

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 115 (2024)
Heft: 5

Artikel: Chance für zuverlässige Verteilnetze = Une opportunité pour des réseaux fiables
Autor: Girardi, Bernhard / Fehr, Christopj / Nigsch, Simon
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1075090>

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: 03.04.2026

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



Chance für zuverlässige Verteilnetze

Elektronischer Spannungsregler | Die Spannungsqualität in Verteilnetzen wird zunehmend von dezentralen Erzeugern wie PV oder Windkraft beeinflusst. Traditionelle Netzausbauten sind unflexibel und oft aufwendig. Eine elektronische Lösung für diese Herausforderungen wurde durch ein Schweizer Innovationsprojekt realisiert und Optimierungen mithilfe von Messungen aufgezeigt.

BERNHARD GIRARDI, CHRISTOPH FEHR, SIMON NIGSCH, EUGEN M. JAKOB

Seit 2022 gibt es einen grossen Zuwachs an Energieträgern mit oft volatiler Produktion. Werden die Prognosen, auf denen die Pläne für den Ausbau der Verteilnetze basieren, stark überschritten, steigt die Gefahr der Überlastung von Betriebsmitteln oder das Nichteinhalten von Normen und Richtlinien. Massnahmen müssen ergriffen werden, um dies zu verhindern. In Österreich werden in manchen Regionen die PV-Einspeisungen ins Verteilnetz auf 4 bis 8 kVA Einspeiseleistung begrenzt [1]. Auch in der Schweiz werden Modelle erprobt,

um eine freiwillige Begrenzung der Einspeisung zu fördern [2,3]. Durch einen Ausbau des Verteilnetzes können solche Situationen und Massnahmen verhindert werden, aber der Netzausbau kann sich nicht an den möglichen Spitzenwerten der Netzlasten oder Einspeisungen orientieren, da dies wirtschaftlich nicht sinnvoll wäre. Deshalb werden Begleitmassnahmen benötigt.

Im Jahr 2019 wurde auf der PCIM (Fachmesse und Konferenz für Leistungselektronik) ein neues Regelkonzept zur Verbesserung der

Spannungsqualität in Verteilnetzen präsentiert. Es ermöglicht sowohl die Korrektur von Abweichungen des RMS-Werts oder Asymmetrien als auch die Kompensation von Oberwellen einzelner Phasen. Dazu wird ein Spezialtransformator zwischen dem Verteilnetz des Netzbetreibers und dem Verbraucher geschaltet (**Bild 1**). Mit einem Wechselrichter wird die Spannung $U_{inv,i}$ synchron zur Netzspannung $U_{unb,i}$ am Einspeisetransformator generiert. Die Spannung $U_{inv,i}$ addiert sich zusammen mit der Eingangsspannung zur geregelten Spannung $U_{bal,i}$.

Die Machbarkeit wurde durch ein Funktionsmuster bewiesen und die Ergebnisse veröffentlicht [4].

Für den Prototypen erklärte sich die Repower AG bereit, einen EVODTR (Electronic Voltage Control for Distribution Grids) in ihrem Verteilnetz zu installieren. In der Juniausgabe 2022 vom Bulletin SEV/VSE konnte der erste Prototyp präsentiert werden [5], der im Juli 2022 im Verteilnetz der Repower installiert wurde. Repower AG möchte damit neue Erfahrungen mit elektronisch geregelten Kompensationssystemen sammeln. Der Aufbau und Netzanschluss erfolgte gemäss dem Schema in Bild 1.

Die Installation im Verteilnetz erfolgte erst nach Labortests, um den Regler so realitätsnah wie möglich zu prüfen und die implementierten Sicherheitsmassnahmen und deren korrekte Funktion zu verifizieren. Nach der Installation wurde der Prototyp ausgiebig getestet und 2023 in den Dauerbetrieb überführt. Anfang Mai 2023 erfolgte dann auch der Anschluss an die Leitstelle der Repower AG. Die gesamte Inbetriebnahme wurde durch die OST – Ostschweizer Fachhochschule begleitet und die Funktion des Spannungsreglers durch Messungen über den Zeitraum von einem Jahr überprüft. Mit diesen Messungen konnten die Leistungsfähigkeit des EVODTRs aufgezeigt und Optimierungspotenziale für den Einsatz im Verteilnetz dokumentiert werden.

Stabile 230 V im Verteilnetz mit weniger Oberwellen

Seit der Inbetriebnahme des Reglers erfolgte eine Messbegleitung durch die OST. Bild 2 zeigt einen Ausschnitt der im Zeitraum vom 22. April bis 13. Mai 2024 aufgenommenen Messdaten des EVODTRs. Dabei wurde der Übersichtlichkeit halber nur jeweils eine Phasenspannung dargestellt. Die anderen Phasenspannungen weisen dabei gleiches Verhalten auf.

Negative Werte in Bild 2a bedeuten eine Energieeinspeisung der PV-Anlagen, positive Werte einen Bezug aus dem Verteilnetz. Im dargestellten Zeitraum wurden PV-Einspeisespitzen von bis zu 137 kW und Lastspitzen von bis zu 50 kW festgestellt.

Aus Bild 2b ist ersichtlich, dass der Regler die Phasenspannung auf die vorgegebenen 230 V regelt, unabhängig

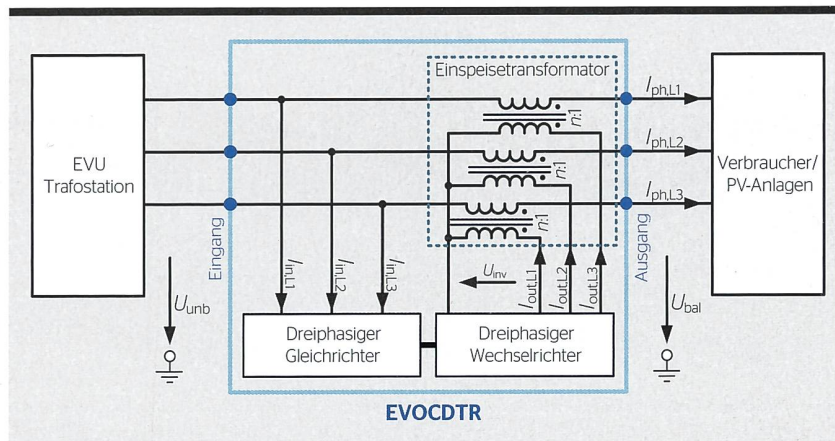


Bild 1 Einbau EVODTR im Verteilnetz.

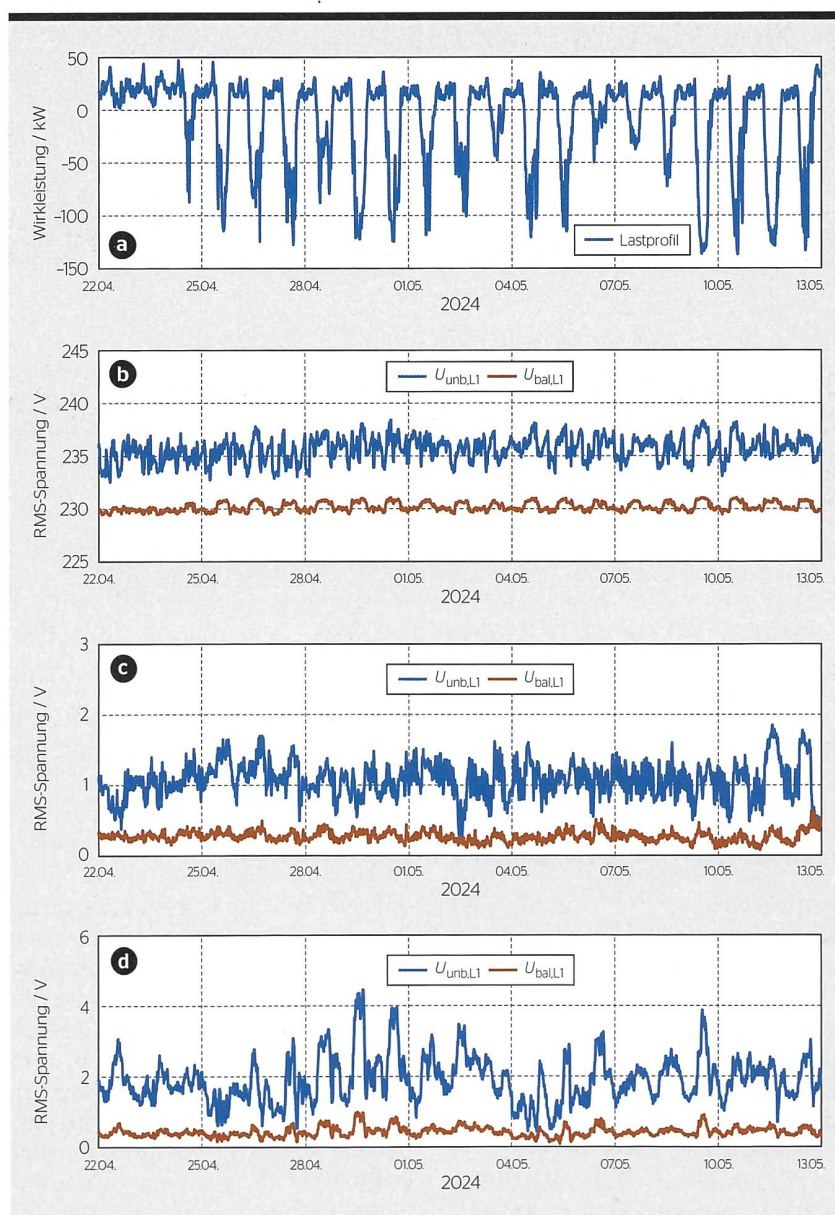


Bild 2 15-Minutenmittelwerte der Messwerte am Ein- und Ausgang. a) Lastprofil im Netz, b) Effektivwerte der Ein- und Ausgangsspannungen der Grundwelle, c) Effektivwerte der Ein- und Ausgangsspannungen der 5. Oberwelle, d) Effektivwerte der Ein- und Ausgangsspannungen der 7. Oberwelle.

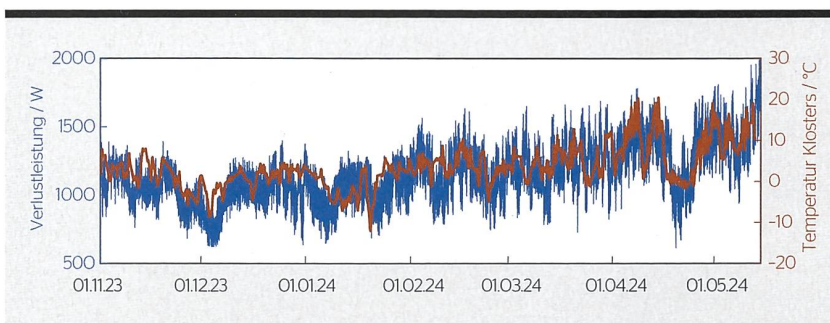


Bild 3 Verlauf der Leistungsaufnahme und der Umgebungstemperatur [7].

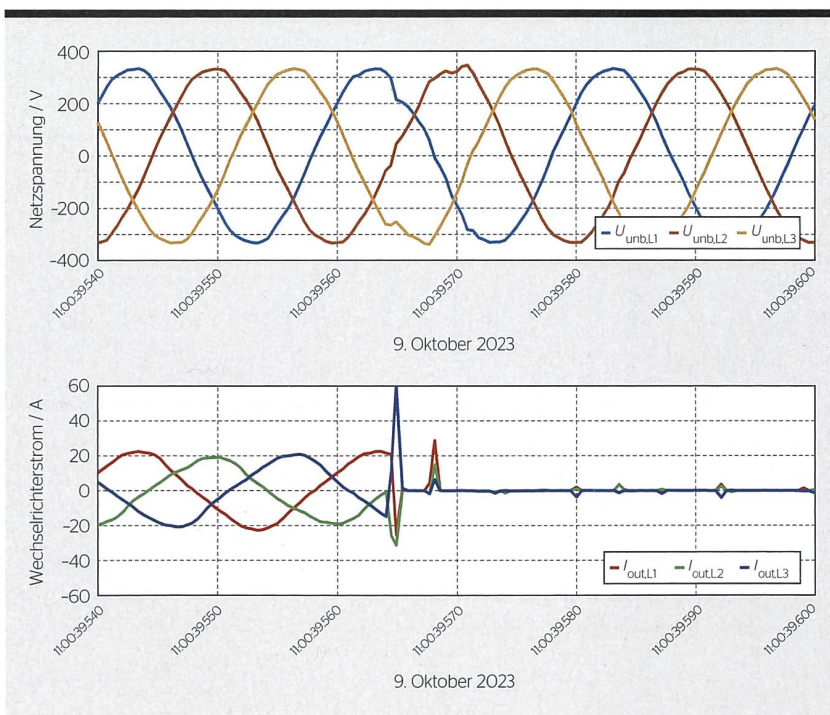


Bild 4 Erdschluss HV-Kabel am 9. Oktober 2023 um 11:00:39.

vom Lastprofil (**Bild 2a**). Die Regelabweichung liegt dabei deutlich unter einem Prozent. Die Leistungsfähigkeit des Reglers zeigt sich auch in der Kompensation von Oberwellen (**Bilder 2c und 2d**): Die fünfte Oberwelle konnte um 75%, die siebte um 90% reduziert werden. Der absolute RMS-Wert betrug im Mittel 200 mV. Die Messergebnisse zeigen somit eine zuverlässige Spannungsregelung.

Verlustleistungsbetrachtung

Das Papier «Strategisches Netz 2040» der Swissgrid stellt fest: «Swissgrid ist die Planung eines Netzes wichtig, das nachhaltig, ressourcenschonend, umweltverträglich und volkswirtschaftlich effizient ist.» [6] EVOC DTR muss deshalb in der Regelung effizient sein und eine geringe Verlustleistung aufweisen.

Zur Optimierung der Effizienz wurde die Verlustleistung des EVOC DTRs über ein halbes Jahr analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Verlustleistung mit der Aussentemperatur in Klosters [7] korrelierte (**Bild 3**). Bisher wurde der Schaltschrank bei Innentemperaturen unter 20°C geheizt bzw. ab 25°C mit einer Klimaanlage gekühlt. Für Kühlung, Heizung, Verlustleistung der Halbleiter und für den Verbrauch der Steuerung wird im Mittel rund 1,3 kW benötigt.

Zur Reduzierung der Heiz- und Kühlenergie wird zukünftig der Taupunkt überwacht. Geheizt wird dann nur noch, um eine Kondensation an elektrischen Bauteilen zu verhindern. In einem zweiten Schritt soll die Kühltemperatur des Schaltschranks so angepasst werden, dass die Elektronik auch bei Voll-

last noch innerhalb der vorgegebenen Betriebstemperatur betrieben wird. Aktuell finden Evaluationen statt, um auch den Einfluss der Schaltfrequenz bewerten zu können. Es wäre möglich, die Schaltfrequenz anzupassen, um die Schaltverluste zu reduzieren und damit die Effizienz des Gerätes zu steigern.

Kurzzeitige Ereignisse im Netz sind eine Herausforderung

Während des gesamten Beobachtungszeitraums konnten unterschiedliche Ereignisse im Netz beobachtet und durch den Regler gut kompensiert werden. Es gab aber auch wenige Ereignisse, die zu einer Sicherheitsabschaltung des EVOC DTRs führten. Da der Regler direkt die Spannungsform verändert, sind die Einflüsse von kurzzeitigen Ereignissen im Netz auf den Regler zu untersuchen, auch wenn angeschlossene Verbraucher diese nicht bemerken bzw. der Verteilnetzbetreiber die Normen einhält. Kurzzeitige Ereignisse halten jeweils nur wenige Netzperioden an, also einige hundert Millisekunden. Nachfolgend sind zwei Ereignisse kurz erläutert.

Am 9. Oktober 2023 um 11:00:39.565 wurde ein Fehler im EVOC DTR detektiert, der zu einer Fehlerabschaltung des Reglers führte. Eine Stromspitze im Wechselrichter löste einen Überstrom aus. Der Regler überbrückte sich selbst und trennte sich vom Netz, damit die für solche Fälle vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen des Netzbetreibers direkt greifen können. Die Spannungs- und Stromverläufe sind in **Bild 4** dargestellt. Zum Zeitpunkt des Ereignisses gab es Verzerrungen und Spannungseinbrüche der Phasenspannungen. Nach etwa einer Netzperiode war der Spannungsverlauf wieder normal. Bei der Analyse des Ereignisses stellte sich heraus, dass die Ursache ein Erdschluss im Niederspannungssystem eines anderen Trafos war, der über die Mittelspannung mit der Trafostation des Spannungsreglers verbunden ist. Die Sicherheitsmassnahmen des Netzbetreibers konnten Schäden erfolgreich verhindern.

Ein weiteres Ereignis führte Anfang Dezember 2023 zu einer erneuten Abschaltung vom Spannungsregler. Von einer Netzperiode zur anderen trat eine starke Asymmetrie der Phasenspannungen auf (**Bild 5**). Die Phasenspannungen am Eingang betrogen

dabei $U_{\text{unb},L1} = 233 \text{ V}$, $U_{\text{unb},L2} = 202 \text{ V}$ und $U_{\text{unb},L3} = 206 \text{ V}$. Der Ursprung dieser Verzerrungen lag in einer Schneelastentladung einer 50-kV-Hochspannungsleitung [8]. Solche Schneelastentladungen können kurzzeitige Ereignisse auf der Mittel- und Niederspannungsebene auslösen, angeschlossene Verbraucher bemerken diese Vorfälle jedoch nicht. In solchen Situationen sollte der Spannungsregler die Netzspannungen stabilisieren und die angeschlossenen Lasten im Verteilnetz schützen. Die Asymmetrie verursachte hohe Ströme im Wechselrichter und im Transformator, die zu einer Überstromabschaltung führten. Mit einem angepassten Transformator-Design kann der Regler zukünftig auch in solchen Netz-situationen eine zuverlässige Funktion garantieren.

Messungen bestätigen korrekte Funktion

Die Messungen im Verteilnetz zeigten, dass der Regler die Spezifikationen nicht nur im Labor einhält, sondern auch unter realen Bedingungen. Die Netzspannung wird auf den spezifizierten Wert geregelt und die Oberwellen der 5. und 7. Ordnung deutlich reduziert. Bei den Messungen hat sich gezeigt, dass bei sehr asymmetrischen Netzbedingungen die Blindleistung im Wechselrichter und Transformator hoch werden und dies zu einer Sicherheitsabschaltung führen kann. Massnahmen zur Vermeidung solcher hoher Blindleistungen werden aktuell evaluiert. Um den EVOC-DTR für die Anwendung im Verteilnetz noch attraktiver zu machen, soll auch die Verlustleistung des Reglers reduziert werden, indem beispielsweise die Leistung für das Heizen bzw. Kühlen des Schaltschranks sowie die Halbleiterverluste reduziert werden.

Beim Einsatz des EVOC-DTRs im Verteilnetz konnten einige kurzzeitige Ereignisse im Netz beobachtet werden. Normen wie die EN 50160 «Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen» oder auch das Regelwerk «Technische Regeln für die Beurteilung von Netzurückwirkungen» der DACH-CZ definieren zwar Abweichungen und Ereignisse im Energienetz, jedoch werden in diesen Normen und Richtlinien hauptsächlich Grenzwerte für Mittelwerte definiert, die u. a. über mehrere Minuten gebildet

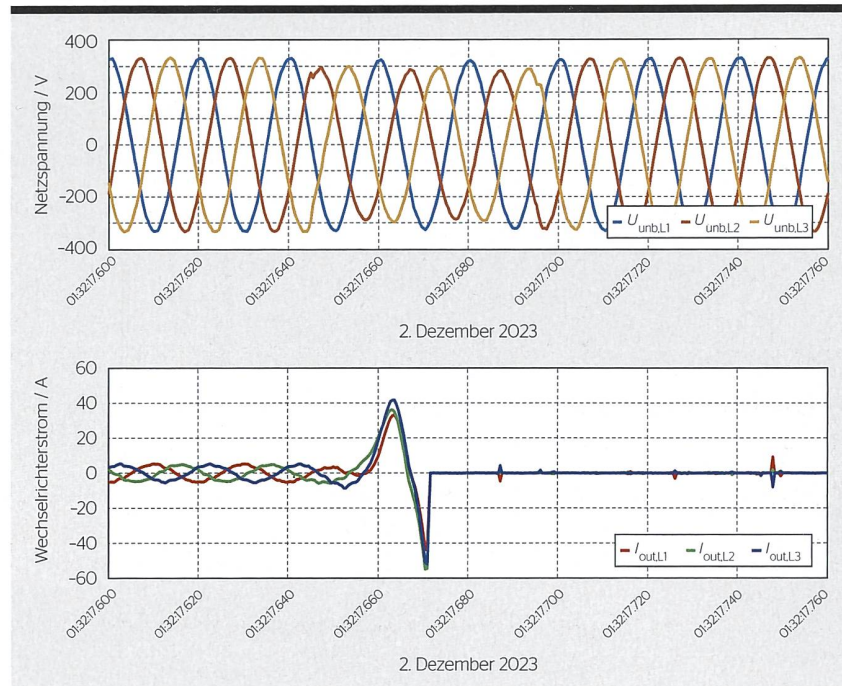


Bild 5 Schneelastentladung einer 50-kV-Leitung am 2. Dezember 2023 um 1:32:17.

werden. EVOC-DTR soll aber auch bei Ereignissen im Netz funktionieren, die nicht durch Normen und Regeln abgebildet sind. Für die Weiterentwicklung des Reglers wird deshalb der Fokus auf kurzfristige Ereignisse gelegt. Die bisher durchgeführten Messungen bilden eine gute Grundlage dafür.

Fazit

Die Spitzenlasten in Verteilnetzen steigen weiterhin durch erneuerbare Energieerzeugungsanlagen (PV- und Windanlagen). Aber auch durch das Verhalten der Konsumenten verändert sich das Lastprofil im Netz, wie z. B. durch E-Ladestationen mit Schnellladecharakteristik. In Zukunft werden die Verteilnetze nicht mehr ausschliesslich durch den traditionellen Netzausbau ausbalanciert werden können, denn die Spitzenlasten ändern sich in kurzen Intervallen. EVOC-DTR bietet eine technische und wirtschaftliche Alternative zum physischen Netzausbau. Bestehende Netzinfrastruktur kann durch geringe Anpassungen effizienter genutzt werden. Bezüglich ökologischer Nachhaltigkeit zeigte sich der Einsatz des Prototyps und dessen Resultate als Erfolg. Die Lösung wird durch den Elektrizitätspartner als eine optimale Lösung gesehen. Der Prototyp soll später an einem weiteren Einsatzort erprobt werden.

Referenzen

- [1] P. Gruber, «PV-Einspeisen wird ab sofort streng kontrolliert», MeinBezirk.at, 11. August 2023. www.meinbezirk.at/steyr-steyr-land/c-wirtschaft/pv-einspeisen-wird-ab-sofort-streng-kontrolliert_a6208603
- [2] S. Haberkorn, «Übermässiger Solarausbau: Nachbarland stösst an Grenzen des Stromnetzes», eFahrer. chip.de, 23. November 2023. [eFahrer.chip.de/news/uebermaessiger-solarausbau-nachbarland-stoesst-an-grenzen-des-stromnetzes_1015976](https://www.eFahrer.chip.de/news/uebermaessiger-solarausbau-nachbarland-stoesst-an-grenzen-des-stromnetzes_1015976)
- [3] Y. Ballinari, «Elektra Jegenstorf führt freiwillige Einspeisegrenze für PV-Produzenten ein», Energiate Messenger.ch, 7. Dezember 2023. www.energate-messenger.ch/news/238883/elektra-jegenstorf-fuehrt-freiwillige-einspeisegrenze-fuer-pv-produzenten-ein
- [4] B. Girardi, K. Schenk, «Continuously Variable Controlled Transformer for Grid Voltage Stabilization», in PCIM Europe 2019, S. 1-8, 2019.
- [5] B. Girardi et al., «Stabile Netze mithilfe von Leistungselektronik», Bulletin SEV/VSE 6/2022, S. 45-48.
- [6] «Netzplanung bei Swissgrid - Strategisches Netz 2040», Swissgrid AG, 2022. [swissgrid.ch/de/home/projects/future-grid/strategic-grid.html](https://www.swissgrid.ch/de/home/projects/future-grid/strategic-grid.html)
- [7] «Momentanwerte Lufttemperatur», Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2024.
- [8] «Störungen und Stromausfälle», Repower AG. www.repower.com/ch/kundencenter/stoerungen-stromausfaelle

Autoren

Bernhard Girardi war Ingenieur für Leistungselektronik am Institut für Energiesysteme IES der OST.
→ OST Ostschweizer Fachhochschule, 9471 Buchs

Eugen M. Jakob ist Technischer Leiter von ON Power Technology AG
→ ON Power Technology AG, 8890 Flums SG
→ eugen.jakob@onpowertech.ch

Christoph Fehr ist Ingenieur für Leistungselektronik am Institut für Energiesysteme IES der OST
→ christoph.fehr@ost.ch

Simon Nigsch ist Dozent und Bereichsleiter der elektrischen Energiesysteme am Institut für Energiesysteme IES der OST.
→ simon.nigsch@ost.ch

Der EVOC-DTR wurde von Innosuisse 36 Monate lang mit rund 320 000 CHF unterstützt.

Power Monitoring Expert Cloud

La meilleure solution cloud de gestion de l'énergie et de la distribution électrique, du résidentiel aux grands sites industriels.

Efficacité et fiabilité

- Gestion des consommations et coûts liés à l'énergie
- Supervision de la distribution électrique en temps réel
- Prévention des incendies électriques

Installation simple et cybersécurité élevée

- Solution Plug-and-Play avec un simple routeur VPN
- Cryptage des données de bout en bout, conforme à la norme IEC 62443

se.com/ch/pmecloud-fr



Life Is On

Schneider
Electric

EVU-Support

Voller Durchblick im Netz

**JETZT:
UNVERBINDLICHES
ERSTGESPRÄCH
BUCHEN**

Das neue Stromgesetz kommt – und mit ihm neue Herausforderungen für EVUs. Damit Sie weiterhin den Durchblick in Ihrem Netz behalten und optimal vorbereitet sind, unterstützen wir Sie gerne individuell, unabhängig und umfassend.

Nutzen Sie die volle Power unseres Engineering-Teams für Ihren Erfolg!



electrosuisse.ch/evu-support/

electro
SUISSE



Une opportunité pour des réseaux fiables

Régulateur de tension électronique | La qualité de la tension dans les réseaux de distribution est de plus en plus influencée par les producteurs décentralisés tels que le PV ou l'éolien. Les extensions traditionnelles du réseau étant peu flexibles et souvent onéreuses, une solution électronique a été réalisée au cours d'un projet d'innovation suisse et des optimisations ont été mises en évidence à l'aide de mesures.

BERNHARD GIRARDI, CHRISTOPH FEHR, SIMON NIGSCH, EUGEN M. JAKOB

Depuis 2022, on assiste à une forte croissance des sources d'énergie intermittentes. Si celle-ci devait dépasser de loin les prévisions sur lesquelles sont basés les plans d'extension des réseaux de distribution, cela pourrait avoir diverses conséquences. Parmi ces dernières, une augmentation des risques de surcharge des moyens d'exploitation ou de non-respect des normes et directives. Des mesures doivent être prises pour éviter d'en arriver là. En Autriche, dans certaines régions, les injections de production photovoltaïque (PV) dans le réseau de distribution sont limitées à une puissance de 4 à 8 kVA [1]. En Suisse aussi, des modèles sont à l'essai pour encourager une limitation volontaire de l'injection [2,3]. Une extension du réseau de

distribution permettrait d'éviter de telles situations et de telles mesures. Cette dernière ne peut toutefois pas se baser sur les valeurs possibles des pics de charge ou d'injection, car cela ne serait pas judicieux d'un point de vue économique. Des mesures d'accompagnement sont donc nécessaires.

En 2019, un nouveau concept de régulation visant à améliorer la qualité de la tension dans les réseaux de distribution a été présenté au PCIM Europe (Power Conversion and Intelligent Motion, un salon avec conférence consacré à l'électronique de puissance). Ce concept permet aussi bien de corriger les écarts de la valeur efficace ou les asymétries que de compenser les harmoniques de certaines phases. Pour ce faire, un transformateur spécial est connecté entre le

réseau du gestionnaire de réseau de distribution (GRD) et le consommateur (figure 1). Au niveau de ce transformateur d'injection, un onduleur permet de générer une tension $U_{inv,i}$ synchrone avec la tension du réseau $U_{unb,i}$. Cette tension $U_{inv,i}$ s'ajoute à la tension d'entrée pour former la tension régulée $U_{bal,i}$. La faisabilité a été prouvée par un modèle fonctionnel et les résultats ont été publiés [4].

Le premier prototype d'EVOCDTR (Electronic Voltage Control for Distribution Grids) a été présenté dans le Bulletin SEV/AES de juin 2022 [5] et a été installé dans le réseau de distribution de Repower le mois suivant. Repower AG souhaitait ainsi acquérir de nouvelles expériences avec les systèmes de compensation à régulation

électronique. Le montage et le raccordement au réseau ont été effectués selon le schéma de la **figure 1**.

L'installation dans le réseau de distribution n'a eu lieu qu'après la réalisation d'essais en laboratoire. Ceux-ci ont été effectués afin de tester le régulateur dans des conditions aussi réelles que possible et afin de vérifier les mesures de sécurité implémentées et leur bon fonctionnement. Après l'installation, le prototype a été testé de manière approfondie avant d'être mis en service continu en 2023. Le raccordement au centre de contrôle de Repower AG a eu lieu début mai 2023. L'ensemble de la mise en service a été accompagné par la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST (Ostschweizer Fachhochschule), et le fonctionnement du régulateur de tension a été vérifié par des mesures réalisées pendant une année. Ces dernières ont permis de démontrer les performances de l'EVOCDTR et de documenter les potentiels d'optimisation pour l'utilisation dans le réseau de distribution.

Une tension de 230 V stable avec moins d'harmoniques

Depuis la mise en service du régulateur, un suivi des mesures a été effectué par l'OST. La **figure 2** montre un extrait des mesures de l'EVOCDTR, enregistrées entre le 22 avril et le 13 mai 2024. Pour des raisons de clarté, seule une tension de phase est représentée. Les autres tensions de phase présentent le même comportement.

Les valeurs négatives de la **figure 2a** indiquent une injection d'énergie photovoltaïque, les valeurs positives, un prélèvement sur le réseau de distribution. Au cours de la période représentée, des pics d'injection PV atteignant jusqu'à 137 kW et des pics de charge jusqu'à 50 kW ont été constatés.

La **figure 2b** montre que le régulateur règle la tension de phase de sorte à respecter les 230 V prédéfinis, et ce, indépendamment du profil de charge représenté dans la **figure 2a**. La variation de la régulation est nettement inférieure à 1%. Les performances du régulateur se manifestent également dans la compensation des harmoniques (**figures 2c** et **2d**): le cinquième harmonique a pu être réduit de 75% et le septième harmonique de 90%. La valeur efficace absolue moyenne est d'environ 200 mV. Les résultats des mesures montrent donc une régulation fiable de la tension.

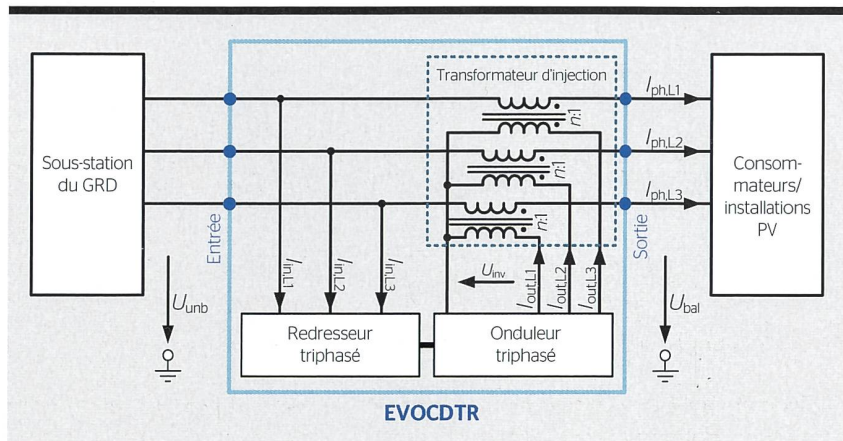


Figure 1 Installation de l'EVOCDTR dans le réseau de distribution.

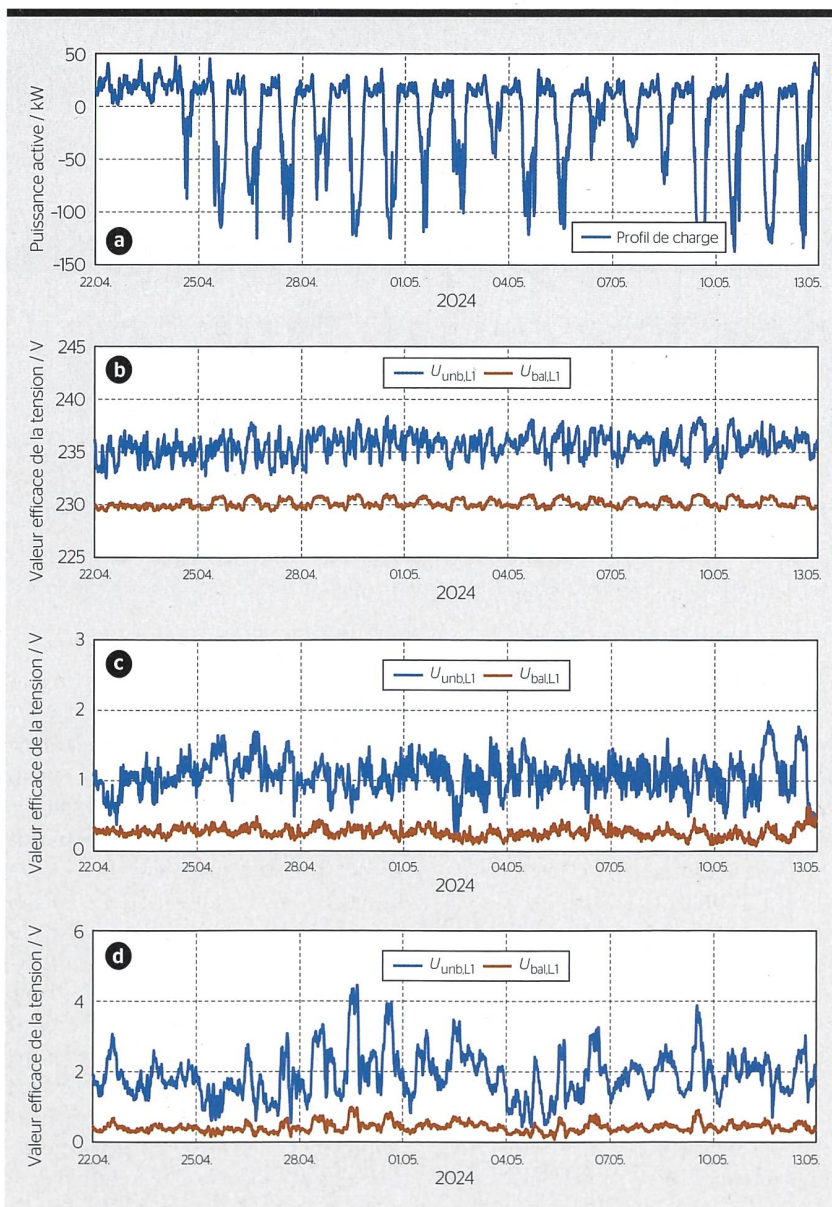


Figure 2 Moyennes sur 15 min des valeurs mesurées à l'entrée et à la sortie. **a)** Profil de charge dans le réseau, **b)** valeurs efficaces des tensions d'entrée et de sortie de l'onde fondamentale, **c)** valeurs efficaces des tensions d'entrée et de sortie du 5^e harmonique, et **d)** valeurs efficaces des tensions d'entrée et de sortie du 7^e harmonique.

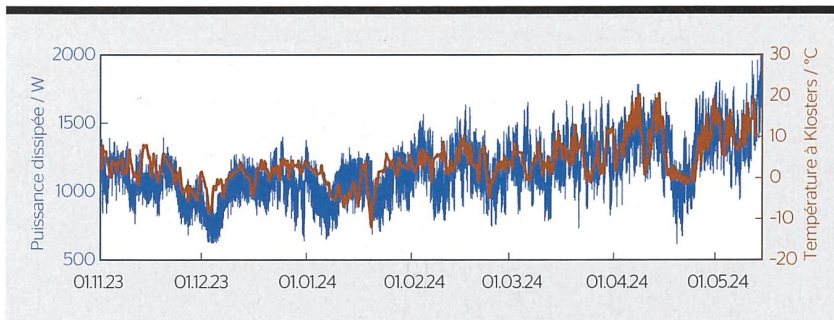


Figure 3 Évolution de la puissance dissipée et de la température ambiante [7].

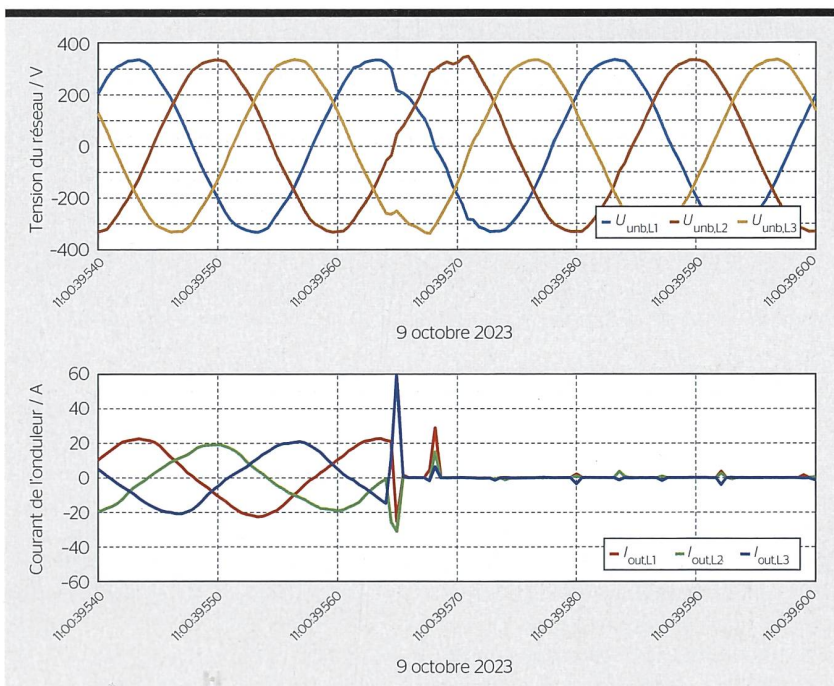


Figure 4 Défaut à la terre du câble HT le 9 octobre 2023 à 11:00:39.

Considération de la puissance dissipée

Swissgrid souligne dans son document « Réseau stratégique 2040 » : « Swissgrid attache de l'importance à la planification d'un réseau qui soit durable, qui préserve les ressources, qui respecte l'environnement et qui soit efficace sur le plan économique. » [6] L'EVOCDTR doit donc être efficace en termes de régulation et ne présenter que de faibles pertes de puissance.

Afin d'optimiser l'efficacité, la puissance dissipée de l'EVOCDTR a été analysée sur une période de six mois. Il a pu être constaté que la puissance dissipée était corrélée à la température extérieure à Klosters [7] (figure 3). Jusqu'à présent, l'armoire électrique était chauffée lorsque la température intérieure était inférieure à 20°C, ou refroidie à l'aide d'un climatiseur dès

qu'elle atteignait 25°C. En moyenne, il faut compter environ 1,3 kW pour le refroidissement, le chauffage, la puissance dissipée par les semi-conducteurs et la consommation de la commande.

Afin de réduire l'énergie de chauffage et de refroidissement, le point de rosée sera surveillé à l'avenir. Le chauffage ne sera activé que pour éviter la condensation sur les composants électriques. Dans un deuxième temps, la température de refroidissement de l'armoire électrique sera adaptée de telle sorte que l'électronique fonctionne toujours dans les limites de la température d'exploitation définie, même à pleine charge. Actuellement, des évaluations sont en cours afin de pouvoir déterminer l'influence de la fréquence de commutation. Il serait en effet possible de l'adapter pour réduire les pertes de commutation et augmenter ainsi l'efficacité du dispositif.

Les événements de courte durée constituent un défi

Pendant la période d'observation, différents événements ont pu être détectés sur le réseau, qui ont été compensés efficacement par le régulateur. Il y a toutefois aussi eu quelques rares événements qui ont entraîné une coupure de sécurité de l'EVOCDTR. Comme le régulateur modifie directement la forme de la tension, l'influence de ces événements de courte durée sur le régulateur doit être examinée. Et cela même si les consommateurs raccordés ne les remarquent pas – ils ne durent que quelques périodes de millisecondes – et même si ces événements n'enfreignent pas les normes. Deux événements sont brièvement expliqués ci-après.

Le 9 octobre 2023 à 11:00:39,565, un défaut a été détecté dans l'EVOCDTR, ce qui a entraîné une coupure en cas de défaut du régulateur. Un pic de courant dans l'onduleur a déclenché une surintensité. Le régulateur s'est ponté lui-même et s'est déconnecté du réseau afin que les mesures de sécurité prévues par le GRD puissent intervenir directement. Les courbes de tension et de courant sont représentées dans la figure 4. Au moment de l'événement, il y a eu des distorsions et des chutes de tension des tensions de phase. Après environ une période de réseau, la courbe de tension est revenue à la normale. Lors de l'analyse de l'événement, il s'est avéré que la cause était un défaut à la terre dans le système basse tension d'un autre transformateur, relié par le réseau moyenne tension à la sous-station du régulateur. Les mesures de sécurité prises par le GRD ont réussi à éviter les dommages.

Un autre événement a entraîné une nouvelle coupure du régulateur de tension début décembre 2023. Une forte asymétrie des tensions de phase est apparue d'une période de réseau à l'autre (figure 5). Les tensions de phase à l'entrée étaient alors $U_{\text{amb,L1}} = 233 \text{ V}$, $U_{\text{amb,L2}} = 202 \text{ V}$ et $U_{\text{amb,L3}} = 206 \text{ V}$. L'origine de ces distorsions : une décharge due à la charge de neige d'une ligne à haute tension de 50 kV [8]. De telles décharges peuvent déclencher des événements de courte durée au niveau de la moyenne et de la basse tension, sans que les consommateurs raccordés ne les remarquent. Dans de telles situations, le régulateur de tension devrait stabiliser les tensions

du réseau et protéger les charges connectées au réseau de distribution. L'asymétrie a provoqué des courants élevés dans l'onduleur et le transformateur d'injection, ce qui a entraîné une coupure due à une surintensité. Grâce à une conception adaptée du transformateur, le régulateur pourra à l'avenir garantir un fonctionnement fiable même dans de telles situations de réseau.

Les mesures confirment le bon fonctionnement

Les mesures effectuées dans le réseau de distribution ont montré que le régulateur respecte les spécifications non seulement en laboratoire, mais aussi dans des conditions réelles. La tension du réseau est régulée à la valeur spécifiée et les harmoniques des 5^e et 7^e rangs sont nettement réduits. Les mesures ont montré qu'en cas de conditions de réseau très asymétriques, la puissance réactive dans l'onduleur et le transformateur peut devenir élevée, ce qui peut entraîner une coupure de sécurité. Des mesures visant à éviter de tels niveaux de puissance réactive sont en cours d'évaluation. Afin de rendre l'EVOCDTR encore plus attractif pour une utilisation dans le réseau de distribution, la puissance dissipée du régulateur doit également être diminuée, par exemple en réduisant la puissance nécessaire au chauffage ou au refroidissement de l'armoire électrique ainsi que les pertes des semi-conducteurs.

Lors de l'utilisation de l'EVOCDTR dans le réseau de distribution, certains événements de courte durée ont pu être observés dans le réseau. Les normes telles que la norme EN 50160 « Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics d'électricité » ou encore l'ensemble de règles « Règles techniques pour l'évaluation des répercussions sur le réseau » élaboré par un groupe de travail des pays D-A-CH-CZ définissent les écarts et les événements dans le réseau énergétique. Ces normes et directives fixent toutefois principalement des valeurs limites pour des valeurs moyennes qui sont calculées, entre autres, sur plusieurs minutes. Or, l'EVOCDTR doit également fonctionner en cas d'événements dans le réseau qui ne sont pas représentés par des normes et des règles. Pour le développement ultérieur du régulateur, l'accent sera donc mis sur les événements de courte durée. Les mesures effectuées jusqu'à présent constituent une bonne base pour cela.

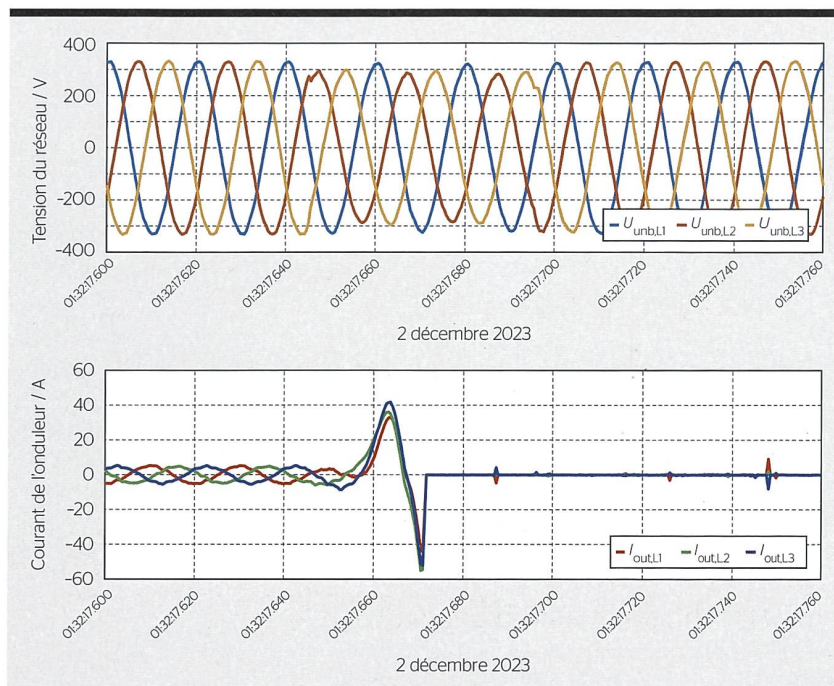


Figure 5 Décharge due à la neige d'une ligne de 50 kV le 2 décembre 2023 à 01:32:17.

Conclusion

Les charges de pointe dans les réseaux de distribution continuent d'augmenter en raison des installations de production d'énergie renouvelable (installations PV et éoliennes). Mais le profil de charge dans le réseau est également modifié par le comportement des consommateurs, par exemple par les stations de recharge rapide pour les véhicules électriques. À l'avenir, les réseaux de distribution ne pourront plus être équilibrés uniquement par l'extension traditionnelle du réseau, car les charges de pointe évoluent à intervalles rapprochés. L'EVOCDTR offre une alternative technique et économique à l'extension physique du réseau. L'infrastructure de réseau existante peut être utilisée plus efficacement grâce à des adaptations mineures. Autant l'utilisation du prototype que ses résultats se sont révélés être un succès également sur le plan de la durabilité écologique. Le partenaire électrique considère que cette solution est optimale. Le prototype sera encore testé plus tard sur un autre site.

Références

- [1] P. Gruber, « PV-Einspeisen wird ab sofort streng kontrolliert », MeinBezirk.at, 11 août 2023. meinbezirk.at/steyr-steyr-land/c-wirtschaft/pv-einspeisen-wird-ab-sofort-streng-kontrolliert_a6208603
- [2] S. Haberkorn, « Übermässiger Solarausbau: Nachbarland stösst an Grenzen des Stromnetzes ».

efahrer.chip.de, 23 novembre 2023. efahrer.chip.de/news/uebermaessiger-solarausbau-nachbarland-stoesst-an-grenzen-des-stromnetzes_1015976

- [3] Y. Ballinari, « Elektra Jegenstorf introduit une limite d'injection volontaire pour les producteurs PV », Energate Messenger.ch, 7 décembre 2023. energate-messenger.ch/fr/news/238883/elektra-jegenstorf-introduit-une-limite-d-injection-volontaire-pour-les-producteurs-pv
- [4] B. Girardi, K. Schenk, « Continuously Variable Controlled Transformer for Grid Voltage Stabilization », in PCIM Europe 2019, p. 1-8, 2019.
- [5] B. Girardi et al., « Des réseaux stables grâce à l'électronique », Bulletin SEV/AES 6/2022, p. 49-52, 2022.
- [6] « Planification du réseau chez Swissgrid - Réseau stratégique 2040 », Swissgrid, 2022. swissgrid.ch/fr/home/projects/future-grid/strategic-grid.html
- [7] « Valeurs instantanées de la température de l'air », Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2024.
- [8] « Störungen und Stromausfälle », Repower AG. repower.com/ch/kundencenter/stoerungen-stromausfaelle

Auteurs

Bernhard Girardi a été ingénieur en électronique de puissance à l'Institut de systèmes énergétiques IES de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST.
→ OST Ostschweizer Fachhochschule, 9471 Buchs

Eugen M. Jakob est directeur technique d'ON Power Technology AG.
→ ON Power Technology AG, 8890 Flums SG
→ eugen.jakob@onpowertech.ch

Christoph Fehr est ingénieur en électronique de puissance à l'Institut de systèmes énergétiques IES de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST.
→ christoph.fehr@ost.ch

Simon Nigsch est chargé de cours et responsable du secteur Systèmes énergétiques électriques à l'Institut de systèmes énergétiques IES de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST.
→ simon.nigsch@ost.ch

L'EVOCDTR a été soutenu par Innosuisse pendant 36 mois, à hauteur d'environ 320 000 CHF.



GEBÄUDETECHNIK KONGRESS 2024

Building Lifecycle Excellence

Jetzt
anmelden!

18.09.2024 | Trafo Baden

Leitthema 2024:

Nachhaltig in eine digitale Zukunft

gebaeudetechnik-kongress.ch



INSCRIVEZ-VOUS
MAINTENANT

Forum Romand de l'Énergie

27.11.2024 | Beaulieu Lausanne



planen
koordinieren

Blitzschutz- systeme

begutachten
begleiten

Konzepte nach SN EN 62305
und SNR 464022

sowie Lösungen für:

- ⚡ Bauspezifische Vorgaben
- ⚡ Photovoltaikanlagen
- ⚡ Potenzialausgleich
- ⚡ Überspannungsschutz
- ⚡ Fundamenterder
- ⚡ Umsetzung / Ausführung

Mitgliedschaften und Aktivitäten
im Bereich Blitzschutz:

- ⚡ VDE ABB (Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung)
- ⚡ TK 37 Überspannungsableiter CES
- ⚡ TK 81 Blitzschutz CES inkl. Arbeitsgruppe 2021/2022 Revision SNR 464022 Blitzschutzsysteme

ARNOLD

ENGINEERING UND BERATUNG
AG für EMV und Blitzschutz

CH-8152 Opfikon / Glattbrugg
Wallisellerstrasse 75
Telefon 044 828 15 51

info@arnoldeub.ch, www.arnoldeub.ch