



Sonderdruck

## Greenfield-Planung eines Versorgungsnetzes

Sonderdruck aus  
«ew», Heft 8/2005, Seite 76 bis 81

Autoren:  
Theodor Connor, Siemens AG  
Edmond Petrossian, Siemens AG  
Eberhard Oehler,  
Städtwerke Ettlingen  
Sven Scherer, Städtwerke Ettlingen

**SIEMENS**

Erfahrungen aus einer kreativen Netzplanung

# Greenfield-Planung eines Versorgungsnetzes

**B**ei den Stadtwerken Ettlingen fiel bereits im Jahr 1994, lange vor der Liberalisierung des Strommarktes, die Entscheidung über eine umfassende Neugestaltung der 20-kV-Stromversorgung.

Das 20-kV-Netz war gekennzeichnet durch zahlreiche Schaltanlagen und Querverbindungen. Unmittelbar zuvor durchgeführte, umfangreiche Netzberechnungen hatten ergeben, dass das bestehende Netz grundsätzlich seine Versorgungsaufgabe erfüllen kann. Um aber diesen Zustand auch weiterhin zu erhalten, waren mehrere Schaltanlagen aus Altersgründen zu erneuern, zu erweitern und neue Kabel zu verlegen. Für diese Maßnahmen zum Erhalt des bestehenden Versorgungskonzeptes wurde ein nicht unerheblicher Bedarf an Investitionsmitteln angesetzt. Demgegenüber war eine Verringerung der Versorgungszuverlässigkeit zu erwarten, wenn diese Maßnahmen nicht durchgeführt werden würden.

Vor diesem Hintergrund wurde die Frage nach alternativen Lösungen gestellt. Experten der Siemens AG machten den Vorschlag, Anlagen nicht 1:1 zu ersetzen und das vorhandene Konzept fortzuschreiben, sondern eine Neuplanung des Versorgungsnetzes durchzuführen. Es wurde beschlossen, als neuen Planungsansatz die Methode der Greenfield-Planung zu verwenden.

Dipl.-Ing. *Edmond Petrossian*, Senior Consultant, Netzplanung, Dipl.-Ing. *Theodor Connor*, Abteilungsleiter, Netzplanung, Siemens AG, Erlangen, Dipl.-Ing. *Eberhard Oehler*, Geschäftsführer, und *Sven Scherer*, E-Netzbetrieb, Stadtwerke Ettlingen.

## Greenfield-Planung

Mit Greenfield-Planung wird eine Planung bezeichnet, die nur wenige, aber wesentliche Eckpunkte des bestehenden Versorgungssystems berücksichtigt, z. B. einspeisende Umspannwerke, vorhandene und geplante Netzstationen als gegebene Belastungspunkte sowie die vorhandene und zukünftige Bebauung. Die Netzstruktur und die Kabelführung werden zunächst nach optimalen Gesichtspunkten vollkommen neu geplant, so als wäre es ein Neuanfang auf der grünen Wiese (Greenfield). Anschließend werden die Ausbaumaßnahmen zur mittelfristigen Realisierung des ausgearbeiteten Konzeptes detaillierter geplant.

Die bei der Greenfield-Planung 1994 für die Stadtwerke Ettlingen gewonnenen Erfahrungen, die erzielten erheblichen Einsparpotenziale bei der kompletten Neugestaltung der Versorgung, die Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit, die guten Betriebserfahrungen nach der Umsetzung der Planung und die hohe Motivation der Mitarbeiter veranlassten die Verfasser, eine Beschreibung der Planung vorzustellen.

## Greenfield beginnt mit einer klaren Aufgabenstellung

Die Wünsche und Vorgaben der Stadtwerke Ettlingen hinsichtlich einer wirtschaftlichen modernen Versorgung wurden gemeinsam mit der Netzplanungsabteilung der Siemens AG zur konkreten Aufgabenstellung ausgearbeitet.

Zunächst wurde Ziel und Umfang der Planung festgelegt:

- Planung eines optimalen 20-kV-Netzes unter Beibehaltung der beiden 110/20-kV-Einspeisungen und der bestehenden und geplanten

Netzstationen auf Basis der Greenfield-Methode;

- Untersuchung, welche der bestehenden Schaltanlagen und der vorhandenen Kabel für die Realisierung des Zielnetzes weiterverwendet werden können, um das vorhandene Netz möglichst nah an die optimale Struktur zu führen;
- Überprüfung der verwendeten Art der Sternpunktbehandlung;
- Optimierung der Niederspannungsnetze in zwei Versorgungsbereichen.

Bei allen Planungsaufgaben waren mehrere Randbedingungen zu berücksichtigen:

- technische Realisierbarkeit,
- Wirtschaftlichkeit,
- Versorgungszuverlässigkeit,
- einfache und übersichtliche Betriebsführung,
- Weiterverwendung der vorhandenen Betriebsmittel entsprechend Lebensdauer und Zustand.

Außerdem war zu beachten:

- Die notwendigen Ausbaumaßnahmen sollten den laufenden Betrieb möglichst wenig stören.
- Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile waren nachzuweisen und die Planungsergebnisse durch Netzberechnungen zu verifizieren.
- Nach der Durchführung der Netzplanung sollte auf Wunsch der Stadtwerke für die Realisierungsphase und danach eine enge Betreuung durch die Netzplanungsabteilung gegeben sein.

## Planungsteam

Die Mitarbeiter der Stadtwerke wurden von Anfang an in die Planung mit einbezogen, um:

- die wertvolle lokale Erfahrung der Stadtwerke zu nutzen,
- eigene Planungsvorschläge der Stadtwerke bei der Netzgestaltung einzubringen,
- die Identifizierung der Mitarbeiter mit dem neuen Konzept zu erleichtern und
- eine hohe Motivation bei der Umsetzung der Planung und beim Netzbetrieb zu erreichen.

Durch diese Maßnahme wurden die Erfahrung und die kritische Analyse der Netzplanung mit Wünschen des Betriebes und örtlichen Randbedingungen verknüpft. Darüber hinaus war in der Umsetzungsphase ein schneller Kontakt zur Klärung von Detailfragen möglich.



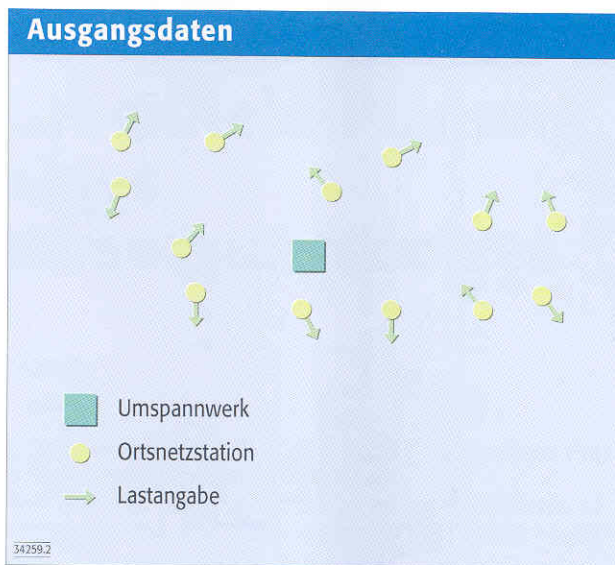


Bild 2. Ausgangsdaten für eine Greenfield-Planung

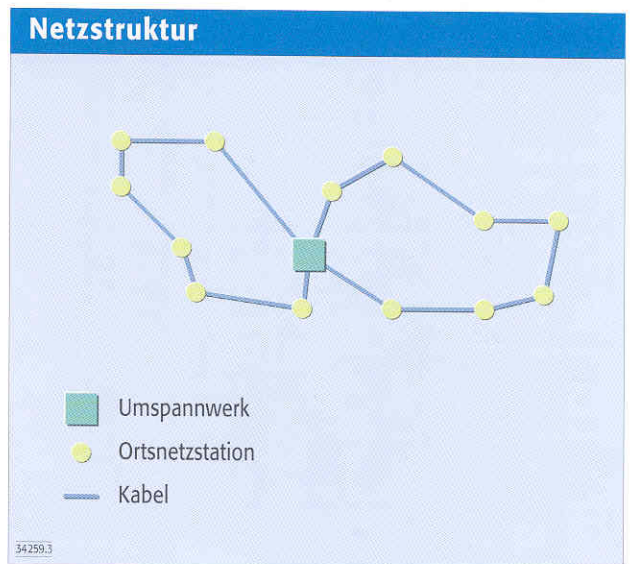


Bild 3. Netzstruktur mit Standardnetzform

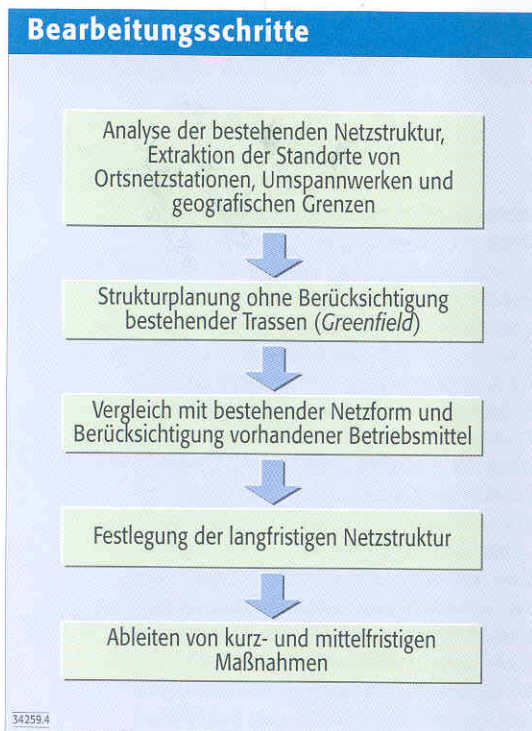


Bild 4. Bearbeitungsschritte einer Greenfield-Planung

Tafel 1		
	20-kV-Netz	
	1994	neu
	Anzahl	Anzahl
Schaltanlagen	9	3
Schaltfelder	117	45

Tafel 1. Vergleich der Anzahl der Schaltanlagen und Schaltfelder

lage mit Einfachsammlerschienen und Längstrennung wird als gemeinsame Gegenstation für die Kabelstränge vom einspeisenden Umspannwerk genutzt.

- Von den beiden einspeisenden Umspannwerken führen je vier Kabelstränge als Verteilungskabel sowie jeweils zwei bereits vorhandene Speisekabel zum Schalhaus Mitte.

- Die Speisekabel speisen jeweils einen, dem entsprechenden Umspannwerk zugeordneten Sammelschienenabschnitt des Schalhauses Mitte. Die Verteilungskabel zwischen UW Spinnerei bzw. UW Hagbruch und dem jeweils zugeordneten Sammelschienenabschnitt des Schalhauses Mitte werden in der Mitte des Stranges offen betrieben. Dadurch wird im Fehlerfall die Anzahl der betroffenen Stationen reduziert und eine schnelle Fehlerorterkennung erreicht.

- Über die bestehenden Speisekabel kann im Fehlerfall auch gegenseitige Reserve der Umspannwerke gegeben werden.

- Im Bereich UW Hagbruch ergaben sich außerdem aufgrund der Bebauungs- und Abnehmerstruktur zwei Kabelringe als Verteilungskabel mit Netz- und Abnehmerstationen, die offen betrieben werden.

- Die neue Netzkonfiguration konnte weitgehend ohne wesentliche Neuverlegungen durch entsprechendes Ummuffen von bestehenden Kabeln verwirklicht werden, wobei auch schwache 20-kV-Kabel ersetzt bzw. eliminiert werden konnten.

- Der Bau einer geplanten Schaltanlage mit neun Feldern konnte während der Netzplanung rechtzeitig gestoppt werden, weil diese im neuen Konzept nicht mehr erforderlich war.

- Die vorgesehene Verlegung eines Doppelkabels als direkte Reserveverbindung und Speisekabel zwischen den Umspannwerken (2 x 400 Al, rd. 5 km durch die Stadt) wurde überflüssig und wurde deshalb nicht ausgeführt, was erhebliche Einsparungen brachte.

- Mehrere vorhandene Schaltanlagen wurden entweder als normale Netzstationen weiterbetrieben oder konnten komplett aufgegeben und die Grundstücke verkauft werden. Die Änderungen der Anzahl der Schaltanlagen und Schaltfelder sind in *Tafel 1* zusammengestellt.

Dieser Planungsvorschlag wurde eingehend mit den Stadtwerken diskutiert, die Realisierbarkeit bestätigt und durch entsprechende Netzberechnungen verifiziert.

*Bild 6* zeigt den Prinzipschaltplan des neukonzipierten Netzes. Der Vergleich mit *Bild 1* zeigt die erhebliche Vereinfachung und große Übersichtlichkeit der Netzstruktur.

Damit ergibt sich eine schnelle und eindeutige Fehlererkennung als Grundlage für eine unverzügliche Freischaltung der fehlerbehafteten Strecke bzw. Station. Durch das für dieses Netz einfache Schutzkonzept, die Möglichkeiten der Netzautomatisierung und die Einführung der niederohmigen Sternpunktterdung werden weitere Rationalisierungspotenziale erschlossen.

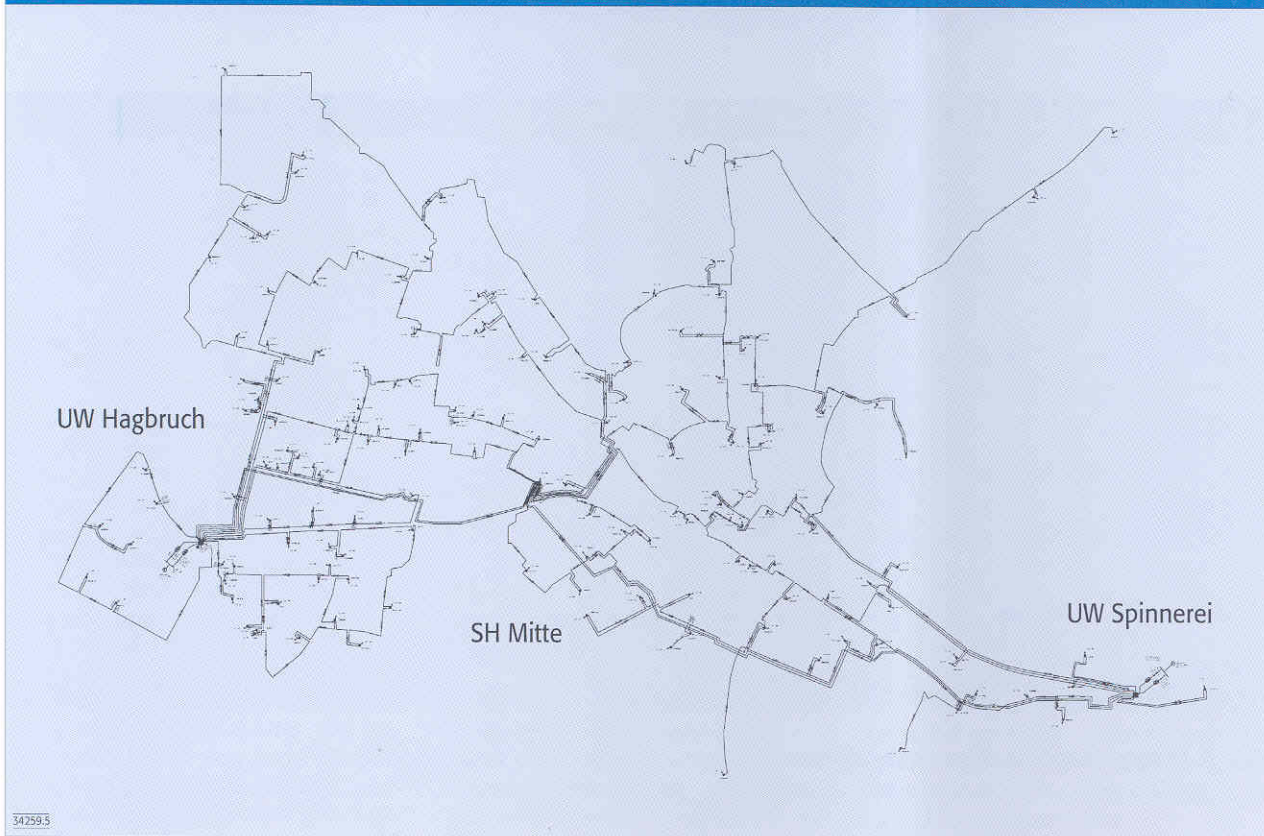


Bild 5. Zielnetz in geographischer Darstellung

Die ermittelten Gesamtkosten betragen 1,0 Mio. €. Die Deckung dieses Betrages wurde zu 45 % durch Einnahmen aus dem Verkauf von Schaltanlagengelände und zu 55 % aus direkten Investitionen (Bild 7) vorgenommen

### Leitwarte

Ab 1995 wurde die neue Leitwarte aufgebaut. Für das alte 20-kV-Netz mit 117 Leistungsschalterfeldern wäre die Ausführung aufwändig und wegen der vielen Umschaltmöglichkeiten kompliziert ausgefallen. Die neue Netzkonzeption ermöglichte dagegen eine sehr einfache und übersichtliche Gestaltung.

Dadurch bietet sich die Möglichkeit, den aktuellen Netzzustand auch im Störfall in der Netzleitstelle darzustellen und den kompletten Ablauf bis hin zur Freischaltung des fehlerbehafteten Abschnittes und Wiedereinschaltung zu automatisieren.

### Versorgungszuverlässigkeit

Die Greenfield-Planung und der dafür erstellte Datensatz verschaffte den Stadtwerken auch die Grundlage für Berechnungen der Versorgungszuverlässigkeit, bei der für die

einzelnen Abnehmer der Erwartungswert der Unterbrechungshäufigkeit, der Unterbrechungsdauer und der Nichtverfügbarkeit ermittelt wird. Auf dieser Basis kann wiederum eine Optimierung der Wartungsstrategie stattfinden.

Für das Ausgangsnetz und den Vorschlag aus der Greenfield-Planung wurde eine Beurteilung der Netzzuverlässigkeit durchgeführt. Dabei ergab sich, dass trotz der zahlreichen Umschaltmöglichkeiten das Ausgangsnetz geringere Zuverlässigkeit bietet, da im Fehlerfall nicht immer eine klare Zuordnung bzw. Priorität der Umschaltung gegeben ist.

Bei dem neuen Netzkonzept ist dagegen die Nichtverfügbarkeit geringer, da eine eindeutige Zuordnung der Stationen zu den Kabelringen bzw. -strängen gegeben ist und Umschaltmaßnahmen klar festgelegt sind.

Eine Variation der Planungsparameter und Diskussionen mit den Stadtwerken zeigten, dass ein »Ab-specken« des Entwurfes z. B. mit weniger Schaltfeldern und mehr Netzstationen auf den Verteilungskabeln eine erhebliche Verschlechterung der Versorgungszuverlässigkeit bewirken würde. Desgleichen würde ein Mehraufwand in Form von zusätzlichen Schaltanlagen kei-

ne signifikante Verringerung der Nichtverfügbarkeit bewirken.

### Einsparpotenziale im Niederspannungsnetz

Da bei der Energieversorgung hohe Investitionssummen auch in die Niederspannungsnetze fließen, wurden exemplarisch zwei 0,4-kV-Versorgungsbereiche mit je rd. zehn Netzstationen auf mögliche Einsparpotenziale hin untersucht. Dabei wurde besonders darauf geachtet, wie weit der Ausbau von großen Baukomplexen mit eigener Abnehmerstation Veränderungen im 0,4-kV-Netz verursachen und eine Neuorientierung des Niederspannungsnetzes notwendig machen.

Hierfür wurden grundsätzliche Planungskriterien, z. B.

- Netzstationen im Lastschwerpunkt,
  - Versorgungsradius einer Station (je nach Lastdichte bis rd. 300 m) und
  - geeigneter Standort für Kabelverteilerschränke
- zur Beurteilung der vorhandenen Netze herangezogen. In den betrachteten Netzen konnten Einsparpotenziale durch Reduktion der Anzahl der Stationen und Kabelverteilerschränke beispielsweise infolge abgewanderter Last erzielt

## Prinzipschaltplan

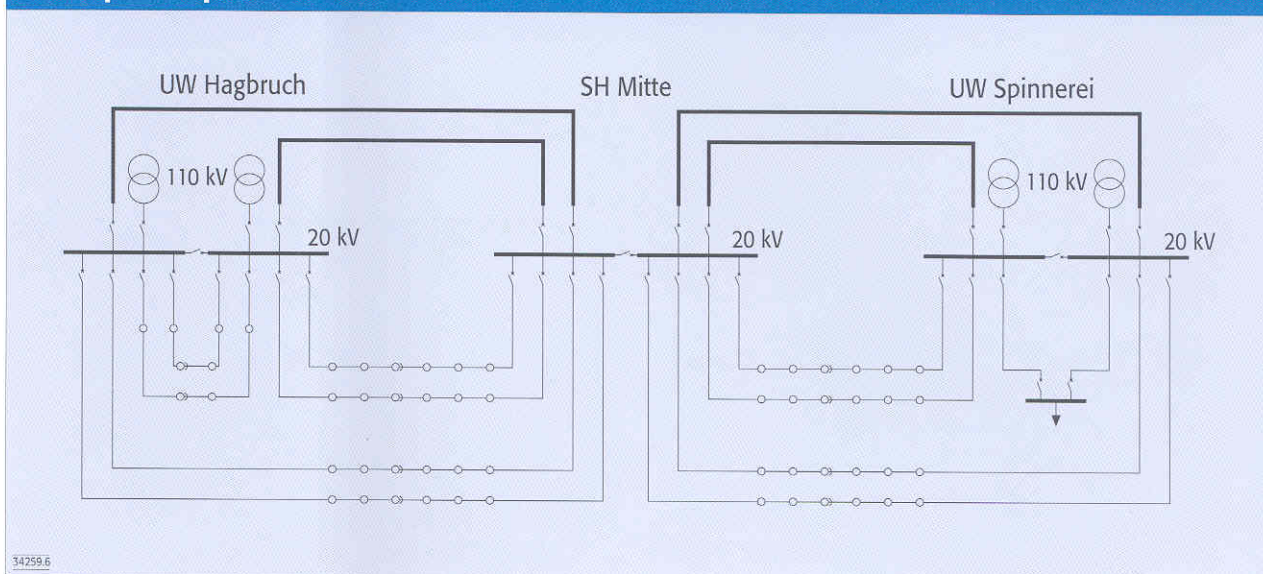


Bild 6. Prinzipschaltplan des neu konzipierten Netzes

werden. Die Netzverluste konnten durch den Einsatz neuer Stationen in Lastschwerpunkten minimiert werden.

### Neugestaltung der Sternpunktbehandlung

Das 20-kV-Netz wurde mit Erdschlusskompensation betrieben. Die praktische Erfahrung hatte ge-

zeigt, dass der Erdschluss im Kabelnetz in einen Kurzschluss übergeht, bevor eine Lokalisation und Abschaltung ohne Versorgungsunterbrechung gelingt. Darüber hinaus war die vorhandene Pulsortungseinrichtung erneuerungsbedürftig.

Die Erdschlusskompensation wurde ursprünglich für Freileitungen eingesetzt, um frei brennende

Lichtbögen, z. B. bei einem Isolatorüberschlag, ohne nachteilige Auswirkungen für den Betrieb zu beherrschen. Hierbei wurde auf die Selbstheilungseigenschaften des Isolators Luft gesetzt. In Kabelnetzen ist ein Erdschluss immer mit einem bleibenden Isolationsschaden verbunden. Ein Verlöschen des Erdschlusses, wie es bei genauer Einstellung der Kompensation möglich ist, stellt damit nur eine vermeintliche Selbstheilung dar. Tatsächlich bleibt eine Schwachstelle zurück, die Ursache späterer Mehrfacherd-kurzschlüsse und damit schwerer Netzstörungen sein kann.

Der Betrieb mit Erdschlusskompensation hatte den Vorteil, dass bei Erdschlüssen im Kabelnetz grundsätzlich der Netzbetrieb weitergeführt werden konnte, ohne dass sofort Nachteile zu erwarten waren. Die praktische Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass zur Lokalisierung von Netzfehlern Suchschaltungen erforderlich waren. Dabei kam es häufiger zu mehreren Abschaltungen, deren Berechtigungen von den betroffenen Kunden in Frage gestellt wurden. Praktisch war der Einsatz von erfahrenem Betriebspersonal erforderlich, was sich besonders außerhalb der regulären Arbeitszeit, im Bereitschafts- und Entstörungsdienst, sehr nachteilig und belastend für den diensthabenden Meister auswirkte.

Eine Untersuchung mit praktischen Messungen im Netz (Bild 8)

## Vergleich

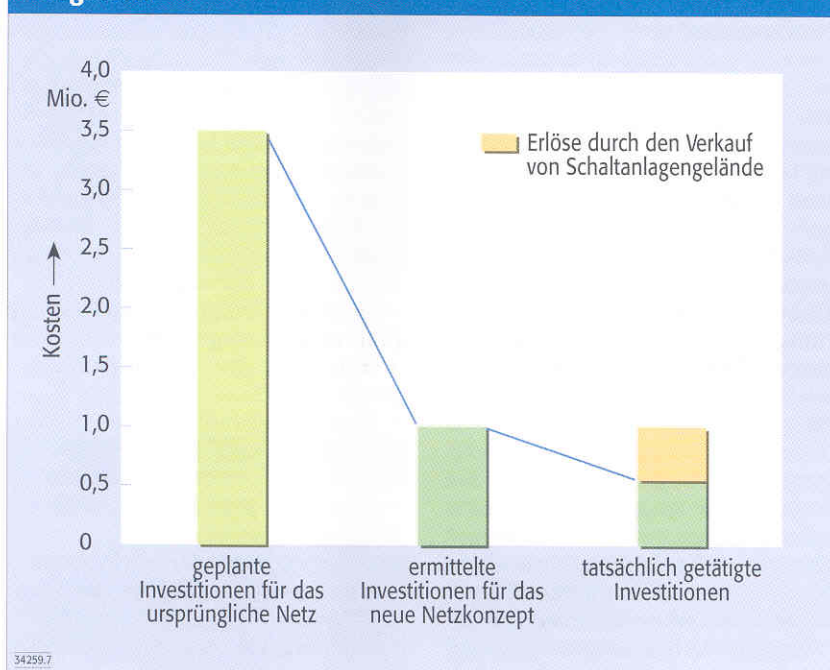


Bild 7. Vergleich von Investitionskosten

## Messschaltung

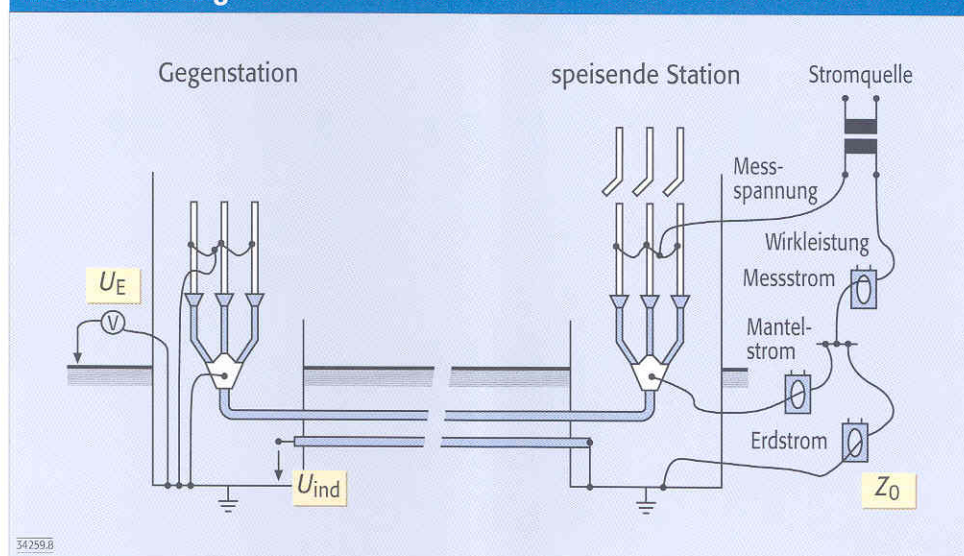


Bild 8. Messschaltung zur Ermittlung von Kennwerten für die Untersuchung zur Sternpunktbehandlung

zur Ermittlung von Kabelnullimpedanzen, Erdungsverhältnissen und Beeinflussungsspannungen ergab, dass alle Voraussetzungen zur Einführung einer niederohmigen Sternpunktterdung mit Begrenzung des maximalen Erdkurzschlussstroms auf 2 kA erfüllt sind. Nach eingehender Abwägung der Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Arten der Sternpunktbehandlung haben sich die Experten der Stadtwerke Ettlingen für die umgehende Einführung der niederohmigen Sternpunktterdung entschieden.

Mit dem Betrieb der niederohmigen Sternpunktterdung wird die Lokalisierung von Netzfehlern deutlich vereinfacht. Jeder auftretende Kabelfehler wird eindeutig und ohne weitere personelle Unterstützung selektiv abgeschaltet. Die Lokalisation kann von jeder Bereitschaftsgruppe durchgeführt werden, die den betroffenen Leitungsabschnitt anhand von Kurzschlussanzeigern identifiziert, die Freischaltung im spannungsfreiem Zustand ausführt und sich um die Wiederversorgung in kürzester Zeit kümmert.

### Realisierung und Erfahrungen

Die Greenfield-Planung wurde innerhalb von drei Monaten durchgeführt. Bereits während der Netzplanung wurden alle vorgesehenen Netzmaßnahmen für das alte Netzkonzept gestoppt.

Start und zeitlicher Rahmen der Realisierungsmaßnahmen:

- Die Veränderungen im Kabelnetz (Ummuffen bzw. Durchmuffen von Kabel zur Eliminierung von Schaltanlagen usw.) entsprechend der neuen Netzkonzeption begannen 1994 und endeten 2002;
- Eliminierung von sechs 20-kV-Schaltanlagen in der Zeit von 1994 bis 2000;
- Errichtung der neuen 20-kV-Schaltanlage im Schalthaus Mitte im Jahr 1997;
- Realisierung der Leitwarte von 1995 bis 1997;
- Erneuerung der 20-kV-Schaltanlage im UW Hagbruch im Jahr 2002;
- Neugestaltung der Sternpunktbehandlung im Versorgungsbereich des UW Hagbruch und im Versorgungsbereich des UW Spinnerei im Jahr 2003;
- Erneuerung der 20-kV-Schaltanlage im UW Spinnerei im Jahr 2004.

Die enge Zusammenarbeit der Stadtwerke Ettlingen mit der Siemens AG bei der Planung der Umsetzungsmaßnahmen ermöglichte eine einfache und problemlose Realisierung.

Bereits in der Realisierungsphase zeigte sich eine Beruhigung des Netzbetriebes. Während für das 20-kV-Netz vor 1994 bei Netzstörungen sechs Mitarbeiter erforderlich waren, reduzierte sich diese Zahl nach der Realisierung auf zwei Mitarbeiter.

Die Anzahl der Netzfehler mit erheblichen Auswirkungen ist von drei je Jahr auf null zurückgegangen.

Im neuen Netz kann jeder Fehler innerhalb von 30 min beseitigt werden.

Die Wartungs-, Überwachungs- und Instandhaltungskosten wurden auf die Hälfte reduziert.

### Fazit

Netzberechnungen für bestehende Verteilungsnetze können zwar die betriebliche Sicherheit bestätigen. Planungen im Sinne von kreativer Netzarchitektur, die den bestehenden Zustand auch infrage stellen, führen zu neuen und wirtschaftlicheren Lösungen.

Die Ergebnisse der vorgestellten Planung sind nicht allgemein übertragbar. Sie können aber als Anregung dienen, den jeweils vorgesehenen Netzausbau hinsichtlich möglicher Alternativen zu untersuchen und beispielsweise auf der Basis einer Greenfield-Planung ein Optimum zu entwickeln. Dabei dürfen unkonventionelle Lösun-

gen, die das bestehende Netzsystem infrage stellen, kein Tabuthema sein. Dies gilt nicht nur für große sondern auch für kleine Netze, z. B. von Gemeindewerken.

Die Greenfield-Planung zeigte, dass EVU bzw. Stadtwerke über viele Einflussmöglichkeiten verfügen, um Kosten und Qualität der Netze zu bestimmen. Nachhaltige mittel- und langfristige Kostenreduzierungen lassen sich nur durch Strukturveränderungen im Netz erreichen, die in Einzelschritten das bestehende Netz in die Richtung des angestrebten aus der Greenfield-Planung entwickelten Zielnetzes realisieren.

Um kurzfristig die Netzkosten zu mindern, wird heute geplant, die Nutzungsdauer der vorhandenen Betriebsmittel und Anlagen zu verlängern, was u. U. höhere Ausfallwahrscheinlichkeit der länger genutzten Betriebsmittel zur Folge hat. Eine Greenfield-Planung kann zu Lösungen führen, die den Abbau solcher Anlagen ermöglichen, ohne die Versorgungszuverlässigkeit zu beeinträchtigen. Darüber hinaus sind durch vereinfachten Betrieb und reduzierten Instandhaltungsaufwand weitere Kostensenkungen des Netzbetriebs zu erwarten.

(34259)

[theodor.connor@siemens.com](mailto:theodor.connor@siemens.com)

[eberhard.oehler@sw-ettlingen.de](mailto:eberhard.oehler@sw-ettlingen.de)

[www.siemens.de](http://www.siemens.de)

[www.sw-ettlingen.de](http://www.sw-ettlingen.de)

**Fragen zur Energieübertragung und -verteilung:  
Unser Customer Support Center erreichen Sie  
rund um die Uhr**

Tel.: +49 180 / 524 7000 (gebührenpflichtig  
z.B. 12 C/Min)

Fax: +49 180 / 524 2471

E-Mail: [ptd.support@siemens.com](mailto:ptd.support@siemens.com)

[www.siemens.com/ptd-support](http://www.siemens.com/ptd-support)

Siemens AG  
Power Transmission  
and Distribution  
Services Division  
Postfach 4806  
90026 Nürnberg  
Deutschland

[www.siemens.de/ptd](http://www.siemens.de/ptd)

Die Informationen in diesem Dokument  
enthalten allgemeine Beschreibungen der  
technischen Möglichkeiten, welche im  
Einzelfall nicht immer vorliegen müssen.  
Die gewünschten Leistungsmerkmale sind  
daher im Einzelfall bei Vertragsabschluss  
festzulegen.

Anderungen vorbehalten

Bestell-Nr. E50001-U610-A42  
Printed in Germany  
Dispo-Stelle 19210  
SD0605.1