

## Entkupplungsschutz in Energieerzeugungsanlagen Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz richtig prüfen

Bryan Fleuth B. Eng., Product Manager, KoCoS Messtechnik AG, Korbach, Germany

*Aufgrund der stetig steigenden Anzahl von dezentralen Energieerzeugungsanlagen sind die Anlagenbetreiber dazu verpflichtet, vermehrt den Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz) zu installieren. Dieser muss den Richtlinien entsprechend geprüft und die Funktionalität in einem Prüfprotokoll bestätigt werden. Die verschiedenen Prüfanweisungen lassen jedoch teilweise große Interpretationsspielräume offen, die zu Unklarheiten führen. KoCoS hat die Anweisungen genauer betrachtet und zeigt Lösungen zur Durchführung von Q-U-Schutzprüfungen.*

Der Anteil der regenerativen Energien am Gesamtstromverbrauch Deutschlands hat in den letzten 20 Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Machten regenerative Energien im Jahre 2000 noch 6% des Gesamtverbrauchs aus, waren es 2018 bereits 38%. Bis zum Jahr 2025 soll eine Steigerung auf 40-45% erfolgen. Der Großteil wird dabei durch Wind- und Sonnenenergie bereitgestellt [1]. Bei der Windenergie war Deutschland 2019 mit einer installierten Gesamtleistung über 53 GW europaweit führend [2]. Aufgrund der Leistungsgröße der einzelnen Erzeugungsanlagen erfolgt der Anschluss direkt an die Mittelspannungs- und Hochspannungsnetze. Netzbetreiber waren dazu angehalten, ihren Systemschutz zu überdenken und an die neuen Netzstrukturen anzupassen. Als Reaktion darauf wurde der Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz) in die technischen Anschlussbedingungen aufgenommen. In diesen Richtlinien sind neben der Funktionsweise auch die Einstellwerte weitestgehend vorgegeben.

### Q-U-Schutz für mehr Systemstabilität

Der Q-U-Schutz dient im Gegensatz zu Überstromschutz oder Distanzschutz nicht dem Schutz eines bestimmten Objektes wie Generatoren oder Leitungen.

Beim Q-U-Schutz handelt es sich in erster Linie um einen Systemschutz, der dazu dient, einen sicheren Betriebszustand des Energienetzes zu gewährleisten. Mit Hilfe des Q-U-Schutzes werden Energieerzeugungseinheiten vom Netz getrennt, die bei einem Systemfehler im Energienetz den entstehenden Spannungstrichter verstärken würden. So soll ein vollständiger Spannungskollaps verhindert und die Systemstabilität erhöht werden.

### Blindleistungsüberwachung und Unterspannungsschutz

Für die folgende Betrachtung der Funktionsblöcke des Q-U-Schutzes werden die Standardwerte aus dem „Lastenheft Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz“ herangezogen. Die konkreten Parameterwerte können anlagenabhängig abweichen und werden vom Netzbetreiber vorgegeben [3].

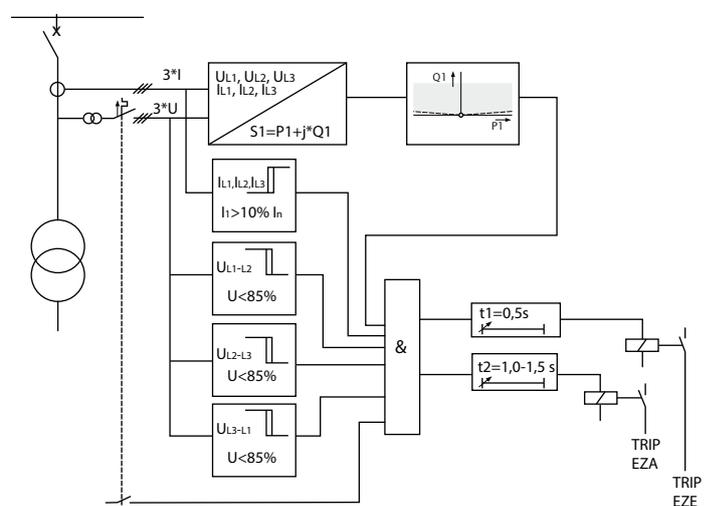
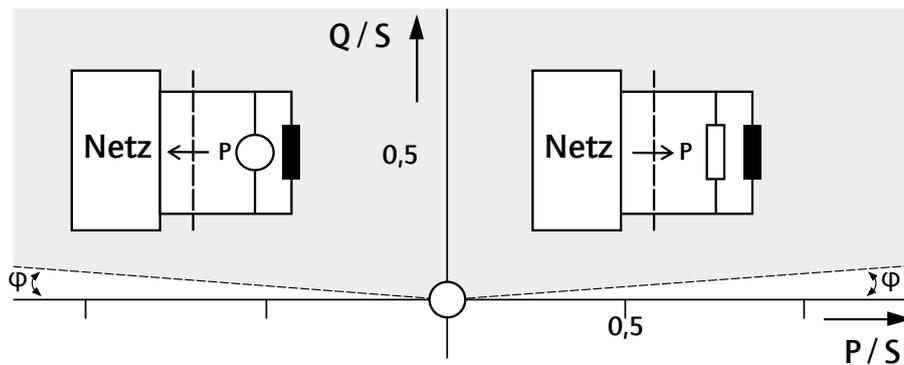


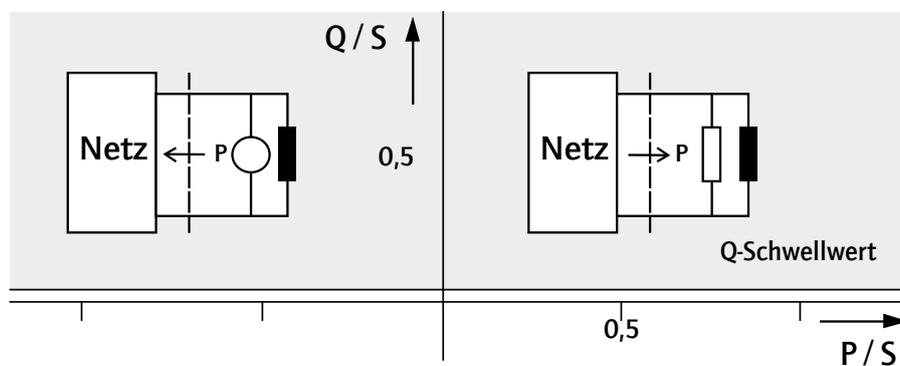
Abbildung 1: Blockschaftbild des Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutzes [3]

Hauptbestandteil des Q-U-Schutzes ist das Blindleistungskriterium. Dieser Funktionsblock überwacht, ob die Energieerzeugungsanlage (EZA) induktive Blindleistung aus dem Netz bezieht und somit im Fehlerfall nicht zur Spannungsstützung beiträgt. Zur Beschreibung der Leistungsebene wird hierbei das Verbraucherzählpfeilsystem verwendet. Für das Blindleistungskriterium stehen zwei Varianten zur Festlegung des Auslösebereichs zur Auswahl. Um eine Überfunktion der Blindleistungserkennung zu verhindern, wird bei Variante 1 die Kennlinie um den Winkel  $\varphi$  geneigt und mit einem Mindeststrom  $I_1$  verknüpft. Variante 2 wird durch eine reine Blindleistungsschwelle (Gerade parallel zur Wirkleistungsachse) realisiert. Auch hierbei kann zusätzlich ein Mindeststromkriterium eingebunden werden, was jedoch nicht zwingend erforderlich ist [3].

Für die folgenden Erläuterungen und Beispiele wird eine Blindleistungsüberwachung nach Variante 1 mit einem Neigungswinkel von  $\varphi = 3^\circ$  und ein Mindeststrom  $I_1 = 0,10 I_n$  angenommen. Zusätzlich wird die Blindleistungsüberwachung mit einem Unterspannungsschutz verknüpft. Hierbei ist zu beachten, dass die Überwachung der einzelnen Außenleiterspannungen nicht wie beim reinen Unterspannungsschutz ODER- sondern UND-verknüpft ist. Es müssen also alle drei Außenleiterspannungen den Grenzwert von  $U_{LL < Q U} = 0,85 U_n$  unterschreiten. Liegen sowohl die Blindleistung als auch die Außenleiterspannungen im Auslösebereich, werden zwei Zeitstufen gestartet. Nach  $t_1 = 0,5 \text{ s}$  werden die Energieerzeugungseinheiten (EZE) am Generator-Leistungsschalter vom Netz getrennt. Reagieren diese nicht, wird nach Ablauf der zweiten Zeitstufe  $t_2 = 1,5 \text{ s}$  die gesamte EZA vom Netz getrennt.



Auslösebereich der Blindleistungskennlinie (Variante 1)



Auslösebereich bei konstanter Blindleistungsüberwachung (Variante 2)

Abbildung 2: Varianten für den Auslösebereich der Blindleistungsrichtungserkennung

### Prüfanweisungen richtig umsetzen

Durch die stetig steigende Anzahl an dezentralen Energieerzeugungsanlagen, die durch verschiedene Richtlinien verpflichtend mit einem Q-U-Schutz ausgestattet werden müssen, stieg in den letzten Jahren auch die Nachfrage nach Schutzprüfungen an. Da die Anlagenbetreiber diese in den meisten Fällen nicht selbst durchführen können, entstand ein neuer, ständig wachsender Geschäftsbereich für technische Dienstleistungen. Aufgrund der limitierten Verfügbarkeit von Schutzprüfern setzten sich nun auch Unternehmen, die Energieerzeugungsanlagen errichten, mit der Schutzprüfung auseinander, um dem Betreiber die Anlage samt Inbetriebnahme-Prüfung fristgerecht übergeben zu können. Für diese Unternehmen ist eine Prüfanweisung unerlässlich, da die Schutzprüfung nicht zum Kerngeschäft zählt.

Da die Richtlinien zusätzlich zur Beschreibung der Schutzfunktion jedoch keine detaillierte Prüfanweisung festlegen, wurden von verschiedenen Stellen eigens erstellte Anweisungen veröffentlicht. Diese sind auf den ersten Blick weitestgehend identisch und enthalten die erforderlichen Prüfschritte. Bei genauerer Betrachtung lassen sie jedoch einen gewissen Interpretationsspielraum offen, der dazu führt, dass es teilweise zu Unklarheiten bzw. Fehlinterpretationen der Ergebnisse bei der Prüfung kommt.

### Spannungsprüfung

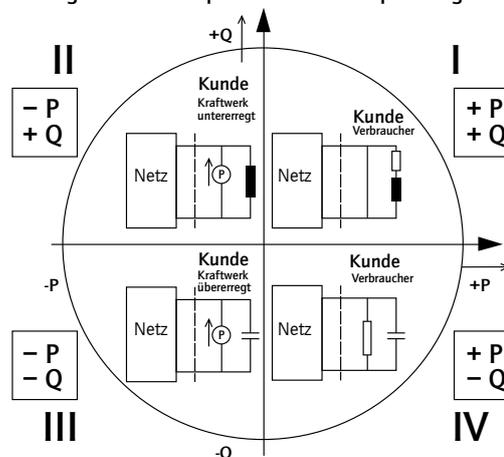
Begonnen wird zumeist mit der Spannungsprüfung. Strom und Winkel werden so eingestellt, dass das Auslösekriterium erfüllt wäre. Folgt dann die symmetrische Absenkung der Spannung, sollte bei  $0,85 U_n$  das Anrege- bzw. Auslösesignal anliegen und die Rückfallprüfung kann eingeleitet werden. Dieser Punkt ist bei allen Anweisungen verständlich und eindeutig beschrieben. Im nächsten Schritt muss nun die UND-Verknüpfung der Unterspannungsüberwachung geprüft werden. Dazu findet sich häufig die Aussage, dass die Spannungen ein- und zweiphasig auf  $0 V$  heruntergefahren werden müssen und in diesen Fällen keine Auslösung auftreten darf. Da Prüfsysteme meist mit Strangspannungen arbeiten, würden nun bei einfachster Interpretation erst die Strangspannungen einzeln und danach jeweils zwei Strangspannungen gleichzeitig auf  $0 V$  abgesenkt. Bei dieser Betrachtung muss jedoch beachtet werden, dass der Q-U-Schutz wie oben beschrieben die Außenleiterspannungen überwacht. Wird zunächst der einphasige

Spannungsabfall geprüft, ist das Unterspannungskriterium nicht erfüllt, da eine Außenleiterspannung auf der Nennspannung verbleibt. Für die zweiphasige Absenkung der Spannung würden nun analog zwei Strangspannungen von Nennspannung auf  $0 V$  heruntergefahren. In diesem Fall würden alle 3 Außenleiterspannungen unter  $0,85 U_n$  absinken. Eine Außenleiterspannung hätte  $0 V$  und die anderen beiden würden auf den Wert der Strangspannung absinken. In diesem Zustand wäre das Unterspannungskriterium erfüllt und der Schutz würde auslösen. Da für eine erfolgreiche Prüfung jedoch keine Auslösung stattfinden darf, könnte die Prüfung fälschlicherweise als nicht bestanden ausgewertet werden. Wird jedoch ein realer zweiphasiger Spannungsfehler nachgebildet, bei dem die Strangspannungen aufeinander zulaufen, würde keine Auslösung stattfinden, da zwei Außenleiterspannungen  $>0,85 U_n$  verbleiben, während eine auf  $0 V$  absinkt [4].

### Auslösewinkel

Im Anschluss an die Spannungsprüfung soll der Auslösewinkel geprüft werden. Dazu müssen die Spannungs- und Stromwerte das Auslösekriterium sicher erfüllen. Dazu werden beispielsweise alle Spannungen auf  $0,82 U_n$  und die Ströme auf  $0,2 I_n$  festgesetzt. Wie oben beschrieben wird das Verbraucherzählpfeilsystem verwendet und der Auslösebereich liegt in den Quadranten 1 und 2.

untererregter Betrieb / Spule / induktiv / spannungssenkend



übererregter Betrieb / Kondensator / kapazitiv / spannungssteigernd

Abbildung 3: Beschreibung der Leistungsebene unter Verwendung des Verbraucherzählpfeilsystems [5]

Zur Prüfung des Auslösewinkels müsste nun der Zeiger der Scheinleistung  $S$  schrittweise vom dritten in den zweiten Quadranten bzw. vom vierten in den ersten Quadranten gedreht werden. Zu dieser Prüfung lassen sich einerseits sehr komplexe Anweisungen finden, deren Beschreibung teilweise zu Verwirrung führen kann. Andererseits gibt es einfach beschriebene Anweisungen, die jedoch nicht zu dem gewünschten Ergebnis führen. Diese Anweisungen beruhen auf der Veränderung des Winkels der Ströme in Bezug auf die Spannungswinkel. Hierbei wird jedoch der Zusammenhang zum Leistungswinkel teilweise nicht korrekt unter Einbeziehung des Erdungspunkts der Stromwandler berücksichtigt.

### Freigabestrom

Bei der abschließenden Prüfung des Freigabestroms sind kaum Unklarheiten bzw. Interpretationsspielräume zu identifizieren. Prinzipiell wird die Prüfung ähnlich der symmetrischen Spannungsabsenkung durchgeführt. Hierbei wird jedoch die Spannung in den sicheren Auslösebereich gelegt und der Strom schrittweise bis zur Anregung/Auslösung symmetrisch erhöht.

### Eindeutige Prüfpläne erstellen

Grundlegend sind die Prüfanweisungen für den Q-U-Schutz identisch aufgebaut. Wie oben gezeigt, kann es jedoch teilweise zu offenen Fragen kommen. Daher soll ein eindeutiger Prüfplan erstellt werden, der keinerlei Interpretationsspielraum offen lässt.

Bei der Spannungsprüfung müssen Blindleistungsbezug (bzw. Winkel) und die Ströme konstant im sicheren Auslösebereich liegen. Beide Kriterien sind erfüllt, wenn die Ströme mit einem Betrag von  $I > 0,2 I_n$  und die Winkel zu den Spannungen so eingestellt werden, dass der Leistungsvektor einen Winkel von  $90^\circ$  aufweist. In der Leistungsebene würde dies einem reinen Blindleistungsbezug ohne Wirkleistung entsprechen. Anschließend werden die Spannungen, von der Nennspannung ausgehend, symmetrisch abgesenkt, wobei die Stufenlänge mindestens 2 s betragen sollte. So können Anregezeit und Auslösezeit geprüft werden. Nach der Auslösung werden die Spannungen wieder symmetrisch gesteigert, um den Rückfallwert zu bestimmen. Im nächsten Schritt wird die UND-Verknüpfung der Spannungen geprüft. Zunächst werden die einzelnen Strangspannungen einphasig bis auf 0 V abgesenkt, wobei keine Auslösung auftreten darf. Abschließend müssen die einzelnen Außenleiterspannungen unter Berücksichtigung des

korrekten physikalischen Verhaltens auf 0 V abgesenkt werden. Auch hier darf keine Auslösung auftreten. Für die Prüfung des Auslösewinkels werden die Spannungen auf  $U < 0,82 U_n$  und die Ströme wie bei der Spannungsprüfung auf  $I > 0,2 I_n$  eingestellt. Wie oben beschrieben, müssen nun die Winkel der Ströme so verändert werden, dass sich der Winkel der Scheinleistung zum einen vom dritten in den zweiten Quadranten und zum anderen vom vierten in den ersten Quadranten dreht. Auch hier muss eine Stufenlänge von mindestens 2 s gewählt und eine Rückfallprüfung durchgeführt werden. Für die Prüfung des Freigabestroms ist die Spannung erneut auf  $U < 0,82 U_n$  und der Winkel des Stroms auf eine sichere Auslösung wie beispielsweise einen reinen Blindleistungsbezug einzustellen. Zur Prüfung wird der Strom beginnend mit 0 A mit einer Stufenlänge von 2 s schrittweise bis zum Anregezeit erhöht und die Auslösezeit aufgenommen. Alle Ergebnisse sind in einem Prüfbericht festzuhalten. Diesen hat der Anlagenbetreiber auf Verlangen des Netzbetreibers vorzulegen. Die beschriebenen Prüfschritte beziehen sich nur auf die Prüfung der Q-U Schutzfunktion. Weitere Prüfungen wie Auslösung mit Schalterfall sind gegebenenfalls mit in den Prüfplan aufzunehmen.

### Automatische Prüfung mit ARTES RC3 und Smartphone

Die KoCoS Messtechnik AG entwickelt und produziert seit mehr als 20 Jahren Systeme zur Prüfung von Schutzrelais aller Art. Mit dem ARTES RC3 wurde jetzt ein Prüfsystem vorgestellt, das auf die Prüfung des Entkuppungsschutzes hin optimiert wurde. Es wurde auf das für diesen Zweck Notwendigste reduziert und ausgestattet mit einer 5"-Bedieneinheit in ein robustes Gehäuse integriert.



Abbildung 4: ARTES RC3 –Automatisches Relais-Prüfsystem, optimiert für die Prüfung des Entkuppungsschutzes

Abbildung 5: Q-U-Schutzprüfung mit ARTES RC3. Die erforderlichen Parameter für Nennwerte und Fehlerwerte sowie die Konfiguration werden direkt über die Bedieneinheit eingestellt.

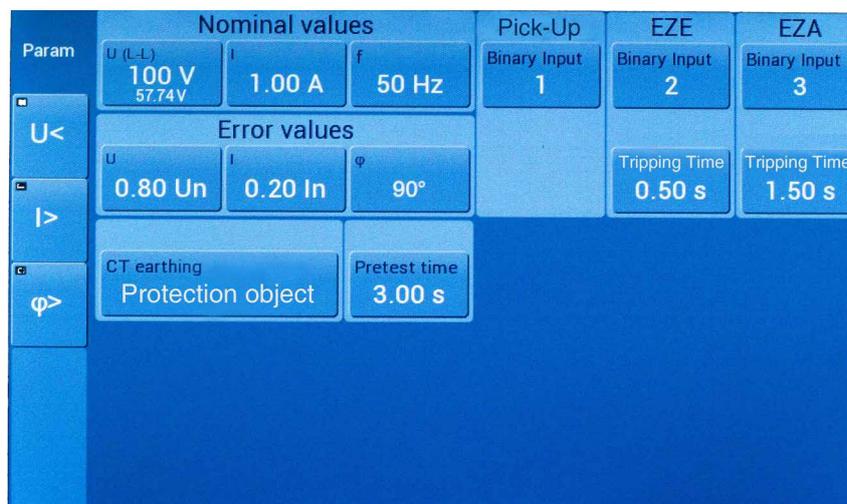
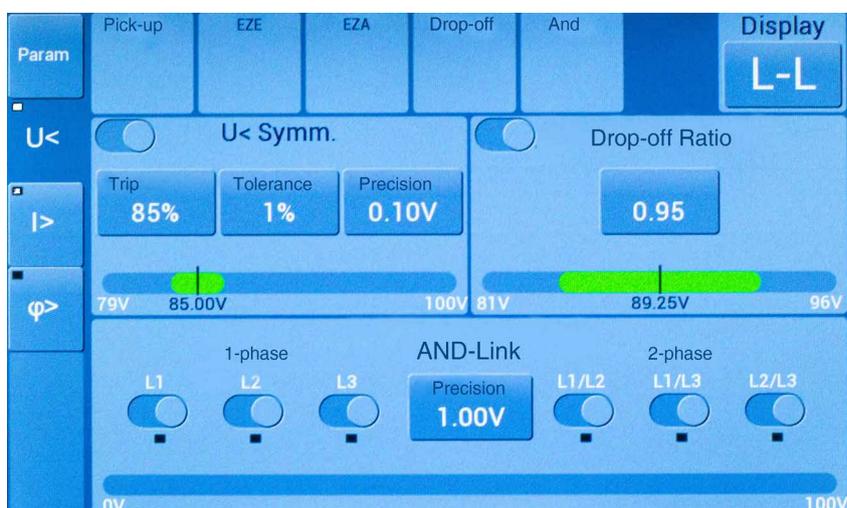


Abbildung 6: ARTES-Prüfmonitor zur Spannungsprüfung. Die einzelnen Prüfschritte werden angewählt und anschließend automatisch ausgeführt und ausgewertet.



Aufgrund des vorgesehenen Einsatzgebietes unter rauen Bedingungen wurde ein spezielles Modul zur Prüfung des Q-U-Schutzes in die interne Bedieneinheit integriert. Dies ermöglicht die vollständige Prüfung des Q-U-Schutzes samt Protokollierung auch ohne PC. Zur Prüfung müssen nur einmalig Vorgaben zu den Einstellwerten und den gewünschten Fehlerbedingungen gemacht werden.

Darauf aufbauend werden die aktivierten Einzelprüfungen automatisiert ausgeführt. Zur Verwaltung der Ergebnisse verwendet der Prüfer eine App auf seinem Smartphone. Mittels Scanfunktion werden die Ergebnisse übertragen, zu einem vordefinierten Prüfbericht zusammengefasst und in einer Datenbank abgelegt. So kann der Bericht direkt versendet oder später mit in die Datenbank der Prüfsoftware auf dem PC synchro-

nisiert werden. Die wichtigste Voraussetzung für eine belastbare Q-U Prüfung bleibt eine fundierte Kenntnis im Bereich Netzschutz. Nur so kann eine richtige Interpretation der unterschiedlichen Prüfanweisungen erfolgen. Die Umsetzung in der Praxis kann jedoch durch moderne Prüftechnik mit voreingestellter Parametrierung sowie automatischer Ausführung, Auswertung und Protokollierung unterstützt werden. Schließlich stehen Dienstleister sowie Betreiber hier gleichermaßen in der Verantwortung.

Schrifttum:

- [1] „Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,“ [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>. [Zugriff am 03 April 2020].
- [2] „Bundesverband WindEnergie,“ [Online]. Available: <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>. [Zugriff am 03. April 2020].
- [3] FNN-Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE, „Lastenheft Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz),“ Berlin, 2010.
- [4] BDEW-Bundesverband für Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „Technische Richtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz,“ Berlin, 2008.



### Lebenslauf

Bryan Fleuth absolvierte nach dem Abschluss des Abiturs in Kooperation mit der ABB Automation GmbH ein duales Studium mit der Fachrichtung Elektrotechnik an der DHBW-Mannheim (Duale Hochschule Baden-

Württemberg), das er als Bachelor of Engineering (B. Eng.) abschloss. Im März 2018 begann Herr Fleuth seine Laufbahn bei der KoCoS Messtechnik AG und ist inzwischen Produktmanager für Schutzrelais Prüfsysteme. Er ist Ansprechpartner für Distributoren und Kunden weltweit und bietet ihnen mit seinem Produkt- und Applikationswissen kompetente Unterstützung.

Bryan Fleuth B. Eng., Produkt Manager,  
KoCoS Messtechnik AG, Korbach, Germany



KoCoS Messtechnik AG  
Südring 42  
34497 Korbach, Germany  
Phone +49 5631 9596-40  
info@kocos.com  
www.kocos.com

# KoCoS

NEU

## ARTES RC3

Die neueste KoCoS-Nuss!

### Relais-Prüfsystem ARTES RC3 - robust, multifunktional, vielseitig

ARTES RC3 ist die robuste und universelle Lösung für die Prüfung von Schutzrelais. Verpackt in einem handlichen, äußerst robusten und widerstandsfähigen Hartschalenkoffer, eignet sich das vielseitige Prüfsystem auch bestens für den anspruchsvollen Außeneinsatz wie z.B. im Bereich der erneuerbaren Energien.

- 3 hochgenaue Strom- und Spannungsverstärker
- Kommunikationsschnittstellen USB, 3x Ethernet, Wi-Fi
- hochauflösender 5"-Touchscreen mit Smart-Touch-Technologie

### Vollautomatische Prüfung der Q-U-Schutzfunktion

Ein neues, speziell für die Vor-Ort-Bedienung entwickeltes Softwaremodul ermöglicht die einfache und vollautomatische Überprüfung der Q-U-Schutzfunktion auch ohne PC.

ARTES RC3 Film

www.kocos.com