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: 87 (1996)

Heft: 24

Artikel: K-Store und Polux : neue Technologie eröffnet dem Holzmast eine bessere Zukunft

Autor: Sandoz, J. L. / Lorin, P. / Guilloux, Ch.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902403

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

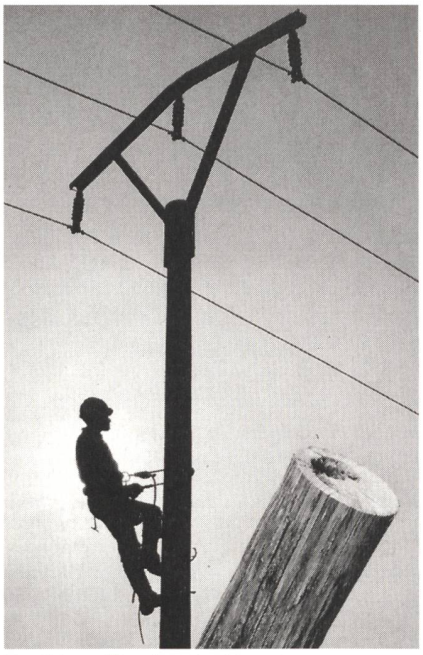
Download PDF: 10.12.2025

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

Bei der Nutzung elektrischer Leitungen auf Masten stellt sich den Unternehmern ein doppeltes Problem: die Sicherheit des Personals und die Unterhaltskosten. Um diesen Problemen Einhalt zu gebieten, wurden an der ETH Lausanne neue Technologien für Holzmasten entwickelt. Polux® ist ein neues, tragbares Gerät, das die Sicherheitsdiagnose sowie die voraussichtliche Lebensdauer mit rotem oder grünem Licht aufzeigt. K-Store ist ein Computerprogramm, das die Daten ausarbeitet, und damit die Optimierung der Unterhaltskosten ermöglicht.

K-Store und Polux

Neue Technologie eröffnet dem Holzmast eine bessere Zukunft [1)]



Eine Minute für zehn Jahre Garantie.

Adresse der Autoren
Prof. *J. L. Sandoz* und Ing. *P. Lorin*
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
IBOIS, GCH2 (Ecublens), 1015 Lausanne

Ch. Guilloux und *O. Vanackere*
EDF-DER, Groupe SEMO
Av. Général de Gaulle 1
F - 92141 Clamart Cedex, France

1) Unter Mitwirkung von: Compagnie Vaudoise d'Electricité (CVE), Morges; Telecom PTT Direktion Lausanne; Electricité de France (EDF) Clamart

■ J. L. Sandoz, P. Lorin, Ch. Guilloux und O. Vanackere

Einleitung

Von Anfang an wurden Holzmasten als Stützen für elektrische Freileitungen und Telefonleitungen eingesetzt. Als industrielles Produkt hat sich dieses Bauelement in seiner äusseren Form kaum weiterentwikkelt. Lediglich die Behandlungsmethoden wurden verbessert und ermöglichen es heute, eine mittlere Lebensdauer von dreissig bis fünfzig Jahren zu garantieren.

Der Bestand an Holzmasten im Einsatz hat ein beeindruckendes Ausmass erreicht: für die Länder der europäischen Union kommt nach einer Schätzung im Mittel ein Mast auf je zwei Einwohner. Die Bedeutung dieses Bauelements erfordert deshalb eine Wartungsstrategie, die auf drei Hauptziele ausgerichtet ist: die Sicherheit des Personals, das zur Instandhaltung und Reparatur der Leitungen eingesetzt wird, die Zuverlässigkeit der Leitungen selbst, als Voraussetzung für einen störungsfreien Betrieb, die Organisation und Optimierung der Instandsetzungsmassnahmen, einschliesslich der vorausschauenden Planung für einen zukünftigen Ersatz (Austausch). Ausgehend von dieser Zielsetzung soll in diesem Artikel die neue Technologie des Systems Polux vorgestellt werden.

Die wesentlichen Eigenschaften des Holzmastes

Die Eigenschaften von Holzmasten, insbesondere deren mechanische Festigkeit, ändern sich wesentlich von einem Exemplar zum anderen, denn Holz ist ein natürlicher Baustoff. Um diesem Problem Rechnung zu tragen, sehen die Richtlinien für dessen Einsatz vor, dass die Belastung innerhalb zulässiger Grenzen bleibt, die einen mittleren Sicherheitsfaktor von 2,5 bis 3 gewährleisten. In Ergänzung zu diesen Sicherheitsregeln werden bei der Abnahme der Holzmasten Sichtprüfungen durchgeführt, die verhindern sollen, dass Exemplare eingesetzt werden, die bereits in neuem Zustand ungenügende Kennwerte aufweisen. Trotz dieser vorbeugenden Massnahmen der Auslese und Sicherheitsreserve erhält man eine Häufigkeitsverteilung, wenn man die Qualität von neuwertigen Holzmasten, ausgedrückt in ihrer Biegebruchspannung, im Vergleich zu den zu erwartenden Belastungen im Einsatz (Winddruck auf Leitungen und Masten) graphisch darstellt (Bild 1). Die zulässige Belastung (55/3 N/mm^2 in Frankreich und 45/3 N/mm^2 in der Schweiz) ist der Kennwert, aus dem sich der minimale Durchmesser D_b des Mastes am Ort der Einspannung in Abhängigkeit der an der Mastspitze wirkenden Kraft F (im allgemeinen durch die Windbelastung hervorgerufen) und der Länge L des Mastes über

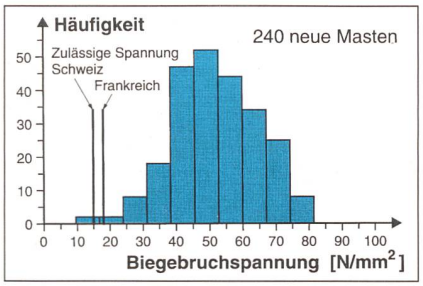


Bild 1 Statistische Verteilung der Biegebruchspannungen für eine Stichprobe neuer Masten. Zum Vergleich sind die maximal zulässigen Belastungen angegeben, die über die Zuordnung zu einer Klasse entscheiden (abhängig vom Durchmesser).

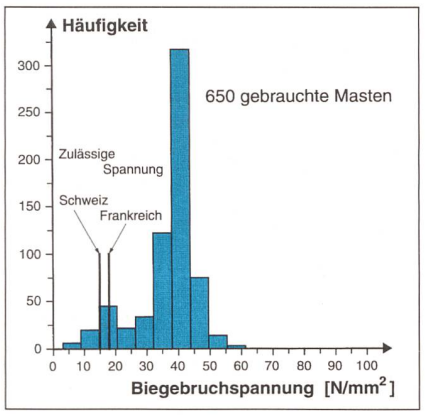


Bild 2 Statistische Verteilung der Biegebruchspannungen für eine Stichprobe gebrauchter Masten im Vergleich zu den zulässigen Grenzwerten.

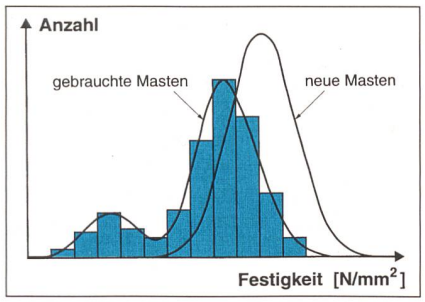


Bild 3 Simulation der statistischen Verteilung der Restfestigkeit gebrauchter Träger unter Berücksichtigung einer allgemeinen linearen Schwächung (natürliche Alterung) und einer zufälligen Beschädigung von einzelnen Exemplaren. Für gebrauchte Masten ergibt sich daraus eine zweihöckerige Verteilungsfunktion (Verteilungsfunktion mit Nebenmaximum).

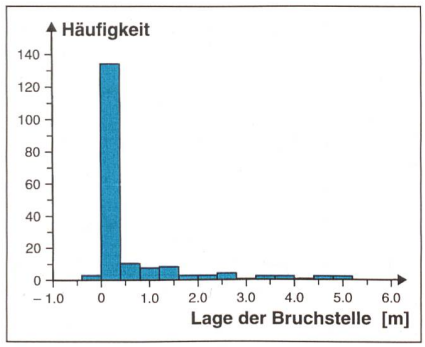


Bild 4 Lage der beobachteten Bruchstelle relativ zur Einspannlinie (Nullpunkt der Skala) für eine Stichprobe von 200 gebrauchten Trägern.

dem Boden gemäss Gleichung (1) errechnen lässt:

$$D_b^3 = \frac{F\ L\ 32}{\sigma_{zul}\ \pi} \qquad (1)$$

Aus Bild 1 lässt sich ablesen, dass aufgrund der Unzulänglichkeit des Ausleseverfahrens Fälle auftreten können, in denen ein neuer Mast einen Kennwert der maximal zulässigen Biegespannung aufweist, der dem im Einsatz zu erwartenden Wert sehr nahe kommt. Daraus ergibt sich eine ungenügende Sicherheitsreserve. Aber was die Gesamtheit der im Einsatz befindlichen Masten betrifft, so lässt sich sagen, dass für neuwertige Elemente im Mittel tatsächlich ein Sicherheitsfaktor von etwa 3 erreicht wird.

Alterung und verbleibende Zuverlässigkeit

Ein Mast ist der Alterung ausgesetzt und verliert einen Teil seiner mechanischen Eigenschaften, sobald er im Einsatz ist, und dies trotz der chemischen Behandlung. Die Alterung kann zweierlei Ursachen haben. Im allgemeinen treten infolge der mechanischen Belastung Ermüdungserscheinungen auf, und ausserdem führen die wechselnden Bedingungen der Umgebung, wie abwechselnde Zyklen der Trockenheit und Feuchtigkeit, zur Rissbildung. Dies ist ein normaler Prozess, der sich über die ersten fünf Jahre der Lebensdauer eines Mastes erstreckt. Anschliessend daran wird die Alterung eher von besonderen ungünstigen Ereignissen beeinflusst. In jeder Phase seiner Lebensdauer kann eine Beschädigung eines Mastes zu einer Minderung seiner Eigenschaften führen. Hierzu gehört die Alterung als Folge von Verwitterung (biologische Zersetzung) des Holzes, die dann auftritt, wenn biologische Keime die Schwelle der chemischen Oberflächenbehandlung überwunden haben. Zum Glück tritt dieser Fall der Alterung während der ersten dreissig Jahre des Einsatzes nur selten auf, er betrifft aber dennoch rund 8 bis 15% der Masten. Beschädigte Masten werden entweder bereits vorsorglich ausgetauscht oder nach einem Bruch ersetzt. Die Austauschrate nimmt mit dem Alter des Bestandes zu, insbesondere wenn die ersten dreissig Einsatzjahre überschritten sind. Neben der natürlichen und der aussergewöhnlichen Alterung gibt es vermutlich ebenfalls eine altersbedingte Zersetzung der Holzfasern, die von den verschiedenen Behandlungsprozessen und vom Feuchtigkeitsgehalt des Trägers abhängt. Diese Alterserscheinung könnte mit Vorgängen der langsamen Oxidierung verbunden sein, durch die sich die geringe Festigkeit von Trägern erklären liesse, die sonst keine biologisch bedingte Veränderung aufweisen. Eine erhöhte Austauschrate der Masten wird auch von anderen, eher vom Standort abhängigen Faktoren beeinflusst. Dies gilt zum Beispiel für Gegenden mit einem grossen Bestand von Spechtvögeln, für landwirtschaftliche Nutzflächen und Zonen am Strassenrand, wo mechanische Beschädigungen häufiger sind. In Bild 2 ist der Effekt der Alterung an einem statistischen Muster von 650 Masten dargestellt, die aus dem Bestand entnommen und im Labor untersucht wurden. Der Gesamtzustand des Bestandes zu einem vorgegebenen Zeitpunkt lässt sich aus Bild 3 ablesen. Man beobachtet in der Tat eine Verschiebung der Verteilung, als Folge der Schwächung durch den natürlichen Alterungsprozess, und ausserdem ein Nebenmaximum an der linken Flanke der Verteilungsfunktion, das auf Masten mit aussergewöhnlichen Beschädigungen zurückzuführen ist. Mit der Technologie von Polux lassen sich insbesondere diese Elemente herausfinden; damit kann das Unfallrisiko bei Instandsetzungsarbeiten herabgesetzt werden. Ausserdem lässt sich eine Strategie vorbeugender Massnahmen entwickeln, die durch vorgreifendes Austauschen von Masten die Betriebssicherheit des Netzes erhöht.

Kenngrössen der zerstörungsfreien Prüfung

Der kritischen Restfestigkeit eines Trägers wird an der Stelle der Einspannung am Übergang Luft-Boden ermittelt. Obwohl gelegentlich Brüche des freistehenden Mastteils beobachtet und der Beschädigung durch Spechtvögel zugeschrieben wurden, so bleibt der Bruch an der Einspannstelle mit einem Anteil von 90% der am häufigsten auftretende Fall. Wie anhand von Bild 4 gezeigt, variiert die genaue Lage der Bruchstelle in dieser Zone zwischen –30 und +30 cm.

Eine erste Etappe auf dem Niveau der Grundlagenforschung und der vergleichenden Studien der verschiedenen Methoden zur zerstörungsfreien Untersuchung der Einspannstelle hat interessante Ergebnisse geliefert, die in zwei Richtungen weisen: die Bestimmung der lokalen Härte des Trägers am Ort der Einspannung mit Hilfe der Pilodyn-Methode (Messung der Eindringtiefe einer Spitze ins Innere des Trägers). Zur Veranschaulichung der Empfindlichkeit dieser Methode ist in Bild 5 ein typisches Ergebnis gezeigt, das direkt mit dem Restwiderstand des Trägers in Verbindung gebracht werden kann. Eine andere bedeutungsvolle Untersuchung betrifft den inneren Feuchtigkeitsgehalt des Mastes, der sei-

nen biologischen Zustand beschreibt. Ein Träger, dessen Kern einen hohen Feuchtigkeitsgehalt aufweist, befindet sich in einer Phase der biologischen Zersetzung. Die Holzfasern sind bereits geschädigt, was sich negativ auf die Restfestigkeit des Trägers auswirkt. Ein typisches Beispiel dieser Methode ist in Bild 6 dargestellt. Die eindeutigsten Ergebnisse erhält man aus Beobachtungen in einer Höhe von +5 cm über der Bodenlinie, womit die Hypothese erhärtet wird, dass die Schwächung an der Einspannstelle in erster Linie von oben her erfolgt. Dieser Ansatz ist sowohl für mit Kreosoten als auch mit CCA- oder CCB-Salzen behandelte Masten gültig. Für nachbehandelte Masten ist diese Kennzeichnung weniger präzise, da das zur Nachbehandlung verwendete Produkt ebenfalls Feuchtigkeit einbringt.

Auf der Grundlage dieser Beschreibung mit Hilfe zweier Kenngrössen und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass keine der erwähnten Methoden allein eine ausreichende Empfindlichkeit aufweist, wurde ein Konzept aufgestellt, bei dem gleichzeitig die lokale Härte durch Einpressen zweier Elektroden und die Feuchtigkeit in einer Tiefe von 40 mm bestimmt werden. Dies ist das Funktionsprinzip von Polux.

Während mit der Pilodyn-Methode die lokale Härte dynamisch über einen Bereich von 20 bis 25 mm mit einer einzelnen Spitze bestimmt wird, misst Polux mit Hilfe eines Sensors die Kraft, die aufgebracht werden muss, um zwei Elektroden auf quasistatische Weise in die Basis eines Mastes einzupressen. Auf diese Weise lassen sich Beeinträchtigungen der Messung durch Risse vermeiden; ausserdem ermittelt das System Polux die maximale Härte in einer konstanten Tiefe von 40 mm. Sobald die Elektroden eingepresst sind, lässt sich mit ihrer Hilfe während demselben Testvorgang der Feuchtigkeitsgehalt bestimmen.

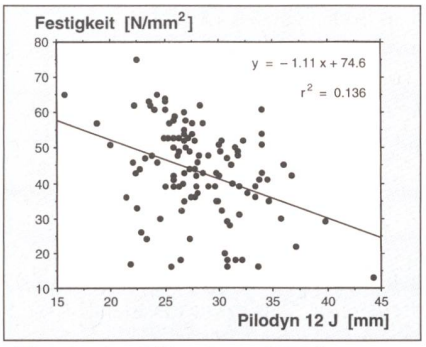


Bild 5 An einer Stichprobe von 200 Trägern ermittelte Korrelation zwischen der Pilodyn-Messung (Mittelwert von 12 Prüfungen) und der Biegebruchspannung für einseitige Biegelast.

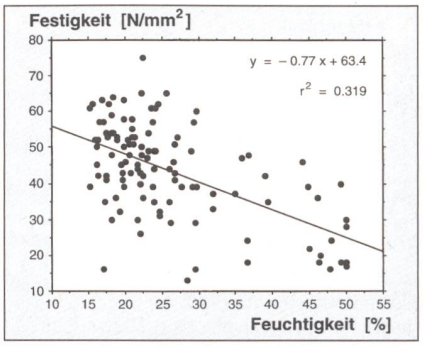


Bild 6 An einer Stichprobe von 200 Trägern ermittelte Korrelation zwischen der Messung des Feuchtigkeitsgehalts (Mittelwert aus 4 Prüfungen in einer Höhe von +5 cm über der Einspannstelle) und der Biegebruchspannung für einseitige Biegelast.

Diese Neuentwicklung stellt eine beträchtliche Bereicherung bei der Ermittlung der Festigkeit von Trägern dar. Bild 9 zeigt Ergebnisse, die von einem Baumuster der 2. Generation geliefert wurden. Man stellt fest, dass der Korrelationskoeffizient zwischen der zerstörungsfreien Prüfung und der in Wirklichkeit auftretenden Bruchbelastung $r^2 = 0{,}7$ erreicht, was einer Genauigkeit von ±15% entspricht.

Technologietransfer

Nachdem der Prototyp die gestellten Erwartungen erfüllt hatte, konnte basierend auf den in Bild 8 vorgestellten Ergebnissen und unter Berücksichtigung der ersten Erfahrungen in der praktischen Anwendung der Technologietransfer eingeleitet werden. Dafür wurde ein Pflichtenheft zusammengestellt, das folgende Anforderungen enthält:

- tragbares und wasserdichtes Gerät, das anhand von sofort verfügbaren Messergebnissen eine unmittelbare Diagnose erlaubt
- Diagnose im Hinblick auf Aspekte der Sicherheit sowie eine Bestimmung des Restfestigkeit der untersuchten Masten
- Dauer einer Messung rund 1 Minute
- Gesamtgewicht weniger als 7 kg
- robust, zuverlässig, geringer Wartungsaufwand.

Im Rahmen einer Konzeptstudie, bei der auch Aspekte der industriellen Herstellung mit einbezogen wurden, konnten die allgemeine Auslegung verbessert und die Konstruktionsmaterialien festgelegt werden. Dabei ging es darum, dass das System Polux letztlich sämtliche Anforderungen des Pflichtenheftes erfüllen sollte. Die Entwicklung vom Prototyp zum industriellen Endprodukt ist in Bild 7 aufgezeigt. Das

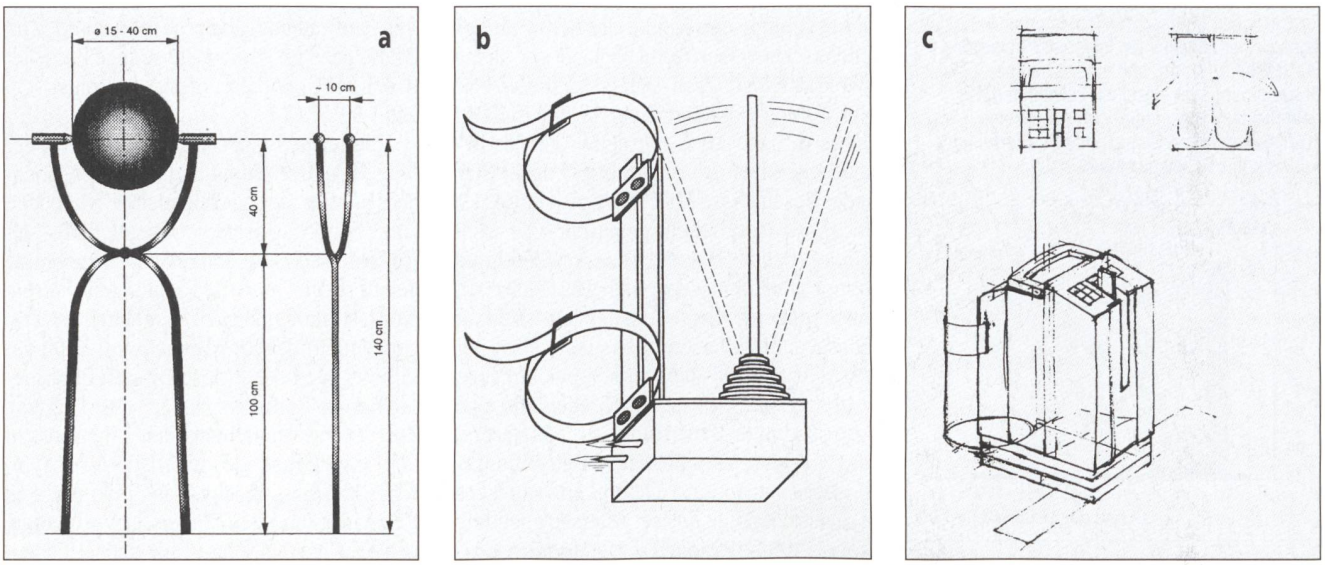


Bild 7 Entwicklungsphasen der Geräte für zerstörungsfreie Messungen: erster Prototyp, Zangenform (a), zweite Vorstufe, Typ «Krebs» (b) und Skizze des Seriengerätes, Typ «Specht» (c).

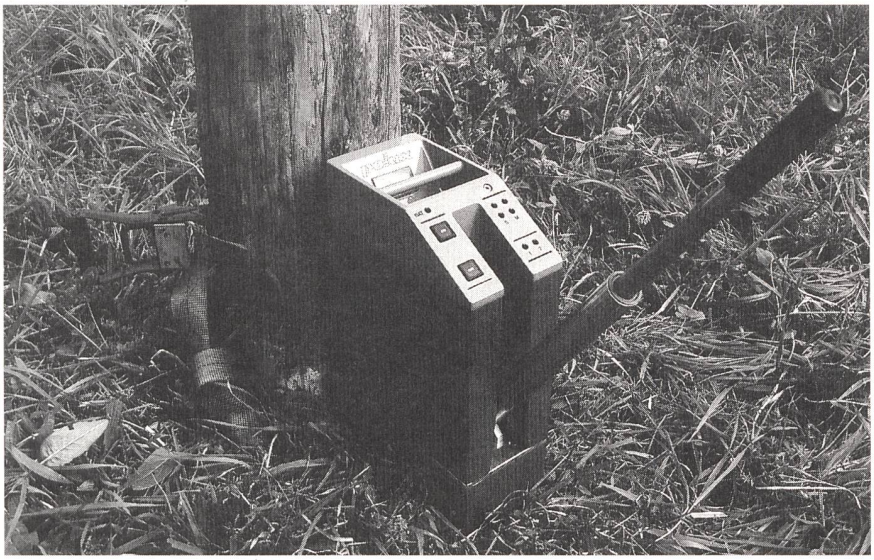


Bild 8 Serienversion des Polux-Gerätes im Einsatz.

Polux-Gerät im Messzustand am unteren Teil eines Elektromastes zeigt Bild 8.

Die Sicherheitsskala von Polux

Die Untersuchung mit Hilfe von Polux wird in Bodenhöhe durchgeführt und umfasst zwei Messungen in einer Orientierung senkrecht zur Grundlinie (Vorzugsrichtung der Windbelastung). Nach der Auswertung dieser zweifachen Messung kann Polux unmittelbar die Sicherheit des Trägers angeben. Das Ergebnis wird mit Hilfe einer zweifarbigen Leuchtdiodenzeile sichtbar dargestellt. Dabei unterscheidet man folgende Zustände:

- **Rot:** Träger stark geschwächt, keinerlei Sicherheitsreserven in bezug auf die geforderte Belastungsgrenze. Sollte nicht ohne besondere Sicherheitsmassnahmen (Verspannungen, Abstützungen) erstiegen werden.
- **Rot blinkend:** Träger geschwächt, nur noch geringe Sicherheitsreserve bezüglich der geforderten Belastungsgrenzen. Erfordert Vorsicht bei der Ersteigung.
- **Grün blinkend:** Träger in gutem Betriebszustand, aber mit merklicher Schwächung gegenüber den mittleren Prüfwerten eines neuen Trägers.
- **Grün:** Träger in sehr gutem Betriebszustand; kann gemäss den normalen Regeln erstiegen werden. Festigkeit im Bereich des Mittelwerts neuwertiger Masten.

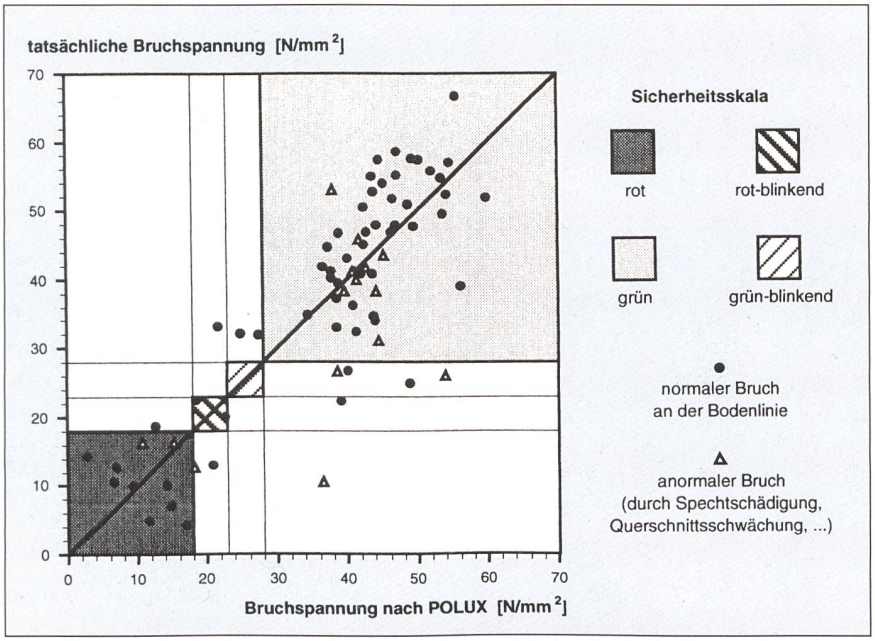


Bild 9 Graphische Darstellung der Klassifizierung der Masten im Hinblick auf ihre Sicherheit. Die Verteilung der Stichproben, deren Auswertung zur Eichung des Gerätes herangezogen wurde, ist ebenfalls eingetragen.

Die Eichung von Polux, insbesondere der für die Sicherheit massgebenden Skala, basiert auf der zerstörungsfreien Bestimmung der Restfestigkeit gemäss Gleichung (2), dabei erfolgt eine Aufteilung in vier Bereiche, die den vier Anzeigebereichen entsprechen:

$$R = k_1 D + k_2 H + k_3 + \varepsilon \qquad (2)$$

R	Restfestigkeit des Mastes in N/mm²
D	Messwert der Härte in Geräteeinheiten
H	Messwert des Feuchtigkeitsgehalts aus der Leitfähigkeit in Geräteeinheiten
k_1, k_2, k_3	Eichfaktoren, abhängig von der Art der Behandlung mit Kreosoten oder Salzlösung (mit CCA für Frankreich, mit CCB für die Schweiz)
ε	statistischer Fehler des Auswertemodells.

Die vier Bereiche werden durch die kritischen Werte von R festgelegt, die man aus Gleichung (2) erhält. Diese Beziehung ergibt sich ihrerseits aus den Eichmessungen und der Erfassung von Daten vor Ort. Auf der Basis einer Eichung an einem Prüfling, der auf dem Teststand des IBOIS einem Biegebruchversuch ausgesetzt wird, der Korrelation zwischen tatsächlicher Restfestigkeit, der sich aus dem Bruchversuch ergibt und der zerstörungsfreien Prüfung mit Hilfe von Polux erhält man den in Bild 9 dargestellten Zusammenhang. Die Graphik zeigt ebenfalls die verschiedenen Unsicherheitszonen um die grünen und roten Bereiche und gibt damit eine Vorstellung von der Zuverlässigkeit der Prüfung.

Allgemein beruht jede zerstörungsfreie Prüfung auf der Auswertung einer Messgrösse X, die mit der Bestimmungsgrösse Y in einem eindeutigen Zusammenhang steht. In unserem Fall handelt es sich um den Restwiderstand des Trägers. Der Zusammenhang zwischen den beiden Grössen lässt sich durch die Korrelation ausdrükken, er kann jedoch auch mit Hilfe des Gesetzes der zweidimensionalen Verteilung zur Untersuchung der Zuverlässigkeit herangezogen werden. So folgt für einen bekannten Wert $X = x$, nehmen wir als Beispiel die zulässige Belastung X = 15 N/mm², der Wert für Y einem Wahrscheinlichkeitsgesetz, das sich aus der zweidimensionalen Verteilung ableitet. Wenn also X = 15 N/mm² beträgt, so ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Y unterhalb oder oberhalb von 15 N/mm² liegt, jeweils 1/2. Lediglich im Mittel über eine grosse Zahl von Trägern strebt der Wert für Y gegen 15 N/mm². Was die Sicherheitsaussage für einen einzelnen Mast, also die Auswertung einer Einzelmessung anbetrifft, so muss der ermittelte Wert für X sehr

viel höher als 15 sein, wenn man mit einer Zuverlässigkeit von 95% einen Wert von $Y > 15$ N/mm² erhalten will, um damit die Unsicherheiten der Prüfung abzudecken. Um wirtschaftlichen Gesichtspunkten Rechnung zu tragen und dennoch Aussagen mit bekannter Zuverlässigkeit machen zu können, wurden somit rote und grüne Zonen mit blinkenden Übergangsbereichen definiert. Sie haben folgende Bedeutung:

- **Rot:** $R > 18{,}3$ N/mm²
  Diese Anzeige bedeutet, dass Masten, die im roten Bereich liegen, bereits sehr stark geschädigt sind. Statistisch betrachtet weist jeder zweite Mast einen Wert unter 18,3 N/mm² auf (die Wahrscheinlichkeit für Werte über 18,3 beträgt ebenfalls 1/2).
- **Rot blinkend:** $18{,}3 < R < 23$ N/mm² ($15 \times 1{,}53$)
  Diese Masten sind zwar geschwächt, aber in geringerem Masse als die oben beschriebenen. Allerdings, aufgrund der Unsicherheit der Prüfung, kann die Wahrscheinlichkeit für Werte unterhalb 15 N/mm² nicht vernachlässigt werden und erfordert dementsprechende Aufmerksamkeit. Für Träger dieser Gruppe kann ein mittlerer Sicherheitsfaktor von 1 bis 1,53 angegeben werden.
- **Grün blinkend:** $23 < R < 28$ N/mm² ($15 \times 1{,}87$)
  Für diese Masten kann die Sicherheit als gut bezeichnet werden. Der Schwächste aus dieser Gruppe erreicht mit einer Wahrscheinlichkeit von über 80% Werte oberhalb 15 N/mm² und für den Besten beträgt diese Wahrscheinlichkeit sogar 99%. Das entspricht einem akzeptablen Zuverlässigkeitsgrad mit einem mittleren Sicherheitsfaktor von 1,5 bis 2.
- **Grün:** $R > 28$ N/mm²
  Für Masten aus dieser Gruppe ist die Wahrscheinlichkeit für Werte unter 15 N/mm², also für eine Schädigung und ein Risiko für das Wartungspersonal, geringer als 1:100. Ihr Sicherheitsfaktor ist grösser als 2, und sie sind somit sehr zuverlässig.

Bei diesen Auswertungen legt man für den Träger den kleinsten Durchmesser in seiner Klasse zugrunde. In Wirklichkeit ist die Sicherheit bei Masten mit grösserem Durchmesser entsprechend höher.

Wartungsskala	Ergebnis Sicherheitsprüfung	Bedingungen	Lebensdauer
Rot	Rot oder Rot blinkend	$R < r_1$ oder $H \geq h_1$ oder $D < d_1$	Austauschen
Rot blinkend	Rot blinkend oder Grün blinkend	$r_1 \leq R < r_2$ oder $H \geq h_2$	2–3 Jahre
Rot blinkend	Grün blinkend	$r_2 < R \leq r_3$ und $H \geq h_3$	2–3 Jahre
Rot blinkend	Grün blinkend oder Grün	$R > r_2$ oder $H > h_2$	2–3 Jahre
Grün blinkend	Grün blinkend	$r_2 \leq R < r_3$ und $H \leq h_3$	5 Jahre und mehr
Grün blinkend	Grün blinkend oder Grün	$R \geq r_3$ und $H > h_3$	5 Jahre und mehr
Grün	Grün blinkend oder Grün	$R \geq r_3$ und $H \leq h_3$	10 Jahre und mehr

Tabelle 1 Vom Modell zugrunde gelegte Bedingungen zur Einstufung der Restlebensdauer von mit Kreosoten behandelten Masten. Das Modell verwendet zwei Messgrössen (Härte *D* und Feuchtigkeit *H*) sowie das Ergebnis der Sicherheitsprüfung *R*.

Wartungsskala

Die Eichung im Hinblick auf die Wartung geht ebenfalls von Gleichung (2), also von der Sicherheitsskala aus. Aber für die Wartung bekommt die Variable, die der Feuchtigkeit zugeordnet ist, ein stärkeres Gewicht, da sie vor allem den biologischen Erhaltungszustand des Mastes beschreibt. Tabelle I enthält eine Zusammenstellung der Massnahmen für mit Kreosoten behandelte Masten in Abhängigkeit der Anzeigewerte der Sicherheits- bzw. Wartungsanalyse. Ausgehend davon, dass vom Gesichtspunkt der Wartung eher statistische Aussagen über eine Klasse von Trägern als Angaben über einzelne Exemplare eine Rolle spielen, kann die Einteilung noch abgestuft werden, um den Ausgangszustand eines Trägers zu berücksichtigen. Das gilt insbesondere für Masten, die nicht mit «Rot» angezeigt werden (so kann z.B. ein biologisch sehr gesunder Mast mit «Grün blinkend» angezeigt werden, weil er niedrigere mechanische Kenngrössen aufweist. Aber wenn er die Prüfnote «sehr gesund» erhält, entspricht dies einer Lebensdauer im grünen Bereich, d.h. etwa 10 Jahre).

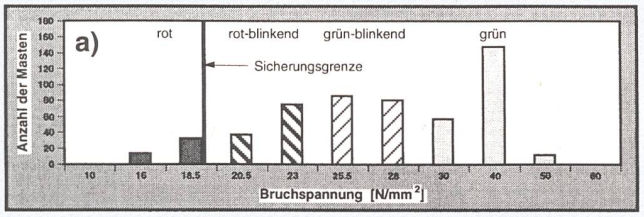
Statistische Auswertung mit dem Programm K-Store

Sämtliche Daten, die während der verschiedenen Prüfungen vor Ort aufgenommen wurden, können später mit Hilfe eines PCs (Kleinrechners) weiterverarbeitet werden, denn das System Polux ist mit einem Speicher ausgestattet, der automatisch belegt wird. In ein speziell dafür reserviertes Register kann der Betreiber die Kennziffer des jeweils untersuchten Mastes eingeben. Das Gerät verfügt über eine serielle Schnittstelle vom Typ RS 232, mit Verbindungsmöglichkeiten zu PC oder Macintosh. Die installierte Software auf der Basis von Excel 5 übernimmt das Einlesen der Daten sowie deren Verwaltung. Die übertragenen Rohdaten umfassen das Datum, die gewählte Betriebsart, die Kennziffern des Trägers und die Prüfergebnisse.

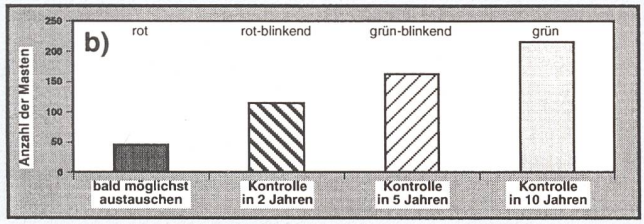
Kennziffer des Trägers	Behandlung	Datum	Uhrzeit	D_1* Härte 1	D_2* Härte 2	Ω_1* Festigkeit 1	Ω_2* Festigkeit 2	Ergebnis Sicherheits-prüfung	Ergebnis Wartungs-prüfung
014	Kreosot	25.07.95	09 h 37	75	64	136	159	Rot	Austauschen
35	Kreosot	25.07.95	09 h 40	205	198	255	255	Grün	10 Jahre
3	Kreosot	25.07.95	09 h 45	70	90	72	56	Rot blinkend	2 Jahre
7	Kreosot	25.07.95	09 h 49	103	124	59	50	Grün blinkend	Austauschen
161	Kreosot	25.07.95	10 h 01	61	84	255	255	Rot blinkend	2 Jahre
86	Kreosot	25.07.95	10 h 07	107	119	99	112	Grün	5 Jahre
90	CCB + Cobra	25.07.95	10 h 15	165	150	43	18	Grün	10 Jahre
92	CCB + Cobra	25.07.95	10 h 17	117	115	75	80	Grün blinkend	5 Jahre
89	CCB + Cobra	25.07.95	10 h 20	102	90	24	24	Rot blinkend	2 Jahre
33	CCB + Cobra	25.07.95	10 h 24	84	83	48	48	Rot	Austauschen

Tabelle II Beispiel eines Datensatzes mit den einzelnen Messergebnissen, wie er vom Speicher des Polux-Gerätes abgerufen werden kann.

* Die Einheiten sind in Maschinensprache



	Anzahl der Masten	[%] pro Klasse	mittlere Spannung pro Klasse [N/mm²]	mittlerer Sicherheitsfaktor pro Klasse
rot	45	8	16.7	0.9
rot-blinkend	115	21	21.1	1.2
grün-blinkend	163	30	25.5	1.4
grün	215	40	32.7	1.8
insgesamt	**538**	**100**	**26.7**	**1.5**



	Anzahl der Masten	[%] pro Klasse
baldmöglichst austauschen	45	8
Kontrolle in 2 Jahren	115	21
Kontrolle in 5 Jahren	163	30
Kontrolle in 1o Jahren	215	40
insgesamt	**538**	**100**

Datum für Installation des Netzes (Mittelwert)	1977
Datum für Installation des ältesten Trägers	1929
Datum für Installation des jüngsten Trägers	1995

Bild 10 Ergebnisse der statistischen Auswertung mit Hilfe der Software K-Store, die es ermöglicht, die wesentlichen Daten in einer Übersichtsgraphik für die Aspekte Sicherheit (a) und Wartung (b) darzustellen. In einer Tabelle sind die statistischen Angaben des jeweils vermessenen Leitungsnetzes für jeden Anzeigenbereich zusammengestellt.

Die Tabelle II zeigt ein Beispiel der ausgelesenen Daten. Mit Hilfe des Auswerteprogramms K-Store kann der Benutzer die Datei durch Angaben einer Sichtprüfung oder zusätzliche technische Kenngrössen ergänzen. Er erhält anschliessend eine graphische Übersicht in der in Bild 10 dargestellten Form mit den Ergebnissen der Sicherheits- bzw. Wartungsprüfung für die einzelnen Klassen von Trägern. Ein rascher Blick auf diese übersichtliche Darstellung der Ergebnisse erlaubt es dem verantwortlichen Fachpersonal, die Wartungsarbeiten vorrangig auf die am wenigsten zuverlässigen Zonen zu konzentrieren. Im Falle eines Bestandes in gutem Zustand lässt sich ein Aufschub der Wartungsarbeiten rechtfertigen, während für einen stark geschwächten Bestand eine Kostenanalyse zeigen muss, ob es günstiger ist, einzelne Exemplare oder den gesamten Bestand auszutauschen. Ausserdem wird die Entwicklung der Ergebnisse, die während aufeinander folgender, langfristig angelegter Prüfserien erhalten wurden, den Verlauf und die Mechanismen des Alterungsprozesses von Masten aufzeigen. Auf diese Weise lassen sich geographische oder sogar historische Einflüsse (wie z.B. die Mängel der in den Jahren 1980–1981 in Frankreich installierten Masten) oder auch die Auswirkung der Vorbehandlung untersuchen.

Zusammenfassung

Der Holzmast ist ein wesentliches Bauelement von Freileitungen für die Elektrizitätsverteilung und für das Telefonnetz. Seine Wartung wirft Probleme auf, zum einen im Hinblick auf die Sicherheit des Personals, das solche Träger besteigen muss, und zum andern hinsichtlich der Zuverlässigkeit des Netzes, da der Bruch eines Trägers in den meisten Fällen mit einer Unterbrechung der verkauften Dienstleistung verbunden ist. Deshalb ist es erforderlich, eine vorausschauende Strategie der Wartung zu entwickeln, die auf der regelmässigen Inspektion des Leitungssystems basiert.

Bisher wurden geschwächte oder zweifelhafte Träger durch Sichtprüfungen und durch Prüfungen mit dem Bohrer oder Hammer identifiziert. Auf diese Weise lassen sich bestimmte innere Veränderungen (Bildung von Hohlräumen) diagnostizieren. Es ist bekannt, dass diese Methode ungenau ist, sie hat jedoch den Vorzug der Einfachheit und Einmaligkeit.

Nach einem Test der verschiedenen Werkzeuge für eine zerstörungsfreie Prüfung, die entweder auf der Messung der lokalen Härte (Pilodyn) oder des lokalen Feuchtigkeitsgehalts (Gann) beruhen, kam man zum Schluss, dass die Schwachstelle der Träger nahe der Einspannlinie liegt und dass die bisher angewandten Methoden einen Kennwert bestimmten, der mit der Restfestigkeit des Trägers in Verbindung steht. Es stellte sich ebenfalls heraus, dass keine der Methoden genau genug ist, um allein eingesetzt zu werden.

Der Grundgedanke bei der Entwicklung von Polux besteht in der Kombination der Messungen von Härte und Feuchtigkeitsgehalt. Die Härte wird mit Hilfe einer Kraftsonde bestimmt; sie misst die erforderliche Kraft zum Einpressen zweier Spitzen in eine Tiefe von 40 mm. Um den biologischen Zustand des Trägers zu ermitteln, wird mit Hilfe dieser Spitzen, die dabei als Elektroden wirken, der Feuchtigkeitsgehalt im Innern des Mastes gemessen.

Beide Funktionen werden von der im Gerät Polux eingebauten Elektronik gesteuert. Das Gerät liefert ein unmittelbares Ergebnis, das sich aus einem durch Versuche und Eichmessungen abgestützten mathematischen Modell errechnet. Das Prüfergebnis erscheint direkt auf der Anzeigeeinheit in der Frontplatte von Polux. Auf der Sicherheitsskala leuchtet eine rote Lampe auf, wenn der Träger stark geschwächt ist, ein Rot blinkendes Signal kennzeichnet einen schwachen Träger, während eine Grün blinkende bzw. dauernd Grün leuchtende Anzeige Träger mit ausreichender Restfestigkeit signalisieren.

Auf der Wartungsskala kündigt eine Lampe an, dass der Träger unverzüglich ausgetauscht werden muss, ein Rot blinkendes Signal entspricht einer Restlebensdauer von zwei bis drei Jahren, während Grün blinkend auf fünf bis sechs Jahre und Dauergrün auf über zehn Jahre Lebensdauer schliessen lassen.

Die mechanischen und elektronischen Funktionseinheiten sind in einem tragbaren, leicht zu bedienenden Gerät integriert, mit dessen Hilfe ein Träger in einem zweiteiligen Messvorgang innerhalb von etwa einer Minute geprüft werden kann. Das Gerät speichert ausserdem sämtliche Informationen ab und macht sie über entsprechende Schnittstellen zur Weiterverarbeitung auf einem Kleinrechner zugänglich.

Mit Hilfe des Programms K-Store, das speziell für die Verarbeitung der anfallenden Daten entwickelt wurde, kann sich der Benutzer einen Überblick über den Allgemeinzustand des Leitungsnetzes hinsichtlich Sicherheit und Wartung verschaffen. Anhand dieser Informationen kann ein Wartungsplan aufgestellt werden, der langfristig dazu beiträgt, die Sicherheit des Personals zu erhöhen und die Zuverlässigkeit des Netzes zu verbessern, und das bei einem Minimalaufwand zum Unterhalt des Mastbestandes.

K-Store et Polux

Les nouvelles technologies du poteau bois

■ J. L. Sandoz, P. Lorin, Ch. Guilloux et O. Vanackere

L'exploitation des lignes électriques sur support pose un double problème aux entreprises: la sécurité du personnel et les coûts de maintenance. C'est par rapport à ces deux questions importantes que de nouvelles technologies ont été développées pour les supports bois, à l'EPFL. Polux® est un nouvel appareil portable, qui donne un résultat de sécurité et de durée de vie résiduelle au moyen de lampes rouges ou vertes. K-Store est un logiciel d'exploitation des données qui permet une optimisation des coûts de maintenance.

Le poteau bois est un composant très important des lignes aériennes de distribution d'électricité et de connexion du téléphone. La maintenance de ce type de composant pose un problème de sécurité aux agents devant ascensionner le support, et un problème de fiabilité du réseau puisque la rupture d'un support est presque toujours associée à une panne dans le service vendu. Par incidence, ces deux aspects nécessitent une stratégie de maintenance préventive, réalisée par visites des lignes.

Jusqu'à maintenant, la détection des supports faibles ou douteux se faisait par appréciation visuelle et par sondage au marteau, permettant d'écouter certaines anomalies internes (cavités). Cette méthode est connue pour être approximative mais elle a l'avantage d'être simple, et surtout quasiment unique.

Après avoir testé plusieurs outils de contrôle non destructifs basés sur une mesure de dureté locale (Pilodyn) ou d'hygroscopie locale (Gann), et après avoir testé plusieurs centaines de poteaux, il a été conclu que le point faible du support se trouvait à la ligne d'encastrement, et que les deux méthodes précédentes mesuraient une caractéristique en relation avec la résistance résiduelle du support, mais n'étaient pas suffisamment sensibles pour être utilisées seules.

C'est en regroupant le principe de mesure de dureté et d'hygroscopie que le concept de Polux est né. La dureté est mesurée par l'intermédiaire d'un capteur de force qui lit le pic d'effort nécessaire à l'enfoncement de la paire de pointes, quand celles-ci se trouvent à 40 mm à l'intérieur du support. L'hygroscopie est mesurée en tête de ces pointes, devenues électrodes isolées, pour connaître l'état biologique interne du support.

Ces deux fonctions sont gérées par une électronique intégrée dans l'appareil Polux, qui donne un résultat direct, évalué par l'utilisation de modèles mathématiques obtenus par essais et étalonnage. Les résultats s'affichent en temps réel sur la plaque frontale de Polux. Une échelle de sécurité allume une lampe rouge quand le support est très affaibli, rouge clignotant quand il est affaibli, vert clignotant et vert quand il présente une résistance résiduelle jugée suffisamment fiable. Une échelle de maintenance allume également une lampe rouge quand le support doit être changé rapidement, rouge clignotant quand sa durée de vie résiduelle est évaluée à deux ou trois ans, vert clignotant cinq à six ans et vert, dix ans ou plus.

Les fonctions mécaniques, électroniques et interface de résultats sont regroupées dans un appareil portable, léger, simple d'utilisation, permettant d'évaluer un support sur la base d'un double test en environ une minute, et qui de plus, mémorise toutes les informations pour un traitement informatique sur micro-ordinateur de bureau. Avec le logiciel K-Store spécialement développé pour le traitement des données, le gestionnaire de réseau peut avoir une vue générale de l'état de son parc, sur les deux aspects sécurité et maintenance. Ces informations permettent de figer sa stratégie de maintenance, ce qui à terme, renforcera la sécurité de son personnel et la fiabilité des lignes en exploitation.

ANSON liefert

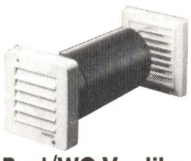
elektrische Abluftventile

für zentrale Abluftanlage in Mehrfamilienhäusern. Energiesparend. 220 V, nur 10 W. Für Neuanlagen und Sanierungen. — Beratung und Angebot von:

ANSON liefert

Kleinventilatoren ANSON

Flach ohne Stutzen 156×156 und nur 46 mm tief. Auch für Bad/WC. 220 V, 100 m³/h. Leise und zuverlässig. Ein Qualitätsprodukt der ANSON AG:



Bad/WC-Ventilatoren für Aussenwand-Einbau

die „Fensteröffnen" überflüssig machen. ANSOMATIC 220 V/15 W, 100 m³/h, komplett mit Schalter, Futterrohr, Aussengitter. Preisgünstig von:

ANSON liefert

für die permanente Bad/WC-Entlüftung

ANSON Ventilatoren mit Wärmerückgewinnung. Grosse Heizkostenersparnis in Schulen, Spitälern, öffentl. Gebäuden etc. Selbstamortisierend. Referenzliste, Beratung und Offerte von:

ANSON-Infrarotstrahler für Badezimmer/WC

für wohlige Sofortwärme. Sparsam, weil Zentralheizung später ein- und früher ausgeschaltet werden kann. Einfach einzubauen. 220 V 2000 W. — Für Ihr Wohlbefinden von ANSON:

ANSON liefert

Nachlauf-Zeitschalter

in modernster IC-Technik. Zuverlässig. Für Treppenhausbeleuchtung, Bad/WC-Ventilatoren etc. AP- und UP-Modelle. Beste Qualitätsprodukte. Preisgünstig von:

B6g

ANSON AG 01/4611111 8055 Zürich Friesenbergstr. 108 Fax 01/463 09 26 **Nr. 1 für Bad/WC-Ventilatoren!**