

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 115 (2024)

**Heft:** 3

**Artikel:** Vorausschauende Wartung des Netzes = Maintenance prédictive du réseau

**Autor:** Vogel, Benedikt

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1075069>

### **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>**



Ausgewertete Drohnen-  
aufnahmen von Isolato-  
ren. Fehlerhafte Scheiben  
sind blau eingerahmt.

# Vorausschauende Wartung des Netzes

**Forschungsprojekt** | Infrastrukturanlagen wie das Stromnetz werden für einen verlässlichen Betrieb regelmässig gewartet, um Abnutzungen und Beschädigungen früh zu erkennen. Ein Team der ETH Zürich hat zusammen mit Swissgrid Möglichkeiten einer vorausschauenden Instandhaltung des Stromnetzes untersucht, um Fehler mit Modellen des maschinellen Lernens automatisiert zu detektieren.

BENEDIKT VOGEL

Das Rückgrat des Schweizer Stromnetzes ist das landesweite Übertragungsnetz. Hochspannungsleitungen transportieren den Strom von den grossen Kraftwerken zu den Verteilnetzen in Städten und Gemeinden und gewährleisten den Stromaustausch mit den Nachbarländern. 6700 km Leitung führen an rund 12000 Masten quer durch das Land. Zum Übertragungsnetz gehören nebst allen Leitungen auch 147 Schaltanlagen.

Zwei Drittel des hiesigen Übertragungsnetzes stammen aus der Zeit vor 1980. Swissgrid, die Betreiberin des

Netzes, unternimmt jedes Jahr 12000 Inspektionen, um den zuverlässigen Betrieb des Netzes zu gewährleisten. Nicht nur der altersbedingte Verschleiss, auch Blitzschlag, Stürme, Hitze, Lawinen und Murgänge setzen den Anlagen zu. Zum Unterhalt gehören unter anderem das Aufbringen von Korrosionsschutz, der Tausch fehlerhafter Isolatoren oder die Sanierung defekter Masten und Betonsockel, aber auch das Schneiden von Bäumen. «Die anstehenden Instandsetzungsarbeiten werden nach den jährlich stattfindenden visuellen Kontrollen definiert»,

schreibt Swissgrid auf ihrer Webseite. Im Jahr 2018 hat die Netzgesellschaft sämtliche Leitungen und Unterwerke auf der Grundlage von Luftaufnahmen in einem digitalen 3D-Modell nachgebildet. Das Modell hilft seither bei der Planung von Wartungsarbeiten.

## Fehler automatisiert erkennen

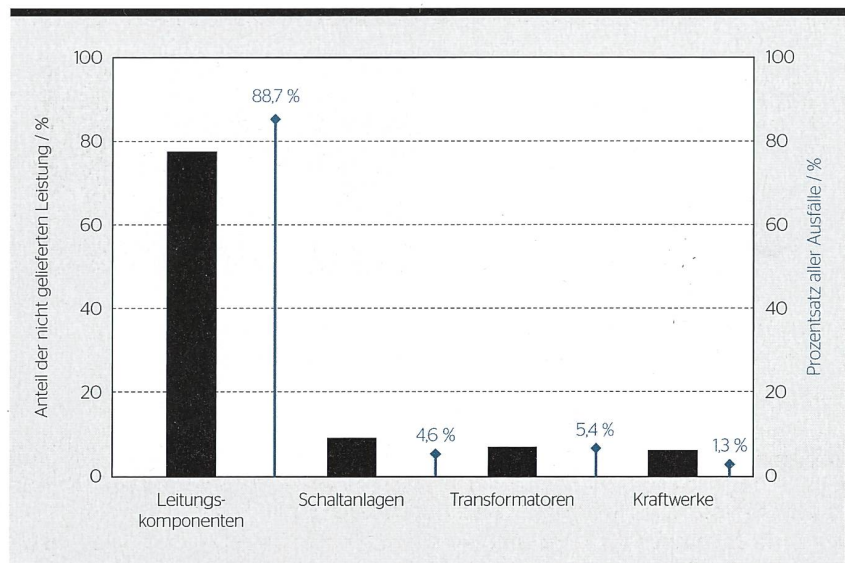
Forschende der ETH Zürich haben nun danach gefragt, wie Swissgrid den Unterhalt des Übertragungsnetzes im Sinne einer vorausschauenden Instandhaltung weiter verbessern könnte. «Vorausschauend» meint in diesem

Zusammenhang, dass Problemstellen im Netz frühzeitig und automatisiert erkannt werden. Der Fokus lag auf Freileitungen, Isolatoren und Transformatoren. «Die vorausschauende Wartung hat zum einen den Vorteil, dass sie auch unerwartete Probleme erkennen kann, zudem werden nicht Wartungsarbeiten auf Vorrat durchgeführt, was Personal und Geld spart», sagt Laya Das. Der promovierte Forscher indischer Herkunft arbeitet am ETH-Labor für «Reliability and Risk Engineering», das von Prof. Giovanni Sansavini geleitet wird. Das vom BFE unterstützte Forschungsprojekt wurde Ende 2023 abgeschlossen.

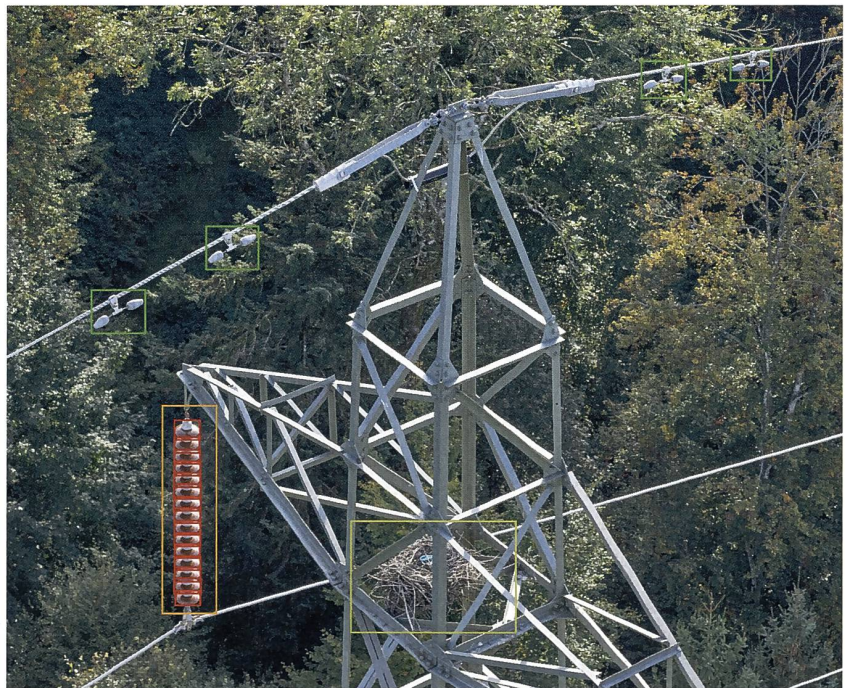
Ein Ansatz zur Fehleridentifikation im Übertragungsnetz bestand in der Auswertung von Drohnenaufnahmen. Mit den Bildern sollten fehlerhafte Isolatoren an den Hochspannungsmasten erkannt werden. Die Neuigkeit: Blitzspuren oder Brüche an den Keramikscheiben der Isolatoren sollten nicht durch Einzelauswertung der Fotos erkannt werden, sondern automatisiert durch Objekterkennungsprogramme, die zuvor mit Modellen für maschinelles Lernen trainiert wurden. Die ETH-Forschenden nutzten über 2000 Drohnenaufnahmen von Hochspannungsmasten aus der Schweiz, den USA und China. Im ersten Schritt charakterisierten sie die Bilder. Dann trainierten sie ein Modell für maschinelles Lernen mithilfe von YOLOv5 (You Only Look Once, Version 5). Das trainierte Objekterkennungsmodell erkennt den Isolator auf einem beliebigen Bild und identifiziert den Fehlertyp (Blitzspur, Bruch).

### Bereit für den Einsatz im Netz

Die Treffsicherheit eines Algorithmus wird in der Welt der automatisierten Objekterkennung ausgedrückt mit der «mean Average Precision» (mAP). Das ist eine Zahl, die einen Wert zwischen 0 (nicht erkannt) und 1 (zuverlässig erkannt) annehmen kann. Das von der ETH «angelernte» Programm erkennt gebrochene Isolatorscheiben mit einem mAP von 0,77, Blitzspuren mit einem mAP von 0,18. Die vergleichsweise schlechte Erkennung von Blitzspuren führen die Forscher auf den Umstand zurück, dass man in der Realität nur wenige solcher Scheiben antrifft und deshalb zu wenig Bilder verfügbar sind, um den Erkennungsalgorithmus hinreichend gut zu trainieren.



Daten aus dem italienischen Übertragungsnetz zeigen, dass Stromleitungen einschliesslich zugehöriger Leitungskomponenten am häufigsten ausfallen, und ihre Ausfälle die grössten Auswirkungen haben.



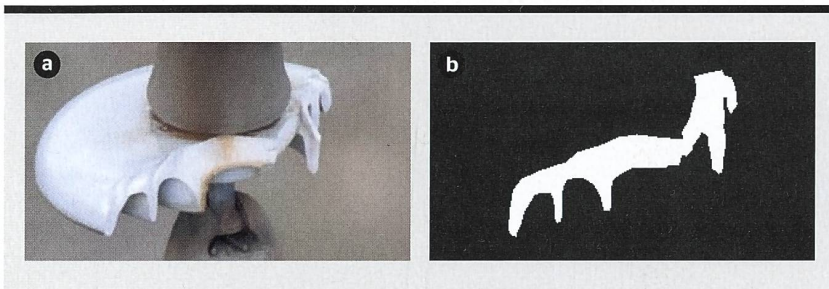
Programme zur Erkennung von Fehlern können neben Isolatoren auch Schwingungsdämpfer (grün) erfassen und Vogelnester (gelb) entdecken.

Um die Prognosegenauigkeit zu verbessern, wurde die Objekterkennung um einen zweiten Analyseschritt ergänzt, der dabei hilft, fehlerhafte Isolatorscheiben zu identifizieren. Dies geschieht mit einem Prozess zur Anomalieerkennung, ebenfalls gestützt auf maschinelles Lernen. «Unser Objekterkennungswerkzeug zum Auffinden fehlerhafter Isolatoren funktioniert gut und ist bereit für den Einsatz durch

Betreiber von Hochspannungsnetzen», sagt der gebürtige Mazedonier Blazhe Gjorgiev, der als promovierter Seniorwissenschaftler am ETH-Projekt beteiligt war.

### Versuch mit Tessiner Freileitung

Eine gute Datenbasis – damit steht und fällt auch ein zweiter Ansatz, den die ETH-Forschenden untersucht haben,



**a)** Gebrochenes Porzellan eines Kappenisolators und **b)** dessen Charakterisierung werden benutzt, um ein Erkennungsmodell für Anomalien zu trainieren.

um Fehler bei Übertragungsleitungen zu erkennen. Ausgangspunkt sind in diesem Fall nicht Drohnenaufnahmen, sondern hochaufgelöste Messwerte. Im Zentrum dieser Studie stand eine gut 26 km lange, in 26 Segmente unterteilte 220-kV-Freileitung von Avegno (bei Locarno) nach Gorduno (bei Bellinzona). Am Beginn und am Ende ist die Leitung mit modernen Messgeräten (Phasor Measurement Units/PMU) ausgerüstet, die in der Lage sind, Spannung und Strom 8000 Mal pro Sekunde zu messen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollten nun herausfinden, ob es gelingen könnte, allein aus dem Vergleich der Strom-Messwerte an beiden Leitungsenden herauszufinden, ob bzw. in welchem der 26 Segmente auf der 26 km langen Strecke Verlustströme auftreten. Dies wäre ein Indiz für fehlerhafte Isolatoren.

### Mangel an Daten über fehlerhaftes Netz

Als Mittel zum Zweck bildeten die Forschenden die Tessiner Übertragungsleitung mit einem physikalischen Modell (vereinfachter digitaler Zwilling) unter Verwendung der Software Matlab Simulink nach, das als Parameter unter anderem Widerstand, Kapazität und Induktivität nutzt. Hierbei wurden synthetische Daten (sie repräsentieren intakte und fehlerhafte Leitungsabschnitte) verwendet. Auf dem Weg gelang es, in Simulationen und unter Einbezug von Modellen des maschinellen Lernens schadhafte Isolatoren über Verlustströme zu erkennen und zu lokalisieren. Dies gelang mit drei Machine-Learning-Modellen (Feed forward neural network/FNN, Recursive neural network/RNN, Convolutional neural network/CNN) mit einer Vorhersagegüte von über 98%.

Es werden also mindestens 98 von 100 schadhafte Stellen mit Verlustströmen automatisch erkannt.

Obwohl dies ein erstaunliches Resultat ist, wird der ETH-Forscher Gjorgiev trotzdem nicht glücklich damit: «Auf Anhieb sieht dieses Ergebnis toll aus. Für die praktische Anwendung taugt unser Modell jedoch noch nicht, denn unser physikalisches Modell basiert auf den Daten eines funktionierenden Stromnetzes.» Bedauerlicherweise habe das Projektteam keine Messdaten, die aus Fehlern im Netz stammen, in seine Untersuchung einbeziehen können, sagt Blazhe Gjorgiev. Daher habe das Team keine Möglichkeit gehabt zu validieren, ob das Fehlerlokalisierungsmodell in der Praxis tatsächlich korrekt ist. Das Vorgehen liefere aber den «Proof of concept», dass ein solcher Ansatz bei ausreichenden Daten für die Modellentwicklung verwendet werden könnte.

### Fehlersuche bei Transformatoren

Das Projektteam der ETH hat die Idee der vorausschauenden Instandhaltung auch bei Transformatoren untersucht. Letztere sind technisch komplexer als Freileitungen und Isolatoren. Um die Funktionstüchtigkeit von Transformatoren zu beurteilen, wird seit vielen Jahren die DGA-Methode (Dissolved Gas Analysis bzw. Analyse gelöster Gase) angewendet. Hierbei wird das Öl, das im Transformator als Isolator und Kühlmittel wirkt, chemisch untersucht. Die ermittelten Gasrückstände lassen Rückschlüsse auf thermische und elektrische Fehler im Transformator zu.

Die ETH-Forschenden zielten auch hier darauf ab, die Fehlererkennung durch Einsatz von Modellen des maschinellen Lernens zu automatisie-

ren. Swissgrid und die Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH) stellten Daten von mehreren Tausend DGA-Proben zur Verfügung. Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern gelang es, durch automatisierte Auswertung der Proben auf der Basis von statistischen (konventionellen) Modellen und Machine-Learning-Modellen auffällige DGA-Proben, die auf einen Fehler im Transformator deuten, mit einer geschätzten Genauigkeit von 70 bis 90 % zu bestimmen. Ob der Einbezug von maschinellem Lernen hier tatsächlich einen Vorteil bringt, müssen die Forschenden aus methodischen Gründen offenlassen.

### Planungstool für Instandhaltungsarbeiten

Die ETH-Forschenden haben dem Projektpartner Swissgrid als Ergebnis ihres Projekts drei Tools zur Verfügung gestellt: ein Deep-Learning-Modell zur Erkennung schadhafter Isolatoren auf der Grundlage von Drohnenaufnahmen; einen Algorithmus, der bei der Auswertung von DGA-Daten bei Transformatoren hilft; und schliesslich ein trainiertes Machine-Learning-Modell zur Diagnose von Transformatorfehlern aus DGA-Daten.

Nach Auskunft von ETH-Forscher Blaze Gjorgiev könnten die jüngsten Erkenntnisse auch von Bedeutung für jene Schweizer Verteilnetzbetreiber sein, die eigene Hochspannungsnetze betreiben. Überdies könnten auch Mittel- und Niederspannungsnetze von fortschrittlichen maschinellen Lernmethoden zur Fehlererkennung profitieren, sagt Gjorgiev. Die Anwendbarkeit der in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse auf Anlagen aus anderen Spannungsebenen müsse noch weiter untersucht werden.

#### Literatur

- Der Schlussbericht zum Forschungsprojekt «IMAGE - Intelligent Maintenance of Transmission Grid Assets» ist abrufbar unter:  
[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=48027](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=48027).
- Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizität finden Sie unter [www.bfe.admin.ch/ec-strom](http://www.bfe.admin.ch/ec-strom).

#### Autor

- Dr. **Benedikt Vogel** ist Wissenschaftsjournalist.
- Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin
- [vogel@vogel-komm.ch](mailto:vogel@vogel-komm.ch)

Auskünfte zum Forschungsprojekt erteilt Michael Moser ([michael.moser@bfe.admin.ch](mailto:michael.moser@bfe.admin.ch)), Leiter des BFE-Forschungsprogramms «Netze».



Photo d'un isolateur, prise par un drone puis analysée. Les disques défectueux sont encadrés en bleu.

# Maintenance prédictive du réseau

**Projet de recherche** | Les infrastructures telles que le réseau électrique sont régulièrement entretenues afin de garantir un fonctionnement fiable et de détecter rapidement les usures et les dommages. Une équipe de l'ETH Zurich a étudié, en collaboration avec Swissgrid, quelles possibilités pourrait offrir la maintenance prédictive du réseau électrique en vue de détecter automatiquement les défauts à l'aide de modèles d'apprentissage automatique.

**BENEDIKT VOGEL**

**L**e réseau de transport constitue l'épine dorsale du réseau électrique suisse. Les lignes à haute tension transportent l'électricité depuis les grandes centrales jusqu'aux réseaux de distribution des villes et des communes, et garantissent l'échange d'électricité avec les pays voisins. 6700 km de lignes fixés à environ 12000 pylônes traversent ainsi le pays. Outre ces lignes, le réseau de transport comprend également 147 postes de couplage.

Les deux tiers du réseau de transport suisse datent d'avant 1980. Swissgrid, la Société nationale pour l'exploitation du réseau, procède ainsi chaque année

à 12000 inspections afin de garantir une exploitation fiable du réseau. Outre l'usure due au vieillissement, la foudre, les tempêtes, la chaleur, les avalanches et les coulées de boue sont autant d'autres facteurs qui mettent à mal les installations. L'entretien comprend, entre autres, l'application d'une protection anticorrosion, le remplacement d'isolateurs défectueux ou la rénovation de pylônes et de socles en béton abîmés, mais aussi l'élagage des arbres. « Les travaux à effectuer sont définis après des contrôles visuels qui ont lieu tous les ans », écrit Swissgrid sur son site Internet. En 2018, l'exploitant du réseau a reproduit l'ensemble des

lignes et des sous-stations dans un modèle numérique 3D, sur la base de photos aériennes. Depuis, ce modèle aide à planifier les travaux de maintenance.

## Détection automatique des défauts

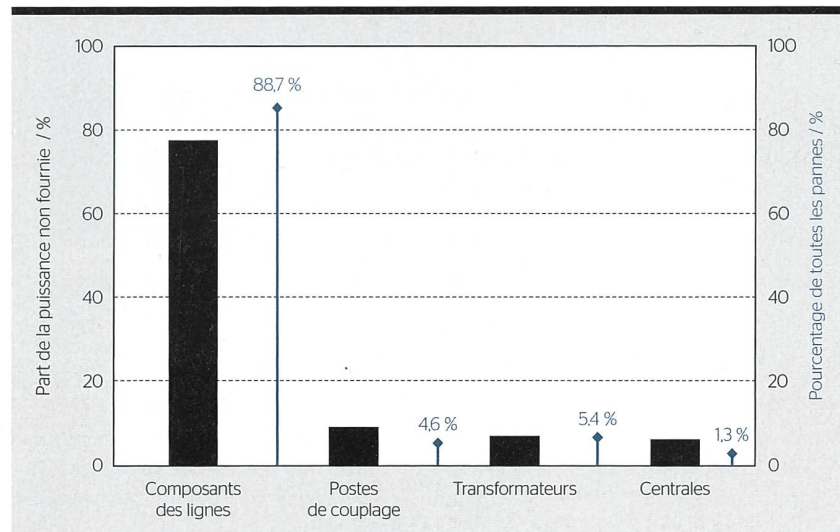
Des chercheurs de l'ETH Zurich se sont demandé comment Swissgrid pourrait encore améliorer l'entretien du réseau de transport en ayant recours à la maintenance prédictive. À noter que dans ce contexte, « prédictif » signifie détecter à temps et de manière automatisée les points problématiques du réseau. L'accent a été mis sur les lignes aériennes,

les isolateurs et les transformateurs. «La maintenance prédictive a, d'une part, l'avantage de pouvoir aussi détecter des problèmes auxquels on ne s'attendait pas et, d'autre part, les travaux de maintenance ne sont pas effectués en réserve, ce qui permet d'économiser du personnel et de l'argent», explique Laya Das. Ce chercheur d'origine indienne, titulaire d'un doctorat, travaille au sein du laboratoire «Reliability and Risk Engineering» de l'ETH Zurich, dirigé par le professeur Giovanni Sansavini. Le projet de recherche, soutenu par l'OFEN, s'est achevé fin 2023.

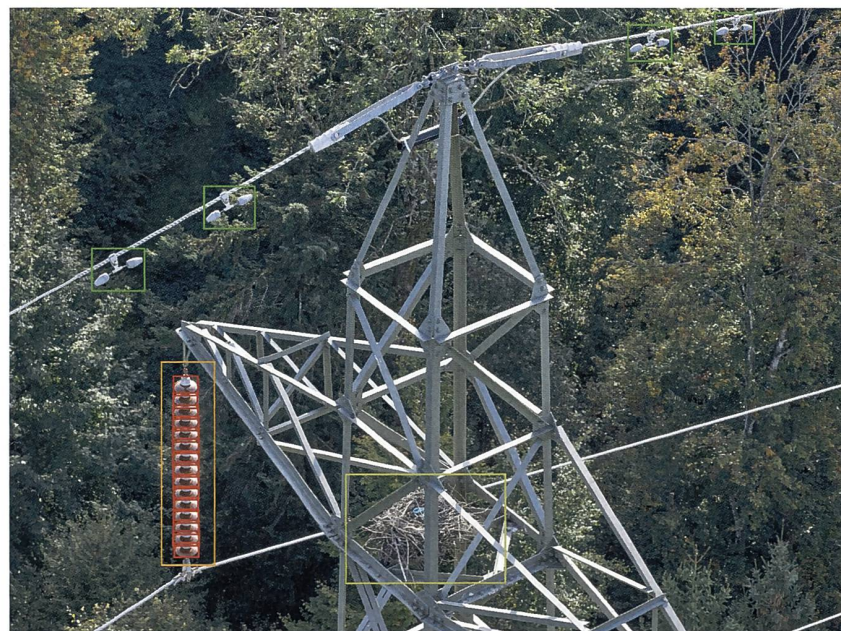
Une approche pour l'identification des défauts dans le réseau de transport consistait à analyser des photographies prises par des drones. Ces images devaient permettre de détecter les isolateurs défectueux sur les pylônes à haute tension. La nouveauté: les traces laissées par la foudre ou les disques en céramique endommagés des isolateurs ne devaient pas être détectés par l'analyse individuelle des photos, mais de manière automatisée par des programmes de reconnaissance des objets préalablement entraînés avec des modèles d'apprentissage automatique. Pour ce faire, les chercheurs de l'ETH ont utilisé plus de 2000 photos de pylônes à haute tension prises par des drones en Suisse, aux États-Unis et en Chine. Dans un premier temps, ils ont caractérisé les images. Ils ont ensuite entraîné un modèle d'apprentissage automatique à l'aide de l'algorithme YOLOv5 (You Only Look Once, Version 5). Une fois entraîné, le modèle de reconnaissance d'objets était à même de reconnaître l'isolateur sur n'importe quelle image et d'identifier le type de défaut (trace de foudre, rupture).

### Prêt pour une utilisation sur le réseau

Dans le domaine de la reconnaissance d'objets automatisée, la précision d'un algorithme est exprimée par le mAP (mean Average Precision). Il s'agit d'un nombre qui peut prendre une valeur comprise entre 0 (non reconnu) et 1 (reconnu de manière fiable). Le programme «formé» par l'ETH reconnaît les disques brisés des isolateurs avec un mAP de 0,77 et les traces de foudre avec un mAP de 0,18. Les chercheurs attribuent la reconnaissance relativement mauvaise des traces de foudre au fait que l'on ne rencontre que peu de disques



Les données du réseau de transport italien montrent que les lignes électriques et leurs composants sont à l'origine de la plupart des pannes d'électricité et sont responsables de la part la plus importante de la puissance non fournie aux consommateurs. En d'autres termes, ce sont leurs défaillances qui sont les plus fréquentes et qui ont le plus d'impact.



Outre les isolateurs, les programmes de détection des défauts peuvent également détecter les amortisseurs de vibrations (en vert) et les nids d'oiseaux (en jaune).

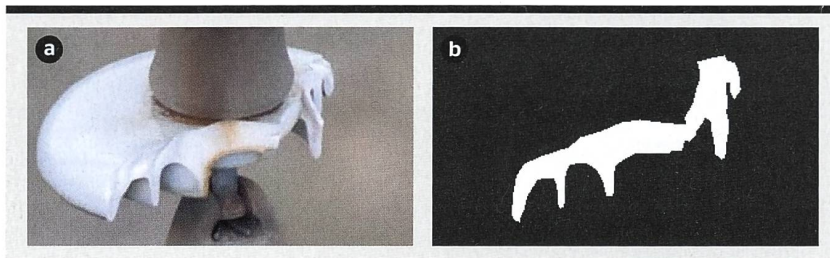
atteints par la foudre dans la réalité et qu'il y a donc trop peu d'images disponibles pour entraîner suffisamment l'algorithme de reconnaissance.

Afin d'améliorer la précision des prévisions, la reconnaissance des objets a été complétée par une deuxième étape d'analyse qui aide à identifier les disques défectueux des isolateurs. Cela se fait à l'aide d'un processus de détection d'anomalies, également basé sur l'apprentissage automatique. «Notre outil de reconnaissance d'objets pour la

recherche d'isolateurs défectueux fonctionne bien et est prêt à être utilisé par les exploitants de réseaux à haute tension», déclare Blazhe Gjorgiev, Macédonien d'origine, qui a participé au projet de l'ETH en tant que scientifique senior titulaire d'un doctorat.

### Essai avec une ligne aérienne tessinoise

Une bonne base de données: il s'agit là de la condition sine qua non d'une deuxième approche que les chercheurs



a) Un isolateur de suspension dont la porcelaine est brisée et b) la caractérisation de sa fracture sont utilisés pour entraîner un modèle de détection des anomalies.

de l'ETH ont étudiée pour détecter les défauts dans les lignes de transport. Dans ce cas, le point de départ n'est pas une série de photographies prises par des drones, mais des mesures à haute résolution. Cette étude s'est concentrée sur une ligne aérienne de 220 kV, longue de 26 km et divisée en 26 segments, reliant Avegno (près de Locarno) à Gorduno (près de Bellinzone). À ses deux extrémités, la ligne est équipée d'appareils de mesure modernes (Phasor Measurement Units, PMU) capables de mesurer la tension et le courant 8000 fois par seconde.

Les scientifiques ont voulu savoir si, en comparant uniquement les valeurs de mesure du courant aux deux extrémités de la ligne, il était possible de détecter la présence de courants de fuite dans la ligne de 26 km et, le cas échéant, dans lequel des 26 segments. Cela indiquerait la présence d'isolateurs défectueux.

### Manque de données à propos du réseau défectueux

Pour parvenir à leurs fins, les chercheurs ont utilisé le logiciel Matlab Simulink pour réaliser un modèle physique (un jumeau numérique simplifié) reproduisant la ligne de transport tessinoise. Celui-ci utilise notamment comme paramètres la résistance, la capacité et l'inductance. Pour ce faire, des données synthétiques (représentant des segments de ligne intacts et défectueux) ont été employées. Au cours de ce processus, il a été possible – dans des simulations et en utilisant des modèles d'apprentissage automatique – de détecter et de localiser des isolateurs défectueux via des courants de fuite. Et ceci grâce à trois modèles d'apprentissage automatique – Feed forward neural network (FNN), Recursive neural network (RNN) et Convolutional neural network (CNN) –, et avec

une qualité de prédiction de plus de 98%. Cela signifie qu'au moins 98 points défectueux sur 100 présentant des courants de fuite sont détectés automatiquement.

Bien qu'il s'agisse d'un résultat étonnant, Blazhe Gjorgiev n'en est pas pour autant satisfait: « D'emblée, ce résultat a l'air formidable. Mais notre modèle ne convient pas encore pour une application pratique, car notre modèle physique se base sur les données d'un réseau électrique qui fonctionne. » Malheureusement, l'équipe du projet n'a pas pu inclure dans son étude des données de mesure provenant de défaillances du réseau, explique-t-il. Elle n'a donc pas eu la possibilité de valider le modèle de localisation des défauts dans la pratique. La procédure prouve toutefois qu'une telle approche pourrait être utilisée pour le développement de modèles, pour autant que les données soient suffisantes.

### Recherche de défauts dans les transformateurs

L'équipe de projet de l'ETH a également étudié l'idée de la maintenance prédictive pour les transformateurs. Ces derniers sont techniquement plus complexes que les lignes aériennes et les isolateurs. Pour évaluer le bon fonctionnement des transformateurs, on utilise depuis de nombreuses années la méthode DGA (Dissolved Gas Analysis ou analyse des gaz dissous). Cette dernière consiste en une analyse chimique de l'huile qui sert d'isolant et de réfrigérant dans le transformateur. Une fois les résidus de gaz déterminés, ceux-ci permettent de tirer des conclusions sur les défauts thermiques et électriques du transformateur.

Ici aussi, les chercheurs de l'ETH ont visé à automatiser la détection des défauts en utilisant des modèles d'apprentissage automatique. Swissgrid et la

Commission d'étude des questions relatives à la haute tension (FKH) ont mis à disposition les données de plusieurs milliers d'échantillons DGA. Les scientifiques ont réussi, grâce à une évaluation automatisée des échantillons sur la base de modèles statistiques (conventionnels) et de modèles d'apprentissage automatique, à détecter les échantillons DGA indiquant un défaut dans le transformateur avec une précision estimée entre 70 et 90%. Quant à la question de savoir si l'intégration de l'apprentissage automatique apporte réellement un avantage dans ce domaine, les chercheurs doivent la laisser en suspens pour des raisons méthodologiques.

### Outil de planification pour les travaux de maintenance

À titre de résultat, les chercheurs de l'ETH ont mis trois outils à la disposition de Swissgrid, qui était partenaire du projet: un modèle de type deep learning pour la détection d'isolateurs défectueux sur la base d'images prises par des drones; un algorithme qui aide à l'évaluation des données DGA des transformateurs; et enfin un modèle de machine learning entraîné pour le diagnostic des défauts des transformateurs à partir de données DGA.

Selon Blaze Gjorgiev, ces dernières découvertes pourraient également être importantes pour les gestionnaires de réseaux de distribution suisses qui exploitent leurs propres réseaux à haute tension. En outre, les réseaux à moyenne et basse tension pourraient également bénéficier de méthodes d'apprentissage automatique avancées pour la détection des défauts, explique-t-il. L'applicabilité des connaissances acquises au cours de ce projet aux installations d'autres niveaux de tension doit encore être étudiée.

#### Littérature complémentaire

- Le rapport final du projet de recherche « IMAGE - Intelligent Maintenance of Transmission Grid Assets » peut être consulté à l'adresse suivante: [www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=48027](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=48027)
- Vous trouverez plus d'articles spécialisés concernant les projets pilotes, de recherche, de démonstration et les projets phares dans le domaine de l'électricité sur: [www.bfe.admin.ch/ec-electricite](http://www.bfe.admin.ch/ec-electricite)

#### Auteur

- D' **Benedikt Vogel** est journaliste scientifique.
- Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin
- [vogel@vogel-komm.ch](mailto:vogel@vogel-komm.ch)

Des informations complémentaires peuvent être obtenues auprès de Michael Moser ([michael.moser@bfe.admin.ch](mailto:michael.moser@bfe.admin.ch)), responsable du programme de recherche « Réseaux » de l'OFEN.

## Verleihen Sie Ihrer Karriere neuen Schwung

### »» **Elektroprojektleiter/-in mit eidg. Fachausweis**

4 Semester

Richtung Installation und Sicherheit oder Planung

### »» **Passerelle Elektrotechniker/-in HF**

In 3 Semestern vom/von der Projektleiter/-in zum HF-Abschluss

### »» **Dipl. Elektrotechniker/-in HF**

6 Semester

Inkl. Energietechnik und Gebäudeautomation

### »» **Teamleiter/-in Gewerbe**

5 Tage, Grundlagen der Teamführung



Jetzt informieren unter:

[www.siu.ch/elektro](http://www.siu.ch/elektro) - 044 515 72 27



## Vorreiter im MEMS- Bauteilentwurf

mit COMSOL Multiphysics®

Multiphysik-Simulationen sind von grundlegender Bedeutung für die Entwicklung erfolgreicher MEMS-Bauelemente. Die Berücksichtigung von gekoppelten physikalischen Phänomenen ermöglicht es, das Verhalten eines Designs vorherzusagen, zu optimieren und unter realen Bedingungen zu testen - noch bevor der erste Prototyp gebaut wird.



ERFAHREN SIE MEHR

[comsol.com/offers/mems-device-innovation-de](http://comsol.com/offers/mems-device-innovation-de)

COMSOL