

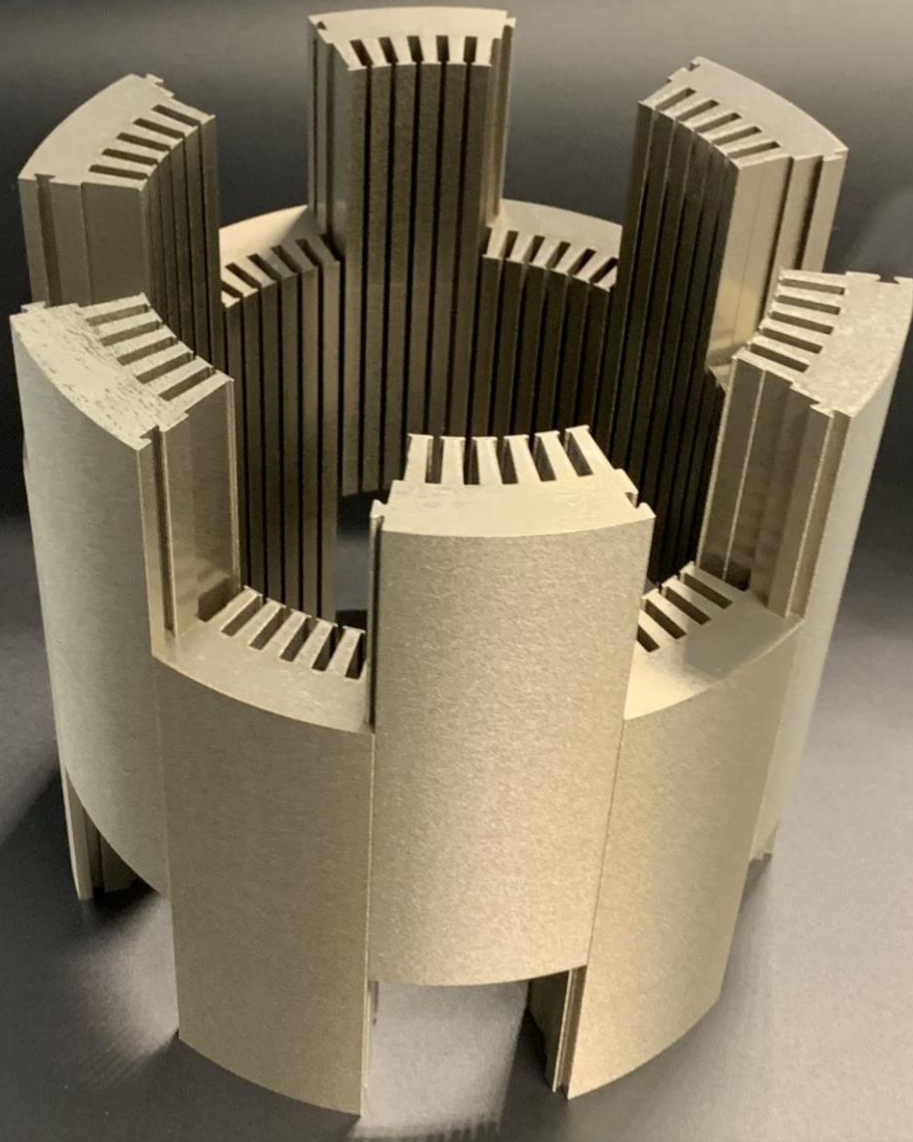


**SWD**

Wir sind weltweiter Pionier von zukunftsweisenden  
Elektroblechpaketen – von der Idee bis zur Industrialisierung.

# Ein neuer Stern am Himmel

Der segmentierte Stator ist die Antwort auf steigende  
Rohmaterialpreise, mehr Motorleistung und clevere Produktion



- ▶ Maßgeschneiderte Werkstoffauswahl für Stator und Rotoren von E-Motoren
- ▶ Maximaler Materialnutzungsgrad und maximal Präzision
- ▶ Bessere magnetische Performance durch Vermeidung des Richtprozesses
- ▶ Hochautomatisierte Fertigung für eine wirtschaftliche Grossserienproduktion

## Wirtschaftliche Produktion effizienter Elektroantriebe für E-Fahrzeug mit neuen in-line Technologien

Thomas Stäuble, Georg Senn, Hannes Weiss, SWD AG Stator- und Rotortechnik

**Die Elektromobilität kommt. Die Dynamik nimmt zu und die Migration vom Verbrennungsmotor auf Hybrid- und Vollstromer hat begonnen. Große Veränderungen bei den Fahrzeugen selbst aber auch zunehmend in den Wertschöpfungsketten beginnen Fahrt aufzunehmen.**

In einem Projekt mit einem OEM haben die Firmen LCD LaserCut AG (LCD), SWD AG Stator- und Rotortechnik (SWD) und die PVS-Kunststofftechnik (PVS) die Segmentierung des Stators für einen Traktionsantrieb realisiert. Anstelle eines klassischen Folgeschnitts für das Stator- und das Rotorblech wurde der Stator segmentiert aufgebaut. In enger Zusammenarbeit wurden zuerst lasergeschnittene Lamellen der Firma LCD mit der BPS® Backtechnologie der Firma SWD zu präzisen Statorsegmenten verbacken. Nach Optimierung der Geometrie und der Kupplung wurden die Segmentlamellen mit einem Muster Stanzwerkzeug gestanzt und verbacken. Die so hergestellten präzisen und stabilen Segmentpakete wurden darauf bei der Firma PVS mit dem von PVS entwickelten Statorisoliationsprozess mit Kunststoff umspritzt. Mit einer von LCD entwickelten Fügevorrichtung wurden die Segmente präzise zum Stator gefügt. Die dabei erreichte Präzision in Rundheit und Durchmesser ist mit der eines komplettgeschnittenen Stators vergleichbar. Der OEM hat den aus isolierten Segmenten aufgebauten Stator mit Hairpins bestückt und ins Motorgehäuse eingebaut. Neben den massiv reduzierten Werkstoffkosten können erste auf dem Prüfstand ermittelte Leistungswerte überzeugen und mit Referenzmotoren mithalten.

### Backpaketieren von Segmenten

Bereits heute wird in der Großserienproduktion von Elektroantrieben für E-Fahrzeuge die Segmentierung des Stators angewandt. Stator und Rotor werden nicht mehr gemeinsam aus einem Elektroblechstreifen gestanzt, sondern deren Fertigung erfolgt getrennt. Somit ist es möglich den idealen Werkstoff für den Stator zu verwenden und unter maximaler Materialausnutzung (Abbildung 1) zu verarbeiten. Themen, wie die Optimierung der magnetischen Eigenschaften, die Erhöhung des Eisenfüllgrads sowie die Steigerung des Kupferfüllgrads, können durch die Segmentierung gewinnbringend umgesetzt werden. Wenn die Segmente hoch präzise gefertigt und mit einer entsprechenden Kupplung (Abbildung 2) versehen werden, sind, wie im Ergebnisteil dargestellt, sehr enge Toleranzen möglich. Die Fertigung dieser hoch präzisen und festen Segmente erfordert sehr viel Know-How im Bereich der Backlacktechnologie und im Werkzeugbau. Beim verwendeten Stanzprozess wird das Elektroband zudem nicht gerichtet, wodurch die magnetischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt und damit die Verluste um mehr als 10 % reduziert werden (Abbildung 3). Hochgenaue Werkzeuge, moderne Werkzeugwerkstoffe und neue Erodierverfahren erlauben eine reproduzierbare, präzise Fertigung der Segmente und damit einen funktionierenden Großserienprozess, der seinesgleichen sucht.

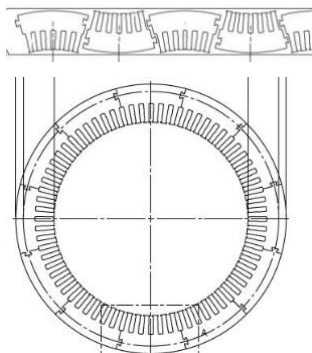


Abb. 1: Segment - Streifenbild und segmentierter Stator



Abb. 2: Gebackenes Segment mit Fügekupplung

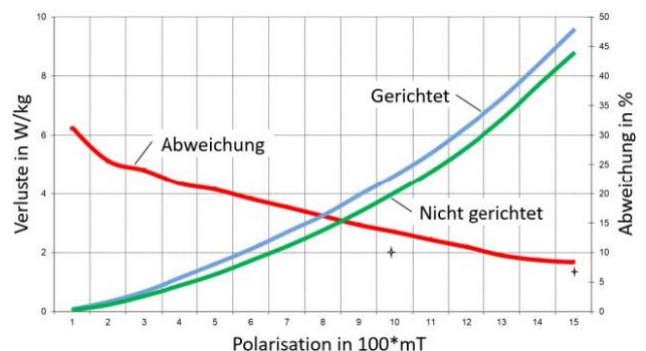


Abb. 3: Minimierung fertigungstechnischer Verluste durch Produktion ohne Richtprozess





Das Projekt beweist eindrucksvoll, dass sich die geringfügig erhöhte Schnittlinienlänge im Stator nicht im Betriebsverhalten des Motors niederschlägt. Grund hierfür ist mitunter die angesprochene Vermeidung des magnetisch schädlichen Richtprozesses. Neben diesen bereits berücksichtigten Auswirkungen kann die frühzeitige Berücksichtigung der Statorsegmentierung im Entwicklungsprozess wesentliche Vorteile für die Effizienz und Leistungsdichte eines elektrischen Antriebs bringen. Als Beispiel sind die Reduktion der Eisenlänge des Motors oder die Erhöhung des magnetischen Flusses im Luftspalt und die damit einhergehende Steigerung von Drehzahl und Drehmoment aufgrund angepasster Elektrolechwerkstoffe im Stator und Rotor zu nennen. Um die Vorteile der Segmentierung effektiv zu nutzen, ist detailliertes Wissen in Bezug auf die Auslegung der Fügekupplung und der Segmentgeometrie unabdingbar.

## Fügen der umspritzten Segmentpakete

Die mit Kunststoff umspritzten Segmente wurden mit einer präzisen Fügevorrichtung mit einer Kraft/Wegüberwachung in einem Fügevorgang zusammengeschoben. Die aufgezeichneten Diagramme und die konstant identisch erreichten Fügekräfte belegen ein weiteres Mal die hohe Präzision der gebackenen Segmente. In Abbildung 6 ist gut ersichtlich, wie die einzelnen Blechlamellen der Segmentpakete beim Fügen ineinander fahren («ripple»). Die erreichte Fügekraft beträgt ca. 20 kN. Diese kann durch das Kupplungsdesign den Anforderungen angepasst werden. Die aufgenommenen Fügekurven erlauben zudem eine ständige Überwachung der Bauteilqualität. Der fertig gefügte Stator wurde detailliert geometrisch vermessen. Die erreichte Durchmessertoleranz und Rundheit sind im Ergebnisteil aufgeführt. Im Anschluss wurde er an den OEM zur weiteren Montage geliefert (Abbildung 7).

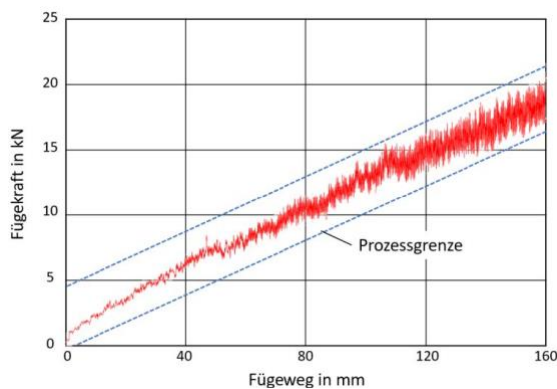


Abb. 4: Fügekurve

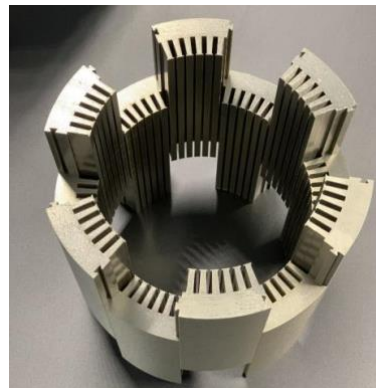


Abb. 5: Halb gefügter Stator

## Montage des gefügten Stators

Der OEM hat den Stator mit Hairpin-Wicklungen bestückt und in das Gehäuse eingebaut. Der so aufgebaute Stator wird aktuell am Motorenprüfstand analysiert. Die Ergebnisse werden einem konventionell im geschnittene gefertigten Stator gegenübergestellt. Die Konfiguration der Wicklung ist dieselbe. Erste Ergebnisse der Analysen sind vielversprechend und deuten auf keine Beeinträchtigung der Motorperformance durch die Segmentierung hin. Eine Veröffentlichung dieser Ergebnisse folgt in den nächsten Monaten.

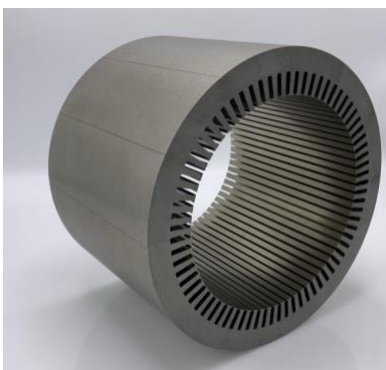


Abb. 6: Fertiger Stator

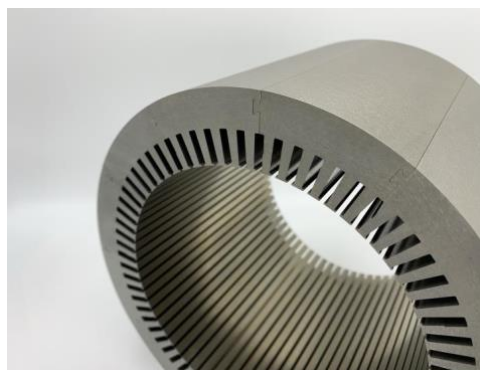


Abb. 7: Detail Segment und Kupplung



## Ergebnisse

Es wurden folgende eindruckliche Ergebnisse mit dem neuen Statorpaket erzielt:

### Geometrische Bewertung

Statordurchmesser Aussen	220 mm
Statordurchmesser Innen	157 mm
Rotordurchmesser	155 mm
Statorhöhe	160 mm

Durchmessertoleranz	0,05 mm
Rundheit	0,09 mm

Fazit: sehr hohe Präzision von Durchmesser und Rundheit

### Werkstoffeinsatz- und Kostenbewertung

Werkstoffeinsatz Vollstator	<b>64,7 kg</b> (inkl. Rotor aus dem Innenbereich)
Werkstoffeinsatz Stator segmentiert	<b>28,5 kg (Einsparung 56 %)</b>
Werkstoffeinsatz Rotor	31,5 kg (2-spurig gestanzt)

Werkstoffkosten	Stator NO30-16, Basis 1'800 EUR/t Rotor M800-50A, Basis 1'100 EUR/t
-----------------	--

Vollstator Materialkosten **EUR 116,50/Garnitur** (wenn Stator und Rotor im Folgeschnitt aus einem aus NO30-16 Band gefertigt)

Segmentierter Stator und Rotor EUR 51,30/Stator aus NO30-16  
EUR 34,60/Rotor aus M800-50A  
**EUR 80,20/Garnitur (Einsparung 32 %)**

Fazit **Durch die Trennung von Stator und Rotor kann für jede Baugruppe das ideale Material eingesetzt werden, deutlich reduzierte Werkstoffkosten sind die Folge.** Ein an den Gießprozess angepasster Rotorwerkstoff (speziell die Beschichtung) führt zudem zu besseren Motoreigenschaften (keine Lunker auf Grund von zu stark ausgasendem Isolationslack sowie eine bessere Leitfähigkeit des Käfigläufers).

### Prozessdatenbetrachtung

Stanzen	Die Segmente werden mit bis zu 800 H/min gestanzt. Kein Richtvorgang vor dem Stanzen und damit keine zusätzliche magnetische Beeinträchtigung des hochwertigen Elektroblechs NO30-16, welches im Stator verbaut ist.
Backen	Backpaketiersystem® BPS® «high speed» backen im Minutenbereich mit 100% Prozessüberwachung führt zu maximaler Qualität & Nachverfolgbarkeit
Fügen	Fügen aller Segmente in einem Durchgang mit einer Fügekraft bis 20 kN, 100 % prozessüberwacht (Kraft/Weg)

### Leistungsdaten

Motorleistung	250 kW (peak)
Drehmoment	500 Nm
Spannung	400 V
Einfluss Segmentierung	Vorteil Backlack vs. Schweißen (siehe SWD Internetseite zu den Vorteilen von Backlack) egalisiert den Nachteil durch die Segmentierung
Füllfaktor Eisen	> 96 %



**SWD**

Wir sind weltweiter Pionier von zukunftsweisenden  
Elektroblechpaketen – von der Idee bis zur Industrialisierung.

## Fertigungstechnologie der Zukunft

Diese Fertigungstechnologie ist serientauglich. Die gebackenen Segmente werden auf dem SWD Backpaketiersystem® BPS® hoch automatisiert hergestellt (siehe SWD Internetseite zur BPS® Technologie). Die Fertigung mit dem System erfolgt entweder bei der SWD oder vor Ort bei der Weiterverarbeitung. Daten vom Rohmaterial sowie deren Fertigungsparameter werden in einer Produktionsdatenbank pro Segment archiviert und über einen DataMatrix-Code pro Segment rückverfolgbar gemacht. Die Segmente werden automatisch auf einer von SWD entwickelten und gebauten Segmentfügeanlage SFS mit Prozessüberwachung und Prozessdatenbank zu einem kompletten Stator montiert. Dazu werden wiederum die Datamatrixcodes der Segmente eingelesen, mit dem Datamatrix-Code des Stators und mit den Fügedaten ergänzt. Es entsteht eine einmalige Datenbasis, welche zur weiteren Verbesserung der Prozesse, der Qualitätssicherung und der Rückverfolgbarkeit herangezogen wird.

Die **SWD AG Stator- und Rotortechnik** ist der Partner für Ihre nächste Elektromotorengeneration. Als Technologieführer entwickeln wir mit Ihnen Elektroblech-pakete, welche Ihren Motoren einen entscheidenden Vorteil verleihen. Wir begleiten Sie von der Idee, über die Bemusterung bis hin zur effizienten Serienproduktion und übernehmen die Fertigung in jeder Phase.

**„SWD AG – wir machen Ihre Motoren besser“**

### SWD AG Stator- und Rotortechnik

Kaisermatt 3      Phone +41 62 867 92 18      Website [swd-technology.com](http://swd-technology.com)  
5026 Densbüren      Fax +41 62 867 92 15      E-Mail [info@swdag.ch](mailto:info@swdag.ch)

### Haben Sie Fragen?

Melden Sie sich bei uns  
oder besuchen Sie  
unsere Website.

