



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Schlussbericht nach Nr. 4.1 NKBF 2017 (Sachbericht)

Forschungsvorhaben: 03ZU1115JE

Flexible Produktion elektrochemischer Zellen (HylInnoCells) – E

Verfasser: Dipl.-Ing Klaus Bender

Vorhabenbeteiligte: HylInnoCells

RWTH AACHEN University: ISF, IPT, DAP

FZJ Jülich: IEK 1, IEK 14

KMU: GKN, Precors, Bender

Die Zusammenfassung betrachtet nur die Ergebnisse, die zum Erfolg geführt haben.

1 Vorhabenbeschreibung

Vorhabenthema: WASSERSTOFF: Flexible Produktion elektrochemischer Zellen

Um unsere Gesellschaft klimaneutral zu gestalten, werden in Zukunft große Mengen aus erneuerbaren Energien per Wasserelektrolyse hergestellter Wasserstoff benötigt werden. Aus diesem Grund sollen in HylInnoCells innovative poröse Transportschichten entwickelt werden, welche eine Schlüsselkomponente von Elektrolyseuren darstellen. Diese sollen in einem Additive Layer Manufacturing-Ansatz hergestellt werden, bei dem aus mehreren porösen Schichten eine Sandwichstruktur erzeugt wird. Zusätzlich sollen Beschichtungen für die porösen Schichten entwickelt werden, welche diese vor Korrosion schützen, und die Kontaktwiderstände verringern sollen, um so Elektrolyseure mit höherem Wirkungsgrad sowie höherer Lebensdauer zu erhalten. Zur Auswahl

vielversprechender Werkstoffe wird die additive Prototypen Fertigung benutzt, um schnell beschichtete Strukturen aus verschiedenen Werkstoffen zu erzeugen und zu testen. Die Technologieentwicklung wird im Projekt mit Hinblick auf die spätere kontinuierliche Produktion durchgeführt, mit welcher Produktionskosten reduziert und die Elektrolyseure so schneller wettbewerbsfähig sein können.

1. Voraussetzungen und Expertisen der Bender GmbH:

Bender GmbH Maschinenbau und Streckmetallfabrik:

Bender fertigt seit fast 70 Jahren Spezialmaschinen für die Herstellung von Streckgittern. Weltweit ist sie das einzige Unternehmen, das Streckmetalle auf selbsterstellten Anlagen produziert und gleichzeitig die entsprechenden Maschinen und Anlagen herstellt und vertreibt. Diese Zweigleisigkeit ist die Basis des Erfolges, da so komplett verschiedene Märkte gleichzeitig bedient werden können. Der eigene Werkzeugbau ist in der Lage entsprechende Schneidwerkzeuge in vielfältigen Geometrien aus unterschiedlichsten Werkstoffen herzustellen und dem Projekt zur Verfügung zu stellen.

Dieses Konzept sichert die konstante Weiterentwicklung der Streckmetall-Maschinen, gepaart mit der konstanten Belieferung der Streckmetallkunden mit den innovativsten Maschen-Geometrien. Der eigene Werkzeugbau und hochgenaue videografische Messmethoden mit entsprechender Softwareauswertung sorgen für höchste Qualität, wenn es um außergewöhnliche Maschengometrien geht. Die Bender GmbH ist in beiden Sektoren Marktführer und genießt das Vertrauen der exklusiven Kunden, die großen Teil in der Luft- und Raumfahrtindustrie zu Hause sind. Die Bender GmbH ist nach EN 9100, ISO 9001 und nach ISO 140001 zertifiziert und auditiert. Intensive Zusammenarbeit mit renommierten Elektrolyseherstellern qualifiziert die Bender GmbH auch speziell für dieses Entwicklungsvorhaben, welches im Erfolgsfall weitere Arbeitsplätze in der Gitterfertigung sichern wird.

2. Aufgabenstellung

Entwicklung von dreidimensionalen Strukturen nach der Streckgittertechnologie mit optimalen elektrischen und mechanischen Eigenschaften für die PEM-Elektrolyse.

Übersicht der Arbeitspakete

Die Durchführung des F/E-Verbundvorhabens HyInnoCells wird in 6 Arbeitspakete (APs) unterteilt, um die in den Abschnitten 1 genannten wissenschaftlich-technischen Ziele zu erreichen. In 5 APs arbeitet Bender aktiv mit.

AP 1 - Werkstoffidentifikation

In AP 1 wird eine Anforderungsanalyse hinsichtlich der Werkstoffe für Substrat und Beschichtung durchgeführt. Auf Basis dieser Analyse werden mögliche Werkstoffe für Substrate und Beschichtungen identifiziert. Als Basissubstrat ist insbesondere Titan ein geeigneter Werkstoff. Mögliche Alternativen (bspw. Kostengünstigere Edelmetalle) sind hinsichtlich ihrer Eignung zu bewerten. Beschichtungen mit Edelmetallen wie Platin und Iridium erfüllen die Anforderungen hinsichtlich katalytischer Aktivität, niedriger Kontaktwiderstände und hoher Korrosionsstabilität, sind aber aus Kostengründen unbedingt zu vermeiden. Daher sollen in diesem AP neuartige kostengünstigere Beschichtungen von den Partnern evaluiert werden.

AP 2 - Herstelltechnik

Bender identifiziert in AP2 geeignete Herstellverfahren und -abfolgen für die Streckmetallgitter in Hinblick auf die in AP1 identifizierten Werkstoffe sowie auf die geforderten Spezifikationen der

herzustellenden Streckmetallgitter. Neben dem Streckgitterverfahren gibt es weitere Prozesse, wie Kalibrieren, Walzen, Richten, die im Zusammenhang genauer untersucht und an die entsprechenden Materialien adaptiert werden, um ein möglich homogenes Gitterfeld zu erzeugen. Untersucht werden die Schichtdicke und Porengröße der Streckmetallgitter sowie deren geometrische Ausprägung und Form.

AP 3 - Produktion der Probenkörper

In diesem AP werden auf vorhandenen Maschinen (SP 500, SP 750) die feinporösen Strukturmaschen unter Verwendung der im AP 2 ermittelten Daten und Werkzeuge hergestellt und dem Projektpartner ISF zum Verschweißen in geeigneten Größen beigelegt. Dazu müssen vorher entsprechende Werkzeugeinsätze gemäß den Ergebnissen aus AP 1 und AP 2 konstruiert und gefertigt werden.

AP 4 - Beschichtungsversuche

In diesem AP wird versucht das vorher beschichtete Material mit den entsprechen gefertigten Werkzeugen aus AP 2 nachträglich zu verarbeiten. In Gegensatz der nachträglichen Beschichtung versprechen wir uns eine kostengünstige Alternative bei dieser Vorgehensweise. Der Unterschied zum AP 3 besteht darin, dass jetzt bereits beschichtete Vormaterialien verarbeitet werden sollen.

AP 6 - Skalierung

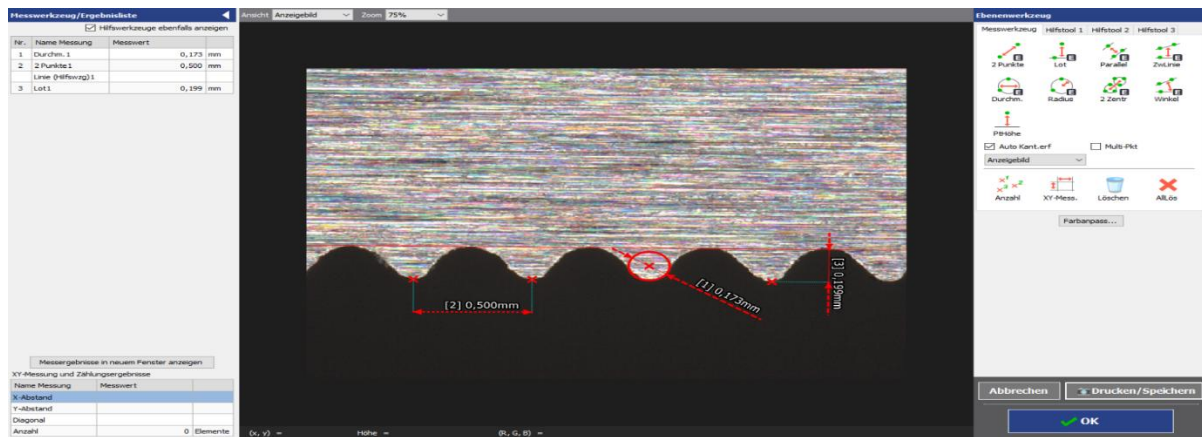
Hierbei wird die Skalierung des Prozesses zur Herstellung von innovativem Streckmetall aus den entwickelten Sondermaschen mit hohen Geschwindigkeiten und größerer Breite betrachtet. Dabei wird der Messerverschleiß, die Gratbildung an den Schnittkanten, die mögliche Materialbreite, sowie die Variation der Hauptwellen Exzenter betrachtet. Des Weiteren wird der dynamische Massenausgleich der Hauptwellen zur Optimierung der Homogenität des Gitterfeldes bestimmt. (Schwingungsreduktion).

Ausgehend von den Arbeitspaketen sind folgende Ergebnisse erzielt worden:

Aufgrund der korrosiven Bedingungen in einem PEM-Elektrolyseur eignet sich ausschließlich Titan der Güte Grade 1 (Reintitan) bzw. Edelstahl (1.4409 welches eine zusätzliche Beschichtung zur Korrosionsstabilität erhalten hat. Da der beschichtete Edelstahl zu Beginn des Projektes nicht vorlag, konzentrierten wir uns auf die Verarbeitung von Titanband, welches eine sehr gute Korrosionsfestigkeit, jedoch aber auch einen sehr hohen Verschleiß Widerstand hat.

Daher wurden nach einigen Stanzversuchen mit HSS-Stahl des Types 1.3343 mit kurzer Standzeit von nur 10.000 Hübem, ausschließlich Hartmetall als Werkzeuggrundlage eingesetzt.

Der Einsatz von Hartmetall der Güte BM 20 von Boelerit hat die Haltbarkeit um den **Faktor 100** auf 1.000.000 Hübe erhöht! Dazu wurde diverse Obermesser auf der Hauseigenen Drahterosionsanlage gefertigt, und auf einem Profilometer Keyence 5200 vermessen.



Auf diese Weise wurden zu Beginn des Projektes zunächst 8 verschiedene Maschengrößen produziert und an die Projektpartner verteilt. In einzelnen waren das:

Die Nomenklatur ist wie Folgt: SWD x LWD x Materialstärke x Vorschublänge

- 0,3 x 0,5 x 0,1 x 0,15 [mm]
- 0,5 x 0,6 x 0,13 x 0,15 [mm]
- 1,0 x 2,0 x 0,2 x 0,2 [mm]
- 1,6 x 2,5 x 0,2 x 0,3 [mm]
- 2,0 x 2,5 x 0,7 x 0,7 [mm] → 08.0922 ISF
- 1,5 x 3,0 x 0,2 x 0,3 [mm]
- 2,0 x 4,0 x 0,5 x 0,8 [mm]
- 6,0 x 12,0 x 0,8 x 1,5 [mm] → 08.09.22 ISF

Nach entsprechenden Untersuchungen haben sich die Teilung 2,5mm und die Teilung 12mm als sehr gut schweißbar herausgestellt.

Generell geht es um die folgenden Anforderungen der GDL die in iterativen Schritten optimiert werden sollen.

- Große Oberfläche → Mehrschichtsystem. Gute Medienverteilung im System. **Erreicht.**
- Niedriger Kontaktwiderstand. Ausreichend Große Kontaktflächen. **Erreicht.**
- Herstellung einer Surface-Résistance Applikation.
- Glatte Oberfläche zur PEM hin. Die Gitter haben zwei unterschiedliche Seiten die unbedingt bei der Applikation beachtet werden müssen.
- Bestmögliche Verteilung des Wassers an die Elektrode bei gleichzeitiger Gasabführung.
- Geringe Kosten. Möglichst Verzicht auf Titanwerkstoffe und Platinbeschichtungen. **Nicht erreicht.**
 - Versuche mit 1.4404. **Keine ausreichende Korrosionsbeständigkeit.**
- Hohe Mechanische Stabilität der GDL. **Erreicht**

- Hohe Planheit und Ebenheit der GDL. Dadurch gleichmäßige Druckverteilung auf PL. **Erreicht.**
- Geometrievariation der Maschen und Stegbreiten. (Maschinenparameter). **Erreicht.**
- Konstruktion und Fertigung von entsprechenden Schneidleisten. Teilung 1,0 mm zur Kontaktierung der Membran. **Teilweise erreicht**
- (Optimierung der Standzeit. Materialauswahl Schneidleiste:
- 1.2379 – **Nicht erfolgreich. Ausfall nach 5 Minuten.**
- 1.3343, - Verbesserung zum 1.2379 jedoch mit niedriger Standzeit von **20 Minuten.**
- **BM20 – Boelerit: Perfekte Ergebnisse mit Standzeiten von ca. 20 Stunden bei 600 Hüben/min.**

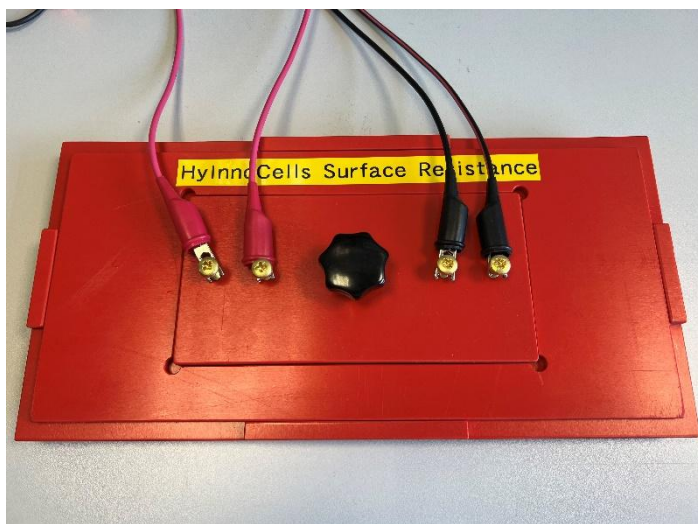
Herstellung der Resistance Messtisches zur Oberflächenwiderstands-Messung:

Vorbereitung des Probenhalters

Abstand der Stromeinleitung: 100mm

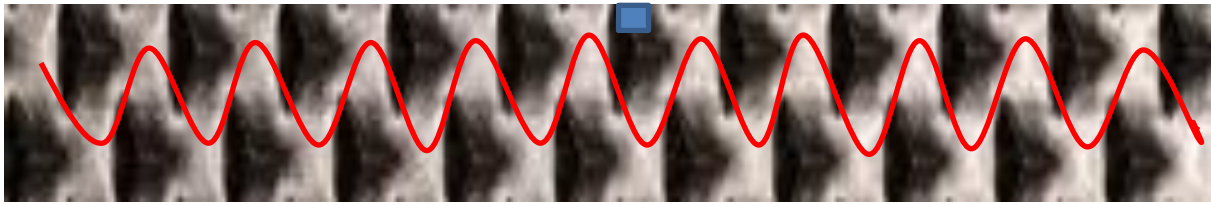


Kontaktierung des Messgerätes:



Da die eingesetzten Streckgitter ein anisotropes Verhalten bezüglich des elektrischen Widerstandes haben, müssen diese in bestimmter Orientierung im Stack eingebaut werden.

Die Streckgitterprobe wird durch den Elektrodenhalter fixiert. Die Kontaktplatte wird zur Messung auf die Probe gelegt. (4-Punkt-Messung).

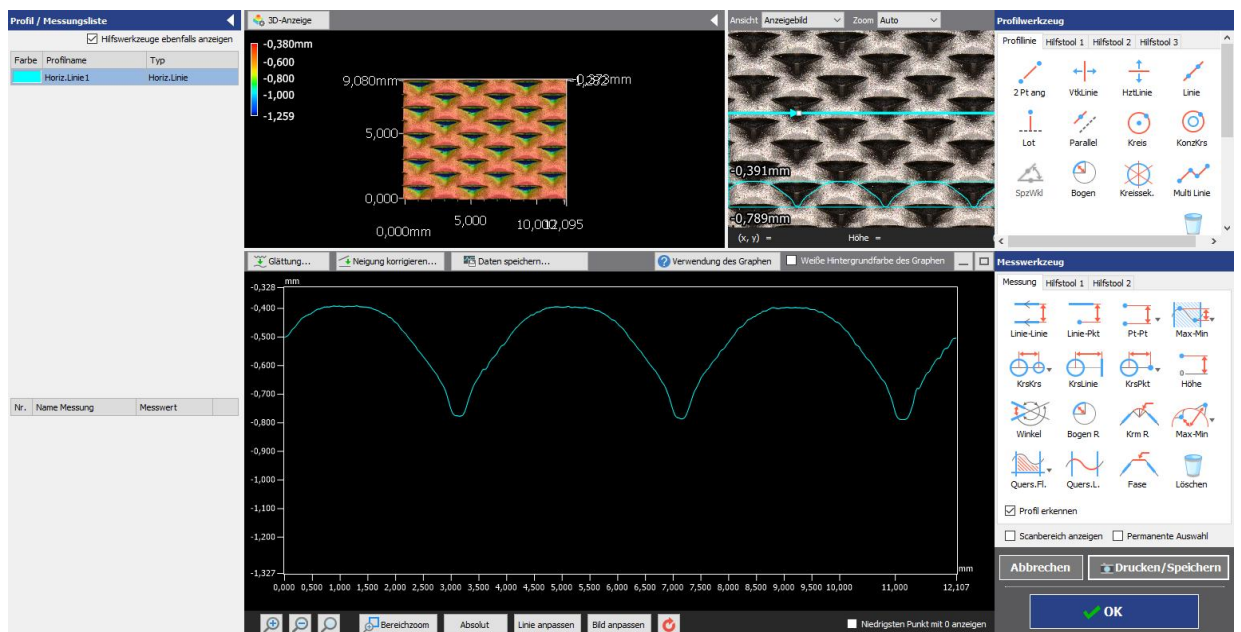


Ermittelte Werte sind somit Milliohm / Square (Hoher Widerstand)



Ermittelte Werte sind somit Milliohm / Square (Niedriger Widerstand)

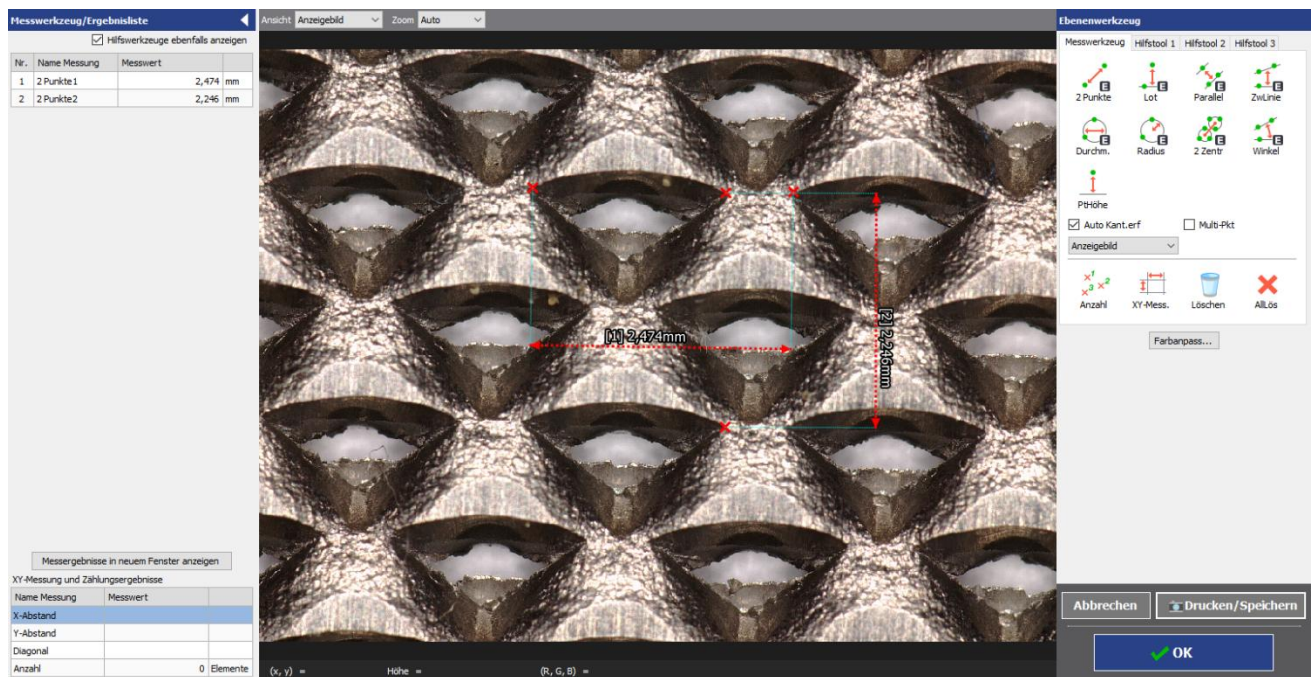
- Da das Verhältnis von SWD und LWD nicht festgelegt ist, und von mechanisch-technologischen Kennwerten des Vormaterials abhängt, gibt es keine eindeutige Beziehung der geometrischen und somit daraus folgenden elektrischen Werte eines Streckgitters.
- Ist ein Wert bekannt, lässt sich der andere Wert nur Grob errechnen.
- Fazit: **Es müssen immer beide Richtungen gemessen werden.**
- **Die besten Ergebnisse mit 1,55 mOhm/m² und 3,14 mOhm/m² wurden mit einer Teilung von 4 mm erzielt.**



- Steckbrief der Ersten optimierten Maschenparameter T4.
- LWD-Teilung nominal: 4,0 mm:
- Maschenform: Typ Raute
- Material: Titan Grade 1
- SWD: 2,016 mm
- LWD: 4,035 mm

- Vormaterialdicke: 0,5 mm
- Stegbreite: 0,8 mm (Vorschub zwischen zwei Maschen)
- Streckgitterdicke: 0,886 mm
- El. Widerstand-> SWD: 3,140 milliOhm/m²
- El. Widerstand-> LWD: 1,555 milliOhm/m²
- Kontaktierungsfläche: ca. 18 %

Es folgten nun kleiner Geometrien, von denen die Teilung 2,5 mm vielversprechend ist:



Der sogenannte „Flat Spot“ führt zu einer sehr guten Stromübertragung zur PEM und damit zu einem erhöhten Wirkungsgrad.

Steckbrief der optimierten Maschenparameter T 2,5

LWD-Teilung nominal: 2,5 mm:

Maschenform: Typ Raute

Material: Titan Grade 1

SWD: 2,246 mm

LWD: 2,47 mm

Vormaterialdicke: 0,7 mm

Stegbreite: 0,7 mm (Vorschub zwischen zwei Maschen)

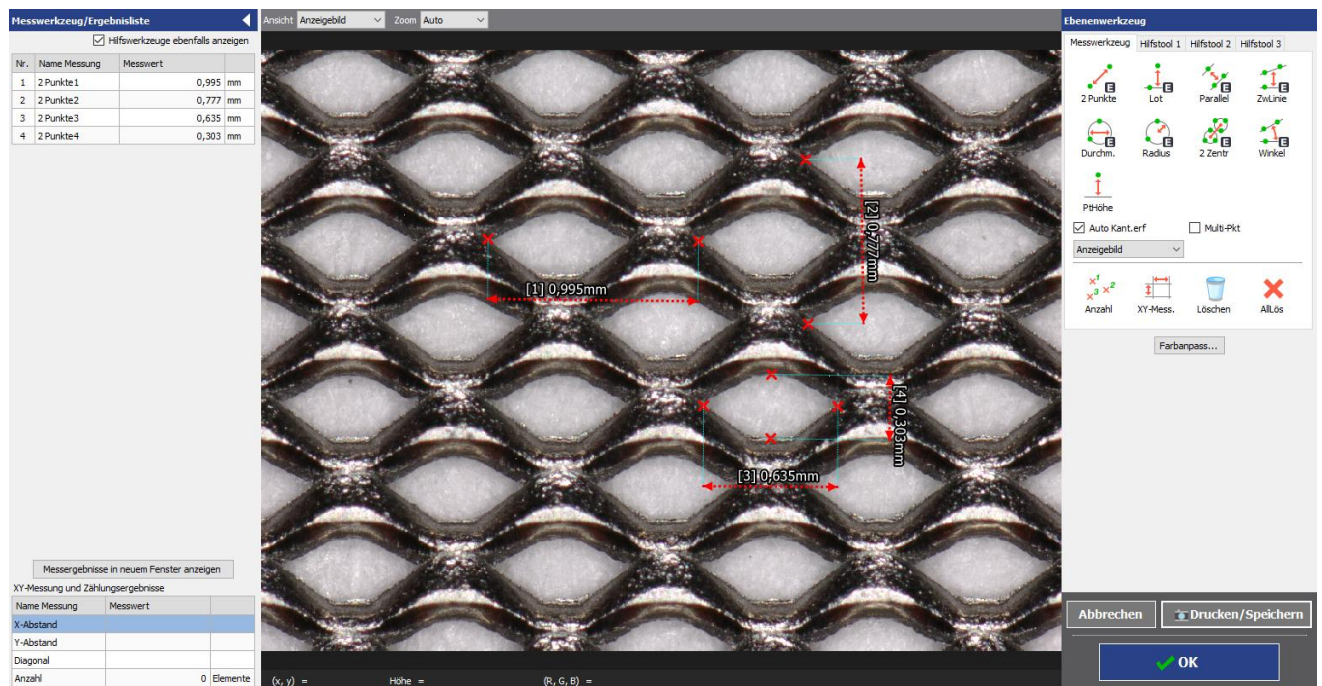
Streckgitterdicke: 0,834 mm

El. Widerstand-> SWD: 2,369 milliOhm/m²

El. Widerstand-> LWD: 1,460 milliOhm/m²

Kontaktierungsfläche: ca. 22%

Im weiteren Verlauf wurde die Teilung 1,0 mm untersucht:



Steckbrief der Maschenparameter

LWD-Teilung nominal: 1,0 mm:

Maschenform: Typ Raute

Material: 1.4404 / 316 L

SWD: 0,77 mm

LWD: 0,995 mm

Vormaterialdicke: 0,2 mm

Stegbreite: 0,2 mm (Vorschub zwischen zwei Maschen)

Streckgitterdicke: 0,241 mm

El. Widerstand-> SWD: 13,76 milliOhm/m²

El. Widerstand-> LWD: 9,968 milliOhm/m²

Kontaktierungsfläche: ca. 12 %

Alle Gitter wurden auf unserer Maschine des Typus SP 500 hergestellt.

Materialeinlaufseite:

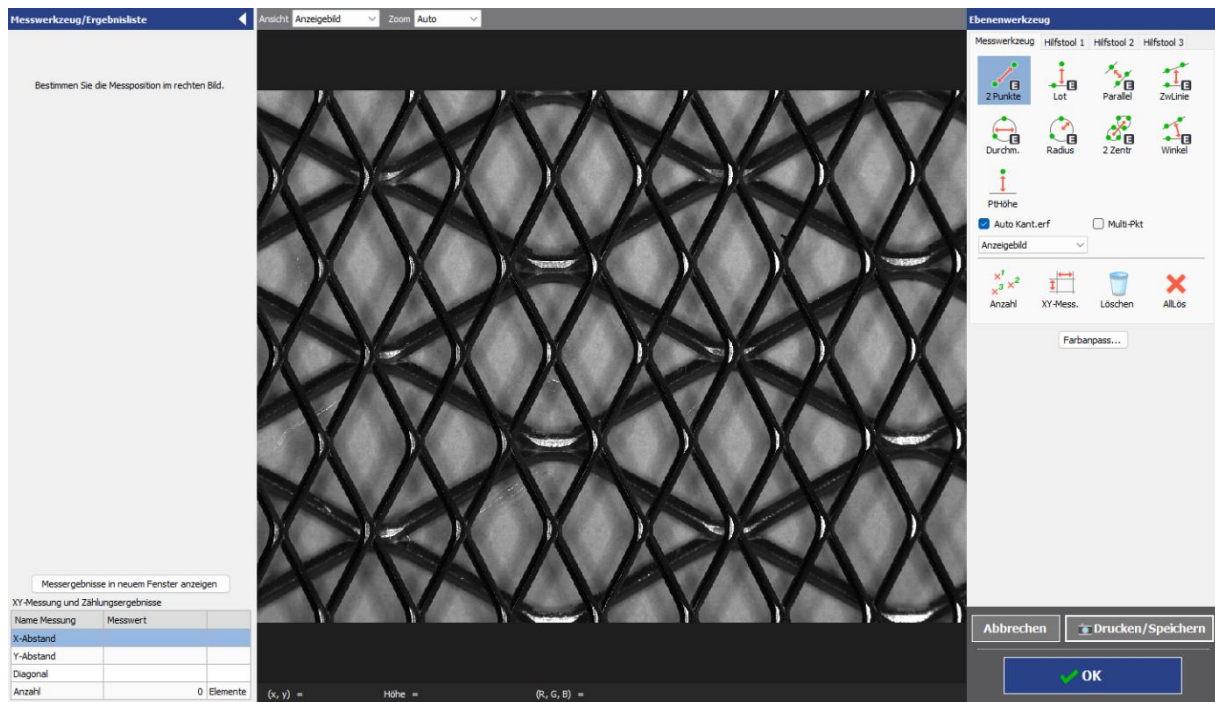


Auslaufseite:

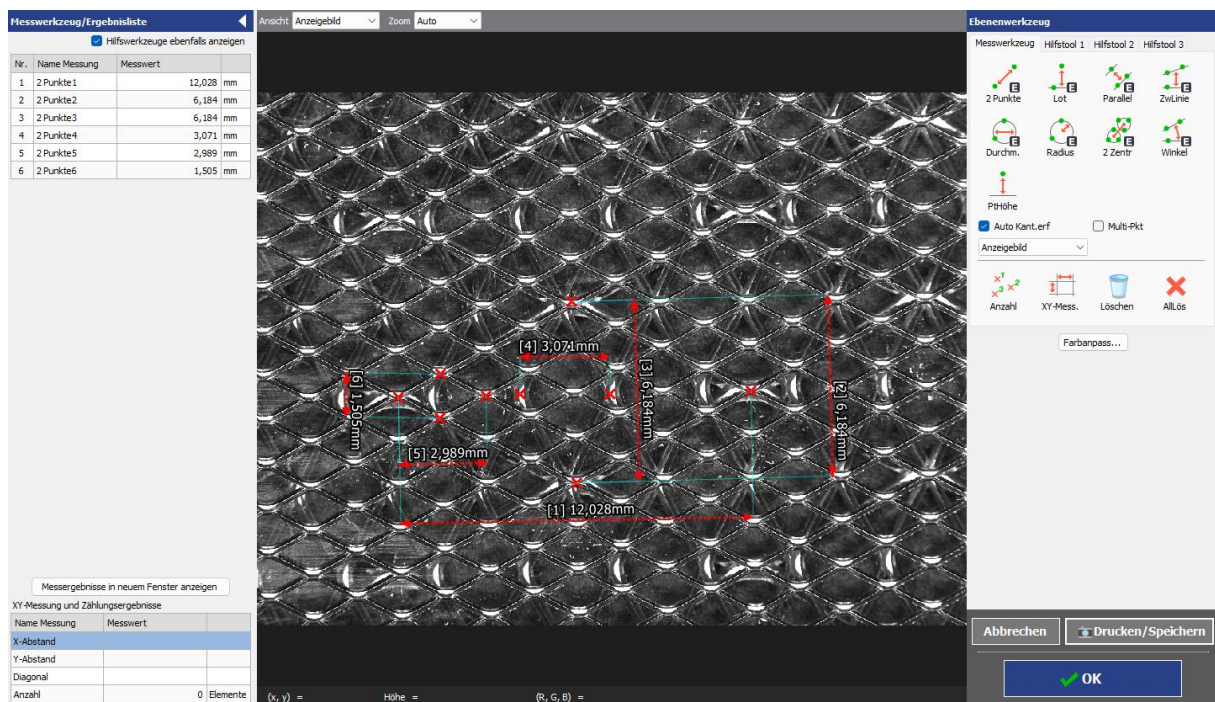


Nach den Einzeluntersuchungen sind nun die Maschengrößen speziell ausgewählt worden um ein kreuzlagiges Verschweißen bei ISF u gewährleisten. Dabei ist die Teilung des Sublayers die SWD der Folgelage.

Beispiel: Teilung 6 x 12 auf 3 x 6 [mm]



Teilung 6 x 12 auf 3 x 6 auf 1,5 x 3,0



Die drei Lagen der Gitter wurden zum besseren verschweißen beim ISF entwickelt. Dabei sind die Kreuzungspunkte zur homogenen KE-Verschweißung, die beim ganzzahligen vielfachen der Teilung und kurzen Diagonale automatisch entstehen entscheidend.

Des Weiteren wurden noch die Druckfestigkeiten der Verbünde und der einzelnen Gitter untersucht.

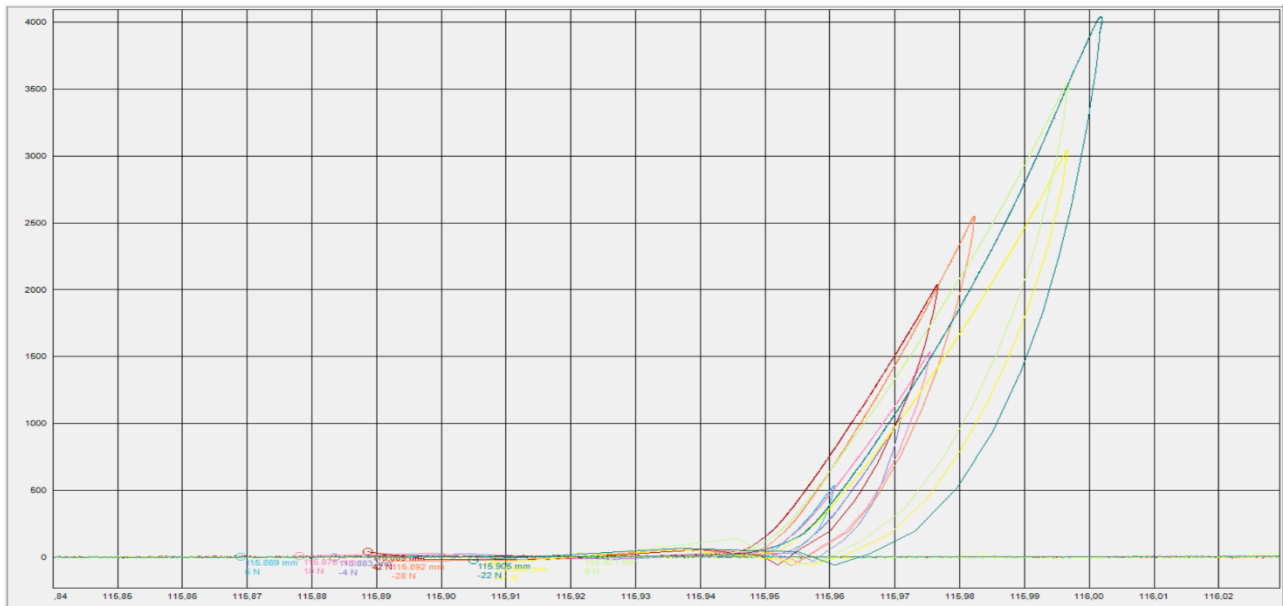
Die Federsteifigkeit, bzw. Elastizität der Gitter ist für eine gleichmäßige Kontaktierung der PEM-Membran von entscheidender Bedeutung.

Arbeitsplatz an der Ai 15-Servopresse



- Generelle Informationen zur Berechnungsgrundlage:
- Probengrößen: 25mm x 25mm => 625 mm²
- Druck [N/mm² bzw. MPa] - Kraft pro Fläche (1 bar entspricht 1 * 10⁵ Pa)
- Presskraft: Druck:
- 500N 500N / 25mm² = 0.8 MPa = 08 bar
- 1000N 1000N / 25mm² = 1.6 MPa = 16 bar
- 1500N 1500N / 25mm² = 2.4 MPa = 24 bar
- 2000N 2000N / 25mm² = 3.2 MPa = 32 bar
- 2500N 2500N / 25mm² = 4.0 MPa = 40 bar
- 3000N 3000N / 25mm² = 4.8 MPa = 48 bar
- 3500N 3500N / 25mm² = 5.6 MPa = 56 bar
- 4000N 4000N / 25mm² = 6.4 MPa = 64 bar

Auszugsweise habe ich die T6 aufgeführt.



- Die vorläufige Interpretation ergibt folgendes:
- Maschenhöhen haben entsprechende Auswirkung auf den Einsatz der Druckverlaufskurve.
- Umformgrade der einzelnen Maschen spiegeln sich im Gradienten der Druckkurven wider
- - Steifigkeit des Ersatzfedermodells steigt an). Tendenziell weisen kleine Teilungen ein steiferes Umformverhalten auf.
 - möglicherweise bedingt durch Kaltverfestigungen: Gleitebenen in Können gleiten bis zum Umformprozess und stoßen dabei auf Korngrenzen
 - Erhöhung der dann bestehenden Versetzungsdichte erhöhen die benötigte Energie zur weiteren Umformung, welche sich dann in der Federersatzmodell als eine steigende Federsteifigkeit (steigender Gradient der Druckkurve) äußert.

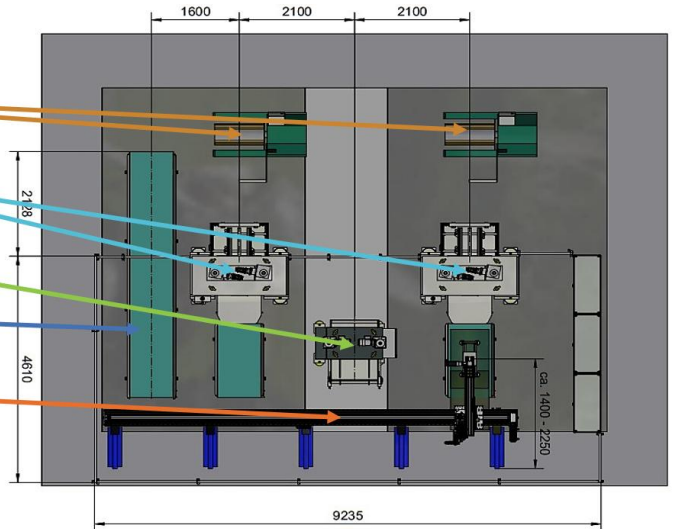
- Orientierung der Stack Belegung:

Die Orientierung über Kreuz bzw. eine parallele Überlappung zeichnen keine Unterschiede in der kumulierten Federsteifigkeit des Ersatzsystemes wieder. Zu erkennen sind lediglich ein früherer Einsatz, welcher durch einen höheren Gesamtaufbau bedingt sein kann, da es unter Umständen zu Knoten-Knoten Überlappung in der kreuzenden Orientierung kommen kann.

Skalierung AP6.

In diesem Arbeitspaket geht es um die Entwicklung eines Serientauglichen Prozesses für eine möglichst kostengünstige Herstellung der optimierten Gitter. Im Einzelnen sind folgende Arbeitsschritte notwendig. 1-5

Auflistung der wesentlichen Produktionsschritte:



Auf diese Weise können pro Jahr ca. 375.000 Gitter für einen Siemens Silyzer 300 hergestellt werden.

■ Produktionswerte:

- Gitterdaten:

- Gemischte SWD: 3,0 mm
- Vorschub Durchschritt: 0,4 mm
- Gitterlänge: 1500 mm
- Gitterbreite 411 mm

- Maschinendaten

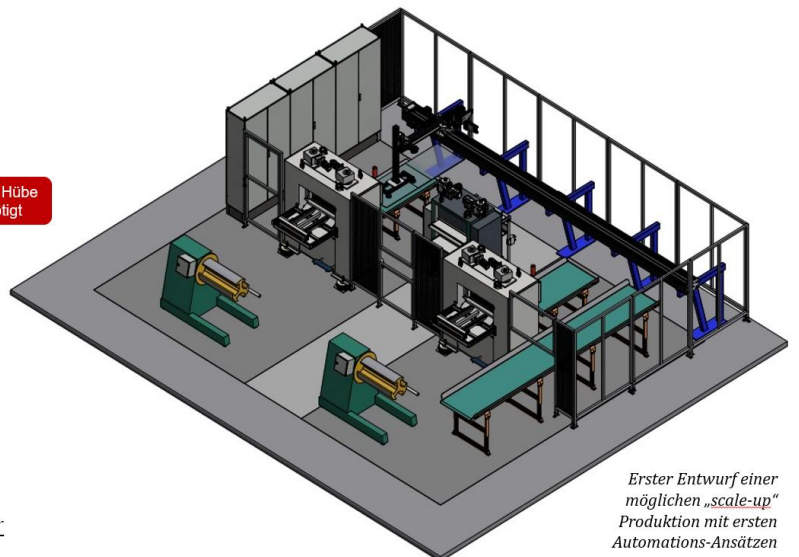
- **Geschwindigkeit:** $500 \frac{\text{Hübe}}{\text{Minute}}$
- $$\Leftrightarrow \frac{500 \frac{\text{Hübe}}{\text{Minute}}}{\frac{2 \frac{\text{Hübe}}{\text{SWD}}}{\frac{1500 \frac{\text{Gitter}}{\text{mm}}}{3,00 \frac{\text{mm}}{\text{SWD}}}}} = 0,5 \frac{\text{Gitter}}{\text{min}}$$

Pro Masche werden zwei Hübe (SWD = 2 · Hub) benötigt

Bei zwei Maschinen $\rightarrow 0,5 \frac{\text{Gitter}}{\text{min}} * 2 = 1 \frac{\text{Gitter}}{\text{Minute}}$

UPSCALING

$\rightarrow 120 \frac{\text{Gitter}}{\text{h}}$
 $\rightarrow 120 \frac{\text{Gitter}}{8\text{h}} * 8 \frac{\text{h}}{\text{Schicht}} = 600 \frac{\text{Gitter}}{\text{Schicht}}$
 $\rightarrow 120 \frac{\text{Gitter}}{\text{Schicht}} * 85\% \text{ Effektivität} \approx 500 \frac{\text{Gitter}}{\text{Schicht}}$
 $\rightarrow 500 \frac{\text{Gitter}}{\text{Schicht}} * 3 \frac{\text{Schichten}}{\text{Tag}} = 1500 \frac{\text{Gitter}}{\text{Schicht}}$
 $\rightarrow 1500 \frac{\text{Gitter}}{\text{Schicht}} * 250 \frac{\text{Arbeitstage}}{\text{Jahr}} = 375000 \frac{\text{Gitter}}{\text{Jahr}}$



Erster Entwurf einer möglichen „scale-up“ Produktion mit ersten Automations-Ansätzen

Unter Berücksichtigung der Wasserstoffstrategie müssten für eine Leistung von 10 GW ca. 6,6 Mio. Gitter pro Jahr produziert werden.

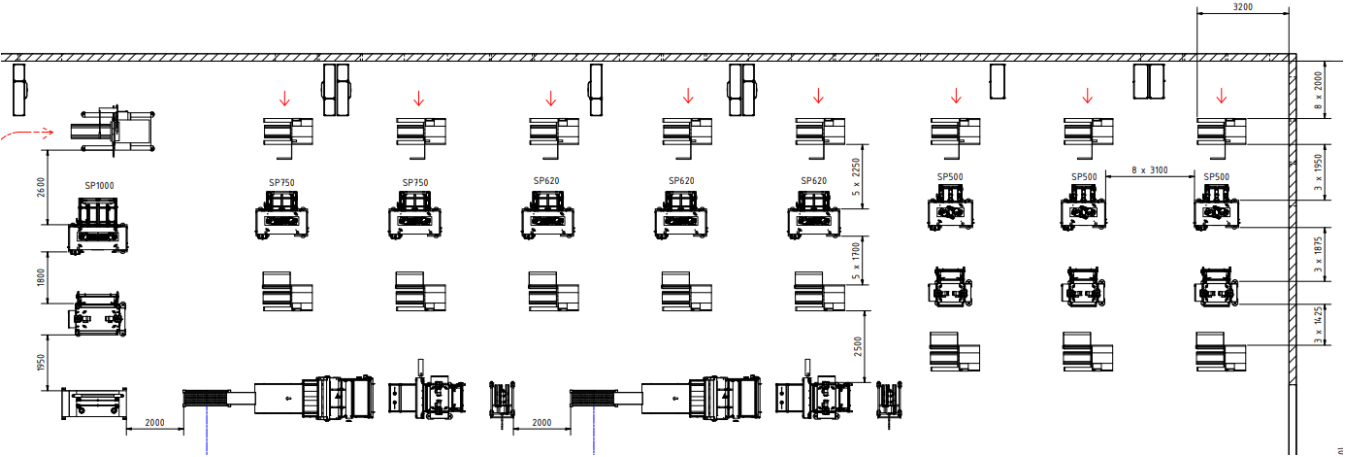
Es wird also ein weiterer Automatisierungsansatz benötigt.

Erster Entwurf einer Roll 2 Sheet Produktionslinie, bestehend aus

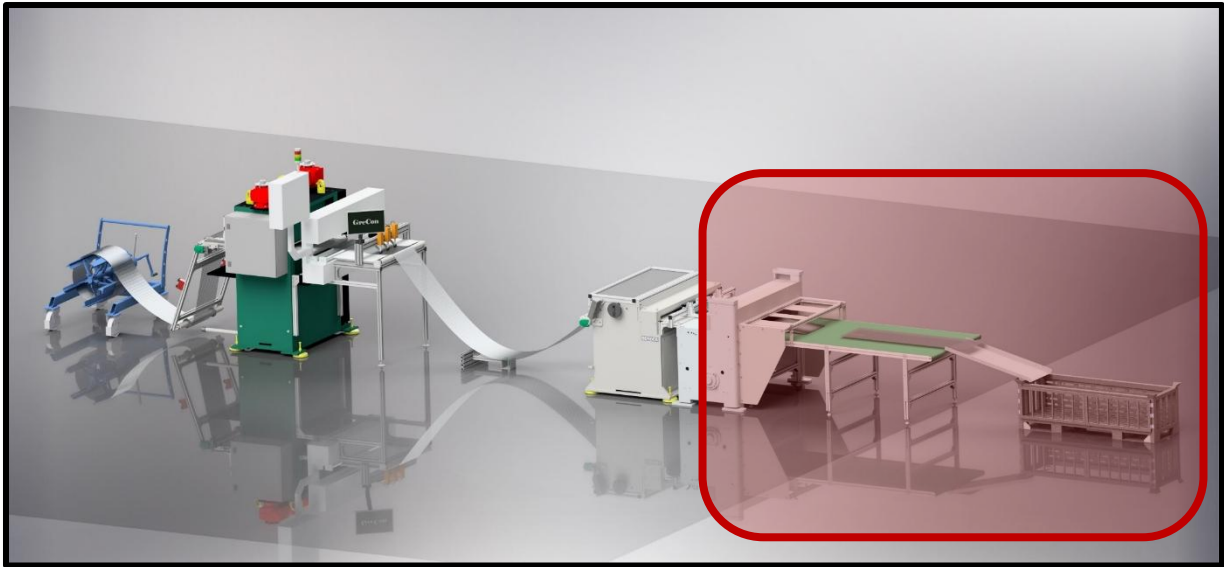
Abwickler, Kallibrierung, Ablängschere und Stacker.



Bei dieser Version können mehrere SP-Maschinen eine Finishing-Line bedienen.



Die Produktion kann dadurch von ca. 375.000 Gittern pro Jahr auf ca. 890.000 Gittern pro Jahr gesteigert werden !



Handhabung der Gitterbleche in der Vorbereitung zum Waschprozess

- Exakte Stapelung in Aufnahme-Trays für Waschanlage in die Warentransportträger

Anforderung an den Prozess:

- Genaue Positionierung der Streckgitter innerhalb des Behälters (**Mesh-in-Mesh storage**)
- Vollständige Automatisierungsschnittstellen (Monitoring des Füllstandes, des Gewichtes, der Maschengometrie etc.)
- Beschädigungsfreie Handhabung insbesondere mit Bezug auf Halbmaschen an den Rändern
- **Zielbild der Lösung**
- Tests des ursprünglich pragmatisch gewählten Abstapel-Prozesses der Streckgitter zeigten unbefriedigende Ergebnisse insbesondere in der Genauigkeit der Handhabung, als auch entsprechende Risiken für Beschädigungen an den Kanten der Gitter.
- Zudem existiert ein erhöhtes Risiko durch das Ableiten des Materials über ein Ablaufblech in das Behältnis (Tray) für Verunreinigungen / Kontaminierung durch Fremdkörper (erfahrungsgemäß sogar abriebe des Ablaufbleches → Fremdatome)
- **Hauptanforderung: Prozesssicherheit und Produktivität als Kernaspekt**

Beschreibung des automatisierten Abstapelprozesses der gefertigten und kalibrierten Gitter als zentrales Projektergebnisses.

- **Übernahme der Streckgitter von der Produktionslinie:**

Die aus der Produktionslinie kommenden Streckgitter werden am Ende des Gurtförderers von der Stapelmaschine übernommen. Eine Greifzange mit einer motorisierten Einzugsachse zieht das Gitter über beidseitig angebrachte Führungsleisten ein, um es korrekt auszurichten.

- **Aufnahme und Abhebung der Streckgitter:**

Sobald das Streckgitter über dem Transportbehälter korrekt positioniert ist, wird es durch ein speziell entwickeltes Greifsystem erfasst. Dieses System hebt das Gitter mit einer motorisierten Z-Achse der Führungsleisten ab, sodass das Gitter frei über dem Behälter schwebt.

- **Eigenschaften des Greifsystems:**

Das Greifsystem ist auf beiden Seiten mit Greifzangen ausgestattet, die pendelnd aufgehängt sind. Diese Aufhängung ermöglicht es, den Durchhang des Gitters flexibel in Winkel und Länge auszugleichen, wodurch potenzielle Beschädigungen des Gitters vermieden werden.

- **Stapelvorgang:**

Nach dem Anheben des Streckgitters öffnen sich die Führungsleisten, um den Zugang zum Behälter freizugeben. Die Z-Achse senkt das Greifsystem in den Behälter ab, setzt das Gitter vorsichtig auf den Behälterboden ab und öffnet die Greifzangen, sodass das Gitter vollständig abgelegt werden kann.

- **Anpassung und Regelung des Stapelaufbau:**

Der Stapelvorgang wiederholt sich, wobei die Z-Achse kontinuierlich die Höhe des sich aufbauenden Stapels ausgleicht. Sobald die Sollstückzahl im Behälter erreicht ist, stoppt der Abstapelprozess. Nach dem Behälterwechsel beginnt der Beladevorgang erneut.

- **Individuelle Parametereinstellungen (Automatisierung):**

Am Bedienpanel / gesteuert durch eine Netzwerkintegration sowie Schnittstelle zu Auftragsdaten können die Anzahl der zu stapelnden Gitter und weitere Parameter wie Positionen, Stückzahl, gewünschte Masche und Materialstärke voreingestellt werden, um den Prozess an die jeweiligen Anforderungen anzupassen.



Die Integration eines automatischen Stapelsystems führt zu einer weiteren Erhöhung auf ca. 980.000 Gittern pro Jahr. Die Entwicklungen innerhalb der Letzten 3-4 Jahre und die damit verbundenen Erfahrungen haben dazu geführt, dass ich eine neue Halle für die Produktion von diesen Gitterelektroden gebaut habe. Mittlerweile arbeiten dort 8 Personen nach den neuen in HyInnoCells gewonnenen Ergebnissen und Konzepten.



Hallenfoto Werk 2 Bender GmbH, (Stand Oktober 2024)

Vielen Dank für die großartige Unterstützung in diesem Projekt.

Dipl.-Ing. Klaus Bender

MD of Bender GmbH