhalb rechter Winkel erreicht. Durch eine intelligente Anordnung der sechs Schleifköpfe kann die Mehrzahl von üblichen diagonalen und schrägwinkligen Konturen in kurzer Zeit bearbeitet werden. Gegenüber konventioneller Bearbeitung auf CNC-Bearbeitungszentren ergeben sich entscheidende Zeitvorteile sowie auch hier eine Reduzierung des Ausschusses.
- **CNC-Steuerung.** Die CNC-Steuerung der Maschine und die beschriebenen technischen Lösungen bedingen eine extreme Vielseitigkeit der Maschine. So ist diese in der Lage, unterschiedliche Glas-Maße und -Dicken in kontinuierlicher Folge aufzunehmen, ohne die Taktzeiten durch erforderliche Einstellarbeiten zu beeinflussen.
- **Geringer Platzbedarf.** Im Vergleich zu konventionellen Schleifanlagen wird lediglich ein Drittel des bislang notwendigen Platzbedarfs benötigt.

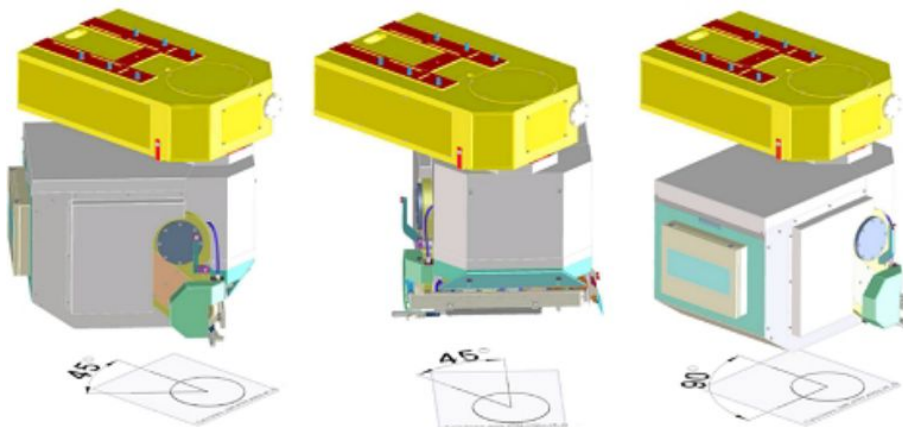


Abbildung 10: Drehbare Aufhängungen der Schleifköpfe

Bohrbearbeitungszentrum und Wasserstrahlschneiden (nicht Teil der Förderung)

Für die Teilprozesse Bohren und Wasserstrahlschneiden kam ein neuartiges Bearbeitungszentrum der Firma Forvet S.r.l. zum Einsatz (Abbildung 11).

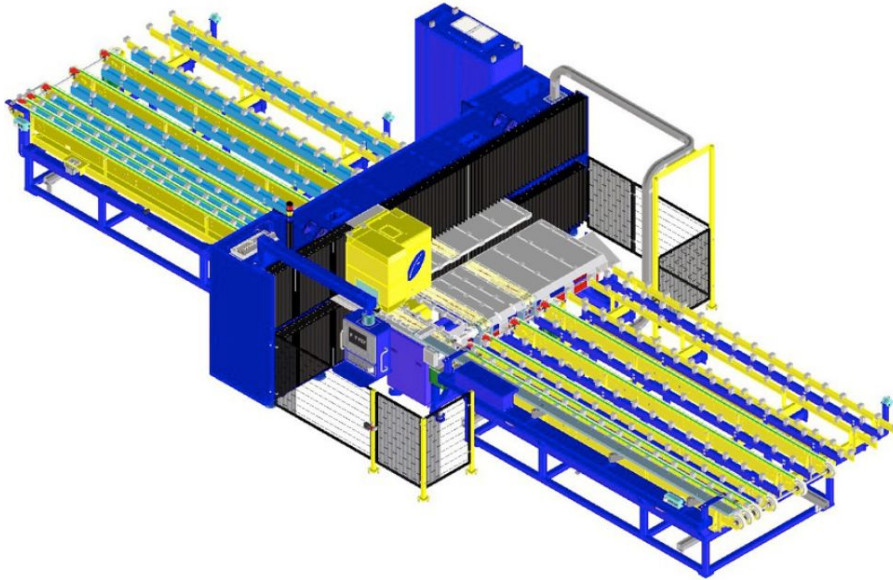


Abbildung 11: Bohrbearbeitungszentrum und Wasserstrahlschneiden

- **Zusammenführung von Bohren und Wasserstrahlschneiden in einer Anlage.** Die geplante Anlage vereint erstmals beide Verfahren in nur einer Maschine. Dies führt sowohl zu Produktivitäts- als auch zu Kostenvorteilen bei gleichzeitiger Erweiterung des Produktspektrums. Der Vorteil des kombinierten Einsatzes von Diamant-Werkzeugen und eines Wasserstrahl-Schneidkopfes besteht darin, dass – im Gegensatz zu herkömmlichen Wasserstrahl-Schneidanlagen – bei Bohrungen in der Glasfläche keine Umschaltung des Strahldruckes erforderlich ist. Die Hochdruckpumpe wird durchgängig mit konstantem Strahldruck und somit erheblich geringerem Verschleiß betrieben, da hierfür nur ein Verdichterkolben notwendig ist. Somit konnte der Kostenanteil des Wasserstrahl-Schneidens weiter gesenkt werden.
- **Verbesserte Arbeitsgeschwindigkeit.** Durch eine hohe Positionier- und Wiederholgenauigkeit, einem hohen Positioniervorschub und eine stabile Glasauflage wurde eine bis zu 35 Prozent verbesserte Arbeitsgeschwindigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Systemen erreicht. Weiterhin sind durch ein Revolverkopf-Prinzip schnelle Werkzeugwechsel in unter einer Sekunde durchzuführen, was die Arbeitsgeschwindigkeit in ihrer Gesamtheit indirekt nochmals erhöht.
- **Patentiertes Glastransportsystem.** Das innovative „Dynamic Vacuum Belt“-System ermöglicht, das Glas mit großer Haltekraft zu fixieren, bei gleichzeitig leichter und genauer Bewegung. Dieses System kommt dabei ohne Vakuumpumpen aus. Das innovative

Steuerungssystem berücksichtigt dabei automatisch die Abmessungen der Glastafeln und optimiert in allen Situationen die maximale Haltekraft.

- **Energierückgewinnung und CNC-Steuerungskonzept.** Die Maschine ist mit einem kinetischen Energie-Rückgewinnungssystem ausgerüstet. In Verbindung mit energiesparenden Antrieben und einer maximalen Reduzierung bewegter Massen kann eine Antriebsenergie-Rückgewinnung von bis zu 25 Prozent realisiert werden. Die Steuerung optimiert hierzu die Verfah- und Annäherungsgeschwindigkeit der Bohrköpfe, kontrolliert den Glastransport, die jeweiligen Werkzeugdrehzahlen und -vorschübe, die Kühlwassermengen und justiert die Bohrerlänge entsprechend des Werkzeugverschleißes.

Ofen (Teil der Förderung)

Insbesondere der Ofen der Firma Mazzaroppi Engineering S.r.l. (Abbildung 12) als letztes Glied in der Prozesskette des Float_{plus}-Verfahrens ist mit wesentlichen Innovationen im Vergleich zum Stand der Technik verbunden.

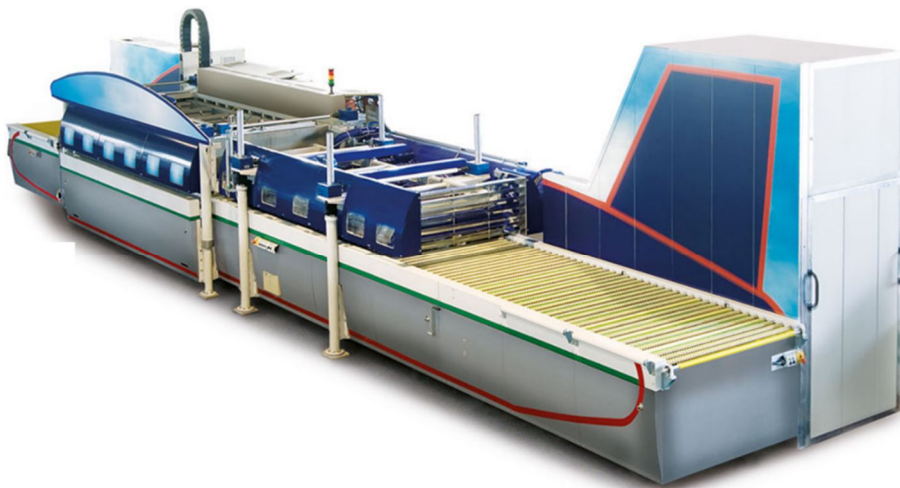


Abbildung 12: Ofen

- **Einscheibensicherheitsglas in höchster Qualität.** Durch aufwendige Voruntersuchungen konnte der Anlagenhersteller Mazzaroppi S.r.l. aus Italien ein Heizverfahren entwickeln, das Randfehler im Sicherheitsglas vermeidet, die beim aktuellen Stand der Technik durch eine Überhitzung der Ränder regelmäßig auftreten. Diese können durch das innovative Heizkonzept zukünftig vollständig vermieden werden. Insgesamt kann eine Qualitätssteigerung in Verbindung mit einer Reduzierung von Ausschuss und Glasbrüchen erreicht werden.
- **Steuerungstechnik.** Die beiden Heizkammern des Ofens sind in insgesamt 64 kleine, unabhängige Bereiche unterteilt. Jeder Bereich ist mit einem eigenen Widerstand und einem eigenen Thermofühler versehen. Das gesamte System wird automatisch von einer

fortschrittlichen Software gesteuert, die mittels Sensordaten und komplexer Optimierungsalgorithmen berechnet, welche Kammerbereiche von der Glasscheibe bedeckt sind und nur die Abschnitte einschaltet, unter bzw. über denen sich Glas befindet. Durch eine innovative Steuerungssoftware kann eine automatische Anpassung des Ofens an das Scheibenformat bzw. das Rezept erfolgen. Der Bediener muss lediglich die beiden Parameter Dicke und Glastypologie manuell in das Bedienpanel zur Anlagensteuerung eingeben.

- **Wesentlich geringerer Energiebedarf.** Durch ein innovatives Isolationskonzept sowie einem effizienten Steuerungssystem für Heizung und Kühlung konnte der Anschlusswert bei identischer Ausbringungsmenge deutlich gesenkt werden. Dies führte neben den dargestellten Umwelteffekten auch zu wirtschaftlichen Vorteilen gegenüber konventionellen Ofenkonzepten.
- **Niedrige thermische Trägheit bei höchster Flexibilität.** Die gesamte Heizkammer ist aus ungiftigen Materialien gebaut, die eine geringe Masse und Absorption aufweisen. Dies verleiht der Kammer eine niedrige thermische Trägheit bei gleichzeitig hoher Reaktionsfähigkeit und ermöglicht somit eine schnelle Anpassung auf Rezeptwechsel (z. B. von 8 mm Float auf 8 mm EN+). Im Vergleich zum Stand der Technik muss der Ofen hierbei nicht leergefahren werden, bevor er mit Glas anderer Dicke bestückt wird.
- **Keine Verwendung von SO₂.** Dank des innovativen Konzepts und der Anwendung von speziellen Sondermaterialien ist eine Ausdehnung oder ein Verzug der einzelnen Heizelemente nicht mehr möglich. Das mechanische Getriebe zum Antrieb der Rollen ist so konzipiert, dass Vibrationen vermieden werden. Aufgrund dessen kann im Ofen vollständig auf die Verwendung von SO₂ als schädlichen Zusatzstoff verzichtet werden.

4 Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Wie bereits in Kapitel 2 dargelegt, wurde das innovative Float_{plus}-Anlagenkonzept in enger Zusammenarbeit mit den beiden italienischen Unternehmen Mazzaroppi Engineering S.r.l. und FORVET S.r.l. erstmals großtechnisch umgesetzt, um die Verarbeitung von Floatglas wesentlich zu verbessern und einen Paradigmenwechsel in diesem Bereich einzuleiten.

Die Herausforderung bestand bei dieser großtechnischen Realisierung insbesondere darin, die Prozessparameter auf die Industrieanlage zu übertragen und entsprechend zu modifizieren. Der Zusammenführung und Integration der einzelnen Anlagenkomponenten kam ebenfalls eine entscheidende Rolle zu. Dabei konnte im Unternehmen wesentliches Knowhow

aufgebaut werden. Mit diesen Erfahrungen können perspektivisch weitere derartige Anlagen im Unternehmensverbund in Betrieb genommen werden.

4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit

Im Jahr 2017 erzielte die deutsche Glasindustrie laut des Bundesverbands Glasindustrie e. V. einen Gesamtumsatz von etwa 9,4 Mrd. Euro. Dies entspricht einem Plus von einem Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Hiervon entfielen mit 3,8 Mrd. Euro mehr als 40 Prozent auf die Veredelung von Flachglas, dem Kerngeschäft der Glas Trösch GmbH. In Deutschland sind Stand 2017 insgesamt 213 Betriebe mit mehr als 20 Mitarbeitern am Markt vertreten, die zusammen annähernd 25.000 Menschen beschäftigen. Im Vergleich zum Vorjahr 2016 entspricht dies einem Wachstum von zwei Prozent.

Diese Zahlen belegen, dass in Deutschland Unternehmen in ausreichender Zahl vorhanden sind, die von der erstmaligen großtechnischen Implementierung des Float_{plus}-Verfahrens profitieren und dieses im Sinne eines Multiplikators perspektivisch nutzen können. Aufgrund der Tatsache, dass die Nutzungsdauer derartiger Anlagen typischerweise acht Jahre beträgt, könnten viele der Mitbewerber des Unternehmens auf die gleiche Technologie setzen und somit die positiven Umwelteffekte des Float_{plus}-Verfahrens realisieren.

5 Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Einleitung

Glas Trösch wurde im Jahr 1905 von Johann Friedrich Trösch gegründet, der sich als Glaspezialist einen Namen mit Schriftgläsern und einem pionierhaften Verfahren zur Übertragung von Bildern auf Glas und Porzellan machte. Stand heute beschäftigt die Unternehmensgruppe in Familienbesitz mehr als 5000 Mitarbeiter an acht Standorten in Deutschland. Antragstellerin im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms war die Glas Trösch GmbH, Mengen.

Ziel des Vorhabens war die Implementierung einer Anlage zur hocheffizienten Bearbeitung und Veredelung von Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) im innovativen Float_{plus}-Verfahren. Dieses innovative Verfahren zeichnet sich durch vollständig verkettete und vollautomatisierte Anlagenkomponenten aus, die optimal aufeinander abgestimmt sind.

Vorhabenumsetzung

Im Juli 2017 erfolgte in einem Zeitraum von drei Wochen die Montage der Anlage sowie die Schulung der Mitarbeiter. Am 1. August 2017 konnte die Anlage in Betrieb genommen werden. Die Inbetriebnahme erfolgte ohne Zwischenfälle, die Anlage konnte direkt in einen

stabilen Betrieb überführt werden. In den Monaten August und September 2017 wurde die Produktion sukzessive hochgefahren, seit Oktober 2017 wird im 3-Schicht-Betrieb produziert.

Ergebnisse

Nachfolgende Tabelle stellt die Ist-Energiebedarfe zwischen dem Stand der Technik und der umgesetzten Innovation gegenüber (rot: alte, grün: neue Anlage). Alle dargestellten Verbräuche beziehen sich auf einen 24 Stunden 3-Schicht-Betrieb. Daraus ergibt sich eine Einsparung von 2306,4 kWh pro Tag respektive bei 250 Arbeitstagen pro Jahr insgesamt 576.600,0 kWh. Dies entspricht bei einem CO₂-Emissionsfaktor von 535 g CO₂/kWh einer **CO₂-Einsparung von 308,5 t**. Zudem kann durch eine Reduzierung des Ausschusses eine weitere Einsparung von 139,3 t CO₂ erreicht werden.

Bearbeitungs-schritt	Energiebedarf (Ist) [kWh]	Bearbeitungs-schritt	Energiebedarf (Ist) [kWh]
Ofen	2488,0	Ofen	1140,0
Bohr-/Fräszentrum	121,4	Bohr-/Fräszentrum	86,4
Schleifmaschine	163,7	Schleifmaschine	137,5
Modellschleifanlage	153,2	<i>entfällt</i>	–
Waschen	1632,0	Waschen	888,0
SUMME	4558,3	SUMME	2251,9

Ausblick

Im Rahmen der Projektumsetzung konnte Glas Trösch zeigen, dass eine ökologisch herausragende Bearbeitung und Veredelung von Einscheiben-Sicherheitsglas wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar waren. Der mit dieser Projektrealisierung einhergehende tiefgreifende Aufbau von Knowhow festigt die Marktstellung des Unternehmens und versetzt das Unternehmen in die Lage, zukünftig weitere Standorte mit der Float_{plus}-Technologie auszustatten und somit zu weiteren Umweltentlastungen beizutragen.

5.2 Summary

Introduction

Glas Trösch was founded in 1905 by Johann Friedrich Trösch, a glass specialist, who made a name for himself with writing glasses and a pioneering process for transferring images onto glass and porcelain. Today, the family-owned group employs more than 5000 people at eight locations in Germany. The applicant for the environmental innovation programme was Glas Trösch GmbH, Mengen.

The goal of the project was to implement a system for the highly efficient processing and refinement of toughened safety glass (ESG) using the innovative Float_{plus} process. This innovative process is characterised by fully interlinked and fully automated machine components that are optimally matched each to the other.

Project Implementation

In July 2017, the installation of the whole production system and the training of the employees took place over a period of three weeks. The production system was commissioned on 1 August 2017. Commissioning took place without any incidents and the production could be transferred directly into a stable production system. In the months of August and September 2017, production was successively ramped up; since October 2017, production has been operationally in 3-shifts.

Project results

The following table compares the actual energy requirements between the state of the art and the implemented innovation (red: old, green: new system). All consumption figures shown refer to a 24-hour 3-shift operation. This results in a saving of 2306.4 kWh per day or a total of 576,600.0 kWh at 250 working days per year. With a CO₂ emission factor of 535 g CO₂/kWh, this corresponds to a **CO₂ saving of 308.5 t**. In addition, a further reduction of 139.3 tonnes of CO₂ can be achieved by reducing the scrap rate/defective parts.

Bearbeitungsschritt	Energiebedarf (Ist) [kWh]	Bearbeitungsschritt	Energiebedarf (Ist) [kWh]
Oven	2488,0	Oven	1140,0
Drilling/milling centre	121,4	Drilling/milling centre	86,4
Grinding station	163,7	Grinding station	137,5
3D Modellingstation	153,2	–	–
Cleaning station	1632,0	Cleaning station	888,0
Total	4558,3	Total	2251,9

Outlook

As part of the project implementation, Glas Trösch was able to show that ecologically outstanding processing and refinement of toughened safety glass was economically feasible. The profound build-up of know-how associated with this project implementation strengthens the market position of the company and puts it in a position to equip further locations with Float_{plus} technology in the future and thus contribute to further environmental reliefs.

6 Literatur

Für die Erstellung des vorliegenden Abschlussberichts wurden ausschließlich eigene Daten und Aufzeichnungen der Firma Glas Trösch sowie deren Tochterfirmen verwendet.