

Abschlußbericht 1

**Entwicklung eines innovativen Stringers für die Herstellung von
PV-Modulen**

Nach umfangreichen Marktrecherchen und Prüfungen von patentrechtlichen Ansprüchen ist durch Planung /Entwicklung / Konstruktionen und den Bau sowie die Erprobung von technischen Teilaspekten ein entscheidender Schritt als Basisentwicklung zur Verwirklichung einer Projektidee in Angriff genommen worden.

Erweiterung des Abschlußberichtes vom 10. Februar 2010

Wedel, 11. Januar 2010

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	26696 24/2	Referat	Fördersumme	125.000,-
Antragstitel		Entwicklung eines innovativen Stringers für die Herstellung von PV-Modulen		
Stichworte				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
9 Monate	11. Juli 2008			
Zwischenberichte				
Bewilligungsempfänger			Tel	04103 912 08-0
Solarnova Produktions- und Vertriebsges. mbH			Fax	04103 912 08-10
Am Marienhof 6			Projektleitung	
22880 Wedel			Bernd Woderich	
			Bearbeiter	
			Bernd Woderich	
Kooperationspartner	IMA Automation GmbH, Landsbergerstr. 252, 12623 Berlin			
	Umfirmierung am 01.10. 2008, vorher			
	Feintool Automation Berlin GmbH mit selber Anschrift			

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Entwicklung eines innovativen Stringers für die Herstellung von PV –Modulen.

Integration von Online Testverfahren in den Fertigungsprozess zur Minimierung der Ausschussrate.

Integration von Techniken und Technologien zur Minimierung der Bruchraten.

Energiesparendes Lötverfahren (Minimierung der Energieverluste)

Erhöhung der Ausbringung gegenüber bekannten Lösungen bei Einsatz geringerer Ressourcen an Technik und Aufstellfläche.

Minimierung der Flussmittelverwendung und Minimierung der Flussmittelverdunstungsverluste

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

1. Schritt

- Ermittlung des Standes der Technik (Patentrecherche)
- Festlegung mechanischer Leistungsdaten
- Festlegung der Schnittstellen
- Festlegung der Maschinenleistungsdaten
- Festlegung Baugröße

2. Schritt

- Einbeziehung der Wissensträger aus dem Bereich der Bauteilzulieferindustrie
- Einbeziehung der Wissensträger bekannter Unterlieferanten von Standardlösungen
- Ermittlung der Grenzen der bekannten am Markt vorhandenen Lösungsansätze
- Festlegung der prinzipiellen Lösungsprinzipien für die Kerntechnologien (Löten, Wärmebehandlung, Flussmittelauftrag, Ribbonbereitstellung, Zellenhandling, Ribbonhandling) zur Vorbereitung von Testaufbauten und Prototyplösungen
- Festlegung der grundsätzlichen Steuerungslösung

3. Schritt

- Konstruktion von Erprobungsträgern
- Konstruktion der Testaufbauten für die Löt kopflösung
- Bau der Löt kopflösung und Überprüfung der theoretischen Ansätze am konkreten Löt kopf
- Konstruktion und Bau eines Löt kopfes zur Testung der Parameter über einen längeren Zeitraum zur Erzielung statistisch verwertbarer Daten
- Testung des Temperaturverhaltens der Zelle/Lötverbindungen auf dem Testaufbau der Lötstrecke
- Auswahl eines geeigneten Bildverarbeitungssystems im Zusammenspiel mit dem speziellen Zellenhandling (Linearlösung für Zellentransport und Zellenlader)
- Auswahl des Testverfahrens welches sich online in den Prozess integrieren lässt
- Konstruktion und Bau des Flußmittelauftrages
- Testung des Flußmittelauftrages
- Konstruktion und Aufbau der prinzipiellen Handlinglösung (Zellentransport und Zellenlader)
- Testung der Handlinglösung
- Konstruktion und Aufbau der prinzipiellen Lösung für das Vorstrecken der Ribbon (Zellenverbinder)
- Testung der Lösung für das Vorstrecken

Ergebnisse und Diskussion

Im ständigen Abgleich sind die Recherchen, Gedankengänge und Konstruktionsmerkmale (wie in den Schritten 1 bis 3 beschrieben) zwischen den Projektpartnern ausgetauscht, diskutiert und ggf. revidiert worden.

Geräteteilelemente stehen in Kürze zum Test und zur Dauererprobung zur Verfügung. Daraufhin wird der 4. Schritt eingeleitet.

4. Schritt

- Vergleich der Ergebnisse aus den Testaufbauten mit den Zielvorgaben
- Eventuell Wiederholung bei Notwendigkeit
- Konstruktion der Gesamtlösung Mechanik
- Konstruktion der Gesamtlösung Steuerung
- Nochmaliger Vergleich der Vorgaben mit den Ergebnissen aus der Gesamtlösung

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Prototypen-Erprobung ist in der Solarnova-Produktionshalle geplant.

Zur "24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition" vom 21. bis 25. September 2009 in Hamburg, sollen Ergebnisse präsentiert werden.

Fazit

Die bisherigen Erkenntnisse und Konstruktionen bewegen sich im erwarteten Zeitrahmen.

Inhaltsverzeichnis

PROJEKTKENNBLETT	2
1. VERZEICHNIS VON BILDERN, ABKÜRZUNGEN, DEFINITIONEN	6
2. ZUSAMMENFASSUNG	7
2.1 Durchgeführte Untersuchungen	7
2.2 Gegenüberstellung zum Wettbewerb	7
2.3 Verfahrensauswahl	8
2.4 Empfehlungen für weiteres Vorgehen	8
2.5 Kooperationspartner	9
3. EINLEITUNG / ÜBERSICHT DER TECHNISCHEN AUFGABENSTELLUNG	9
3.1 Zielsetzung des Projektes	9
4. ERGEBNISSE	10
4.1 Zellenqualitätskontrolle am Prozesseingang	10
4.1.1 Versuchsaufbau Kontaktierung EL-Prüfung	12
4.1.2 Versuchsaufbau Zellentransport	12
4.1.3 Musterwerkstückträger	13
4.2 Fluxen	14
4.3 Ribbon	15
4.4 Löten	16
4.4.1 Versuchsaufbau Löten	16
4.5 Gesamtprozess	21
5. FAZIT	22

1. Verzeichnis von Bildern, Abkürzungen, Definitionen

Bilder:

Bild 1:	Beispielbilder EL Prüfung
Bild 1.1:	Kontaktierung EL-Prüfung Versuchsaufbau
Bild 1.2:	Zellentransport Versuchsaufbau
Bild 1.3:	Solarzellenträger Versuchsaufbau
Bild 2:	Düse für Microstrahldosierung, Fa. Walther
Bild 3:	Entwurf Ribbonkonfektionierung
Bild 4:	Testaufbau Lötspitze
Bild 4.1:	Detail Testaufbau Lötspitze
Bild 4.2:	Testaufbau Lötspitze mit Blattfederprinzip
Bild 4.3:	Testaufbau kompletter Lötkopf mit Niederhalter
Bild 4.4:	Detail Lötkopf mit Niederhalter
Bild 4.5:	Testaufbau Lötkopf
Bild 4.6:	Temperaturverlauf am Lötkopf
Bild 5:	Testaufbau Lötband mit einem Vorheizelement
Bild 5.1:	Mitfahrender Niederhalter beim Löten
Bild 6:	Projektstudie eines Stringers

Abkürzungen:

EL Prüfung - Elektrolumineszenz Prüfung

Definitionen:

Busbar	- Kontaktflächen auf der Solarzelle
Ribbon	- Verbinder zwischen den Einzelzellen
Fluxen	- Oberflächenbenetzung der Zellen mit Flußmittel
Delaminierung	- Ablösung von Verbundmaterialien
String	- Reihenschaltung von Solarzellen
Grid (Finger)	- „Stromsammelleiter“ auf der aktiven Zellenoberfläche

2. Zusammenfassung

2.1 Durchgeführte Untersuchungen

- Eingangskontrolle der Zellen mit einer EL Prüfung (Elektrolumineszenz)
- Fluxen
- Ribbonbearbeitung
- Löten
- Gesamtprozess

2.2 Gegenüberstellung zum Wettbewerb

	Teamtechnik	Somont	Komax	Solarnova / IMA Automation *
Ausbringung / Kapazität	900/1200 Zellen/h (2 Eingabestationen)	1200 Zellen/h (2 Bahnen)	800 Zellen/h	1200 Zellen/h (Einbahnig)
Prozessfolge Arbeitsablauf	seriell	seriell	seriell	teilweise parallel
Modulbauweise	tlw.	tlw.	Nein	ja
Bruchrate	0,5%-1%	0,5%-1%	0,5%-1%	0,3%-0,4%
Zelleneingangskontrolle	Ja, aber keine μ -Cracks	Ja, aber keine μ -Cracks	Ja, aber keine μ -Cracks	Ja, zusätzlich μ -Cracks optional
Ausgangskontrolle Optional möglich	Optische Vermessung	Optische Vermessung	Optische Vermessung	Optische Vermessung und μ -Crack-Stringkontrolle
Max. Anz. Zellenverbinder	2-3	2-3	2-3	2-5
Zellenbefluxung (geringere Verbrauch)	nein	nein	ja	ja
Lötverfahren	Lichtlöten	Lötkopf massiv	Induktionslöten	Lötkopf mit Einzelspitzen (variable Aufhängung und Temperaturregelung)
Luftverbrauch	1150 l/min	900 l/min	730 l/min	700 l/min
max. Leistung	22 kW	52 kW	18 kW	14 kW

* Die hier aufgelistete Charakteristik und die Verbrauchsdaten sind angestrebte Ziele. Bisherige Erfahrungswerte, - durch Tests, theoretische Berechnungen und hypothetische Annahmen untermauert-, bilden hierzu die Basis.

2.3 Verfahrensauswahl

- **Eingangskontrolle:** Auswahl der Elektrolumineszenzprüfung als Verfahren und Test zur Eingangskontrolle von Solarzellen. Verschiedene Prüfverfahren (Thermographie, Ultraschallverfahren, Kraftaufnahme bei mechanischer Verformung) wurden bei Vergleichsuntersuchungen bewertet. Die EL-Prüfung wurde als bestes Verfahren für die Erkennung von Vorschädigungen der Solarzellen auserwählt. Mit einer Bildarchivierung erweist sich die EL-Prüfung als Verfahren für eine belastbare Beweisführung bei Reklamationsansprüchen gegenüber dem Zellenhersteller.
- **Fluxen:** Beim Fluxen wurde einer neuentwickelten Microstrahldosierung die Präferenz erteilt. Gegenüber dem Tauchverfahren oder dem Bürstenauftrag liegt der Hauptvorteil beim geringen Fluxmittelverbrauch. Daraufhin ergibt sich eine geringere Verunreinigung der Zellenoberfläche bei Einhaltung der geforderten und benötigten Toleranzen. Durch Verunreinigungen von nicht verdunstetem Flussmittel besteht eine potentielle Gefahr der Delaminierung und somit der Lebensdauerverringerung.
- **Ribbonbearbeitung:** Das Verbindermaterial ist üblicherweise auf Rollen gewickelt. Praxisüblich entsteht beim Abwickeln und Längenzuschnitt ein säbelförmiger Verlauf. Somit ist der Verbinder nicht optimal für die Zellenverbindung geeignet da er streckenweise neben dem Zellen-Busbar verläuft. Somit kann elektrisch und mechanisch keine einwandfreie Verbindung bei der Lötung erfolgen. Aktive Zellenfläche wird durch den Verbinder abgedeckt. Erst durch ein definiertes Recken wird die Geradlinigkeit des Verbinders erreicht. Untersucht wurden ein kraft- und ein wegüberwachtes Recken. Das kraftüberwachte Recken des Ribbon hat sich als beste Methode mit den geringsten Veränderungen der Materialeigenschaften herausgestellt.
- **Löten:** Als optimales Lötverfahren hat sich das Kontaktlöten mit einzeln temperaturgeregelten Lötspitzen, die federnd gelagert sind, erwiesen. Mit den frei programmierbaren Temperaturverläufen sind über die gesamte Länge der Busbars qualitativ hochwertigen Verlötungen möglich. Das Lötband wird in einzelne Heizzonen aufgeteilt. 4 Zonen dienen dem Vorheizen der Zellen vor dem eigentlichen Lötprozess und 4 Zonen zum definierten Abkühlen nach dem Löten. Es wird somit der auf die Zellen wirkende thermische / mechanische Stress auf ein Minimum reduziert.
- **Gesamtprozess:** Mit den gesammelten Erkenntnissen aus den Resultaten der Einzelsysteme wurde die Basis gelegt für die Entwicklung und Konstruktion eines neuen innovativen Stringertyps. Die Einbindung der Inline-Tests, mit den entsprechenden Aussortierstationen und der schnelle Transport der Zellen ist die Herausforderung für ein Gesamtkonzeption. Konstruktion und Bau eines Gesamtsystemes (Prototypenstringers) sind jedoch nicht Bestandteil dieses Untersuchungsvorhabens.

2.4 Empfehlungen für weiteres Vorgehen

Auf Basis der erzielten Ergebnisse ist die Entwicklung, die Konstruktion und der Bau eines Prototypen anzustreben. Im Zusammenspiel der Einzelfunktion sind die erkennbaren Einsparpotentiale im Material- und Energieverbrauch ökologisch und ökonomisch zu verifizieren. Die angestrebte Verarbeitungsgeschwindigkeit ist zu realisieren. Im täglichen Produktionseinsatz ist die Tauglichkeit nachzuweisen.

2.5 Kooperationspartner

Solarnova
IMA Automation Berlin
Graphikon
Pi4 robotics
Walther
Technische Fachhochschule Wildau

3. Einleitung / Übersicht der technischen Aufgabenstellung

3.1 Zielsetzung des Projektes

Abgrenzung zu Konkurrenzprodukten durch die Einbindung aller Varianten zur gesicherten, Ressourcen schonenden Verarbeitung von Solarzellen mit reproduzierbaren Betriebsabläufen und -parametern. Zellenbrüche sind bei jedem Arbeitstakt zu vermeiden. Ein Zellenbruch führt immer zur Unterbrechung der Prozessschritte und somit zu einer Reduzierung der Maschinenkapazität. Deren Vermeidung steht daher im Fokus der Entwicklungen. Noch gravierender wäre ein nicht erkannter Zellenbruch im Modul. Voruntersuchungen haben erkennen lassen, dass ein im Ansatz erkennbarer Harniss durch mechanischen Stress des Modules im Laufe der Jahre sich ausweiten kann und somit zu einer reduzierten Energieausbeute des Modules führt.

Derartige Zellenfehler sind daher im Modul zu vermeiden. Eine mechanisch defekte Solarzelle ist zu lokalisieren und vor den weiteren Verarbeitungsschritten auszuschleusen.

Alle erzielten Zwischenergebnisse dienen dem Hauptziel der Zuverlässigkeit und Lebensdauererlängerung von Solarmodulen, verbunden mit einer Reduzierung der Leistungsdegradations. Die Qualität der Zellenverbindung müssen durch optimierten Maschinenaufbau und Ablaufprozess bessere Ergebnisse erbringen als die im Markt verfügbaren Zellenverstringer.

Ein grundlegendes Ziel ist die Erhöhung der Fertigungssicherheit bei automatisierten Linien. Im Vordergrund stehen Energie- und Materialeinsparungen jeglicher Art. Speziell durch Reduzierung der Bruchraten von Solarzellen bei der Verstringung sowie die Vermeidung der Weiterverarbeitung von vorgeschädigten Solarzellen zum Endprodukt, dem Solarmodul, rechtfertigen einen umfangreichen Entwicklungsaufwand.

- Reduzierter Solarzellenbruch gegenüber marktbekannten Stringersystemen (Mit einer Reduzierung von 0,2% Bruchrate wird ein Bruch von ca. 1.100 Zellen/Monat vermieden, Kostenersparnis somit ca. € 4.500,-)
- Hohe Prozesssicherheit, Wartungsfreundlichkeit und gute Zugänglichkeit
- Technische Verfügbarkeit >95% wird angestrebt
- Baukastensystem für individuelle Zusammenstellung eines Stringers nach Kundenanforderung
- Kleine Bauart
- Geringe Geräuschbelastigung
- Qualitätskontrolle der Zellen am Eingang
- Einsatz von Linear- und Servomotortechnik (gedämpfte Beschleunigungs-Bremsrampen für schonenden Transport)

- Optimiertes Handlingsystem zur Verringerung der Bruchraten
- Ausschussreduzierung (Verschwendung von teurem Silizium) vor der Weiterverarbeitung im Laminierprozess
- Universelle Verarbeitung von allen gängigen Zellgrößen (4“, 5“, 6“, 8“)
- Verarbeitung von frei programmierbarer Anzahl (2-5) Busbars
- Variable Stringlängen und Zellenabstände

(Hierbei sind angestrebte Ziele des Gesamtsystems aufgelistet. Erst im Zusammenspiel aller Einzelkomponenten in einem Gesamtsystem wird der zahlenmäßige Nachweis der optimierten ökologischen und ökonomischen Verarbeitung von Solarzellen zu erbringen sein. Aufbauend auf die hier durchgeführten Untersuchungen werden die nötigen Erkenntnisse für die Konstruktion eines automatisierten Stringers gesammelt)

4. Ergebnisse

4.1 Zellenqualitätskontrolle am Prozesseingang

Auf Grund der immer dünner werdenden Zellen, nimmt die Gefahr einer Zellenvorschädigung zu. Diese Vorschädigungen (Haarrisse, Gridunterbrechungen, deaktivierte Zellenbereiche) sind mit dem Auge oder mit herkömmlichen Bildverarbeitungssystemen nicht oder nur schwer erkennbar. Dabei werden Umrisse gescannt und somit Ecken- und Kantenfehler sowie Gridfehler aussortiert. Vorschädigungen der Solarzelle durch Haarrisse können damit nicht erkannt werden.

Versuche mit dem mechanischen Test-Verfahren „Twisten“, haben gezeigt, dass dieses Verfahren für eine Solarzellen-Kontrolle nicht industrietauglich ist. Durch die Aufnahme der Kraft-/Wegekurven, bei einer zweimaligen mechanischen Zellenverformung in einem gewissen Bereich, können Rückschlüsse auf den mechanischen Zustand des Materials geschlossen werden. Ist bei dem zweiten „Biegeversuch“ eine geringere Kraftaufnahme zu verzeichnen, liegt somit ein Haarriss vor. Nachteilig ist hierbei eine weitere Beschädigung der Solarzelle bis hin zur Zerstörung. Eine reklamationsunterstützende Fehlerprotokollierung ist nicht möglich.

Prüfungen im Eingangsbereich der Solarzellen, mit der Ausschleusung von „schlechten Zellen“, dürfen die folgenden Prozessabläufe nicht beeinflussen. Die Maschinenkapazität (Anzahl der verarbeiteten Solarzellen per Stunde) darf durch diesen Prüfungsvorgang nicht beeinflusst werden. Die Betriebsautonomie ist abhängig von Zellenvorrat („Gute Zellen“) und Ribbonvorrat (Verbinderband). Werden Solarzellen von mehreren Zellenherstellern und unterschiedliche Zellentypen verarbeitet ist auch die Umrüstzeit maßgebend. Daher sind Umrüstzeiten von ≤ 10 Minuten mit dem notwendigen Magazinwechsel, ggf. dem Verbinderbandwechsel und der in dem Falle sinnvollen Reinigung, angestrebt.

In den weiteren Untersuchungen wurde das optische Verfahren der Elektrolumineszenzprüfung (EL Prüfung) verfolgt.

Hier wird die Zelle in einer abgedunkelten Kammer elektrisch kontaktiert und mit Strom beaufschlagt. Die nun im nicht sichtbaren Bereich leuchtende Zelle wird mit einer speziellen Kamera kontrolliert. Eine im separaten Arbeitsablauf durchzuführende Kontrolle bedingt einen zusätzlichen Arbeitsplatz und erzeugt durch zusätzliches Handling zusätzlichen mechanischen Stress. Somit gilt es einen derartigen Prozess in den automatisierten Arbeitsablauf einzubinden. Bei den

Verfahren der Lumineszenzkontrolle wird die Solarzelle mit einem Strom beaufschlagt, die Zelle emittiert Licht bei einer Frequenz von 1100 nm. Ein Riss wird somit durch dunkle Bereiche erkennbar. Eine Auswertung wird über spezielle Softwarealgorithmen anhand der Pixelverfärbungen erkannt.

Im Ergebnis der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass auch kleinere mechanische Fehler innerhalb der Zelle erkannt und protokolliert werden können. Durch das Aussortieren derart vorgeschädigter Zellen kann sichergestellt werden, dass nur einwandfreie Zellen zu einem String verarbeitet werden, was in Folge zu einer Verbesserung der Lebensdauer und auch der Leistungsausbeute eines Photovoltaik Moduls führt.

Mit dem Kooperationspartner Graphikon wurden Untersuchungen an einem Versuchsaufbau vorgenommen, bei denen die nachfolgend mit Bildern dokumentierten Fehler erkannt werden konnten.

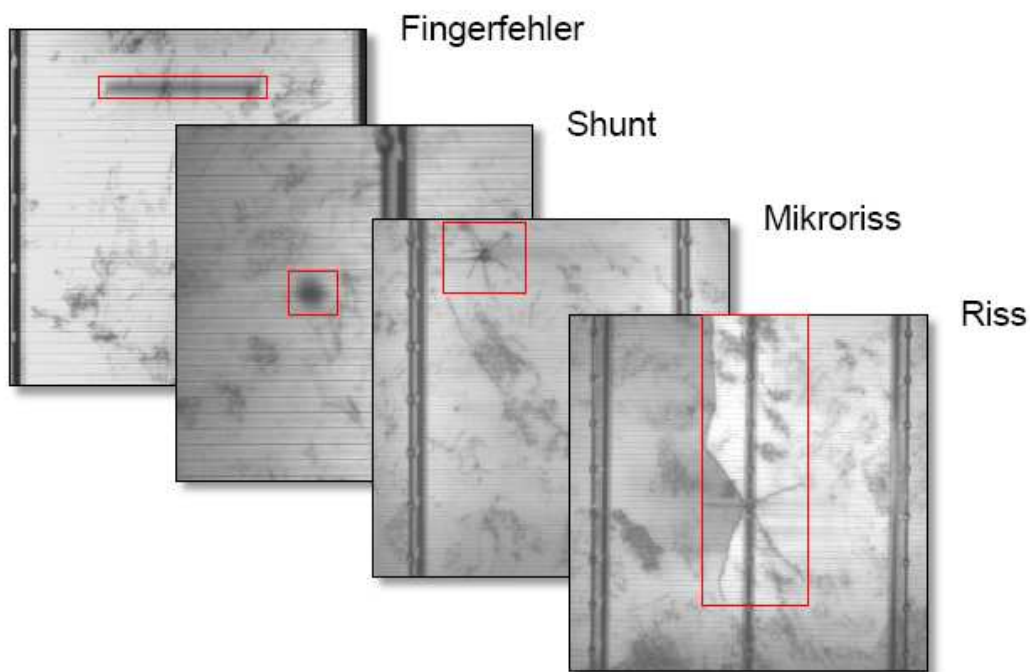


Bild 1: Beispielbilder EL Prüfung

Bei Abfragen / Diskussionen mit Endverbrauchern wurde dieses Verfahren zur Erkennung von Vorschädigungen als sehr hochwertig und wichtig eingeschätzt. Erfahrungswerte zur automatischen Auswertung der Fehlererkennung liegen zurzeit nicht vor. Zur Erarbeitung einer Entscheidungsmatrix sind weitere, eingehende Untersuchungen sowie darauf aufbauende Betriebserfahrungen zu sammeln. Von den Wafern-, Zellen- und Modulherstellern sind noch entsprechende Grundsätze zu erarbeiten.

4.1.1 Versuchsaufbau Kontaktierung EL-Prüfung

Nachdem die Entscheidung für das Prüfen der Zellen mittels Elektroluminizenzverfahren getroffen wurde, wurde mit der Entwicklung der Kontaktierung begonnen. Hier wurden jeweils eine Kontaktbahn von oben und eine von unten montiert. Im Anschluss erfolgte das Einlegen einer Zelle, welche dann dauerhaft kontaktiert wurde. Die Zielstellung dieses Versuches ist den Nachweis zu erbringen, dass durch eine derartige Kontaktierung die Zellen nicht beschädigt werden. Dieser Nachweis wurde erbracht und die Lösung in die Entwicklung in der Anlage übernommen.

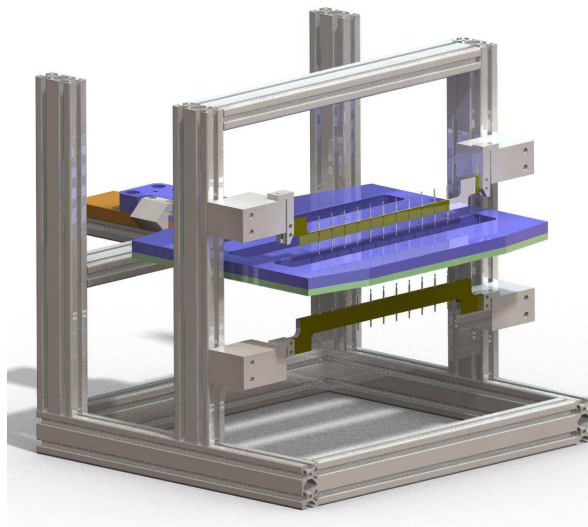


Bild 1.1: Kontaktierung EL-Prüfung Versuchsaufbau

Die Erkenntnisse lassen den eindeutigen Schluss zu, dass eine manuelle Bearbeitung der Zellen, sei es das Fluxen, Lötten oder auch jeglicher Transport von Hand, zu vermeiden ist.

4.1.2 Versuchsaufbau Zellentransport

Für den schonenden Transport der Zellen wurde ein System mit Riemen ausgewählt, welches in einzelne Segmente aufgeteilt ist. Die einzelnen Transportsegmente sollen dem Anspruch der Modulbauweise gerecht werden und diesen unterstreichen. In diesem Versuch galt es zu beweisen, dass die Zellen ihre ausgerichtete Position, bei geforderter Taktzeit, behalten und trotz der Übergänge schonend transportiert werden. Außerdem wurde die Umrüstbarkeit auf jeweilige Zellengrößen erprobt. Die Konstruktion wurde in diesem Versuch bestätigt und wird in die weitere Entwicklung übernommen.

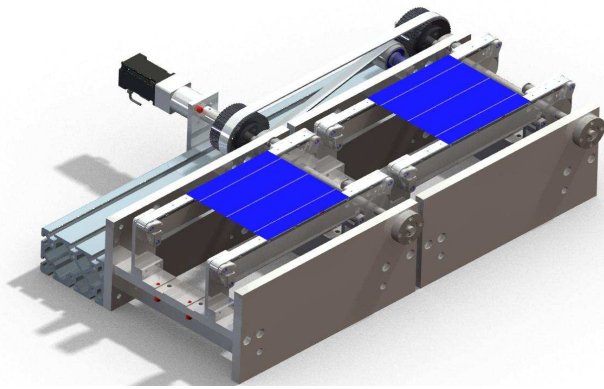


Bild 1.2: Zellentransport Versuchsaufbau

4.1.3 Musterwerkstückträger

Mit dem Musterwerkstückträger sollte erprobt werden wie sich die Zellen, bei der Entnahme aus diesem, verhalten. Hierbei ist es wichtig, dass die Zellen sich gut vereinzeln lassen und durch evtl. Berührung am Rand nicht beschädigt werden.

Außerdem muss sich der Werkstückträger leicht auf die Zellentypen umrüsten lassen. Die Versuche wurden mit positivem Ergebnis abgeschlossen. Das Prinzip ist funktionsfähig, hat aber hinsichtlich Herstellungs- und Materialkosten noch Einsparungspotential.

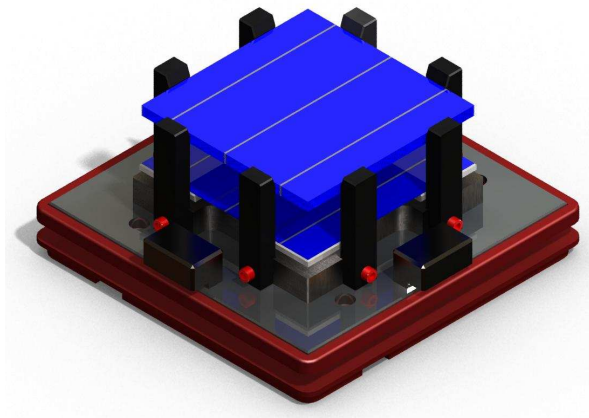


Bild 1.3: Solarzellenträger Versuchsaufbau

4.2 Fluxen

Nachdem in der ersten Entwicklungsphase das Tauchfluxen aus Gründen des Mehrverbrauchs und der Verschleppung von Fluxmittel ausgeschlossen wurde, haben sich die weiteren Untersuchungen auf das Sprühfluxen konzentriert.

Grundsätzlich kann das Fluxmittel über Sprühventile, über Durchflussventile und über Zuschießen mittels Anregung über Kleinstkolben aufgetragen werden.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass alle Verfahren, bei denen Luft als Träger für das Fluxmittel nutzen nicht gut geeignet sind die geforderten Mengen- und Maßtoleranzen beim Aufbringen zu erzielen.

Daher wurde die Technologie der Beschleunigung des Fluxmittels über mechanische Anregung weiter untersucht.

Als vorläufiges Ergebnis zum Benetzen der Zelle mit Fluxmittel kommt eine sogenannte Microstrahldosierung mit speziellen Dosierventilen der Fa. Walther zum Einsatz. Die Dosierung erfolgt hier ohne Luft, womit eine exakte Dosierung auf der vorgesehenen Fläche innerhalb der vorgegebenen Toleranzen möglich ist.

Auch unter dem Aspekt, dass die zu benetzenden Flächen, aus Gründen der Vergrößerung der aktiven Fläche von Solarzellen, immer kleiner werden, bringt dieses Verfahren zurzeit die besten Ergebnisse.

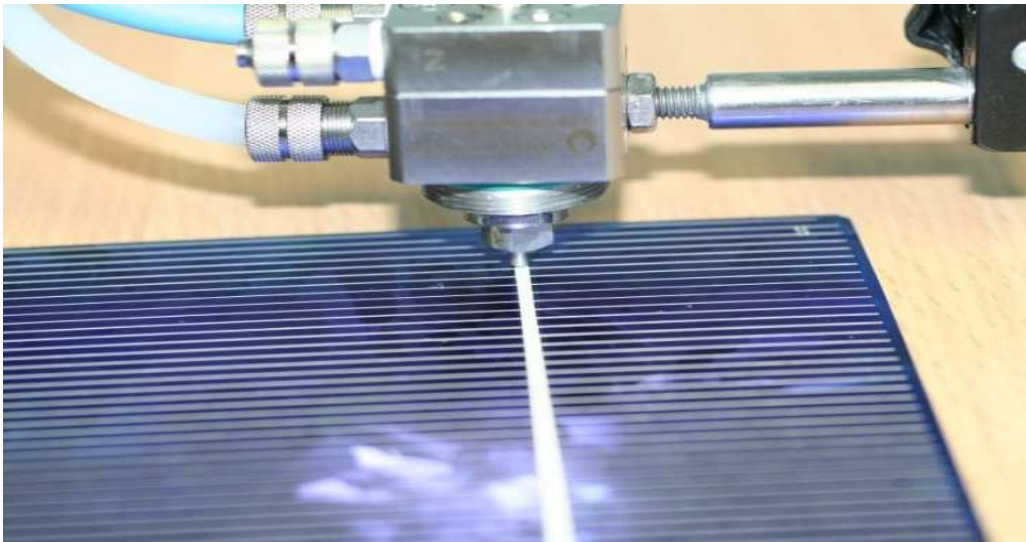


Bild 2: Düse für Microstrahldosierung, Fa. Walther

Bei den Versuchen wurden mit diesem Verfahren sehr gute Ergebnisse erzielt. Die Tauglichkeit des Verfahrens für den Produktionsprozess ist in einem späteren Test bei der Endvariante einer Serienfertigung nachzuweisen.

4.3 Ribbon

Die Verbindung der Zellen erfolgt über Verbinder (Ribbon, verzinnte Kupferbänder). Diese werden standardmäßig auf Spulen als Endlosmaterial angeliefert. Der Verbinder stellt auch die elektrische Verbindung zwischen den Zellen dar. Um die aktive Fläche der Solarzelle größer zu gestalten, werden diese Ribbons immer schmäler, jedoch höher (Querschnittsvergrößerung). Um den Zellstress zu verringern geht die Entwicklung bei den Ribbons zu immer weicherem Materialien. Diese Entwicklungen und die Tatsache, dass der Verbinder auf Spulen aufgewickelt ist, führen nach dem Abwickeln zu einer Säbelform des Verbinders. Ein Recken des Verbinders führt zu einer geraden Form. Bei unseren Versuchen wurden einmal das wegüberwachte und einmal das kraftüberwachte Recken des Verbinders getestet. Das Recken des Verbinders mit definierter Kraft, hat hier die besten Ergebnisse gebracht, da hier zwar eine gute Geradheit erreicht wird aber das Material dennoch weich genug bleibt, um bei thermischen Belastungen Längenänderungen auszugleichen.

Eine Neuentwicklung im Rahmen der Ribbonkonfektionierung stellt auch die parallel zu Lötband verlaufende Konfektionierung des Ribbon dar. Unabhängig von der Größe der Zellen, den Abständen und der Anzahl der Busbars erfolgt die Bearbeitung der Ribbons immer mit dem gleichen Aufbau, so dass an dieser Stelle kein Umrüsten bei Typwechsel der Solarzellen erforderlich ist. Das Umsetzen der Ribbons erfolgt mit Saugleisten an Servoachsen. Das Einstellen der Abstände der Ribbons ist während des Umsetzens auf das Lötband möglich. Die Abstände der Ribbons (entsprechend der Auswahl 2, 3 oder 5 Ribbons und der unterschiedlichen Zellgrößen) sind über die Servoantriebe frei programmierbar. Bei den Untersuchungen wurden Materialien verschiedener Hersteller verwendet.

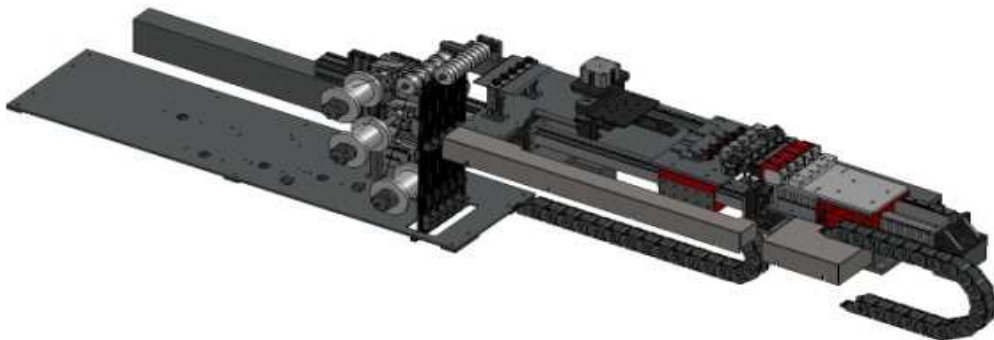


Bild 3: Entwurf Ribbonkonfektionierung

4.4 Löten

Unter Abwägung der Kriterien unterschiedlicher Lötverfahren wurde im weiteren Verlauf des Projektes das Kontaktlöten mit Lötspitzen weiter untersucht und zu einer Produktionsreife gebracht. Die Nachteile der bisher bekannten Lösungen mit Lötspitzen werden durch neue Lösungsansätze umgangen. Hier besonders hervorzuheben ist, dass die Lötspitzen des Löt Kopfes einzeln temperaturgeregelt und zum Ausgleich von Höhenunterschieden federnd gelagert sind. Mit der Heizungs-Einzelregelung sind frei programmierbare Temperaturverläufe über die Länge der Busbars möglich. Als Ergebnis sind eindeutig qualitativ hochwertigere Verlötnungen der Zellen mit dem Verbinderbund zu verzeichnen.

4.4.1 Versuchsaufbau Löten

Die einzelnen Entwicklungs- und Erprobungsschritte sind dargestellt und erläutert.

Im Verlauf der Entwicklung des Löt Kopfes wurden zahlreiche Versuche durchgeführt. Es wurde im ersten Schritt ein Versuchsaufbau zum Nachweis der Dauerfestigkeit des Blattfederprinzips und der Funktionalität der Einzelregelung aufgebaut. Die Lötspitze wurde über mehrere Wochen im 24h Betrieb getestet, mit dem Ergebnis das dieses Prinzip für die weitere Entwicklung für gut befunden wurde.

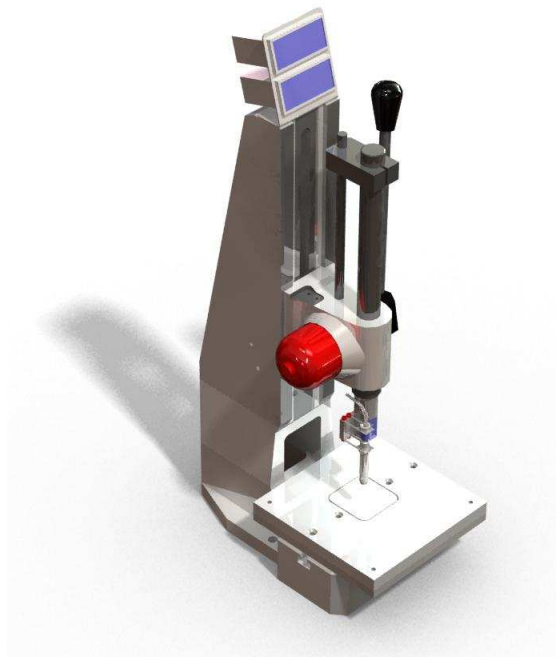


Bild 4: Testaufbau Lötspitze

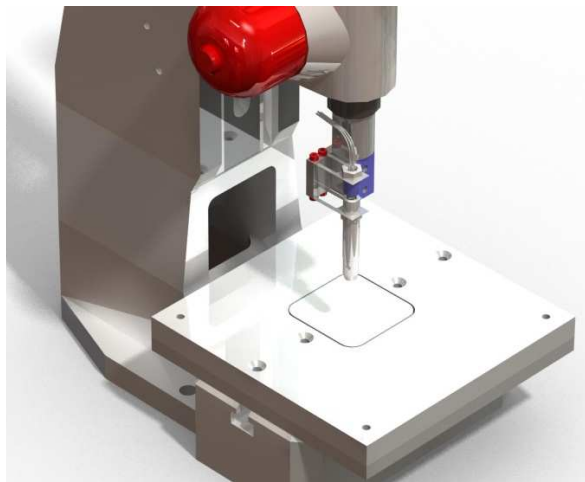


Bild 4.1: Detail Testaufbau Lötspitze

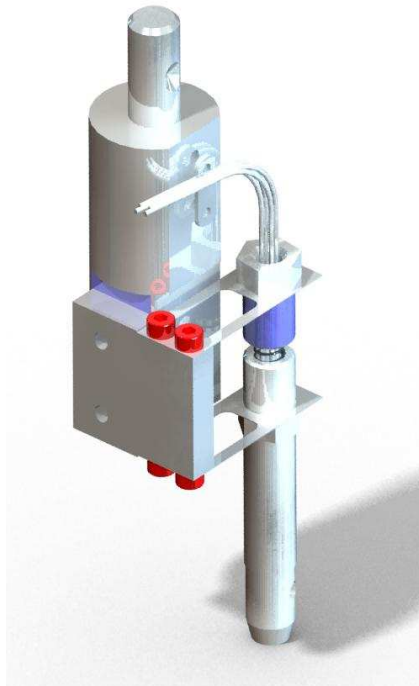


Bild 4.2: Testaufbau Lötspitze mit Blattfederprinzip

Nach Entwicklung und Konstruktion wurde der komplette Lötkopf mit Niederhalter unter Produktionsbedingung bei Solarnova getestet. Hierzu wurde eine Thermografieuntersuchung durchgeführt welche die Funktionalität der Regelung der Lötspitzen, aber auch das Lötverhalten nachweisen sollte. Thermographische Untersuchungen belegten die Funktionstüchtigkeit von Lötkopf und Niederhalter. Die weitere Entwicklung konnte darauf aufgebaut werden.

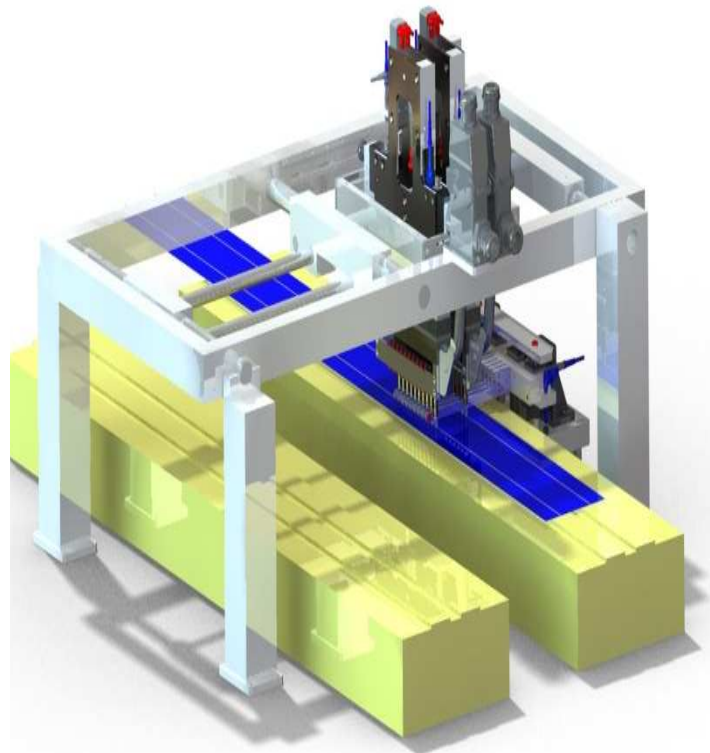


Bild 4.3: Testaufbau kompletter Lötkopf mit Niederhalter

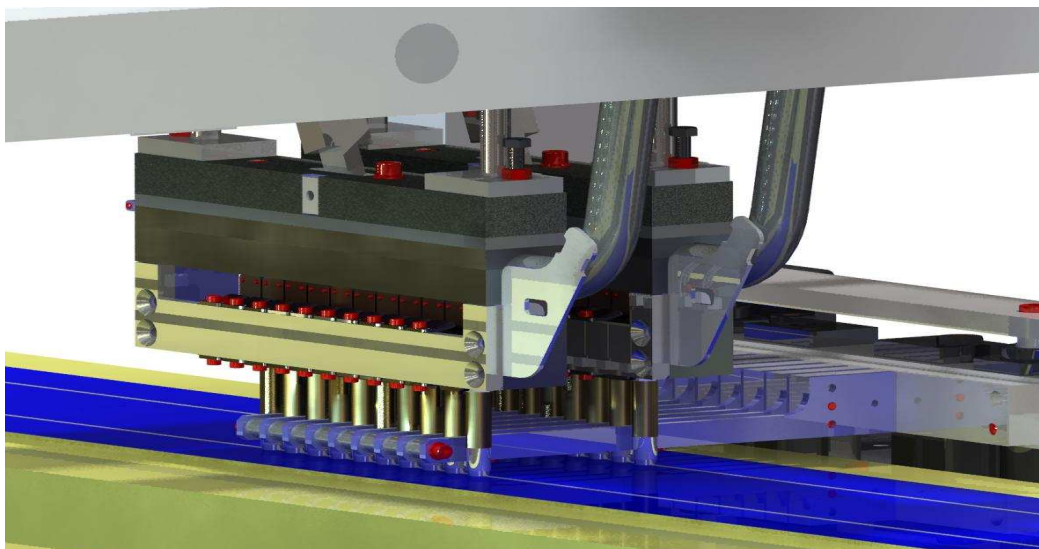


Bild 4.4: Detail Lötkopf mit Niederhalter



Bild 4.5: Testaufbau Lötkopf

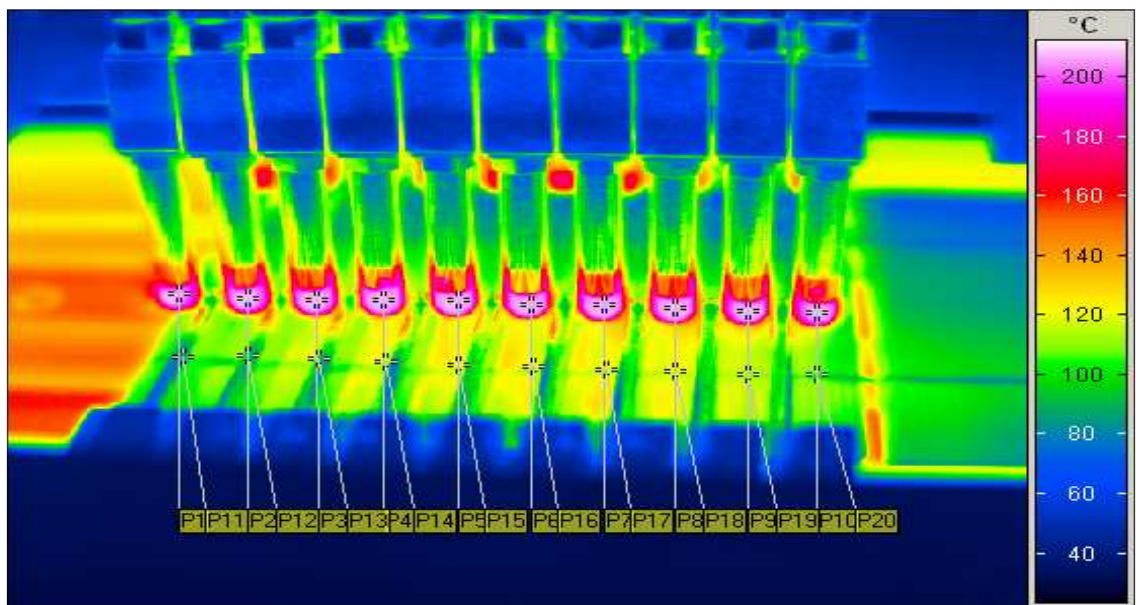


Bild 4.6: Temperaturverlauf am Lötkopf

Die Zellen mit den Ribbons werden auf einem Lötband positioniert. Das Lötband wird in einzelne Heizzonen aufgeteilt. 4 Zonen dienen dem Vorheizen der Zellen vor dem Löten und 4 Zonen zum definierten Abkühlen nach dem Löten, um den thermisch / mechanischen Stress der Zellen zu verringern.

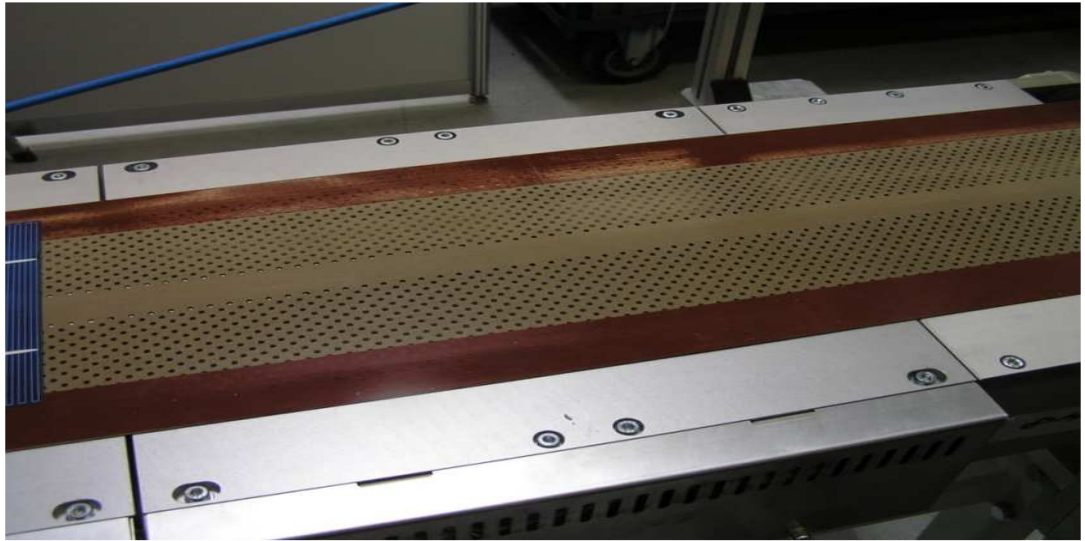


Bild 5: Testaufbau Lötband mit einem Vorheizelement

Beim Löten werden die Ribbons mittels Niederhalter auf die Zellenoberfläche gedrückt.

Dieser Niederhalter ist mitfahrend, um die angestrebte Ausbringung des Stringers von 1200 Zellen/Stunde zu erreichen. Das heißt, sobald der Lötkopf nach oben gefahren ist, taktet das Lötband und der Niederhalter fährt um den Betrag einer Zelle mit, damit sich beim Abkühlen der Lötstelle der Ribbon nicht wieder von der Zelle löst. Nach dem Takten des Bandes fährt der Niederhalter sehr schnell in die Lötposition zurück.

Diese anspruchsvolle Lösung ist nur durch den Einsatz von gesteuerten Antrieben mit Servomotoren möglich.

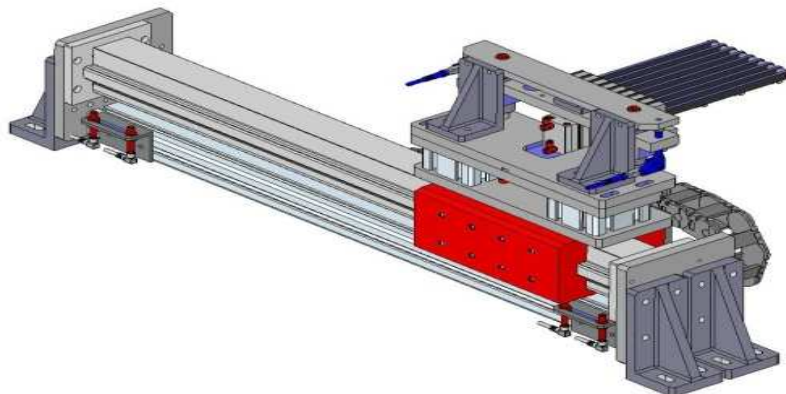


Bild 5.1: Mitfahrender Niederhalter beim Löten

4.5 Gesamtprozess

Mit den Erkenntnissen der Einzeluntersuchungen und der Testergebnisse ist im Lösungsansatz die Konstruktion eines Stringers entstanden.

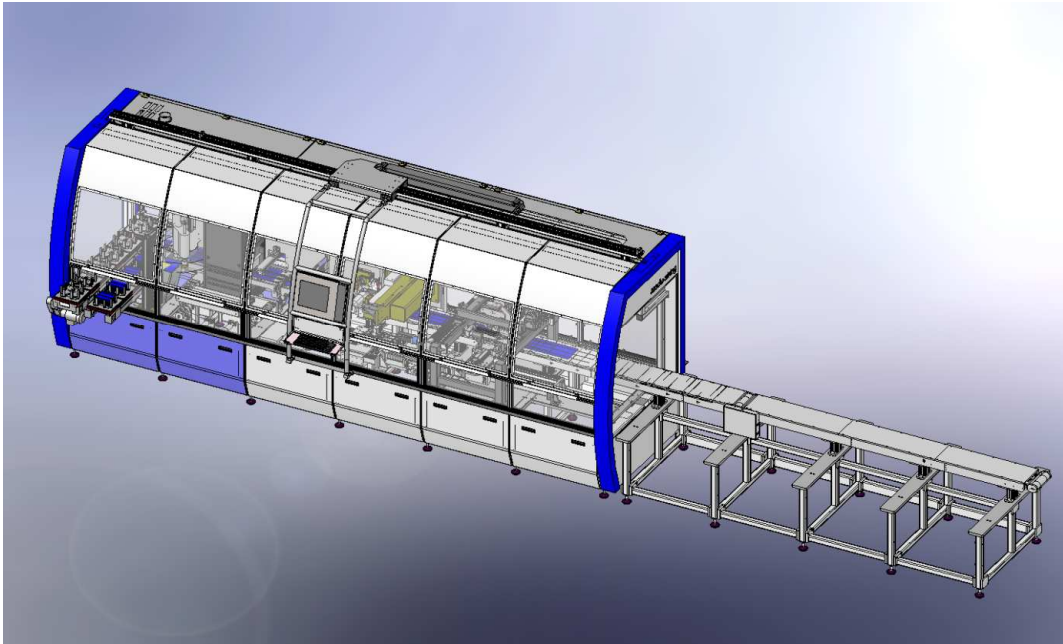


Bild 6: Projektstudie eines Stringers

Eine endgültige Aussage über die erzielbaren Ergebnisse in der Gesamtanlage kann in diesem Erprobungs- und Entwicklungsstadium noch nicht getroffen werden.

Bereits in der hier erarbeiteten Vorphase sind grundsätzliche Einsparpotentiale erkennbar. Dies bezieht sich in erster Linie auf das Aussortieren von schadhaften Solarzellen. Eine weitere Verarbeitung derartiger Zellen vermeidet den Bedarf von Folgematerialien und den sinnlosen Einsatz von Energie und Personal zur Produktion von B-Ware oder Ausschuss.

Ökologisch und ökonomisch erbringt diese Erkenntnis bereits große Vorteile. Weitere Einsparpotentiale sind erreichbar, lassen sich jedoch jetzt nicht quantifizieren.

5. Fazit

Im Rahmen des Projektes „Entwicklung eines innovativen Stringers für die Herstellung von PV-Modulen“ wurden durch die beteiligten Kooperationspartner schwerpunktmäßig kritische Prozessschritte bei der Verbindung von Solarzellen untersucht.

Hierbei standen besonders der sparsame und umweltschonende Umgang mit Ressourcen im Fokus. Im Modul-Herstellungsprozess sind dieses die Solarzelle, der Energiebedarf und der Arbeitszeitaufwand.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz von innovativen Ideen die ökonomischen und ökologischen Ziele, wie unter 4. Ergebnisse des Abschlussberichtes beschrieben, erreichbar sind.

Die Basis für die Spezifizierung, Konstruktion und dem Bau einer neuen, bisher nicht auf dem Weltmarkt verfügbaren Stringergeneration ist somit gelegt.

Das nächste angestrebte Ziel ist die Produktion eines innovativen und wettbewerbsfähigen Stringers.

Erst nach Realisierung und Erprobung eines Prototypen, basierend auf die in dieser Planungs- und Untersuchungsphase gewonnenen Erkenntnisse, können qualitative Aussagen zur finalen Einsparung von Material und Energiebedarf getroffen werden.