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: 86 (1995)

Heft: 24

Artikel: Ökobilanz über Tragwerke von Mittel- und Niederspannungsfreileitungen

Autor: Künniger, Tina / Richter, Klaus / Dauwalder, Rudolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902516

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: 09.12.2025

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

Freileitungen im Nieder- und Mittelspannungsbereich werden heute mit unterschiedlichen Tragwerken erstellt: aus imprägniertem Rundholz, armiertem Beton oder aus korrosionsgeschütztem Stahl. Eine Ökobilanz über die drei Mastvarianten führt zu einer positiven Beurteilung der Rundholzstangen in einem weiten Anwendungsbereich. Dieses Ergebnis bestätigt sich auch in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse, die auf den für die Ökobilanz untersuchten Grundlagen beruht. Betonmasten erweisen sich als ökologisch günstiger als Stahlmasten, während bei der Wirtschaftlichkeit keine deutlichen Differenzen zwischen diesen Masttypen bestehen. Bei der Weitspannleitung bleibt die Rangfolge der Varianten grundsätzlich bestehen, die Unterschiede fallen jedoch weniger deutlich aus als bei der Regelleitung. Bei zunehmender statischer Belastung verringern sich die ökologischen Unterschiede zwischen den Masttypen. Die für die Ökobilanz notwendige Datenerfassung und -aufbereitung unterstützt die Wirtschaftlichkeitsabklärung und kann damit – vor allem längerfristig – auch wirtschaftliche Zielsetzungen fördern. In einer abschliessenden Würdigung wird auf die weiteren Bedingungen und Anforderungen hingewiesen, zum Beispiel Sicherheitsvorschriften, Ästhetik, Landbewirtschaftung, die sich auf die Tragwerkswahl beim Leitungsbau direkt auswirken können.

Ökobilanz über Tragwerke von Mittel- und Niederspannungsfreileitungen[1)]

Adresse der Autoren:
*Tina Künniger**, Dr. *Klaus Richter**, *Rudolf Dauwalder***

* EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Holz, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.
** BKW Energie AG, Betriebsleitung Bern, Bahnhofstrasse 20, 3072 Ostermundigen.

[1)] Die Studie wurde finanziell vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, vom Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL), vom Verband der Schweizerischen Holzimprägnierwerke, der Interessengemeinschaft der Holzschutzmittelhersteller und der Desowag-Bayer AG unterstützt.

■ Tina Künniger, Klaus Richter, Rudolf Dauwalder

Einleitung

Bei der Beurteilung von Materialien, Werkstoffen und Bausystemen spielen heute die Umwelteinwirkungen, die mit der Verwendung eines bestimmten Materials verbunden sind, eine immer wichtigere Rolle. Wer sich mit der Projektierung und Realisierung von Bauvorhaben befasst, steht oft vor der schwierigen Aufgabe, diese neuen, jedoch meist nicht quantifizierbaren Aspekte mit den herkömmlichen ökonomisch-technologischen Randbedingungen zu vereinbaren, um zu ganzheitlichen Lösungen zu kommen.

Als Hilfsmittel zur Beurteilung der Umwelteinwirkungen von Produkten und Prozessen, unter Berücksichtigung einer definierten Qualität und Funktion, kann das Instrument der Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse dienen. Dieses soll die Umwelteinwirkungen beschreiben, die durch die Verwendung eines Stoffes oder eines Produktes ausgelöst werden. Dazu müssen der Rohstoff- und Energieverbrauch sowie die Luft-, Wasser- und Bodenbelastung im Idealfall über die gesamte Produktelebensdauer von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung ermittelt und bewertet werden. Dies erlaubt zunächst innerhalb der einzelnen Produktelinien umweltwirksame Verbesserungsmöglichkeiten zu erkennen und durchzusetzen. Werden Energie- und Stoffflussinventare für mehrere funktionsgleiche Produkte oder Anwendungen erstellt und verglichen, so können die

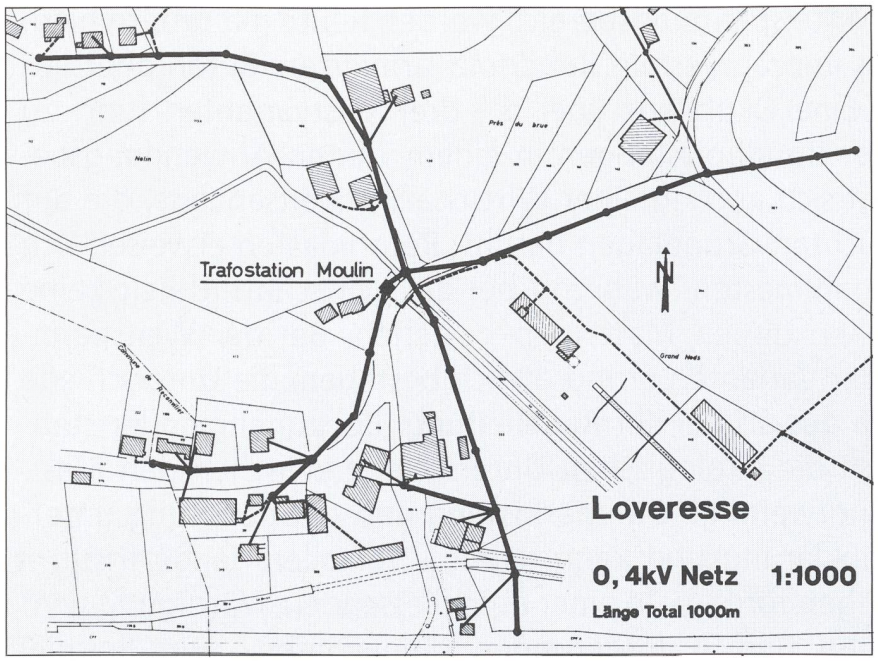

Bild 1 Situationsplan des 0,4-kV-Netzes Loveresse (BE).

Erkenntnisse zu einer umweltorientierten Rangordnung führen. Dazu müssen jedoch die Erhebungen und Bewertungen der Inventare unter gleichen Randbedingungen (Systemgrenzen) erfolgen.

Auch für die Unternehmen der Elektrizitätsversorgung stellt sich beim Bau von Freileitungen im Hoch- und Niederspannungsbereich die Frage nach einer möglichst umweltschonenden Realisierung. Aufgrund der Holzschutzbehandlung wird der Einsatz von Holzstangen durch umweltbesorgte Personen und Stellen hin und wieder in Frage gestellt. Andererseits weist Holz als natürlicher und in regionalen Forsten ausreichend nachwachsender Rohstoff Ressourcenvorteile insbesondere gegenüber dem Stahl auf. Betonmasten, der dritte im Tragwerkbau eingesetzte Bautyp, sind massenintensive Elemente, die beim Versetzen sowie beim Abbruch besondere Aufwendungen erfordern.

Eine neutrale Abwägung dieser und weiterer das Umweltprofil prägenden Einflussgrössen kann ohne eine gründliche Analyse aller entscheidungsrelevanten Aspekte nicht erfolgen. Aus diesem Grunde wurde an der EMPA Dübendorf eine Lebenszyklusanalyse über Freileitungen mit Tragwerken aus imprägniertem Rundholz, armiertem Beton und korrosionsgeschütztem Stahl durchgeführt, deren Ergebnisse nachfolgend vorgestellt werden.

Ausgangslage

Im Bereich der elektrischen Detailversorgung (Hoch- und Niederspannungsebenen) stellt der Bau und die Instandhaltung von Freileitungen nach wie vor ein wichtiges Element dar. Nebst den meist ökonomischen Vorteilen gegenüber Kabelleitungen fällt speziell in ländlichen, weitverzweigten Netzen die Betriebssicherheit durch leichte Fehlererkennung und relativ rasche Reparierbarkeit im Störungsfall ins Gewicht. Zudem lassen sich Freileitungen in der Regel flexibler an die örtlichen, oft zeitabhängigen Anforderungen anpassen.

Während die Umwelteinwirkungen der Elektrizitätsbereitstellung bis zum regionalen Verteiler im Rahmen einer kürzlich vorgestellten Studie umfassend untersucht und dargestellt worden sind (Frischknecht et al., 1994), wurde die Verteilung bis zum Endverbraucher im nationalen Rahmen nur am Rand erfasst. Auch im Ausland sind bisher nur vereinzelte Ansätze zur Klärung dieser Fragen zu verzeichnen. Erlandsson et al. (1992) bewerteten Freileitungsmasten aus Stahl, Aluminium, Beton und behandeltem Holz (Teeröl- und CKA-Typ B) im Rahmen einer Ökobilanz und kamen zum Ergebnis, dass Rundholzmasten höhere Bodenbelastungen verursachen, während die Tragwerke aus Metall und Beton mehr Prozessenergie benötigen und grössere Luftverunreinigungen erzeugen. Einen anderen methodischen Ansatz verfolgten Merten et al. (1995), als sie die Materialintensitäten von Beton und Stahl auf Freileitungsmasten verschiedener Ausführungen für 20-kV- und 110-kV-Leitungen analysierten. Ohne die Instandhaltung, Transporte und Entsorgung einzuschliessen, weist diese Studie ökologische Vorteile für Stahlgitterbauweisen gegenüber Stahlvollwandmasten und Betonmasten aus.

Umfassende ökologische Betrachtungen für gesamte Leitungsnetze fehlen bisher. Es lässt sich aber aus den bisherigen Studien ablesen, dass die Voraussetzungen für die Durchführung von Ökobilanzen prinzipiell als vorteilhaft eingestuft werden können. Es werden mit Holz, Stahl und Beton nur wenige Hauptmaterialien eingesetzt, die im Nieder- und Mittelspannungsbereich[2)] bei gleicher Funktionserfüllung im Wettstreit um Marktanteile stehen. Da sich die technischen Anforderungen im Leitungsbau in den letzten Jahrzehnten nicht grundlegend geändert haben, liegen bei den Unternehmungen der Elektrizitätsversorgung langjährige Erfahrungen über die Funktionserfüllung der einzelnen Masttypen vor.

Ziel der Untersuchung

Als Grundlage für die ökologische Bewertung von Leitungsmasten werden alle wesentlichen durch Freileitungsmasten und die zwei ausgewählten, im nächsten Kapitel umschriebenen Modellstrecken ausgelösten Stoff- und Energieflüsse unter einheitlichen Systemgrenzen erfasst (Lebenszyklusanalyse unter Berücksichtigung der Rohstoffgewinnung und -bereitstellung, der Mastenherstellung, sämtlicher Transporte, des Leitungsbaus, der Nachpflege und der Entsorgung, einschliesslich der verwendeten Hilfs- und Zusatzstoffe). Aufgrund des so erstellten Ökoinventars (Sachbilanz) werden die Umwelteinwirkungen anhand ausgewählter Bewertungsgrössen abgeschätzt und quantifiziert. Zudem wird an den Modellstrecken eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchgeführt.

Die Ergebnisse sollen den Herstellern die Möglichkeit geben, umweltbelastende Prozesse bei der Herstellung ihrer Produkte zu erkennen und durch gezielte organisatorische und technische Massnahmen mögliche Schwachstellen zu minimieren. Die Verwender der Masten (EVUs, PTT) sollen erkennen, welche Materialvariante mit geringster Umweltbelastung am richtigen Ort einzusetzen ist und welche Auswirkungen die Entsorgung der Materialien am Ende der Nutzungsdauer hat. Regionalplanern, Politikern und weiteren Entscheidungsträgern soll gezeigt werden, dass eine Gesamtbetrachtung aller ökologischer Komponenten innerhalb der Produktionsketten pauschale Aussagen über Teilbereiche relativieren kann.

2) Unter Mittelspannung werden im vorliegenden Bericht die Hochspannungs-Verteilebenen bis etwa 30 kV verstanden.

Die Erkenntnisse basieren auf einer Momentbetrachtung der ökologischen Kriterien der zugrunde liegenden Modellstrecken. Technische, wirtschaftliche sowie ästhetische Aspekte werden nicht explizit behandelt. Auch weitere Entscheidungsgrössen (z.B. Flexibilität eines Streckenumbaus) sind nicht Gegenstand der Untersuchung, ebensowenig wird die Frage der ökologischen Einwirkungen des Freileitungsbaus gegenüber einer Erdverkabelung untersucht.

Modellstrecken

Voraussetzung für Lebenszyklusbetrachtungen ist, dass bei Gegenüberstellungen von Produkten und Prozessen der Grundsatz der funktionalen Gleichheit erfüllt ist. Die in der Studie einbezogenen Bautypen unterscheiden sich dahingehend, dass sie unterschiedliche Tragfähigkeiten und Spitzenzüge aufweisen. Diese äussern sich in der Praxis durch eine unterschiedliche Anzahl Masten und Tragwerksvarianten pro Streckenlänge. Aus diesem Grunde wurden als Bezugsgrössen nicht Einzeltragwerke herangezogen, sondern die nachfolgend beschriebenen Abschnitte je einer 0,4-kV-Regelleitung und einer 20-kV-Weitspannleitung gewählt. Nicht untersucht wurden Hochspannungs-Regelleitungen und Telefonleitungen.

Bei beiden Modelleitungen sind vorwiegend Holztragwerke eingebaut. Um die Vergleiche zu Beton- und Stahlmasten zu ermöglichen, wurden für dieselben Strecken entsprechende Projekte (Bemessungen) erstellt, mit den üblichen Materialauszügen und Kostenberechnungen. Dabei konnte im Mittelspannungsbereich auf fundierte Erfahrungswerte zurückgegriffen werden, während solche im Niederspannungsbereich weitgehend fehlen.

0,4-kV-Regelleitung Loveresse der BKW Energie AG (BKW)

Loveresse ist ein Dorf im Berner Jura mit rund 400 Einwohnern. Die gewählte, 1 km lange Modellstrecke versorgt etwa 80% des Dorfes (Bild 1). Die Hausanschlussleitungen sind in den Berechnungen ausgeschlossen. Die vier Stromleiter bestehen aus Cu, 8 mm Durchmesser.

Die Bemessungen des bestehenden Netzes Loveresse mit Holztragwerken und die berechneten Bemessungsdaten für die Ausführung der Strecke in den Materialien Beton und Stahlrohr sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Tragwerkanzahl ist bei allen Varianten dieselbe, weil die Spannweiten auch beim Einsatz von Beton- oder Stahlmasten infolge der örtlich vorgegebenen Verhältnisse nicht ausgedehnt werden konnten. Grössere Spannweiten würden die Resultate für Beton und Stahl im vorliegenden Modell nur unwesentlich verbessern. Die Winkel- und Endmasten dieser beiden Leitungstypen benötigen ihrerseits ein Betonfundament, dafür fallen sämtliche Verstrebungs- bzw. Verankerungsmaterialien weg.

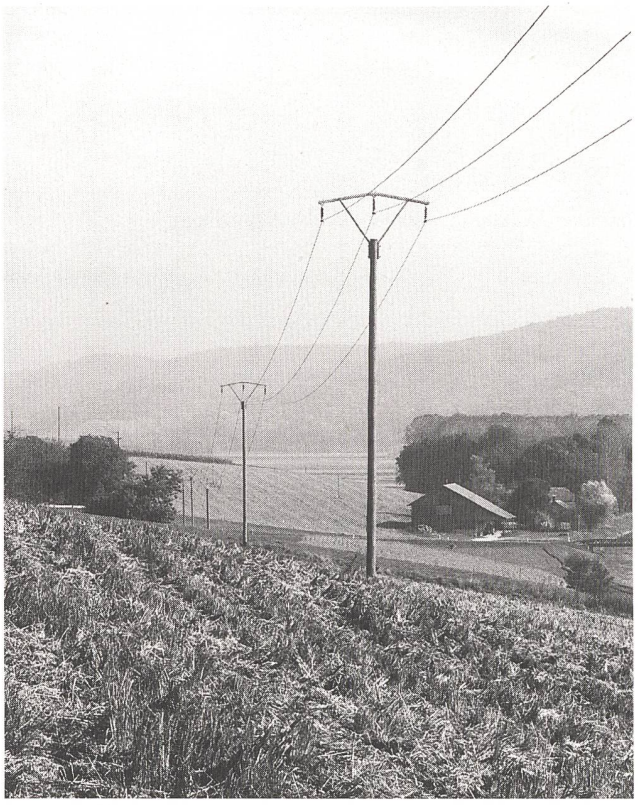

Bild 2 Holzmasten der 20-kV-Weitspannleitung Cossonay (VD).

Mastenmaterial	Anzahl Masten in der Leitung			Mastengewicht	Betonfundamente
	Tragwerke	Einzelstangen	Detailangaben	Total in kg	Total in m³
Schleuderbeton	31	31		28 300	30
Rundholz CFK	31	38	16 Einzelmaste, 7 Maste mit Holzstreben, 8 Maste mit Stahlanker	8 000	nicht erforderlich
Stahlrohr	31	31		5 400	52

Tabelle 1 Bemessungsdaten einer 0,4-kV-Regelleitung (1 km).

20-kV-Weitspannleitung «Cossonay 66» der Compagnie Vaudoise d'Electricité (CVE)

Die ausgewählte, im Jahre 1993 erstellte Leitung versorgt die Region Cossonay ab der gleichnamigen Unterstation (Bild 2).

Die Daten der 1 km langen Modellstrecke mit acht Holztragmasten, zwei Betonwinkelmasten und Spannweiten von durchschnittlich 120 m sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Festigkeitsmässig wurden die Holztragwerke unter Anwendung der im Institut IBOIS der ETH Lausanne entwickelten Ultraschall-Messmethode aussortiert (Sandoz, 1993). Winkel- und Endmasten bestehen aus Beton, die drei Stromleiterseile aus 150 mm² Aldrey.

Randbedingungen und Systemgrenzen

Die Studie vergleicht Tragwerke aus salzimprägniertem Rundholz[3], armiertem Beton und korrosionsgeschütztem Stahl-

[3] In der Schweiz werden für die Imprägnierung von Holzmasten überwiegend CFK- oder CKB-Salze eingesetzt.

Mastenmaterial	Tragmasten Anzahl	Winkelmasten Anzahl/Material	Mastengewicht total in kg	Betonfundamente total in m³
Schleuderbeton	8	2 / Beton	18 500	25
Rundholz CFK	8	2 / Beton	10 600	17
Stahlrohr	8	2 / Stahl	7 500	25

Tabelle 2 Bemessungsdaten der 20-kV-Weitspannleitung.

rohr. Sämtliche mit der Bereitstellung der Tragwerke verbundenen Stoff- und Energieflüsse inklusive der durch sie ausgelösten Emissionen werden ermittelt. Die Aufwendungen für die Bereitstellung von Infrastruktur, Maschinen und Gebäuden sind nicht einbezogen. Die Rohstoff-/Ressourcengewinnung wird entsprechend der Herkunft der Materialien bewertet. Für die Mastenherstellung werden die Verhältnisse der wichtigsten Schweizer Produzenten erfasst, die eine gute bis fortschrittliche Umwelttechnologie aufweisen. Die Bemessung der Masten, die Einbau-, Nachpflege- sowie Entsorgungs- und Deponievorschriften beruhen auf den nationalen Vorschriften.

Die Einwirkungen der Bereitstellung der Elektrizität zur Produkteherstellung wurden anhand des europäischen Strommodells UCPTE berechnet. Zudem sind auch Berechnungen nach dem Schweizer Strom-Mix erfolgt, der infolge des hohen Anteils an Energie aus Wasserkraftwerken ökologisch bedeutend günstiger ist. Jedoch ergaben sich aus diesem keine relativen Unterschiede zwischen den Materialvarianten, so dass hier nur die Resultate nach dem UCPTE-Modell vorgestellt werden.

Alle Berechnungen sind auf eine 60jährige Nutzungsdauer der Masten bezogen, was der Lebensdauer von Stahl- und Betonmasten entspricht. Weil Holzmasten eine statistische Lebensdauer von etwa 30 Jahren aufweisen, ist bei allen Holztragwerken eine einmalige Auswechslung berücksichtigt.

Die Verwertung nach Ablauf der Lebensdauer basiert auf folgenden Annahmen:

- *Holzmasten*: 90% Verbrennung in einer Kehrichtverbrennungsanlage mit effizienter Rauchgasreinigung (Energierückfluss gutgeschrieben; Aschen und Filterstäube werden in Sondermülldeponie endgelagert). 10% der Masten werden als Zaunmaterial usw. weiterverwendet und im Boden abgebaut (die Anteile an Holzschutzmitteln sind als Bodenbelastung bewertet).
- *Betonmasten*: 80% Weiterverwertung als Befestigungselemente im Tief-, Strassen-, Landschafts- oder Wasserbau (keine weiteren Umwelteinwirkungen berücksichtigt). 20% gehen in eine Inertstoffdeponie.
- *Stahlrohrmasten*: 100% Recycling (nur Transporte zum Altstoffhändler werden berücksichtigt).

Ökologische Bewertung

Methodik

Eine Ökobilanz ist eine ökologisch bewertete Energie- und Stoffflussbilanz, für deren Erstellung ein mehrstufiges Vorgehen vorgeschlagen wird (SETAC 1993, ISO 1995). Eine zentrale Bedeutung kommt dem Dateninventar zu, in dem die Ergebnisse der Stoff- und Energiebilanzen der betrachteten Prozesse zahlenmässig abgelegt sind, und das in der Regel aus einer grossen Menge mehrheitlich massenbezogener Grössen besteht (energetische Verbräuche werden als stoffliche Ressourcenentnahmen berücksichtigt).

Die Zuordnung der grossen Datenmengen des Inventars auf ausgewählte Umweltprobleme oder -kategorien erfolgt in der Wirkungsbilanz. Sie stellt einen ersten Schritt zur Bewertung der Energie- und Stoffflussdaten dar. Für eine quantitative Abschätzung der Umwelteinflüsse wurden in dieser Studie verschiedene Bewertungsmethoden und -modelle eingesetzt, um die grosse Zahl der in den Dateninventaren gesammelten Zahlen den bekannten Umwelteffekten zuzuordnen.

- *Primärenergieverbrauch*

Alle Energieformen werden auf Primärenergieträger zurückgerechnet und in Megajoule ausgedrückt. Es wird zwischen fossilen und regenerativen Energieträgern unterschieden.

- *Kritisches Luftvolumen, kritisches Wasservolumen*

Kritische Volumen geben die theoretischen Volumenmengen an, welche durch die betreffenden Emissionen bis zu den gesetzlichen Grenzwerten der entsprechenden nationalen Gesetze über Luft und Wasser belastet werden. Für ihre Berechnung werden die Emissionsdaten jedes Stoffes durch die festgelegten Grenzwerte, die ihre Toxizität charakterisieren sollen, dividiert und anschliessend addiert. In unserer Studie sind die Grenzwerte der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung (LRV) sowie die der Verordnung über Abwassereinleitungen einbezogen.

- *Feste Abfälle*

Die in fester Form anfallenden und zur Deponie gelangenden Abfälle sind als Summenparameter zusammengefasst (Gesamtanfall). Im Abschlussbericht (Künniger, Richter 1995) wird zusätzlich nach den in der Schweizerischen Abfallverordnung (TVA) vorgegebenen Abfallkategorien (Inertstoff-, Reaktor-, Sonderabfalldeponie) aufgeteilt.

Weiter wird eine wirkungsorientierte Klassifizierung nach der CML-Methode (Heijungs et al. 1992) für die folgenden Umwelteinwirkungen vorgenommen (Höhere Zahlenwerte drücken dabei jeweils eine stärkere Umwelteinwirkung aus):

- *Treibhauseffekt*

Verschiedene Gase, welche alle zum global wirkenden Treibhauseffekt beitragen, werden mit Wirkungsfaktoren auf Kohlendioxid (kg CO_2 eq) umgerechnet.

- *Photochemische Ozonbildung*

Alle Gase, die zur Bildung von photochemischen Oxidantien beitragen, werden mittels Wirkungsfaktoren auf Ethylen (kg C_2H_4 eq) umgerechnet.

- *Versäuerung von Boden und Gewässern*

Alle für die Versäuerung relevanten Luftemissionen werden über Wirkungsfaktoren auf Schwefeldioxid (kg SO_2 eq) umgerechnet, indem ihr Abgabepotential von H+-Ionen als Referenz herangezogen wird.

- *Überdüngung*

Emissionen in Wasser, Boden oder Luft werden über Wirkungsfaktoren in Phosphat (kg PO_4 eq) umgerechnet, indem ihr Düngungspotential in bezug zu Phosphat als Basis angenommen wird.

- *Humantoxizität*

Emissionen mit einer Auswirkung auf die menschliche Gesundheit werden mit Wirkungsfaktoren multipliziert, die von der Substanz und dem Umweltmedium abhängen (Luft, Wasser, Boden). Die einzelnen Effekte werden zu einer Äquivalenzzahl (kg Körpergewicht) addiert. Diese beschreibt, wieviel Masse des menschlichen Körpers in Kilogramm bis zum toxikologischen Grenzwert exponiert ist.

● *Ökotoxizität*

Emissionen mit Einfluss auf die Stabilität von Ökosystemen werden mit Äquivalenzfaktoren für Wasser- und Bodenökosysteme multipliziert. Die einzelnen Effekte beschreiben das kritische Volumen (in m^3 Wasser oder in kg Boden), das durch jede Substanz verunreinigt wird, und werden addiert zu Gesamtbelastungen für Wasser- und Bodenökotoxizität.

Resultate

Die vorliegenden Untersuchungen wurden auf der Basis bestimmter Masttypen und Leitungsbauarten durchgeführt, worauf sich die nachstehenden Resultate beziehen. Gewisse Aussagen lassen sich tendenzmässig jedoch generell interpretieren, genauere Auslegungen müssten aber auf erweiterte Untersuchungen abgestützt werden.

Einzelmaste

Die jeweils 11 m langen Tragmasten der 0,4-kV-Regelleitung von Loveresse mit einer Spannweite von 35 m unterscheiden sich hinsichtlich ihres Gewichtes und in der Fundamentierung. Die Betonmasten wiegen mit etwa 650 kg mehr als das Vierfache der Holz- und Stahlrohrmasten. Ausgehend von diesen Bemessungen ergeben sich die in Bild 3 dargestellten relativen Unterschiede in den Umweltwirkungen. Für jeden Bewertungsparameter sind die Einzelwerte zur jeweils höchsten Belastung ins prozentuale Verhältnis gesetzt.

Die Profilanalyse belegt für keinen Mastentyp Vor- oder Nachteile in allen betrachteten Umwelteffekten. Dennoch sind deutliche Unterschiede auszumachen. Stahl hat in zehn von elf Evaluationsgrössen die höchsten Belastungen, hauptsächlich verursacht durch die Einwirkungen bei der Primärstahlproduktion und der Bereitstellung der Energieträger. Mit Ausnahme des Summenparameters Abfall und des Wirkungspotentials Ökotoxikologie betragen die Unterschiede zwischen Stahl und Holz bzw. Beton jeweils mehr als 70%. Die Tragwerke aus Rundholz benötigen etwas mehr Gesamtenergie als die Betonmasten, jedoch basiert nur ein geringer Anteil dieser Energie auf fossilen Energieträgern. Daher tragen Holzmasten auch deutlich weniger zum Treibhauseffekt bei, und ihre Luft- und Wasservolumina sind bedeutend geringer, verglichen mit denen von Stahl und Beton. Das Potential für Ökotoxizität ist bei Holzmasten im Vergleich zu Beton hoch, als Konsequenz der Holzschutzmittelauslaugung über die Lebensdauer von zweimal 30 Jahren. Vom stehenden Betonmasten gehen keine Umwelteinwirkungen an die Umgebung aus, jedoch verursachen sie nach dem Ausbau den höchsten Anteil an festen Abfällen.

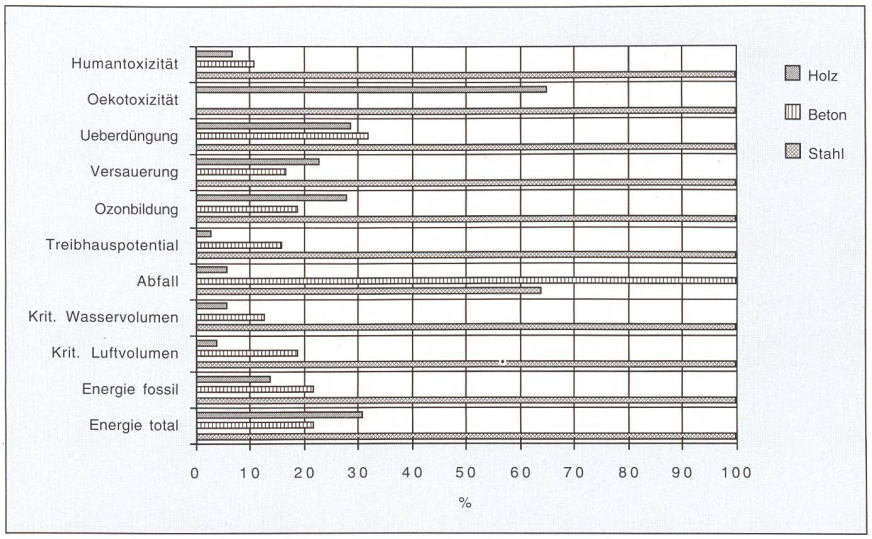

Bild 3 Relativer Vergleich der Wirkungs- und Summenparameter der Einzeltragwerke.

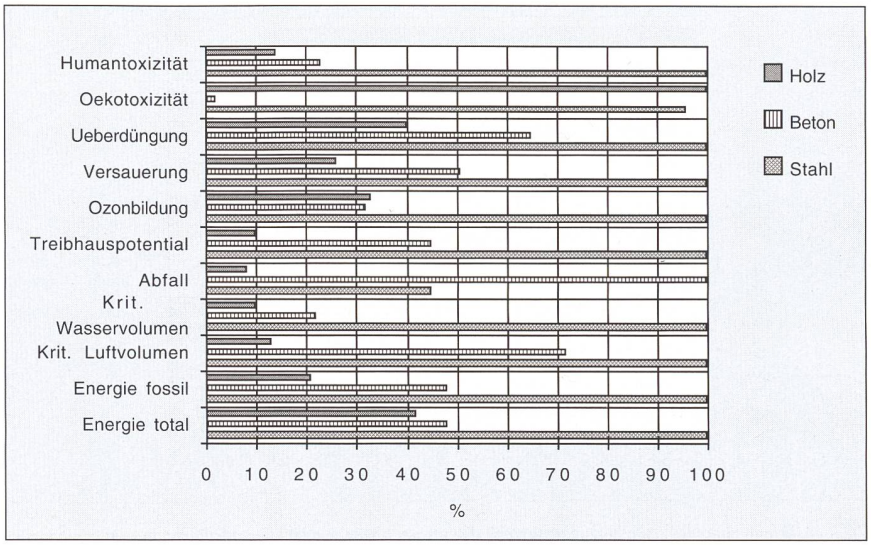

Bild 4 Relativer Vergleich der Wirkungs- und Summenparameter der 0,4-kV-Niederspannungsleitung (1 km).

Die Analyse von Masten mit höheren Spitzenzügen (Winkelmaste, Endmaste) bestätigt die aus Bild 3 ablesbaren Tendenzen. Es zeigt sich insbesondere, dass Holzmasten die Vorteile im Vergleich zu Beton verbessern können, wenn die Festigkeitsanforderungen der Masten steigen. Grund dafür ist ein relativ starker Anstieg der Dimensionen von Betonmasten in diesem Bereich, während Rundholzmasten nur lokal durch Streben oder Anker verstärkt werden können. Bei Tragwerken für den mittleren Spannungsbereich ergeben sich ähnliche Tendenzen zwischen Stahl- und Betonmasten; die ökologischen Unterschiede verkleinern sich bei zunehmender Bemessung.

0,4-kV-Regelleitung Loveresse

Für die 1 km lange Strecke ergeben sich die in Bild 4 dargestellten relativen Unterschiede in den Umwelteinwirkungen. Im Vergleich zur Bewertung der Einzelmasten liefert die Betrachtung des Gesamtnetzes etwas differenziertere Erkenntnisse. Zwar bleibt der Stahlrohrmast nach wie vor die ökologisch ungünstigste Lösung, doch ist das Verhältnis zu den anderen Materialien geringer geworden. Bei der Ökotoxizität zeigt die Holzstrecke die höchsten Belastungswerte. In diesem Wirkungsparameter kommt die Auswaschung der Holzschutzmittel-Bestandteile Kupfer und Chrom sowie die Zinkkorrosion der Stahlzubehörteile der Holzmasten zum Ausdruck, bei den Stahlmasten führen die Emissionen der flüchtigen Kohlenwasserstoffe aus der Anstrichbehandlung zu den hohen Werten. Beton bleibt die Lösung mit dem höchsten Abfallaufkommen und ist bei der Ozonbildung etwa gleich zu setzen mit der Holzleitung. Letztere weist in den acht weiteren Bewertungsparametern Vorteile gegenüber Beton auf, hauptsächlich erklärbar durch

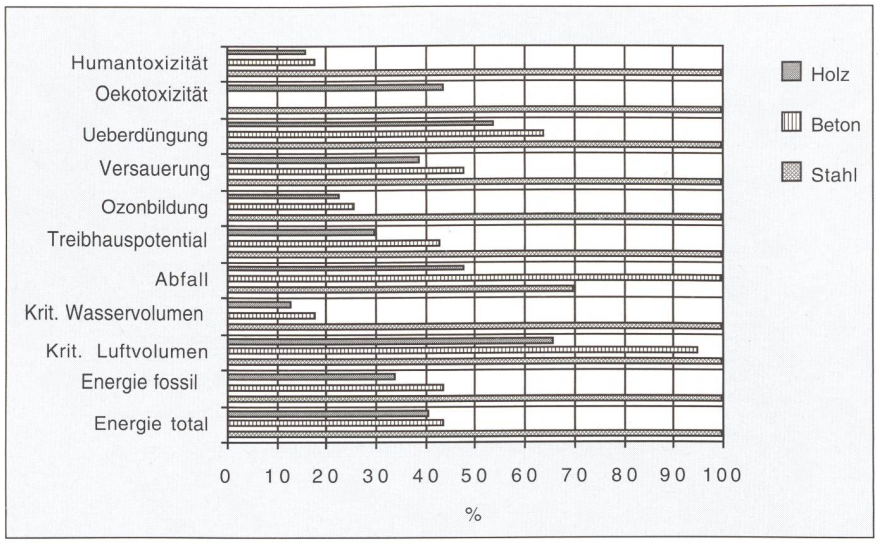

Bild 5 Relativer Vergleich der Wirkungs- und Summenparameter der 20-kV-Leitung (1 km).

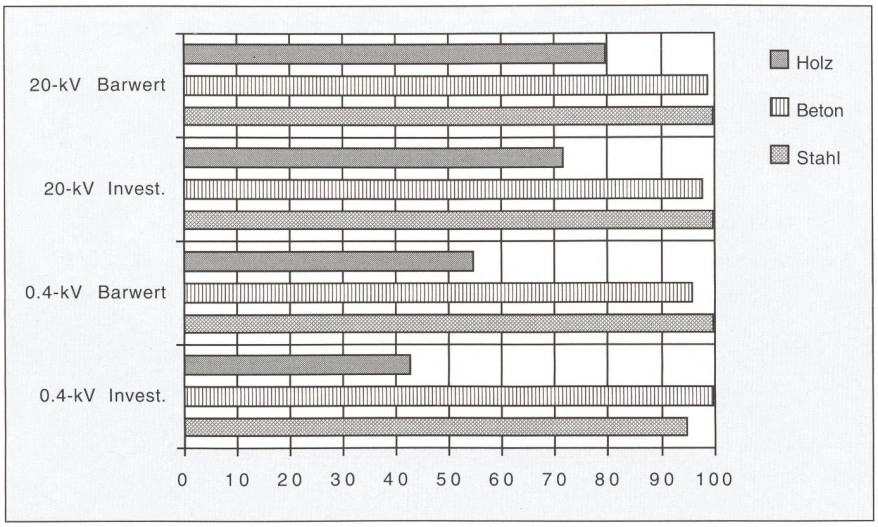

Bild 6 Relativer Vergleich der Wirtschaftlichkeit der untersuchten Nieder- und Mittelspannungsleitungen.

den geringen Einsatz an fossilen Energieträgern und den positiven Aspekten, die Holz als Material mit einem geschlossenen CO_2-Kreislauf auszeichnen.

20-kV-Weitspannleitung Cossonay

Aus der Materialintensität lässt sich ableiten, dass die statisch notwendige Bemessung der Winkelmaste und deren Fundamentierung ausschlaggebend für die ökologische Bewertung der bestehenden Leitungsstrecke mit Holztragmasten ist. Mit Ausnahme der Abfallmasse weist auch hier die Stahlrohrvariante in allen Bewertungsparametern die höchsten Belastungen auf, während die zahlenmässigen Unterschiede zwischen der Holz- und Betonvariante geringer werden (Bild 5). Die Holzvariante hat bei zehn Parametern Vorteile zwischen 7 und 30%, einzig bei der Ökotoxikologie ist die Umwelteinwirkung der reinen Betonvariante rund 50mal geringer.

Das Beispiel bestätigt die bei der Bewertung der Niederspannungsstrecke gemachten Erkenntnisse, zeigt aber auch, dass eine Vermischung der Materialien zu anderen Beurteilungen führen kann. Im aufgezeigten Fall müsste eine Verbesserungsanalyse mit Priorität versuchen, den Materialeinsatz für die Winkelmasten zu reduzieren bzw. dort eine andere Materialauswahl zu treffen.

Wirtschaftlichkeit und erweiterte Bewertung

Neben den Umweltaspekten – und den in dieser Studie durch die Bemessung der Anlagen weitgehend berücksichtigten technischen Kriterien – spielen nicht zuletzt auch die wirtschaftlichen Zielvorgaben eine Rolle für die Ausführung einer Freileitung. Anhand der für die Ökobilanz zusammengestellten Stoff- und Energieflüsse für einen Zeitrahmen von 60 Jahren wurden, durch eine entsprechende Bewertung, die Ausgaben- und Einnahmenflüsse zusammengestellt. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung nach der Barwertmethode berücksichtigt für alle drei Bautypen und beide Teststrecken Investitions-, jährliche Instandhaltungs- und Entsorgungskosten bzw. Liquidationserlöse. Als Berechnungsbasis wurden die Preise und Kosten des Jahres 1994 herangezogen. Für die Barwertmethode wurde ein Realzinssatz von 3% angenommen. Variantenspezifisch hohe Kosten für allfällige spätere Verlegungen der Leitungen sind nicht berücksichtigt. Die wirtschaftliche Bewertung der drei Bautypen ist in Bild 6 dargestellt.

Die Umweltvorteile der Beton- gegenüber den Stahlleitungen spiegeln sich in der Wirtschaftlichkeit nicht wider. Aus den geringen Abweichungen zwischen den Varianten Stahl und Beton lassen sich – bei den Ungenauigkeiten der getroffenen Annahmen – keine generellen Unterschiede ableiten. Dagegen sind die wirtschaftlichen Vorteile bei den Holzmasten deutlich ausgeprägt; sie dürften auch bei etwas veränderten Annahmen nachweisbar sein. Insgesamt bestätigt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die bei der Ökobilanz festgestellten Vorteile der Holzmasten; sie sind bei der reinen Holzstrecke in Loveresse (0,4 kV) deutlich ausgeprägter als bei der «Mischleitung» in Cossonay. Das Resultat einer ökologisch und ökonomisch vorteilhaften Bewertung der Holzmasten genügt auch der zunehmenden Forderung nach Ökoeffizienz: Umweltmassnahmen werden künftig dort vollzogen, wo die notwendigen Geldmittel mit der grössten Umwelteffizienz eingesetzt werden können.

Die Methode der Ökobilanz unterstützt in der Datenbereitstellung und im Ergebnis die Wirtschaftlichkeitsabklärung, indem Prozesse mit ihren Energie- und Stoffflüssen besonders genau erfasst werden. Nicht für alle Stoffe und Energieformen, die den Produktionsprozess durchlaufen, muss ein Unternehmen (heute) auch bezahlen. Nutzniessungen ohne entsprechende Rechnungsstellung werden im Rechnungswesen nicht verbucht und werden in Wirtschaftlichkeitsüberlegungen oft vergessen. Die Ökobilanz kann hier – vor allem längerfristig – auch wirtschaftliche Zielsetzungen fördern:

1. Sie bietet Unterstützung bei der Identifikation kostenintensiver Teilprozesse bzw. Zwischenprodukten.
2. Sie hilft heutige und mögliche künftige Umweltabgaben bzw. Umweltschäden zu reduzieren
3. Der ökologische Ansatz, verbunden mit einer entsprechenden Kommunikation,

kann die Glaubwürdigkeit und das Image des Unternehmens nach aussen erhöhen.

Neben den in vorliegender Studie untersuchten ökologischen und ökonomischen Kriterien gilt es beim Bau einer Freileitung weitere Einflussgrössen zu beachten und einzuhalten. Vorab sind alle gesetzlichen Vorschriften zu erwähnen, welche primär die mechanische Festigkeit, die Abstände zu Gebäuden, Anlagen, Wald, Terrain, Strassen, Gewässern usw. sowie weitere Sicherheitsmassnahmen vorschreiben, im weitern aber auch die Material- und Standortwahl mitbestimmen können. Die Durchleitungsrechte sind nur dann erwerblich, wenn die Interessen des Grundeigentümers gewahrt bleiben, das heisst für ihn keine Bewirtschaftungs- und/oder Sichtbehinderungen entstehen. Dies wirkt sich auf die Wahl der Standorte, der Spannweiten und damit auf die Dimensionen der Tragwerke direkt aus. Im weitern gilt es, all die Wünsche von Privatpersonen, Vereinen, Interessenverbänden usw. zu berücksichtigen, wo es meist um ästhetische Fragen im Sinne von Landschafts- und Heimatschutz geht. Nicht zu vergessen sind unter anderem auch die Anforderungen des Vogelschutzes.

Diesen Ausführungen ist zu entnehmen, dass ein Projekt erst dann zur Realisierung gelangen kann, wenn all die umfangreichen Bedingungen und Anforderungen im Einklang stehen. Dies erfordert weiterhin den an die jeweilige Situation angepassten Einsatz aller drei Masttypen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die anhand bestehender Modellstrecken durchgeführten Vergleiche zwischen Rundholz-, Beton- und Stahlrohrmasten zeigen ähnliche ökologische und ökonomische Tendenzen auf. Die Untersuchungen bestätigen eindeutig die Bevorzugung von imprägniertem Rundholz im Freileitungsbau. Wo aus technischen oder anderen Voraussetzungen Holz nicht in Frage kommt, steht aus ökologischen Gründen der Einsatz von Betonmasten im Vordergrund, während wirtschaftlich der Stahlrohrmast gleichwertig ist. Sobald hohe Leiterzüge aufzufangen sind, rückt vor allem aus technischen und wirtschaftlichen Gründen der Stahlrohrmast vor, ökologisch zu einem guten Teil angeglichen.

Ausser diesen für den Leitungsbauer wichtigen Erkenntnissen steht den Produzenten der verschiedenen Masttypen eine umfangreiche Datensammlung zur Verfügung, die es ihnen ermöglicht, ihre Fertigungs- und Materialstrukturen ökologisch zu überprüfen und wo möglich zu verbessern. Zudem finden die in den offiziellen Vernehmlassungsverfahren einbezogenen Entscheidungsträger nun fundiertere ökologische Grundlagen zur Beurteilung der durch Freileitungen verursachten Umwelteinwirkungen.

Wie im vorangegangenen Kapitel ausführlich dargestellt, gilt es beim Bau von Freileitungen nebst Ökologie und Ökonomie noch weitere Bedingungen und Anforderungen zu erfüllen, die sich auf die Materialwahl direkt auswirken können. In Abwägung aller Kriterien muss schlussendlich die vernünftige Lösung zur Realisierung kommen, was die Bereithaltung aller Material- und Bauarten voraussetzt.

Um die umfangreichen Untersuchungen nun zu einem Nutzen zu führen, sind alle am Freileitungsbau beteiligten Unternehmen, Instanzen und Interessierten aufgerufen, die mit vorliegender Ökobilanz erarbeiteten Grundlagen und erworbenen Erkenntnisse zu würdigen und in der Praxis umzusetzen. Dadurch liesse sich nicht nur der getätigte Aufwand rechtfertigen, sondern es würde ein weiterer Schritt zur bewussten Schonung unseres Lebensraumes eingeleitet. Die Träger dieser Studie sowie die Autoren dieses Artikels danken all jenen, die sich in aufgezeichnetem Sinne für diese Zielerreichung einsetzen werden.

Literatur

Erlandsson M., Ödeen K., Edlund M.-L.: Environmental consequences of various materials in utility poles – A life cycle analysis. Tagungsband 23. IRG Annual Meeting of IRG/Stockholm, IRG Doc. No. WP/3726-92 (1992).

Frischknecht R., Hofstetter P., Knöpfel I. et al.: Ökoinventare für Energiesysteme. Schlussbericht BEW/NEFF-Forschungsprojekt «Umweltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung», 1. Auflage, etwa 2000 S. (1994).

Heijungs R., Guinée J.B. et al.: Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide and Background. Centrum for Milieukunde, Leiden, NL (1992).

ISO (International Organization for Standardization): Technical documents and working drafts of Technical Committee 207, Subcommittee 5: Life Cycle Assessment (1995).

Künniger T., Richter K.: Ökologischer Vergleich von Freileitungsmasten aus imprägniertem Holz, armierten Beton und Stahl. Abschlussbericht. EMPA Dübendorf, 217 S. (1995).

Merten T., Liedtke C., Schmidt-Bleek F.: Materialintensitäten von Grund-, Werk- und Baustoffen (1). Die Werkstoffe Beton und Stahl. Materialintensitäten von Freileitungsmasten. Wuppertal Papers Nr. 27, 62 S. (1995).

Sandoz J.L.: Aufwertung von Holzmasten mit Ultraschall. Bulletin SEV/VSE/ 24, 30–35 (1993).

SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry). Guidelines for Life-Cycle Assessemt: A «Code of Practice». 1. ed., Brussels (1993).

Bilan écologique des supports de lignes aériennes à moyenne et basse tension

Les supports de lignes aériennes à basse et à moyenne tension peuvent être de nos jours en bois rond imprégné, en béton armé ou en acier anticorrosif. Un bilan écologique des trois types de mâts donne un avantage aux supports en bois rond imprégné appliqués à une large échelle. Dans ce contexte, une analyse de rentabilité fondée sur l'évaluation des bilans d'énergie et de matériaux confirme ce résultat. Les mâts en béton sont, quant à eux, plus écologiques que les mâts en acier, alors que du point de vue de la rentabilité, il n'existe pour ainsi dire aucune différence notable entre ces deux types de mâts. Pour les supports de lignes à grande portée, le classement reste fondamentalement le même, les différences étant toutefois nettement moins évidentes que dans le cas des lignes ordinaires. Lorsque la charge statique augmente, les différences écologiques entre les types de mâts diminuent. La saisie et le dépouillement des données nécessaires au bilan écologique contribuent à l'évaluation de la rentabilité et peuvent ainsi aussi favoriser – et ce, avant tout à long terme – des objectifs économiques. Dans une appréciation finale, l'attention est attirée sur les autres conditions et exigences telles que prescriptions de sécurité, esthétique, mise en valeur des terrains, qui peuvent influencer le choix des supports lors de l'installation de lignes.

CERAM

Isolatoren sind sackstark!

Die Firmen der weltweit tätigen CERAM-Gruppe verfügen über weitreichende und langjährige Erfahrung bei Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von hochwertigen Isolatoren.

Testen Sie uns!

CERAM Isolatoren-Vertriebs AG
Bleienbachstrasse 12
CH-4901 Langenthal
Tel. 063 23 20 00
Fax 063 22 66 81

Metalor Industrie

METALOR développe et fabrique des produits semi-finis à base de métaux précieux et de leurs alliages pour diverses applications dans les industries électrique, électronique, microélectronique, automobile, spatiale, médicale, pour ne citer que les plus importantes.

Ces produits, sous forme de fils, fils gainés, bandes, tubes, poudres, ont fait l'objet de recherches métallurgiques poussées afin de satisfaire aux exigences les plus sévères dans des dispositifs variés comme des fusibles, mesures de température, sondes de détection, contacts glissants, pièces en platine pour stimulateurs cardiaques, fermetures centrales de portières, accélérateurs de voitures, appareils auditifs, cibles pour sputtering, pâtes conductrices pour couches épaisses et MLCC.

Metalor.
Dès notre premier contact, vous verrez qu'entre nous le courant passe.

Metalor
METAUX PRECIEUX SA METALOR
AV. DU VIGNOBLE CH - 2009 NEUCHATEL TEL. 038 206 111 FAX 038 206 606