

NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG
Brand-Erbisdorf

„Vakuumkollektorrohr für Solarthermie“

**„Entwicklung eines kostengünstigen, hocheffizienten
Solarkollektors und dessen Herstellungstechnologie“**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 23 534 – 24 / 2
von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Anne-Heide Gartner
&
Dr. Gerhard Mientkewitz
Dr. Wilfried Schaffrath
Dr. Olexander Yudin
Friedelinde Cordts
Jürgen Zabel

Juni 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung.....	4
3	Vorstellung des Produkttyps.....	6
4	Projektverlauf	8
4.1	Informationssammlung	8
4.2	Konzipierung und Aufbau von Experimentaleinrichtungen.....	8
4.3	Mess- und Prüfverfahren.....	9
4.4	Design- und Prozesselemente	9
4.5	Experimentelle Herstellung kompletter Vakuumrohre	9
4.6	Herstellung von Vakuumrohren für Feldversuche	10
4.7	Anlauf der Massenproduktion.....	10
5	Projektergebnisse.....	11
5.1	Glasherstellung, Glasoptimierung	11
5.2	Glasbeschichtung (Co-Referent: Dr. Olexander Yudin).....	12
5.2.1	Beschichtungsverfahren.....	13
5.2.2	Bewertung der Schichtqualität.....	15
5.2.3	Vorstellung der optimalen Schichtqualität	17
5.3	Gestellfertigung	18
5.4	Vormontage der Metallteile (Co-Referent: Dr. Wilfried Schaffrath).....	21
5.4.1	Aufbau und Funktion	21
5.4.2	Montage, Anforderungen und Schwerpunkte	23
5.4.3	Fertigungsperspektiven	27
5.5	Glas-Metall-Verbindung (Co-Referent: Dr. Gerhard Mientkewitz)	27
5.5.1	Prinzipielle Ausführung	27
5.5.2	Detaillierte Darlegungen.....	29
5.6	Glas-Glas-Verschmelzung	31
5.7	Vakuumerzeugung (Co-Referent: Friedelinde Cordts)	32
5.7.1	Volumenevakuierung	33
5.7.2	Oberflächenevakuierung	34
5.7.3	Getter	35
6	Endmontage	36
7	Ökonomische und ökologische Gesamtbewertung des Vorhabens	38
8	Fazit.....	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einzelne Kollektorröhre.....	6
Abbildung 2:	Glas-Glas-Verschmelzung zum Versiegeln der Kollektorröhre.....	6
Abbildung 3:	Glas-Metall-Verschmelzung zum Versiegeln der Kollektorröhre.....	7
Abbildung 4:	Komplett montierte Batterie aus einzelnen Kollektorröhren.....	7
Abbildung 5:	Glasoberfläche mit gestörten Benetzungseigenschaften.....	12
Abbildung 6:	Laboranlage zur Glasbeschichtung.....	13
Abbildung 7:	Modellanlage zur Glasbeschichtung.....	14
Abbildung 8:	Transmission von Gläsern mit verschiedenen Beschichtungen.....	15
Abbildung 9:	Vergleich der hydrolytischen Beständigkeit von unbeschichtetem .	16
Abbildung 10:	Einzelteile des Gestells (v.l.n.r.: Teller, Pumprohr, Haltedraht und)	18
Abbildung 11:	Phasen der Glasaufweitung beim Auftreiben (Aufweiten) des Tellrohres bei der Tellerfertigung für die Lampenherstellung.....	18
Abbildung 12:	Ausführung des Auftreibens durch einen rotierenden Stift.....	19
Abbildung 13:	Vollständig gefertigter Fuß mit Pumploch.....	20
Abbildung 14:	Vollständig gefertigtes Gestell.....	20
Abbildung 15:	Phasen der Gestellfertigung (v.l.n.r.: Teller, Fuß, Gestell).....	21
Abbildung 16:	Einzelteile der Finne (oben links: Absorberblech Vorderseite – ...	21
Abbildung 17:	Montierte Finne – Rückseite (lichtabgewandte Seite).....	22
Abbildung 18:	Montierte Finne – Vorderseite (lichtzugewandte Seite).....	23
Abbildung 19:	Profilierung der Finne im Randbereich.....	24
Abbildung 20:	Schnitt durch eine montierte Finne.....	24
Abbildung 21:	Schlechte Lötverbindung (Risse in der Lötstelle und.....	25
Abbildung 22:	Exakt ausgeführte Lötverbindung.....	26
Abbildung 23:	Deckel im Lieferzustand.....	26
Abbildung 24:	Deckel im Verarbeitungszustand.....	27
Abbildung 25:	Vormontierte Hüllkolben unmittelbar vor dem Verschmelzen.....	28
Abbildung 26:	Ausgeführte Glas-Metall-Einschmelzung.....	28
Abbildung 27:	Fehlerhafte Glas-Metall-Einschmelzung.....	29
Abbildung 28:	Exakt ausgeführte Glas-Metall-Einschmelzung.....	29
Abbildung 29:	Hüllkolben mit eingeschmolzenem Gestell mit Gettering.....	31
Abbildung 30:	Druckabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit eines Gases.....	32
Abbildung 31:	Vakuumqualität in Abhängigkeit von der Reinheit.....	33
Abbildung 32:	Pilotpumpstand.....	34
Abbildung 33:	Wärmeableitrohr und abschließend zu montierende Innenteile ...	36
Abbildung 34:	Wärmeableitrohr mit montiertem Innenrohr.....	36
Abbildung 35:	Ungeschützte Abziehspritze.....	37
Abbildung 36:	Geschützte Abziehspritze.....	37
Abbildung 37:	Stagnationstemperatur von Solarkollektoren.....	39
Abbildung 38:	Vollständige und unvollständige Ausheizung der Finne /.....	39
Abbildung 39:	Desorptionen unvollständig ausgeheizter Finnen / Kollektoren....	40
Abbildung 40:	Kollektoraufheizung bei verschiedenen Vakuumqualitäten.....	40

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des abgeschlossenen Fördervorhabens ist es den Mitarbeitern der NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG gelungen, einen kostengünstigen und hocheffizienten Solarkollektor zu entwickeln und dessen Herstellungstechnologie zu optimieren.

Im Zuge der Erkenntnisgewinnung und der Perfektionierung der Produkteigenschaften ergaben sich klar definierte Ansprüche an die Gestaltung und Auslegung einer entsprechenden Produktionslinie, deren Aufbau parallel zur Endphase des Projektes begann.

Durch umfangreiche Versuche an Labor- und Pilotanlagen konnten im Bereich der Kollektorfertigung für die Solarthermie besonders zwei Aspekte wesentlich revolutioniert werden:

- Glasauswahl für den Hüllkolben,
- Wirkungsgradverbesserung durch veränderte Reflexionseigenschaften und
- Wirkungsgradverbesserung durch maximale Vakuumoptimierung.

Bei der Kollektorfertigung kommen prinzipiell Hüllkolben aus qualitativ hochwertigem, aber auch sehr kostenintensivem Borosilikatglas zum Einsatz. Die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG stellt in einem eigenen Glaswerk, Glaskolben aus preiswertem Kalk-Natron-Glas für die Lampenindustrie her. Durch ein spezielles Beschichtungsverfahren, gelang es, die Glaseigenschaften von Kalk-Natron-Glas soweit zu verbessern, dass für die spezielle Anwendung im Kollektorenbau eine Substitution des Borosilikatglases erfolgen kann.

Neben einer Verbesserung der hydrolytischen Beständigkeit des Glases gelang es mit Hilfe des Schichtauftrags die Energieeffizienz des Produktes durch Reduzierung von Reflexionsverlusten wesentlich zu steigern.

Durch intensive Arbeiten im Bereich der Vakuumtechnik war es möglich, Reserven bei der Wirkungsgradoptimierung klar zu definieren und die Prozessführung im Sinne einer Wirkungsgradmaximierung zu gestalten.

Für die Ausführung des Glas-Metall-Verbundes bei der Verbindung des Hüllrohrs mit den metallischen Funktionskomponenten wurde eine völlig neue, innovative Technologie entwickelt.

Der prinzipielle Erfolg des Projektes basiert im wesentlichen auf der Verknüpfung von jahrzehntelangen Erfahrungen im Bereich der Glas-Glas- und Glas-Metall-Verarbeitung und der Vakuumtechnik im Unternehmen und der Offenheit gegenüber neuen Verfahrenswegen und innovativem Gedankengut.

2 Einleitung

Die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG stellt Leuchtstofflampen aller Art, Energiesparlampen und Niederdruckstrahler für Solarien her.

Die Historie des Unternehmens geht bis in das Jahr 1966 zurück. Zu diesem Zeitpunkt wurde der volkseigene Betrieb „NARVA“ in Brand-Erbisdorf gegründet, der zunächst aus dem Lampenwerk und einem Leuchtenbau – später auch einem Glaswerk - bestand.

1991 wurde aus der Liquidationsmasse des ehemaligen DDR-Großbetriebes ein neues Unternehmen gegründet – die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG. Ein Grossteil der Mitarbeiter dieses neuen Unternehmens „NARVA“ war bereits im ehemaligen DDR-Betrieb beschäftigt. Die heutige „NARVA“ kann somit auf jahrzehntelange Erfahrungen in der Lampenherstellung und damit in der Glas- bzw. Glas-Metall-Verarbeitung und in der Vakuumtechnik zurückgreifen. Dieser Erfahrungsfundus besteht sowohl auf dem Sektor der Produktion als auch auf dem Sektor der Entwicklung.

Durch Neueinstellungen junger Mitarbeiter mit den verschiedensten Ausbildungsrichtungen in allen Bereichen des Unternehmens erfolgte über Jahre hinweg eine Vernetzung von Wissen aus Erfahrungen und neuen, innovativen Ideen auf der Grundlage moderner technischer und technologischer Möglichkeiten. Diese Konstellation ermöglichte der NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG in den vergangenen 15 Jahren den Ausbau einer stabilen Position auf dem Markt der Lampen- und Strahlerhersteller. Durch die Fertigung einer Vielzahl spezieller und neuer Produkte erringt die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG stets erneut den Respekt anderer Hersteller in der Branche.

Zum Ausbau und zur Stabilisierung des Unternehmens verfolgt die Geschäftsleitung seit Jahren die Strategie, ein umfangreiches Sortiment an maßgeschneiderten Produkten für breite Kundenkreise anzubieten.

Mit der bestehenden nationalen Forderung nach einer Verbreitung der Solarthermie zur Reduzierung von Belastungen für die Umwelt wurde auf der Basis des vorhandenen technologischen know hows auf den Gebieten der Vakuumtechnik, der Glasverarbeitung und lichttechnischer Kenntnisse entschieden, Vakuumsolarkollektoren zu entwickeln und herzustellen. Nach einer Analyse von Solarthermie-Anlagen, die bereits auf dem Markt verfügbar waren bzw. sind, wurde auf der Basis innerbetrieblicher Forschung und Entwicklung ein Design gestaltet, das sich als:

- leistungsfähig und
- rentabel

erwies.

Die eigene Forschungsleistung drückt sich in mehreren Schutzrechten aus, die erteilt wurden bzw. sich in der Prüfung befinden.

Dieses Produkt wurde durch umfangreiche Entwicklungsleistungen optimiert. Die Grundlage hierfür bildete das breite und fundamentierte Wissen und Können der Mitarbeiter des Unternehmens in den Bereichen

- Glasherstellung
- Glasbeschichtung
- Glasverarbeitung (Glas-Metall-Verschmelzungen)
- Vakuumtechnik
- Montage- und Konstruktionstechnik
- Maschinenbau und
- Technologie.

Prinzipieller Anstoß für die intensiven Forschungs- und Entwicklungsleistungen auf dem Gebiet der Solarthermie war das Bestreben des Unternehmens, einen wirkungsvollen Beitrag zur intensiven Umweltentlastung durch die Aufbereitung und Nutzbarmachung erneuerbarer Energien zu leisten.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in den Bereichen

- Solarthermie
- Photovoltaik und
- Windenergie

heben die Vorzüge der Solarthermie eindeutig hervor. Herstellungs-, Anschaffungs- und Wartungskosten sowie die zuverlässige Arbeitsweise über eine ausgedehnte Lebensdauer stehen in einem wirtschaftlich angemessenen Verhältnis zum Energieertrag. Eine Weiterentwicklung und Verbreitung von Solarthermieranlagen ist somit eine international bedeutsame Aufgabe für Forschung und Industrie mit klaren ökonomischen Vorzügen.

Der Energiebedarf, der perspektivisch weltweit zu decken ist, ist nur im Rahmen einer ökologischen Optimierung vertretbar. Solarthermieranlagen entsprechen den bestehenden ökologischen Ansprüchen, indem sie

- ohne Ausstoß von Emissionen und Belastungen für Umwelt und Natur arbeiten
- der Schonung von fossilen Brennstoffen dienen
- keine Lärmbelästigung darstellen
- keinerlei Abfallprodukte erzeugen und
- dezentral eingesetzt werden können.

Inhalt des durchgeführten Forschungsvorhabens war es, bereits auf dem Markt befindliche Solarthermieranlagen hinsichtlich ihrem Wirkungsgrad und ihrer Herstellungskosten so weit zu optimieren, dass die Anschaffungsbereitschaft beim Kunden und Anwender aufgrund überzeugender Produkteigenschaften steigt.

Mit der Umsetzung dieses Projektzieles erfolgte auch eine deutliche Fortentwicklung des Standes der Technik und eine Verbreitung von innovativen Leistungen.

3 Vorstellung des Produkttyps

Bei den Kollektorröhren für den Solarkollektor handelt es sich um den sogenannten „Einrohrtyp“.

In einem Hüllrohr aus Glas sind ein Getterring, das Wärmeausleitrohr und ein Absorberblech vakuumdicht montiert. Im Wärmeausleitrohr befindet sich ein Innenrohr. Die Rohre dienen dem Zu- und Rückfluss des zu erwärmenden Wassers. Über das Absorberblech wird die Energie des Sonnenlichtes aufgenommen, in Wärme umgewandelt und an das Kupferrohr weitergeleitet. Der Getterring ist mit einer Substanz versehen, die nach abgeschlossener Montage aktiviert wird und zu einer Verbesserung der Vakuumqualität in der jeweiligen Kollektorröhre führt.

Die Getterring-Seite des Hüllrohres wird durch eine Glas-Glas-Verbindung versiegelt. Die zweite Seite der Kollektorröhre wird durch Glas-Metall-Verbindung verschlossen.

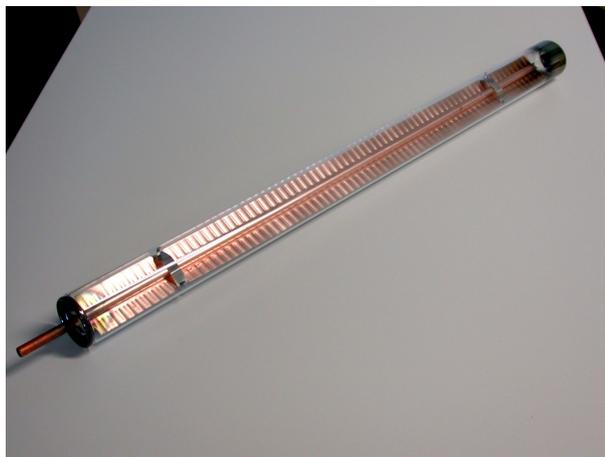


Abbildung 1: Einzelne Kollektorröhre



Abbildung 2: Glas-Glas-Verschmelzung zum Versiegeln der Kollektorröhre



Abbildung 3: Glas-Metall-Verschmelzung zum Versiegeln der Kollektorröhre

Die Montage der einzelnen Kollektorröhren zu einer Kollektorbatterie erfolgt außer Haus. Die Anzahl der Kollektorröhren kann je nach Größe der Kollektorbatterie zwischen 6 und 12 Stück betragen.



Abbildung 4: Komplett montierte Batterie aus einzelnen Kollektorröhren

4 Projektverlauf

4.1 Informationssammlung

Der Projektverlauf entsprach in seiner zeitlichen und inhaltlichen Abfolge der, im Förderantrag dargelegten, Planung.

Mit Projektbeginn, dem 04.07.2006, wurde eine umfangreiche Informationssammlung begonnen. Anhand der Studie von Patenten, Veröffentlichungen und Musterkollektoren erfolgte eine Ausarbeitung grundsätzlicher Lösungsprinzipien. Diese wurden durch fachliche Diskussionen im eigenen Haus und mit externen Beratern weiter präzisiert. Um die Variantenvielfalt einzugrenzen und um sich dem optimalen Erzeugnis zu nähern, erfolgten mathematische Modellierungen der Kollektoren.

Nach Abwägung von technischen und technologischen Schwerpunkten und der Auswertung kaufmännischer Betrachtungen erfolgte die Definition des Erzeugnisses und der Herstellungstechnologie und damit die Festlegung aller baulichen Details der Kollektorröhre.

4.2 Konzipierung und Aufbau von Experimentaleinrichtungen

Nach der Festlegung der baulichen Details erfolgte die Realisierungsphase der einzelnen Prozessschritte im Labor und Pilotmaßstab. Voraussetzung dafür, war die Herstellung von Apparaturen, Baugruppen und Maschinen zur experimentellen Erprobung der aus theoretischen Arbeiten definierten Prozesse. Neben technologischem Wissen und Können waren hierbei technische und maschinenbauliche Innovationen gefordert. Die kritischen Prozesselemente wie Evakuierung und Ausheizen der Rohre wurden mathematisch modelliert, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Diese Phase des Projektes beinhaltete einen wesentlichen Anteil der geleisteten Entwicklungsarbeit des gesamten Projektes.

Die Herstellung von Pilotmengen von Kollektoren auf den Experimentaleinrichtungen war an stetige Anpassung, Verbesserung und Optimierung von Prozessen und der Arbeitsweise von Hilfsmitteln und Maschinen gebunden.

Folgende Einzelprozesse waren mit Hilfe von Experimentaleinrichtungen zu realisieren:

1. Beschichtungseinheit zur Erhöhung der Festigkeitseigenschaften des Hüllrohres (Tauchvorrichtung mit differenzierten Tauchparametern – Tauchgeschwindigkeit, Tauchdauer, Auftauchgeschwindigkeit, Abtropfzeit, Trockenzeit, Trockenbedingungen - im Labormaßstab)
2. Realisierung der Glas-Metall-Verschmelzung (Entwicklung der Technologie an einem separaten Messstand; Optimierung von Temperaturführung, Zeitbedarf und Werkzeugführung; Materialerprobung und –auswahl der metallischen Komponente; Festlegung von Materialeigenschaften der metallischen Komponente)
3. Realisierung der Glas-Glas-Verschmelzung (Festlegung der exakten Maße und Ausführung des Teller-Gettering-Verbundes an einer separaten Baugruppe; Entwicklung der Technologie zum Verschmelzen zwischen Verbund und Hüllrohr an einem separaten Messstand; Optimierung von Temperaturführung, Zeitbedarf, Ausführung der Verschmelzung)
4. Evakuierungsprozess (Entwicklung und Aufbau eines separaten Pumpstandes)

4.3 Mess- und Prüfverfahren

Zur qualitativen Bewertung der Kollektorröhren mussten aussagekräftige und repräsentative Prüfverfahren entwickelt bzw. übernommen werden. Für die Durchführung der Prüfmethode war der Aufbau von eigenen Prüfständen notwendig.

Folgende Parameter einer Kollektorröhre wurden qualitativ bewertet:

1. Äußere Temperaturwechselbeständigkeit (rapide Abkühlung im erhitzten Zustand – repräsentativ für einen plötzlichen Hagelschauer im Hochsommer)
2. Innere Temperaturwechselbeständigkeit (Ständiger Wechsel der Wassertemperatur zwischen kaltem Leitungswasser und solar erhitztem Wasser)
3. Hochtemperaturbeständigkeit (Erhitzung durch langanhaltende intensive Sonneneinstrahlungen)
4. Hagelschlagfestigkeit (mechanische Stabilität des Hüllrohres gegenüber mechanischen Belastungen)
5. Dichtheitsprüfung (Vakuum)
6. Funktionalitäts- und Verhaltensprüfung im Labor und unter Einsatzbedingungen.

4.4 Design- und Prozesselemente

Nach der Umsetzung der einzelnen Technologieschritte an Experimentaleinrichtungen erfolgte die endgültige Festlegung von Details:

- im Design der Kollektorröhre (z.B.: Dicke des Hüllrohres, Gestalt des Metalldeckels, Länge des Gestells) und
- einzelner Prozessstufen (z.B.: Brenneranzahl-, anordnung, - stellung für eine optimale Verschmelzung von Hüllrohr und Verschlusssegment; Koordination von Bewegungsabläufen; Festlegung von Maschinengeschwindigkeiten).

Diese Festlegungen bildeten die Grundlage für die Planung und Auslegung der Maschinen für die spätere Produktionslinie.

4.5 Experimentelle Herstellung kompletter Vakuumrohre

Nach Optimierung der einzelnen Fertigungsschritte im Labormaßstab, erfolgte die Herstellung kompletter Kollektorröhren in verschiedenen Längen. Separat hergestellte und optimierte Baugruppen wurden miteinander kombiniert:

- Gestell mit Hüllrohr (einseitig verschlossenes Hüllrohr)
- Deckel mit Absorberblech und Kupferrohr mit Hüllrohr (einseitig verschlossenes Hüllrohr)
- Deckel mit Absorberblech und Kupferrohr mit Hüllrohr und mit Gestell (beidseitig verschlossenes Hüllrohr)
- Evakuierung des beidseitig verschlossenen Hüllrohres.

4.6 Herstellung von Vakuumrohren für Feldversuche

Einzelne, unter Laborbedingungen gefertigte Kollektorröhren, wurden zu kompletten Solarbatterien montiert und befinden sich derzeit sowohl im firmeninternen Prüflabor als auch bei Anwendern im Dauereinsatz.

4.7 Anlauf der Massenproduktion

Die Inbetriebnahme der Fertigungslinie ist für den 18.09.2006 geplant und ist Inhalt eines Projekts, dessen Förderung bei der DBU beantragt wurde.

5 Projektergebnisse

5.1 Glasherstellung, Glasoptimierung

Das Glaswerk der NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG stellt mit Hilfe des Danner-Verfahrens an einem Endlosstrang Glasrohre aus Kalk-Natron-Glas für die Lampenindustrie her.

Das Sortiment des Glaswerkes umfasst ein umfangreiches Spektrum, dessen Parameter prinzipiell in folgenden Bereichen variabel einstellbar sind:

Außendurchmesser der Rohre:	15	bis	55	mm
Wanddicke der Rohre:	0,5	bis	2,0	mm
Länge der Rohre:	280	bis	3050	mm
Variable Ausführung der Kolbenenden:	verschmolzen und gerade und verschmolzen und eingeformt.			

Bis zur Aufnahme der Arbeiten an dem Forschungsprojekt „Solarkollektor“ lag die Obergrenze von standardmäßig gefertigten Kolben bzgl.

- des Außendurchmessers bei: 37,7 mm und
- der Wanddicke bei: 1,2 mm.

Das Hüllrohr der Kollektorröhre verfügt über folgende Abmessungen:

Außendurchmesser Rohr:	55	mm
Wanddicke Rohr:	1,8	mm
Länge Rohr:	max. 2045	mm.

Resultierend aus den Maßen des Hüllrohres war seine Herstellung eine gravierende Herausforderung an die praktizierte Technologie und verfügbare Maschinenteknik. Der Außendurchmesser des Hüllrohres entspricht der Obergrenze der Fertigungsmöglichkeiten im Glaswerk. Durch das hohe Gewicht der Kolben (ca. 1,5 kg) liegt zudem eine starke mechanische Belastung sämtlicher Transporteinheiten vor.

Diese Aspekte bedingten bei der Herstellung von Versuchskolben im Projektzeitraum extrem hohe Ausfallzeiten bei der gesamten Glasproduktion, welche für das Unternehmen erhebliche Verluste darstellten.

Durch umfangreiche Umbauten, Ergänzungen und Veränderungen im maschinentechnischen und technologischen Bereich konnte die Fertigung von Solarkolben (Hüllrohr) bis zum Projektende soweit stabilisiert werden, dass aktuell eine kontinuierliche Produktion von 10 Kolben pro Minute möglich ist. Perspektivisch soll diese Kapazität auf 12 Kolben pro Minute erhöht werden (720 Kolben pro Stunde). Das entspricht einer Erhöhung der derzeitigen Produktionskapazität von 20 %.

Bei der Kolbenherstellung legt das Glasrohr insgesamt eine Transportstrecke von ca. 100 m zurück. Während dieses Transportes ist ein Kontakt mit verschiedenen Walzen, Bänder und Aufnahmen unvermeidbar. Durch die hohe Temperatur der Glasoberfläche zu Beginn des Transportprozesses und verschiedenste Reibungsvorgänge kommt es zu Ablagerungen auf der äußeren Glasoberfläche. Diese Ablagerungen sind sehr dünn und ungleichmäßig über den Umfang des Kolbens verteilt. Da sie nicht sichtbar sind, sind sie für die Lampenherstellung nicht von Bedeutung und müssen deshalb nicht weiter beachtet werden.

Diese Ablagerungen auf der äußeren Glasoberfläche führen jedoch zu drastischen Veränderungen der Benetzungseigenschaften. Dieser Effekt wird deutlich, wenn man

einen Kolben in heißem Wasserdampf lagert: Auf der sauberen Oberfläche lagert sich Kondensat ab, auf beschichteten Bereichen nicht.

Um eine Erhöhung der hydrolytischen Beständigkeit und der Transmission zu erreichen, wurde ein spezielles Beschichtungsverfahren entwickelt, das einen separaten Technologieschritt bei der Kollektorröhrenherstellung darstellt. Eine optimale Schichtqualität lässt sich hiermit jedoch nur erreichen, wenn die Glasoberfläche in allen Bereichen einheitliche Benetzungseigenschaften aufweist.

Zur Reinigung der Glasoberfläche von jeglichen Verunreinigungen durchläuft der Hüllkolben deshalb einen neuartig entwickelten, zusätzlichen thermischen Prozess im Rahmen der Kolbenherstellung, der die Einstellung einer störungsfreien Glasoberfläche garantiert. Mit Hilfe spezieller Brennertechnik und variablen Lagerungsvarianten beim Kolbentransport wird ein systematisches und vollständiges Abbrennen über die gesamte Kolbenlänge ermöglicht.

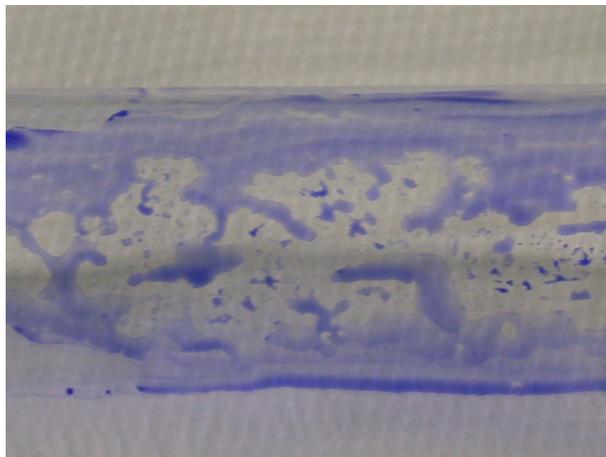


Abbildung 5: Glasoberfläche mit gestörten Benetzungseigenschaften

5.2 Glasbeschichtung (Co-Referent: Dr. Olexander Yudin)

Folgende Anforderungen an den Hüllkolben können formuliert werden:

- erhöhte hydrolytische Beständigkeit der Glasoberfläche (Widerstand gegenüber witterungsbedingter Korrosion)
- Antireflexionseigenschaften der Glasoberflächen (Ermöglichung einer maximalen Strahlungstransmission, Reduzierung der Reflexionsverluste an Grenzflächen).

Für die Herstellung von Hüllröhren für Solarkollektoren wird Borosilikatglas verwendet. Aufgrund seiner hohen chemischen Beständigkeit und seinem niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten ist Borosilikatglas für diese Anwendung sehr gut geeignet. Aufgrund des teuren Herstellungsprozesses ist jedoch eine Substitution durch preiswerte Gläser sinnvoll.

Durch spezielle Modifikationen der Oberflächeneigenschaften von anderen Gläsern ist eine Ablösung des teuren Borosilikatglases bei der Kollektorherstellung möglich. Die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG hat im Rahmen des Projektes ein spezielles Beschichtungsverfahren entwickelt, das sowohl die innere als auch die äußere Glasoberfläche von Kalk-Natron-Glas soweit verbessert, dass es den oben aufgeführten Ansprüchen gerecht wird.

5.2.1 Beschichtungsverfahren

Die Beschichtung der, zuvor gereinigten Kolben erfolgt in einem senkrechten Tauchverfahren mit:

- definierter Eintauchgeschwindigkeit
- definierter Tauchdauer und
- definierter Auftauchgeschwindigkeit.

Anschließend erfolgen:

- eine Lufttrocknung und
- ein Sintern der Schicht in einem Ofen bei Temperaturen im Bereich von 400 bis 600 °C

Die resultierenden Schichten sind.

- homogen
- transparent und
- beständig.

Die Beschichtung wurde zunächst in einer Laboranlage an Proben mit einer Länge von 200 bis 280 mm Länge durchgeführt. Nach ausreichender Optimierung dieser Vorversuche erfolgte die Beschichtung von 800 bis 2050 mm langen Proben an einer Pilotanlage.



Abbildung 6: Laboranlage zur Glasbeschichtung



Abbildung 7: Modellanlage zur Glasbeschichtung

Die Beschichtungslösungen wurden auf der Basis von alkoholhaltigen oder wässrigen SiO_2 -Suspensionen unter Zugabe von verschiedenen Binde- und Netzmitteln hergestellt:

Suspensions- typ	Lösungs- mittel	Grundsuspension	Bindemittel	Netzmittel
Wässrige Suspension	Deioni- sirtes Wasser	Klebosol 30R12/KL12R: Konzentration von SiO_2 – 29-31%; pH-Wert ca. 9,5- 10,5; Klebosol 20H12E/KL12H: Konzentration von SiO_2 – 19-21%; pH-Wert ca. 1,5-3	Acrylcopolymer: Glas- col KA21/GB - wäss- rige Lösung; Hydroxyethylcellulose: Natrosol 250/NS; Methylcellulose: Methocel/MC	Arkopal/AR.
Alkoholische Suspension	Ethanol- Wasser- Gemisch	Sebosil H (sauer hydrolysiert): Kon- zentration von SiO_2 - ca. 20%; pH-Wert ca. 5		

Für die optimale Eigenschaftsbildung der Schutzschicht mussten folgende Parameter in umfangreichen Versuchen und Untersuchungen variiert und optimiert werden:

- Konzentration bzw. Verhältnis von SiO_2 -Suspension, Bindemittel und Netzmittel in den Beschichtungslösungen
- Verhältnis Tauchgeschwindigkeit/Ziehgeschwindigkeit
- Verweildauer
- Beschichtungstemperatur
- Sinterzeit.

5.2.2 Bewertung der Schichtqualität

Bestimmung der Antireflexionswirkung:

Die Antireflexionswirkung bzw. der Transmissionsgrad beschichteter Proben wurde für das Lichtspektrum im Wellenlängenbereich von 310 bis 1100 nm gemessen. Die Messungen erfolgten mit einem Spektrophotometer vom Typ UV-1602 (Abtastintervall 1,0 nm bei mittlerer Scangeschwindigkeit). Zur Bewertung der Schichtqualität wurden die Höchst- und Mittelwerte der einzelnen Messungen betrachtet.

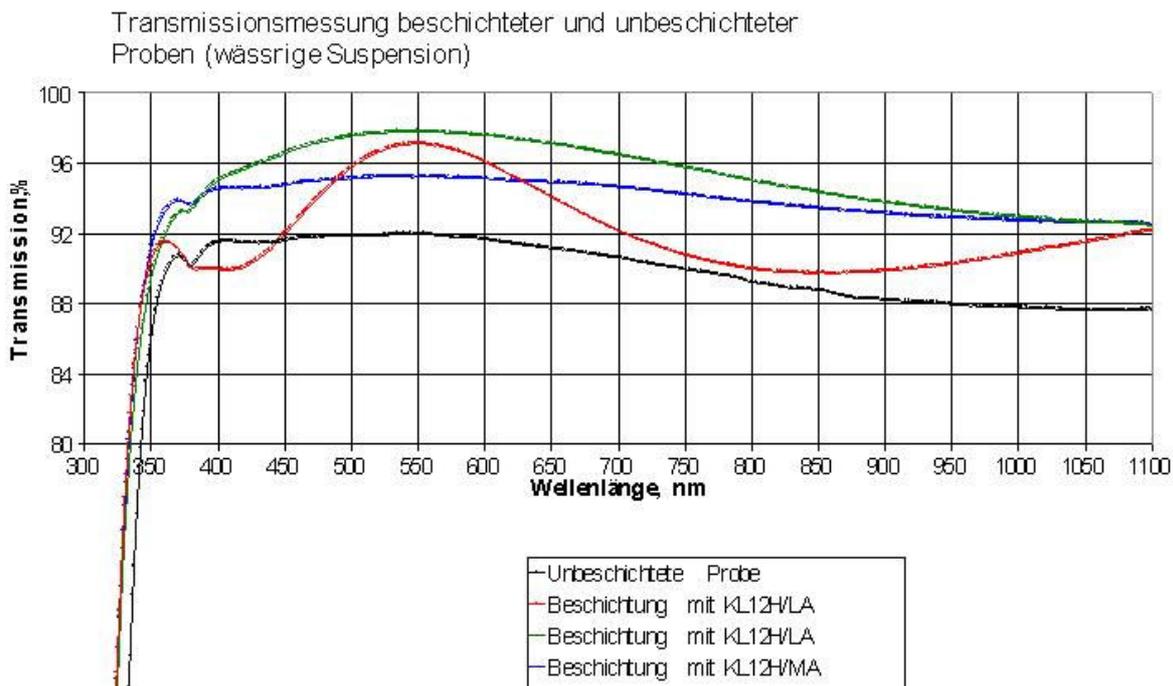


Abbildung 8: Transmission von Gläsern mit verschiedenen Beschichtungen

Bestimmung der hydrolytischen Beständigkeit:

Zur Bestimmung der hydrolytischen Beständigkeit wurde die Leitfähigkeit des Eluats, das bei der definierten Auslaugung der beschichteten Proben entsteht, gemessen. Die Messung erfolgte nach folgenden Bedingungen:

- die zugeschnittenen Glasproben wurden 48 h lang in 90 °C warmem deionisiertem Wasser gelagert
- Messung der Leitfähigkeit des Eluats bei Raumtemperatur mit dem Leitfähigkeitsmessgerät LF 330

Die Leitfähigkeit des Eluats wird durch den Anteil der freien Ladungsträger im Eluat bestimmt. Da das deionisierte Wasser ursprünglich keine Ladungsträger enthält, ist die Anreicherung von Ladungsträgern im Eluat allein auf eine Auslaugung der Glasoberfläche an Ionen zurückzuführen. Je geringer die hydrolytische Beständigkeit eines Glases ist, um so intensiver wird es von umgebender Feuchtigkeit angegriffen und oberflächlich ausgelaugt, umso höher ist der Anteil von Ladungsträgern in der

untersuchten Flüssigkeit. Somit korreliert die hydrolytische Beständigkeit eines Glases unmittelbar mit der gemessenen Leitfähigkeit des Eluats. Nach Angaben des Instituts für Silikattechnik an TU BAF korreliert das Basenäquivalent Na_2O für eine Blindprobe 259 $\mu\text{g/g}$ mit der Leitfähigkeit von 78 $\mu\text{S/cm}$.

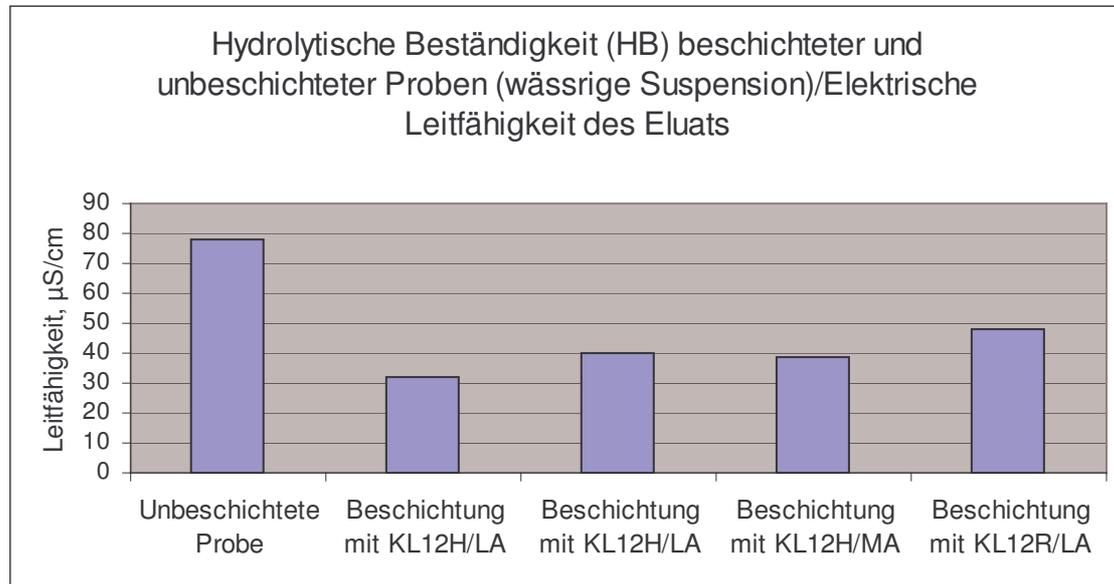


Abbildung 9: Vergleich der hydrolytischen Beständigkeit von unbeschichtetem und beschichtetem Glas

Prüfung Schichthafffestigkeit:

Die Prüfung erfolgte nach DIN 58196-1 „Dünne Schichten für die Optik“. Die Proben wurden in saurem Wasser (pH-Wert ca. 2-3 / Prüfung E192) vollständig eingetaucht und dort bei $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 192 Stunden lang gelagert. Anschließend erfolgte eine Reinigung der Proben nach DIN 58752.

Die Schichtfestigkeitsprüfung erfolgte sowohl durch visuelle Beurteilung, als auch durch eine Transmissionsmessung an den Proben vor und nach der Prüfung. Eine ausreichende Schichtfestigkeit war gegeben, wenn sich beide Transmissionsmessungen nicht unterschieden, d.h. wenn die Schichtqualität durch die durchgeführte Behandlung nicht verändert wurde.

Bestimmung der Schichtdicke:

Die Schichtdicke ist wesentlich von den Beschichtungsbedingungen abhängig. Eine Bewertung erfolgte mittels Interferenzmikroskopie an der TU BAF.

Entsprechend der Messergebnisse wird bei dem praktizierten Beschichtungsverfahren eine Schichtdicke von:

- 110 nm bei der Beschichtung in einer alkoholhaltigen Lösung und
- 50 bis 70 nm bei einer Beschichtung in wässriger Lösung

erzielt.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Schichtdicke hat die Ziehgeschwindigkeit. Die Dicke der jeweiligen Schicht stieg mit einem Absinken der Ziehgeschwindigkeit an. Der Einfluss der Tauchbadtemperatur ist unwesentlich.

5.2.3 Vorstellung der optimalen Schichtqualität

Mit Hilfe des praktizierten Beschichtungsverfahrens (Tauchverfahren) ist es möglich, die Oberflächeneigenschaften von Kalk-Natron-Glas soweit zu optimieren, dass es für den Einsatz als Hüllrohr bei der Fertigung von Solarkollektoren geeignet ist. Prinzipiell sind gute Schichtqualitäten sowohl mit Suspensionen auf wässriger als auch auf alkoholischer Basis realisierbar. Die optimale Tauchtemperatur auf der Grundlage wässriger Suspensionen beträgt dabei 30 bis 40 °C. Bei Tauchbädern auf alkoholischer Basis erwiesen sich aufgrund der Verdampfungsverluste geringere Temperaturen als günstig. Die Eintauchgeschwindigkeit sollte wesentlich höher sein als die Ziehgeschwindigkeit (Faktor 3,3). Der Einfluss der Tauchdauer ist gering.

	Transmissionsgrad	Erhöhung der hydrolytischen Beständigkeit	Schichtstabilität / Haftfestigkeit (DIN 58 196-1)	Schichtdicke
Blindprobe	92 %	Vergleichsbasis	keine	keine
Alkohohaltige Beschichtungslösung	95 – 96 %	39 bis 59 % (MW: 48 %)	ausreichend	110 nm
Wässrige Beschichtungslösung	95 - 96 %	33 bis 59 % (MW: 46 %)	ausreichend	50 - 70 nm

Hinsichtlich des Transmissionsgrades und der Haftfestigkeit der Schicht, unterscheiden sich die beiden Beschichtungsvarianten qualitativ nicht. Die hydrolytische Beständigkeit ist bei Schichten auf alkoholischer Basis geringfügig besser und stabiler. Die Prozessführung der Tauchbeschichtung auf alkoholischer Basis erfordert jedoch erhöhte Sicherheitsmaßnahmen und gestaltet sich damit hinsichtlich der Anlagengestaltung als kompliziert und kostenintensiv. Darüber hinaus müssen die Tauchsuspensionen nach begrenzten Standzeiten erneuert werden. Die Restmengen sind kostenpflichtig und fachgerecht zu entsorgen.

Die Prozessführung der Tauchbeschichtung auf wässriger Basis ist im Vergleich dazu wesentlich einfacher und unkomplizierter umzusetzen. Des Weiteren ist die Dicke der aufgetragenen Schicht bei gleichbleibender Qualität wesentlich geringer. Daraus resultiert, ein geringerer Materialverbrauch, der sich positiv auf den Materialpreis auswirkt.

Die aufgeführten verfahrensspezifischen Aspekte bildeten die Grundlage für die Entscheidung zu Gunsten des Beschichtungsverfahrens auf wässriger Basis an der zukünftigen Produktionslinie zur Fertigung von Kollektorröhren.

Mit Hilfe des entwickelten Tauchverfahrens (wässrige Beschichtungslösung) ist es möglich, die Energieeffizienz von Kollektorröhren aus Kalk-Natron-Glas durch eine Verminderung der Lichtreflexion an der Glasoberfläche zu verbessern. Parallel dazu führt diese fest und dauerhaft haftende Schicht zu einer Erhöhung der hydrolytischen Beständigkeit des Hüllrohres. Dieser Fakt ermöglicht den Einsatz von preiswertem Kalk-Natron-Glas für die Kollektorfertigung und führt zu einer wesentlichen Kostensenkung des Endproduktes.

5.3 Gestellfertigung

Das Gestell, dient dem vakuumdichten Verschluss des Hüllrohres auf einer Seite und besteht aus folgenden Einzelteilen:

- Teller
- Pumprohr
- Haltedraht
- Getterring.



Abbildung 10: Einzelteile des Gestells (v.l.n.r.: Teller, Pumprohr, Haltedraht und Getterring)

Tellerfertigung auf dem Tellerautomaten:

Im Vorfeld der Gestellfertigung wird der sogenannte „Teller“ aus einem Glasrohr hergestellt. Dieser Vorgang erfolgt auf einer separaten Maschine: dem Tellerautomaten. Über verschiedene Fertigungsschritte erfolgt hier die systematische Erwärmung des unteren Rohrabschnittes, der nachfolgend aufgeweitet, getempert, abgeschnitten und randverschmolzen wird. Die Maschine besteht aus 18 Positionen und arbeitet im Senkrechtbetrieb.

Die Teller- und die Gestellherstellung sind typische Fertigungsschritte in der Lampenherstellung. Die hierbei gefertigten Halbprodukte haben jedoch wesentlich geringere Abmessungen.

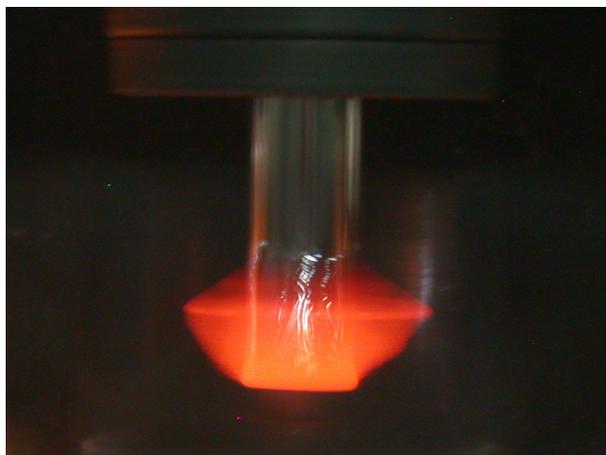


Abbildung 11: Phasen der Glasaufweitung beim Auftreiben (Aufweiten) des Tellrohres bei der Tellerfertigung für die Lampenherstellung

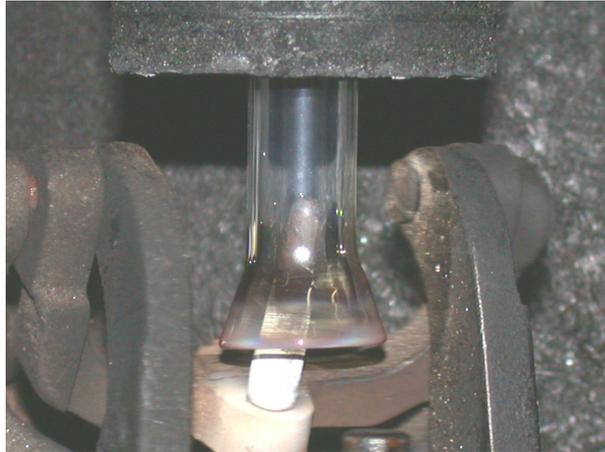


Abbildung 12: Ausführung des Auftreibens durch einen rotierenden Stift

Der Teller, der für die Fertigung von Solarkollektoren zum Einsatz kommt, ist wesentlich größer und dickwandiger als herkömmlich eingesetzte Teller in der Lampenfertigung. Die im Haus praktizierte Technologie und die verfügbare Maschinenteknik für die Tellerherstellung waren deshalb hier nur ansatzweise übertrag- bzw. nutzbar. Darüber hinaus weicht die chemische Zusammensetzung des Kollektor-Tellerglases (bleifreies Glas) gravierend von der des Standardglases (bleihaltiges Glas) ab, was in einer grundlegenden Veränderung der Verarbeitungseigenschaften resultiert.

	Teller- durchmesser	Wanddicke
Größter, im Haus hergestellter und verarbeiteter, Teller	34,5 mm	1,1 mm
Teller für den Solarkollektor	45,0 mm	1,3 mm
Erhöhung der Abmessung / Dimension	ca. 30 %	ca. 18 %

In der Startphase des Projektes wurden gefertigte Teller von anderen Lieferanten zugekauft. Im Zuge ihrer Verarbeitung erfolgte eine Optimierung sämtlicher Tellermaße (Tellerdurchmesser, Tellerlänge). Nachfolgend wurde ein vorhandener Tellerautomat grundlegend umgebaut und neu ausgestattet. Zwischenzeitlich wurde die Technologie an der neuen Maschine soweit perfektioniert, dass die Tellerherstellung sicher beherrscht wird. Eine Formstabilisierung des trichterförmig aufgeweiteten Teils des Tellers (Tellerfahne) erfolgt durch ein spezielles Kühlregime nach dem Aufweiten (Auftreiben).

Fußfertigung auf der Fußmaschine:

Nach abgeschlossener Tellerfertigung erfolgt die Weiterverarbeitung des Tellers zu einem Fuß. Auf einer, den neuen Bauteildimensionen angepassten, Rundtischmaschine (Fußmaschine), wird der rohrförmige Teil des Tellers (Tellerhals) vakuumdicht mit einem Haltedraht und dem Pumprohr verschmolzen. Die Verschmelzung wird durch abschließendes Quetschen zusätzlich verdichtet. Um im späteren Produktionsprozess eine Evakuierung der vollständig vormontierten und beidseitig verschlossenen Kollektorröhre zu ermöglichen, wird das Gestell mit einer Öffnung, dem sogenannten Pumploch versehen.



Abbildung 13: Vollständig gefertigter Fuß mit Pumploch

Gestellfertigung auf dem Spanner:

Nach abschließender Temperung in einem neu konzipierten Temperofen, erfolgt die Komplettierung des Fußes zum Gestell und damit die Montage des Getterringes. Dieser Arbeitsschritt erfolgt auf dem sogenannten „Spanner“, einer weiteren Rundtischmaschine, die ebenfalls den neuen Bauteildimensionen und der veränderten Funktionsausführung angepasst werden musste.

Nach dem Durchlaufen der erwähnten Fertigungsschritte liegt das Gestell in seiner endgültigen Form vor. Ohne weiter Bearbeitung kann es mit dem Hüllkolben verschmolzen werden.

Die Gestellfertigung arbeitet kontinuierlich, parallel zur Kollektor-Fertigungslinie. Die Gestelle werden direkt eingespeist. Es erfolgt keine Bestandsfertigung.

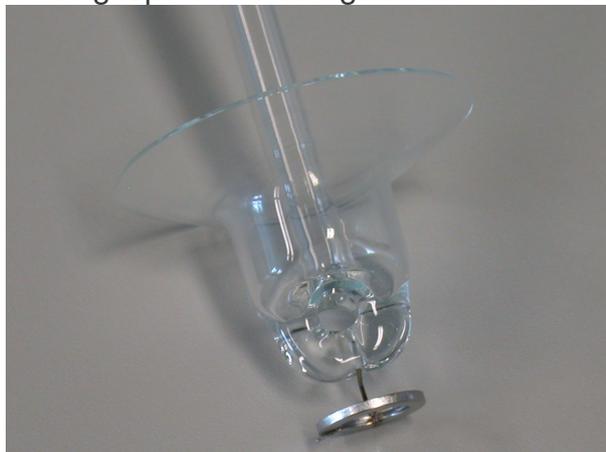


Abbildung 14: Vollständig gefertigtes Gestell

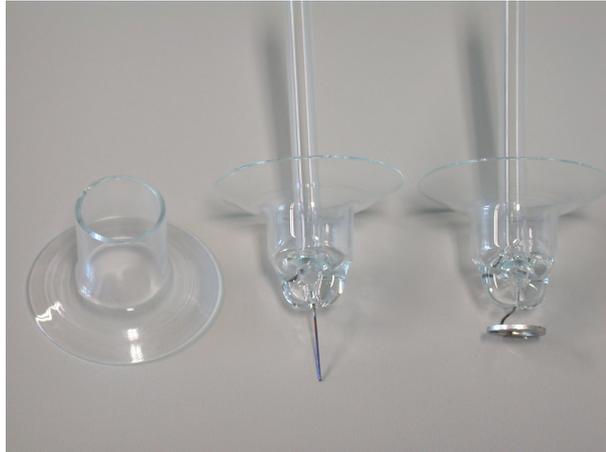


Abbildung 15: Phasen der Gestellfertigung (v.l.n.r.: Teller, Fuß, Gestell)

5.4 Vormontage der Metallteile (Co-Referent: Dr. Wilfried Schaffrath)

5.4.1 Aufbau und Funktion

Im Inneren der Kollektorröhre ist eine metallische Baugruppe integriert, die als Finne bezeichnet wird und dem Aufnehmen der Sonnenenergie und dem Wandeln und Ableiten der Wärme dient.

Die "Finne" besteht aus einem

- Wärmeableitrohr (Kupfer)
- Absorberblech (Kupfer – beschichtet)

und wird abschließend mit dem GMV-Verbinder (Deckel) montiert, der die eigentliche Verbindung zwischen Hüllkolben und Finne darstellt und letztendlich zum Verschluss eines Kolbenendes dient.

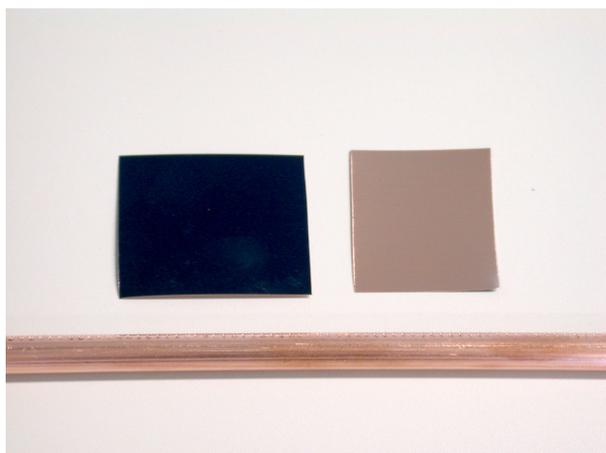


Abbildung 16: Einzelteile der Finne (oben links: Absorberblech Vorderseite – mit Beschichtung; oben rechts: Absorberblech Rückseite – ohne Beschichtung; unten: Wärmeableitrohr)

Das **Wärmeableitrohr** besteht in der Regel aus ziehartem Kupfer der Qualitätsstufe SF mit einem Außendurchmesser von 10 bis 12 mm. Die Wandstärke kann zwischen 0,4 und 1 mm variieren. Das Rohr wird von der Rolle gezogen, gerichtet und geschnitten. Ein Ende des Kupferrohres wird gequetscht und vakuumdicht hart verlötet. Dieses Rohr dient später, in der komplettierten Kollektorröhre, der Aufnahme und dem Transport des Wärmetauschermediums.

Als **Absorberblech** kommt halbhartes, beschichtetes Kupferblech vom Typ „sunselect“ oder „TINOX“ o.a. mit einer Blechdicke von 0,2 mm zum Einsatz. Das Kupfer muss den Qualitätsstufen SF, SW oder OF entsprechen und ist ein Bandmaterial. Nach der Konfektionierung der Einzelbleche erfolgt eine Profilierung des Bleches und die Einbringung von maximal 6 Materialausparungen (Ausklinkungen) im Randbereich zur späteren Aufnahme der Abstandshalter (Anzahl variiert in Abhängigkeit von der Endlänge des Kollektors).

Die Funktion des Absorberbleches besteht in der Aufnahme einer maximalen Energiemenge in Form von Wärme durch die umgebende Sonneneinstrahlung und die Abgabe dieser Wärmemenge an das Kupferrohr und das darin befindliche Wärmetauschermedium.

Da das Absorberblech verschiedener Hersteller Farbunterschiede aufweist (bedingt durch Verfahren und Rohstoffe) kann für einen Kollektortyp nur jeweils ein Absorbertyp zum Einsatz kommen. Die Beschichtung darf durch technologische Bearbeitungsstufen weder zerkratzt noch verfärbt werden. Hier sind zulässige Abweichungen in den Lieferbedingungen definiert. Verfärbungen durch Kupferoxide an der Kupferunterseite sind technologisch nicht auszuschließen und zulässig. Zur Gewährleistung der Farbkonstanz dürfen definierte thermische Bedingungen nicht überschritten werden: maximal 300 °C an Luft und maximal 400 °C im Vakuum.

Die Baugruppe „Finne“ stellt das Kernstück der Kollektorröhre dar.

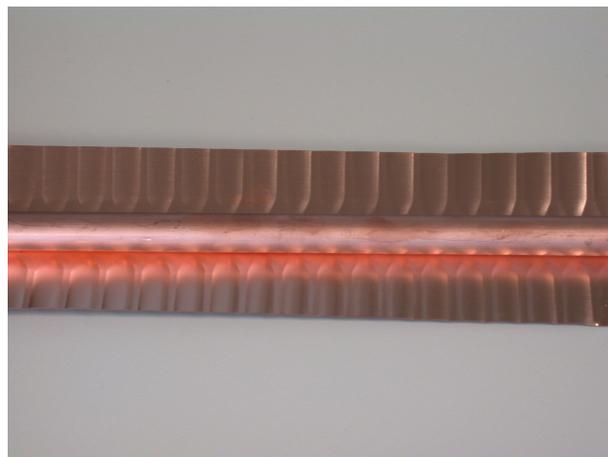


Abbildung 17: Montierte Finne – Rückseite (lichtabgewandte Seite)

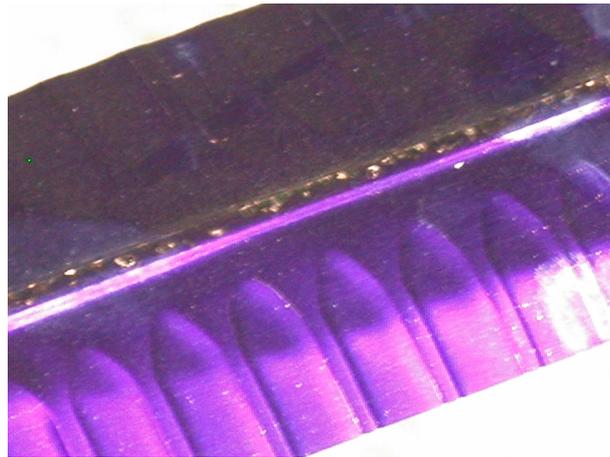


Abbildung 18: Montierte Finne – Vorderseite (lichtzugewandte Seite)

Der **Glas-Metall-Verbinder (GMV)** ist neben Finne und dem Glaskolben das wichtigste Bauteil einer Vakuum- Kollektor-Röhre. Er stellt die Verbindung zwischen den Metalleinbauten und dem Hüllkolben dar.

Bei dem eingesetzten Material handelt es sich um Dilaton 51, einer Legierung aus Eisen und Nickel mit einer Blechdicke von 0,2 mm. Die Materialauswahl erfolgte unter Beachtung der thermischen Materialkennwerten. Der Deckel wird unmittelbar und großflächig mit dem Kolbenglas vakuumdicht verschmolzen. Um diese Verbindung qualitätsgerecht ausführen zu können, ist ein identischer thermischer Ausdehnungskoeffizient von beiden Verbundpartnern notwendig. Diese prinzipielle Voraussetzung erfüllt das Material Dilaton. Darüber hinaus verfügt es über gute Benetzungseigenschaften durch Glasschmelzen.

5.4.2 Montage, Anforderungen und Schwerpunkte

Finne / Schweißprozess:

Der Verbund von Rohr und Absorberblech erfolgt durch Laserschweißen (zwei parallele Schweißnähte an der Unterseite des Kupferbleches). Beim Schweißen wird der Schweißkopf auf der Oberseite des Kupferrohres geführt. Aus dieser Beanspruchung ergibt sich die Forderung nach der Ausführung und mechanischen Stabilität des Kupfer-Rohres.

Um im Kollektor einen optimalen Wärmedurchgang durch die Schweißnaht garantieren zu können, muss diese frei von Flussmittel sein. Unter Einsatzbedingungen wird eine dauerhafte Stabilität der Lötverbindung von 300 °C vorausgesetzt (thermische Beanspruchung bei Stagnation).

Der Schweißvorgang führte anfänglich zum Teil zu Verwerfungen des Kupferbleches. Um diese Materialunebenheiten zu kaschieren, wurde die Profilierung des Bleches eingeführt. Die Realisierung eines Absorberwinkels von 156° erzielte darüber hinaus eine weitere Verbesserung der optischen Qualität und der ästhetischen Aspekte.

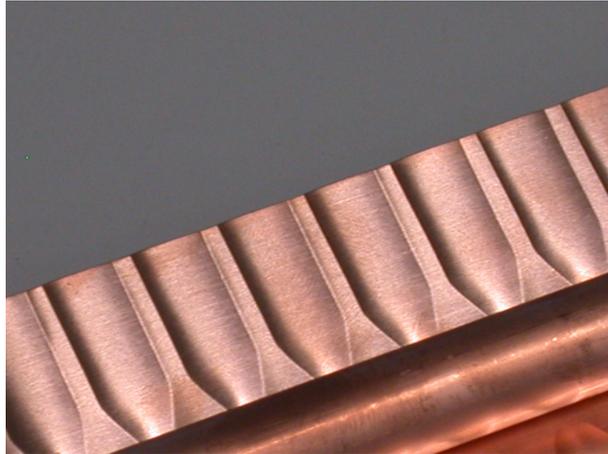


Abbildung 19: Profilierung der Finne im Randbereich



Abbildung 20: Schnitt durch eine montierte Finne

Finne-GMV / Lötprozess:

Das Absorberrohr wird nach dem Verschweißen mit der Finne mittels Hartlöten mit einer robusten, federnden Metallscheibe, dem **Glas-Metall-Verbinder (GMV)**, verbunden.

Das GMV-Material wird aus einem Blech geschnitten und durch Tiefziehen mehrstufig umgeformt.

Die Form des GMV wurde anhand definierter Stabilitätsanforderungen entwickelt und konstruiert. Folgende Belastungen kann der GMV aufgrund seiner optimierten Ausführung kompensieren:

- Tragen des Eigengewichts der Röhre und
- Aufnahme der Schwingungen und Stöße im Betriebszustand des Kollektors.

Durch die spezielle Konstruktion werden darüber hinaus Spannungen vermieden, die durch die starke Erhitzung des Materials beim Lötvorgang entstehen und umgehen oder verzögert zu Spannungsrisskorrosion in der Lotstelle führen können und damit die Funktionalität des gesamten Bauteils in Frage stellen.

Lötverbindung:

Beim Lötvorgang ist der GMV Temperaturen oberhalb 500°C ausgesetzt. Um Materialveränderungen durch diese Temperaturbelastungen zu vermeiden, erwies sich vor dem Verlöten eine zusätzliche, Temperaturbehandlung im Bereich von 680 bis 800°C unter Vakuum als positiv. Durch diese wurde ein Abbau innerer Spannungen erreicht und die Bildung von Grobkorn vermieden.

Bereits nach kurzer Lagerung des Dilatons an feuchter Atmosphäre, kommt es an der Oberfläche zu Oxydationsscheinungen. Aus diesem Grund ist unmittelbar vor dem Verlöten eine gründliche Reinigung der Lötstelle notwendig. Hierzu wurden verschiedene Verfahren entwickelt und erprobt.

Wie in zahlreichen Versuchen deutlich wurde, optimieren wirksame Flussmittel den Lötvorgang. Positiv auf die Ausführung der Lötstelle wirkt sich auch das Löten unter Schutzgas (trockener Wasserstoff) bzw. im Vakuum aus. Unter Laborbedingungen wurden auch Lötverbindungen mit verschiedenen Zwischenschichten (z.B. galvanischer Schichtauftrag) realisiert. Die erhaltenen Eigenschaften waren gut, eine effektive und funktionelle Umsetzung der einzelnen Verfahrensschritte in Produktionsmaßstab jedoch schwer möglich.

Folgende Hartlote erwiesen sich für die spezielle Anwendung als ungeeignet:

- phosphorhaltige Lote (Phosphor bildet mit Eisen und Nickel spröde Reaktionsschichten und fördert die oberflächige Korrosion)
- Cadmium- und Zinkhaltige Lote (bedingen die Verdampfung von Legierungsbestandteilen, bedingen dadurch Änderungen der spezifischen Zusammensetzung und damit den Verlust von Eigenschaften).

Unter Schutzgasatmosphäre konnten verschiedene Lote auf der Basis von Silber erfolgreich verarbeitet werden.

Bei der Erprobung verschiedener Lötverfahren kam es zu sehr unterschiedlichen Wärmebelastungen des Deckels im Bereich der Lotstelle. Bei Handlötungen war der Wärmeertrag kaum steuerbar. Das Resultat waren hohe Eindringtiefen der Lote und daraus resultierende Materialveränderungen, bedingt durch lokale Überhitzungen.

Als optimales Lötverfahren hat sich das Induktionslöten erwiesen. Es zeichnet sich durch folgende Vorteile aus:

- steuerbarer und definierter Wärmeertrag
- kurze Erhitzungsdauer
- exakte Reproduzierbarkeit.



Abbildung 21: Schlechte Lötverbindung (Risse in der Lötstelle und anschließender Bauteilbruch)



Abbildung 22: Exakt ausgeführte Lötverbindung

Vorbereitung des GMV auf die Glasverschmelzung:

Zur Herstellung der Glas-Metall-Verbindung ist eine besondere Vorbereitung der Metallkante erforderlich. Besonders günstig ist eine abgerundete Kante mit einem Radius von ca. 0,1 mm. Mittels einem Schleifmittel aus Korund (Trockenmahlung) und der Wahl der Blechdicke von 0,2 mm kann in einem speziellen Prozess eine ausreichende Vorbereitung der Metallkante für die Verschmelzung erzielt werden. Der Schleifprozess erfolgt vor der Montage der Finne mit dem GMV.



Abbildung 23: Deckel im Lieferzustand

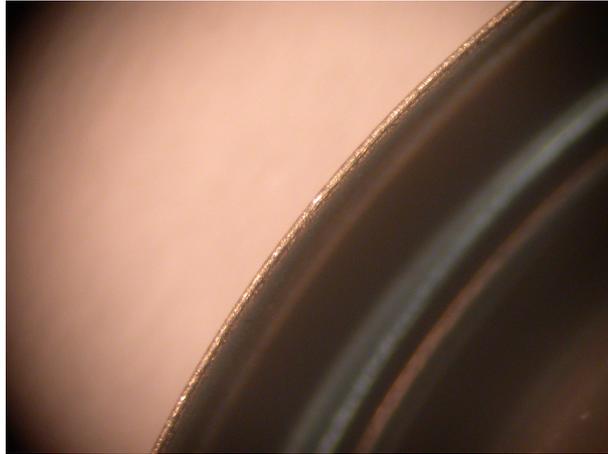


Abbildung 24: Deckel im Verarbeitungszustand

5.4.3 Fertigungsperspektiven

Die Gestaltung und sämtliche Details der Montage von Absorberblech, Wärmeableitrohr und GMV wurden im Hause NARVA im Rahmen des Projektes entwickelt. Die Ausführung der Montage sollte perspektivisch außerhalb des Hauses stattfinden. Aufgrund von Qualitätsansprüchen, die der Dienstleister nicht gewährleisten kann, wird derzeit geplant, auch die Montage der Metallteile im eigenen Haus durchzuführen. Die Realisierung der Metallteil-Montagestrecke bedeutet eine weiter umfangreiche Investition für das Unternehmen.

Durch die Finnen-Fertigung und die Montage mit dem Deckel im eigen Haus erfolgt ein kontrolliertes Handling mit dem Zwischenprodukt. Darüber hinaus entfallen sämtliche mechanischen Belastungen, die mit der Verpackung und dem Transport verbunden sind. Folgende Qualitätskriterien sind somit besser kontrollier- und umsetzbar:

- kratzerfreie Absorberschicht (durch: kontrolliertes Handling und fehlenden Zwischentransport des Halbproduktes vom Lieferanten zum Verarbeiter)
- geringe mechanische Belastung von Schweiß- und Lötverbindung
- störungsfreie Oberflächenqualität des Deckels im Einschmelzbereich.

5.5 Glas-Metall-Verbindung (Co-Referent: Dr. Gerhard Mientkewitz)

5.5.1 Prinzipielle Ausführung

Bei Vakuum-Rohr-Solarkollektoren ist innerhalb des evakuierten Hüllrohrs eine, die solare Strahlung absorbierende, Fläche angeordnet, die mit einem Rohr verbunden ist. Dieses Rohr dient dem Abtransport der absorbierten solaren Wärme. Beide Enden des Hüllrohres müssen vakuumdicht verschlossen sein.

Üblicherweise wird das eine Ende des Hüllrohres durch Verschmelzen von Glas vakuumdicht verschlossen, während das andere Ende des Hüllrohres mit einer Glas-Metall-Verbindung verschlossen werden muss, da es erforderlich ist, die Wärme mittels metallischer Rohre herauszuleiten.

Zur Herstellung der Glas-Metall-Verbindung wird das Wärmeausleitrohr, das das Absorberblech trägt und an dessen einem Ende der Deckel (GMV) mit dem Wärmeausleitrohr vakuumdicht verbunden ist, so in das Hüllrohr eingeschoben, dass das Glas des Hüllrohres einige Millimeter über den Rand des metallischen Deckels ragt.

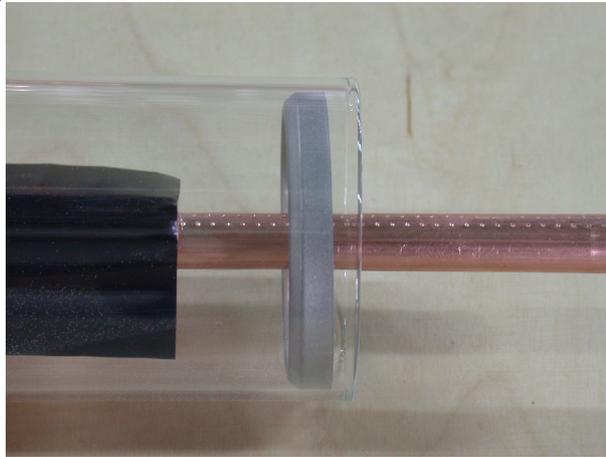


Abbildung 25: Vormontierte Hüllkolben unmittelbar vor dem Verschmelzen von GMV und Glas

Anschließend wird das Glas des Hüllrohres bis zur Erweichung soweit erhitzt, dass das Glas durch innere und äußere Formwerkzeuge so an die äußere und innere Oberfläche des Randabschnittes des Deckels gedrückt werden kann, dass eine vakuumdichte und mechanisch stabile Verschmelzung in der Art einer Bördelung entsteht.



Abbildung 26: Ausgeführte Glas-Metall-Einschmelzung

Diese Art der Glas-Metall-Verbindung hat den Vorzug, dass auf Dehnungsausgleichkörper verzichtet werden kann. Die umlaufenden Sicken im Deckel (GMV), bedingt durch die besondere Geometrie des Deckels, bewirkt einen Dehnungsausgleich bei Temperaturschwankungen. Die, quer zur Rohrachse auf das Wärmeausleitrohr wirkenden Kräfte können leicht durch die Bördelung aufgenommen werden.

Darüber hinaus ist die Herstellung der Glas-Metall-Verbindung automatisierungsfähig, was an einer Experimentalmaschine bewiesen wurde.

Wegen der Vorzüge der von NARVA entwickelten Glas-Metall-Verbindung wurde diese zum Patent angemeldet.

5.5.2 Detaillierte Darlegungen

Das technische Problem einer vakuumdichten Verbindung zwischen einem Glas und einem Metall besteht darin, dass sich die Ausdehnungskoeffizienten von Gläsern und Metallen normalerweise erheblich unterscheiden und dass es deshalb bei Temperaturänderungen zu Spannungsrissen und damit zum Verlust des Vakuums kommt. Dieses Problem konnte durch die Auswahl eines geeigneten Materials (Dilaton) gelöst werden.

Bei der Realisierung des Verbundes zwischen Deckel (GMV) und Hüllkolben wurde ursprünglich der Weg verfolgt, eine Metallschneide axial in ein Glas einzubetten. Diese Technologie wird zur Realisierung von Glas-Metall-Verschmelzung in der Praxis zwar prinzipiell angewendet, für den speziellen Anwendungsfall konnte sie jedoch nicht so weiterentwickelt werden, dass sie sich im Rahmen einer Serienfertigung als technologisch einfach, maschinengerecht und kostengünstig erwies. Analog verhielt es sich mit der Variante, den Deckel zunächst mit einer lokal begrenzten Glaseschmelzung zu versehen und das angeschmolzene Glas nachfolgend mit dem Hüllrohr zu verbinden bzw. mit dem Versuch die Metalloberfläche im Verschmelzbereich im Vorfeld zu boratisieren.



Abbildung 27: Fehlerhafte Glas-Metall-Einschmelzung



Abbildung 28: Exakt ausgeführte Glas-Metall-Einschmelzung

Auf der intensiven Suche nach einer geeigneten Fertigungsvariante wurde eine völlig neuartige Technologie entwickelt: die Glasbördelung. Hierbei wird ein definiert überstehendes Glas über den gesamten Umfang des Rohres zunächst soweit erhitzt, dass es segmentweise den innen liegenden Deckel an den Außenseiten benetzt. Durch bestimmte Werkzeuge erfolgt in einem mehrstufigen Prozess die Intensivierung des Glas-Metall-Verbundes durch Anpressen und Falten des Glases. Im Endzustand ist der Deckelrand innen und außen komplett im Hüllkolbenglas eingebettet. Diese doppelt abgedichtete Verbindung ist bei exakter Ausführung riss- und blasenfrei und vakuumdicht.

Im Rahmen dieser neuartigen Technologie waren folgende Parameter zu optimieren:

- Deckeldurchmesser
 - o Passung
 - o Verarbeitbarkeit bei Beachtung der Kolbenmaße
- Deckelgestaltung im Verschmelzbereich
 - o Maße
 - o Oberflächenreinheit
 - o Oxydationsschicht
- Materialführung im Prozess
 - o Lagerung
 - o Transport
 - o Übergaben
- Temperaturführung
 - o Brennerausführung
 - o Brenneranzahl
 - o Brenneranordnung
 - o Brennerbild
- Anordnung der Formwerkzeuge
- Bewegungsablauf der Formwerkzeuge
- Optimierung von Einzelparametern
 - o Länge der Bördelung
 - o Anpresszeit
 - o Anpressdruck
 - o Temperaturführung beim Tempern.

Zur Optimierung des gesamten Prozesses waren umfangreiche Entwicklungsarbeiten auf verschiedenen Ebenen des Unternehmens notwendig. Die vorliegende Lösung stellt eine meisterhafte Bündelung des Wissens und Könnens der Entwicklungsingenieure, Technologen, Meister und Produktionsarbeiter aus dem Hause NARVA dar. Eingeflossen sind hierbei sowohl das theoretische Wissen über die Glasverarbeitung als auch praktizierte und bekannte technologische Details und das handwerkliche Können langjähriger Mitarbeiter.

Nach exakter Definition aller Herstellungsparameter wurde in eigener Entwicklung eine Maschine konstruiert und in Auftrag gegeben, die in einem komplizierten und perfekt abgestimmten Zusammenspiel einzelner Baugruppen eine vollautomatische Fertigung dieses detailreichen, äußerst anspruchsvollen Prozesses ermöglicht.

5.6 Glas-Glas-Verschmelzung

Nach der Montage der metallischen Baugruppe im Inneren des Hüllkolbens und nach Verbundausführung dieser beiden Teile ist ein Verschluss des zweiten Kolbenendes notwendig. Dies erfolgt durch das Einschmelzen des, parallel gefertigten Gestells (siehe Gliederungspunkt 4.3). Die hierbei zur Anwendung kommende Technologie konnte in Anlehnung an einzelne Prozessstufen bei der Lampenherstellung perfektioniert werden.

Der, mit dem Deckel und damit mit der Finne verbundene Hüllkolben wird senkrecht über ein definiert gehaltenes Gestell gestülpt. Die Arretierung des Kolbens erfolgt längendefiniert. Im Inneren des Kolbens besteht eine vorgegebene Distanz zwischen Getterring und Finnenende. Während des Einschmelzens rotieren Gestell und Kolben mit gleicher Geschwindigkeit. Die Durchwärmung und das Aufschmelzen des Glases von der Außenseite erfolgt gleichmäßig über den gesamten Umfang. Nach Abschluss des Einschmelzens ist die Kollektorröhre nahezu komplett montiert. Die einzige Verbindung zum inneren Volumen ist nur noch über das Loch im Gestell (Pumploch) gegeben.



Abbildung 29: Hüllkolben mit eingeschmolzenem Gestell mit Getterring und Pumploch

Zur Vermeidung von Spannungsrissen in der Verschmelzung wurde ein Teller Glas ausgewählt, dessen thermischer Wärmedehnungskoeffizient dem des Kolbenglases entspricht. Die Verarbeitungsbedingungen beim Einschmelzen stellten spezielle thermische und mechanische Anforderungen an den Teller, die entsprechend optimierte werden mussten.

Die Perfektionierung der Temperaturführung beim Einschmelzen und die exakte Ausbildung einer stabilen und funktionellen Verschmelzung beider Partner erforderte insgesamt ein großes Maß an Erfahrung und handwerklichem Können und Geschick. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird dieser Technologieschritt sowohl im Labor- als auch im Produktionsmaßstab sicher beherrscht.

5.7 Vakuumerzeugung (Co-Referent: Friedelinde Cordts)

Den nahezu letzten Fertigungsschritt stellt die Evakuierung der vollständig montierten und verschmolzenen Kollektorröhre dar.

Als Hersteller von Lampen kann die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG auf jahrzehntelange Erfahrungen im Bereich der Vakuumtechnik zurückblicken. Die, während dieses Zeitraums gesammelten Erfahrungen und das angesammelte Wissen erleichterten die Entwicklungsarbeiten auf dem Sektor des Solarkollektors immens. Eine große Anzahl von Prozessvarianten konnte im Vorfeld mathematisch modelliert werden. Die errechneten Werte stimmten in hoher Präzision mit Werten aus Versuchen überein. Auf diese Weise konnte zeitsparende, hocheffektive und kostenreduzierte Entwicklungsarbeit geleistet werden, die durch herausragende Ergebnisse gekennzeichnet ist.

Aus der Energiebilanz der Vakuumkollektorröhre wird deutlich, dass der Wirkungsgrad der Solarkollektoren in entscheidendem Maße von der Isolation der Kupferfinne abhängt, die durch die Wärmeleitfähigkeit des in der Röhre verbleibenden Restgases bestimmt wird. Die Wärmeleitfähigkeit eines Gases ist stark Druck abhängig. Um die Verluste durch die Wärmeleitung gering zu halten, muss im Gefäß ein Druck unter 10^{-5} mbar erzeugt und während der Betriebsdauer von 20 Jahren aufrecht erhalten bleiben.

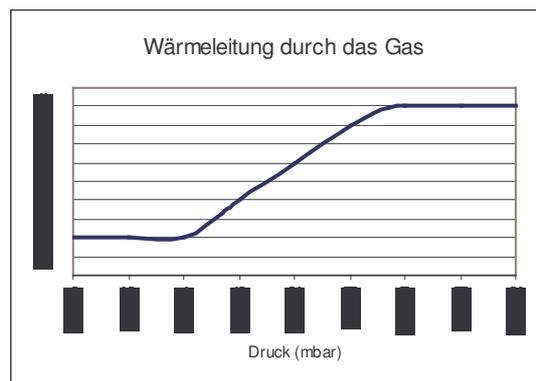


Abbildung 30: Druckabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit eines Gases

Die Erzeugung und Aufrechterhaltung des Vakuums war deshalb ein Schwerpunkt der Entwicklungsarbeit.

In diesem Zusammenhang mussten drei Prozesse untersucht werden:

- Volumenevakuierung des Glasgefäßes
- Die Oberflächenevakuierung und Ausgasen der Einbauteile und Gefäßwände
- Der Einsatz von Getter.

5.7.1 Volumenevakuierung

Laborpumpstand

Erste Untersuchungen wurden an einem Turbomolekularpumpstand im Labor durchgeführt.

Eine typische Abpumpkurve des Drucks im Kollektorrohr bei $T=25\text{ °C}$ zeigt die nachfolgende Abbildung, die einen deutlichen Einfluss der Einbaumaterialien im niedrigen Druckbereich erkennen lässt:

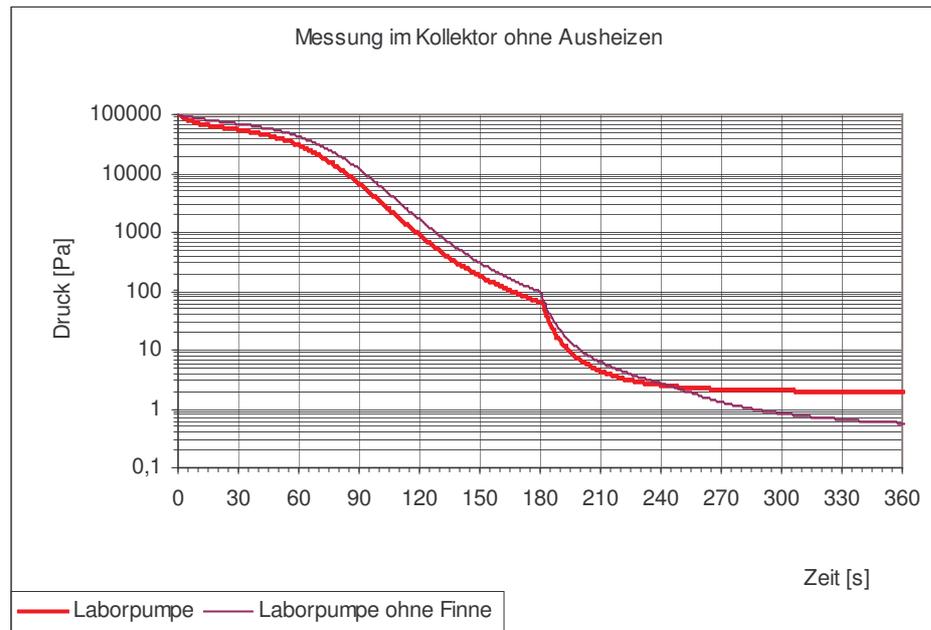


Abbildung 31: Vakuumqualität in Abhängigkeit von der Reinheit der metallischen Komponenten

Der Innenraum der Kollektorröhre wird über das dünne Glaspumprohr 5 x 75 mm und das Pumploch (5 mm) im Gestell evakuiert. Durch die geringen Dimensionen ist die Abpumpgeschwindigkeit im niedrigen Druckbereich stark begrenzt. Die Evakuierung des Innenvolumens muss deshalb in kurzer Prozesszeiten vollständig umgesetzt werden. Dieser Aspekt war bei der Konzeption einer Pumpmaschine für eine perspektivische Produktionslinie von höchster Brisanz.

Mittels Modellrechnungen war es möglich die erforderlichen Rohrquerschnitte und Pumpenleistungen sowie das Pumpschema theoretisch vorzugeben. Die Ergebnisse dieser Berechnungen bildeten die Grundlage für die Auslegung des Pilotpumpstandes

Pilotpumpstand

Für die Durchführung von Versuchen, die Technologieentwicklung und die Realisierung von Musterproduktionen wurde ein Hochvakuumpumpstand mit Turbomolekularpumpe und Ausheizöfen für eine einzelne Kollektorposition aufgebaut. Die Rohrquerschnitte und der Pumpkopf wurden so gestaltet, dass sie den späteren Bedingungen einer Pumpmaschine entsprechen.

Für die Versuchsproduktion wurden 3 automatisch ablaufende Pumpprogramme aufgestellt und erprobt. Für technologische Untersuchungen war auch ein manueller Betrieb möglich.



Abbildung 32: Pilotpumpstand

5.7.2 Oberflächenevakuierung

Die Innenfläche des Kollektors beträgt $0,6 \text{ m}^2$ und stellt somit eine große dauerhaft wirkende Gasquelle im Rohr, besonders bei hohen Betriebstemperaturen dar. Deshalb ist der Einsatz von Materialien mit sauberen Oberflächen sowie das Ausheizen (Ausgasen) der metallischen Komponenten eine Haupteinflussgröße.

Das Ausgasen ist somit ein gravierender Prozess, der die Endqualität der Kollektorröhre und damit die maximal mögliche Licht- und Energieausbeute bestimmt. Infolgedessen bestand hier die Forderung nach der Entwicklung eines vollständig optimierten Verfahrensschrittes. Im Rahmen von Versuchen erfolgte ein Ausheizen über verschiedene Zeiträume und bei verschiedenen Temperaturen, unter Nutzung verschiedener Wärmequellen. Dabei konnten maximale Ausgasung der metallischen Oberflächen in der Größenordnung von 400 bis 660 Pal erzielt werden.

Die optimierte Ausheizung im Fertigungsprozess der Kollektorröhre setzt sich aus zwei Etappen zusammen:

- Vorheizen der metallischen Komponenten mittels Lichtofen
- Aufheizen der gesamten Röhre (Metall- und Glasbestandteile) auf Temperaturen von oberhalb $400 \text{ }^\circ\text{C}$ mittels Infrarotofen.

Die gesamte Temperaturführung ist wesentlich von der eingesetzten Materialstärke abhängig. Bei Verwendung von dickwandigerem Kupferrohr muss die Temperaturbehandlung intensiver erfolgen.

Nach dem Erreichen der maximalen Ausheiztemperatur erfolgte das vollständige Evakuieren des gesamten Innenraumes der Röhre.

Mit einer Auswahl verschiedener Pumpen erfolgten Vorversuche. Anhand der letztendlich erzielten Vakuumqualität erfolgte die Pumpenauswahl für eine Fertigung unter Produktionsbedingungen. Mit dem entwickelten Pumpschema ist es möglich 600 Kollektoren pro Stunde qualitätsgerecht zu evakuieren.

Der abschließende, vakuumdichte Verschluss der Kollektorröhre erfolgt nach dem vollständigen Evakuieren über ein Schmelzverfahren. Hierbei wird das Pumprohr unterhalb der Verschmelzung von Teller- und Kolbenrand, im Inneren des Gestells mit einem speziellen Brenner abgeschmolzen und versiegelt. Der abgeschmolzene Pumprohrstengel ragt somit nicht mehr über das Röhrenende hinaus.

5.7.3 Getter

Bei dem Getter handelt es sich um einen Trägerkörper (Ringform), der für den Eintrag einer definierten Menge einer Bariumlegierung im Inneren der Kollektorröhre verantwortlich ist. Die Bariumlegierung hat die Aufgabe, die Qualität des Vakuums im versiegelten Kollektor weiter zu erhöhen. Durch eine gezielte Aktivierung durch Verdampfung bildet sich auf der inneren Glasoberfläche, im Endbereich des Kolbens, eine Bariumschicht aus, die während ihrer gesamten Lebensdauer folgende Gase adsorbiert:



Der, im vorliegenden Fall ausgewählte Bariumgetter wird bei einem Druck von $3 \cdot 10^{-2}$ mbar aktiviert und ist unter den gegebenen Vakuumbedingungen über den Zeitraum von 20 Jahren stabil.

Die Bariumschicht eines Getterrings mit einer optimierten Bariummenge bildet einen geschlossenen schwarzen Film auf einer Glasfläche von ca. 70 cm^2 . Wie Untersuchungen zeigten führte ein erhöhter Bariumgehalt zu keiner weiteren Qualitätsverbesserung der Kollektoren. Die ausgewählte Menge an Gettermaterial ist für die vorhandene Menge an gasförmigen Vereinreinigungen ausreichend dimensioniert.

Die Aktivierung des Getters erfolgt durch Ausheizen mit einem HF-Generator bei Temperaturen von 900 bis $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Struktur der Legierung zerfällt, das metallische Barium verdampft und schlägt sich als dünner Film auf der kalten Glaswand nieder.

6 Endmontage

Aus dem GMV (Deckel) ragt auf der einen Seite des Kollektors das Kupferrohr der Finne über das Ende des Hüllrohres hinaus. Im Inneren dieses Kupferrohres wird ein zweites, dünneres Rohr platziert. Beide Rohre gemeinsam dienen dem Zu- und Abfluss des Wärmeträgers. Die exakte Lage des Innenrohres wird durch eine, ebenfalls eingeführte, Feder bestimmt.

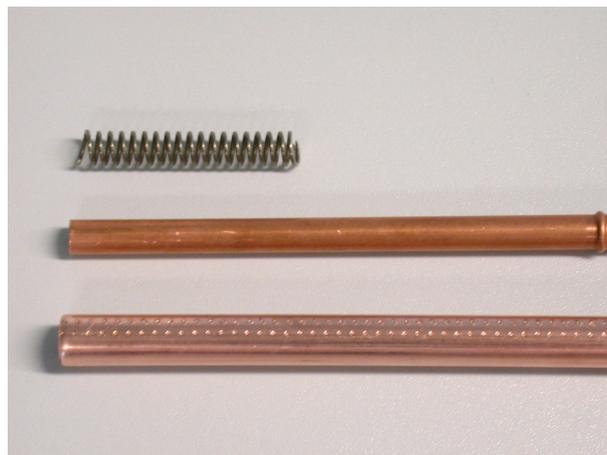


Abbildung 33: Wärmeableitrohr und abschließend zu montierende Innenteile



Abbildung 34: Wärmeableitrohr mit montiertem Innenrohr

Zum Schutz der gläsernen Vakuumversiegelung in Form der Abziehspitze auf der gegenüberliegenden Seite wird eine Abdeckkappe aus Gummi angebracht. Ihre Form wurde für diese spezielle Anwendung entwickelt.



Abbildung 35: Ungeschützte Abziehspitze



Abbildung 36: Geschützte Abziehspitze

7 **Ökonomische und ökologische Gesamtbewertung des Vorhabens** (Co-Referent: Jürgen Zabel)

Die Herstellung des, üblicherweise für die Fertigung von Kollektorröhren eingesetzte, Borosilikatglases ist wesentlich teurer als die Herstellung von Kalk-Natron-Glas, das in der Lampenfertigung zur Anwendung kommt. Der Materialpreis von Borosilikatglas entspricht dem 4-fachen Preis von Kalk-Natron-Glas. Dieser wirtschaftliche Aspekt wirkt sich wesentlich auf die Materialgesamtkosten bei der Herstellung der Kollektorröhre aus.

Unter Verwendung von Hüllkolben aus Kalk-Natron-Glas war es möglich die Materialkosten um über 20 % zu senken. Das Substitutglas wird den geforderten Eigenschaften gerecht. Trotz geringerer Materialkosten ist eine Konstanz der Produkteigenschaften gewährleistet.

Um übermäßige thermische Belastungen des Hüllrohres durch auftretende Temperaturdifferenzen zu vermeiden (z.B. ein Hagelschauer im Hochsommer) wurde bei der Konstruktion und Ausführung der Kollektorröhre ein Schwerpunkt darauf gelegt, Glaserwärmungen im Bereich der Rohrdurchführung auf Temperaturen von über 100 °C von vornherein auszuschließen. Diese Forderung konnte durch eine definierte Auswahl und Kombination einzelner Materialien miteinander realisiert werden.

Der Wirkungsgrad der Kollektorröhre konnte durch umfangreiche Optimierungen im Bereich der Vakuumtechnik deutlich verbessert werden. Maßgeblich hierfür ist die Stagnationstemperatur des Solarkollektors, die bei dem entwickelten Typ bei ca. 290 °C liegt. Mit dieser Temperatur ist sie 30 bis 40 °C höher als bei Vergleichsmuster anderer Hersteller. Aus dieser Differenz erfolgt **eine Erhöhung des Energieertrages um ca. 10%.**

Mit den aufgeführten Ergebnissen wurde das gesetzte Projektziel erreicht. Die optimierte Kollektorröhre bietet gute Voraussetzungen für eine erhöhte Akzeptanz bei potentiellen Anwendern und dient damit der breiten Anwendung von Solarthermieanlagen und damit der Reduzierung von Belastungen für Natur und Umwelt.

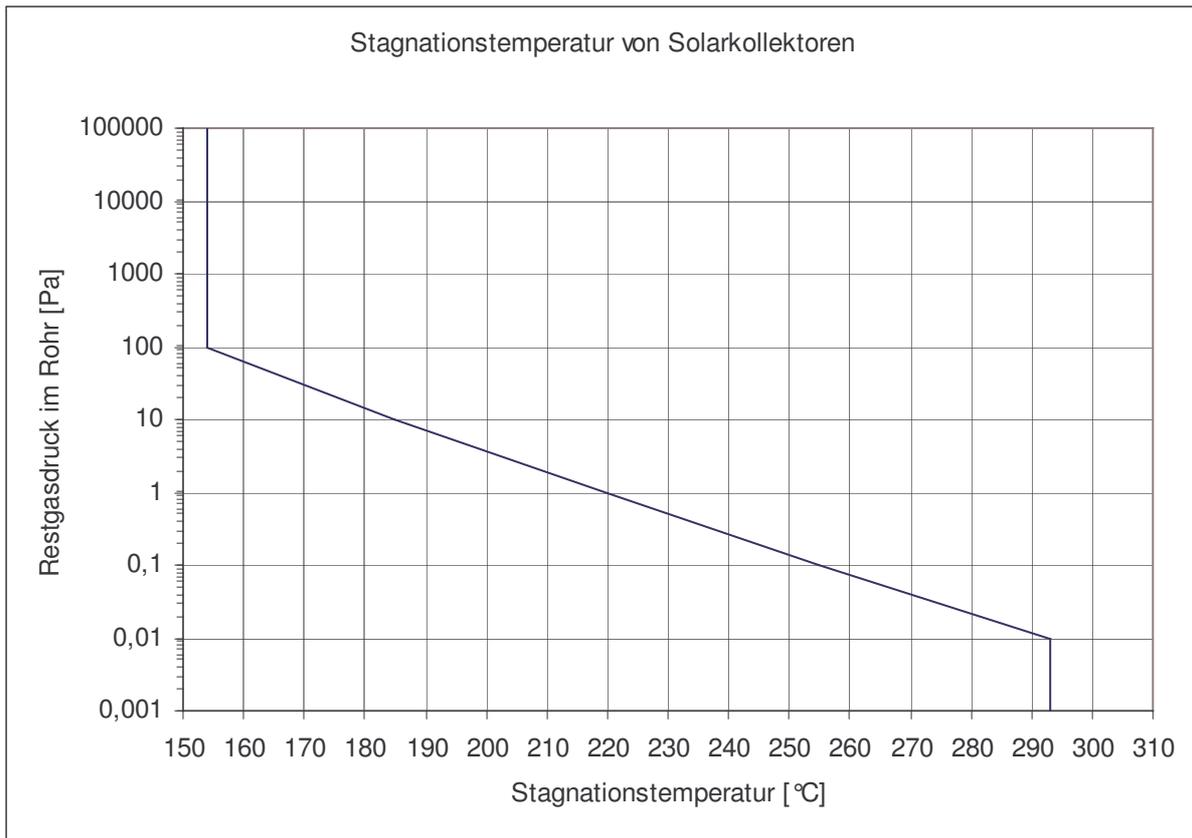


Abbildung 37: Stagnationstemperatur von Solarkollektoren

Die Erhöhung der Stagnationstemperatur resultiert aus der vollständigen Ausheizung der Finne, was eine deutliche Erhöhung der Vakuumqualität und der Absorbtemperatur im Einsatzfall mit sich bringt.

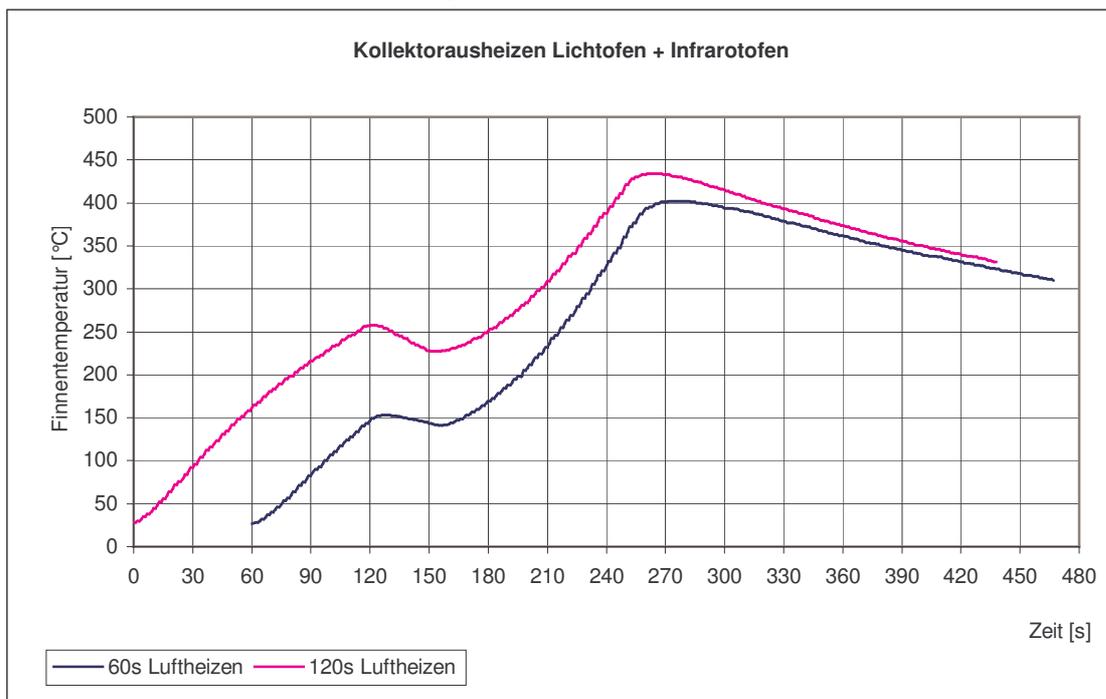


Abbildung 38: Vollständige und unvollständige Ausheizung der Finne / des Kollektors

Unvollständig ausgeheizte Finnen zeigen deutliche Desorptionen bei Temperaturbelastung

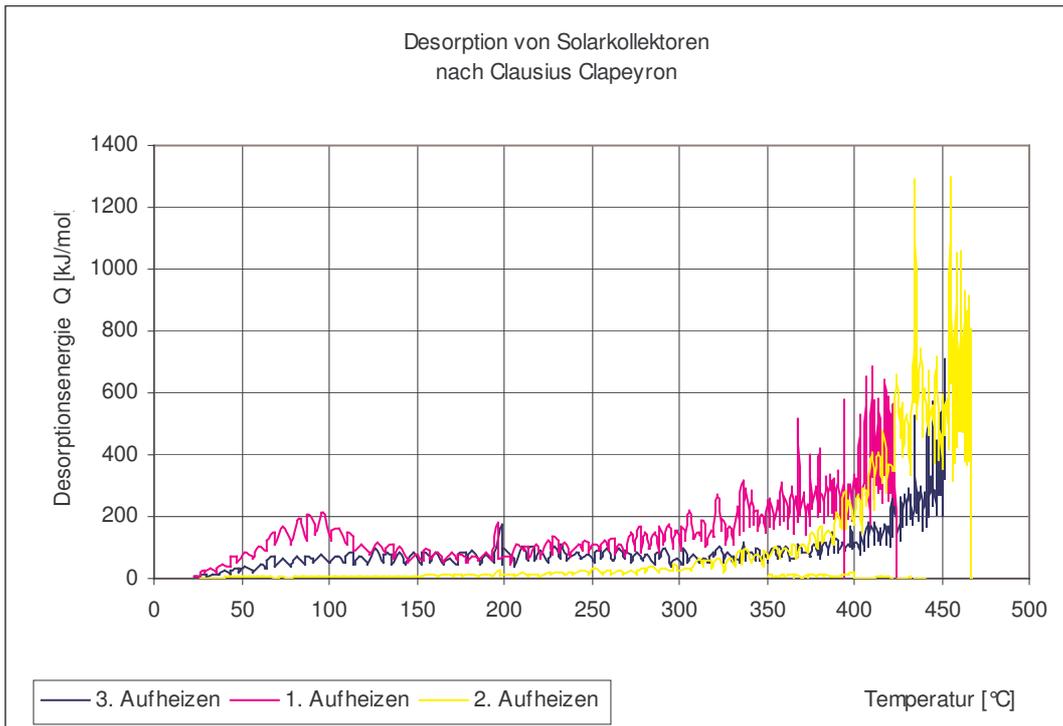


Abbildung 39: Desorptionen unvollständig ausgeheizter Finnen / Kollektoren

Die aufgrund der Vakuumverschlechterung zu einer reduzierten Absorbertemperatur führen:

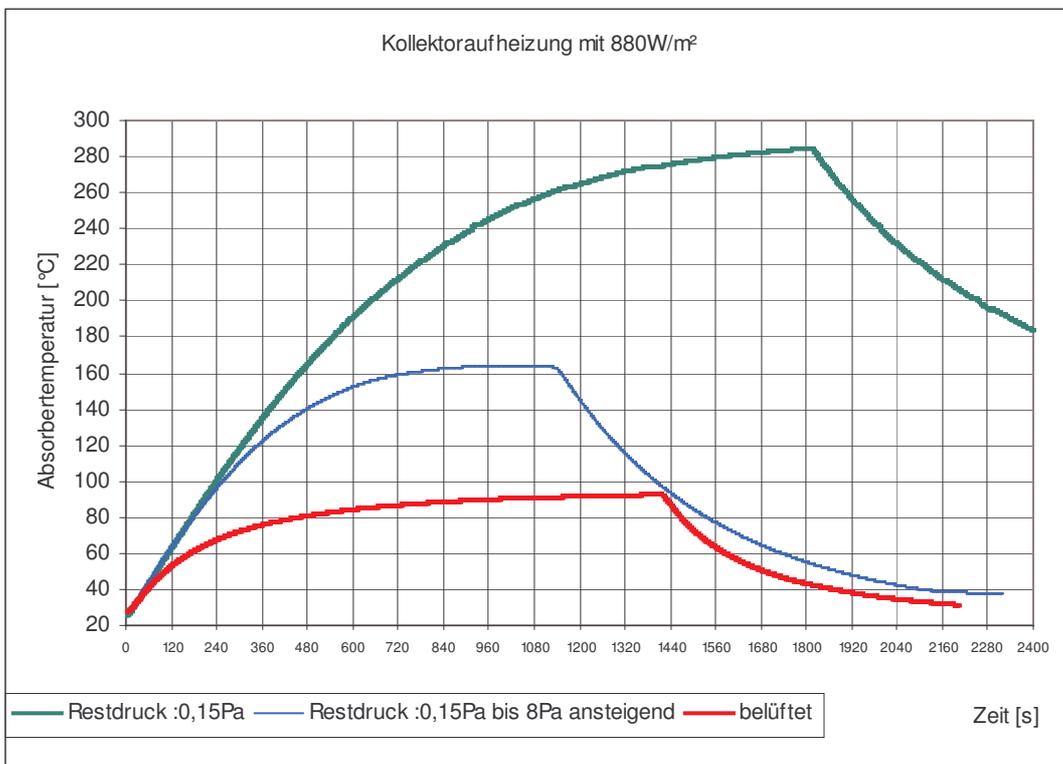


Abbildung 40: Kollektoraufheizung bei verschiedenen Vakuumqualitäten (Fülldrücken)

8 Fazit

Die entwickelte Kollektorröhre für einen Solarkollektor für die Solarthermie ist ein qualitativ hochwertiges Produkt, das sich durch reduzierte Materialkosten und einen erhöhten Wirkungsgrad auszeichnet.

Im Zeitraum von nur 10 Monaten ist es den Mitarbeitern der NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG gelungen, sowohl ein Erzeugnis mit überzeugenden Produkteigenschaften als auch eine umsetzungsreife Fertigungstechnologie zur Herstellung des besagten Produktes zu entwickeln.

Die erfolgreichen Forschungsergebnisse werden perspektivisch im Unternehmen umgesetzt: Die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG wird im September 2006 eine neue Produktionslinie zur Fertigung von Kollektorröhren in Betrieb nehmen. In diesem Zuge entstehen 13 neue Arbeitsplätze.

Nach einer Inbetriebnahmephase von 9 Monaten ist eine 100-%-tige Auslastung der neuen Fertigungslinie geplant.

Die weitere Reduzierung der Materialkosten stellt einen Schwerpunkt für die Arbeiten in den nächsten Monaten dar. Die Umsetzung dieser Zielstellung soll mit Materialsubstitutionen im Bereich der metallischen Bauteile und durch den Aufbau einer firmeneigenen Montagestrecke für die metallischen Funktionsteile erreicht werden.