

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 85 (1994)

Heft: 2

Artikel: Modernisierung und Umbau von Wasserkraftwerken : moderne Laufradfertigung

Autor: Grein, Herbert

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902529>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Aus der laufenden Entwicklung neuer Herstellverfahren für die Laufradfertigung werden zwei vorgestellt, die in letzter Zeit die Produktionsreife erreicht haben: der Micro-Guss und das Pressen von Schaufeln. Beide Verfahren basieren auf schnellen Rechenoperationen, insbesondere auf der Beherrschung dreidimensionaler Flächenmodelle [1]. Im Vergleich zu konventioneller Fabrikation von Laufrädern ergeben sich kürzere Durchlaufzeiten, was diese Verfahren besonders für Modernisierungen qualifiziert.

Modernisierung und Umbau von Wasserkraftwerken: Moderne Laufradfertigung

■ Herbert Grein

Das Micro-Guss-Verfahren [2]

Beschreibung des Verfahrens

Beim Micro-Guss handelt es sich um formgebendes Schweißen von Schaufelteilen in direkter Verbindung mit Schaufelträgern.

Das erschweisste Materialvolumen entsteht durch das Abschmelzen eines Drahtes unter Zufuhr elektrischer Energie. Der Lichtbogen wird durch inertes Gas vor der Reaktion mit atmosphärischem Sauerstoff geschützt.

Den gesamten Prozess führen Roboter aus, die ihre Steuerbefehle von einem Rechner erhalten. Informationen über einzuhaltende Schweissparameter und lineare Bewegungen

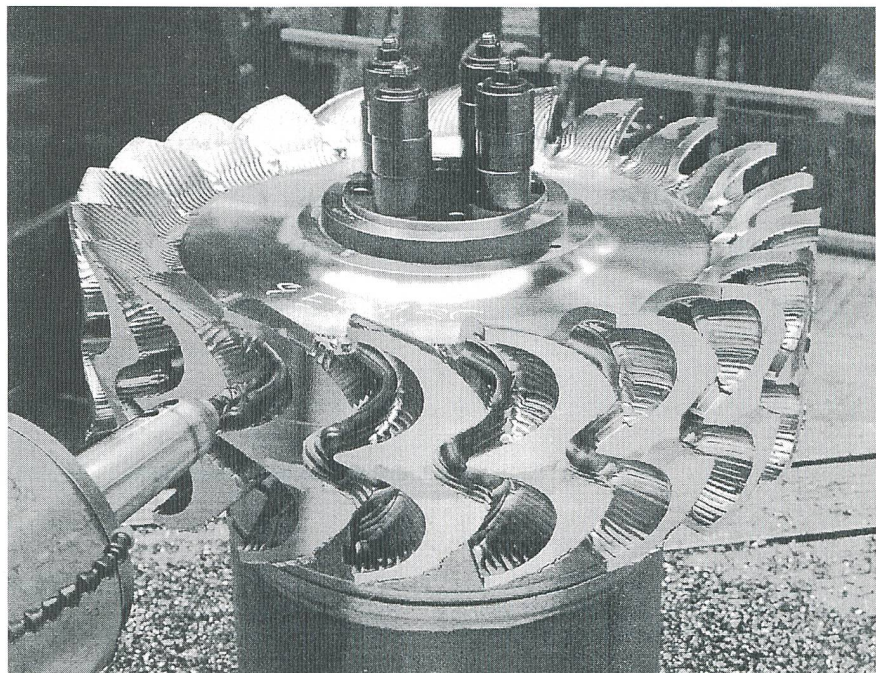


Bild 1 Ausgangswerkstück und Schaufelträger ist eine rotationssymmetrische Scheibe aus geschmiedetem X5CrNi13.4. Die radial innenliegende Becherkontur wird durch NC-Fräsen aus dem Vollen herausgearbeitet

Adresse des Autors:

Dr. Herbert Grein, stellvertretender Direktor,
Leiter Technik und Projektierung
Sulzer-Escher Wyss, 8023 Zürich.

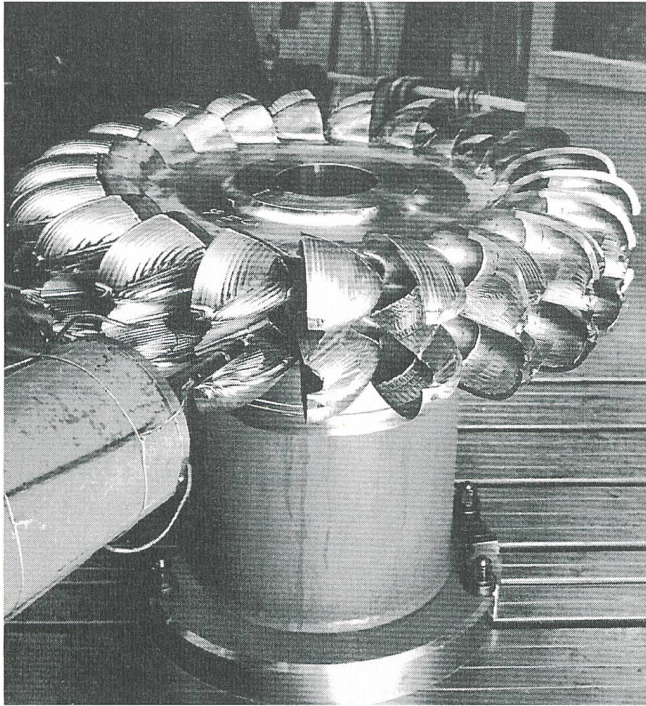


Bild 2 Aussenvolumen der Becher werden microgegossen und anschliessend allseitig gefräst und geschliffen

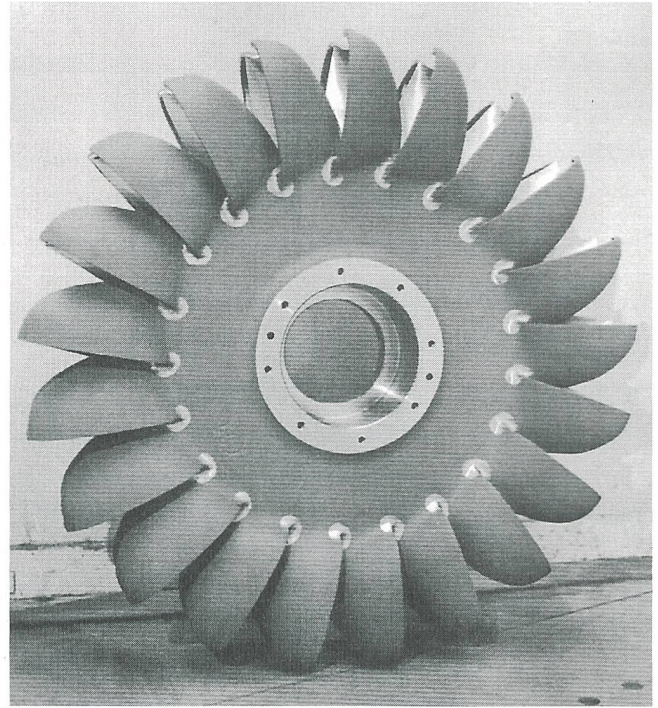


Bild 3 Konturen sind exakt und umfangssymmetrisch

des lichtbogenführenden Düsenmundstückes speist der Rechner kontinuierlich ein. Rückwirkend empfängt und speichert der Rechner Informationen über die Ausführungsqualität

Produktqualität

Die Oberflächen der hydraulischen Kontur von Schaufelträgern und Micro-Guss-gefertigten Schaufeln entstehen in ihrer Form durch numerisch gesteuertes Fräsen (NC), die geforderte minimale Rauheit wird durch Schleifen gefertigt. Die Materialeigenschaften des Micro-Gusses erfüllen die Anforderungen der Werkstoffnorm für Integralguss vergleichbarer Materialien.

- wenn die Zugänglichkeit für zerstörungsfreie Prüfungen durch Schichtaufbau wesentlich verbessert wird
- wenn die Zugänglichkeit für Bearbeitung bei hinterschnittenen Kanten verbessert wird
- wenn Durchlaufzeiten verkürzt werden

Eignung und Anwendung des Verfahrens

Einsatz von Micro-Guss ist sinnvoll:

- wenn das Volumen des Schaufelträgers, als Fundament für Micro-Guss-gefertigte Teile, gross ist gegenüber dem Micro-Guss-Volumen
- wenn der Schaufelträger die grössten Beanspruchungen übernimmt und deswegen aus hochwertigerem Material als Guss besteht

Beispiel Peltonlauftrad

Ausgangswerkstück und Schaufelträger ist eine rotationssymmetrische Scheibe aus geschmiedetem X5CrNi13.4, die sich radial bis zu einem Schnitt kleiner als der Strahlkreis-Durchmesser erstreckt (Bild 1).

Die radial innenliegende Becherkontur wird durch NC-Fräsen aus dem Vollen herausgearbeitet und die Oberfläche fertiggeschliffen. Aussenvolumen der Becher werden microgegossen und anschliessend allseitig gefräst und geschliffen (Bild 2). Anschliessend folgen die Wärmebehandlung und das Polieren. Vorteile des Verfahrens:

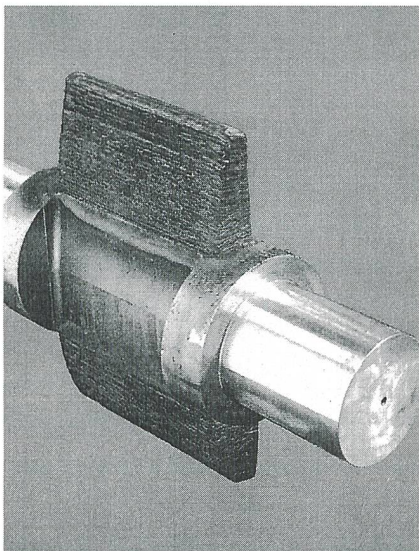


Bild 4 Beispiel Leitschaukel

seiner Befehle, was einen Teil der Qualitätssicherung ausmacht. Der Volumenaufbau geschieht durch gesteuertes Raupenschweissen in annähernd horizontalen, übereinanderliegenden Schichten.

Nach der Bearbeitung der Oberfläche auf Endform folgt eine Spannungsarmglühung.

| Jahr | Anlage | Leistung (MW) | Durchmesser (mm) | Fabrikationsart (c/w) | Blechdicke (mm) |
|------|------------|---------------|------------------|-----------------------|-----------------|
| 1916 | Eglisau | 4,5 | 4150 | c | 25,0 |
| 1918 | Mühleberg | 6,4 | 3280 | c | 30,0 |
| 1945 | Laufenburg | 9,9 | 4200 | c | 14,0 |
| 1993 | Landquart | 0,3 | 1046 | w | 8,0 |

c: Schaufeln eingegossen, w: Schaufeln angeschweisst

Tabelle 1 Liste einiger Anlagen mit gepressten Francisschaufeln

- hydraulische Konturen sind exakt und umfangssymmetrisch (Bild 3)
- Wurzelbeanspruchungen liegen im geschmiedeten Gefüge, daher grössere mechanische Sicherheit
- im Micro-Gussgefüge kleine Beanspruchungen

Beispiel Leitschaufel (Bild 4)

Ausgangswerkstück ist die geschmiedete und vorgebearbeitete Leitschaufel-Stange mit dem Schaufelmittelteil zwischen den beidseitigen Zapfen. Hierauf werden die Volumina der Eintritts- und Austrittspartie der Leitschaufel microgossen und durch NC-Fräsen und Schleifen fertig bearbeitet.

Kundennutzen

- kürzere Durchlaufzeiten [3]
- höhere zulässige Beanspruchungen an den Stellen höherer Spannung, damit grössere Sicherheit gegen Ermüdung an den Wurzeln

Entwicklungspotential des Verfahrens

- Kostenminimierung und Verkürzung der Durchlaufzeiten durch weitere Automatisierung und unbeaufsichtigtem 24-Stunden-Betrieb
- Gefügeoptimierung durch Änderung im Schweissprozess und der thermischen Behandlung
- gezielter Werkstoffeinsatz mit lokalen Unterschieden je nach Beanspruchungsmechanismus wie Korrosion oder Abrasion
- Kombination unterschiedlicher Materialeigenschaften von Schaufelträger und Micro-Guss-Schaufel

Radialräder mit gepressten Schaufeln

Vorgeschichte (Tabelle 1)

Francisräder mit gepressten Schaufeln wurden von Anfang des Jahrhunderts bis in

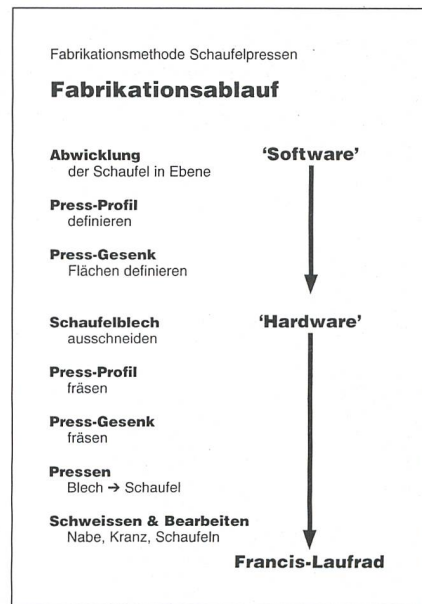


Bild 6 Fabrikationsablauf Schaufelpressen: «Software»

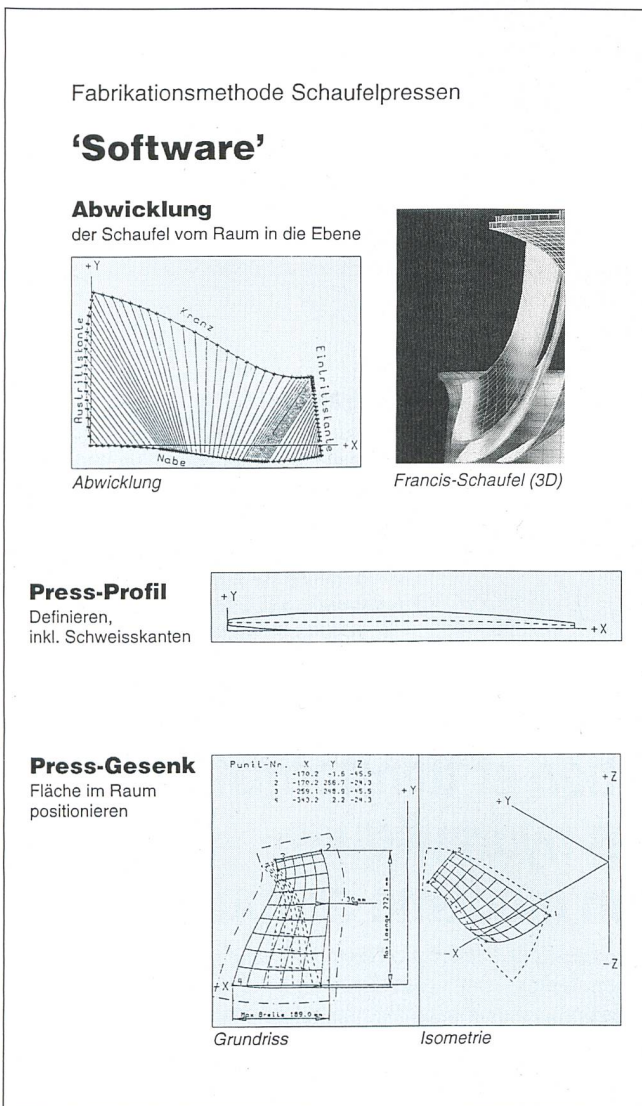


Bild 5 Fabrikationsablauf beim Schaufelpressen

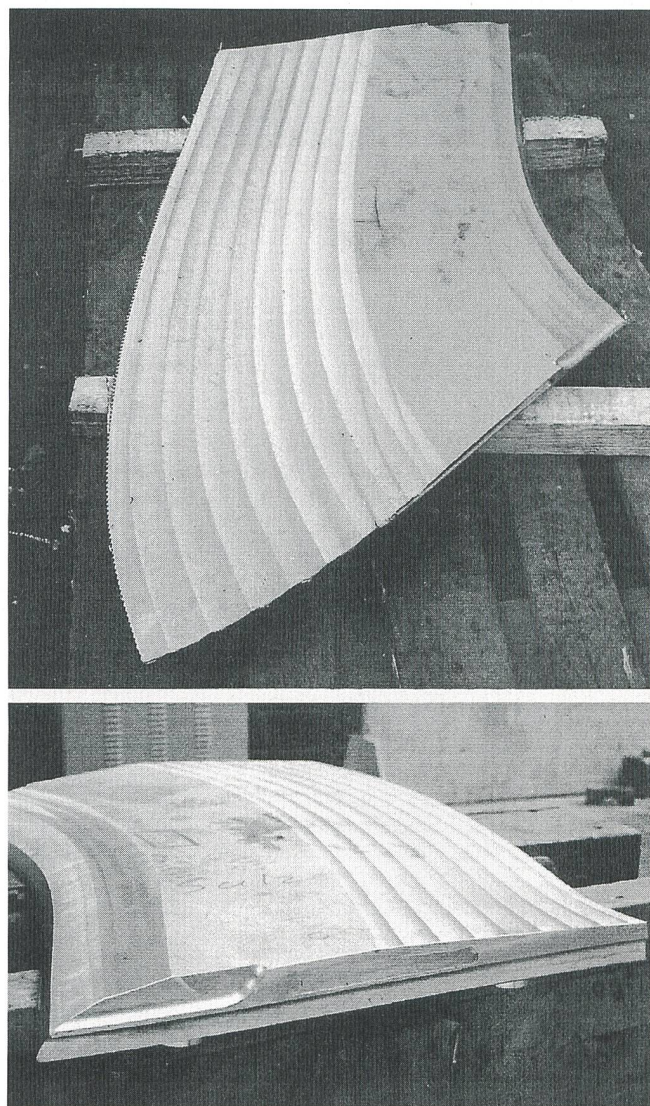


Bild 7 Gefrästes Schaufelblech vor dem Pressen

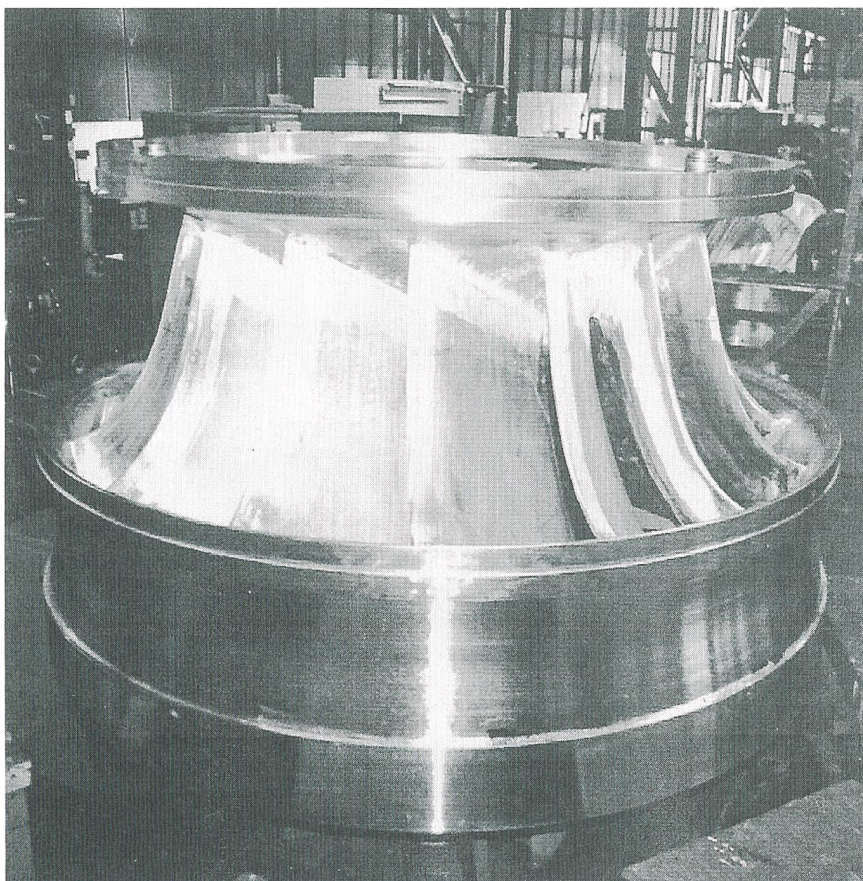


Bild 8 Fertiges Francislauffrad

die 50er Jahre gefertigt. Dabei wurden vorgepresste und nur geringfügig an Ein- und Austrittskante profilierte Stahlbleche konstanter Dicke in einem Giessvorgang mit Nabe und Kranz aus Grauguss verbunden. Diese Technologie ist in zweifacher Hinsicht modifiziert und optimiert worden. Gepresste Blechschaufeln werden jetzt in Kranz und Nabe eingeschweisst (Francislauffräder und in grossem Umfang bei Kompressorenlauffrädern), zudem erlaubt der Fortschritt in 3-D-Flächenmanipulationen das Profilieren der ebenen Schaufeln vor dem Pressen.

Beschreibung des neuen Verfahrens (Bild 5)

Die nach hydraulischen und mechanischen Kriterien definierte, räumlich gekrümmte Schaufel wird in die Ebene abgewickelt und definiert das Ausgangsprofil vor dem Pressen, das durch NC-Fräsen aus ebenen Blechen herausgearbeitet wird (Bilder 6 und 7). Die ebenen Bleche haben auch schon Schweisskanten und Eintrittskantenprofil. Aus dem Soll-Endprofil resultiert die Gesenkform. Der Pressvorgang im Gesenk beginnt mit einer Temperatur von etwa 1000 °C und endet bei etwa 300 °C, worauf die Bleche der Form entnommen werden.

Nach dem Einschweissen mit Mantelelektroden zwischen artgleichen Kranz und Nabe folgt bei martensitischem Material eine Spannungsarmglühung (Bild 8).

Produktqualität

Die hydraulischen Profile sind innerhalb kleiner Toleranzen (meist besser als die IEC-Empfehlungen vorschreiben) homolog zu geprüften Modellen oder entsprechen den theoretisch optimierten Profilen.

Die Oberflächenqualität erfüllt bezüglich Welligkeit und Rauheit die Anforderung für «hydraulisch glatt».

Blech zeigt gegenüber Guss gleicher chemischer Zusammensetzung leicht bessere Kavitationseigenschaften infolge des homogenen Gefüges.

Blehdicke und Schweissnaht entsprechen den Anforderungen der statischen und dynamischen Festigkeitsanalyse.

Materialeigenschaften und Prüfung

Gegenüber Integralguss ergeben sich für die Schaufel aus Blech höhere mechanische Werkstoff-Kennwerte. Geprüft werden nach dem Schweißen lediglich die Schweissnähte mit den üblichen zerstörungsfreien Verfahren. Im Falle von Austenit kann nicht magnetisiert werden, und für die Ultraschallprüfung sind spezielle Prüfkörper nötig.

Anwendungsgebiet und Kundennutzen:

- das Verfahren ist geeignet für kleine bis mittelgrosse Lauffräder ($D_2 < 4$ m) unabhängig von der Schnellläufigkeit
- grösster Kundennutzen besteht in 15–20% kürzeren Lieferzeiten
- homogenerer und mechanisch festerer Schaufelwerkstoff

Entwicklungspotential des Verfahrens

- weitere Reduktion der Lieferzeit durch vermehrten Einsatz von Austenit (Blechbeschaffung ist günstiger, Spannungsarmglühung entfällt)
- höherer Grad von Automatisierung durch Kürzung der Prozesskette vom Profil zum Blech sowie Einsatz von Robotern.

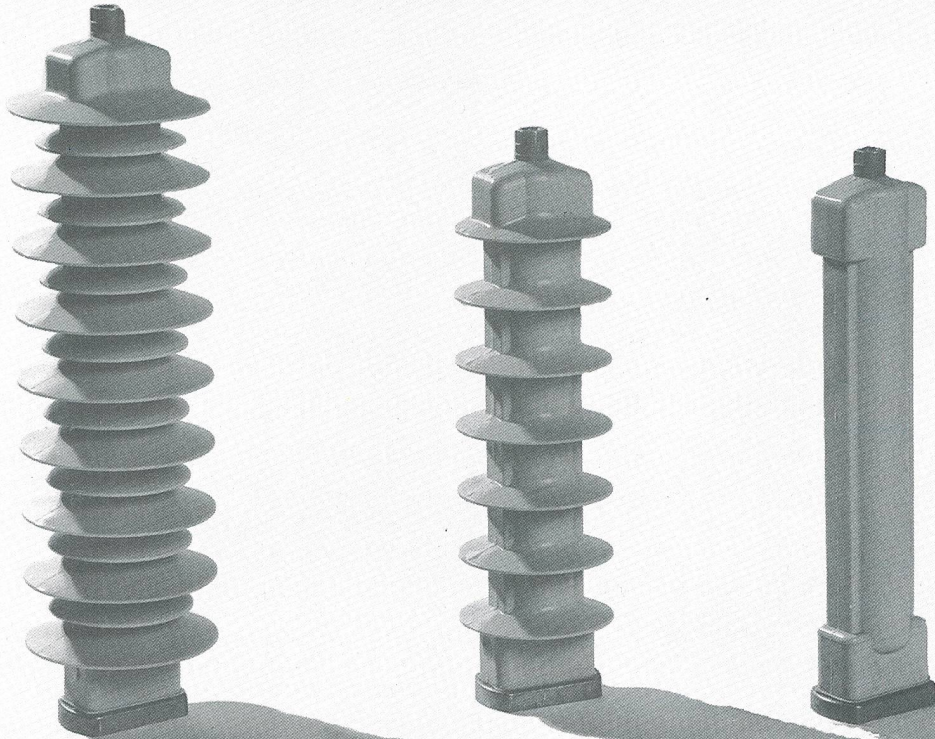
Literatur

- [1] Grein, H., Schneebeli, F., Bantli, H.: Die Modellierung dreidimensionaler Flächen, ein Werkzeug für Entwicklung und Fertigung hydraulischer Maschinen. Technische Rundschau Sulzer, H. 2/1989.
- [2] Sulzer AG: Verfahren zur Herstellung von metallischen Werkstücken mit einer Schweissvorrichtung und Vorrichtung zur Ausführung derselben; Europ. Patentanmeldung EP O 496181 A1.
- [3] Innovations: Schnelle Prototypen. Technische Rundschau Sulzer, H.2/1993.

Modernisation et transformation de centrales hydrauliques: construction moderne de roue

Parmi les nouveaux processus de construction de roue, il est possible d'en présenter deux qui, ces derniers temps, sont venus à maturité: le micro-coulage et le pressage d'aubes. Ces deux processus se basent sur des calculs informatiques rapides, en particulier sur la maîtrise de modèles tridimensionnels [1]. La diminution du temps de fabrication par rapport aux méthodes conventionnelles sont en faveur de ces procédés, en particulier pour la modernisation.

Antoine-Laurent Lavoisier ist uns wohl bekannt.



Als einer der weltweit führenden Anbieter von Metalloxid-Widerständen sind wir dem Vater der modernen Chemie dankbar. Seine Theorien der Verbrennung und Oxidation repräsentieren Meilensteine für die Industrialisierung. Während der Französischen Revolution wurde Lavoisier mit den Monarchisten verurteilt und guillotiniert. Seine wissenschaftlichen Erkenntnisse jedoch haben überlebt und auch uns inspiriert.

In der neuen Produktionsanlage der ABB Hochspannungstechnik AG in Wettingen/AG dringen wir in neue Dimensionen der Materialtechnologie vor. Neben leistungsstarken Ableitern in Porzellangehäusen fertigen wir gewichtsarme Kunststoffableiter für Spannungen zwischen 0,1 und 800 kV. Die Metalloxid-Widerstände, welche wir in unseren Ableitern verwenden, produzieren wir selbst. Ob Innenraum, Aussenraum oder Spezialanwendungen – wir garantieren einen optimalen Schutz Ihrer elektrischen Installationen,

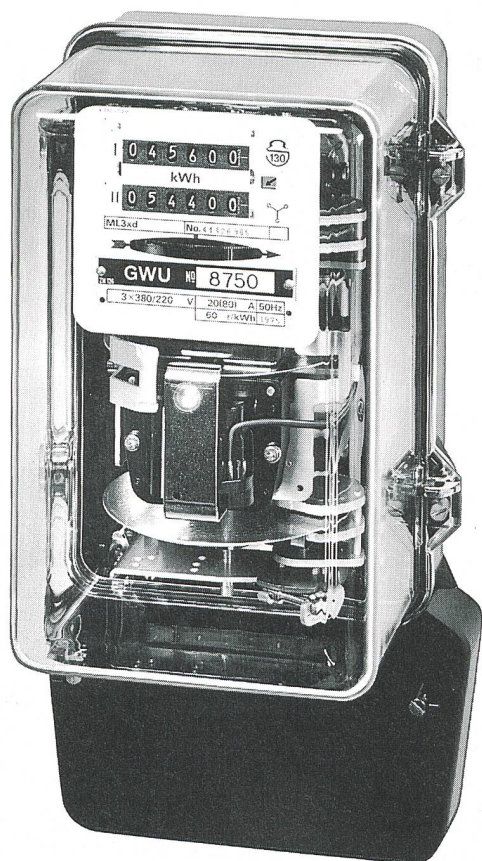
damit Sie nie den Kopf verlieren.



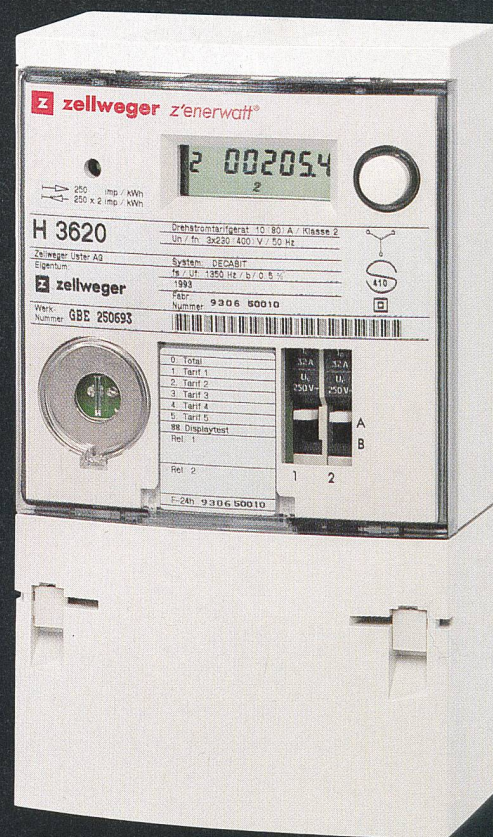
ABB Hochspannungstechnik AG
Abteilung Überspannungsableiter
Jurastrasse 45
CH-5430 Wettingen / Schweiz
Telefon: + 41 (0) 56 75 27 77
Telefax: + 41 (0) 56 27 03 06



Wir haben den Stromzähler neu erfunden, nicht das Rad.



In herkömmlichen Zählern rotiert die altbekannte Ferraris-Scheibe, bis sie aufwendig nachkalibriert werden muss. Das eingebaute Register kennt nur Tag- und Nachtstrom. Zum Ablesen gibt es nur eine Möglichkeit: Abschreiben. Aber das ist jetzt Vergangenheit.



Im neuen elektronischen Zähler z'enerwatt läuft alles digital. Und wartungsfrei. Mit der optischen Schnittstelle für elektronisches Ablesen, mit der Vierstufentarif-Messung und dem integrierten Rundsteuerempfänger ist die Zukunft bereits eingebaut.

z zellweger
One step ahead

Zellweger Uster AG, Geschäftsbereich Energie
CH-8320 Fehraltorf, Tel. 01 954 81 11