

INFORMATIONSDOKUMENT

Standardisiertes Gleichstromkabel für FPV-Anwendungen



INHALTSVERZEICHNIS

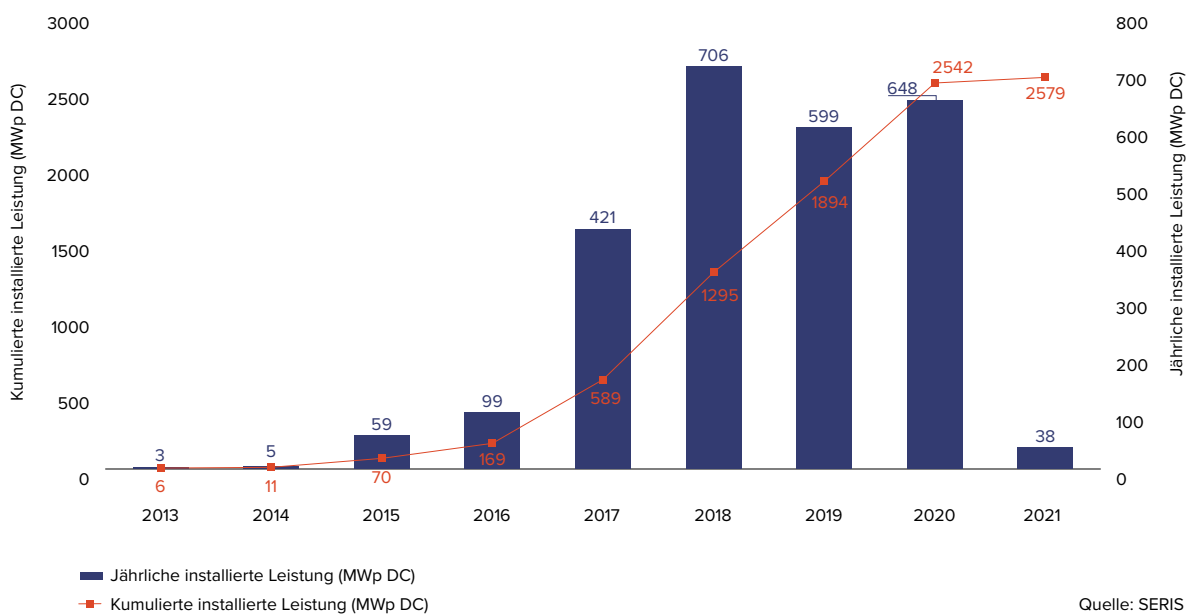
Von der Nische zum Massenmarkt	3
• Kumulative und jährliche FPV-Anlagen weltweit 2013–2020	3
• FPV-Prognose für Europa, 2021–2026	4
Vorteile von FPV	4
Langlebigkeit auf dem Wasser und Herausforderungen	5
Neues Prüfverfahren für FPV-Komponenten	6
• BETA flam® Solar 125 flex WR 1500	6
• TÜV Rheinland verbessert Vorgaben zur Prüfung der Wasserbeständigkeit von Kabeln	6
• Prüfungen zusätzlich zur IEC 62930 für PV-Kabel mit verbesserter Wasserbeständigkeit nach TÜV Rheinland-Vorgaben 2 PfG 2750/09.20	7
Forschungsstandorte für FPV	7
• Neues Kabel für FPV-Anwendungen	7
• Sich der Herausforderung stellen: Das BETA flam® Solar 125 flex WR 1500-Sortiment bietet die ersten Solarkabel, die die neuen Prüfvorgaben 2 PfG 2750 / 09.20 des TÜV Rheinland erfüllen	8

Von der Nische zum Massenmarkt

Es wurde zwar eine Reihe von Photovoltaik-(PV-)Anwendungen entwickelt, um die Beschränkungen in Bezug auf verfügbare Flächen und Dachprojekte zu überwinden, aber viele davon sind nach wie vor Nischenprodukte und stellen keine bedeutende Anzahl dar, während der weltweite PV-Markt schnell gewachsen ist.

Floating-PV-(FPV-)Anwendungen – also schwimmende Photovoltaik-Anwendungen –, vor allem auf Süßwasser-Stauseen, scheinen sich diesem Trend zu widersetzen, da FPV-Anlagen nach Angaben des Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS) ein Wachstum von 10 MW kumulativer Anlagen im Jahr 2014 auf mehr als 2,5 GW Ende 2020 verzeichnen. Ausserdem ist das Potenzial von FPV-Anwendungen enorm. Wenn FPV auf nur 1% der Stauseen weltweit installiert würde, könnten damit 400 GWp an Solarstromerzeugungskapazität bereitgestellt werden.

Kumulative und jährliche FPV-Anlagen weltweit 2013–2020



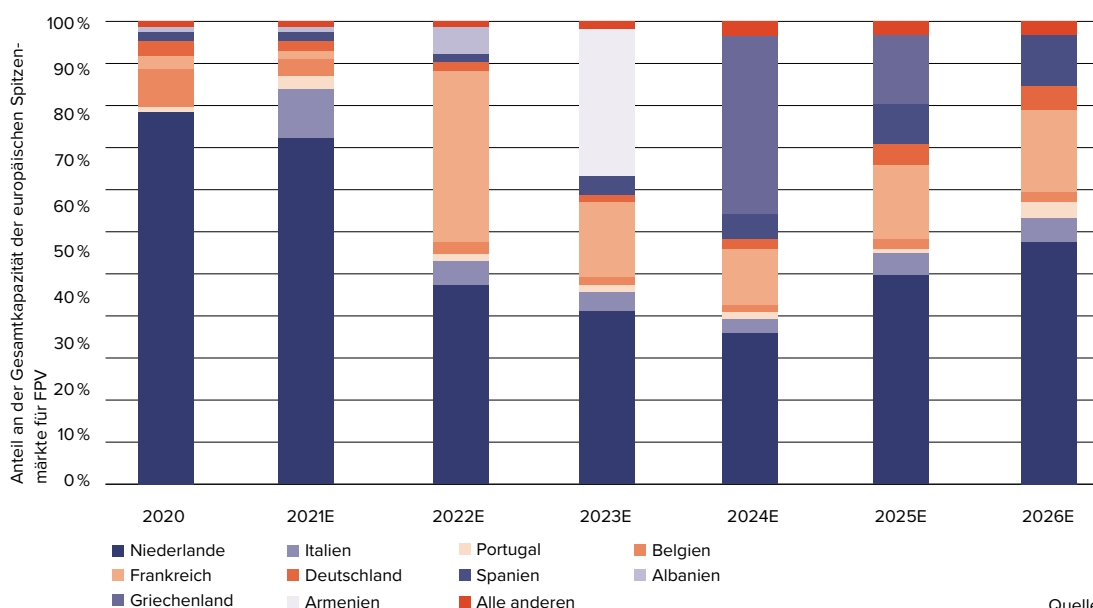
An Orten, an denen es an geeigneten Flächen für PV-Freiflächenanlagen mangelt, hat man sich am schnellsten für FPV entschieden. Zu den Ländern, in denen eine grössere Anzahl an FPV-Anlagen installiert wurden, gehören wachstumsstarke PV-Märkte wie Vietnam und Taiwan sowie führende PV-Länder wie China, Japan und Indien. Europa scheint ein besonders vielversprechendes Gebiet für FPV-Projekte zu sein. Die Marktanalysten von IHS Markit gehen davon aus, dass in Europa bis 2025 mehr als 1 GW an FPV-Projekten entwickelt werden, wobei Griechenland und die Niederlande die Vorreiterrolle spielen.

FPV-Prognose für Europa, 2021–2026

Regionale FPV-Marktanteile von 2020–2026E

	2020	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
Europa	11%	8%	10%	11%	13%	9%	7%

Anteil der FPV-Kapazität in Europa nach Land 2020–2026E



Vorteile von FPV

PV-Kraftwerke erfordern sehr grosse Flächen. FPV bietet eine Reihe von Vorteilen für Entwickler und Eigentümer von Solarprojekten. Einige dieser Vorteile sind gut dokumentiert, andere müssen noch weiter erforscht werden, um ihren Nutzen zu quantifizieren.

Die Vorteile umfassen:

- Verringerung der Betriebstemperatur der Module und der daraus resultierenden Leistungsverluste bei hohen Temperaturen aufgrund der Nähe zum Wasser und des Luftstroms unter den Modulen.
- Verringerung des Wasserverlustes durch Verdunstung in Süßwasser-Stauseen, die für Trinkwasser, Bewässerung oder Wasserkraftwerke genutzt werden.
- Verringerung des Algenwachstums in den Stauseen aufgrund des Beschattungseffekts der Module.
- Die Möglichkeit, FPV mit Wasserkraftanlagen zu koppeln, um Netzanschlusskosten zu sparen, und während der PV-Leistungstunden einen Energiespeicher zu haben, da Wasser für die Abgabe während der Spitzenbedarfszeiten und in der Nacht gespeichert werden kann.
- Die Wiederverwendung von gefluteten ehemaligen Bergwerksstandorten.

Im Jahr 2021 wollen einige Entwickler von Solarprojekten und -komponenten FPV-Strukturen einsetzen, die der Sonne den ganzen Tag über folgen können, indem die schwimmende Struktur gedreht wird. Andere Entwickler setzen schwimmende Strukturen in Meeresumgebungen ein, wobei sie entweder starre Plattformen oder Membranmontagestrukturen verwenden. Sobald die technischen Herausforderungen überwunden sind, können also FPV-Anlagen im Ozean aufgestellt werden.

Die Stromgestehungskosten (Levelized Cost of Energy, LCOE) von aquatischen PV-Systemen müssen jedoch noch weiter gesenkt werden, damit FPV ihr Potenzial ausschöpfen kann. Es gibt eine Reihe von vertraglichen und konstruktiven Massnahmen, mit denen dies erreicht werden kann, insbesondere Bemühungen, die laufenden Betriebs- und Wartungskosten zu senken, indem die Entwickler PV-Komponenten auswählen, die für eine aquatische Umgebung ausgelegt und getestet sind.

Auch die Finanzierbarkeit ist eine Herausforderung für FPV-Anlagen, insbesondere in Märkten, in denen es nur wenige Erfahrungswerte gibt. Auch hier spielt die Auswahl der Komponenten eine entscheidende Rolle. Ein anfänglicher Aufschlag auf die Investitionskosten durch die Auswahl von speziell angefertigten, getesteten und äusserst langlebigen Komponenten kann zu drastischen OPEX-Einsparungen während der Betriebsdauer des Projekts führen.

Langlebigkeit auf dem Wasser und Herausforderungen

PV-Anlagen sind langlebige Anlagen, deren hochwertige Solarkomponenten so konzipiert sind, dass sie mehr als 20 Jahre im Einsatz bleiben können. Solarentwickler berichten, dass sie Projektfinanzierungen mit Laufzeiten von 25 oder sogar mehr als 30 Jahren für Solarkraftwerke sicherstellen.

Allerdings gibt es nach wie vor nur wenige Daten über die langfristige Leistung von Standard-Solarkomponenten in einer aquatischen Umgebung. Und während für Solaranwendungen auf dem Wasser spezielle Schwimmer- oder Montagestrukturen entwickelt wurden, werden für FPV-Anwendungen in der Regel immer noch Standard-PV-Komponenten verwendet.

FPV-Anlagen sind so konstruiert, dass die Komponenten – Module, Kabel, Wechselrichter – nicht unter Wasser stehen. Doch der Kontakt mit Wasser droht alltäglich. Wind und Unwetter können PV-Komponenten beschädigen. Darüber hinaus haben die Erfahrungen mit FPV-Testgeländen (siehe Kasten S. 7) gezeigt, dass die einzigartigen betrieblichen Herausforderungen in der aquatischen Umwelt zu erhöhten Betriebs- und Wartungskosten, Leistungsverlusten und -ausfällen sowie Sicherheitsproblemen führen können.

Es geht hierbei um diese Faktoren:

- Wiederholte Bewegungen durch Winde führen dazu, dass elektrische Kabel und Steckverbinder mit der Zeit verschleissen und kaputt gehen.
- Hohe Luftfeuchtigkeit durch die Nähe zur Wasseroberfläche führt zu Wassereintritt.
- Staubablagerungen aufgrund der feuchten oder sogar salzhaltigen Umgebung führen zur Verschmutzung der Module und sogar zu Spitzenlastpunkten.
- Reflektiertes UV-Licht führt zu beschleunigtem Materialabbau.
- Biofouling aufgrund von Unkraut- oder Algenansammlungen bedroht mit der Zeit den Auftrieb eines schwimmenden Systems – eine besondere Herausforderung in den Tropen.
- Vögel werden von schwimmenden Anlagen angelockt und hinterlassen ätzenden Kot, der regelmässig beseitigt werden muss.
- Salzkorrosion führt bei hohem Salzgehalt im Meer zu Materialversagen und -ausfall.

Aufgrund der einzigartigen Herausforderungen einer aquatischen Umgebung kann der Einsatz von PV-Komponenten, die für den terrestrischen Einsatz entwickelt und getestet wurden, zu unzureichender Leistung und Ausfällen führen. Betrieb und Wartung sind auf dem Wasser kostspielig und schwierig. Daher ist die Auswahl der Komponenten von entscheidender Bedeutung, wenn die Stromgestehungskosten von FPV mit denen von Aufdach- oder Freiflächenanlagen konkurrieren sollen und wenn die Projekte langfristig finanziell tragfähig sein sollen.

Neues Prüfverfahren für FPV-Komponenten

Der unabhängige Prüfdienstleister TÜV Rheinland hat ein neues Prüfverfahren für die wichtige Gleichstromverkabelung für FPV-Anwendungen vorgestellt. Die Prüfungen sollen über die zurzeit geltenden internationalen Normen hinausgehen und den Generalunternehmern, Entwicklern und Eigentümern von Solarprojekten die nötige Sicherheit geben, dass die für eine FPV-Anlage ausgewählten Gleichstromkabel in der anspruchsvollen aquatischen Umgebung nicht ausfallen.

Der TÜV Rheinland beteiligte sich als Mitglied des Solar Bankability Consortium an der Erstellung des «PV Investment Technical Risk Management Report», die durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union gefördert wurde. Dem Bericht zufolge tragen Kabel- und Steckverbinderfehler und -störungen bei weitem am meisten zu den wirtschaftlichen Auswirkungen in Form von entgangenen Einnahmen pro Kilowatt-Peak installierter PV-Leistung bei. Die Analyse basierte auf von Anlagenbetreibern gemeldeten realen Daten, und es wurde nachgewiesen, dass die wirtschaftlichen Auswirkungen von Kabel- und Steckverbinderfehlern und -ausfällen weit über Ausfälle von Modulen, Wechselrichtern oder Nachführsystemen hinausgehen.

Die Ergebnisse des Solar Bankability Consortium beziehen sich auf terrestrische PV-Anwendungen. In Anbetracht der zuvor genannten zusätzlichen Risikofaktoren bei FPV-Anwendungen sind ein härteres Prüfverfahren und eine strengere Auswahl der Komponenten für die elektrische Verkabelung wahrscheinlich die einzige Möglichkeit, potenzielle Fehler und Ausfälle und die daraus resultierenden wirtschaftlichen Auswirkungen zu vermeiden.

Die Prüfvorgaben des TÜV Rheinland für Kabel für FPV-Systeme wurden 2021 unter dem Titel «Specification of 2 PFG 2750/09.20: Requirements for cables with improved water resistance for installation in photovoltaic systems» veröffentlicht.

Das Prüfverfahren wurde so konzipiert, dass es die harten Anforderungen an die feste und flexible Gleichstromverkabelung bei schwimmenden PV-Anlagen nachbildet. Die Prüfvorgaben dienen insbesondere dazu, die Wirksamkeit von Gleichstromkabeln zu bewerten, die mit einer verbesserten Wasserbeständigkeit ausgestattet sind, wie sie für Kabel in einer aquatischen Umgebung erforderlich ist. Die geprüften Kabel sind nicht für eine dauerhafte Wasserlegung ausgelegt, müssen aber dennoch im Betrieb einer ständigen Wassereinwirkung standhalten.

Kabel, die die neuen 2 PFG 2750 TÜV Rheinland-Vorgaben erfüllen, sind für den dauerhaften Einsatz im Freien unter wechselnden, anspruchsvollen Klimabedingungen geeignet.

Die TÜV-Vorgaben gelten für Kabel in Geräten der Schutzklasse II, wie sie in der Norm IEC 61140 aus dem Jahr 2016 bezeichnet werden.

Grundlage für das neue TÜV-Prüfprogramm sind die Anforderungen der IEC 62930 aus dem Jahr 2017, die sich speziell auf Gleichstromkabel für Anwendungen in PV-Projekten bezieht. Der neue TÜV-Prüfplan erweitert jedoch die Bedingungen, denen die Kabel ausgesetzt sind, und bildet die besonders schwierigen Bedingungen bei FPV-Anwendungen nach (siehe Tabelle Seite 7).

Die neuen TÜV Rheinland-Vorgaben sind ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung, um Entwicklern und Betreibern von FPV-Anlagen die Gewissheit zu geben, dass die auf dem Wasser verwendete wasserbeständige Gleichstromverkabelung ein deutlich geringeres Risiko von Stromschlägen birgt. Sie gewährleisten auch, dass die Stromerzeugung aus schwimmenden Solaranlagen zuverlässig ist und über die gesamte Lebensdauer des PV-Projekts aufrechterhalten wird.

BETAflam® Solar 125 flex WR 1500**TÜV Rheinland verbessert Vorgaben zur Prüfung der Wasserbeständigkeit von Kabeln**

Die Prüfvorgaben des TÜV Rheinland verlangen eine strenge Prüfung von Gleichstromkabeln mit erhöhter Wasserbeständigkeit, die für FPV-Anwendungen geeignet sind. Bei diesen Prüfungen werden die elektrischen und physikalischen Eigenschaften der Kabel während und nach dem Eintauchen in salzhaltiges Wasser, sowie bei feuchter Hitze und extremer Kälte untersucht.

Darüber hinaus wird das physikalische und elektrische Verhalten der Kabel bei starken Stößen, dynamischer Penetration, Feuer und nach der Einwirkung von Ozon und UV-Strahlung auf der Grundlage der IEC62930 geprüft.

Prüfungen zusätzlich zur IEC 62930 für PV-Kabel mit verbesserter Wasserbeständigkeit nach TÜV Rheinland-Vorgaben 2 PfG 2750/09.20

Art der Prüfung	Spezifische FPV-Prüfbedingungen	Anforderungen zum Bestehen der Prüfung
Langzeitwiderstand gegen Gleichstrom an fertigen Kabeln	Gleichspannung (3,6 kV), die 2016 Stunden lang an 5 m Kabel angelegt wird, während 5 m Kabel in $90 \pm 5^\circ\text{C}$ wässrige Natriumchloridlösung getaucht werden.	Kein Ausfall oder Anzeichen von Schäden am Kabel. Spannungsprüfung bestanden.
Änderung der Kapazität	Kapazitätsbrückenprüfung, nachdem 3 m Kabel 14 Tage lang in $90 \pm 5^\circ\text{C}$ eingetaucht wurden.	Die Kapazität nach 14-tägigem Eintauchen darf nicht mehr als 4 % höher sein als die nach 7-tägigem Eintauchen ermittelte Kapazität.

Forschungsstandorte für FPV

Es wurde eine Reihe von PV-Prüfständen eingerichtet, um die vielen noch ungelösten Fragen im Zusammenhang mit der Degradation, Korrosion und dem physischen Ausfall von PV-Komponenten bei der Installation als Teil eines FPV-Systems zu beantworten. Elektrische Komponenten können anfällig für das Eindringen von Wasser und Korrosion sein, wenn sie unzureichend isoliert sind oder aus nicht ausreichend robusten Materialien bestehen.

Das Solar Energy Institute of Singapore (SERIS) betreibt sein FPV-Prüfgelände seit 2017. Auf dem Gelände wurden Daten zu 10 verschiedenen Technologien für Module und schwimmende Montagekonstruktionen gesammelt. Diese helfen Projektentwicklern und Solar-Totalunternehmern bei der Auswahl von Komponenten, die für die besonderen Anforderungen eines Gewässers geeignet sind.

2019 begann die TNO in Rotterdam, Niederlande, mit der Arbeit an ihrer 150-kW-FPV-Versuchsanlage. Das Versuchsfeld im See Osstvoornse ist einzigartig, da es auf Brackwasser installiert ist. Der Standort ist ausserdem stärkeren Winden und kleinen Wellen ausgesetzt, die aufgrund der ständigen und wiederholten Bewegung eine erhebliche Belastung für die Komponenten, einschliesslich der PV-Kabel und -Steckverbinder, darstellen dürften.

Neues Kabel für FPV-Anwendungen

Um den anspruchsvollen Bedingungen von FPV-Anlagen gerecht zu werden, hat der Schweizer Kabellieferant Studer Cables sein Produkt **BETAflam**® Solar 125 flex WR 1500 eingeführt. Das **BETAflam**® Solar 125 flex WR 1500 ist dank des mehrschichtigen Aufbaus und der Verwendung hochwertiger elektronenstrahlvernetzter Verbindungen für die Isolierung und den Mantel wasserdicht.

Das **BETAflam**® Solar 125 flex WR 1500 ist das erste Solarkabelsortiment, das die neuen Prüfvorgaben 2 PfG 2750/09.20 des TÜV Rheinland erfüllt. Damit ist es die ideale Wahl für FPV-Entwickler, Anlagenbetreiber und -Generalunternehmer, die langfristige Sicherheit, Haltbarkeit und Leistung gewährleisten wollen.

Das **BETAflam**® Solar 125 flex 1500-Sortiment ist für 1500-V-Gleichspannungsanwendungen ausgelegt und hat ebenso die Zertifizierung gemäss EN 50618 und IEC 62930 erhalten. **BETAflam**® Solar 125 flex 1500-Kabel sind gemäss den geltenden Normen auf eine Lebensdauer von mehr als 25 Jahren im Einsatz ausgelegt.

Zu den Vorteilen von **BETAflam**® Solar 125 flex WR 1500 gehören:

- Wasserbeständigkeit nach UL-Normen und gemäss den Prüfungen 2 PfG 2750/09.20 des TÜV Rheinland
- Eigenentwickelte, halogenfreie, elektronenstrahlvernetzte Kunststoffe
- UV-, Ozon- und Hydrolysebeständigkeit
- Widerstandsfähigkeit gegen Schmelzen oder Fließen bei hohen Temperaturen
- Gute Kälteflexibilität
- Direkte Erdverlegung
- Kompatibilität mit allen gängigen PV-Steckverbindern

Über FPV-Anwendungen hinaus kann das **BETAflam**® Solar 125 flex 1500-Sortiment an einer Reihe von umwelttechnisch anspruchsvollen Standorten eingesetzt werden. Dazu gehören hochgelegene Standorte, an denen Schneefall und sehr niedrige Temperaturen die Haltbarkeit der Kabel in Frage stellen, sowie Anwendungen an der Küste oder sogar im Meer.

PV-Entwickler und Anlagenbetreiber haben einen dringenden Bedarf an Verkabelungslösungen mit verbesserter Wasserbeständigkeit für schwierige Umgebungen. Studer Cables hat darauf mit den robustesten, sichersten und zuverlässigsten Solarkabeln reagiert, die heute erhältlich sind.

Sich der Herausforderung stellen:

Das **BETAflam® Solar 125 flex WR 1500-Sortiment bietet die ersten Solarkabel, die die neuen Prüfvorgaben 2 PfG 2750/09.20 des TÜV Rheinland erfüllen**

FPV-Anlagen verfügen nachweislich über ein enormes Potenzial. Die Energiewende beschleunigt sich und die Verfügbarkeit von Land in bestimmten Solarmärkten wird zu einem immer wichtigeren Thema. Die Wachstumsrate von FPV-Anwendungen hat die Erwartungen in den letzten 6 Jahren weit übertroffen und wird voraussichtlich weiter steigen. FPV-Systeme für den Ozean sind zwar noch im Entstehen begriffen, bieten aber ein vielversprechendes und nahezu unbegrenztes Potenzial.

Die Vorteile der Kopplung von FPV mit Wasserkraftanlagen haben sich in einer Reihe von PV-Märkten im grossen Massstab bewährt. Das Potenzial für die Kopplung von FPV mit Offshore-Windkraftanlagen erscheint längerfristig attraktiv. Der Leistungsvorteil von FPV gegenüber boden- oder dachmontierten Anlagen wurde an Versuchsstandorten von Drittanbietern nachgewiesen, und die Zahl solcher Standorte nimmt zu.

Es gibt jedoch nach wie vor eine Reihe technischer und betrieblicher Herausforderungen bei der Entwicklung dauerhafter, sicherer und leistungsstarker FPV-Systeme. Heute werden in FPV-Anlagen – mit der offensichtlichen Ausnahme der Befestigungsstrukturen – die Komponenten verwendet, die auch in terrestrischen Anwendungen zum Einsatz kommen. Dies führt zu Qualitätsmängeln, höheren Stromgestehungskosten aufgrund der Betriebs- sowie Wartungskosten und setzt Solarentwickler und -investoren unnötigen Risiken aus.

Neue Prüfverfahren, wie die Vorgaben 2 PFG 2750/09.20 des TÜV Rheinland, tragen dazu bei, diese Risiken zu bewältigen, da sie sich auf Solarkabel und die besonderen Umwelтанforderungen beziehen, denen solche Kabel in FPV-Anlagen ausgesetzt sind.

Das **BETAflam**® Solar 125 flex WR 1500-Kabelsortiment von Studer Cables ist die weltweit erste Lösung, die die neue strenge Prüfung des TÜV Rheinland bestanden hat. Es ist ein Beweis für eine robuste, zuverlässige und sichere Lösung für den modernen globalen PV-Markt.

Das Datenblatt von Studer Cables «BETAflam® Solar 125 flex WR 1500» **finden Sie unter:**
sales-switzerland@studercables.com
