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: 88 (1997)

Heft: 20

Artikel: Das NASA-Windkanalprojekt : Hydro-Know-how für die Aviatik

Autor: Egli, Roland J. / Schafer, Daniel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902251

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: 13.12.2025

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

Als die NASA den veralteten Antrieb zu ihrer Windkanalanlage National Transonic Facility (NTF) in Hampton im US-Bundesstaat Virginia sanieren wollte, um der Flugzeugindustrie modernste Testmöglichkeiten für ihre Modellentwicklungen zur Verfügung zu stellen, hatte die Stunde der ABB geschlagen: Dank ihrem Know-how im Bau von Wasserkraft-Synchrongeneratoren vermochte sie eine optimale Lösung zu erarbeiten, die als «best evaluated overall value for the government» gegenüber der Konkurrenz den Zuschlag erhielt.

Das NASA-Windkanalprojekt: Hydro-Know-how für die Aviatik

■ Roland J. Egli und Daniel Schafer

Dass die ABB ausgerechnet mit ihrem Know-how auf dem Gebiet der bewährten Hydro-Stromerzeugung erfolgreich in den Bereich der Luftfahrt (Bild 1) vorstossen sollte, mag auf den ersten Blick überraschen, entbehrt aber nicht der Logik, wie die Entstehungsgeschichte zeigt.

Testbedürfnisse der Flugzeugbauer

Neue Flugzeugentwicklungen müssen im Windkanal getestet werden. Solche Testmöglichkeiten stellt die NASA mit ihrer Windkanalanlage National Transonic Facility (NTF) in Hampton im US-Bundesstaat Virginia der Flugzeugindustrie als kommerzielle Dienstleistung zur Verfügung. Im Windkanal getestet werden aber nicht die eigentlichen Flug-

Bild 1 Ein Techniker im NASA-Windkanal mit dem Modell eines Überschallflugzeuges, dessen Aerodynamik einem Test unterzogen werden soll. Die Resultate ergeben bei entsprechender Anpassung von Luftgeschwindigkeit und Lufttemperatur ein getreuliches Abbild des Flugverhaltens des späteren Flugzeuges. Dies setzt ein leistungsstarkes Synchronantriebssystem mit variabler Drehzahl voraus (Bild NASA).

Adresse der Autoren
Dr. *Roland J. Egli*
Leiter Abteilung Technik Hydrogeneratoren/Grosse Antriebe, KWHT, ABB Kraftwerke AG
5242 Birr

Daniel Schafer
Leiter Entwicklung, Abteilung Technik Hydrogeneratoren/Grosse Antriebe, KWHT
ABB Kraftwerke AG, 5242 Birr

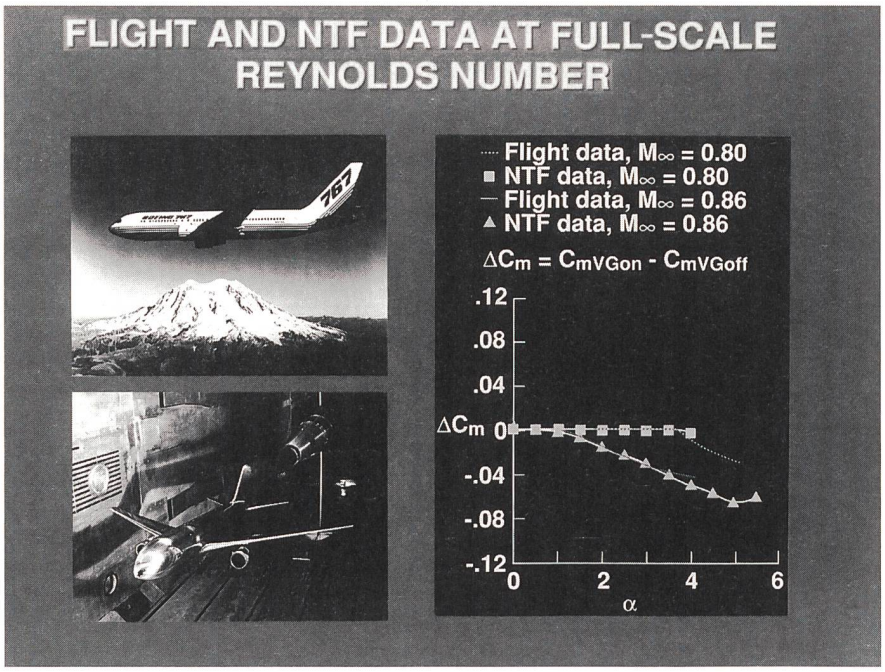

Bild 2 Ein Passagierjet des Typs Boeing 767 (oben links) im Flug und dessen Modell im NASA-Windkanal (unten links). Auf dem Monitor können die Luftwiderstands- und Machwerte abgelesen und verglichen werden. Dank des leistungsstarken, drehzahlvariablen Synchronantriebes wird die NASA in Hampton in der Lage sein, das Flugverhalten von Flugzeugmodellen hart an der Überschallgrenze aussagekräftigen Tests zu unterziehen, deren Resultate sich auf das Originalflugzeug umlegen lassen (Bild NASA).

zeuge, die dafür viel zu gross wären, sondern verkleinerte Modelle aus glattpoliertem Stahl.

Ein kleines Modell verfügt jedoch über andere aerodynamische Eigenschaften als sein grosser Bruder, indem seine geringere Grösse und Oberfläche einen geringeren Luftwiderstand aufweisen. Daher sind aussagekräftige Testresultate nur möglich, wenn das Flugverhalten des Modelles exakt jenem des Originals entspricht, das später nahe der Schallgeschwindigkeit fliegen soll. Zu diesem Zweck müssen im Windkanal die Luftverhältnisse der Grösse des Testobjektes angepasst werden, und dies erreicht man mit einer Anpassung der Luftdichte.

Die Bedeutung der Reynolds-Werte

Die Luftdichte lässt sich beeinflussen. Entweder verändert man die Luftgeschwindigkeit oder die Temperatur – oder beides. Je kälter die Luft, deren Temperatur sich durch Stickstoff absenken lässt, und je höher die Luftgeschwindigkeit, desto höher die Luftdichte und damit der Luftwiderstand. Das Verhältnis der Luftgeschwindigkeit zur Luftdichte wird in sogenannten Reynolds-Werten ausgedrückt (vgl. Kästchen und Bild 2): Je höher die Luftgeschwindigkeit, desto höher steigen die Reynolds-Werte und desto näher befindet man sich an der Schallgrenze. Damit erlangt die optimale Leitungsfähigkeit des Ventilatorantriebs zur Steuerung der Luftgeschwindigkeit höchste Bedeutung – für den Betrieb des Windkanals muss die Leistung 100 MW erreichen.

Die Reynoldssche Zahl

Der für die Berechnung des Strömungswiderstandes bzw. der Strömungsleistung erforderliche Widerstandsbeiwert hängt nicht nur von der Form des umströmten Körpers ab, sondern auch vom Medium. Bei kleinen Geschwindigkeiten, das heisst bei kleiner Reynoldsscher Zahl, ist jede reale Strömung laminar (d. h. gleichmässig schichtweise gleitend). Wird die Geschwindigkeit vergrössert, erreicht man schliesslich die kritische Geschwindigkeit und die dazugehörige kritische Reynoldssche Zahl, bei der die laminare Strömung in eine turbulente (mit Wirbeln durchsetzte) umschlägt, wobei sich der Strömungswiderstand wesentlich vergrössert.

Die Reynoldssche Zahl bleibt bei einer massstabgetreuen Verkleinerung des Körpers erhalten, wenn dafür die Strömungsgeschwindigkeit entsprechend vergrössert oder die Viskosität verkleinert wird.

Es gilt das Ähnlichkeitsgesetz: Geometrisch ähnliche Körper haben gleiche Widerstandsbeiwerte, wenn sie mit der Reynoldsschen Zahl übereinstimmen. Dann sind auch die beiden Strömungen einander ähnlich. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Strömungsversuche mit Modellen auszuführen.

Veraltete Anlage als Herausforderung

Die Windkanalanlage der NASA in Hampton bestand bereits, wurde aber von einem veralteten System, bestehend aus einer Synchron- und zwei Asynchronmaschinen mit zwei Kupplungen und einem Getriebe angetrieben, das mit einer Höchstleistung von 360 U/min bei 100 MW den Anforderungen nicht mehr genügte. Der NASA schwebte ein Antriebssystem vor, welches sie das ganze Spektrum von 360 bis 600 U/min bei 100 MW nutzen liess und das auf der bestehenden Anlage Platz finden musste. Mit dieser Vorgabe trat die NASA an potentielle Hersteller von Antriebssystemen, und hier witterte die ABB ihre Chance. Im Bereich der Hydro-Stromerzeugung hatte die ABB nämlich bereits Synchronantriebssysteme für Pumpspeicherwerke mit weit grösserer Leistung entwickelt – allerdings mit vertikalen Maschinen, die sich leichter für eine hohe Leistungsfähigkeit konzipieren lassen als horizontale. Hier aber war wegen des Windkanals ein horizontales Antriebssystem ein absolutes Erfordernis. Doch die ABB war überzeugt, dank ihrem diesbezüglichen Know-how im Bereich der Hydrogeneratoren mit einer Lösung aufwarten zu können. Denn das Problem präsentierte sich im Grunde genau gleich wie bei einem Wasserkraftwerk – auch wenn die Lösung vorderhand erst in den Köpfen der Ingenieure und noch nicht einmal auf dem Reissbrett bestand.

Lösung als Vorgabe für Kundenspezifikation

Die ABB hatte klare Vorstellungen, wie ein solches Antriebssystem aussehen sollte (Bild 3), und folgerichtig flossen

diese in die Spezifikationen der NASA zuhanden der potentiellen Anbieter ein. Während der Konkurrenz eine Antriebslösung mit zwei identischen Maschinen vorschwebte, war für die ABB von Anfang an klar gewesen, dass der neue Antrieb mit nur einem Motor auskommen sollte. Die ABB hatte gute Gründe für diese selbstauferlegte Vorgabe: Der verfügbare Platz auf dem alten Areal war begrenzt, und eine einzige Maschine bedeutet erhöhte Zuverlässigkeit dank direkter Kraftübertragung bei vereinfachter, kostengünstiger Wartung. Dies ist ein gewichtiges Argument angesichts der Tatsache, dass die NASA den Windkanal ihren Kunden zum Tagessatz von mehreren hunderttausend US-Dollar vermietet, Ausfälle also praktisch unbezahlbar sind! Diesem Synchronmotor sollte ein lastgeführter Umrichter vorangestellt werden. Aufgabe des Umrichters ist es, die konstante Spannung und Frequenz des Netzstromes in variable Werte umzuwandeln, um den Betrieb eines drehzahlvariablen Antriebes überhaupt zu ermöglichen. Die ABB war sich bewusst, dass sie mit der von ihr erwarteten Lösung in Neuland vorstiess – ein Konkurrent verfügte zwar über eine Referenzanlage, die aber nicht einmal einen Drittel der hier geforderten Leistung zu erbringen vermochte. Man gab schliesslich einem lastgeführten zwölfpulsigen Umrichterantrieb mit Schenkelpol-Synchronmaschine den Vorzug – wohl wissend, dass hier der weltweit grösste Antrieb seiner Art gebaut werden sollte.

Noch ein «Hydro»-Trumpf...

Die ABB vermochte noch einen weiteren Vorteil aus ihrem Know-how im Hydrogeschäft einzubringen – die Fähigkeit, Generatoren und Motoren dieser Grössenordnung auf die jeweils vorherrschenden Platzverhältnisse masszuschneidern. Es wäre schade gewesen, das bestehende Fundament der alten Synchronmaschinen abzureissen, wie das die Konkurrenz vorgeschlagen hatte. Vielmehr sollte der neue Motor so ausgelegt sein, dass er auf dem alten Fundament Platz fand. Dadurch liessen sich Baukosten sowie Installations- und Standzeit reduzieren – die NASA würde die neue Anlage um so rascher wieder ihrer kommerziellen Bestimmung zuführen können. Mit der Beibehaltung des alten Fundamentes konnte schliesslich auch das Risiko ausgeschlossen werden, dass bestehende Anlagen durch die Abbrucharbeiten versehentlich beschädigt würden.

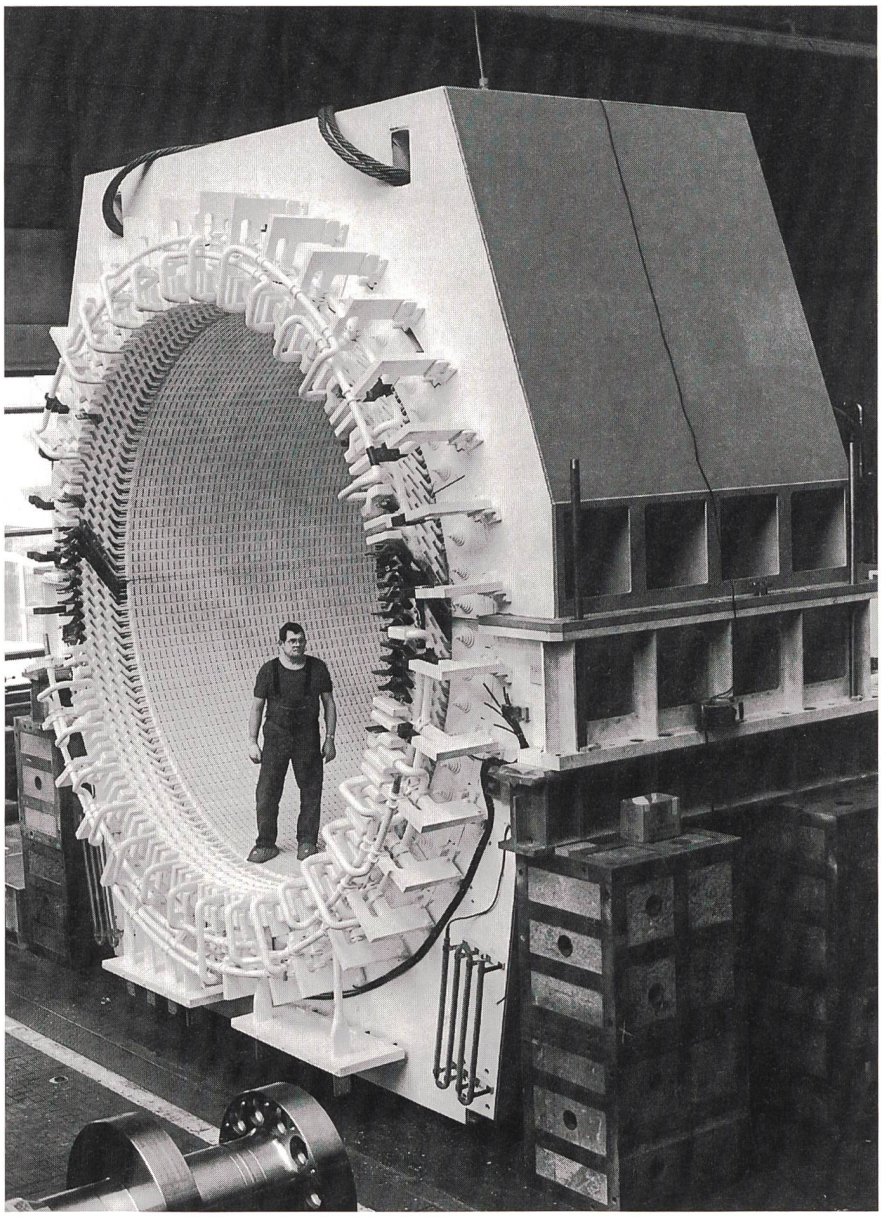

Bild 3 Der gigantische Stator für den Antrieb der 100-MW-Windkanalanlage der NASA in Hampton in den USA steht nach erfolgreicher Hochspannungsprüfung im ABB-Werk in Birr für den Überseetransport bereit. Sein Einbau am Bestimmungsort wird für die ABB eine besondere Herausforderung sein, weil die obere Hälfte aus Platzgründen nicht von oben aufgesetzt werden kann, sondern seitwärts und abgewinkelt über Rotorrundung und Unterteil geschoben werden muss.

... und eine weitere Vorsichtsmassnahme

Doch es galt, noch weitere Eigenheiten zu berücksichtigen. Die bestehende Anlage verfügte über eine Welle, die vom Motor zum Ventilator führte. Da eine Welle von dieser Länge durch die heutigen Stahlwerke praktisch nicht mehr hergestellt werden kann, eine Wiederbeschaffung also äusserst problematisch und vor allem kosten- und zeitaufwendig gewesen wäre, waren besondere Vorsichtsmassnahmen zum Schutz dieses überaus wertvollen Einzelstückes geboten. Eine Beschädigung der Welle, wie sie etwa bei einem Kurzschluss auftreten kann, galt es unter allen Umständen zu vermeiden. Zwar bestand bereits ein Schutzmechanismus, der im Ernstfall aber nicht tauglich gewesen wäre, und die von der Konkurrenz präsentierte Lösung war der NASA nicht geheuer. Die ABB verwendete als Schutzlösung eine hydraulische Kupplung, die im Ernstfall die kraftschlüssige Verbindung augenblicklich unterbrochen und die Welle vor Schaden bewahrt hätte.

Zuschlag der NASA

Als die NASA das Projekt schliesslich öffentlich ausschrieb (Tabelle I), unterbreitete die ABB ihr Angebot für eine

schlüsselfertige Anlage, welches folgende Arbeiten umfasste: Abreissen der zu ersetzenden alten Anlagekomponenten, Lieferung und Einbau von Motor, Umrichter, Transformer und Leittechnik samt Filter. In einem Evaluationsverfahren erhielt die ABB mit ihrer Lösung, die als «best evaluated overall value for the government» bezeichnet wurde, im August 1995 den Zuschlag der NASA für die Sanierung der alten Windkanalanlage. Die Installationsarbeiten in den USA sind im Gange. Bereits wurde der neue Motor im Werk Birr im Beisein des Auftraggebers einer Schleuderprobe unterzogen: Stufenweise wurde die Drehzahl auf 720 U/min hochgefahren, wobei die Vibrationsmessungen weit unter den zulässigen Grenzwerten lagen.

– Spanne Mach-Werte	0,1–1,2
– Spanne Reynolds-Werte	$3 \times 10^6 - 120 \times 10^6$
– Druck-Spanne	100 – 900 kPa
– Temperatur-Spanne	–195 °C bis –67 °C
– Testgas	Stickstoff, Luft
– Grösse Teststrecke	
• Länge	7,63 m
• Fläche	2,5 × 2,5 m
– Querschnittsverhältnis-Beschleunigungsstrecke	15 : 1
– Kreislauflänge	150 m
– Antriebsdaten	
• Drehzahl-/Leistungsspektrum	
60–360 U/min = proportional zur Drehzahl	16–100 MW
360–600 U/min = konstante Leistung 100 MW	dauernd
• Frequenz	6–60 Hz
• Spannung	$U_n = 2 \times 12{,}5$ kV
• Stromstärke	$I_n = 2812$ A

Tabelle I NASA-Windkanalanlage National Transonic Facility (NTF).

Heikle Installation

Eine heikle Aufgabe wird die Installation des Motors in Hampton darstellen, die in drei Schritten erfolgt: Zuerst wird die untere Hälfte des Stators ins bestehende Betonfundament eingelassen, darauf kommt der Rotor in die Rundung der unteren Statorhälfte zu liegen und schliesslich wird die obere Statorhälfte über Rotor und unteres Gegenstück aufgesetzt. Im Gegensatz zu einem Kraftwerk ist die Decke über dem Motor äusserst niedrig – Platz für den in Kraftwerken üblichen Kran ist nicht vorhanden. Aus diesem Grund kann die obere Statorhälfte nicht einfach über den Rotor gehoben und von oben aufgesetzt werden – er muss seitwärts und abgewinkelt über die Rundung des Rotors hinweg eingeführt werden. Damit ist auch gesagt, dass ein Auseinandernehmen der Maschine ebenso problematisch wäre wie das Zusammensetzen – um so wichtiger war es, mit einer Maschine aufwarten zu können, die dem Standard der «proven technology» genügte.

Ausstehende Tests

Erst nach Abschluss der Arbeiten können im Herbst die eigentlichen Tests durchgeführt werden. Dabei beginnt man mit gewöhnlicher Luft und 30 MW, um dann unter Zufuhr von Stickstoff die Temperatur der Luft abzukühlen und die Anlage immer mehr zu belasten, bis man an die Reynolds-Werte hart an der Schallgrenze vorstösst. Verlaufen alle Tests nach Plan, wird in Hampton Ende Jahr die Windkanalanlage mit den höchsten Reynolds-Zahlen, das heisst mit den höchsten Luftgeschwindigkeitswerten ihren Betrieb aufnehmen.

Welches Marktpotential?

Als die ABB sich für das Projekt der NASA zu interessieren begann, war ihr bewusst, dass es sich hier nicht um einen exotischen Einzelauftrag handelte, sondern dass dies erst ein Anfang sein würde. Die US-Regierung plant nämlich die Modernisierung sowie den Neubau einer ganzen Reihe von Windkanalanlagen. Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der NASA-Anlage in Hampton wird die ABB in den USA in absehbarer Zeit über ein Referenzwerk mit der weltweit höchsten Leistung verfügen. Bereits wurden potentiellen Auftraggebern Kostenvoranschläge für Windkanalprojekte unterbreitet, die eine Leistung von 400 MW vorsehen. Überdies dürften auch europäische Flugzeugbauer ein Interesse zeigen, ihre Flugzeugentwicklungen in Europa zu testen.

Vor allem aber dürfte die erfolgreiche Inbetriebnahme der Windkanalanlage – mit dem weltweit grössten Antrieb, der auf dieser Technologie basiert – die Wettbewerbsposition der ABB in Asien und insbesondere China verbessern. Gerade in Ländern dieser Region ist es für einen Anbieter wichtig, auf bestehende Referenzanlagen verweisen zu können, beispielsweise wenn es darum geht, Projekte für leistungsstarke Pumpspeicherkraftwerke mit variabler Drehzahl auszuarbeiten, die von Synchronmaschinen mit Stromrichteranlagen betrieben werden.

Le projet de soufflerie aérodynamique de la NASA: savoir-faire hydraulique au profit de l'aviation

Lorsque la NASA décida de moderniser l'ancien entraînement de sa soufflerie aérodynamique «National Transonic Facility (NTF)» de Hampton (Etat de Virginie) afin de mettre à disposition de l'industrie aéronautique une possibilité moderne de tester ses développements, la firme ABB a vu la chance lui sourire: grâce à ses connaissances en matière de construction de générateurs hydrauliques synchrones, elle a été en mesure d'élaborer une solution optimale qui, qualifiée de «best evaluated overall value for the government», a écrasé la concurrence.

Il peut, a priori, paraître surprenant que ce soit précisément avec son savoir-faire hydroélectrique, que la firme ABB puisse entrer dans le domaine de l'aéronautique, mais ce n'en est pas moins dans la logique des choses, comme le montrent les prémices de l'histoire.

Wir sorgen dafür,

dass es **selten** zu

Flas*chenhälsen*

kommt.

Schneider liefert Automatisierungs- und elektrische Anlagen für über 100 der grössten Getränkehersteller auf der ganzen Welt. Schneider hat sich auf die Bereiche elektrische Energieverteilung, Automatisierungs- und Steuerungstechnik spezialisiert und steht für die vier Weltmarken Merlin Gerin, Modicon, Square D und Telemecanique. Und über 60'000 Spezialisten in 130 Ländern, die nur ein einziges Ziel haben: Ihren Ansprüchen gerecht zu werden. Jeden Tag. Sicher, ökonomisch und leistungsstark.

Schneider Electric (Schweiz) AG
Fax+(41) 031 917 33 55
http://www.schneiderelectric.com

Wer macht weltweit mehr aus Elektrizität?

GROUPE SCHNEIDER

■ Merlin Gerin ■ Modicon ■ Square D ■ Telemecanique