- Abschlussbericht zum Projekt HyInnoCells -

- Teil I: Kurzbericht -

Zuwendungsempfänger:	**Fraunhofer IPT**
Förderkennzeichen:	**03ZU1115JA**
Laufzeit des Vorhabens:	**01.10.2021 - 30.09.2024**
Berichtszeitraum:	**01.10.2021 - 30.09.2024**

1. Stand der Technik

Poröse Transportschichten (kurz PTL) in der PEM-Elektrolyse haben die Aufgabe, die Medien gleichmäßig innerhalb der Elektrolysezelle zu verteilen, die Zelle mechanisch abzustützen sowie einen homogenen Stromdurchfluss sicherzustellen. Die Entwicklung im Bereich der PTLs konzentriert sich auf die Optimierung der vier aktuell verwendeten Hauptkonzepte: PTL aus Streckmetall, Titanfilze, perforierte Folien und pulverbasierte Sinterkörper. Die Beschichtung von PTL-Materialien mit Edelmetallen wie Platin oder Iridium und auch metallischen Hartstoffschichten, z.B. TiN hat sich als effektive Methode zur Sicherstellung eines dauerhaft niedrigen Kontaktwiderstands erwiesen, was für die Effizienz des Elektrolyseprozesses von Bedeutung ist. Darüber hinaus wird die Verwendung von mehrlagigen PTL-Strukturen, die stoffschlüssig durch geeignete Fügeverfahren verbunden sind, als Ansatz zur weiteren Reduktion des Kontaktwiderstands angesehen. Dies trägt nicht nur zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit bei, sondern erhöht auch die Lebensdauer der Systeme.

Eine der größten Herausforderungen im Bereich der PTL bleibt die Hochskalierung der einzelnen Produktionsprozesse, um die Produktionskosten und damit die Wasserstoffgestehungskosten signifikant zu senken. Daraus ergibt sich die Aufgabe, passende Produktionstechnologien für die Hochskalierung zu identifizieren und zu bewerten, sowie die Skalierung der Technologien auf in industrielles Niveau vorzubereiten.

2. Wesentliche Projektergebnisse

Im Rahmen des Projektes hat das Fraunhofer IPT ein Bewertungstool zur Analyse verschiedener Konzepte der PTL-Produktion für die Hochskalierung entwickelt. Die gestellten Bewertungskriterien basieren auf den Anforderungen unterschiedlicher, realer Elektrolysebetriebe. Die Daten für die Bewertung wurden zusammen mit den Projektpartnern erarbeitet. Durch eine auf die großmaßstäbliche und großflächige PTL-Fertigung bezogene Nutzwertanalyse, wurde festgestellt, dass aufgrund des geringem Flächenbedarfs und der hohen Zykluszeiten der Fertigungsalternativen insbesondere die Streckmetallfertigung als geeignet für die Skalierung gilt. Die Daten für die Bewertung wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern erarbeitet. Die positive Bewertung der Streckmetalltechnologie für die Großserienfertigung von PTL bildete die Grundlage für die Planung und Auslegung einer hochskalierten PTL-Fertigung.

Darauf aufbauend wurde ein Berechnungstool entwickelt, mit dem auf der Basis von spezifischen PTL-Geometrien und Stückzahlanforderungen die benötigten Fertigungskapazitäten berechnet werden können. Zu den Eingabedaten für die Berechnungen gehören das angestrebte Marktvolumen, die Anzahl der genutzten Streckmetalllagen sowie die Größe und Leistung der Einzelzelle. Für eine Elektrolyseurproduktionskapazität von 1 GW

pro Jahr ergebt sich beispielsweise mit einer Leistungsdichte von 4 W/cm² eine benötigte aktive Fläche von 26.600 m². Je nach Zellgröße erfordert dies die Produktion von 50.000-270.000 PTLs pro Jahr (Zellgröße 5.600 cm² bzw. 1.000 cm²).

Auf Basis der ermittelten Fertigungskapazitäten wurde für den Fall der industriellen Größe von 5.600 cm² eine Fabrikhalle für die Produktion mehrlagiger Streckmetallstrukturen als PTL konzipiert. Eine schematische Darstellung der insgesamt 4 benötigten Streckmetalllinien mit einer nachgeschalteten Schweißlinie ist in Abbildung 1 dargestellt.

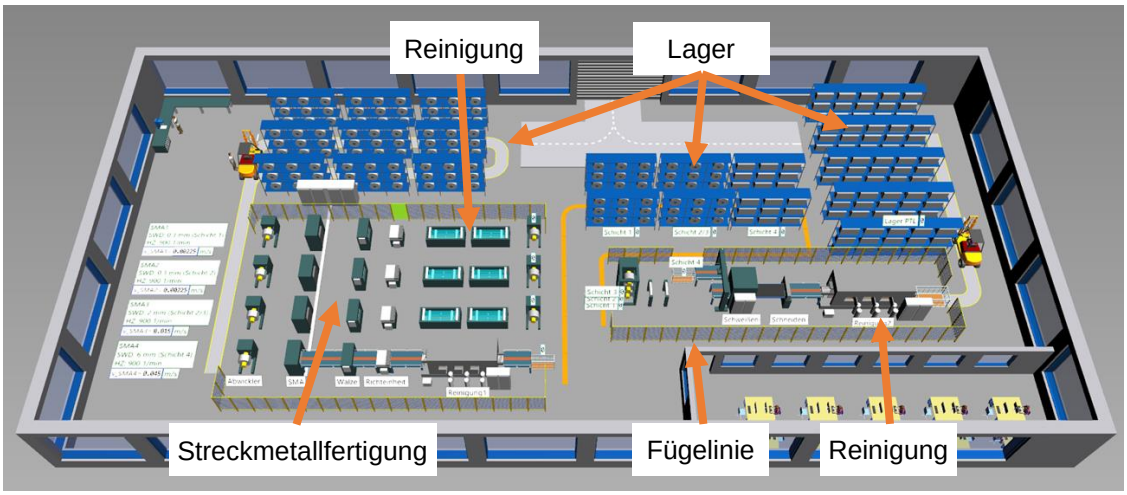


Abbildung 1 Konzept einer Fertigungslinie für die hochskalige PTL-Fertigung

Im Rahmen des Projektes HyInnoCells wurde die Streckmetalltechnologie als Fertigungstechnologie für die Produktion der PTL identifiziert, die sich sowohl durch Skalierbarkeit als auch durch Wirtschaftlichkeit auszeichnet. Das entwickelte Fertigungskonzept kann als Vorlage für die weitere Skalierung der Elektrolyseurfertigung genutzt werden.

Zukunftscluster H_2 Wasserstoff

- Abschlussbericht zum Projekt HyInnoCells -

- Teil II: Eingehende Darstellung -

Zuwendungsempfänger: **Fraunhofer IPT**

Förderkennzeichen: **03ZU1115JA**

Laufzeit des Vorhabens: **01.10.2021 - 30.09.2024**

Berichtszeitraum: **01.10.2021 - 30.09.2024**

CLUSTERS 4 FUTURE
Innovationsnetzwerke für unsere Zukunft

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis iii

1. Eingehende Darstellung der Ergebnisse 4
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 13
3. Angemessenheit und Notwendigkeit der geleisteten Aufwände 13
4. Nutzung und Verwertbarkeit der Ergebnisse 13
5. Fortschritt des Stands der Technik während der Projektlaufzeit 14
6. Veröffentlichung der Ergebnisse 14

Abkürzungsverzeichnis (Erweiterung)

PEM	Proton-Exchange-Membrane
PTL	Porous-Transport-Layer

1. Eingehende Darstellung der Ergebnisse

1.1. Arbeitspaket 2 : Identifikation der Herstelltechnik (IEK-1, DAP, IPT, PEM, Melicon, Bender, GKN)

Im Rahmen des Arbeitspaketes untersuchte das Fraunhofer IPT geeignete Fertigungstechnologien für Poröse-Transport-Schichten (PTL) in PEM-Elektrolyseuren. Das Ziel der Arbeiten in diesem Arbeitspaket bestand darin, zusammen mit den Projektpartnern die im Projekt verwendeten Technologien im Hinblick auf ihre Qualitätsaspekte und ihr Potenzial zur Skalierung zu bewerten und miteinander zu vergleichen.

Im ersten Projektjahr konnten durch die Begleitung des Projektvorhabens wichtige Prozessparameter in den verschiedenen Fertigungstechnologien identifiziert werden, darunter Zykluszeiten, Produktionskosten sowie die Leistung und Lebensdauer der PTL. Erste Erkenntnisse zur Hochskalierung wurden während der Projektbegleitung und durch die Analyse der Einzelprozesse gewonnen:

Streckmetalle eignen sich gut zur Hochskalierung aufgrund ihrer kontinuierlichen Fertigung und geringen Prozesszeiten. Der fortgeschrittene Herstellungsprozess und die niedrigen Bauteilkosten machen sie ermöglichen einen schnellen Eintritt in den Elektrolyseurmarkt. Eine automatisierte optische Prüfung sichert die Bauteilqualität, indem Defekte in der Gitterstruktur frühzeitig erkannt werden. Als herausfordernd kann die anforderungsgerechte Einstellung der Porosität und Permeabilität angesehen werden. Die Investitionskosten für spezialisierte Streckmetallanlagen liegen bei etwa 300.000-400.000 €.

Additive Fertigungsverfahren wie das **LPBF**, eingesetzt vom DAP, sind vorteilhaft für Rapid-Prototyping, da keine designspezifischen Werkzeuge benötigt wird. Dies bietet Flexibilität, ermöglicht die Produktion verschiedener PTLs auf derselben Anlage und erlaubt eine präzise Einstellung der Porosität und Permeabilität. Eine Skalierung erfordert jedoch die Parallelisierung der Anlagentechnik mit erheblichen Investitionskosten von über 500.000 € pro LPBF-Anlage. Eine weitere Hürde stellt die Skalierung der Transportschichten in der Größe dar. Hierbei ist die Größe des Pulverbetts der limitierende Faktor. Konventionelle Anlagen weisen ein Arbeitsraum von 15.000-20.000 cm^3 auf. Zusätzlich erschweren die geringen Aufbauraten von 10-30 cm^3/Std bei Einzellasersystemen und 250-300 cm^3/Std bei Multilasersystemen den Einsatz für die Großserienfertigung.

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden Vorbereitungen für den Aufbau eines Bewertungstools getroffen, mit dem unterschiedliche Technologien zur Fertigung poröser Transportschichten anwendungsspezifisch evaluiert werden können. Ziel des in AP6 fertiggestellten Tools ist es, die für einzelne Produktionsszenarien die am besten geeignete Produktionstechnologie für die Transportschicht des PEMEL zu identifizieren.

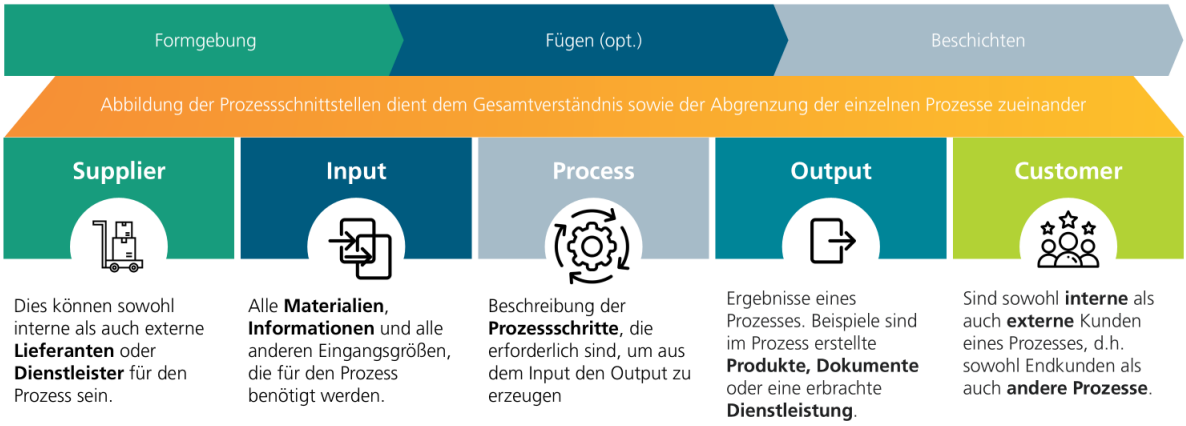
1.2. Arbeitspaket 6: Skalierung der Prozesskette (IPT, PEM, Bender, Melicon, GKN, Precors)

Im Arbeitspaket 6 hat das Fraunhofer IPT auf Grundlage der in Arbeitspaket 2 erzielten Ergebnisse eine erweiterte SIPOC-Analyse (Supplier, Input, Process, Output, Customer) gemeinsam mit ausgewählten Projektpartnern durchgeführt. Eine Übersicht über das Vorgehen ist in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei wurde das Prozessverständnis sowohl für einzelne Prozesse als auch für den gesamten Produktionsprozess vertieft. Die SIPOC-Analyse wurde mit folgenden Projektpartnern durchgeführt:

- Bender GmbH Maschinenbau u. Streckmetallfabrik
- RWTH Aachen University, DAP: Digital Additive Production DAP
- RWTH Aachen University, ISF: Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik
- Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK14)

Preparation of the process chain

SIPOC-Method: Visualisierung der Prozesskette



Prozess Schnittstellen

SIPOC-Methode

Process

Fragen zur Ermittlung der Produktionskosten			Fragen zur Simulation der Prozesskette		
Fragen	**Prototypisch**	**Hochskaliert**	**Fragen**	**Prototypisch**	**Hochskaliert**
Wie hoch sind die **Investitionskosten**?			Welche Anlage/welches Modell wird für den Prozess verwendet?		
Wie hoch sind die **Instandhaltungskosten**?			Wie viel **Hallenfläche** wird für eine Anlage benötigt?		
Welche Anlagen**peripherie** wird benötigt?			Wie hoch ist die **minimale Zykluszeit** pro Maschine und welche Batchgrößen sind möglich?		
Welche **Lebensdauer** besitzt die Anlage?			Wie hoch ist der **Grad der Automatisierung**?		
Wie viele **Mitarbeiter** werden für die Bedienung der Maschinen benötigt?			Wie wird ihr Prozess **hochskalig realisiert** (kontinuierlich / diskontinuierliche, Werkzeugträger / Sheet handling)?		
Wie hoch ist **der Energiebedarf** der Anlage?			Gibt es Reinheitsanforderungen? Wenn ja, wie werden sie erfüllt?		
Werden zusätzliche **Materialien/Werkzeuge** für den Betrieb der Anlage benötigt? Wenn ja, wie hoch sind die Werkzeugkosten und welche Lebensdauer besitzen diese?					

Abbildung 1 Vorgehen SIPOC-Analyse

Aus der SIPOC-Analyse mit der Firma Bender konnten folgende Informationen gewonnen werden:

Der Prozess der Streckmetallfertigung läuft mehrstufig ab. Das Ausgangsblech, in diesem Falle gewalztes Titanblech, wird zunächst gestreckt bevor es gewalzt und gerichtet wird. Das Walzen nach dem Streckmetallprozess dient der Reduktion der Gesamtdicke auf das gewünschte Maß. Bis zu einer Blechdicke von 0,4 mm wird die Streckmetallfertigung als kontinuierlicher Rolle-zu-Rolle-Prozess realisiert. Bei Blechdicken von 0,5 mm und erfolgt die Fertigung gebatcht, d.h. die gestreckten Bleche werden als Tafeln gefertigt. Als Qualitätsparameter konnte neben der Reproduzierbarkeit der Maschenparameter unter anderem die Dickenabweichung bzw. -toleranz identifiziert werden, da der nachgelagerte Schweißprozess hohe Ebenheitsanforderungen an die Streckmetallfertigung stellt.

Parallel dazu wurde eine Methodik entwickelt, um die im Projekt untersuchten Fertigungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung für die Herstellung von PTL-Strukturen zu bewerten. Dabei wurde eine Einteilung in folgende Anforderungs- und Funktionsbereiche vorgenommen:

- Anforderungen aus der Funktion des Massentransportes
- Anforderungen aus der Funktion der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit der PTL
- Anforderungen aus der Funktion der mechanischen Stabilität
- Anforderungen an die chemische Stabilität
- Anforderungen an die PTL in Hinblick auf die Skalierbarkeit der Produktion

Die Anforderungen hinsichtlich des Massentransportes und elektrischer und thermischer Leifähigkeit wurden im Rahmen des Projektes unter den Anforderungen an ein „effizientes System“ zusammengefasst.

Im Rahmen der Analyse wurden spezifische Bewertungskriterien aufgestellt und entsprechend der in der Literatur genannten Relevanz gewichtet. Dabei wurde zwischen den Betriebsarten Differenzdruck- und Gleichdruckbetrieb sowie zwischen Prototypen- und Großserienfertigung differenziert. Die im Modell durchgeführte Evaluation der untersuchten PTL-Konzepte für die Prototypenfertigung ergab, dass gesinterte PTLs, die mittels Folienguss hergestellt werden, die am besten bewertete Lösung darstellen. Abbildung 2 zeigt eine exemplarische Bewertungsmatrix des aufgestellten Tools.

Bewertungsskala: 1 = "Erfüllt"
0 = "nicht Erfüllt"

	Bewertungsfall PTL 17,5 x 17,5 cm²		Konzept Foliengießen		Konzept Streckmetall		Konzept LPBF	
			Bewertung		Bewertung		Bewertung	
M	**Musskriterien**		OK		OK		OK	
M1	Bauraum Produktionsanlage > PTL Größe		OK		OK		OK	
M2	Edelmetallbeschichtung an Anodenseite		OK		OK		OK	
S	**Sollkriterien**	Gewichtung	Maßzahl	Wertungszahl	Maßzahl	Wertungszahl	Maßzahl	Wertungszahl
1.1	Permeabilität > $1x10^{-12}$	0,03	1	0,03	1	0,03	1	0,03
1.2	10µm <= d_{pA} < 13µm	0,09	1	0,09	0	0,00	0	0,00
1.3	d_{pA} < d_{pB}	0,02	0	0,00	1	0,02	1	0,02
1.4	0,25 <= Porosität <= 0,3	0,12	1	0,12	1	0,12	1	0,12
1.5	Taktzeit < 600 Sekunden/PTL	0,1	0	0,00	1	0,10	0	0,00
1.6	Wärmeleitfähigkeit > 4 W/mK	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05
1.7	Zugfestigkeit >= 100 MPa	0,02	1	0,02	1	0,02	1	0,02
1.8	Wasservolumenstrom > 0,185 ml/(min x cm²)	0,12	1	0,12	1	0,12	1	0,12
1.9	Herstellkosten < 222 €/m²	0,19	1	0,19	1	0,19	0	0,00
1.10	Spezifischer Elektrischer Widerstand < 50 mΩ x cm²	0,05						
1.11	Kontaktwiderstand < 25 mΩ x cm²	0,09	1	0,09	0	0,00	1	0,09
1.12	PTL Dicke >= 100 µm	0,12	1	0,12	1	0,12	1	0,12
Wertigkeit				0,83		0,77		0,57

Abbildung 2 Exemplarische Bewertungstabelle für den Vergleich der PTL-Konzepte

Für die Großserienfertigung von PTL ergab die Bewertung, dass aufgrund des begrenzten Bauraums der Fertigungsalternativen nur die Streckmetallfertigung als geeignet angesehen

wurde. In diesem Zusammenhang erwiesen sich die gute Skalierbarkeit, die vergleichsweise geringen Prozesskosten sowie das günstige Ausgangsmaterial (Titan Gr. 1, Rohblech zu ca. 40 €/kg) als wesentliche Einflussfaktoren. Diese positiven Eigenschaften machten die Streckmetalltechnologie zur bevorzugten Option für die Großserienfertigung von PTLs.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde die Planung und Auslegung einer hochskalierten PTL-Fertigung auf Basis der Streckmetalltechnologie vorangetrieben. Zur Unterstützung dieser Planung wurde ein Tool entwickelt, das die exakte Berechnung der benötigten Maschinenanzahl auf Basis spezifischer PTL-Geometrien und Stückzahlanforderungen ermöglicht. Ein Ausschnitt aus dem Berechnungstool ist in Abbildung 3 dargestellt.

Zielszenario			
Kapazität	GW/Jahr	1	
Leistungsdichte	W/cm²	3	5
Benötigte Fläche	m²/Jahr	33333,33333	20000
Durchschnittlich benötigte Fläche	m²/Jahr	26666,66667	

Produktionsszenario		
Arbeitstage	t/Jahr	220
Schichtlänge	std	8
Schichten/Arbeitstag	#/Tag	3
Arbeitsstunden/Arbeitstag	std/Tag	24

Streckmetallanlage		
Hübe pro Minute	#/min	900
Maschinenverfügbarkeit	#	0,9

Use Case		Design 1	Design 2	Design 3
PTL Länge	cm	140	17,5	31,6
PTL Breite	cm	40	17,5	31,6
Aktive Fläche	cm²	5600,0	306,3	998,6
Benötigte Anzahl an PTLs pro J	#/Jahr	47619	870748	267051
Benötigte Zykluszeit pro PTL	sec	359,3	19,6	64,1

Design 1					
Komponente	SWD (Maschenbreite)	Zykluszeit pro PTL	Anlagenanzahl theo.	Anlagenanzahl real	Max. Output pro Jahr
	mm	sec	#	#	#
Schicht 1	0,3	622,2	1,73	2	54.987
Schicht 2	2	93,3	0,26	1	78.553
Schicht 3	2	93,3	0,26		78.553
Schicht 4	6	31,1	0,09		78.553

Design 2					
Komponente	SWD (Maschenbreite)	Zykluszeit pro PTL	Anlagenanzahl theo.	Anlagenanzahl real	Max. Output pro Jahr
	mm	sec	#	#	#
Schicht 1	0,3	77,8	3,96	4	879.799
Schicht 2	2	11,7	0,59	2	1.256.856
Schicht 3	2	11,7	0,59		1.256.856
Schicht 4	6	3,9	0,20		1.256.856

Design 3					
Komponente	SWD (Maschenbreite)	Zykluszeit pro PTL	Anlagenanzahl theo.	Anlagenanzahl real	Max. Output pro Jahr
	mm	sec	#	#	#
Schicht 1	0,3	156,0	2,44	3	328.881
Schicht 2	2	23,4	0,37	1	313.220
Schicht 3	2	23,4	0,37		313.220
Schicht 4	6	7,8	0,12		313.220

Abbildung 3 Ausschnitt aus dem Stückzahlberechnungstool für die Streckmetallfertigung

Für die Ermittlung des Produktionsszenarios werden die leistungsbezogenen Anforderungen an eine Elektrolyseurfertigung und somit auch die Streckmetallfertigung herangezogen. Basierend auf einer Marktanalyse über die realisierten und zukünftigen Produktionskapazitäten, dargestellt in Abbildung 4, wurde für die weiteren Berechnungen eine Kapazität von 1 GW/Jahr als jährliche Produktionsrate angenommen.

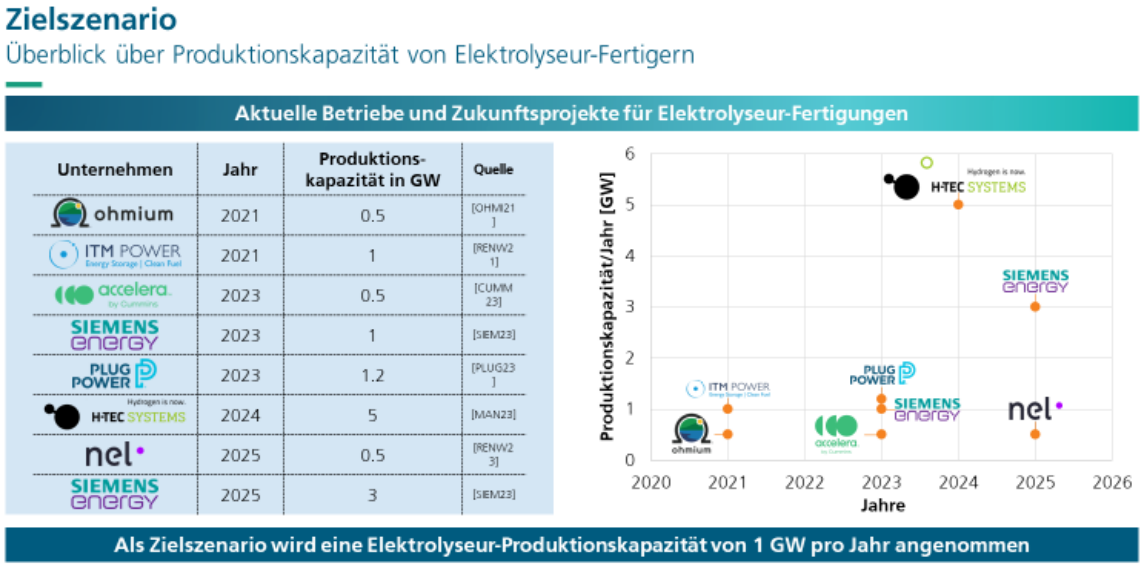


Abbildung 4 Betrachtung aktueller und geplanter Kapazitäten PEMEL-Serienfertiger

Neben dem angestrebten Marktvolumen wurde für die Fertigungsplanung die Anzahl der Streckmetalllagen in der Zelle (relevant bei Mehrlagen-Strukturen) sowie die Größe und Leistung der einzelnen Zelle als Eingangsgröße berücksichtigt. In Verbindung mit einem Produktionsszenario mit einem Dreischichtbetrieb von 220 Arbeitstagen pro Kalenderjahr wurden für drei verschiedene Zellgrößen vom Full-Scale Bereich bis Research Scale Bereich (siehe Maße Abbildung 5) die erforderlichen Zykluszeiten berechnet.

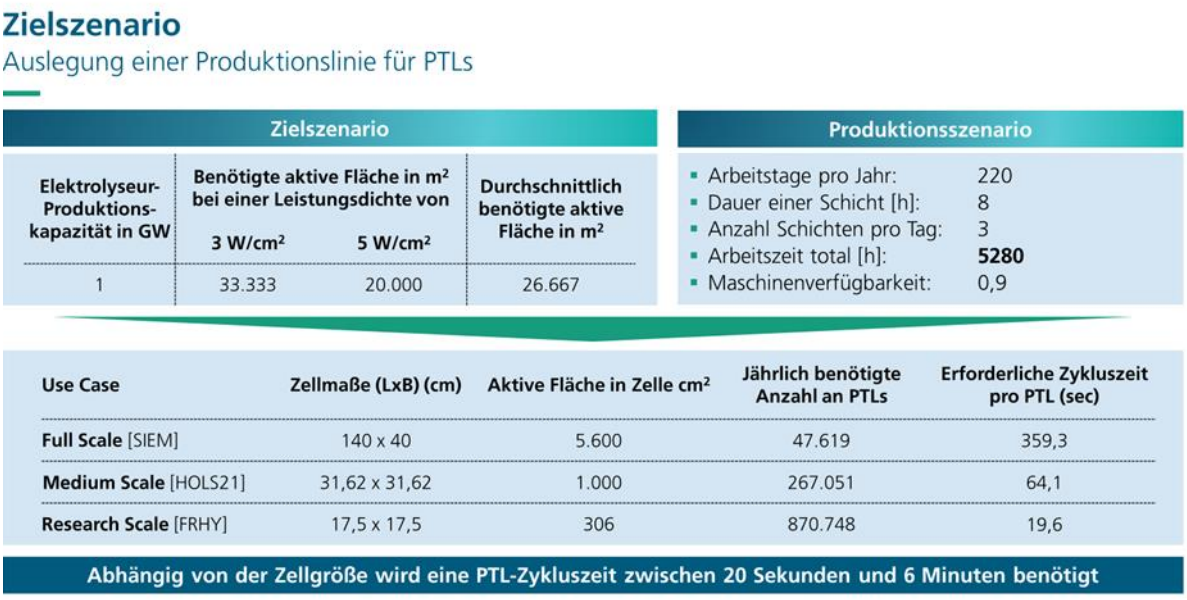


Abbildung 5 Zielszenarien für eine PTL-Produktion

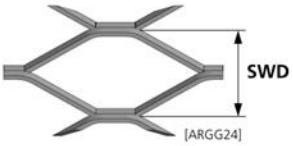
Als geometrische Referenz wurde eine vierlagige Streckmetallstruktur mit unterschiedlichen Maschenweiten und Blechdicken verwendet (siehe Abbildung 6). Insbesondere die Maschenweite SWD (engl. Short Width Dimension) definiert zusammen mit der Hubzahl der verwendeten Streckmetallanlage die Ausbringungsmenge des Streckmetallprozesses. Die Maschinenverfügbarkeit wurde auf 0,9 festgesetzt.

Auslegung einer PTL-Produktionslinie
Streckmetallanlage

Streckmetallanlage		
Hübe pro Minute	900	[BEND22]
Maschinenverfügbarkeit	0,9	

[BEND24]

Geometrische Parameter der PTL-Streckmetalle		
Komponente	SWD in mm	Blechdicke in mm
Lage 1	0,3 [BEND22]	0,35
Lage 2	2	0,5
Lage 3	2	0,5
Lage 4	6	0,8 [JAN824]



[ARGG24]

Abbildung 6 Anlagenparameter und Streckmetallgeometrie

Basierend auf den Maschinendaten und der genutzten Streckmetallgeometrie erfolgte eine Kalkulation der Zykluszeiten für die einzelnen Lagen. Aufgrund der gewählten Ausbringungsmenge von 1GW/Jahr wurde wie in Abbildung 7 gezeigt, dass mehrere Fertigungslinien (SMA = Streckmetallanlagen) für das angenommene Produktionsszenario notwendig sind. Insbesondere die feine Masche mit einem SWD von 0,3 mm zeichnet sich in dem Anwendungsfall durch eine vergleichsweisehohe Zykluszeit aus.

Auslegung einer PTL-Produktionslinie
Zykluszeitanalyse für verschiedene Use Cases

		Full Scale [SIEM]		Medium Scale [HOLS21]		Research Scale [FRHY]	
PTL-Länge in cm		140,0		31,62		17,5	
PTL-Breite in cm		40,0		31,62		17,5	
Aktive Fläche in cm²		5.600,0		999,8		306,3	
Anzahl PTLs pro Jahr		47.619		267.051		870.748	
Zykluszeit PTL in sec		359,3		64,1		19,6	
Komponente	SWD in mm	Zykluszeit pro SML in sec	# SMA (Optimum)	Zykluszeit pro SML in sec	# SMA (Optimum)	Zykluszeit pro SML in sec	# SMA (Optimum)
Lage 1	0.3	622,2	1,73	156,0	2,44	77,8	3,96
Lage 2	2	93,3	0,26	23,4	0,37	11,7	0,59
Lage 3	2	93,3	0,26	23,4	0,37	11,7	0,59
Lage 4	6	31,1	0,09	7,8	0,12	3,9	0,20

Simulative Untersuchung verschiedener Szenarios für den Full Scale Use Case

Abbildung 7 Zykluszeitberechnung für unterschiedliche Maschen- und Zellgrößen

Im Rahmen der durchgeführten Zykluszeitanalyse wurden im Nachgang mehrere Szenarien entwickelt, um für den Use Case "Full-Scale" eine Produktionslinie auszulegen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Szenarien stellt dabei der Ort des Wechsels von

einer kontinuierlichen auf eine diskontinuierliche oder auch gebatchte Fertigung der Streckgitter dar.

Die Produktionslinie integriert den Streckmetallprozess, einen Walzprozess, einen Richtprozess, mehrere Reinigungsprozesse sowie den Fügeprozess. Die Konzeption zweier dieser Szenarien ist in Abbildung 8 dargestellt.

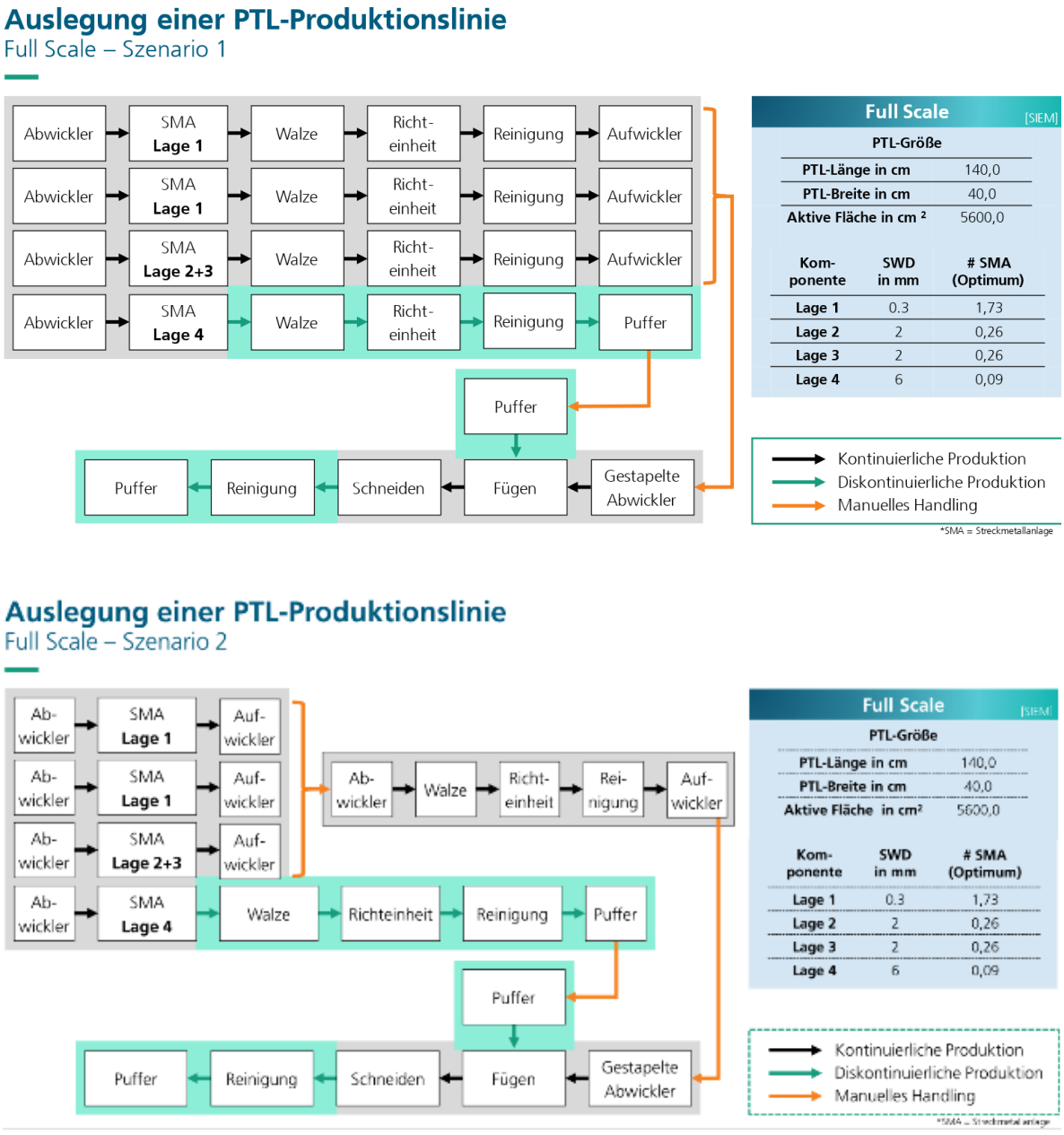
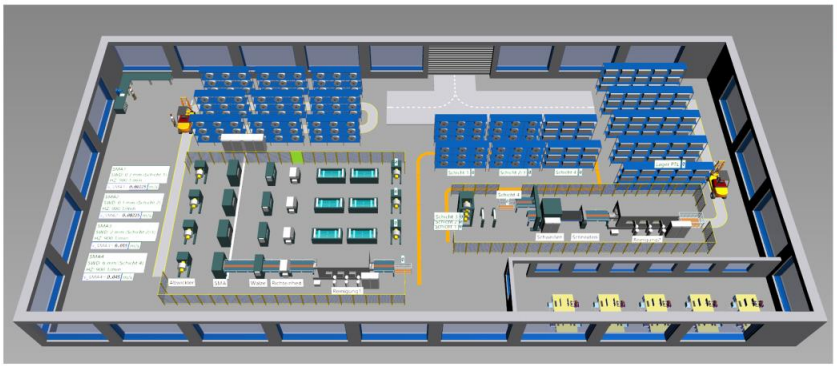


Abbildung 8 Mehrere Konzepte zur Realisierung einer Streckmetallfertigung

Gemäß der Konzeption der Linie wurde eine Simulation der Fertigung implementiert (vgl. Abbildung 9).

Simulation Full Scale
Szenario 1



Produktionsstand nach 24 Stunden		
	Produzierte Lagen	Lager-bestand
Lage 1	200	0
Lage 2	200	150
Lage 3	200	150
Lage 4	200	2500

Annahme: Anlagen laufen unter Volllast

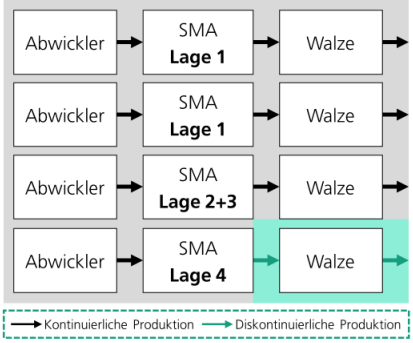
Abbildung 9 Simulation einer Streckmetallfertigung für den 1GW/Jahr Use-Case

Im weiteren Verlauf wurden die Produktionsgeschwindigkeiten der SMA angepasst, um Stillstandszeiten sowie eine zu hohe Lagerbildung bei den Einzellagen zu vermeiden. Dabei wurde ersichtlich, dass insbesondere bei der Produktion der groben Lagen (Linie 4) signifikante Überkapazitäten vorliegen. Zur Optimierung der Auslastung der Linie bzw. Reduktion der Fertigungskosten bieten sich zwei Ansätze an: Einerseits könnte die freie Fertigungskapazität durch die Produktion nicht auf den Use-Case bezogener Streckmetalle erweitert werden, um Leerlaufzeiten zu minimieren. Andererseits könnte die Fertigung der vierten Lage ausgelagert und diese extern zugekauft werden, wodurch sich die Fertigungskosten reduzieren ließen.

Angleichung der Produktionsgeschwindigkeit an die langsamste SMA
Auslastung der SMA-Anlagen

Szenario 1 und Szenario 2

Anmerkung:
Linie 3 produziert unabhängig von der minimalen Zykluszeit der Lagen jeweils die gleiche Menge



	PTL-Lage	Min. Zykluszeit in sec	# produzierte PTLs pro Schicht	Angepasste Zykluszeit in sec	Angepasste Hubzahl in Hübe pro min	Auslastung der SMA
Linie 1	Lage 1	622,2	92	622,2	900	**100 %**
Linie 2	Lage 1	622,2		622,2	900	**100 %**
Linie 3	Lage 2	93,3	154	155,6	540	**60 %**
	Lage 3	93,3	154	155,6		
Linie 4	Lage 4	31,1	926	311,1	90*	**10 %**

*unrealistisch niedrige Hubzahl

Abbildung 10 Kalkulation der mittleren Auslastung

Insgesamt zeigt sich, dass Streckmetall eine vielversprechende Option aufgrund ihrer hohen Skalierungseignung und niedrigen Fertigungskosten darstellt. Die kleinen Maschenweiten von wenigen 100 µm stellen aus Skalierungssicht eine Herausforderung dar, da die Fertigungsgeschwindigkeit direkt von der Maschengröße abhängt. In dem betrachteten Szenario kann mit einer Produktionskapazität von 4 Fertigungslinien für Streckmetalle eine äquivalente Produktionskapazität von 1 GW/Jahr Elektrolyseurleistung erreicht werden. Als Fügetechnologie wurde das Widerstandschweißen ausgewählt, wobei weiterer Forschungsbedarf besteht, um die Anwendung dieser Technologie für das hochskalige Fügen von Streckmetallen zu optimieren.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Personalkosten gemäß Verwendungsnachweis = 183.978,98 €
1.829,20 Stunden Festangestellte EG13+14 (3 Personen)
669,06 Stunden Hiwi (3 Personen)

3. Angemessenheit und Notwendigkeit der geleisteten Aufwände

Die durchgeführten Arbeiten waren sowohl angemessen als auch notwendig, um die Vielzahl bestehender Konzepte für die Herstellung poröser Strukturen systematisch zu analysieren und deren Skalierungspotenziale zu bewerten. Ziel war es, Forschungsergebnisse aus dem Labormaßstab auf den industriellen Maßstab zu übertragen und dadurch die Industrie zu befähigen, angepasste Produktionslinien zu entwickeln. Dieses Ziel konnte durch die detaillierte Untersuchung und Bewertung der Skalierbarkeit verschiedener Ansätze erfolgreich erreicht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse bieten eine fundierte Grundlage für die effiziente Umsetzung skalierbarer Konzepte auf industrieller Ebene.

4. Nutzung und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden die generierten Ergebnisse auf die ganzheitliche Produktion poröser Strukturen, insbesondere in Form von Streckmetallverbünden, übertragen und die zugehörigen Herstellungsprozesse weiterentwickelt. Das Fraunhofer IPT konnte dabei bestehende Marktpotenziale identifizieren und Kompetenzen im Bereich der Hochskalierung der Streckmetallfertigung aufbauen. Die erzielten Ergebnisse werden vom Antragsteller sowie von interessierten Unternehmen genutzt und weiterentwickelt und finden sowohl in industriellen Projekten mit Entwicklern von Elektrolysesystemen Anwendung als auch in Folgeprojekten wie HyInnoLyze 2.0.

5. Fortschritt des Stands der Technik während der Projektlaufzeit

Während der Projektlaufzeit konnte der Stand der Technik maßgeblich weiterentwickelt werden. Verschiedene bestehende Konzepte für die Produktion poröser Strukturen wurden umfassend bewertet, und auf dieser Basis wurde ein Skalierungskonzept für die hochskalige Fertigung von Streckmetall entwickelt. Zudem wurde der Technologietransfer in die Industrie erfolgreich initiiert, wodurch die Firma Bender befähigt wurden, die erarbeiteten Ansätze in angepassten Produktionslinien umzusetzen. Dies trägt wesentlich zur Weiterentwicklung der industriellen Fertigung von porösen Strukturen bei.

6. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Aachen Hydrogen Colloquium vorgestellt und diskutiert. Da die Arbeiten des Fraunhofer IPT ausschließlich konzeptioneller Natur waren, fand keine Veröffentlichung der Ergebnisse in einem Peer-Review-Verfahren statt.