



ECOheat®

**Entwicklung einer Pilotanlage
auf Basis des pumpstängellosen Inline-Vakuum-
Klebprozesses (InVaK)
zur umweltgerechten Produktion von Plasmabildschirmen
und Gasentladungslampen**

**Kurztitel: InVaK-Pilotanlage zur umweltgerechten
Produktion**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: **24922** von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr.-Ing. Reinhard Schummers

Mai 2009

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	24922	Referat	21/0	Fördersumme	350.000,00 €
----	--------------	---------	-------------	-------------	---------------------

Antragstitel

Entwicklung einer Pilotanlage Entwicklung einer Pilotanlage auf Basis des pumpstängellosen Inline-Vakuum-Klebeprozesses (InVaK) zur umweltgerechten Produktion von Plasmabildschirmen und Gasentladungslampen

Stichworte Energie, Verfahren, Flachbildschirm, Flachlampe, (später: Hochdrucklampe)

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
----------	---------------	-------------	-----------------

18 Monate	28.9.2006	28.3.2008 (später: 30.6.2009)	
------------------	------------------	--------------------------------------	--

Zwischenberichte: alle 6 Monate Kurzbericht

Bewilligungsempfänger ELINO Industrie-Ofenbau
Carl Hanf GmbH + Co. KG
Zum Mühlengraben 16 - 18
52355 Düren

Tel 02421/6902-125

Fax 02421/62979

Projektleitung:
Dr. Reinhard Schummers

Bearbeiter

Kooperationspartner SOF Optoelectronics GmbH, Eschweiler, Deutschland
AVACO Co., Ltd., Daegu, Korea (später: PHILIPS, Chartres, Frankreich)

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel des Projektes ist die Erstellung einer Pilotanlage zur Herstellung von Plasmabildschirmen in Form eines neuartigen Vakuum-Durchlaufofens (basierend auf dem Inline-Vakuum-Klebeprozess), die eine Integration von zwei bisher getrennten Verfahrensschritten darstellt. Hierdurch ergeben sich mehrere signifikante Verbesserungen, wie Reduktion des Energieverbrauchs bei der Herstellung von Plasmabildschirmen und Flachlampen, Ressourcenschonung durch Verminderung des Ausschusses, verbesserte Produktivität sowie Senkung des Transportaufwands. Im Rahmen des Vorhabens soll eine Pilotanlage erstellt und an dieser das Verfahren in Bezug auf Energieverbrauch und Produktqualität optimiert werden. Die Pilotanlage soll den Weg ebnen für eine entsprechende großtechnische Produktion von Plasmabildschirmen bzw. Flachlampen mit deutlich gesteigerter Energie- und Kosteneffizienz bei geringerem Materialeinsatz und Transportvolumen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Arbeitspaket 1: Scale-up und Konstruktion: Die im Vorläuferprojekt entwickelten Technologien zum Vakuumofen und zur Gasbefüllung müssen in dem hier beschriebenen Vorhaben integriert (Konstruktion) und auf den Maßstab der Pilotanlage gebracht werden (Scale-up).

Arbeitspaket 2: Aufbau eines modularen Reinraums zur Fertigung der Pilotanlage: Die geplante Pilotanlage darf aus prozesstechnischen Gründen nur in einem speziellen Reinraum der Klasse 10.000 aufgebaut werden, damit Ofeneinbauten und Schleusenammern bei der Fertigung nicht kontaminiert werden. Im Rahmen des Projekts soll dieser Reinraum entworfen und in einer vorhandenen Fertigungshalle bei ELINO eingerichtet werden.

Arbeitspaket 3: Bau der Pilotanlage (Vakuum-Durchlaufofen): Die Konstruktion und Fertigung der Pilotanlage wird im Rahmen dieses Projekts durchgeführt werden und bildet die Grundlage für die Verfahrensoptimierung (Arbeitspaket 4). Hierfür wird eine Anlage benötigt, deren Maße (ca.) 26m x 2,5m x 2m (L x B x H) umfassen.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190

Arbeitspaket 4: Verfahrensoptimierung: Hier werden die wichtigsten Anlagenparameter wie Temperaturverteilung, Konvektionseigenschaften, räumliche und zeitliche Produktführung, Druckverlauf, etc., untersucht. Optimale Prozessparameter hängen ab vom Restsauerstoff, residualen C-H-Verbindungen und dem Endvakuum in der Vakuumkammer und der Gasfüllstation. Entsprechende Untersuchungen und Verfahrensoptimierungen können mit Hilfe der Pilotanlage durchgeführt werden.

Ergebnisse und Diskussion des Projekts mit geändertem Projektziel

Es wurden hocheffiziente und robuste Vakuumtüren für den InVaK-Betrieb entwickelt und nach Projektende für Testzwecke hergestellt. Die Türen erfüllen alle Anforderungen sowohl der Hochdrucklampen- als auch der Plasma-Bildschirmherstellung.

Aufgrund der spezifischen Anforderung der Hochdruck-Gasbefüllung bei den Lampen, wurde ein Stoßofenkonzept entwickelt, das die Edelgasvergeudung im Ofen- bzw. Schleusenbereich minimiert.

Die Prozessparameter Evakuierzeit, Klebetemperatur und -zeit wurden auf die geänderte InVaK-Prozessabfolge sowie die Hochdruck-Atmosphärenverhältnisse während des Klebevorgangs im Ofenbereich angepasst und teilweise optimiert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Es war geplant, die Ergebnisse nach den Optimierungsarbeiten an der Pilotanlage zu veröffentlichen oder anderweitig, zum Beispiel in eingeladenen Konferenzen, zu präsentieren. Da die Pilotanlage nicht im Rahmen dieses Projekts aufgebaut werden konnte, wurden auch keine Veröffentlichungen oder Präsentationen gemacht.

Fazit

Das Projekt InVaK-II hat zu wichtigen Erkenntnissen und Verfahrensentwicklungen geführt, welche als Grundlage zur Herstellung einer Pilotanlage des Inline-Vakuum-Klebeprozesses für Hochdrucklampen oder auch Plasma-Bildschirme genutzt werden kann. Von der Pilotanlage wird aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse erwartet, dass die oben dargestellten Ziele zur Material- und Energieeinsparung erreicht werden können.

Zusammenfassung

Einleitung

Ursprüngliches Ziel des Projektes war die Erstellung einer Pilotanlage zur Herstellung von Plasmabildschirmen in Form eines neuartigen Vakuum-Durchlaufofens (basierend auf dem Inline-Vakuum-Klebeprozess), die eine Integration von zwei bisher getrennten Verfahrensschritten darstellt.

Hierdurch sollten sich mehrere signifikante Verbesserungen ergeben:

- Reduktion des Energieverbrauchs bei der Herstellung von Plasmabildschirmen um ca. 90 % gegenüber dem heute üblichen konventionellen Prozess.
- Ressourcenschonung durch Verminderung des Ausschusses von bis zu ca. 35 % auf ca. 10 % (prozessabhängig).
- Verbesserte Produktivität. Durch die Kontinuität des Herstellungsprozesses reduziert sich die Gesamtprozesszeit von 14-18 Stunden auf 5 Stunden. Außerdem kann eine größere Flexibilität bezüglich der Bildschirmgröße erreicht werden (40 bis 100 Zoll).
- Senkung des Transportaufwands beim weltweiten Transport der neuen pumpstängellosen Bildschirme (Tip-less Panels) durch Transportvolumenreduktion auf etwa ein Fünftel des heute üblichen.

Im Rahmen des Vorhabens sollte eine Pilotanlage erstellt und an dieser das Verfahren in Bezug auf Energieverbrauch und Produktqualität optimiert werden. Diese Pilotanlage sollte den Weg ebnen für eine entsprechende großtechnische Produktion von Plasmabildschirmen mit deutlich gesteigerter Energie- und Kosteneffizienz bei geringerem Materialeinsatz und Transportvolumen. Eine weitergehende Nutzung des Inline-Vakuum-Klebeprozesses (InVaK-Prozess) wurde erwartet durch dessen Übertragbarkeit auf Produkte wie neuartige energiesparende Flachglas-Entladungslampen, Kfz-Xenon-Lampen sowie energiesparende Röhren-Entladungslampen.

Geänderter Projektinhalt nach Wechsel des Kooperationspartners von AVACO (Korea) zu PHILIPS (Chartres, Frankreich)

Neues Ziel des Projektes war die Erstellung einer Pilotanlage zur Herstellung von edelgasbefüllten Hochdrucklampen in Form eines neuartigen Vakuum-Durchlaufofens (basierend auf dem Inline-Vakuum-Klebeprozess), die eine Integration von zwei bisher getrennten Verfahrensschritten darstellte. Hierdurch sollten sich mehrere signifikante Verbesserungen ergeben:

Folgende Ergebnisse wurden von dem neuen Prozess erwartet:

- Der Energieverbrauch für den Klebe-, Vakuum- und Gasfüllprozess wird im Vergleich zum herkömmlichen Prozess um 70% sinken.
- Es wird eine Steigerung bei der Fertigungsausbeute von derzeit 85 auf über 95 % erwartet. Dieses Ziel kann durch das zu entwickelnde Verfahren erreicht werden, da einerseits keine manuelle Handhabung zwischen den Prozessschritten mehr erforderlich ist und andererseits kein Pumpstängel mehr vorhanden ist.
- Die Gesamtprozesszeit (für die hier betrachteten Prozessschritte) wird von 3 Stunden auf unter 1 Stunde sinken, wodurch der Energieverbrauch drastisch gesenkt wird und sich im Verhältnis zur Investitionssumme die Durchsatzleistung erhöht.
- Ohne grundlegende Anlagenmodifikationen soll eine Anlagenverwendung auch auf

andere Produkte, insbesondere der ursprünglichen Planung entsprechend auch auf PDP-Bildschirme, übertragbar sein.

Im Rahmen des Vorhabens sollte ein Versuchsaufbau zur Untersuchung der Prozesskammergestaltung und Prozessführung sowie nachfolgend eine Pilotanlage erstellt und an dieser das Verfahren in Bezug auf Energieverbrauch und Produktqualität optimiert werden. Die grundlegenden Technologien wurden in dem bereits erfolgreich beendeten INVAK I -Projekt sowie in den begonnenen Projektierungs- und Konstruktionsarbeiten für das INVAK II -Projekt erarbeitet.

Hauptteil

Arbeitspakete:

Die notwendigen technischen Entwicklungen im Rahmen des Scale-up zur Pilotanlage betreffen im Einzelnen folgende Arbeitspakete:

1. Arbeitspaket *(atmosphärendichte Vakuumtüren Schieber) im Hochtemperaturbereich*
2. Arbeitspaket *Ofenkonzept und geeignetes Transportsystem der Lampen für den Durchlaufbetrieb*
3. Arbeitspaket *Minimierung der Isolationswärmeverluste durch Einsatz geeigneter Werkstoffe*
4. Arbeitspaket *Aufbau der Pilotanlage*
5. Arbeitspaket *Optimierung des Temperatur-Druck-Verlaufs*
6. Arbeitspaket *Optimierung (Verkürzung) des Zeit-Verlaufs*

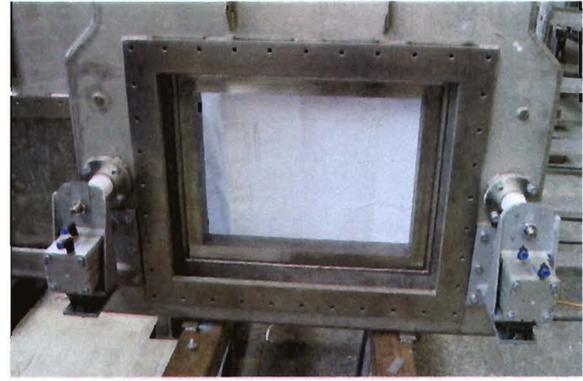
Sachstandsbeschreibung:

1. Arbeitspaket:

Vakuumtüren für die Anwendung im InVaK-Prozess unterliegen besonderen Problemstellungen. Deren Anforderungsadjektive sind:

- Mechanisch robust, wartungsfrei bis 100.000 Öffnungs- und Schließzyklen
- Permanent vakuumdicht bis 10^{-6} mbar über 100.000 Öffnungs- und Schließzyklen, auch in Kombination mit jeweiligem Druckwechselspiel
- Extrem verwindungssteif, auch unter dynamischer Temperaturwechselbeanspruchung
- Selbst- und prozesssichernd bei Strom- und Pressluftausfall

Die Konstruktionsarbeiten zu den Vakuumtüren wurden durchgeführt. Das Konzept wurde derart gestaltet, dass alle o.a. wichtigen Eigenschaften auch für unterschiedlich große Türen darin vereinheitlicht sind. Dazu zählen insbesondere die Halterung und Positionierung der Dichtringe, so dass im Wartungsfall eine Reinigung oder ein Wechsel eines Dichtrings leicht möglich ist, ohne die Anlage für längere Zeit außer Betrieb nehmen zu müssen. Daher wird der Dichtring auf dem Schieberblatt und nicht auf dem Flanschrahmen positioniert. Das hat zum einen den Vorteil, dass der Dichtring in geöffneter Schieberstellung nicht der Ofenraumstrahlung ausgesetzt ist und zum anderen kann im Wartungsfall der Dichtring leicht durch eine Wartungsklappe von außen erreicht werden.



Vakuurtüre Testaufbau: (a) Schieber geschlossen und (b) Schieber geöffnet

Mit einer internen Wasserkühlung des Schiebers und des Flanschrahmens kann die temperaturbedingte Verformung weitestgehend unterdrückt werden. Zur sicheren, wiederholbaren Abdichtung wird der Schieber mittels zwei faltenbalggedichteter Pressluftzylinder gegen den Dichtflansch gepresst.

Nach Projektende wurden Vakuurtüren für einen Testaufbau hergestellt und unter einsatznahen Testbedingungen mit folgenden hervorragenden Testergebnissen vermessen:

- Längendehnung $\Delta L_{x,y} < 3.2 \times 10^{-3} \text{ mm}$ @ $\Delta T = 400 \text{ K}$ Ofenraumtemperatur
- Druckänderung $\Delta p < 4.0 \times 10^{-6} \text{ mbar}$ @ Temperaturzyklus: RT \Rightarrow 420°C \Rightarrow RT

Diese Ergebnisse würden einen einwandfreien Fertigungsbetrieb auch für Hochdruck-Xenon-Lampen zusichern.

2. Arbeitspaket:

Der Herstellungsprozess der Hochdrucklampen erfordert einen vakuumfesten und einen druckfesten Ofenkörper, da die Lampen erst evakuiert und nachfolgend mit Xenon mit etwa 12bar bei 450°C gefüllt werden. Danach werden die Lampen durch Temperaturerhöhung mit Hilfe einer Glasfritte verschmolzen (versiegelt). Der gasdichte Ofeninnenkörper (Muffel) sollte ein sehr geringes Volumen haben, dass einerseits nicht zu viel teures Xenon verschwendet wird und andererseits nicht zu große druckverursachte Kräfte die Muffel belasten. Die Muffel hat daher einen runden Querschnitt mit möglichst geringem Durchmesser. Um keine raumgreifende Transportmechanik in der Muffel unterbringen zu müssen, bietet sich hier das Stoßofenkonzept an. Dabei werden Stoßrahmen (à 200 Lampen) nacheinander angereiht durch den Ofen gestoßen. Ein Stoßrahmen ist ca. 250mm breit und 500mm lang, daraus ergeben sich ein Muffeldurchmesser von 300mm und eine durchsatzabhängige Muffellänge. Vor und hinter dem Ofen befindet sich je eine beheizte Vakuum-Druckschleuse für den Vakuumprozessschritt vor der Xenon-Befüllung bzw. die Atmosphärentrennung nach der Befüllung vor dem Abkühlen unter Luft. Diese Vorgaben wurden detailliert in das Ofenkonzept eingearbeitet. Die Konstruktions- und Zeichnungsarbeiten wurden dazu begonnen.

Bild Ofenkonzept (siehe Anhang)

3. Arbeitspaket:

Minimierung der Isolationswärmeverluste durch Einsatz geeigneter Werkstoffe konnte nicht mehr im Rahmen dieses Projekts durchgeführt werden.

4. Arbeitspaket:

Aufbau der Pilotanlage konnte nicht mehr im Rahmen dieses Projekts durchgeführt werden.

5. Arbeitspaket und

6. Arbeitspaket:

Tests zur Prozess-Optimierung hinsichtlich des Temperatur-Druck-Verlaufs und der Prozesszeitverkürzung wurden in einem ELINO-eigenen Laborofen durchgeführt.

Im ursprünglichen Herstellungsverfahren der Hochdrucklampen wird der Glaskolben der Lampe erst bei $>435^{\circ}\text{C}$ bei normalem Atmosphärendruck verschmolzen (versiegelt) und nachfolgend bei Raumtemperatur über einen metallischen Pumpstängel evakuiert und mit Gas gefüllt. Im Gegensatz dazu, wird beim InVaK-Verfahren die Lampe in der Schleusenkammer evakuiert und mit Gas unter hohem Druck befüllt, bevor der Glaskolben (gleichfalls unter hohem Druck) in der Ofenkammer verschmolzen wird. Unsere Versuche haben ergeben, dass die Verschmelzungstemperatur der Glasfritte unter hohem Druck deutlich um $>100\text{K}$ ansteigt, gleichzeitig aber die Haltezeit am Verschmelzungspunkt von 20 auf ca. 5-10 min reduziert werden kann. Das hat zur Folge, dass die aufwändige Hochdruck-Heizmuffel der Pilot-Ofenanlage deutlich kürzer und damit energiesparender und auch wirtschaftlich günstiger gebaut werden kann.

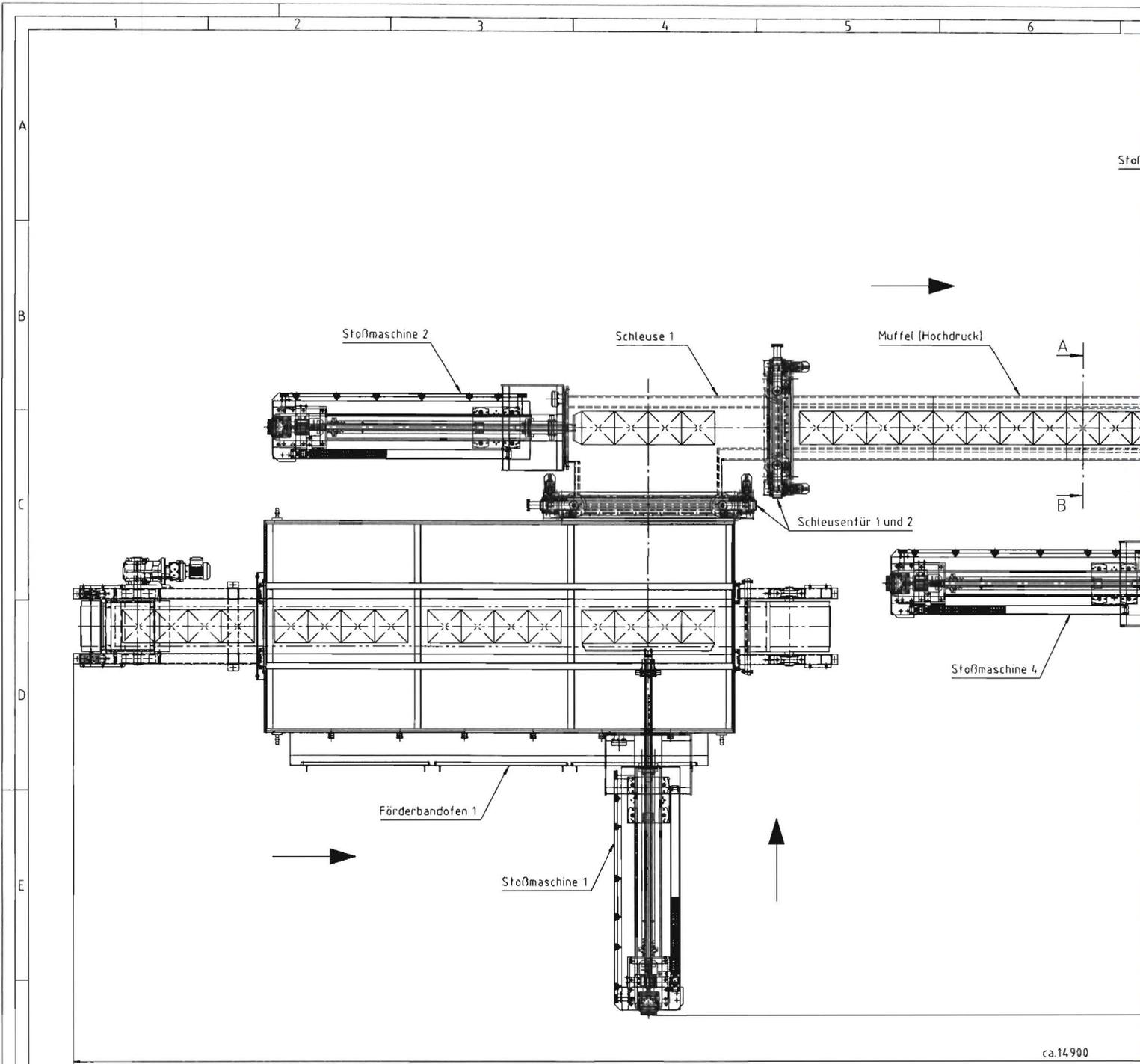
Erste Lampen wurden entsprechend dem InVaK-Prozessverlauf im Laborofen in Reihen mit veränderten Parametern hergestellt und dem Projektpartner zur Analyse übergeben. Dort sollen Parameter, wie Alterung, Lebensdauer, Lichtleistung, Frittenklebebild, usw., gemessen und mit den Standardlampen verglichen werden. Die Ergebnisse stehen noch aus.

Eine Prozessoptimierung auf der Pilotanlage konnte nicht mehr im Rahmen dieses Projekts durchgeführt werden, da das 4. Arbeitspaket *Aufbau der Pilotanlage* nicht realisiert wurde.

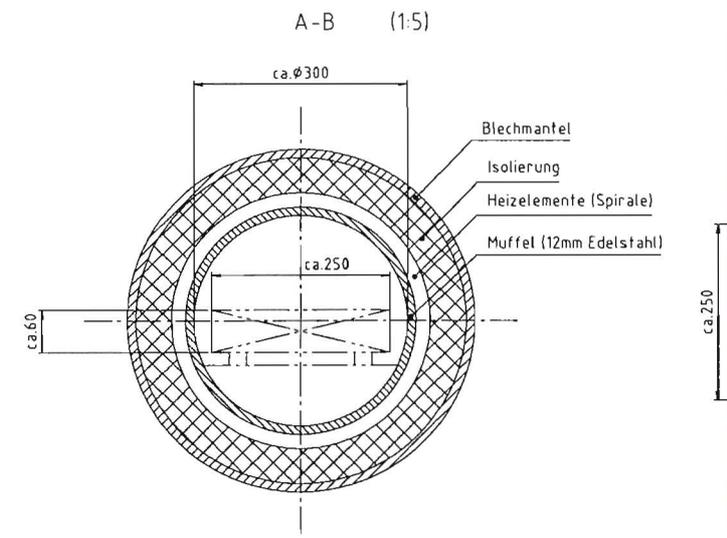


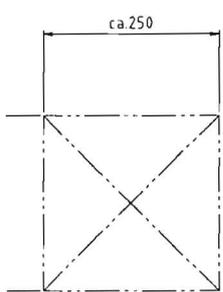
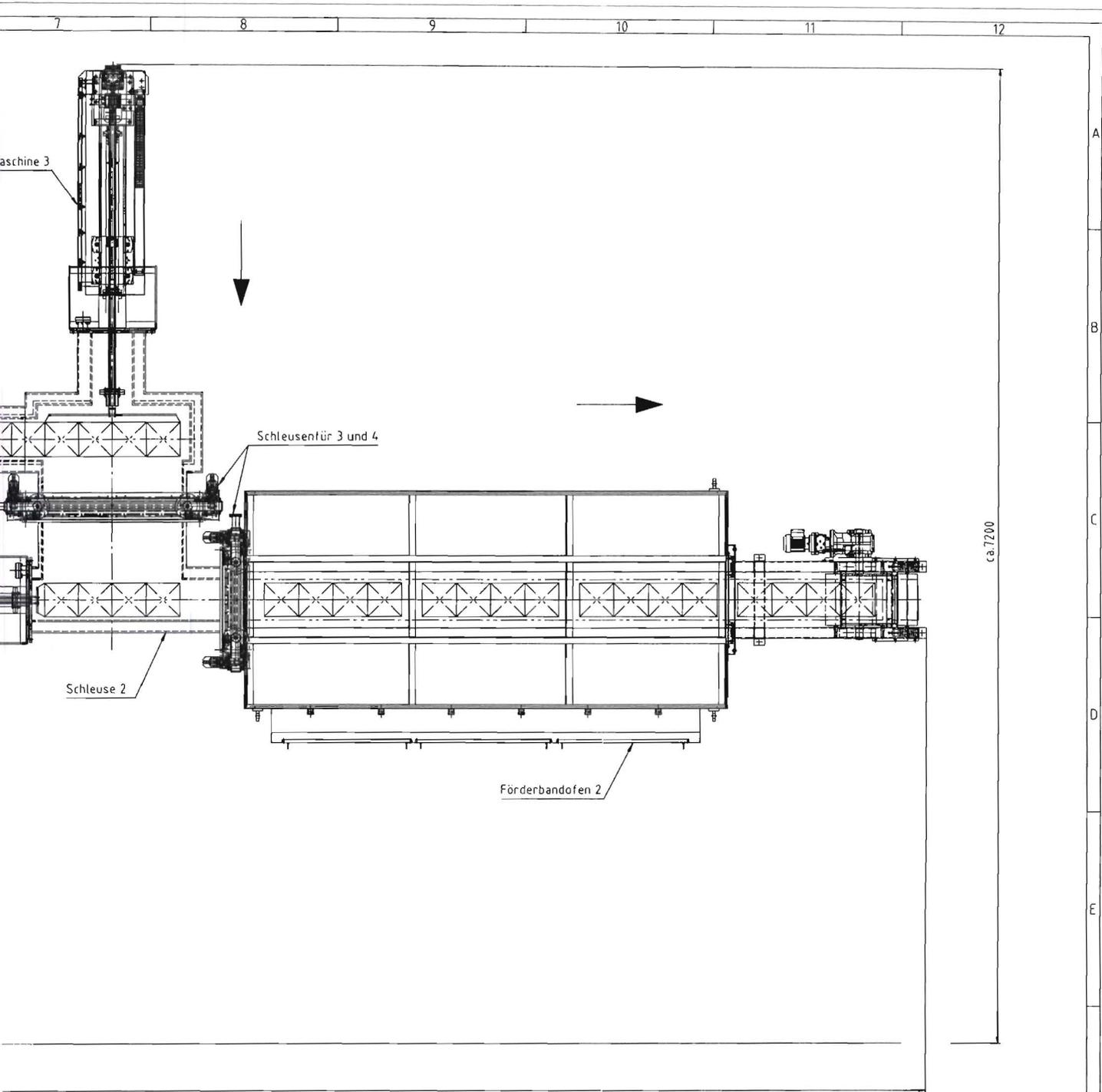
Xe-Hochdrucklampen:

(a) *InVaK-Prozess* (b) *Standard Prozess mit Pump-Röhrchen*



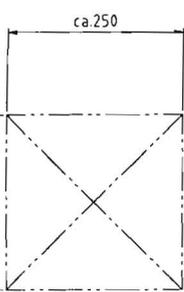
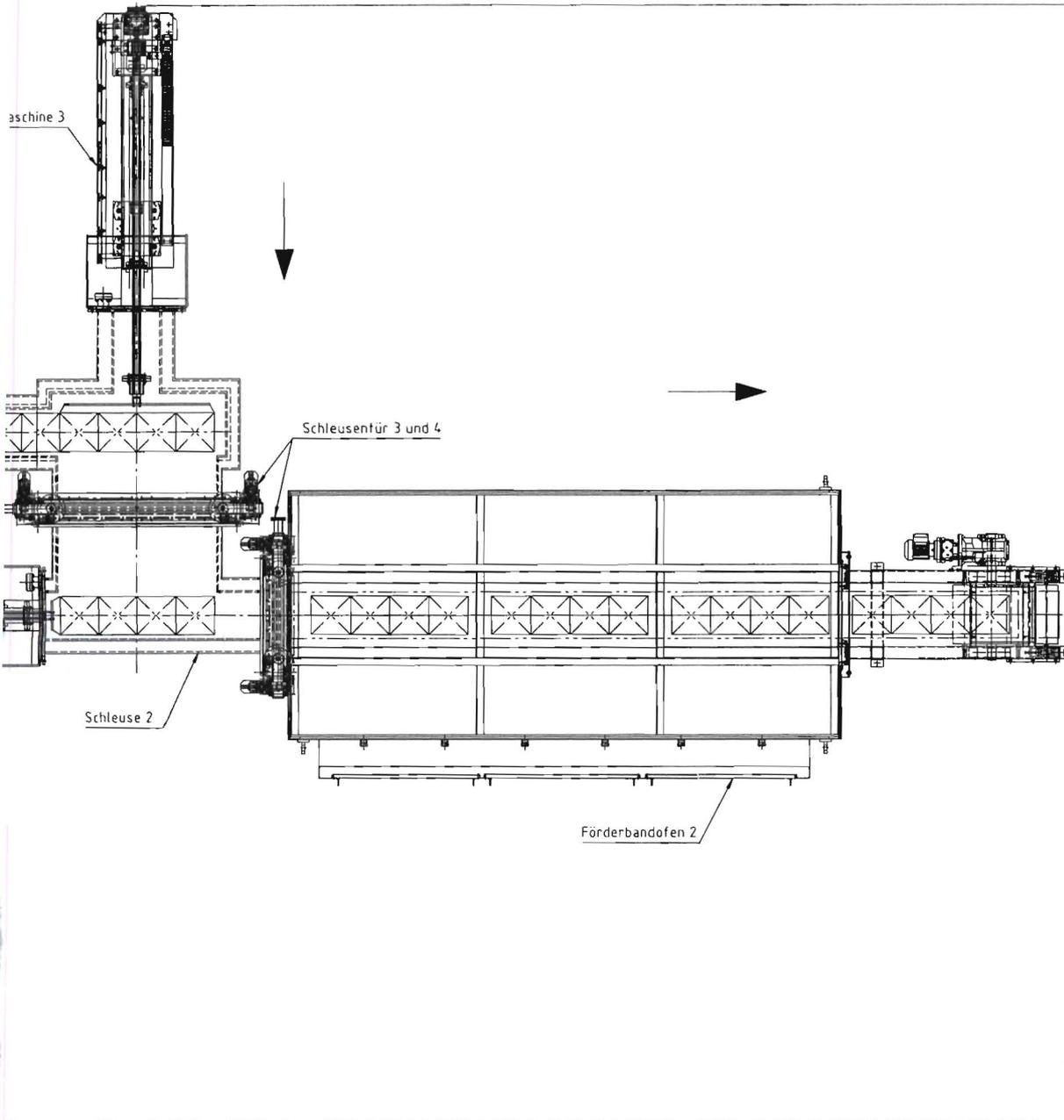
ca.14.900





Zur Anfrage / Fertigung freigegeben

EDV-Zeichnungs-Nr.		Allgemeintoleranzen ISO 2768-mK		Maßstab: 1:20		Ges. Gewicht: -	
H		Datum	Name	URHEBERSCHUTZ NACH DIN 34 Aufstellungsplan			
G		Gezch.	Lieb				
F		Gepr.					
C		Normg.					
D		Geseh.					
				Typ:		Rev. Format	
				ELINO INDUSTRIE-OFENBAU		ELINO Zeichnungs-Nr. 4 05901-74-10100	
Kom.-Nr.		Stück		Datum		A1	
Rev.	Änderung	Datum	Name	Mikrofilm Nr.	Ers. für	Ers. durch	Plot-Datum:



Zur Anfrage / Fertigung freigegeben

Datum: _____ Name: _____

EBV-Zeichnungs-Nr.		Allgemein toleranzen ISO 2768-mK		Maßstab: 1:20		Ges. Gewicht: -	
H		Datum	Name	URHEBERSCHUTZ NACH DIN 34 Aufstellungsplan			
G		Gezch.	Lieb				
F		Gepr.					
E		Normg.					
D		Geseh.					
C				Typ:	ELINO Zeichnungs-Nr.		Rev. Formel
B				ELINO INDUSTRIE-OFFENBAU		4.0590-74-0100	A1
A				Ers. für		Ers. durch	
Kom.-Nr.		Stück	Datum	Rev.	Änderung	Datum	Plot-Datum: