



Die Leiteranschlussklemme aus dem 3D-Drucker wurde im Unterwerk Gry-nau der Axpo eingebaut.

Ersatzklemme aus dem 3D-Drucker

Asset Management | In einem Pilotprojekt hat Axpo eine Anschlussklemme für ein 50-kV-Leitenseil additiv gefertigt. Mechanisch und elektrisch ist sie gleichwertig zum Original. Mit dieser Technologie können Ersatzteile bei Bedarf schnell hergestellt werden. Ein wegweisender Schritt in die Zukunft?

GUIDO SANTNER

Das überregionale Verteilnetz der Axpo auf 50- und 110-kV-Ebene besteht aus 2200 km Leitungen und 50 Unterwerken. Es wird nach dem n-1-Prinzip betrieben: Wenn ein Element im Netz ausfällt, übertragen redundante Leitungen den Strom.

Das Netz ist dann natürlich gegen weitere Ausfälle ungeschützt – manchmal wird eine ganze Region nur noch über ein einzelnes Element gespiesen. Würde dieses ebenfalls ausfallen, käme es zu einem regionalen Stromausfall. Das defekte Element muss deshalb so rasch wie möglich repariert oder ersetzt werden.

Albert Raymann ist Anlagenverantwortlicher mehrerer Unterwerke von

Axpo und auch für das Unterwerk Gry-nau bei Uznach zuständig: «Unsere Installationen sind oft 30 oder 40 Jahre alt. Wenn wir ein Teil nicht mehr an Lager haben, ist es vielfach schwierig, dieses bei den Herstellern zu bestellen.» Lieferzeiten von einigen Wochen bis zu Monaten seien nicht ungewöhnlich, wenn der Lieferant beispielsweise ein Gussteil nachbauen müsse. Hinzu kommt, dass Axpo aus historischen Gründen in den Unterwerken Anschlussbolzen mit einem unüblichen Durchmesser von 35 mm einsetzt. An diese Bolzen werden beispielsweise Leitenseile mittels Klemmen angeschlossen. Abgangsklemmen müssen deshalb extra für Axpo hergestellt werden.

«Wenn wir Ersatzteile nicht kurzfristig beschaffen können, improvisieren wir», sagt Raymann. «Bis jetzt haben wir immer eine Lösung gefunden, aber optimal ist das natürlich nicht.»

Klemme wächst im Pulverbett

In einem Pilotprojekt wurde daher untersucht, ob es möglich ist, Ersatzteile additiv zu fertigen – einfach gesagt mit einem 3D-Drucker für Metall. Neben Albert Raymann, der das Projekt auf betrieblicher Seite leitete, kam Timo Stiefel als Projektingenieur für Primärtechnik hinzu, der die Materialaspekte genauer betrachtete. So wurden Abgangsklemmen früher aus Bronze gegossen. Heute wird mit AlSiMg meist

eine Legierung auf Aluminium-Basis verwendet. Sie ist leichter als Bronze. Die Aluminiumlegierung AlSi10Mg eignet sich sowohl für Gussteile als auch für additive Verfahren wie das Lasersintern. Hier wird das Bauteil in einem Pulverbett hergestellt: Ein Laser schmilzt das Metallpulver dort auf, wo das Bauteil wachsen soll. Schicht für Schicht wird nun Pulver hinzugefügt und mit dem Laser selektiv aufgeschmolzen.

Axpo selbst hat keine additive Fertigung. Sie wandte sich an Adriaan Spiersings von Inspire, einer Forschungsgesellschaft im Bereich der Produktionswissenschaften, die auf den Know-how-Transfer von der ETH in die Industrie spezialisiert ist – und im Bereich der additiven Fertigung viel Erfahrung hat. Inspire erstellte zuerst einen 3D-Scan der Anschlussklemme, die im Rahmen des Pilotprojekts im Unterwerk Grynau getestet werden sollte. Die Originalklemme war für ein Leiterseil mit 17,5 mm Durchmesser ausgelegt. Da die Klemme im Unterwerk für ein Seil mit 26 mm Durchmesser eingesetzt werden sollte, passte Inspire die CAD-Daten der Klemme nach dem Scan an den grösseren Durchmesser an. Weitere geometrische Anpassungen wurden vorgenommen, um die Struktur besser an die Anforderungen des 3D-Drucks anzupassen. Zudem brauchen die Bauteile im 3D-Drucker Stützelemente, die nach dem Druck wieder entfernt werden.

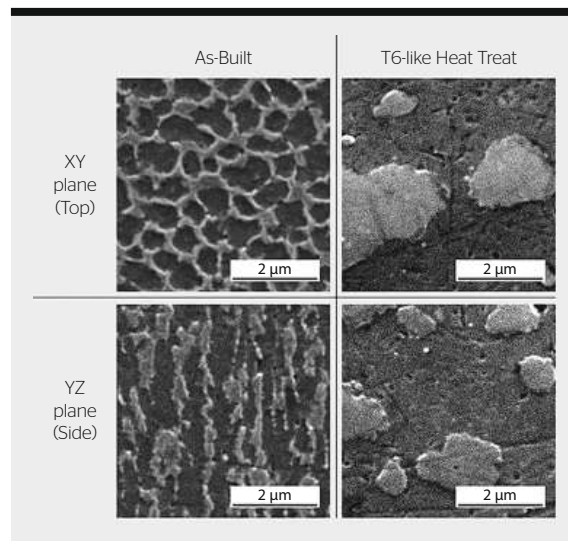
Fertigung in zwei Tagen

Mit additiven Verfahren werden oftmals filigrane, komplizierte Werkstücke hergestellt. Die Schaltanlagenklemme aus dem Pilotprojekt ist hingegen ein massives Metallstück. Auf den ersten Blick scheint es also kein Vorteil zu sein, eine Ersatzklemme additiv zu fertigen. Wenn aber wie im Unterhalt von Schaltanlagen rasch Einzelstücke benötigt werden, bietet die additive Fertigung einen grossen Vorteil: Das Ersatzteil steht schon nach wenigen Tagen zur Verfügung.

Der eigentliche 3D-Druck dauerte zwei Tage. Inklusiv Vorbereitung der Daten und Nachbearbeitung des Werkstücks (Stützelemente entfernen, Löcher bohren und Gewinde schneiden) dauerte die Herstellung der Klemme rund eine Arbeitswoche. Bereits mit der heutigen Technologie kann ein Ersatzteil bei einem Störfall damit innerhalb einer Woche gefertigt und eingebaut werden.



Für die Ersatzklemme wurde dieselbe Aluminiumlegierung AlSi10Mg genutzt, die auch für Gussteile eingesetzt wird.



Nach dem Lasersintern sind die Metalle in der Legierung kleinräumig verteilt (links). Durch die T6-Wärmebehandlung (rechts) werden die Regionen grösser und die Leitfähigkeit dadurch verbessert.[1]

Materialproben getestet

Bevor das Bauteil im Unterwerk Grynau eingebaut wurde, mass die Interstaatliche Hochschule für Technik (NTB) in Buchs die Leitfähigkeit des additiv gefertigten Aluminiums. Dazu wurden rechteckige Stifte als Materialproben gleichzeitig mit der Hauptklemme gefertigt. Da beim 3D-Druck das Material in Schichten aufgetragen wird, wurden sowohl liegende als auch stehende Stifte als Materialproben hergestellt. Die Leitfähigkeit der liegenden Stifte ist mit $19,0 \cdot 10^6$ S/m nur geringfügig kleiner als die $22,1 \cdot 10^6$ S/m der stehenden Materialproben, womit diese Werte gut mit jenen von gegossenem AlSi10Mg vergleichbar sind.

Die Leitfähigkeit von reinem Aluminium liegt bei $37,7 \cdot 10^6$ S/m, jene von gegossenem AlSi10Mg je nach Studie im Bereich von $18,0 \cdot 10^6$ S/m bis $23,5 \cdot 10^6$ S/m. Übliche Bronze weist eine vergleichsweise schlechte Leitfähigkeit von unter $10 \cdot 10^6$ S/m auf. Die Leitfähigkeit der additiv gefertigten Klemme ist

also besser als eine Klemme aus Bronze und vergleichbar mit Gussklemmen aus der Aluminiumlegierung. Durch eine Wärmebehandlung konnte Inspire die Leitfähigkeit der Klemme nochmals verbessern: Sowohl die liegenden als auch die stehenden Proben erreichen nun eine Leitfähigkeit von $31,7 \cdot 10^6$ S/m.

Wärmebehandlung verbessert die Leitfähigkeit

Timo Stiefel erklärt, wie die Wärmebehandlung die Struktur der Legierung verändert: «Nach dem Lasersintern sind das Aluminium, das Silizium und die weiteren Metalle in der Legierung kleinräumig verteilt – die Mikrostruktur ist sehr feinkörnig. Da der elektrische Widerstand vor allem bei den Materialübergängen, den Korngrenzen, entsteht, wird die Leitfähigkeit besser, wenn das Werkstück wärmebehandelt wird. Es entstehen grössere Regionen (Körner) mit demselben Metall – und damit weniger Materialübergänge.»



Die Messung des Übergangswiderstands zeigt, dass die additiv gefertigte Abgangsklemme genau gleich wie konventionell gefertigte Klemmen eingesetzt werden kann.

	Ohne Wärmebehandlung	Mit Wärmebehandlung
Stehend gefertigte Prüflinge	22,1 · 10 ⁶ S/m	31,4 · 10 ⁶ S/m
Liegend gefertigte Prüflinge	19,0 · 10 ⁶ S/m	32,3 · 10 ⁶ S/m

Die Leitfähigkeit der additiv gefertigten Bauteile unterscheidet sich in horizontaler und vertikaler Richtung. Nach der Wärmebehandlung ist die Leitfähigkeit praktisch identisch.

Ein weiterer Aspekt, den Stiefel bezüglich des Materials abklärte, war die vergleichsweise grobe Oberfläche nach dem Lasersintern. Oft werden Oberflächen nach dem 3D-Druck nachbearbeitet. Hier hat die raue Oberfläche aber sogar einen Vorteil: In herkömmlichen Klemmen werden Rillen in die Kontaktoberflächen eingefräst, damit es klare Punkte mit erhöhter Kontaktkraft gibt, die die Korrosionsschicht durchstossen. Da die Oberfläche beim 3D-Druck rau ist, erübrigt

sich das. Hier gibt es bereits die nötigen Kontaktpunkte.

Einbau problemlos

Nach den Tests wurde die Klemme schliesslich im Unterwerk Grynau in die 50-kV-Doppelleitung nach Niederrurnen eingebaut. Das Pilotprojekt wurde ohne Zeitdruck ausgeführt und die Klemme an einer Leitung getestet, deren Ausfall keine Auswirkung auf das Netz gehabt hätte. Der Einbau lief problemlos. Die Messung vom Über-

gangswiderstand der eingebauten Klemme zeigt vergleichbare Werte zu klassisch gefertigten Klemmen.

In Zukunft digitales Lager?

Das Pilotprojekt beweist, dass es möglich ist, Netzelemente im 3D-Druck herzustellen. Was sind nun die Schlussfolgerungen von Axpo? Hierzu meint Jörg Kottmann, Leiter Asset Management: «Der Pilot hat gezeigt, dass es funktioniert. Von kritischen Betriebsteilen wie den Klemmen wollen wir nun die 3D-Daten erfassen – vor allem dann, wenn keine Ersatzteile verfügbar sind. So können wir im Bedarfsfall schneller reagieren.» Für einen flächendeckenden Einsatz, um etwa die Lagerkosten zu reduzieren, sei die Technologie momentan noch zu teuer. Sie werde sich aber weiterentwickeln. Axpo beabsichtigt daher, bei künftigen Beschaffungen 3D-Daten von Betriebsmitteln einzufordern und strukturiert abzulegen.

Referenz

[1] Cassidy Silbernagel et al, «Electrical resistivity of additively manufactured AlSi10Mg for use in electric motors», 2018.



Autor
Guido Santner ist freier Wissenschaftsjournalist.
 → guido@santner.ch

Kontakte für Auskünfte:

- Albert Raymann (albert.raymann@axpo.com)
- Timo Stiefel (timo.stiefel@axpo.com)
- Jörg Kottmann (joerg.kottmann@axpo.com)
- Adriaan Spierings (spierings@inspire.ethz.ch)



Borne de rechange depuis l'imprimante 3D

Asset Management

Dans le cadre d'un projet-pilote, Axpo a fabriqué de manière additive une borne de raccordement pour un câble conducteur de 50 kV. Mécaniquement et électriquement, elle est équivalente à l'originale. Cette technologie permet de produire rapidement des pièces de rechange, selon les besoins.

Albert Raymann est responsable des installations de plusieurs sous-stations d'Axpo, dont la sous-station de Grynau, près d'Uznach: « Nos installations ont souvent 30 ou 40 ans. Lorsque nous n'avons plus en stock certaines pièces, il est souvent difficile de les commander auprès des fabricants. » Des délais de livraison de quelques semaines à plusieurs mois ne sont pas inhabituels, par exemple quand le fournisseur doit reproduire un moulage. S'ajoute à cela qu'Axpo utilise dans ses sous-stations – pour des raisons historiques – des boulons de raccordement d'un diamètre peu courant de 35 mm. On raccorde les câbles conducteurs à ces boulons au moyen de bornes, par exemple. Les bornes de sortie

doivent donc être fabriquées spécialement pour Axpo. « Lorsque nous ne pouvons pas nous procurer de pièces de rechange rapidement, nous improvisons », explique A. Raymann. « Jusqu'à maintenant, nous avons toujours trouvé une solution, mais bien sûr, ce n'est pas optimal. »

Le projet-pilote a montré qu'il était possible de fabriquer des éléments de réseau par impression en 3D. Axpo veut donc maintenant saisir les données 3D des pièces industrielles critiques telles que les bornes – surtout lorsqu'aucune pièce de rechange n'est disponible. On pourrait ainsi, au besoin, réagir plus vite. Pour l'instant, cette technologie est encore trop chère pour y recourir globalement afin de réduire les coûts de stockage. Mais elle va continuer à se développer. Axpo envisage par conséquent de demander les données 3D des équipements de production qu'elle acquerra à l'avenir et de les enregistrer de manière structurée.

MR