Seiltemperatur und Durchhand von Freileitungen berechnen

Autor(en): **Kegel, Reinhard / Berger, Willi**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **99 (2008)**

Heft 13

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855866

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Seiltemperatur und Durchhang von Freileitungen berechnen

Berechnungen nach dem neuen Kirn-Modell

Eine korrekte Berechnung der Seiltemperatur und des daraus resultierenden Durchhangs ist die Grundlage für eine sichere Netzbetriebsführung. Das Kirn-Modell für die Berechnung der Seiltemperatur basiert auf Erkenntnissen aus den Jahren 1988 bis 1998. Insbesondere der Einfluss der Sonnenstrahlung spielt eine wichtige Rolle, aber auch das Alter der Seile wirkt sich auf die Temperatur aus. Dies gilt umso mehr, wenn zukünftig geschwärzte Hochtemperaturseile eingesetzt werden, deren Seiltemperaturbereich bis 150 °C reicht.

Der Durchhang von Seilen wird wesentlich durch die Betriebstemperatur der Leiterseile mitbestimmt. Diese wiederum wird unter anderem durch den Betriebsstrom I_b, die Windgeschwindigkeit v, durch die Umgebungstemperatur ϑ_u, die Globalstrahlung

Reinhard Kegel, Willi Berger

der Sonne und weitere Parameter festgelegt. Werden die elektrischen und magnetischen Felder unterhalb von Freileitungen nach der 26. BImSchV[1] oder der schweizerischen NIS-Verordnung berechnet, so muss die Leitungstrasse unter höchster betrieblicher Anlagenauslastung, also mit dem thermischen Dauerstrom betrieben werden. Entsprechend stellt sich ein Durchhang f bei einer typischen Seiltemperatur von 80 °C für Aldrey-Seile (Alu mit 0,5% Silizium und 0,5% Magnesium) und Aluminium/Stahl-Seile, bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,6 m/s (Schweiz: 0,5 m/s) und einer Umgebungstemperatur von 35 °C (Schweiz: 40 °C) ein. Wird die Leitung jedoch mit einer Halblast oder Viertellast betrieben, so verringert sich entsprechend die Seiltemperatur, und damit auch der Leitungsdurchhang. Im Folgenden wird ein Lösungsweg skizziert, der eine automatische, näherungsweise Bestimmung der Seiltemperatur und damit eine komplette Durchhangsberechnung für Rechenprogramme zulässt.

Electrosuisse

Bild 1 Durchhang von Hochspannungsleitungen.

Physikalischer Ansatz

Eine stationäre, thermodynamische Arbeitspunktberechnung wird durch den stationären Zustand der Wärmeaufnahme und -abgabe in W/m des Seils charakterisiert: Die Wärmeaufnahme erfolgt durch die ohmsche Stromwärme P'_v und die Sonneneinstrahlung P'_{so}. Die Wärmeabgabe erfolgt durch die Konvektion P'_k, die Strahlung P'_s und die Wärmeleitung P'_w.

Sind die Ausgleichsvorgänge der einzelnen Wärmeströme nach etwa 10–18 min abgeklungen, liegt ein konstantes Temperaturfeld vor, und die Wärmeaufnahme ist identisch mit der Wärmeabgabe. Wird ferner die Wärmeabgabe über die Isolatoren an den Traversen P'_w vernachlässigt, so gilt folgender Zusammenhang:

$$P'_k + P'_s - P'_v - P'_{so} = 0 \text{ [W/m]}$$

Konvektion

Die beim konvektiven Wärmeübergang auftretenden Bewegungsvorgänge und die überlagernde Wärmeströmung lassen sich mathematisch durch Differentialgleichungen exakt berechnen und durch die Gleichungen von Nusselt für Ausnahmefälle durch Ähnlichkeitsbetrachtungen aus der Hydrodynamik näherungsweise beschreiben. Für die erzwungene oder freie Konvektion einfacher Körper lässt sich die abgegebene Wärme näherungsweise durch den Ausdruck bestimmen [3]:

$$P'_k = f\,(Re, Pe, Gr, Nu, \lambda, T, Tu)$$

Darin bedeutet Re die Reynoldzahl, Pe die Pécletzahl, Gr die Grashofzahl, Pr die Prandtlzahl (entspricht Pe/Re), Nu die Nusseltzahl, λ Lambda in W/(m·K), T die absolute Betriebstemperatur der Leiterseile in Kelvin und Tu die absolute Umgebungstemperatur in Kelvin. Beschränkt man sich auf quer oder längs umströmte Rohre, so kann man nach [1] auch schreiben:

$$P'_k \text{ [W/m]} = \pi \cdot \lambda \cdot (T - Tu) \cdot Nu$$

mit

$$Nu = 0{,}24 \cdot Re^{0{,}6} \text{ für } 10^3 < Re < 5 \cdot 10^4$$

mit der Reynoldzahl $Re = (v \cdot d)/\nu((T+Tu)/2)$,

articles spécialisés

wobei v der mittleren Windgeschwindigkeit in m/s entspricht, d dem Drahtdurchmesser in Meter und ν der dynamischen Viskosität in (m · m)/s.

Strahlungsabwärme

Während erwartungsgemäss bei tiefen Temperatur∞en unterhalb 150 °C über die Konvektion die meiste Wärme abgeführt wird, wird die Strahlung als Wärmeabfuhr einen weiteren Beitrag liefern. Unter Berücksichtigung des Boltzmanngesetzes sowie des Strahlungshintergrunds in etwa 80 km Höhe mit ca. 217 K lässt sich die Strahlungsleistung näherungsweise bestimmen durch den Ausdruck:

$$P'_s\,[W/m] = 5{,}7 \cdot 10^{-08} \cdot \varepsilon \cdot d \cdot \pi \cdot [0{,}75(T^4 - Tu^4) + 0{,}25(T^4 - Th^4)]$$

mit ε als Gesamtemissionskoeffizient (0,08–0,93) und Th als Temperatur der äusseren Lufthülle (217 K).

Ohmsche Verlustwärme

Die ohmsche Verlustwärme wird unter Berücksichtigung der zunächst unbekannten mittleren Leitertemperatur sowie des möglichen Skineffekts bestimmt, wobei der bezogene Gleichstromwiderstand R_{20} bei 20 °C bekannt ist:

$$R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - 20°)) \cdot (1 + \delta \cdot 4/3)$$

für $\delta < 1$

mit

$$\delta = 0{,}5 \cdot r \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \kappa \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}$$

Sonneneinstrahlung

Die Sonneneinstrahlung liefert einen weiteren Betrag zur Erwärmung des Leiterseils. Massgebend ist hier nach [4] der geografische Leitungswinkel Ψ zur Nord-Süd-Achse, die geografische Breite φ (<23,5°), der Absorptionskoeffizient ε sowie die Normsonneneinstrahlung N_{sh}, die in Abhängigkeit von der Jahreszeit und Luftverschmutzung Werte zwischen 800 und 1040 W/m² annehmen kann. Der Gesamtzusammenhang lautet damit:

$$P'_{So}\,[W/m] = d \cdot \varepsilon \cdot Nsh \cdot \sin [\arccos(\cos[113{,}5 - |\varphi|]) \cdot \cos(180° - \Psi)]$$

Da grundsätzlich alle Stoffkonstanten temperaturabhängig sind, erfolgt die genaue, stationäre Seiltemperaturbestimmung über einen iterativen Prozess. Als Testbeispiel sei das Seil AD600 gewählt, wobei geprüft wird, ob bei einer Umgebungstemperatur von 40 °C und einem zulässigen thermischen Grenzstrom von 960 A mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,5 m/s sich die Seiltemperatur nach [7, 13] auf ca. 80 °C einstellen soll (nur für Schweiz). Die Berechnung ergibt eine Leitertemperatur von 80,07 °C bei einem Leiterstrom von 960,00 A, einer Umgebungstemperatur von 40,00 °C und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,50 m/s. Das heisst also, die Leitertemperatur stellt sich auf den stationären Betriebspunkt 80,07 °C ein. Die Sonneneinwirkung trägt mit 23 W/m (Globalstrahlung bei 800 W/m²) zur Erwärmung bei, während die ohmsche Wärme mit 67 W/m den Leiter erwärmt. Würde man die Globalstrahlung vergessen, würden in der Strahlungsbilanz 25% fehlen. Weitere Betriebspunkte lassen sich prüfen. Der Durchhang errechnet sich bei einer Spannweite von 500 m mit dem aktuellen Kirn-Modell im massgebenden Betriebszustand zu f = 8,8 m.

Vergleichsberechnungen

Um die berechnete Seiltemperatur überprüfen zu können, wurden Messungen eines Energieversorgers herangezogen [5,6]. Dieser hat Ende der 90er-Jahre eine umfangreiche Messkampagne gestartet und 1998 auf der Fachtagung «Leitungsbau 1998 Regioplan Ingenieure» veröffentlicht. Der gemessene und der gerechnete Kurvenverlauf werden in Bild 2 bis 150 °C wiedergegeben. Die Messung stimmt gut überein mit der Berechnung.

Die neuen EN-Normen

Die Seiltemperatur wird im Wesentlichen durch den eingeprägten Strom, die mittlere Windgeschwindigkeit, die Umgebungstemperatur und die Sonneneinstrahlung bestimmt. Je höher der Betriebsstrom und damit die Seiltemperatur, desto grösser wird der Durchhang. Hinsichtlich des Netzbetriebs kann also die folgende Abbildung hergeleitet werden: Steigt der Strom, steigt die Seiltemperatur, und der Durchhang wächst – was schlussendlich Fehler auslösen kann (ein-, zwei oder dreipolige Fehler).

Der Durchhang f ist also abhängig vom Betriebsstrom I_b [A], vom thermischen Grenzstrom I_{bmax} [A], von der Windgeschwindigkeit $v_{Wind}(h)$ [m/s] in der Höhe h senkrecht auf den Leiter, der Seilendtemperatur ϑ_{Seil} [°C], der Umgebungstemperatur $\vartheta_{Umgebung}$ [°C], dem Seilemissionskoeffizienten $\varepsilon_{Emission}$ (Alterung, Seiloberfläche), der Sonneneinstrahlung p'_{so} [W/m], dem Winkel zwischen Trassenrichtung und Nordrichtung φ_{Trasse}, dem Winkel zwischen Windrichtung und Nordrichtung ψ_{Wind} sowie 15 weiteren Seilparametern.

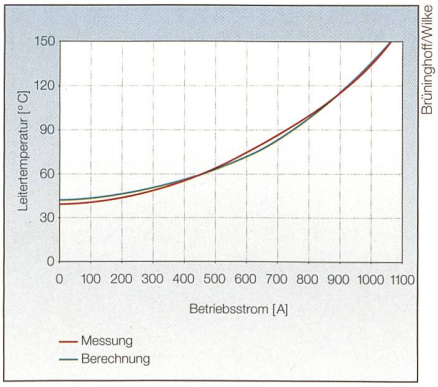


Bild 2 Vergleich Rechnung versus Messung bis ca. 150 °C Seilendtemperatur.
Überprüfung der Genauigkeit zwischen Rechnung und Messung für einen bestimmten Parametersatz nach [5].

Damit ist klar, dass zu jedem Durchhang f ein gewisser Arbeitspunkt gehört, der von den oben definierten Parametern festgelegt wird. Möchte man den maximalen Durchhang für das Seil Al/St 265/35 mit einer Feldlänge l = 400 m ermitteln, so gilt der Arbeitspunkt mit den Parametern [7]:

$$f_{Max} = \text{Funktion}\,(I_{bmax} = 650\text{ A}, v_{Wind}(h) = 0{,}6\text{ m/s}, \vartheta_{Seil} = 80\text{ °C}, \vartheta_{Umgebung} = 35\text{ °C}, \ldots) = 15{,}75\text{ m}$$

Der maximale betriebliche thermische Grenzstrom ist in den einschlägigen SEV-Bestimmungen bzw. der Vollzugshilfe für Freileitungen in der Anlage 2 tabellenartig angegeben [13]. Sie finden sich aber auch in der SEV-Publikation «Leitsätze für die Dauerstrombelastbarkeit von Leitungsseilen» [7]. In Deutschland sind die maximalen Dauerströme der Leiterseile in der DIN 48204 [9] zu finden. Diese wurden im Wesentlichen nach dem sogenannten Webs-Modell ermittelt. Über die Parameter Globalstrahlung der Sonne in W/m², die Windrichtung zur Trasse und die Alterung der Seile (Schwärzung, Seilemissionskoeffizient) erfolgen keine genauen Aussagen. So kann die Globalstrahlung zwischen 800 und 1350 W/m² je nach Höhenstand der Sonne und Luftverschmutzung liegen [2]. Ein üblicher Wert für Mitteleuropa liegt bei 900 W/m², die Windanströmung soll senkrecht zu den Leiterseilen liegen, und der Seilemissionskoeffizient nimmt bei einem Alter von 25 Jahren den Wert 0,88 an.

Es ist daher wichtig, dass diese neuen Erkenntnisse bei der Anwendung der Vollzugshinweise berücksichtigt werden. In der Tabelle wird beispielhaft anhand des Verbundseiles Al/St 265/35 gezeigt, welche Ungenauigkeiten entstehen können. Den Berechnungen liegen die folgenden Parameter für das Leiterseil Al/St 264/35 bei einer Feldlänge von 400 m fest zugrunde:

- Betriebsstrom I_b = 680 A gemäss DIN 48204 [8]
- Mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe h = 0,6 m/s gemäss DIN 48204
- Umgebungstemperatur ϑ_u = 35 °C gemäss DIN 48204
- Seilalter = 25 Jahre (entspricht ε = 0,88)

Steht die Auslegungstemperatur des Leiterseils fest (hier 80 °C), so kann die ei-

Fall	Beschreibung	σ_{Zug} [N/mm²]	ϑ_{Seil} [°C]	f [m]
1	Sehr geringe Globalstrahlung (800 W/m²) Wind senkrecht auf das Leiterseil	42	79,1	15,7
2	Hohe Globalstrahlung (ca. 1300 W/m²) Wind senkrecht auf das Leiterseil	41,1	85,7	15.9
3	Hohe Globalstrahlung (ca. 1300 W/m²) Wind parallel zum Leiterseil	39,7	105,9	16,63
4	Normale Globalstrahlung (ca. 900 W/m²) Wind senkrecht auf das Leiterseil	41,9	80,4	15,75

Tabelle Auswirkungen unterschiedlicher Globalstrahlung und Windrichtung
Obwohl gemäss den geltenden Normen der Betriebsstrom, die mittlere Windgeschwindigkeit und die Umgebungstemperatur unverändert korrekt gelten, können formal die Seilzuspannung, die Seilendtemperatur und der Durchhang innerhalb dieser Normparameter erheblich schwanken. Nur der Fall Nr. 4 ist für die festgelegte Wettersituation im Sommer korrekt, da die Seilendtemperatur die 80 °C in keinem Fall überschreiten darf.

gentliche geometrische Auslegung der Freileitung im Rahmen der Leitungsplanung erfolgen. Seit 1992 bis 2001 wurde im Rahmen der neuen Erkenntnisse die europäische Norm EN 50341 entwickelt, die als DIN EN 50341-1 und DIN EN 50341-3-4 in die deutschen Normen Eingang fand und zum Teil die alte DIN VDE 0210 12.85 ergänzt.

Die folgende Darstellung wurde von einem grossen Energieversorger in Form einer Stellungnahme zugesandt und beschreibt die typische Planungsstrategie bzw. deren Grundsätze der Leitungsplanung 2008 [14] in leicht gekürzter Form. Es lassen sich drei Teilbereiche unterscheiden: die geometrische Auslegung der Leitung, Einflüsse einer erhöhten Leitseiltemperatur auf den Betriebszustand sowie betriebliche Massnahmen.

Geometrische Auslegung

Die geometrische Auslegung entspricht der Auslegung der Zugspannung für den zur Berechnung der Maststatik notwendigen Ausgangszustands des Seils. Nach DIN EN 50341 ist dieser Ausgangszustand der Lastfall bei 10 °C Seiltemperatur ohne Zusatzlast. Hierzu wird eine zulässige Zugspannung gemäss DIN EN 50341-3-4:2001, Teil 3, Tabelle 9/DE.2 (Seite 61), in Abhängigkeit des Seiltyps festgelegt. Ein Beispiel für die sogenannte Mittelzugspannung für Al/St 265/35 ist der Wert 43 N/mm². Unter Berücksichtigung dieses Ausgangszustands werden dann alle für die statischen Bemessung notwendigen Lastfälle A–L aus DIN EN 50341, Teil 3, Seite 28 und 29, über eine statische Berechnung (Teil der Durchhangsberechnung) bestimmt und die daraus resultierende Zugspannung als Eingangsgrösse für die statische Berechnung der Masten verwendet.

Dieser Ausgangszustand ist dann ebenso die Basis für die geometrische Auslegung der Freileitung hinsichtlich der Boden- und Objektabstände in der Trasse. Dazu werden über eine Durchhangsberechnung auf Basis des beschriebenen Ausgangszustands alle für die geometrische Auslegung notwendigen Lastfälle berechnet:

- Auslegungstemperatur der Leitung ohne Zusatzlast
- 40 °C Leiterseiltemperatur mit Windlast im ausgeschwungenen Zustand
- –5 °C plus Zusatzlast
- –5 °C plus halber Zusatzlast in einem Spannungsfeld des Abspannabschnitts
- –5 °C ohne Zusatzlast in allen anderen Spannungsfeldern des Abspannabschnitts

Die daraus resultierenden Durchhänge unter Beachtung der entsprechenden Ausschwingwinkel beim Lastfall 40 °C und Wind sind dann Basis für die Abstandsberechnung zum Erdboden und zu den Objekten in der Trasse.

Einflüsse einer erhöhten Seiltemperatur

Ein dauerhafter Betrieb über die zulässige Leiterseilendtemperatur ist nicht zulässig. Der Grund liegt in einer dauerhaften Entfestigung, verbunden mit einer sinkenden Bruchfestigkeit. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass ein Seil mit einer dauerhaften Überhöhung der zulässigen Temperatur in den kalten Jahreszeiten bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts und entsprechender Aneisung versagt und bricht.

Ein sicherer Netzbetrieb der Freileitung wäre somit gefährdet. Als Alternative bieten sich im Rahmen der Planung sogenannte Hochtemperaturseile an [15]. Sie besitzen typischerweise eine Auslegungstemperatur von 150 °C, die sie schadlos überstehen. Diese sogenannte TAL/ACS-Seile bestehen aus Aluminium/Stalum[2)] und können zum Zweck einer besseren Wärmeabstrahlung mit schwarzer Oberflächenbeschichtung versehen werden (BTAL/ACS) [15]. Sie weisen etwa die gleichen Durchhangseigenschaften auf wie herkömmliche Al/St-Seile (ACSR-Seile).

Betriebliche Massnahmen

Wird die Leitung in Betrieb genommen, so ist darauf zu achten, dass die zulässigen Seiltemperaturen sowie Abstände zu Objekten und Bäumen eingehalten werden. Dies wird dadurch erreicht, dass Bäume regelmässig zurückgeschnitten werden und nicht in den Gefährdungsbereich der Leitung hineinwachsen. Dabei darf davon ausgegangen werden, dass die Seiltemperaturen sich noch unterhalb der entsprechenden Auslegungstemperatur bewegen.

Die Netzführung hat die Aufgabe, die Einhaltung der Seiltemperatur zu überwachen. Dies geschieht indirekt durch Überprüfung der maximal zulässigen Betriebsströme (z.B. für Al/St 265/35: I_n = 680 A). Dabei wird der Netzzustand wie folgt überprüft: In kurzen Abständen erfolgt eine Netzzustandserkennung (State Estimation). Sie liefert auf Basis der eingehenden Messwerte (ca. 60% des Netzes) ein konsistentes Abbild des Netzzustandes, d.h., die Belastungszustände aller in Betrieb befindlichen Stromkreise sind danach bekannt, weil die restlichen Messwerte über die Zustandsschätzung berechnet werden. Da die Netze nach dem N-1-Prinzip gefahren werden, darf man auf Basis dieser Berechnung keine nicht zulässigen Belastungszustände feststellen.

Nach der Netzzustandserkennung können Ausfallsimulationsrechnungen durchgeführt werden, die dann aufgrund von Überlastungen die Ausfälle eines oder mehrerer Stromkreise anzeigen. Betriebliche Gegenmassnahmen können darin bestehen, dass entweder

- die Netztopologie verändert wird oder
- aus betrieblichen Gründen abgeschaltete Leitungen kurzfristig wieder in Betrieb genommen werden.

Sollten diese Gegenmassnahmen nicht ausreichen, so kann die Rückführung in einen Re-Dispatch notwendig sein. Dazu sind mit den Kraftwerksbetreibern oder anderen Verbundunternehmen Gespräche dahingehend aufzunehmen, dass die Einspeisung verändert wird, dass sich ein wieder zuverlässiger Lastfluss im Netz einstellt.

Bei der Festlegung der zulässigen Grenzströme gehen einige Unternehmen bereits heute den Weg, die jeweilige Wettersituation mit einzubeziehen. Nur im Sommer werden bei der Planung Grenzströme ge-

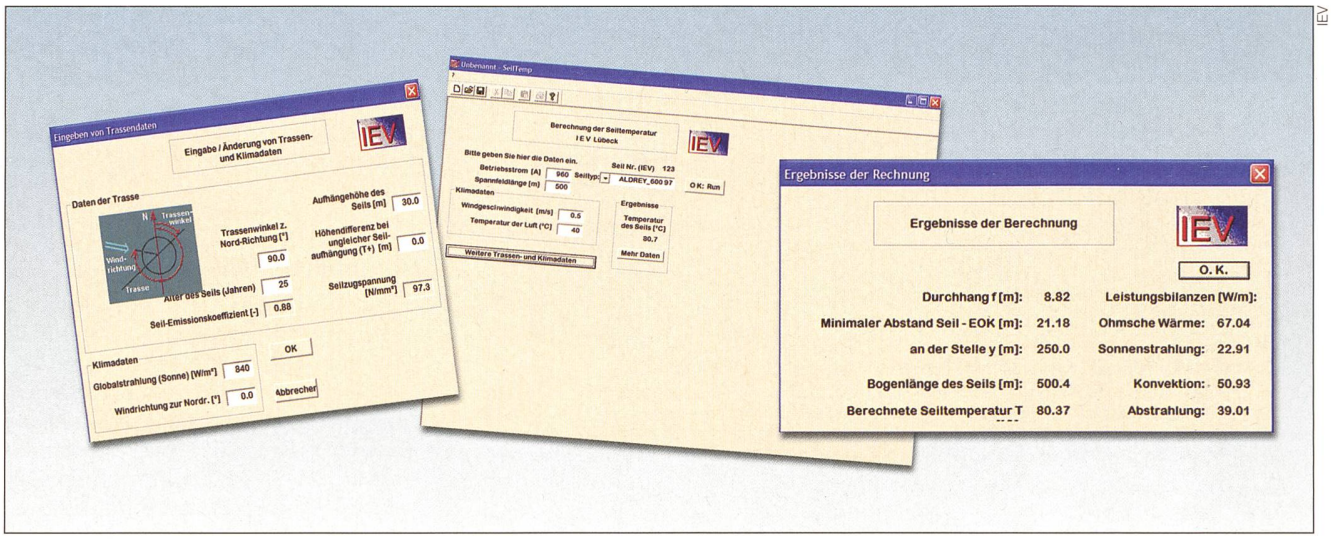


Bild 3 Darstellung der Softwareumsetzung des Webs- und Kirn-Modells.
Die oberen zwei Fenster stellen die Eingabefenster dar, das untere Fenster die Ergebnisse. Bei einer Aufhängehöhe von 30 m beträgt der minimale Abstand Seil zu EOK 21,18 m. Nach der LeV darf er 11,3 m betragen.

fahren, während im Winter mit der wesentlich tieferen Umgebungstemperatur höhere Grenzströme zugelassen sind. Weiterreichende Überlegungen gehen dahin, durch Monitoringsysteme die zulässigen Grenzströme praktisch dynamisch an die Wettersituation anzupassen [14, 18].

Digitale Umsetzung

Das neue Kirn-Modell wurde in verschiedenen Softwareprogrammen umgesetzt. Das Programm IEV-Seiltemp benutzt eine Seilliste als Datenbank. Das Modell von Webs wurde entsprechend den Ansätzen von Kirn erweitert und gleichzeitig vereinfacht. Die Zahl der Modellparameter konnte dadurch gegenüber dem kirnschen Modell reduziert werden, ohne allzu sehr an Genauigkeit zu verlieren. Weitere Einflüsse, wie der zeitliche Stand der Sonnenhöhe, wurden durch den Fall maximaler Sonneneinstrahlung bei höchstem Sonnenstand abgeschätzt.

Modelle mit mehr Parametern haben nur dann Vorteile, wenn diese Daten genau bekannt sind. Dies ist in der Praxis häufig nicht der Fall. Das Ziel war es daher, ein einfaches Modell zu entwickeln, das mit wenigen physikalisch begründeten Ansätzen arbeitet. Wie ein Vergleich mit empirisch gemessenen Daten zeigt, ist das Modell auch bei hohen Strömen und Seiltemperaturen genau. Das Kirn-Modell wurde auch in die Software Copperfield eingebaut, womit man den für den Vollzug zur NISV massgebenden Durchhang einer Weitspannanlage berechnen kann, wie in Bild 3 für das Seil AD600 und für eine Spannweite von 500 m.

Zusammenfassung

Eine korrekte Berechnung der Seiltemperatur und daraus des Durchhangs ist die Grundlage für eine sichere Netzbetriebsführung. Es wird das neue Kirn-Modell erläutert, das auf Erkenntnisse aus den Jahren 1988 bis 1998 basiert. Insbesondere der Einfluss der Globalstrahlung im Bereich von 800–1400 W/m^2 spielt eine wichtige Rolle, aber auch das Alter der Seile wirkt sich auf die Seiltemperatur aus. Dies gilt umso mehr, wenn zukünftig geschwärzte Hochtemperaturseile Verwendung finden, deren Seiltemperaturbereich bis 150 °C reicht.

Es wird gezeigt, dass jede Angabe, sei es der Betriebsstrom wie auch die Seiltemperatur, funktionell zusammengehört. In diesem Sinne muss in Arbeitspunkten gedacht werden, zu denen ein ganzer Parametersatz gehört.

Von entscheidender Bedeutung für einen Normalbetrieb ist die Netzbetriebsführung, die bereits bei der Trassenplanung die Abstände zu Objekten und Bäumen festlegt. Nach der Inbetriebnahme sind Massnahmen skizziert, die einen Störungsfall verhindern sollen. Dazu zählen die Netzzustandsschätzung (State Estimation), Ausfallsimulationsrechnung und Änderung der Netztopologie sowie der Re-Dispatch. In neuester Zeit ist die direkte Messung der Seiltemperatur über funkbasierte Oberflächenwellensensoren möglich und bietet hinsichtlich der Netzbetriebsführung eine zusätzliche Sicherheit [16, 17].

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die korrekte Berechnung des Durchhangs für den Vollzug. Abhängig von den aktuell geltenden Umweltparametern und aktuellem Lastfluss kann er prinzipiell nach dem Kirn-Modell berechnet werden. Allerdings nur, wenn alle Paramteter bekannt sind. Entsprechend vereinfachte Softwaremodelle haben sich als zusätzliches Kontrollinstrument bewährt.

Referenzen

[1] A. Webs: Dauerstrombelastbarkeit von nach DIN VDE 48201 gefertigten Freileitungsseilen aus Kupfer, Aluminium und Aldrey. Elektrizitätswirtschaft 62 (1963), 861–872.
[2] R. Fischer, F. Kissing: Freileitungen – Planung – Berechnung – Ausführung. Springer Verlag, 5. Auflage, 2001.
[3] F. Hell: Grundlagen der Wärmeübertragung. VDI-Verlag, 1982.
[4] H. J. Kirn: Die Bestimmung der Temperatur von Freileitungsseilen. Elektrizitätswirtschaft 87 (1988), 1055–1065.
[5] H. Brüninghoff, W. Wilke: Erfahrungen mit «Heissen Seilen». Leitungsbau '98, Tagungsband der Fachtagung veranstaltet von Regioplan Ingenieure und Westdeutsche Licht- und Kraftwerke, Hamburg, 18.–19. Juni 1998, S. 7.1–7.7.
[6] H. Kirn, M. Palic: Messung und Berechnung von Freileitungsseiltemperaturen bei veränderlichen Strombelastungen. ETZ 111 (1990), 1016–1023.
[7] SEV-Publikation Nr. 198:1952 und 198/A1: 1960: Leitsätze für die zulässige Dauerstrombelastung von Leitungsseilen.
[8] DIN 48204 – April 1984: Leitungsseile (Aluminium-Stahl-Seile); Ausgabe April 1984.
[9] DIN VDE 0210 12/85.
[10] DIN EN 50341–1:2001 Freileitungen über AC 45 kV.
[11] DIN EN 50341-3-4:2001 Freileitungen über AC 45 kV.
[12] SEV-Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV), SR 734.31.
[13] BAFU: Hochspannungsleitungen – Vollzugshilfe zur NISV; Vollzugs- , Berechnungs- und Messempfehlung, Entwurf zur Erprobung vom Juni 2007; www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01117.
[14] U. van Dyk: Stellungnahme zum Entwurf: «Seiltemperatur- und Durchhangsberechnungen» (vd080306.01); RWE Westfalen-Weser-Ems Netzservice GmbH; 2008.

[15] Wiretec-Hochtemperatur-Seile; www.wiretec.de/dpconhot_hochtemperatur_seil.htm.
[16] J. Bartsch et al.: Leitererwärmung im Hochspannungsübertragungsnetz; Bulletin SEV/VSE 17/2007, S. 9.
[17] R. Terminova: Einsatz von passiven funkabgefragten Oberflächenwellensensoren in der elektrischen Energietechnik; Dissertation von Renata Terminova, Fachbereich 18 Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Darmstadt, 2007. elib.tu-darmstadt.de/diss/00091/.
[18] E. Mühl: Berechnung der Grenzen von Freileitungsparametern sowie Ableitung und Bewertung der Abhängigkeiten; Diplomarbeit an der TU Chemnitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik; Elisabeth Mühl, 2007, www.tu-chemnitz.de/etit/messtech/studienarbeiten/abgeschlossen/pdf/muehl_da.pdf.

Angaben zu den Autoren

Reinhard Kegel, Prof. Dr.-Ing., ist seit 1990 Professor für Energieversorgung und EMV an einer norddeutschen Hochschule und Hauptgesellschafter der Firma IEV GmbH in Lübeck, Deutschland. Seit dieser Zeit wurden von der IEV GmbH mehrere wissenschaftliche Feldberechnungsprogramme für elektrische Anlagen über 1 kV entwickelt, seit 1998 auch speziell für die NIS-Verordnung. Mit dieser Software (Copperfield) können magnetfeldarme Freileitungen und Transformatorenstationen dreidimensional konstruiert, gebaut und auf Einhaltung der NISV geprüft werden.
Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit IEV GmbH, D-23562 Lübeck, iev@iev.de

Willi Berger, dipl. El.-Ing. HTL, arbeitet seit 1998 als Leiter Inspektionen/Beratung bei Electrosuisse.
Electrosuisse, 8320 Fehraltorf, willi.berger@electrosuisse.ch

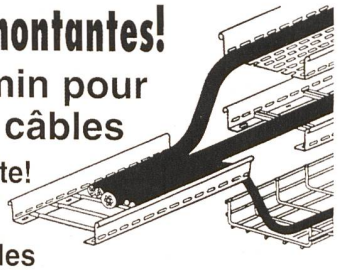
[1] 26. Deutsche Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.
[2] Stalumdrähte sind hochfeste Stahldrähte, die in einem Extrusionsverfahren mit Aluminium beschichtet und anschliessend in einem hydrodynamischen Ziehprozess auf den Enddurchmesser gezogen werden. Stalumdrähte werden als Substitut zu verzinktem Stahl in Freileitungsseilen eingesetzt.

Résumé

Le calcul de la température de câble et de la flèche de lignes aériennes

Calculs selon le modèle de Kirn. Le calcul correct de la température de câble et de la flèche qui en résulte est à la base d'une gestion fiable du réseau. Le modèle de Kirn pour le calcul correct de la température de câble est basé sur des connaissances acquises au cours des années 1988 à 1998. L'influence de l'ensoleillement joue en particulier un rôle important, mais l'âge des câbles a également des répercussions sur la température. Ceci sera d'autant plus le cas si on utilise à l'avenir des câbles noircis à haute température allant jusqu'à 150 °C.

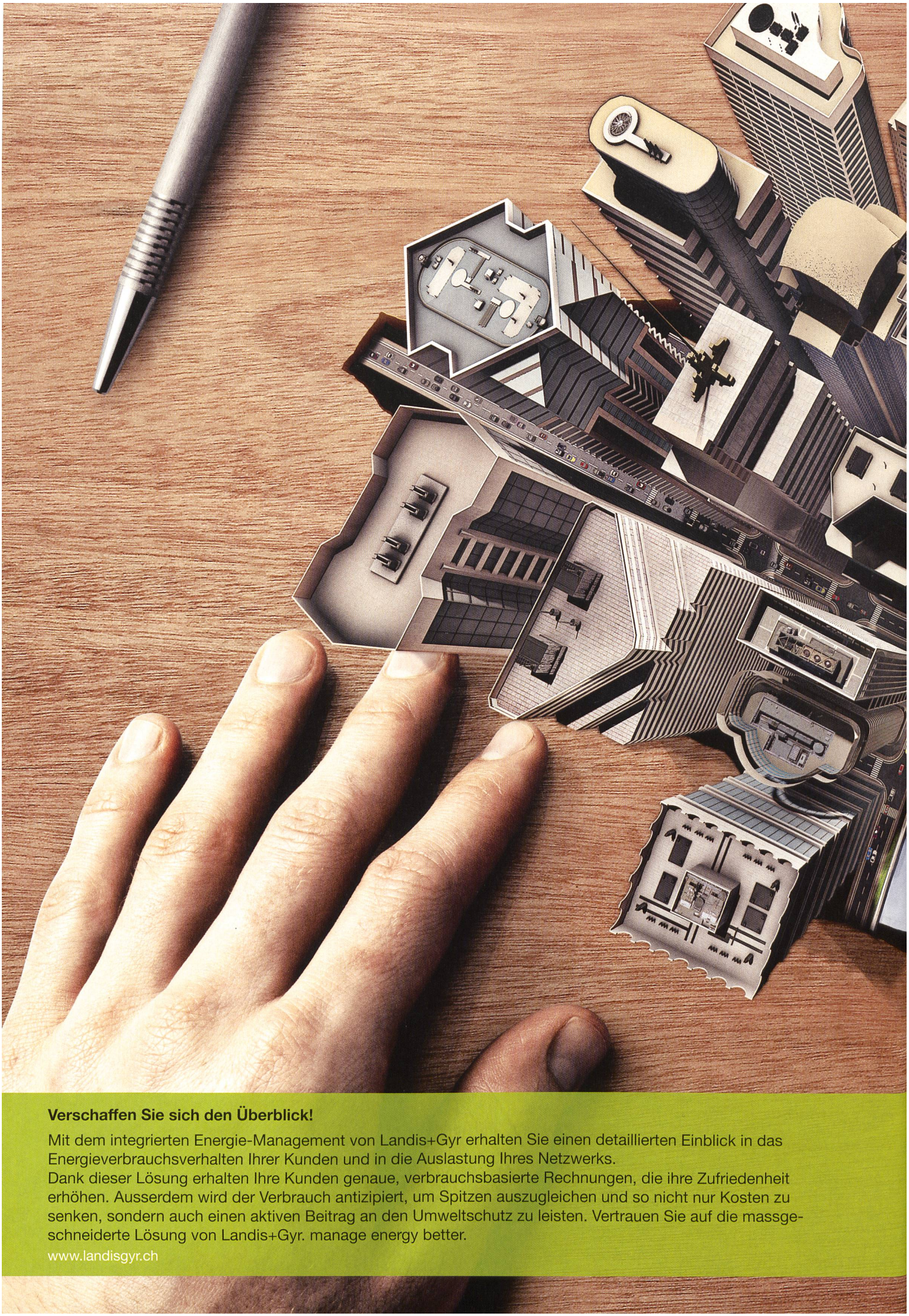
Finis les chemins à grille, les chemins de câbles et les **conduites montantes!**
Il existe maintenant les Multi-chemins LANZ: un chemin pour tous les câbles



- Les Multi-chemins LANZ simplifient la planification, le métré et le décompte!
- Ils diminuent les frais d'agencement, d'entreposage et de montage!
- Ils assurent de meilleurs profits aux clients: excellente aération des câbles
- Modification d'affectation en tout temps. Avantageux. Conformes aux normes CE et SN SEV 1000/3.

Pour des conseils, des offres et des livraisons à prix avantageux, adressez-vous au grossiste en matériel électrique ou directement à

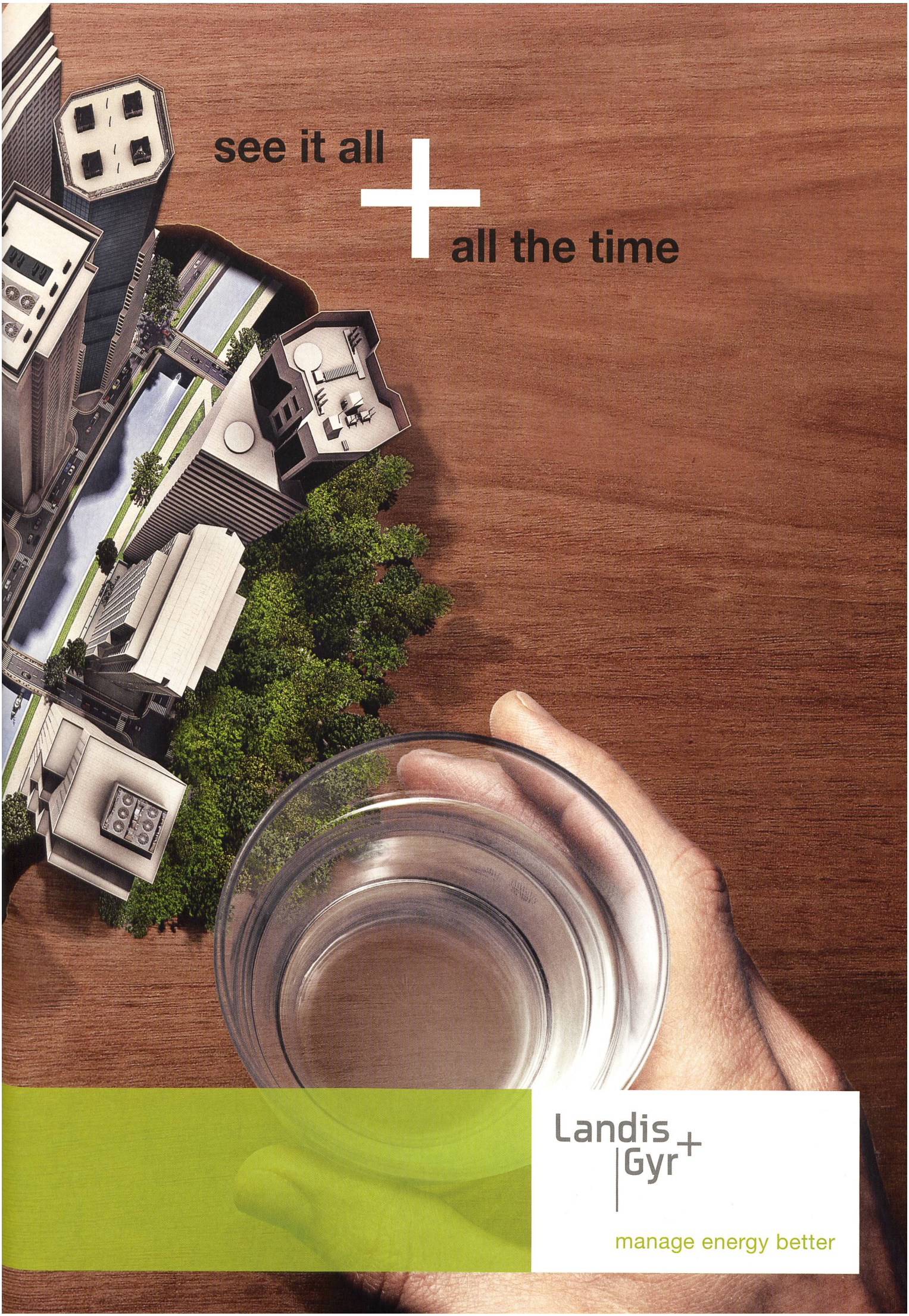
lanz oensingen sa e-mail: info@lanz-oens.com
CH-4702 Oensingen • Tél. 062/388 21 21 • Fax 062/388 24 24



Verschaffen Sie sich den Überblick!

Mit dem integrierten Energie-Management von Landis+Gyr erhalten Sie einen detaillierten Einblick in das Energieverbrauchsverhalten Ihrer Kunden und in die Auslastung Ihres Netzwerks.
Dank dieser Lösung erhalten Ihre Kunden genaue, verbrauchsbasierte Rechnungen, die ihre Zufriedenheit erhöhen. Ausserdem wird der Verbrauch antizipiert, um Spitzen auszugleichen und so nicht nur Kosten zu senken, sondern auch einen aktiven Beitrag an den Umweltschutz zu leisten. Vertrauen Sie auf die massgeschneiderte Lösung von Landis+Gyr. manage energy better.

www.landisgyr.ch


see it all
+
all the time
Landis
Gyr+
manage energy better