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: 76 (1985)

Heft: 3

Artikel: Développement d'une éolienne 10 kW

Autor: Bautz, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904559

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: 14.07.2025

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

Développement d'une éolienne 10 kW

R. Bautz

La fiabilité, la simplicité et un entretien limité au minimum sont les conditions essentielles qui déterminent les chances de succès d'un aérogénérateur sur le marché. Cet article présente le développement d'une éolienne 10 kW, de fabrication suisse, utilisant des technologies récentes, mais néanmoins éprouvées.

Betriebssicherheit, Einfachheit und auf ein Minimum reduzierte Wartung sind ausschlaggebend für den Erfolg eines Windgenerators. Der vorliegende Beitrag stellt die Entwicklung einer 10 kW starken, in der Schweiz hergestellten, auf dem letzten Stand der Technik basierenden, jedoch gründlich erprobten Windmaschine dar.

Adresse de l'auteur

R. Bautz, ing. EPFL, Bureaux techniques, Electricité Neuchâteloise S.A., 2035 Corcelles.

1. Avant-propos

Les Forces Motrices Neuchâteloises (FMN) s'intéressent à l'énergie éolienne depuis neuf ans environ. Les recherches effectuées sur plusieurs types de machines (Darrieus, Savonius, p.ex.), ont conduit à la commercialisation d'un aérogénérateur de 5 kW du type à axe horizontal bipale, possédant un rotor à griffes avec un aimant permanent. Suite à l'expérience acquise avec cette machine, et pour mieux répondre à la demande du marché, une nouvelle éolienne de 10 kW a été développée, compte tenu des critères suivants:

- Utiliser au mieux des éléments de l'éolienne 5 kW, ayant une technologie éprouvée, afin de réduire les frais de développement.
- Développer une machine fiable avec le minimum d'entretien, mais néanmoins bon marché.
- Optimiser, compte tenu du caractère variable de l'énergie éolienne, l'ensemble de la chaîne de transformation.

2. Choix techniques

Les résultats obtenus lors du développement de l'ancienne éolienne 5 kW ont montré que les choix suivants avaient été judicieux:

- L'hélice à axe horizontal, deux pales à pas variable, caractérisée par un chiffre de vitesse élevé (λ = 10), permettant d'éviter l'utilisation d'un multiplicateur, d'où un bon rendement (fig. 1).
- Des pales en fibres de verre renforcées de fibres de carbone, pour une bonne tenue mécanique à la fatigue et à l'effet gyroscopique.
- Un régulateur mécanique centrifuge, avec une came de réglage assurant un calage au démarrage et l'éclipsage.
- Un générateur électrique lent, auto-adapté, à fort statisme et résistant aux courts-circuits (blocage de l'éolienne), avec protection contre les décharges électrostatiques.

A partir de ces choix préalables, il a donc fallu étudier les différentes variantes adéquates pour doubler la puissance de l'éolienne.

3. Variantes et étude de l'hélice

La puissance maximale théoriquement récupérable du vent est donnée par (limite de Betz):

$$P_r = \frac{16}{27}\left(\frac{1}{2}\,\varrho\, S_a\, v^3\right) \qquad (1)$$

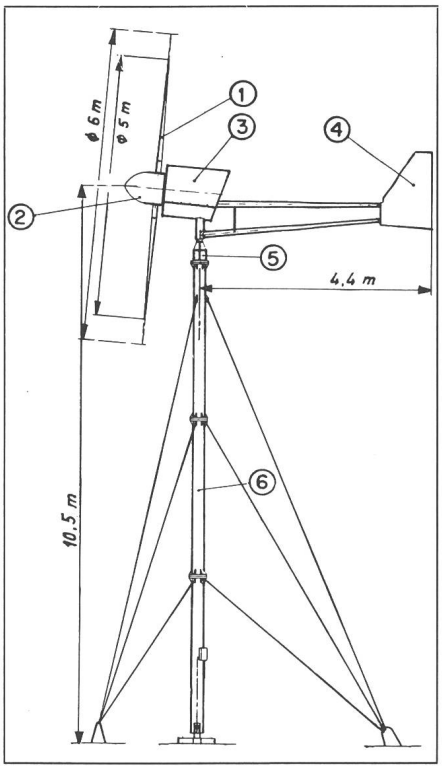


Fig. 1 Aérogénérateur FMN de 5 kW
1 hélice
2 régulateur
3 générateur
4 dispositif d'orientation dans le vent
5 pivot
6 mât porteur

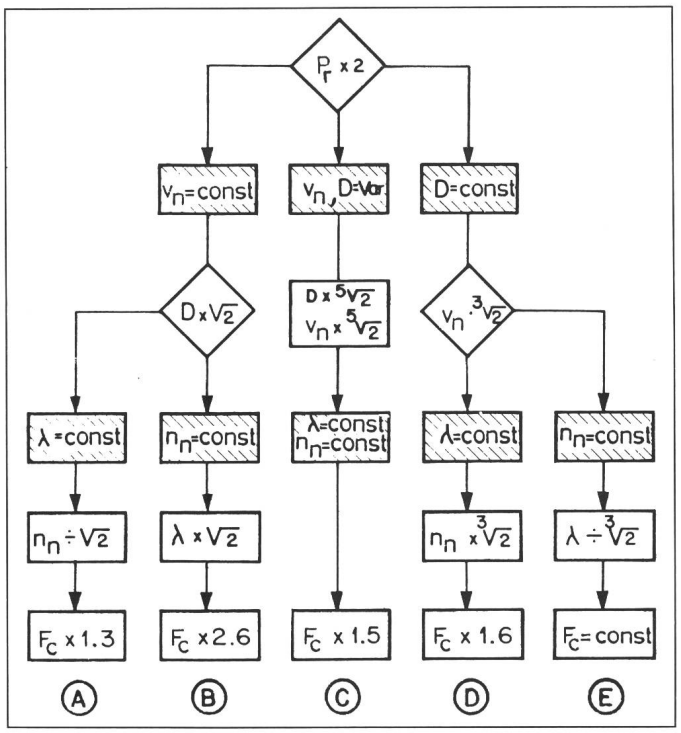


Fig. 2
Tableau des variantes avec $\eta_H = 0{,}7$
F_c force centrifuge sur les pales ($F_c = m\,r\,\omega^2$)

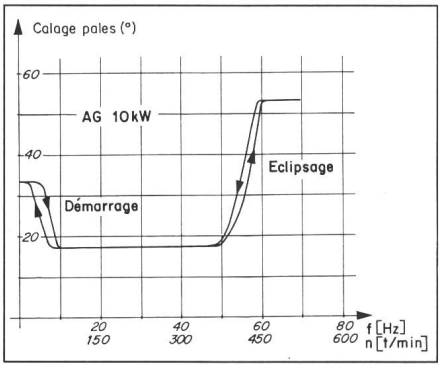


Fig. 3 Caractéristique du régulateur 10 kW relevée sur un banc d'essai avec masses

ϱ masse spécifique de l'air
S_a surface active balayée par l'hélice
v vitesse de vent.

La masse spécifique de l'air étant donnée, il n'est possible d'agir que sur la vitesse de vent nominale (V_n) et la surface active de l'hélice pour augmenter la puissance récupérable. La relation existant entre la vitesse de vent nominale et la vitesse de rotation de l'hélice est donnée par

$$v_n = \frac{\pi\, n_n\, D}{60\lambda} \qquad (2)$$

n_n vitesse de rotation nominale de l'hélice (min^{-1})
D diamètre de l'hélice
λ chiffre de vitesse

Ainsi les variables à dimensionner pour une puissance fixée sont v_n, D et λ. La figure 2 résume les variantes possibles pour doubler la puissance à l'arbre de l'hélice en tenant compte du rendement η_H de l'hélice

$$P_a = \eta_H\, P_r \qquad (3)$$

Les solutions A et D ont été écartées, car le changement de la vitesse de rotation nécessiterait un redimensionnement complet de l'éolienne (fréquence de fonctionnement, nombre de pôles du générateur, etc.). Les solutions B et E nécessitent un changement du chiffre de vitesse. Celui-ci étant déjà élevé, il est difficile d'adopter la solution B; la solution E nécessiterait un changement du profil de pale. La variante C, retenue, permet de conserver le même chiffre de vitesse et la même vitesse de rotation. L'équation 2 donne

$$\lambda/n = D/v_n \cdot \pi/60 = 0{,}026 \qquad (4)$$

Tenant compte du profil utilisé (Göttingen 624 avec un rendement calculé $\eta_H = 0{,}635$) et de la surface active, le diamètre de l'hélice et la vitesse de vent nominale ont été augmentés. Les caractéristiques aérodynamiques sont donc celles du tableau I.

Caractéristiques aérodynamiques Tableau I

Profil	Göttingen 624
Diamètre de l'hélice	6,048 m
Surface active	28,4 m²
Chiffre de vitesse	10
Rendement	0,635
Vitesse de vent nominale	11,8 m/s
Vitesse de rotation nominale	375 t/min
Puissance à l'arbre	10,94 kW

4. Régulateur

Le régulateur mécanique centrifuge a été conservé avec ses dimensions de la version 5 kW. Pour compenser la force centrifuge (F_c) plus élevée due aux nouvelles pales, la précontrainte des ressorts de réglage a été augmentée. La figure 3 montre la caractéristique du régulateur mécanique 10 kW.

5. Générateur

La première approche a été de concevoir une nouvelle machine sur la base de l'ancien générateur à griffes, avec aimant annulaire. L'impossibilité de trouver sur le marché des aimants de grande taille ayant une énergie magnétique suffisante tout en conservant les tôles existantes a conduit à l'abandon de cette variante.

L'aimant du rotor à griffes fut remplacé par une douille en acier, l'enroulement d'aimantation par une bobine d'excitation. Cette dernière a été réalisée avec plusieurs prises intermédiaires (fig. 4), permettant d'adapter la tension d'excitation pour un fonctionnement en stockage avec différentes

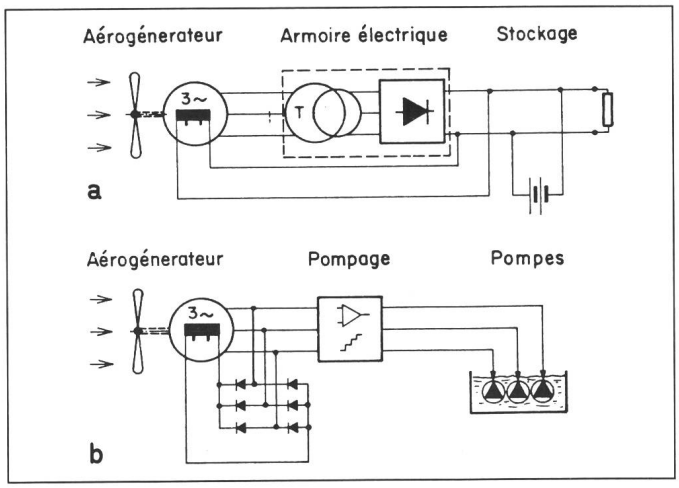


Fig. 4
Excitation en configuration de stockage (a) et de pompage (b)

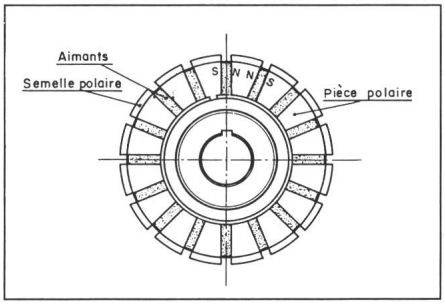


Fig. 5 Rotor à pôles avec aimants permanents à magnétisation transversale

tensions normalisées (110 V, 220 V=) et en pompage (excitation shunt).

Lors des essais de prototype, ce générateur n'a pas donné les résultats escomptés du point de vue puissance. Malgré une modification ultérieure des inductions et de l'empilage, la réactance synchrone directe était trop élevée, principalement du fait de la structure à griffes avec excitation classique.

Pour éviter la présence de bagues collectrices avec charbons, la réalisation d'un générateur synchrone à diodes tournantes a été envisagée.

Cette variante aurait nécessité une conception entièrement nouvelle de l'ensemble de la machine. Le prix de revient élevé et les dimensions importantes d'un tel rotor avec induit polyphasé et redresseur tournant jouent actuellement en défaveur de son application dans le domaine de l'énergie éolienne.

Tout en conservant la variante d'un alternateur triphasé pour des raisons de rendement, un nouveau rotor à aimants permanents de ferrite, à magnétisation transversale, a été développé en collaboration avec le Laboratoire d'Electromécanique de l'EPFL.

Cette nouvelle structure compacte (fig. 5) abaisse la réactance synchrone directe ainsi que la chute de tension interne, et permet de retirer le maximum de puissance grâce à une induction élevée dans l'entrefer.

Les caractéristiques externes du générateur étant conditionnées par les dimensions du stator et les propriétés actives des aimants permanents, le développement récent de nouveaux matériaux magnétiques durs, notamment de céramiques ferromagnétiques, a permis d'atteindre les deux buts fixés, c'est-à-dire de conserver le diamètre d'alésage du stator existant tout en doublant la puissance. Les propriétés intéressantes de ces nouvelles ferrites sont:

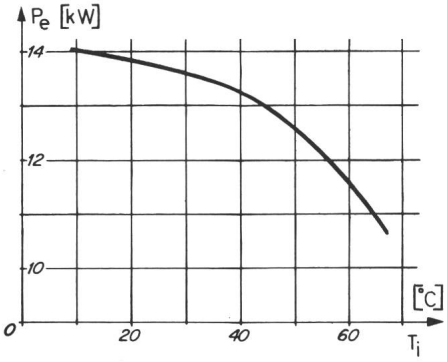


Fig. 6 Variation de la puissance de sortie P_e en fonction de la température statorique moyenne T_i

- Champ coercitif très élevé (H_c = −250 kA/m)
- Insensibilité aux champs démagnétisants
- Résistivité élevée
- Géométrie aplatie avec polarisation dans le sens de l'épaisseur. Compensation de la rémanence faible B_r = 370 mT par une section importante au passage de l'induction.

Le seul inconvénient de ces aimants est leur sensibilité thermique (coefficients de température: $B_r \approx -0{,}2\%/K$; $H_c \approx 0{,}9\%/K$). L'influence de cette sensibilité sur la puissance de sortie de la génératrice est montrée à la figure 6.

6. Résultats obtenus

Deux prototypes de ce nouveau générateur à aimants permanents ont été réalisés et sont actuellement l'objet de nombreux essais en laboratoire et sur site.

Les caractéristiques électriques mesurées concordent avec celles calculées (tab. II). La figure 7 montre la tension à vide, après stabilisation des aimants, en fonction de la fréquence de rotation. Les courbes de charge (fig. 8 et 9) illustrent les propriétés spécifiques de ce générateur auto-adapté à fort statisme, grâce à la variation de la tension interne qui augmente avec la fréquence et le courant.

Caractéristiques électriques Tableau II

Puissance nominale ($\bar{T}_i$ = 40 C)	12 kVA
Tension nominale	380 V
Tension à vide	565 V
Courant nominal	18 A
Courant de court-circuit	26 A
Fréquence nominale (n = 375 tr/min)	50 Hz
Rendement (cosφ = 1)	0,87

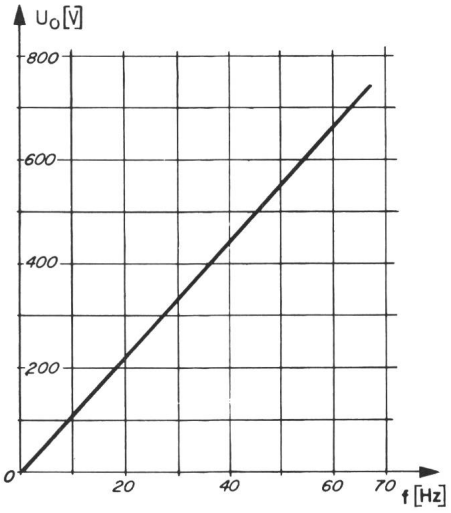


Fig. 7 Tension à vide U_0 en fonction de la fréquence f

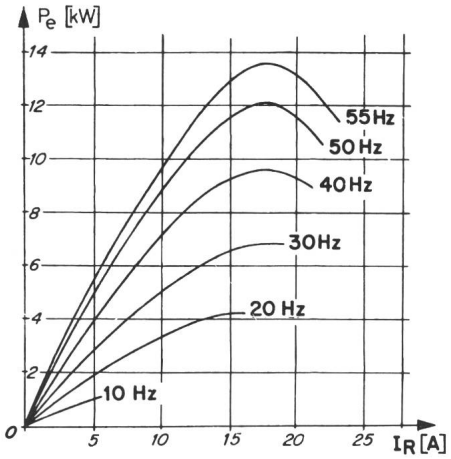


Fig. 8 Puissance électrique P_e du générateur en fonction du courant de charge avec la fréquence comme paramètre et cos φ = 1

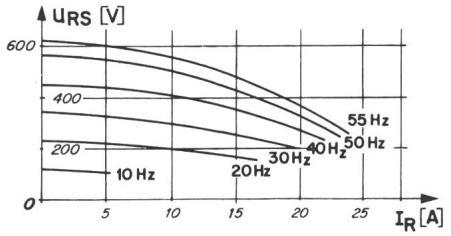


Fig. 9 Tension composée en fonction du courant de charge avec la fréquence comme paramètre et cos φ = 1

Le champ coercitif élevé des nouvelles ferrites a montré, lors des essais, une bonne tenue aux courts-circuits, sans démagnétisation, ce qui procure un moyen simple de freinage et de blocage de l'éolienne en cas de besoin, le courant de court-circuit ne dépassant pas 1,44 p.U.

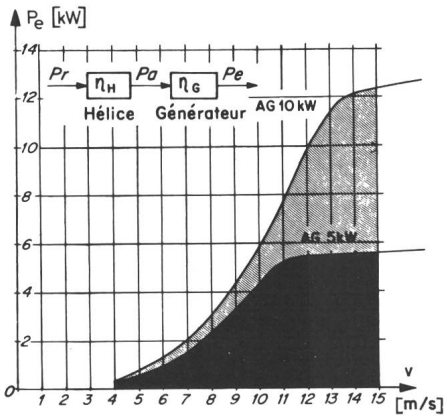
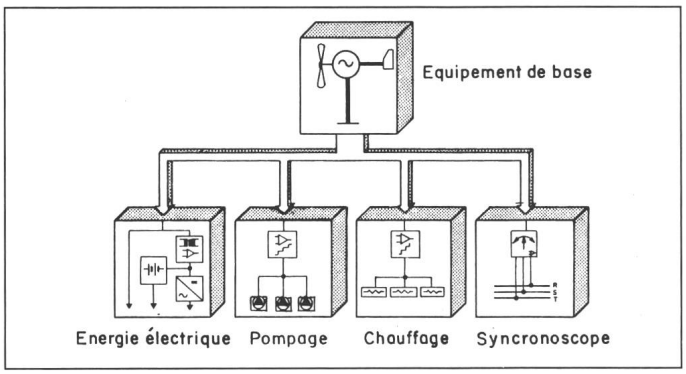


Fig. 10 Puissance de sortie P_e des aérogénérateurs en fonction de la vitesse du vent v

Fig. 11
Composants du système éolien



En résumé, les modifications principales apportées à l'éolienne 5 kW pour doubler sa puissance ont été les suivantes:

- Augmentation du diamètre des pales.
- Dimensionnement d'un nouveau rotor à aimants permanents et adaptation du nombre de spires au stator.
- Augmentation de la précontrainte des ressorts de réglage du régulateur mécanique.

Les deux courbes de la figure 10 comparent les puissances électriques de sortie des aérogénérateurs 5 et 10 kW en fonction de la vitesse du vent.

La puissance surfacique d'une éolienne (quotient de la puissance nominale de sortie par la surface active) est un paramètre qui permet de comparer différentes machines puisqu'il tient compte à la fois de la vitesse du vent nominale, du rendement de l'ensemble du système et de la surface active balayée. La valeur obtenue pour le nouvel aérogénérateur est très élevée, soit P'_e = 334,5 W/m² pour la vitesse du vent v_n = 11,8 m/s. Elle reflète le dimensionnement optimal obtenu.

7. Applications

Le développement s'est aussi poursuivi au niveau du consommateur. Toute une série de composants, permettant l'application directe de l'énergie éolienne, ont été développés (fig. 11).

Energie électrique: L'armoire de commande contient l'appareillage nécessaire au réglage optimal du transfert de l'énergie électrique, de l'éolienne aux utilisateurs. Pour certaines applications, un stockage par batteries est nécessaire. L'ensemble comprend alors une armoire de commande servant à la régulation, au stockage et à la distribution de l'énergie, ainsi qu'une unité d'accumulateurs. Un onduleur permet d'alimenter des équipements par une tension alternative stabilisée.

Ces armoires sont également conçues pour la marche en parallèle avec d'autres sources d'énergie.

Pompage: Un coffret de pompage réalise le couplage direct entre l'aérogénérateur et des pompes à moteurs asynchrones. Ce coffret permet la commande d'une, deux ou trois pompes par la poursuite de la puissance optimale du vent disponible à chaque instant. L'aérogénérateur et le lieu de pompage peuvent être séparés de plusieurs centaines de mètres.

Chauffage: Un coffret de chauffage permet de coupler directement des radiateurs électriques à l'aérogénérateur. Par une commande de poursuite de la puissance optimale disponible identique à celle du pompage, plusieurs radiateurs peuvent être raccordés. Le chauffage à partir d'une armoire de commande avec stockage est également possible.

Synchronoscope: Un petit synchronoscope permet de raccorder, suivant les autorisations obtenues, des aérogénérateurs sur des réseaux séparés (fermes d'éoliennes, p.ex.) ou au réseau de distribution interconnecté.

Une étude anémométrique locale est un préalable souhaitable pour le calcul du gisement éolien d'un site avant l'implantation d'un aérogénérateur. Pour répondre à ces exigences, un enregistreur de vitesse du vent à microprocesseur avec une alimentation autonome à cellules solaires a été développé dans le cadre du programme éolien. Cet appareil permet d'obtenir une courbe classée des vents.

Bibliographie

[1] *S. Mattatia:* L'énergie éolienne. Helios-Energies Nouvelles -(1982)2, p. 7...16, -(1983)1, p. 16...30. -(1983)2, p. 10...13.

[2] *S. Mattatia:* Variantes pour l'augmentation de la puissance de l'éolienne. FMN Rapport N° 82/6. Corcelles, Forces Motrices Neuchâteloises S.A., 1982.

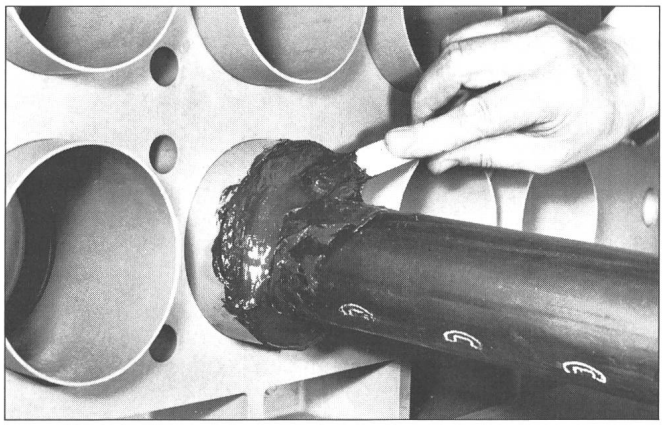
[3] *M. Jufer:* L'énergie éolienne. Bull. ASE/UCS 75(1984)5, p. 245...249.

[4] *R. Bautz:* Eolienne 10 kW. Equipement de base. FMN N° 84/6. Corcelles, Forces Motrice Neuchâteloises S.A., 1984.

Atelier Erhard Meier

dicht?

Mit dem neuen
Abdichtungssystem Scotchcast 9580
keine Frage mehr.



Scotchcast 9580 ist ein spachtelbares, elastisches Polyurethan-Harz:
für garantiert gas- und wasserdichte Abdichtungen von Kabelkanälen, Kabel-, Gas- und Wasserrohreinführungen in Gebäude; auch für Dichtungen zwischen Rohr und Mauerwerk.

- unbrennbar
- ausgezeichnete Haftung z.B. auf Ton, PVC, PE, Beton, Eternit
- flexibel, kann bei Bedarf wieder entfernt werden
- schnelle, einfache Verarbeitung

Wir informieren Sie gerne. Verlangen Sie noch heute die Unterlagen Scotchcast 9580.

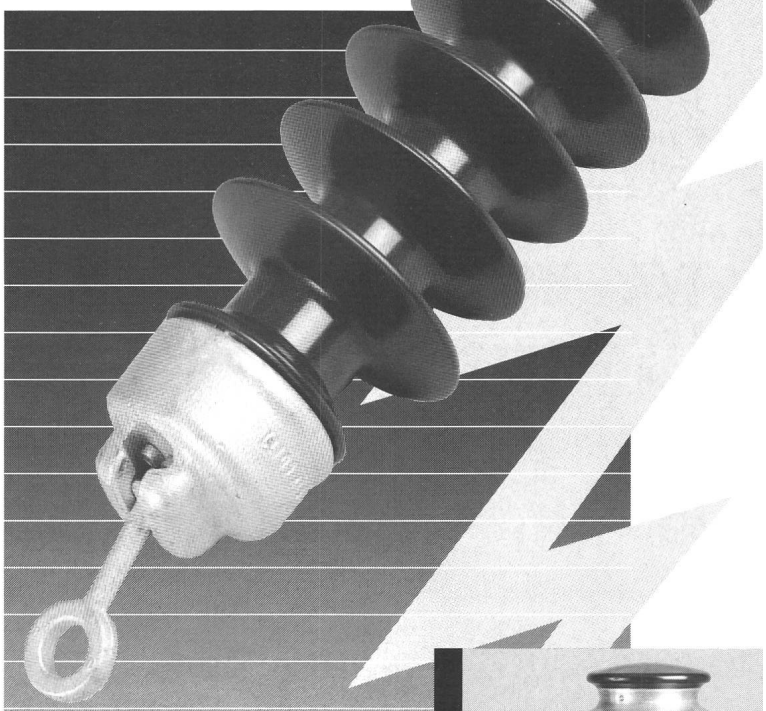
3M (Schweiz) AG
Abt. Elektroprodukte
8803 Rüschlikon
Durchwahl 01 724 93 51

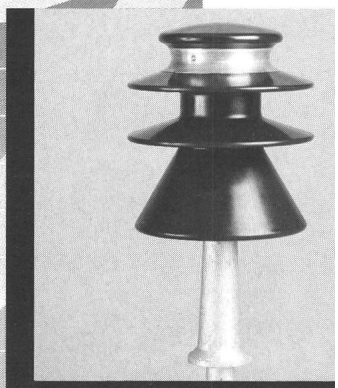
3M

Das Bessere löst altbewährtes ab:

Epoxidharz-Isolatoren WEMA

für Freiluft und Innenraum



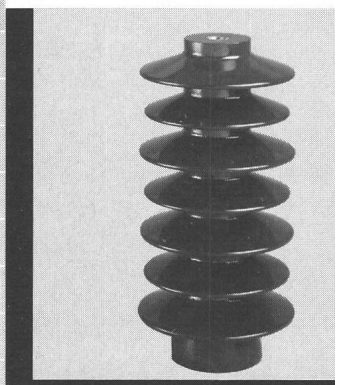


Stützen-Isolatoren

VDE-Reihe 20, 30
Nenngrenzlast 15 kN
Kriechweg 340, 510 mm
Gewicht 2,1...3,4 kg

WEMA-Epoxidharz-Isolatoren für Freiluftaufstellung werden allen Anforderungen der modernen Isolationstechnik gerecht:
- hohe Lichtbogenfestigkeit
- hohe Kriechstromfestigkeit
- verbesserte mechanische Eigenschaften
- kleineres Gewicht
- reduzierte Abmessungen
- minimaler Wartungsaufwand
- niedrige Investitionskosten.

Wagen Sie noch heute den Schritt zur modernen Isolationstechnik – rufen Sie uns an, verlangen Sie Unterlagen und fachkundige Beratung!



Freiluftstützer

VDE-Reihe 10, 20, 30
Nenngrenzlast 5 kN
Kriechweg 330, 695, 780 mm
Gewicht 2,1, 3,1, 6,4 kg

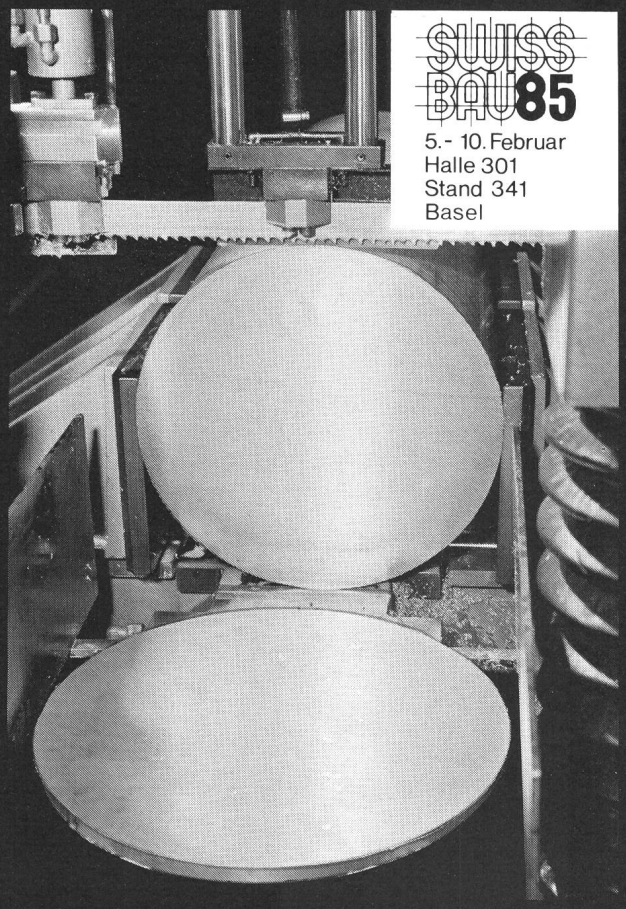
Generalvertretung:

Elektrobau I. Huser AG

9572 Busswil Tel. 073-23 46 46

Platten? Rundstangen?

Wir sägen präzis!



Spezialitäten ab Lager ALLEGA: Platten, Ronden und Ringe bis 150 mm Dicke – auch in der Aluminium-Hartlegierung Perunal-215 vorrätig. Rundstangen von 30 bis 400 mm Durchmesser. Nach Ihren Wünschen auf unseren modernsten, leistungsfähigen Sägeautomaten massgenau bearbeitet. Wir können getrost behaupten: schneller und präziser geht es nicht mehr! Wann testen Sie uns?

ALLEGA AG
Buckhauserstrasse 5, 8048 Zürich
Tel. 01/497 41 11, Telex 822 339

5/84

ALLEGA

ALLEGA
für Aluminium

U

(U wie Umwelttechnik)*

1.
Haben Sie daran gedacht, dass das Umweltschutzgesetz (USG) in Kraft ist – und dass Verordnungen dazu erscheinen?

2.
Können Sie den Nachweis erbringen, dass die Luftreinhalteverordnung (LRV) eingehalten wird?

3.
Haben Sie Ihre Anlage bezüglich Lärm oder Erschütterungen im Griff?

4.
Wie verhalten sich die von Ihnen deponierten Stoffe während der nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte?

Sind Sie auf Probleme gestossen?
Nehmen Sie bitte Kontakt auf mit:

Georg Resele
Dr.sc.nat., Physiker
Chef Gruppe Umwelttechnik

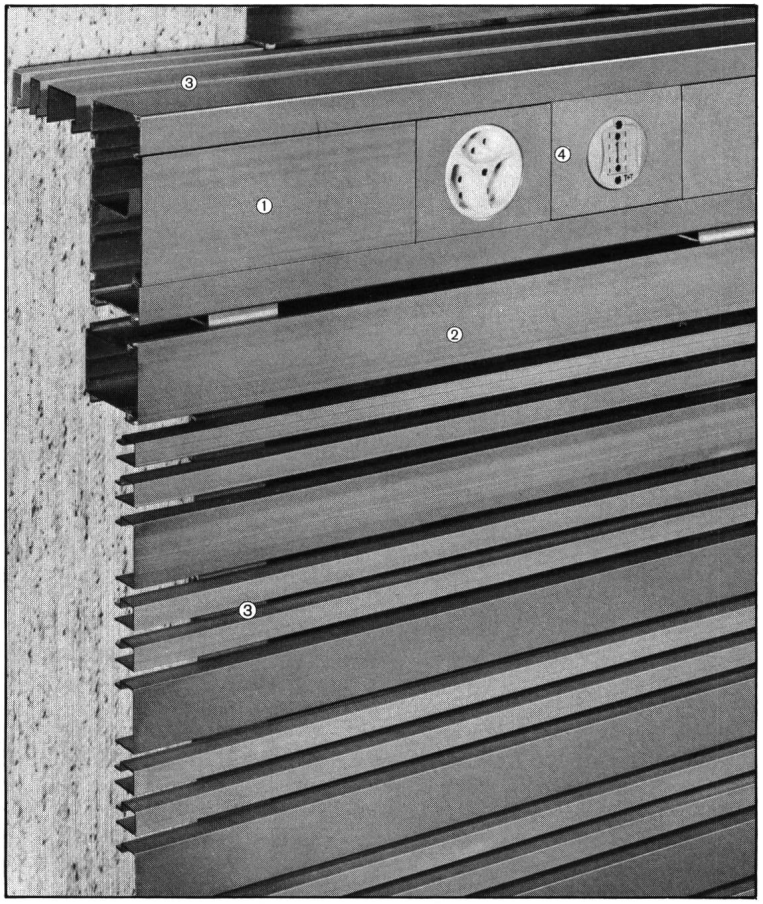
MOTOR COLUMBUS
Ingenieurunternehmung AG
CH-5401 Baden/Schweiz
Parkstrasse 27
Telefon 056 20 11 21
Telex 54 532 a moco ch

* Weitere Beispiele aus unserem Dienstleistungsalphabet:
A wie Agronomie, G wie Geologie,
L wie Leitungsbau, W wie Wärmetechnik

Überzeugend einfach:

REHAU
Brüstungskanäle mit Anbausystem.

Moderne Büro- und Verwaltungsgebäude werden heute zunehmend über Brüstungskanäle mit Energie versorgt. Sei es für Elektrogeräte oder für Computerterminals. Das umfassende AL-Anbausystem ermöglicht durch sein bestechendes Design architektonisch optimale Verkleidungs-Lösungen.



① Alu-, Stahlblech- und Kunststoff-Kanäle in verschiedenen Farben und Grössen.
② Alu-Elektronikkanal zur getrennten Führung von Nachrichtenleitungen.
③ Alu-Anbausystem zur horizontalen und vertikalen Verkleidung von Heizkörpern usw. mittels Lüftungsprofilen.
④ Alle gängigen Steckdosen für: ● 220 V/380 V ● Telefon ● Computer/Telex.

Das Rehau-Vollsortiment umfasst auch ● Leitungskanäle ● Verdrahtungskanäle ● Mini-Kanäle und ● halogenfreie Kanäle.

Dürfen wir Sie überzeugen? Wir senden Ihnen gerne den Rehau-Gesamtkatalog zu.

JF

Julius Fischer AG
Ausstellungsstrasse 41, Postfach, 8021 Zürich
Tel. 01 / 42 31 13, Telex 822 911

Dr. Juchli 410 Kn

Garantit l'allumage de toute lampe fluorescente. De façon absolument sûre. Et sans papillotement. Ce qui rend les tubes plus durables. A ne pas oublier. F. Knobel Fabrique d'appareils électriques S.A., 8755 Ennenda, Téléphone 058-63 11 71

„Ich fahre nach Hannover. Denn neue Produkte und Systeme sowie Technologien der Elektronik und Elektrotechnik sehe ich hier zuerst."

In Hannover informieren Sie sich gezielt. Über neue Wege zur wirtschaftlichen Produktion. Über Automatisierung, wegweisende Lösungen in der Nachrichtentechnik, den Einsatz innovativer Mikroelektronik und moderne Energietechnik. Auf keiner anderen Messe finden Sie derart viele Anregungen für Ihr Unternehmen.
Kurzum: Hannover informiert Sie umfassend über neue Entwicklungen und Produkte der Elektronik und Elektrotechnik.

Weitere Informationen erhalten Sie von:
Reisebüro KUONI AG
Abteilung Hannover-Messe
Neugasse 231
8037 Zürich
Tel.: (01) 44 12 61
Telex: 823057

Weltmarkt Elektronik Elektrotechnik

...auf der Messe der Messen

Mittwoch, 17. – Mittwoch, 24. April

Hannover Messe '85