

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 97 (2006)
Heft: 20

Artikel: Das "Quasi-Unterwerk"
Autor: Henn, Nils
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857734>

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: 14.05.2025

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

Das «Quasi-Unterwerk»

Was ist zu tun, wenn an einem peripheren Standort die Spannungshaltungsqualität eines Unterwerkes gefordert wird, die Kosten dafür aber in keinem Verhältnis zum kommerziellen Nutzen stehen? Die EBL war Mitte 2002 mit dieser Frage konfrontiert und hat eine innovative, kostengünstige Antwort erarbeitet: Spannungsstützung im Mittelspannungsnetz mit lastabhängiger Kompensation des induktiven Spannungsabfalles der Zubringer-Freileitungen. Damit steht abseits der bestehenden Unterwerke ein Knotenpunkt zur Verfügung, redundant von zwei Unterwerken versorgt mit jederzeit 100% Spannung – ein «Quasi-Unterwerk» also. Dieser Artikel schildert, wie es dazu kam und welche speziellen Hürden zu nehmen waren, bis die Anlage vor wenigen Monaten in den definitiven, vollautomatischen Betrieb gehen konnte.

■ Nils Henn

Ausgangslage

Das Mittelspannungsnetz der EBL wird mit 13,6 kV betrieben, versorgt aus sieben Unterwerken, sechs davon stehen in den bevölkerungsreichen Gemeinden Pratteln, Füllinsdorf, Liestal, Lausen, Sissach und Ormingen im Ergolzthal, nur eines liegt im Waldenburgerthal in Oberdorf. Der ganze südöstliche, mehrheitlich ländlich geprägte Teil des Versorgungsgebietes wird über lange offene Ringe vom Ergolzthal aus bedient. Die Leitungen sind grösstenteils Freileitungen mit üblicherweise bis zu 95 mm² Kupferseilen. Diese Querschnitte genügen für eine gute Spannungshaltung in allen **normalen Betriebszuständen** bis weit über die nächsten 15 Jahre hinaus.

Weiter ist die EBL seit 1979 daran, in einem weitsichtigen Programm ihr Mittelspannungsnetz auf 21 kV aufzurüsten. Bis im Jahre 2025 werden sämtliche Mittelspannungsbetriebsmittel von den Kabeln über die Schaltapparate bis zu den Transformatoren, diese umschaltbar, umgerüstet sein. Mit der Umschaltung der Netze auf die höhere Spannung erhalten

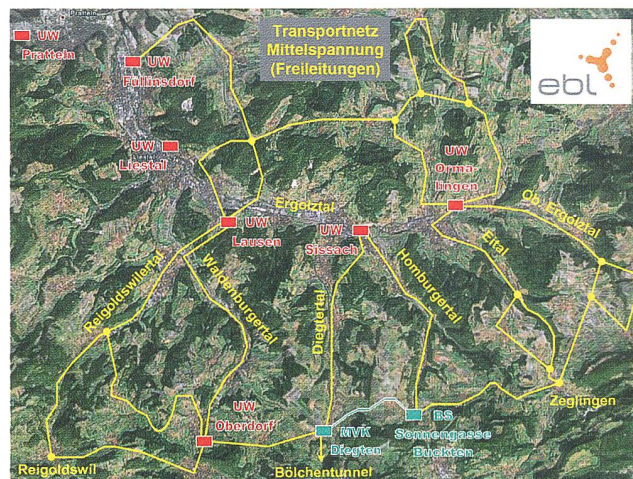
alle Leitungen unmittelbar 50% zusätzliche Reserven.

In gewissen **Ausnahmesituationen** genügt das aber nicht: Ereignet sich nämlich in einem der langen Ringe ein Leitungsausfall nahe beim Unterwerk in einer Zeit mit hoher Last, so kann der einseitig versorgte Betrieb des geschlos-

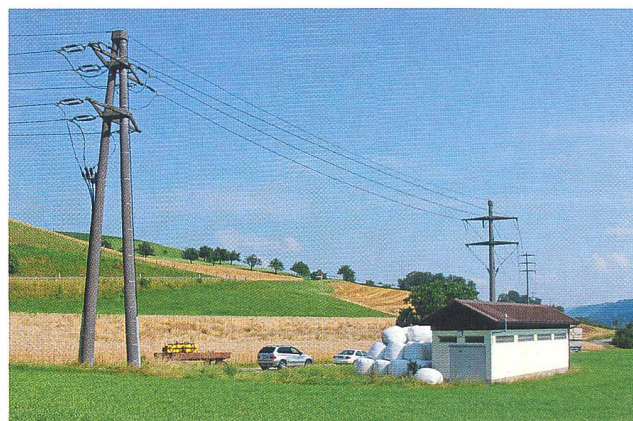
senen Ringes bezüglich Spannungshaltung kritisch werden. Mit umfangreichen Entlastungsmassnahmen wird der Betrieb aufrechterhalten, doch Zeitverlust und Schaltungsaufwand sind gross. Auch für planmässige Abschaltungen müssen die Lastspitzen gemieden werden, was die Komplexität und den Aufwand der Planung erhöht. Diese Situation ist nicht neu und wurde auch von unseren Planungsvorfahren erkannt. In Diegten kurz vor dem Böldchentunnel steht seit 35 Jahren ein Mittelspannungsverteilknoten (MVK Diegten) auf einer grossen EBL-Parzelle, und die 50-kV-Hochspannungsleitung von Ormlingen nach Oberdorf überquert das Gebäude. Beste Voraussetzungen für ein Unterwerk also, doch es kam nie dazu:

- Die Lasten entwickelten sich längst nicht so stürmisch wie damals vorausgesehen.
- Die benötigten Leistungen lassen sich über die parallel auf der Hochspannungsfreileitung verlegten Mittelspannungsbündel (300 mm² Al) sowohl von Oberdorf wie auch von Sissach her problemlos nach Diegten übertragen.

Transportnetz Mittelspannung (Freileitungen) der EBL.



Mittelspannungsverteilknoten Diegten direkt unter der 50-kV-Freileitung.



Adresse des Autors

Nils Henn, Dipl. El. Ing. ETH
Abteilungsleiter, Planung Netze und Anlagen NP
Elektra Baselland (EBL)
Mühlemattstrasse 6
4410 Liestal

mailto:nils.henn@ebl.bl.ch
http://www.ebl.ch



Montage der Kompensationsanlage.

Damit ist die Wirtschaftlichkeit eines neuen Unterwerks nicht gegeben (nach Umstellung auf 21 kV erst recht nicht mehr), und alle Ausbaufantasien scheiterten an den Kosten.

Der **aktuelle Anlass** für die Suche nach einer Verbesserung tauchte Mitte 2002 auf: Die dritte Röhre des Bölchentunnels wurde opportun und damit verbunden eine Leistungssteigerung von 3 MW auf rund 5 MW. Das Knifflige an der Sache war, dass diese Leistung nur im extrem seltenen Fall eines Brandes im Tunnel und gleichzeitigem Ausfall der Speisung von der Südseite her benötigt würde, aber dennoch voll nachweisbar jederzeit möglich sein muss. Somit war das Projekt geboren.

Zielsetzung

Die Zielsetzung lautete wie folgt: In Diegten oder noch besser etwas weiter östlich in Buckten brauchen wir eine Anlage, die an ihren Abgangsklemmen die gewohnten Qualitäten eines Unterwerks bietet, jedoch nur maximal 10 MW Leistung bringen muss und wegen schwacher Auslastung fast nichts kosten darf – wir nannten es das «Quasi-Unterwerk».

Im bewährten **Netzplanungsteam** der EBL, das unter der Leitung des Netzaus-

legungs- und Netzschutzingenieurs interdisziplinär aus einem Projektleiter Netzbau, einem Operateur der Netzleitstelle sowie dem Leiter Betrieb und dem Leiter Planung zusammengesetzt ist, wurde mit Unterstützung durch das Netzberechnungssystem NEPLAN über ein Jahr lang in regelmässigen Workshops systematisch an der idealen Lösung gearbeitet. Und so lag Mitte 2003 tatsächlich ein innovatives, kurzfristig realisierbares und kostengünstiges Konzept vor.

Konzept

Für die optimale Spannungshaltung in Buckten und im Bölchentunnel erweitern wir den MVK Diegten zum «Quasi-Unterwerk» mit einer mehrstufigen **Mittelspannungs-Blindstromkompensationsanlage** zur Aufhebung des induktiven Spannungsabfalles auf den Zubringerfreileitungen von Oberdorf oder Sissach.

Die redundante Einspeisung mit Umschaltautomatik von zwei Unterwerken sorgt für beste Verfügbarkeit.

Damit diese Qualitäten auch weiter östlich zum Tragen kommen, bauen wir für die verlustarme und sichere Energieübertragung eine neue grossquerschnittige **Kabelleitung** vom MVK Diegten zur Trafostation Sonnengasse in Buckten.

Diese wird zur ferngesteuerten **Bezirksstation** ausgebaut mit selektiven Streckenschaltern für die zwei abgehenden Freileitungsstränge.

Mit diesen Massnahmen erhalten wir in Diegten und in Buckten zwei Stützpunkte, die es erlauben, Diegter- und Homburgertal voll von Süden her zu versorgen und die weiter östlich liegenden Eital und oberes Ergolzthal markant zu entlasten.

Der Bau der neuen Kabelleitung mit 240 mm² Querschnitt und 3660 m Länge sowie der Umbau der Trafostation Sonnengasse Buckten zur ferngesteuerten Bezirksstation waren relativ routinemässige Vorgänge, die hier nicht weiter beschrieben werden.

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf das technisch interessante Herzstück des Projektes, den Umbau des MVK Diegten zum «Quasi-Unterwerk».

Machbarkeitsstudie

Vor der **mehrstufigen Blindstrom-Kompensationsanlage** im MVK Diegten hatten wir einen gesunden Respekt. Nachfragen bei einigen Anbietern von Blindstrom-Kompensationsanlagen ergaben denn auch, dass ihres Wissens in der Schweiz keine vergleichbare Anwendung zu finden ist.

Die bei Koepl Power Experts in Wettingen in Auftrag gegebene **Machbarkeitsstudie** hat uns aber alle Bedenken ausgeräumt und konkrete Angaben für die Ausführung und Dimensionierung der Anlage geliefert. Folgende Aspekte standen im Fokus:

Kapazitätsbemessung: Nötig sind 3000 kVar bei maximal möglicher Last zum Halten von 100% Spannung



Inbetriebsetzung der Schaltanlage.

im MVK Diegten. Weitere 50% Reserve werden eingeplant für zukünftige Entwicklungen (z. B. Leistungserhöhung im Bölchentunnel).

Kapazitätsabstufung: 1 Gruppe mit 1500 kVar und 1 Gruppe mit 3000 kVar ergibt drei Stufen von 1500, 3000 und 4500 kVar.

Spannungssprünge bei Umschaltungen: Sie liegen im Bereich der Abstufungen der Stufenschalter der Unterwerks-Regeltrafos und bringen somit keine unüblichen Schwankungen.

Auswirkung auf Rundsteuersystem: Die EBL sendet ihre Rundsteuersignale mit 730 Hz über das Mittelspannungsnetz, deshalb müssen die Kondensatoren verdrosselt werden bei einer Resonanzfrequenz von 204 Hz.

Netzstabilität: Bei Laständerungen kann es vorkommen, dass kurzzeitig bis zu 100% überkompensiert wird. Bei Verdrosselung mit 204 Hz ergeben sich aber absolut stabile Verhältnisse, keine Ein- oder Ausschwingvorgänge.

Belastung der Schalter: Dank der grossen Drosseln treten maximale Einschaltströme von 400 A auf, was für gebräuchliche Mittelspannungsschalter im normalen Rahmen liegt.

Auswirkung auf die Netzverluste: Keine negativen, die Verlustleistung der Drosseln wird durch den Mehrabsatz an Energie durch die gute Spannungshaltung mehr als kompensiert. Ausserdem sollte mit der Abwärme das Gebäude beheizt werden.

Technische Voraussetzungen

Das **Gebäude** ist gegeben. Es besteht aus einem schmalen Raum von 12,5 x 3,0 x 2,8 m (LxBxH) mit je einer Türe an beiden Enden und einem Kabelkeller gleicher Fläche bei 1,8 m Höhe. Zwei Abstiegsluken bei den Türen erschliessen den Keller.

Die bestehende 5-feldrige **Schaltanlage** ist 35-jährig und muss auch aus Platzgründen ersetzt werden.

Die **Anlagensteuerung** und das **Fernwirkssystem** mit Jahrgang 1973 sind ebenfalls fällig, und ein Ersatzprojekt war schon lange vorher geplant worden.

Realisierung

In der Evaluation der **Blindstrom-Kompensationsanlage** standen sich am

Die gesamte Inneneinrichtung des MVK Diegten nach dem Umbau.

Ende noch eine Ausführungsvariante mit frei in den Räumen anordenbaren Einzelkomponenten und eine mit zwei kompakten, fertig montierten und geprüften Zellen gegenüber. Wir entschieden uns für die **Zellenbauweise** der Firma Merlin Gerin (Schneider Electric); ihre Vorteile lagen bei Preis, geringem Platzbedarf, kurzer Montagezeit, hoher Sicherheit, und sie enthielt bereits integral die Luftführung für die forcierte Belüftung der Drosseln. Zur Montage wurden die zwei Zellen im Herstellerwerk in Annecy nach der Werkprüfung in je zwei Teile zerlegt und die elektrischen Komponenten ausgebaut. Nur so konnten wir die Zellen durch die Tür ins Gebäude einbringen. Am definitiven Standort bauten wir dann die Kondensatoren und Drosseln wieder ein.

Eine neue **Ventilationsanlage** sorgt für die Kühlung der beiden Drosseln. Sie saugt im Sommerbetrieb über einen Lichtschacht im Keller die Luft durch die Kompensationszellen hindurch an und bläst sie ins Freie aus, im Winterbetrieb schaltet sie auf reinen Umluftbetrieb und heizt die beiden Räume mit der Abwärme der Drosseln.

Bei den **Schaltanlagen** hatten wir drei Fabrikate in der engeren Auswahl. Das Rennen machte die grösstenteils in der Schweiz entwickelte und gefertigte luftisolierte PIX-C der Firma Areva; sie war die preiswerteste Anlage, und mit der Feldteilung von 75 cm wie bei der alten Anlage ersparte sie uns darüber hinaus als einzige den Umbau des Bodens. Mit ihrer Kapselung in zwei Funktionsräume, den bewährten Federantrieben und Vakuumumschaltern bietet die PIX-C für diesen wichtigen Stützpunkt im Netz der EBL die nötige Sicherheit und Verfügbarkeit mit gesunden Reserven. Auch das täglich mehrfache Schalten der Kompensationsstufen erfüllt sie ohne weiteres.

Bei der **Anlagensteuerung** und dem **Fernwirkssystem** kamen standardisierte Produkte zum Einsatz, die kurz zuvor im Zusammenhang mit der Erneuerung der Netzleitstelle neu evaluiert worden waren. Die **Kommunikation** mit der Netzleitstelle erfolgt über Lichtwellenleiter der EBL-Tochterfirma EBLCom.

Im Herbst 2004 war die Anlage fertig montiert und die Schaltanlage ging vorerst in den ferngesteuerten Betrieb. In



2005 wurden die Umschaltautomatik für die beiden Einspeisungen, die Lüftungssteuerung und die automatische Steuerung der Kompensationsstufen optimiert. Anfang Winter 2005/2006 konnte die gesamte Anlage definitiv in den **automatischen Betrieb** übergehen.

Die **Kosten** für den Umbau des MVK Diegten zum «Quasi-Unterwerk» beliefen sich auf rund 750 000 CHF. Ein neues Unterwerk hätte bei gleichem Nutzen gegen zehnmal so viel gekostet.

Steuerung

Einige Überlegungen kostete die Festlegung der **Schaltkriterien für die Kompensationsstufen**. Eigentlich wollen wir im MVK Diegten ja die Spannung regeln, aber dies erfolgt schon im Unterwerk. Und zwei Regler im gleichen Netz würden einander stören. Wir entschieden uns deshalb für eine rein wirklastabhängige Steuerung, da die Wirklasten durch die Wahl der Kompensationsstufen praktisch nicht beeinflusst werden, sich aber absolut linear zu den zu kompensierenden Spannungsabfällen auf der speisenden Freileitung verhalten. Als Steuergrösse nehmen wir die Summe aller aus dem MVK Diegten abfliessenden Wirkleistungen P_{tot} . Tabelle I zeigt die aktuellen Einstellparameter.

Betriebserfahrung

Die Betriebserfahrungen sind äusserst positiv.

1000 kVar kapazitive Blindleistung erhöhen die Spannung in Diegten um rund 1%. Damit ist die Mittelspannung im ganzen Raum Diegten/Buckten heute in Hochlastzeiten um rund 3% höher als früher und im ganzen Versorgungsgebiet des speisenden Unterwerks um denselben Betrag ausgeglichener.

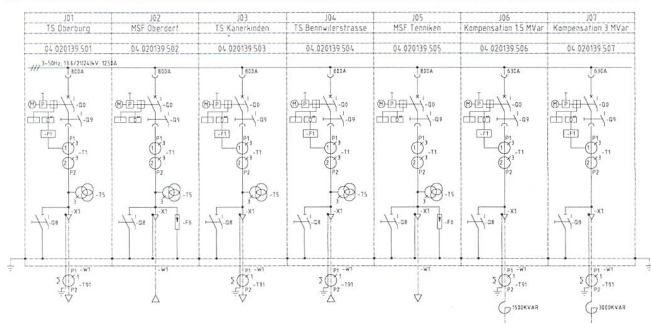
Die Schalthäufigkeit der Kompensationsstufen liegt im Winter bei rund vier Zyklen pro Tag, wobei die Stufe 1 fast



Die PIX-C-Mittelspannungs-Schaltanlage.

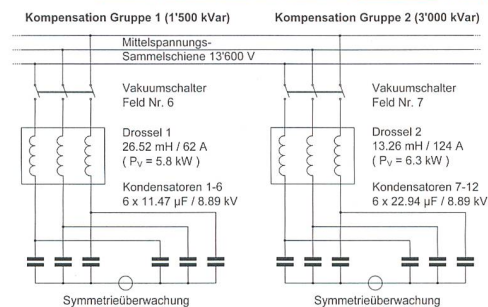


Die zwei Doppelzellen der Rectiphase-Kompensationsanlage.



Daten der Schaltanlage:

- Hersteller: Areva
- Typ: PIX-C
- Isolationsmedium: Luft / Feststoff
- Kapselung: 2 Funktionsräume
- Anzahl Felder: 7
- Leistungsschalter: Vakuum, Typ HVX
- Antrieb: Federspeicher
- Nennspannung: 24 kV
- Sammelschienenstrom: 1250 A
- Ausschaltstrom: 800 A
- Kurzschlussstrom 3 s: 25 kA



Daten der Blindstrom-Kompensationsanlage:

- Hersteller: Merlin Gerin (Schneider Electric)
- Typ: Rectiphase CP 227-SAH
- Schaltung: Doppelstern
- Nenn-/Maximalspannung der Anlage: 14 000/15 400 V (verkettet)
- Ausführung Drosseln: Giessharz
- Ind. Spannungsabfall an den Drosseln: 517 V (pro Phase)
- Ausführung Kondensatoren: Alu-Polypropylen-Wickel

dauernd im Einsatz ist mit Stufe 2 zu Spitzenzeiten. Im Sommer kommt nur zu Spitzenzeiten und bei speziellen Netz-situationen höchstens die Stufe 1 zum Einsatz. Die Stufe 3 wurde bis heute noch nie gebraucht, sie dient der Spitzenlast-abdeckung, wenn der Böldchentunnel seine volle Leistung von 5 MW verlangt.

Im Rahmen des planmässigen Unter-halts ist vorgesehen, dass die beiden häu-fig betätigten Schalter der Kompensati-onsfelder zyklisch mit den fünf anderen ausgetauscht werden, da diese sehr selten bewegt werden.

Die Raumheizung mit der Verlust-leistung der Drosseln hat im kalten letzten Winter perfekt funktioniert, beim aufge-tretenen Lastspiel hat sie gerade gereicht, das Gebäude auf rund 14 °C zu halten.

Alles in allem ist das Projekt ein durchschlagender Erfolg – im Netzpla-nungsteam der EBL wird die Spannungs-qualität im Raum Diegten/Buckten lange kein Thema mehr sein.

Einschalten	Ausschalten
Stufe 1 (1500 kVar) bei: $P_{\text{tot}} > 4500 \text{ kW}$	Stufe 1 (1500 kVar) bei: $P_{\text{tot}} < 2500 \text{ kW}$
Stufe 2 (3000 kVar) bei: $P_{\text{tot}} > 6500 \text{ kW}$	Stufe 2 (3000 kVar) bei: $P_{\text{tot}} < 4500 \text{ kW}$
Stufe 3 (4500 kVar) bei: $P_{\text{tot}} > 8500 \text{ kW}$	Stufe 3 (4500 kVar) bei: $P_{\text{tot}} < 6500 \text{ kW}$
zeitliche Verzögerung: 1 min	zeitliche Verzögerung: 15 min

Tabelle I Einstellparameter.

La sous-station qui n'en était pas une

Que faire lorsque, dans un lieu périphérique, la qualité de la tenue de la tension d'une sous-station est exigée mais que les coûts correspondants sont sans commune mesure avec l'utilité commerciale? Au cours de l'année 2002, EBL a été confrontée à cette problématique et a réussi à la résoudre de manière innovante et économiquement avantageuse: le maintien de la tension est assuré directement dans le réseau électrique moyenne tension. A cet effet, la chute de tension inductive dans les lignes d'amenée est compensée par un procédé qui suit l'évolution de la charge. Ainsi, le réseau dispose d'un nœud supplémentaire (en plus de ceux constitués par les sous-stations), qui est alimenté en parallèle par deux sous-stations distinctes, chacune pouvant assurer à tout moment 100 % de la charge. Cet article relate comment l'idée de cette «sous-station qui n'en est pas une» a été élaborée et quelles difficultés ont dû être maîtrisées avant que l'installation puisse être définitivement mise en service en mode automatique, il y a quelques mois.

Kamstrup bietet intelligente System-Lösungen

Automatische Auslesung Ihres Energieverbrauchs

Läuft im Betrieb alles rund?

Mit einer System-Lösung von Kamstrup ist die Energieversorgung gewährleistet. Der Verbrauch wird zuverlässig gemessen. Die Daten sind jederzeit abrufbar.

Gerne beraten wir Sie auch persönlich.

Kamstrup A/S, Schweiz
Steinackerstrasse 10
8902 Urdorf
Tel: 043 455 70 50
Fax: 043 455 70 51
info@kamstrup.ch



Kamstrup
www.kamstrup.ch

OPTIMATIK

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