

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 98 (2007)
Heft: 6

Artikel: Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetzen
Autor: Soland, René / Bomatter, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857427>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetzen

Dezentrale Einspeisung im Feldversuch

Zukünftig sollen vermehrt dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA) mit innovativen Technologien für die Energieproduktion zum Einsatz kommen. Die Integration dieser Systeme stellt die Netzbetreiber und ihr Umfeld vor neue Herausforderungen. Ein Feldversuch soll die heute vorwiegend theoretisch erarbeiteten Grundlagen überprüfen und neue Erkenntnisse liefern, welche Bedingungen für die Einbindung von mehreren dezentralen Erzeugungsanlagen in ein Niederspannungsnetz wichtig sind.

■ René Soland und Peter Bomatter

Ausgangslage

Dezentrale Erzeugungsanlagen werden zunehmend aktuell. In Zukunft soll mit diesen Produktionsanlagen auch ein Teil des Strombedarfs in der Schweiz gedeckt werden. Als Energieerzeugungssysteme sind heute der Einsatz von innovativen Technologien wie Stirlingmotoren, Brennstoffzellen, Mikrogasturbinen, Mini-BHKW sowie Solar- und Windanlagen zu erwähnen.

Die Netzbetreiber gehen davon aus, dass vermehrt Erzeugungsanlagen, vorwiegend für erneuerbare Energien, de-

zentral genutzt und in bestehenden Niederspannungsnetzen integriert werden.

Der Einsatz von einzelnen dezentralen Erzeugungsanlagen in Verteilnetzen ist mannigfaltig erprobt und im praktischen Netzbetrieb bekannt. Hingegen ist die Kenntnis über das Zusammenwirken einer Vielzahl von kleineren Anlagen in Niederspannungsnetzen noch nicht vorhanden.

Die Verteilnetzbetreiber haben daher ein Interesse, die Auswirkungen vermehrter verteilter Einspeisungen auf den Betrieb im Normal- und im Störfall, die Planung und Dimensionierung der Netzanlagen sowie auf allfällige notwendige Anpassungen in den Normen möglichst frühzeitig zu erkennen.

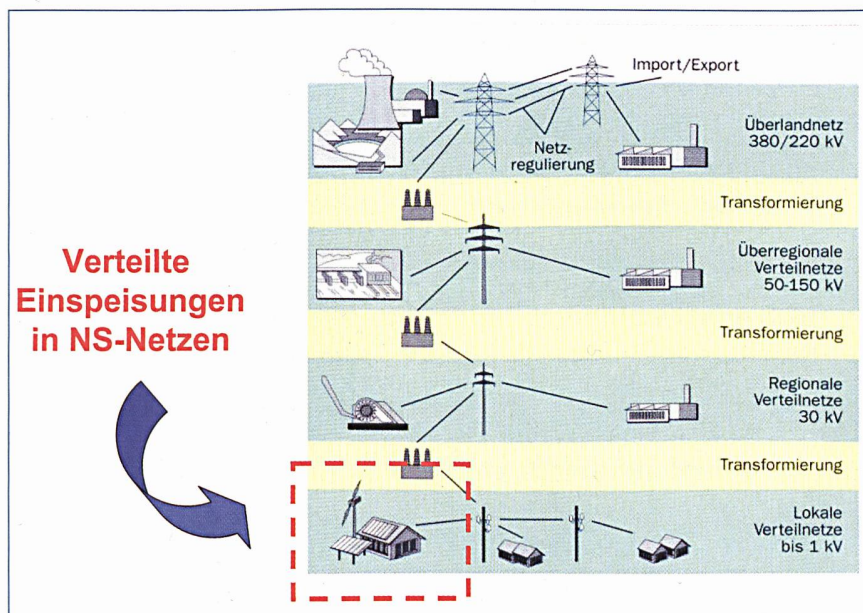


Bild 1 Einspeiseebene VEiN (Quelle VSE).

Die Herausforderung für die Netzbetreiber besteht darin, eine grössere Anzahl dezentraler Erzeugungsanlagen in ihre Niederspannungsverteilnetze einzubinden.

Umfeld

Auch die anstehende Liberalisierung des Strommarktes in Europa bzw. in der Schweiz wird die Netzbetreiber vor neue Situationen stellen. Es muss davon ausgegangen werden, dass die bestehende Infrastruktur der Netze einerseits stärker ausgelastet und andererseits nach wirtschaftlichen Kriterien optimiert wird. Weiter kann durch den Einsatz dezentraler Energieerzeugungsanlagen durch den Kunden die von ihm in Zukunft geforderte Netz- und Versorgungsqualität selbst definiert und beeinflusst werden. Diese Einspeisungen haben dabei Bedingungen zu erfüllen, die die Netzqualität der weiteren am Netz angeschlossenen Kunden nicht beeinträchtigen. Dies erfordert allenfalls zusätzliche Anschlussbedingungen, die auf das Zusammenwirken einer grösseren Anzahl von verteilten Anlagen im Netz ausgerichtet sind.

Um dafür die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen zu gewinnen, wurde ein Pilotprojekt für die Integration dezentraler Energiequellen mit «Verteilter Einspeisung ins Niederspannungsnetz (VEiN)» initialisiert (Bild 1).

Die Versorgungsqualität darf durch die dezentralen Energieerzeugungsanlagen nicht beeinträchtigt werden.

Bisherige Forschungsaktivitäten und Studien

Die Realisierung einer solchen Pilot- und Demonstrationsanlage soll sich unter anderem auf die Resultate eines Forschungsprojektes [1] vom Bundesamt für Energie (BFE) stützen. Dieses Forschungsprojekt liefert auf Basis von theoretischen Abklärungen und Simulationen an real existierenden Mittel- und Niederspannungsnetzen Resultate über die Beeinflussung des Betriebs durch den vermehrten Einsatz von dezentralen Energieerzeugungsanlagen.

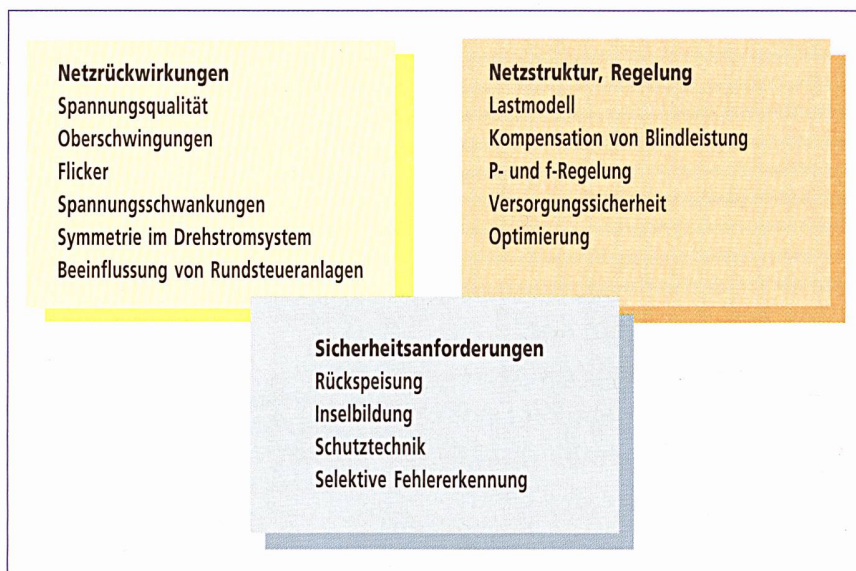


Bild 2 Problemstellungen in Zusammenhang mit dem Feldversuch.

Inhalt des geplanten Feldversuches

Aufbauend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes [1] soll an einem konkreten Feldversuch in einem Niederspannungsnetz eine Mehrzahl von verteilten Energieerzeugungsanlagen installiert werden. Dabei sind die nachfolgenden Fragen unter realen Bedingungen und unter Nutzung und Auswertung entsprechender Messungen zu beantworten.

- Wie verändern sich Struktur und Führung des Niederspannungsnetzes durch den zunehmenden Einsatz der dezentralen Erzeugung?
- Sind besondere Betriebsoptimierungen in Niederspannungsnetzen durch den Einsatz von dezentralen Erzeugungseinheiten möglich?
- In welchem Rahmen verändert sich die Verfügbarkeit von Niederspannungsnetzen?
- Welche bekannten Speichermedien elektrischer Energie werden mit dem Einsatz von DEA für eine breitere Anwendung und Nutzung interessant?
- Wie kann die durch den Einsatz von DEA entstehende Situation einer möglichen Lastflussumkehr im Niederspannungsnetz betrieblich gehandhabt werden?
- Welche Vorschriften sind anzupassen? Ist ein Einfluss auf die Gesetzgebung erforderlich?
- Ist ein partieller, eventuell zeitlich begrenzter Inselbetrieb mit dem Einsatz von DEA aus Sicht der Kundentoleranz möglich?
- Auf welche Akzeptanz stösst der Betrieb einer DEA bei den Kunden? Sind Änderungen im Verhalten der Kunden feststellbar?
- Wie weit können mit dem wachsenden Anteil einer dezentralen Energieerzeugung und der damit verbundenen Einspeisung in das Niederspannungsnetz Netzkosten in der Energieübertragung vermieden werden?
- Welche Verlusteinsparungen sind durch den Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen möglich?
- Welche praktischen Betriebsprobleme treten auf, und wie können sie technisch und ökonomisch gemeistert werden?

Mögliche Problemstellungen, die sich mit der Realisierung des Feldversuches in den Bereichen Netzzrückwirkungen, Netzstruktur und Regelung sowie Sicherheitsanforderungen ergeben, sind dabei unter Bild 2 aufgelistet.

- Der Betrieb des Verteilnetzes ist auch mit einer grösseren Zunahme von verteilten Einspeisungen im Allgemeinen ohne Massnahmen möglich. Aufgrund der Vielfältigkeit der Problematik sind Einzelfälle im voraus zu betrachten. Die Optimierungsaufgaben bezüglich der Netzverluste, der Spannungshaltung und evtl. des Inselbetriebs werden bei einem stark wachsenden Einsatz von verteilten Einspeisungen im Verteilnetz komplexer. Zusätzliche Steuer- und Regeleinrichtungen und Konzepte sowie Kommunikationsmittel können für die steigenden Anforderungen an die Optimierungsaufgaben durchaus sinnvoll sein.

Machbarkeitsstudie zur Realisierung eines Feldversuches

Mit der finanziellen Unterstützung des Bundesamtes für Energie (BFE) und der AEW Energie AG wurde im Jahre 2005 eine Studie [2] erarbeitet, welche konkret die Machbarkeit eines entsprechenden Feldversuches überprüfte.

In dieser Studie wurden die Rahmenbedingungen und Schwerpunktthemen für einen entsprechenden Feldversuch definiert.

Die Realisierung eines anderen Feldversuches, bei dem in einem Niederspannungsnetz eine Mehrzahl von verteilten Anlagen installiert wird, ist derzeit nicht bekannt.

Die wesentlichen Resultate dieser Projektarbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Beherrschung des vermehrten Einsatzes von verteilten Energieerzeugungsanlagen in Mittelspannungsnetzen ist aufgrund der bestehenden Netzkonzepte und der existierenden und teilweise bereits installierten Schutzkomponenten möglich.
- In Niederspannungsnetzen ist aufgrund der Impedanzverhältnisse der Spannungshaltung Beachtung zu schenken. Die Einspeisung von Wirkleistung in das Niederspannungsnetz bewirkt einen Anstieg der Spannung. Eine Vielzahl von Einspeisungen führt aufgrund der Produktionscharakteristiken der Anlagen, wie der zeitliche Verlauf, die Leistung und der Anschlusspunkt, zu stärkeren Schwankungen der Spannungen. Die Einhaltung der Toleranzgrenzen EN50160 kann allenfalls ohne Massnahmen nicht gewährleistet werden. Damit die Spannungen in den Toleranzgrenzen gehalten werden können, ist ein entsprechendes Blindleistungsmanagement im Niederspannungsnetz erforderlich.
- Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetze werden in der Mehrzahl über Umrichter an das Netz gekoppelt. Dies kann aufgrund der technischen Konzeption der Umrichter mit Ausgangsfiltern zu Problemen mit Oberschwingungen führen. Insbesondere können Filter- und Netzresonanzen Komponenten überlasten oder zerstören, wenn diese nicht durch geeignete Massnahmen geschützt werden.

Realisierung des Feldversuches

Bild 3 dokumentiert eine mögliche Form, wie verteilte Energieerzeugungsanlagen unterschiedlicher Leistungen bei verschiedenen Verbrauchern in einem Niederspannungsnetz installiert werden könnten. Diese Darstellung ist ein Beispiel und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit betreffend die verwendeten Energieerzeugungsanlagen.

Vorprojekt für die Realisierung der Pilotanlage gestartet

Für das weitere Vorgehen haben sich die derzeitigen Träger des Pilotprojektes, die Energieversorgungsunternehmen AEW Energie AG, BKW Energie AG, Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW), Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz), Wasserwerke Zug AG (WWZ) und das Bundesamt für Energie (BFE) zur Durchführung eines Vorprojektes zur Realisierung der Pilotanlage entschieden.

Mit der Durchführung dieses Vorprojektes sind folgende Zielsetzungen verknüpft:

- die definitive Bestimmung des 400-V-Netzausschnittes für die Realisierung der Pilotanlage, inklusive der Klärung von Haftung bei Schäden bzw. Versorgungsunterbrüchen und die Sensibilisierung der betroffenen Endkunden,
- die Konkretisierung der im Pilotprojekt zu bearbeiteten Schwerpunkte und Aufgabenstellungen wie z.B. Sicherheitsanforderungen, Bedarf an Steuerung, Regelung und Messungen, Auswirkungen auf die Schutzelemente, Gestaltung der technischen Mindestanforderungen für den Betrieb der dezentralen Energieerzeugungsanlagen und die Auslegung des Niederspannungsnetzes aus Sicht der Netzbetreiber,
- die Ermittlung von Projektpartnern aus den Reihen der Energieversorgungsunternehmen, der Anlagenlieferanten, der Primärenergie lieferanten und der technischen Hochschulen sowie die Erstellung von Marketingunterlagen und die Definition von Projektaufträgen,
- die Evaluation der im Pilotprojekt einzusetzenden dezentralen Erzeugungsanlagen, inklusive deren Ausschreibung zur Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten,
- die Erstellung eines Finanzplans und die Beschaffung der erforderlichen

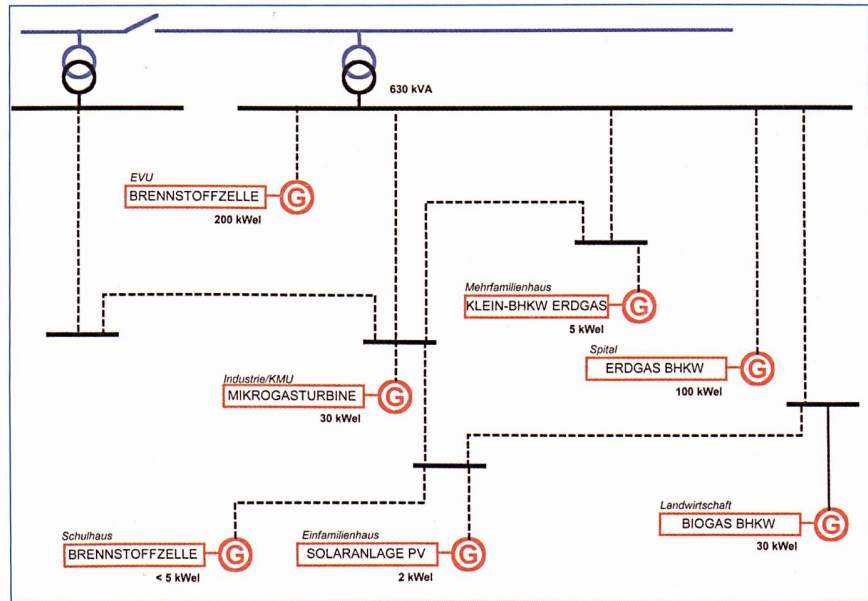


Bild 3 Beispiel einer möglichen Realisierung des geplanten Feldversuchs.

- finanziellen Mittel für die Realisierung, die Installation, den Betrieb und den Rückbau der Pilotanlage,
- die Festlegung der Organisation zur Durchführung des Projektes VEiN.

Das Pilotnetz soll in Rheinfelden aufgebaut werden.

Aktueller Stand Vorprojekt

Aufgrund der Vorarbeiten der Machbarkeitsstudie sowie der Integration der Projektpartner im Vorprojekt wurde ein geeignetes 400-V-Netz bestimmt. Die Kriterien für die Auswahl des Pilotnetzes waren dabei unter anderen

- eine geeignete Kundenstruktur,
- eine bestehende Pikettorganisation,
- einen vorhandenen Gasnetzanschluss,
- die Akzeptanz der Behörden und der Kunden,
- die vorhandene Möglichkeit zur Realisierung eines Inselbetriebs,
- die Möglichkeit eines Demand Side Managements in Absprache mit den Endkunden.

Von den vier 400-V-Netzen, welche auf ihre Eignung überprüft und bewertet wurden, erfüllte das Netz in Rheinfelden die Kriterien am besten. Bild 4 zeigt einen Planausschnitt vom Pilotnetz in Rheinfelden. Zurzeit werden im ausgewählten Versorgungsgebiet der Trafostationsstation Kreuzmatt die möglichen Standorte für dezentrale Energieerzeugung



Bild 4 Netzplanausschnitt der Niederspannungsversorgung ab der Trafostation Kreuzmatt, Rheinfelden.

gungsanlagen evaluiert und erste Gespräche mit Liegenschaftsbesitzern geführt.

Um eine gute Aussagekraft bei den Resultaten zu erhalten, wurde in der Machbarkeitsstudie auch eine Minimal-konfiguration an Anlagen definiert. In der Tabelle 1 sind als Beispiel die Eckdaten der für das Pilotprojekt notwendigen Anlagen festgehalten.

Der weitere Projektverlauf sieht vor, dass ab Mitte 2007 die ersten dezentralen Energieerzeugungsanlagen ausgeschrieben und beschafft werden könnten. Nach Inbetriebsetzung im Frühjahr 2008 ist eine Betriebsdauer von drei Jahren für das Projekt VEiN geplant. Nach Ablauf dieser Betriebsphase besteht für die Liegenschaftsbesitzer die Möglichkeit, die Anlagen zu übernehmen. Andernfalls erfolgt ein Rückbau.

Zum heutigen Zeitpunkt werden die Kosten für die Realisierung des Hauptprojektes zur Hälfte durch die Projektpartner des Vorprojektes finanziert. Die für das Pilotprojekt notwendigen zusätzlichen finanziellen Mittel sollen durch die Suche von weiteren Projektpartnern sichergestellt werden. Vorgesehen ist, dass der Kreis der Projektpartner um weitere Kantonswerke, Stadtwerke, grössere regionale Netzbetreiber, aber auch Anlagenlieferanten und Primärenergielieferanten erweitert werden kann.

Projekt VEiN; die Motivation für Energieversorgungsunternehmen

Welche Motivation besteht nun für die Energieversorgungsunternehmen, ein solches Projekt zu starten? Welche Fragen stehen hier im Raum?

- Aus den gegebenen politischen Rahmenbedingungen eines möglichen, vermehrten Einsatzes dezentraler Einspeisungen stellt sich für die Verteilnetzbetreiber die Frage, was dies für die Planung, den Betrieb und den Unterhalt des Netzes bedeutet. Vor allem sind z.B. die Anschlussbedingungen für dezentrale Energieerzeugungsanlagen unter dem Aspekt einer vermehrten Anzahl zu überprüfen.
- Die Träger von Forschungsprojekten im Bereich von DEA waren bisher meist deren Hersteller und Anlagenlieferanten. Neu sollen auch aus Sicht der Verteilnetzbetreiber jene Erkenntnisse ausgearbeitet werden, welche eine örtliche Konzentration verteilter Einspeisungen in das Niederspannungsnetz verursachen.
- Für die Verteilnetzbetreiber wird vor allem elektrisches Know-how aus dem Projekt gewonnen. Mit den Ergebnis-

Minimalanforderungen an die Infrastruktur für die Durchführung des Projektes VEiN Versorgungsgebiet/400-kVA-Transformator mit rund 300 kW Maximallast

Verteilte Einspeisungen und Lasttypen					
Typ	Anzahl	Nennleistung (kVA)	Summenleistung (kVA)	Primärenergie	Verbraucherart
Klein-BHKW	5	5	25	Erdgas, Flüssiggas	EFH und MFH mit 2 bis 3 Wohneinheiten
BHKW	3	30	90	Erdgas	MFH mit mehr als 3 Wohneinheiten
Biogasanlage	1	50	50	Biogas	Landwirtschaftsbetrieb
Mikrogasturbine	1	100	100	Erdgas	Grösserer Gewerbe- oder kleiner Industriebetrieb
PV-Anlagen	3	10	30	Sonne	MFH, Schule oder Verwaltungsgebäude
Total	13		295		

Tabelle 1 Minimale Anforderungen an die installierte Leistung der Erzeugungsanlagen.

sen des Feldversuchs werden keine ökologischen oder ökonomischen Diskussionen geführt.

- Mit dem Feldversuch wird keine politische Diskussion betreffend Primärenergie geführt, d.h. die Erzeugungsanlagen basieren sowohl auf fossilen wie auch auf nicht fossilen Energieträgern. Die Anlagen werden nicht unter dem Aspekt der Wärme, sondern bezüglich der Stromproduktion und der -einspeisung betrachtet und analysiert.
- Die Zunahme der Erzeugungsanlagen wird aus Sicht der Technik wertneutral beurteilt. Der Feldversuch zeigt die technischen Möglichkeiten und Grenzen auf und schafft für alle Beteiligten die gleichen Bedingungen. Die Netzbetreiber sind auf objektive Kriterien für den Anschluss von verteilten Energieerzeugungsanlagen angewiesen.
- Die kommerziellen Bedingungen für den Einsatz von Erzeugungsanlagen stehen nicht im Vordergrund. Es sind die technischen Grundlagen zu schaffen, damit der Einsatz einer vermehrten Anzahl von dezentralen Anlagen möglich wird.
- Die elektrischen Phänomene haben im Feldversuch Vorrang. Im Feldversuch sind nicht sämtliche Eigenschaften «unter einen Hut» zu bringen, sondern die Herausforderungen der Verteilnetzbetreiber sind in den Vordergrund zu stellen. Abzuklären ist, welche Vorkkehrungen von diesen zu treffen sind für den vermehrten Einsatz von dezentralen Energieerzeugungsanlagen.

Aus den Umfragen mit Vertretern der Elektrizitätswirtschaft ergeben sich folgende Kernaussagen für die Notwendigkeit der Durchführung eines solchen Feldversuches:

- Die Verteilnetzbetreiber sind im Kerngeschäft gefordert.
- Der Ausbau und der Betrieb der Verteilnetze wird nachhaltig beeinflusst werden. Die zu erwartenden Veränderungen sind abzuleiten.
- Die Betriebsführung ist im Normalbetrieb und besonders im Störfall betroffen. Die Beeinflussung des Netzbetriebs ist soweit möglich abzuleiten.
- Die Lieferqualität (Versorgungssicherheit und Spannungsqualität nach EN 50160) beim Kunden darf nicht beeinträchtigt werden.

Die Träger des Projekts VEiN sind überzeugt, damit einen wichtigen Beitrag an ein sehr aktuelles aber auch zukunfts-trächtiges Thema zu leisten.

Referenzen

- [1] Dr. G. Schnyder, P. Mauchle, Prof. M. Höckel, P. Lüchinger, Dr. O. Fritz, Ch. Häderli, E. Jaggy: Zunahme der dezentralen Erzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen. Schlussbericht BFE-Forschungsprogramm Elektrizität 2003, www.electricity-research.ch
- [2] Dr. G. Schnyder: Dezentrale Erzeugungsanlagen in Niederspannungsnetzen (Machbarkeitsstudie). Schlussbericht BFE-Forschungsprogramm Elektrizität, Mai 2005, www.electricity-research.ch

Adresse der Autoren

René Soland
Leiter Regional-Center Turgi
AEW Energie AG, 5001 Aarau
rene.soland@aew.ch

Peter Bomatter
Vertriebsingenieur
VA TECH SAT AG, 6010 Kriens
peter.bomatter@vatech-hydro.ch

Die Autoren sind Absolventen des Executive MBA an der Hochschule für Wirtschaft Luzern (MWS HSW Luzern)

Energiedaten erfassen, aufbereiten, bereitstellen, liefern...

Für die Energieverrechnung benötigen Sie zuverlässige Daten.

Wir bieten die umfassende Lösung – von der mobilen
Zählerdaten-Erfassung, dem Zählerfernauslese-System über
das Energiedaten-Management bis zur Internet-Visualisierung.

MOBILE ZÄHLERDATEN-ERFASSUNG
ZÄHLERFERNAUSLESUNG
ENERGIEDATEN-MANAGEMENT

Optimatik AG
Gewerbezentrum Strahlholz
CH-9056 Gais
T +41 71 791 91 00
F +41 71 791 91 10
info@optimatik.ch

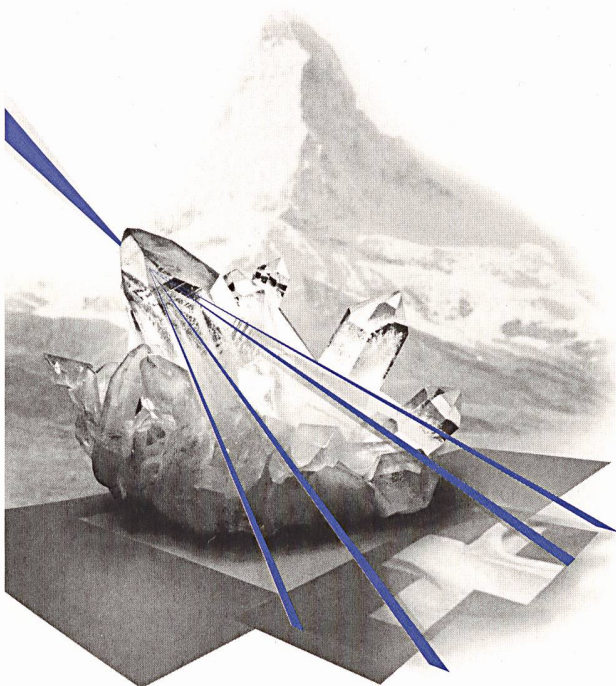
www.optimatik.ch

ESL-EVU®

Professionelles Asset Management
für kleine und mittlere Energieversorgungsunternehmen mit

ESL-EVU

- Schweizerische Software-Lösung für die Energiebranche
- Berechnung der Netzentgelte
- Netzbewertung und Ermittlung der Kapitalkosten
- Kostenwälzung gemäss Branchenempfehlung
- Planung und Instandhaltung der Anlagen
- Schnittstellen zu bestehenden GIS- und Fibu-Systemen
- Installation Software in eigener Unternehmung oder beim Rechenzentrumspartner von Encontrol



Encontrol GmbH
Bremgartenstrasse 2
CH-5443 Niederrohrdorf
Tel. +41 56 485 90 44
Fax +41 56 485 90 45
E-Mail info@encontrol.ch
www.encontrol.ch