



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

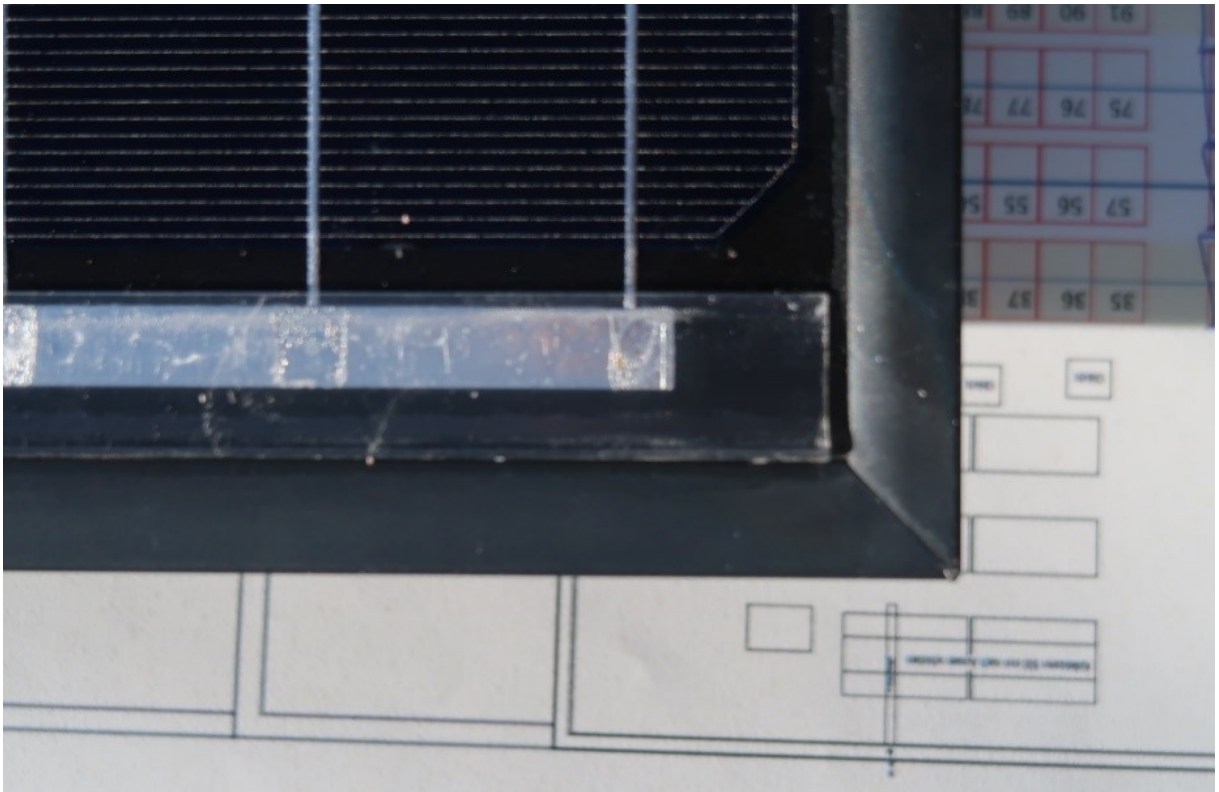
Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 13. September 2019

More-clean

für die Reduktion der Modulverschmutzung



Quelle: AR, 2019



Datum: 13.09.2019

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

Genossenschaft Migros Aare
Industriestr. 20
3321 Schönbühl

Subventionsempfänger/innen:

Zagsolar AG
Luzernerstr. 9
6010 Kriens

Hochschule für Technik FHNW
Institut für Kunststofftechnik
Klosterzelgstr. 2
5210 Windisch

PV Integ AG
Luzernerstr. 4
6030 Ebikon

Autor/in:

Richard Durot, Zagsolar AG, r.durot@zagsolar.ch
André Ruckli, Zagsolar AG, a.ruckli@zagsolar.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, Sektion Cleantech, men.wirz@bfe.admin.ch
Stefan Nowak, Leiter BFE-Forschungsprogramm, stefan.nowak@netenergy.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501522-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

In Zusammenarbeit mit der FHNW Windisch wurde das Kunststoffteil More-clean definiert, entwickelt und getestet bis hin zur ersten Vorserie.

Zweck des More-clean ist die Reduktion der Verschmutzung durch Verbesserung der Verschmutzungssituation am unteren Modulrand.

Das More-clean wurden in den beiden Photovoltaikanlagen auf der Messehalle Luzern und auf dem MFH Sidhalden Kriens am unteren Rand von einem Teil der Solarmodule montiert. Vom März 2018 bis April 2019 wurde der Effekt durch das More-clean visuell und durch Ertragsmessungen erfasst.

Bei den 5° geneigten Modulen konnte kein substanzieller Unterschied der Verschmutzung mit oder ohne More-clean festgestellt werden. Der Grund liegt darin, dass bei den extrem tiefen Niederschlagsmengen im Beobachtungszeitraum keine verbesserte Ausschwemmung des unteren Rahmenbereichs stattfand.

Bei den 20° geneigten Modulen ist ein Unterschied der Verschmutzung sichtbar. Dieser zeigte sich aber nach einem Jahr noch nicht in unterschiedlichen Ertragswerten, da die Verschmutzung noch zu klein ist.

Die beiden Testanlagen werden weiterhin beobachtet und auch eine Testanlage mit 10° geneigten Modulen gestartet.

Summary

In collaboration with the FHNW School of Engineering Brugg-Windisch the new plastic piece More-clean was defined, developed and tested.

The aim of the More-clean is the reduction of dirt by a correction of the situation at the lower frame.

The More-clean was mounted at the lower frame of a part of modules on the two PV-installations at the fair-hall Lucerne and the building Sidhalden in Kriens. From Mars 2018 until April 2019 the effect of the More-clean was collected visually and by measurement of the produced energy.

The modules with 5° inclination didn't show a difference of the pollution whether More-clean mounted or not. That is because the very rare rains in the last months didn't wash the region at the lower frame as estimated. The pollution remained there and grew.

The modules with 20° inclination showed a difference of the pollution. Without More-clean there is a faster growing amount of dirt at the lower frame, but the pollution yet didn't reach the cells, what resulted in no significant difference of the measured energy.

The control of the PV-installations with More-clean will go on and a further test-installation with an inclination of 10° will be observed.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	6
1.2 Motivation des Projektes	6
1.3 Projektziele	6
2 Anlagenbeschrieb	7
2.1 Photovoltaikanlage Unter Sidhalden 6 in Kriens	7
2.2 Photovoltaikanlage Allmend Luzern:	8
3 Vorgehen und Methode	9
4 Ergebnisse und Diskussion	10
4.1 Ergebnisse aus der Entwicklungsphase:	10
4.2 Kennlinienanalyse	12
4.3 Montage der More-clean	15
4.4 Einfluss der Niederschläge	15
4.5 Auswertung der Fotos aus den Feldtests	17
4.5.1 Sidhalden Kriens	17
4.5.2 Messehalle LU	19
4.5.3 Beurteilung der Schmutzentwicklung	20
4.6 Auswertung der Energiedaten	23
4.6.1 Sidhalden	24
4.6.2 Messehalle LU	26
4.7 Langzeitstabilität der More-clean	27
4.8 Erfahrungen und Diskussion der Resultate	29
5 Schlussfolgerungen und Fazit	30
6 Ausblick und zukünftige Umsetzung	30
7 Nationale und internationale Zusammenarbeit	30
8 Anhang	31
8.1.1 Sidhalden, Grafiken April 18 bis Mai 19 Abweichung Energiewert Mcn zu Ref.	31
8.1.2 Messehalle LU, Grafiken Mai 18 bis April 19 Abweichung Energiewert Mcn zu Ref.	34
8.1.3 Sidhalden Kriens, wöchentliche Fotoreihe ab März 2018 bis April 2019	37
8.1.4 Messehalle LU, monatliche Fotoreihe ab Mai 2018 bis April 2019	42



Abkürzungsverzeichnis

Mcn More-clean, More-clean-Element, More-clean-Teil



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

- Vor 25 Jahren waren die Solarmodulkosten noch relativ hoch. Dementsprechend galt es, die Solarmodule möglichst gegen Süden und mit 25° bis 60° aufzuständern, um die optimale Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen zu erhalten. Damals wurden solche Anlagen als wartungsfrei bezeichnet, weil allfälliger Schmutz durch den Regen wieder weggespült werde.
- Neben den vorwiegend mit Rahmen eingesetzten Standardmodulen wurden in den Neunzigerjahren vermehrt gebäudeintegrierte Solaranlagen erstellt. Auch aus Umweltschutzgründen gelangten rahmenlose Module (auch Dünnschichtmodule) zum Einsatz. Diese Module waren wegen dem fehlenden Rahmen mit weniger Herstellungsaufwand verbunden und – einmal montiert, konnte der Schmutz mit dem Regenwasser besser abfließen.
- Die Hersteller merkten aber schnell auch Nachteile. Ohne die Modulrahmen sind die Solarmodule weniger geschützt. Dies führte zu vermehrten Beschädigungen von Modulen während der Fertigung, beim Transport und bei der Montage, wie auch im Betrieb. Das war der Grund, weshalb die meisten Modulhersteller nun wieder fast ausschliesslich Module mit Rahmen liefern.
- Ab der Jahrtausendwende wurden die Solarmodule immer günstiger. Dies führte dazu, dass nicht mehr die optimale Ausrichtung gegen Süden und 30° Neigung für eine gute Anlage entscheidend wurde, sondern auch die optimale Ausnützung der zur Verfügung stehenden Dachfläche. Mit tieferen Modulneigungen kann deutlich mehr Energie pro Dachfläche gewonnen werden. So werden heute auf Flachdächern meist Module mit einer Neigung zwischen 5 und 15° eingesetzt.
- Die ganze Zeit hindurch war die Verschmutzung ein Thema, welches von verschiedener Seite untersucht wurde und mit den tieferen Modulneigungen gerade wieder an Bedeutung gewonnen hat.

1.2 Motivation des Projektes

Die meisten Photovoltaikanlagen sind mit gerahmten Solarmodulen realisiert. Der Modulrahmen schützt das Modul vor Beschädigung beim Transport, der Montage und auch im Betrieb. Je flacher die Modulneigung der Anlage ist, umso mehr zeigt das tiefliegende Rahmenstück die Tendenz, Schmutz und Moos auf dem angrenzenden Glas anzusetzen. Mittels eines Kunststoffeinsatzes an dieser Stelle, dem „More-clean“ soll dafür gesorgt werden, dass der Schmutz mit dem Regen besser ausgespült werden kann.

1.3 Projektziele

Ziel des Projektes More-clean ist ein 2 bis 3 prozentiger Mehrertrag über das Jahr hinweg. Als Zusatznutzen soll dieses Teil auch verhindern, dass sich im Winter Eis am unteren Rahmenrand bildet, der dann bei grossen Schneemengen den Druck des Schnees lokal auf den Rahmen überträgt und so im schlimmsten Fall zum Glasbruch führt.

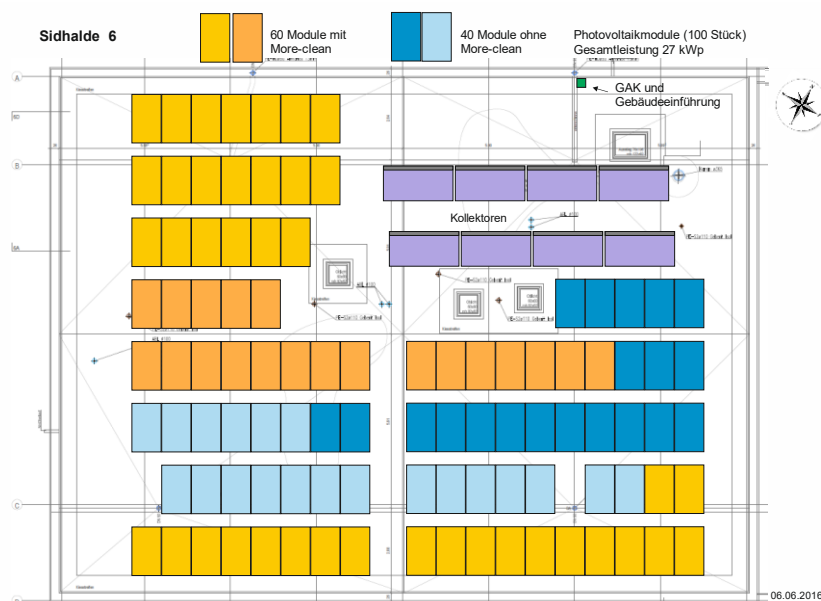


2 Anlagenbeschreibung

Die entwickelten Kunststoffteile More-Clean wurden in einem Feldtest in folgenden beiden Photovoltaikanlagen näher untersucht.

2.1 Photovoltaikanlage Unter Sidhalden 6 in Kriens

Es handelt sich um eine 27 kWp-Anlage mit 2 Fronius SYMO-Wechselrichtern. Standard-Trina-Module TSM-270 sind mit 5 Grad Neigung montiert, insgesamt 100 Stück. Bei 60 Stück (also bei allem Modulen vom Symo 5 und der Hälfte der Module vom Wechselrichter Symo 20) wurden die More-Clean montiert. Die Anlageleistung beider Wechselrichter wurden über einen Solarlog-Datenlogger erfasst. Ergänzend wurden die Meteodaten der nahen Meteostation Allmend Luzern in die Betrachtung miteinbezogen.





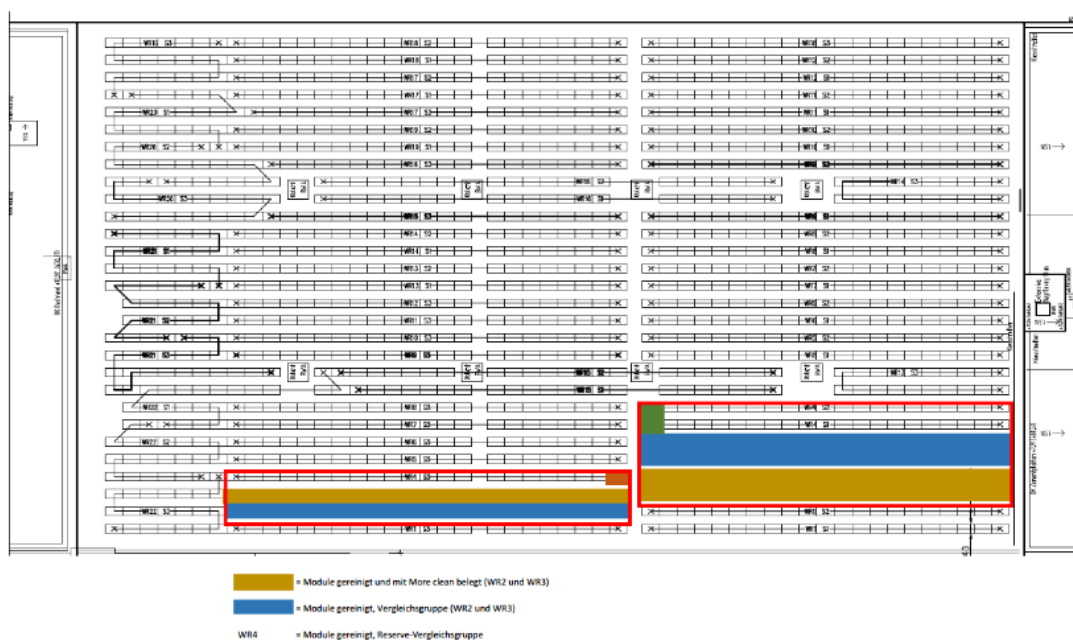
2.2 Photovoltaikanlage Allmend Luzern:

Es handelt sich um eine 360kW-Anlage mit 21 Wechselrichtern STP17000TL von SMA, welche je 2 MPP-Tracker haben. Die Standard SI 265 Module sind mit 20° Neigung montiert. Bei den Modulen des MPP1-Eingangs von Wechselrichter WR2 und des MPP2-Eingangs von WR3 (insgesamt bei 33 Modulen) wurden More-Clean montiert. Die Anlagenleistung der Wechselrichter und deren MPP-Eingänge wird mit einem Solarlog-Datenlogger erfasst.



Messehalle 2 PV-Anlage EWL

14.3.2018 André Ruckli, Zagsolar AG





3 Vorgehen und Methode

Vorerst galt es, relevante Daten zu heute eingesetzten Solarmodulen zusammenzustellen oder meist auch zu messen. In tabellarischer Form wurden so Rahmenbreite, -höhe und -form, wie auch der Abstand zwischen erster Zelle und Rahmen zusammengetragen. Die Daten von rund 20 häufig eingesetzten Modulen wurden ausgewertet und dienten so als Basis für die Bestimmung der Grösse des Kunststoffteiles.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kunststofftechnik der FHNW in Brugg-Windisch wurden verschiedene Varianten für das More-clean entworfen, wobei die Montageart resp. die Art der Fixierung eine wichtige Rolle spielte.

In Hinblick auf den späteren Einsatz des Kunststoffteiles wurden die erforderlichen Eigenschaften, welche das More-clean haben soll, diskutiert, zum Teil evaluiert und schliesslich auch bestimmt.

An der Hochschule wurden mögliche Materialien evaluiert und zum Teil auch getestet. Die Vor- und Nachteile der entworfenen More-clean-Formvarianten und möglicher Materialien wurde in mehreren Sitzungen an der FHNW besprochen und dabei das weitere Vorgehen mit den entsprechenden Labortests bestimmt.

So konnte schliesslich die Form, das Material und auch die Fertigungsform für das More-clean-Teil gefunden werden und Prototypen in Auftrag gegeben werden.

Mit den Prototypen wurden diverse Labortests durchgeführt, um die gewünschten Eigenschaften zu überprüfen. Von besonderem Interesse war dabei die Klebeverbindung, welche die Ausdehnung des Kunststoffteils bei den unterschiedlichen Temperaturen übers Jahr hinweg aushalten muss.

Die Resultate der Prototypentests ermöglichten die Bestellung der ersten 300 More-clean-Teile für die Feldtests.

Am 8. März 2018 konnten die More-clean-Teile bei der Photovoltaikanlage Unter Sidhalden 6 in Kriens montiert werden (Modulneigung 5°). Der Zustand der Solaranlage wurde vor und nach einer Reinigung festgehalten anhand eines Tri-Ka Kennlinienmessgerätes.

Ab diesem Datum erfolgte eine wöchentliche Besichtigung der Anlage und der More-clean mit Fotoaufnahme.

Am 12. April 2018 konnten die More-clean auf der Messehalle 1 in Luzern montiert werden (Modulneigung 20°). Auch dort wurde der Zustand der Anlage vor und nach Reinigung der involvierten Module festgehalten.

Ab diesem Datum erfolgte eine wöchentliche Sichtkontrolle der Anlage und der More-clean auf der Messehalle Luzern mit Fotoaufnahmen.

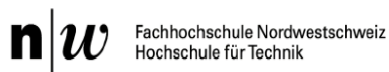
Die Energieerträge, der Zustand der More-clean und die Verschmutzung wurden über ein Jahr hinweg festgehalten, um so die Wirkung der More-clean zu bestimmen.



4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Ergebnisse aus der Entwicklungsphase:

Aus der Entwicklungsphase konnte als wesentliche Datenmenge die Anforderungsliste für das More-clean erarbeitet werden.



Anforderungen

- **Witterungsbeständig (30 Jahre ideal, 15 Jahre Muss)**
→ UV-Strahlung, Wasser, Temperaturschwankungen
- **Haftung zu SiO_2 , Si_3N_4 und Alu (eloxiert); Kleben (Ausdehnungskoeffizienten!)**
→ zu Glas und Rahmen, so dass kein Wasser und Schmutz zwischen das Teil und das Glas gelangen kann.
- **Schmutzabweisend → niedrigere Oberflächenspannung / Oberflächenstruktur?**
→ Schmutz und Wasser sollen am Kunststoff möglichst nicht haften.
- **Antibakteriell: ZnO , Cu, EPDM, Ag, TiO_2**
- **Kostengünstig:** Die More-clean-Einlagen sollen pro Modul günstiger sein als ein Spezialrahmen, sei es ein Cleanframe von Megasol oder ein Solrif-Rahmen.
→ <9CHF (inkl. Montage) / Modul VK
→ <3CHF (inkl. Montage) / Modul HK
- **Stückzahl 100000m / Jahr**
- **Temperaturbeständigkeit:** -20°C – 70°C → Ausdehnung!
- **Brandschutz:** PMMA: RF3 = zulässiger Brandbeitrag → akzeptabel; PC: RF2 = geringer Brandbeitrag
- **Farbe:** Transparent, opak oder schwarz
- **Schlagzähigkeit:** Hagelklasse 3
- **Montagefreundlichkeit:** Ausreichende Flexibilität

Diese angezielten Eigenschaften des More-clean galt und gilt es vorerst in Labortests und anschliessend in den Feldtests zu überprüfen:

Witterungsbeständigkeit (UV-Strahlung, Temperaturschwankungen) der Klebeverbindung:

Nach den Bewitterungstests von ersten Prototypen, die schliesslich zur Materialwahl und auch zur Wahl der Klebeverbindung führten, wurde die Langzeitstabilität der Vorserie näher untersucht. Einerseits wurden Haftungstests von mehreren Prüfkörpern auf der Glasoberfläche von Solarmodulen durchgeführt, welche eine gute Haftung bestätigten.



Andererseits wurde die Ablösegefahr durch Ausdehnungsunterschiede näher untersucht. Die Ausdehnung von PMMA ist 15 mal höher als die Ausdehnung von Glas. Der Kleber muss die Ausdehnungsunterschiede aufnehmen können.

Bei der Solaranlage dürften Temperaturen von -20° bis ca. 70° vorkommen. Falls bei 20° geklebt wird, treten 2 Lastfälle auf:

1. -20°C ; dies gibt ein ΔT von 40°C
2. $+70^{\circ}\text{C}$; dies gibt ein ΔT von 50°C

Aus Sicht der Ausdehnung ist der 2. Lastfall kritischer. Bei einem Temperaturunterschied von 50°C ergibt sich bei der Teillänge von 1m ein Ausdehnungsunterschied von 3.5mm. Wenn sich die PMMA Leiste von der Mitte aus, auf beide Seiten gleich ausdehnt, ergibt sich am Rand eine Verschiebung von 1.75mm pro Seite. Diese Verschiebung und die Klebeverbindung wurde in Kühlkammer und Ofen anhand von 775.5mm langen PMMA-Leisten überprüft:

20°C, 776.5(±0.5)mm	-20°C, 775.5(±0.5)mm	80°C, 779.5(±0.5)mm
		

Hageltest:

Mit ersten More-clean-Teilen wurden an der Hochschule Rapperswil Hageltests durchgeführt. Die Teile haben den Hageltest Klasse 5 ohne Schaden überstanden.





Transparenzprüfung:

Das gewählte Material PMMA ist transparent. Da es mit Zusätzen ergänzt ist, welche antibakteriell wirken, tritt eine leichte Verfärbung auf. Der Einfluss dieser Verfärbung ins leicht Gelbliche wurde näher untersucht. Bild1 zeigt Teststücke mit unterschiedlichem Antibak-Zusatz und Diagramm den Transmissionsgrad mit unterschiedlichen Zusätzen:

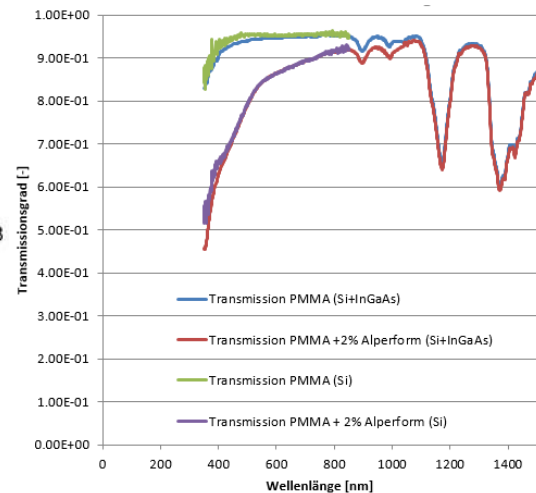
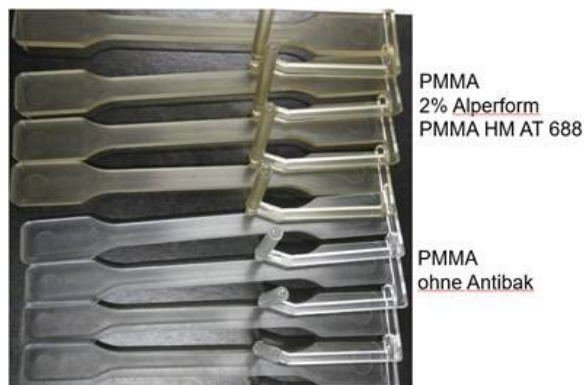


Bild 1: Testteile mit und ohne Zusätze

Diagramm 1: Transmissionsgrad in Abhängigkeit der Wellenlänge

Der Einfluss im Wirkungsbereich der Solarzellen (500 – ca.1200) darf als eher unwesentlich bezeichnet werden.

4.2 Kennlinienanalyse

Bei der Montage der More-clean auf den Modulen der Anlage Unter Sidhalden wurden auch Kennlinienmessungen der Strings durchgeführt.

Dem Alter und der Reinigung entsprechend wiesen die Messungen auf sehr gute Stringleistungen bei Standardbedingungen hin. Wie das folgende Wechselrichterprotokoll von den Messungen zeigt, ergaben sich Stringleistungen zwischen 5653 und 5999W, was durchschnittlich 8% über der Nominalleistung der eingesetzten Trina-Module TSM-270DC05A.05 liegt (20 x 270=5400W).

Der Unterschied zwischen den Strings mit More-clean und denen ohne More-clean (1.2.1 und 1.2.2) ist sehr gering (durchschnittlich 0.2%).



TRI-KA Photovoltaik Wechselrichter- Protokoll

741 Moreclean

ZAGSOLAR AG
Luzernerstrasse 9
6010 Kriens
Tel. 041 312 09 40
E-Mail: info@zagsolar.ch

Details:

Anlage: SidH6 nach
Wechselrichter: WR1_20.0
Hersteller: [Custom]
Modul: TSM-270DC05A.05
Anzahl Module: 80
Leistung Nominal: 270 W Leistung Nominal Total: 21600 W
Modulfläche: 1,64 m² Fläche Total: 130,94 m²

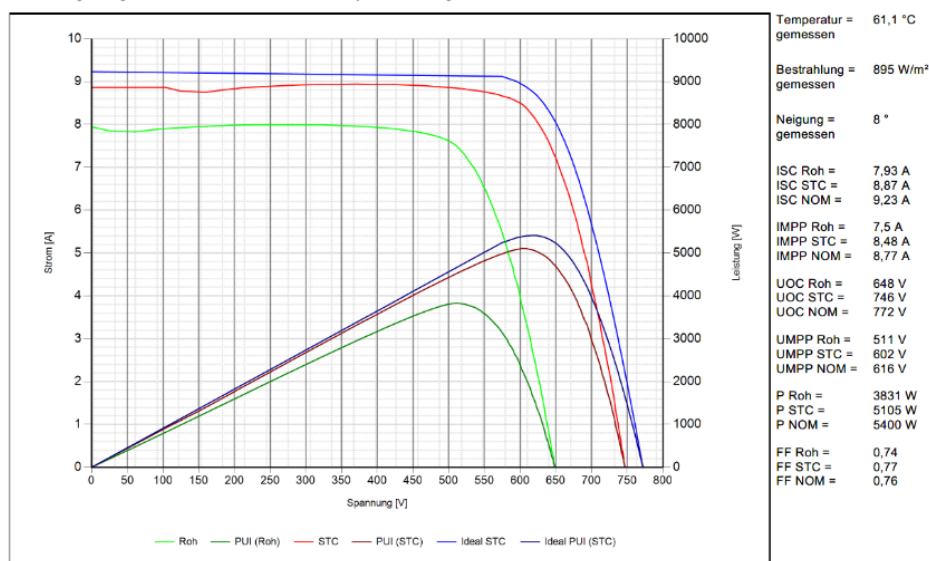
Gemessene Werte:

String:	Gemessen:	Einstrahlung:	Temperatur:	Leistung Nom.:	Leistung STC:	Abweichu ng:
1.1.1	08.03.2018 14:51:46	691 W/m²	34,0 °C	5400 W	5999 W	11,1 %
1.1.2	08.03.2018 14:53:57	766 W/m²	34,0 °C	5400 W	5673 W	5,1 %
1.2.1	08.03.2018 14:58:48	672 W/m²	34,0 °C	5400 W	5653 W	4,7 %
1.2.2	08.03.2018 15:01:44	750 W/m²	34,0 °C	5400 W	5999 W	11,1 %
Total:				21600 W	23325 W	8,0 %

Im Juli 2019 wurden die Kennlinien derselben Strings ein weiteres Mal aufgenommen, um die Veränderung festzuhalten.

Für den String 3 resp. 1.2.1, wie auch für alle anderen Strings ergaben diese Aufnahmen deutlich tiefere Stringleistungen gegenüber den Resultaten bei More-clean-Montage (am 8.3.2018).

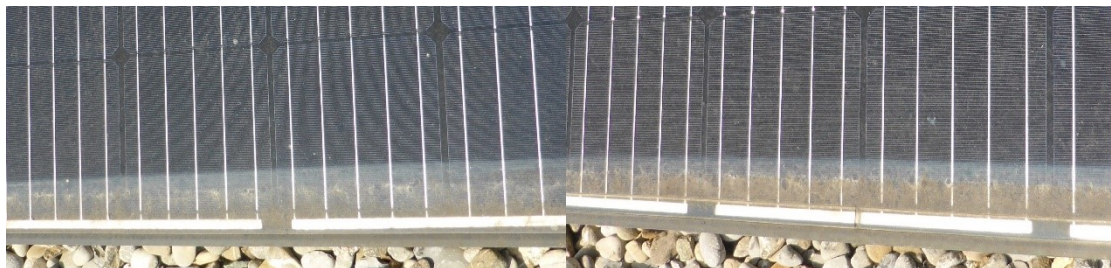
Kunde: snag / Anlage: sidhalde 6 / Wechselrichter: Fronius Symo 20.0 / String: 3



Das Wechselrichterprotokoll der Kennlinienmessungen fasst die Messdaten zusammen und zeigt die gemessenen Stringleistungen umgerechnet auf Standardbedingungen. Diese liegen nun (String 1-4) durchschnittlich 6.1% unter dem Nominalwert von 5400W. Dies ist zum



grössten Teil auf die deutliche und sichtbare Verschmutzung der Module am 24. Juli 19 zurückzuführen.



Für die beiden Strings mit More-clean wurden im Durchschnitt 1% tiefere Leistungen gemessen als für die beiden Strings ohne More-clean. Diesen geringen Unterschied zuungunsten der More-clean erachten wir für unbedeutend und liegt in der Messungenauigkeit drin, entspricht dies doch nicht den Erwartungen und lässt es sich auch von anderen Messdaten und von den Fotos her nicht erklären.

TRI-KA
Photovoltaik Wechselrichter-
Protokoll

snag

Details:

Anlage: sidhalde 6
Wechselrichter: Fronius Symo 20.0
Hersteller: [Custom]
Modul: TSM-270DC05A.05
Anzahl Module: 100
Leistung Nominal: 270 W Leistung Nominal Total: 27000 W
Modulfläche: 1,64 m² Fläche Total: 163,68 m²

Gemessene Werte:

String:	Gemessen:	Einstrahlung:	Temperatur:	Leistung Nom.:	Leistung STC:	Abweichung:
1	24.07.2019 14:34:54	896 W/m ²	61,1 °C	5400 W	5080 W	-5,9 %
2	24.07.2019 14:39:59	900 W/m ²	61,1 °C	5400 W	5006 W	-7,3 %
3	24.07.2019 14:42:21	892 W/m ²	61,1 °C	5400 W	5124 W	-5,1 %
4	24.07.2019 14:47:47	887 W/m ²	61,1 °C	5400 W	5073 W	-6,1 %
5	24.07.2019 14:50:25	877 W/m ²	61,1 °C	5400 W	5094 W	-5,7 %
Total:				27000 W	25376 W	-6,0 %



4.3 Montage der More-clean

Unserem Ziel entsprechend sollen die Kunststoffteile More-clean gut und mit genügend Flexibilität dauerhaft montiert werden können. Am 8. März und 12. April haben wir die Montagefreundlichkeit während der More-clean-Montage bei den beiden Feldtest-Photovoltaikanlagen überprüft.

Die More-clean-Elemente werden mit Klebstreifen geliefert, und müssen unten bündig und seitlich mit 2-3 mm Abstand am unteren Rahmen angebracht werden.

Alle beteiligten Personen konnten diesen Montageprozess relativ schnell und ohne aufwendige Korrekturmassnahmen ausführen. Die richtige Platzierung erwies sich unproblematisch. Optimierungspotential wurde eher in der Art und Weise erfahren, wie der Deckklebstreifen entfernt werden kann. Ein wichtiger und zeitkostender Faktor ist zudem, wie das More-clean an die Klebestelle am Modul angedrückt wird.

Insgesamt erwies sich die Montageart als durchaus ausführbar.

4.4 Einfluss der Niederschläge

Im betrachteten Zeitraum des Feldversuchs (März 2018 bis Juli 2019) war die Gegend Luzern von extrem wenig Niederschlägen betroffen. In der Charakteristik der Niederschläge 1983 bis 2018 des Amtes für Umwelt und Energie Luzern wird der Niederschlag im Jahr 2018 so beschrieben:

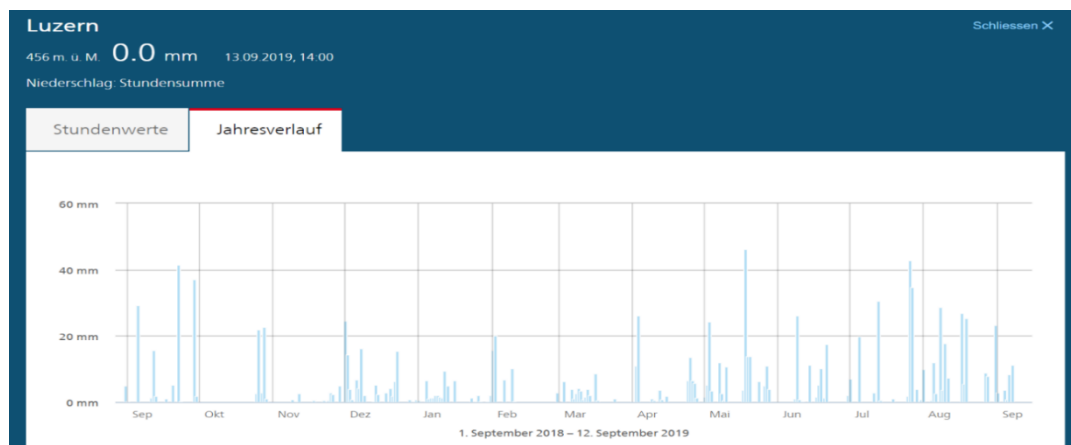
2018:

Nach einem ersten Quartal des Jahres mit regelmässigen Niederschlägen waren ab April unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen zu verzeichnen. Dem trockenen Sommer folgten weitere trockene Herbstmonate. Der niederschlagsreiche Dezember vermochte das Jahresdefizit von rund 20 bis 30% nicht mehr wesentlich zu verringern. Bei fünf der zehn kantonalen Messstationen wurde 2018 die geringste Jahressumme in der Periode 2000 bis 2018 gemessen.

Wiederum gab es wie in den Vorjahren einzelne heftige lokale Gewitter und einzelne grössere Regenereignisse, respektive kurze intensive Regenperioden.

Insgesamt kann das Luzerner Wetter 2018 als überdurchschnittlich warm und extrem unterdurchschnittlich feucht zusammengefasst werden. Die tiefen Niederschläge führten zu tiefen Grundwasserständen, in etwa vergleichbar mit den Zuständen im Jahr 2003.

Die Wetterstation Luzern zeigt entsprechend folgenden Jahresverlauf der Niederschläge:



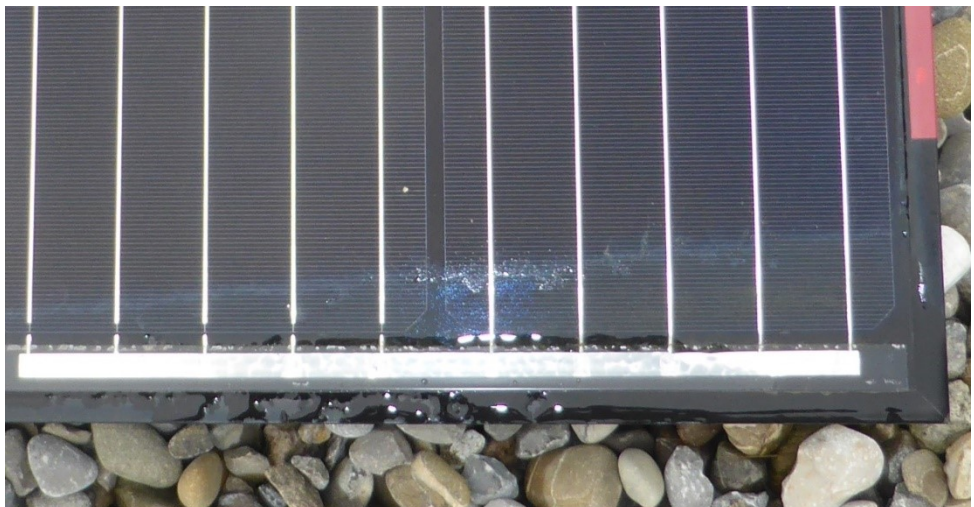


Diese wenigen Niederschläge, welche jeweils nicht stark waren, erschwerten das anvisierte bessere Abfließen des Schmutzwassers über das More-clean am unteren Rahmen. Bei dem schwachen Regenfall bildete sich bei 5° Modulneigung am unteren Rahmen ein Schmutzsee, wobei ein richtiges Ausschwemmen des Schmutzes ausblieb. Der Dreck in diesen Seen trocknete nach Regenende ein und haftete des spärlichen Niederschlags wegen immer mehr im Bereich des Sees. Eine Kontrolle des Schmutzrandes zeigt, dass der einmal angesetzte Schmutz recht gut hält und so auch bei einem stärkeren Regenfall nicht mehr so einfach weggespült werden kann.



KW11/2018

Mit der Formgebung und der Materialisierung des More-clean wurde ein gutes Abfließen des Schmutzes angestrebt. Bei der geringen Neigung von 5° wird aber ein «See»-Bereich durch die Rahmenhöhe vorgegeben. Ohne grosse Bewegung in diesem See entsprechend der eher schwachen Niederschläge konnte der Schmutz trotz Fließshilfe More-clean die Hürde Rahmen nicht nehmen.



KW10 /2019



4.5 Auswertung der Fotos aus den Feldtests

Neben der Erfassung des Energieertrags, wurden jede Woche dieselben (bezeichneten) Module fotografiert, damit der Verschmutzungsgrad ausgewertet werden kann.

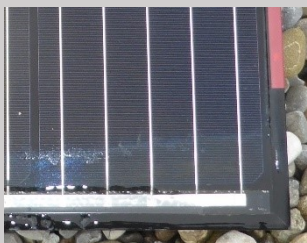
Im Anhang sind die wöchentliche Fotoreihe Sidhalden und die monatliche Fotoreihe Messehalle (monatlich, da nur kleine Veränderungen) abgelegt.

4.5.1 Sidhalden Kriens

Modulbezeichnung:

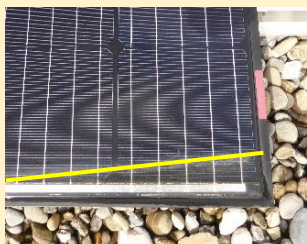
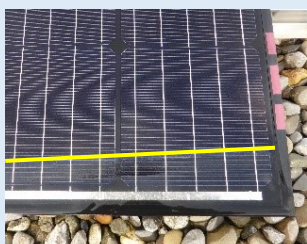
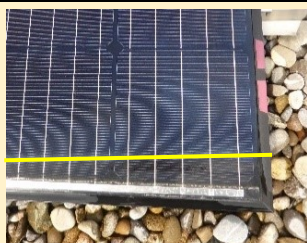
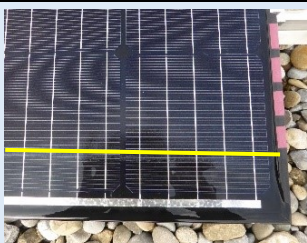
R1 - R5 bedeutet: Modul ist mit 1 - 5 roten Klebstreifen bezeichnet.

Zustand kurz nach der Montage (Montage am 8. März 2018)

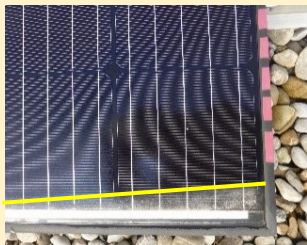
Modul mit More-clean am 13.3.2018	Modul ohne More-clean am 13.3.2018
 R1: keine Verschmutzung, nass	 R3: keine Verschmutzung, nass

Zustand 14 Tage später (8 Tage später am 21.3.2018 lag Schnee auf den Modulen):

Die "Seebildung" ist schon nach 2 Wochen mit leichter Schmutzablagerung sichtbar. Da die Module nicht genau horizontal montiert wurden, ist der Verschmutzungsgrad zur tieferen Ecke hin stärker.

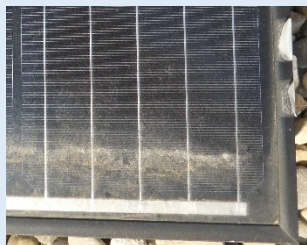
Modul mit More-clean am 27.3.2018	Modul ohne More-clean am 27.3.2018
 R1: Verschmutzungskeil bis zur 2. Zelle, Wasser trocknet schneller aus	 R3: Verschmutzungskeil bis zur 4. Zelle, Wasser bleibt länger liegen
 R2: Verschmutzungskeil bis zur 3. Zelle, Wasser trocknet schneller aus	 R4: Verschmutzung gleichmässig, Modul horizontal, Wasser bleibt länger liegen



	R5: Verschmutzungs- keil bis zur 2. Zelle, Wasser trocknet schneller aus	
---	---	--

Zustand ein Jahr später:

Der Verschmutzungsgrad ist stärker und auch im Zellenbereich. Auf dem More-clean-Teil ist keine Verschmutzung oder deutlich schwächer.

Modul mit More-clean am 1.4.2019		Modul ohne More-clean am 1.4.2019	
	R1: Verschmutzung im Zellenbereich		R3: Verschmutzung im Zellenbereich
	R2: Verschmutzung im Zellenbereich		R4: Verschmutzung im Zellenbereich
	R5: Verschmutzung im Zellenbereich		



4.5.2 Messehalle LU

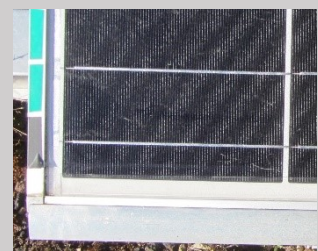
Modulbezeichnung:

B1, B2, B3 bedeutet: Modul ist mit 1, 2 oder 3 blauen Klebstreifen bezeichnet.

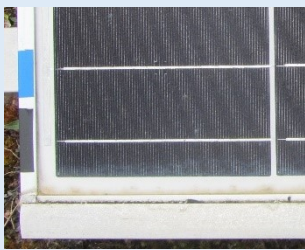
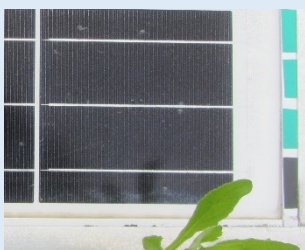
G1, G2, G3 bedeutet: Modul ist mit 1, 2 oder 3 grünen Klebstreifen bezeichnet.

R1, R2, R3 bedeutet: Modul ist mit 1, 2 oder 3 roten Klebstreifen bezeichnet.

Zustand Feldversuchsstart: Am 12. April 2018 wurden die More-clean-Teile montiert.

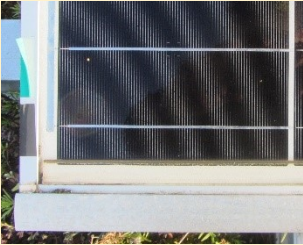
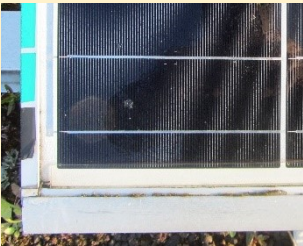
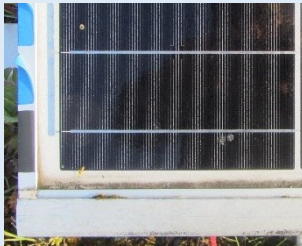
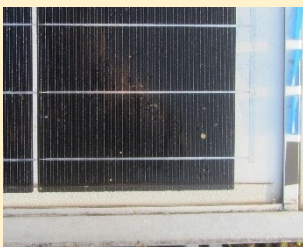
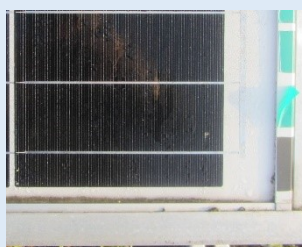
Modul mit More-clean montiert (12.4.2018)	Modul gereinigt vor der Montage (12.4.2018)
 G2:	 G2:

Zustand 3 Wochen später:

Modul mit More-clean am 2.5.2018	Modul ohne More-clean am 2.5.2018
 G1: Modul horizontal, kein stehendes Wasser, wenig Verschmutzung	 B1: Modul horizontal, kein stehendes Wasser, kleiner Schmutzrand
 G2: Modul horizontal, kein stehendes Wasser, keine Verschmutzung	 B2: Modul horizontal, kein stehendes Wasser, wenig Verschmutzung
 B3: Modul horizontal, kein stehendes Wasser, keine Verschmutzung	 G3: Modul horizontal, kein stehendes Wasser, wenig Verschmutzung, Pflanzen wurden sofort entfernt



Zustand ein Jahr später:

Modul mit More-clean am 1.5.2019		Modul ohne More-clean am 1.5.2019	
	G1: wenig Verschmutzung etwas an der Mcn-Keilspitze		B1: Schmutzrand beginnt sich zu bilden, unkritisch, da noch im weissen Bereich
	G2: keine Verschmutzung zwischen Modulrahmen und Einlegesystem beginnt sich Moos zu bilden		B2: Schmutzrand beginnt sich zu bilden, unkritisch, da noch im weissen Bereich
	B3: keine Verschmutzung		G3: Schmutzrand beginnt sich zu bilden, unkritisch, da noch im weissen Bereich

4.5.3 Beurteilung der Schmutzentwicklung

Die Schmutzentwicklung nach einem Jahr zeigt folgendes Bild:

Der Zellenabdeckungsgrad durch die Verschmutzung hat sich bei beiden PV-Anlagen durch das More-clean-Element nicht verändert.

Sidhalden Kriens, in beiden Fällen (mit und ohne Mcn) ist eine Verschmutzung im Zellbereich vorhanden. Einzig auf dem More-clean-Element ist wenig bis keine Verschmutzung.

Messehalle LU, in beiden Fällen werden die Zellen durch die Verschmutzung am unteren Modulrand nicht beeinträchtigt. Wobei bei den Modulen ohne Mcn schon erste Anzeichen einer wachsenden Schmutzablagerung vorhanden sind. Bei dieser Anlage zeigt sich aber, dass längerfristig das More-clean-Element einen Vorteil bezüglich Verschmutzungsrand aufweist.

Nachfolgend einige Beispiele von Modulrändern, welche die unterschiedlichsten Veränderungen (Verschmutzungen) im Feldversuchsjahr aufzeigen. Auf den Modulen waren natürlich Vogelkot, Nusschalen und ähnliches häufig anzutreffen.



Sidhalden

10.7.2019 Mcn mit „Schmutzeinbrennung“, die milchige Schicht in der 3. Bahn von rechts, ist schwieriger zu reinigen



10.7.2019 weissliche Verfärbung oberhalb der Schmutzablagerung



10.7.2019 Mcn ist wenig verschmutzt

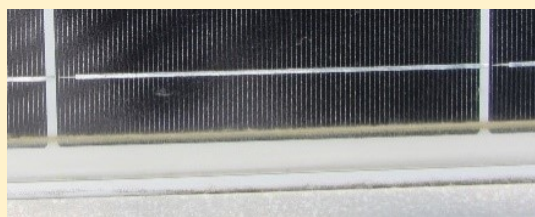


10.7.2019 Verschmutzung bis an den Modulrand

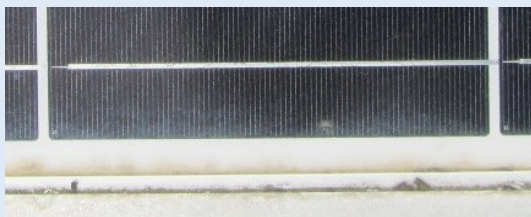


Messehalle

11.5.2018 Modul G1 mit Mcn, mit Staub



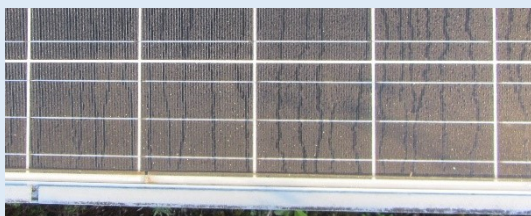
2.5.2018 Modul B3, mit Staub



6.3.2019 Module G2 mit Mcn, sehr sauber

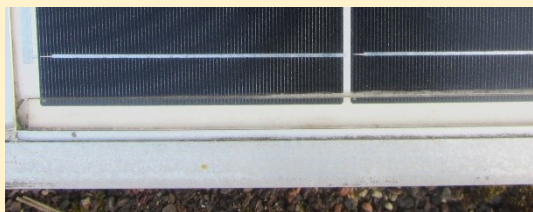


26.9.2018 starke Verschmutzung durch Sahara-Staub bei allen Modulen unabhängig vom Modulrand (Bild mit Mcn)

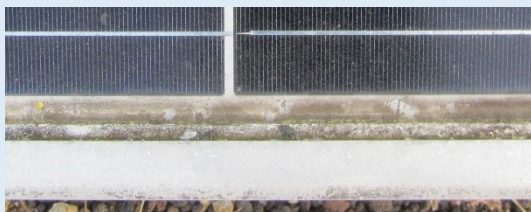




3.4.2019 teils an Mcn-Kante verschmutzt



3.4.2019 mittlere Verschmutzung nur unterhalb der Zellen



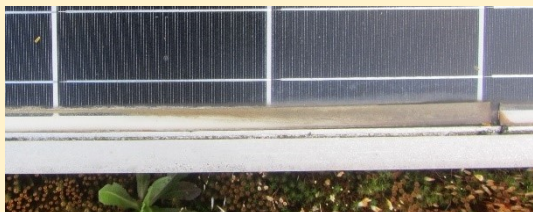
3.4.2019 Blütenstaub auf Mcn, wird durch Regen gereinigt



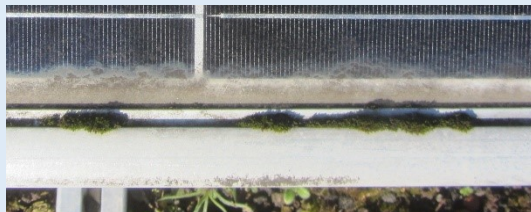
26.9.2018 starke Verschmutzung bis zu den Zellen und beginnende Moosbildung



3.4.2019 Mcn mit schlechter Klebung



13.2.2019 Verschmutzung bis über die Zellen und starke Moosbildung





4.6 Auswertung der Energiedaten

Bei beiden PV-Anlagen werden die Energiedaten mit einem Solarlog-Datenerfassungsgerät aufgezeichnet. Mit den 5 Minuten-Energiewerten wurde pro Monat eine Auswertung erstellt welche prozentual die Energiewerte von den Modulen mit More-clean im Verhältnis zu den Referenzmodulen abbildet. Mit dem Monatsmittelwert wurde die Bewertung der Veränderung durchgeführt.

Um das Betrachtungsjahr definiert mit Null zu starten und um allfällige Asymmetrien zu eliminieren, wurde der Mittelwert des Startmonats (also nach der Reinigung und der More-clean Montage) zum Korrekturwert bestimmt. Dieser Korrekturwert wurde von den Energiewerten subtrahiert.

Weiter sind in der Grafik auch die Einstrahlung und die Temperatur abgebildet. Auswertungen mit Filterungen in Abhängig von diesen Werten, brachten keine Verbesserung der Resultate. Einzig bei der PV-Anlage Sidhalden wurden die Randstunden weggefiltert.

Erklärung der Graphen:

*Mcw mit Korrekturwert: Energiewert der Module mit den More-clean-Elementen addiert mit dem Korrekturwert
orange Kurve, Abweichung in % zum Referenzwert*

*Ref: Energiewert der Module ohne die More-clean-Elemente, ist die Bezugslinie (100%)
blaue Kurve*

*Einstr.: $100 \text{ W/m}^2 / \text{Tag} \times (\text{Einstrahlung [\%]} - 2\%)$
violette Kurve, Nulllinie bei 2%, $100 \text{ W/m}^2 / \text{Tag}$ entspricht 1%
(z.B.: 4% Einstrahlung entspricht $200 \text{ W/m}^2 / \text{Tag}$, 3% Einstrahlung entspricht $100 \text{ W/m}^2 / \text{Tag}$)*

*Temp.: $10^\circ\text{C} \times (\text{Temperatur [\%]} - 4\%)$
grüne Kurve, Nulllinie bei 4%, 10°C entspricht 1%
(z.B.: 4% Temperatur entspricht 0°C , 6% Temperatur entspricht 20°C)*

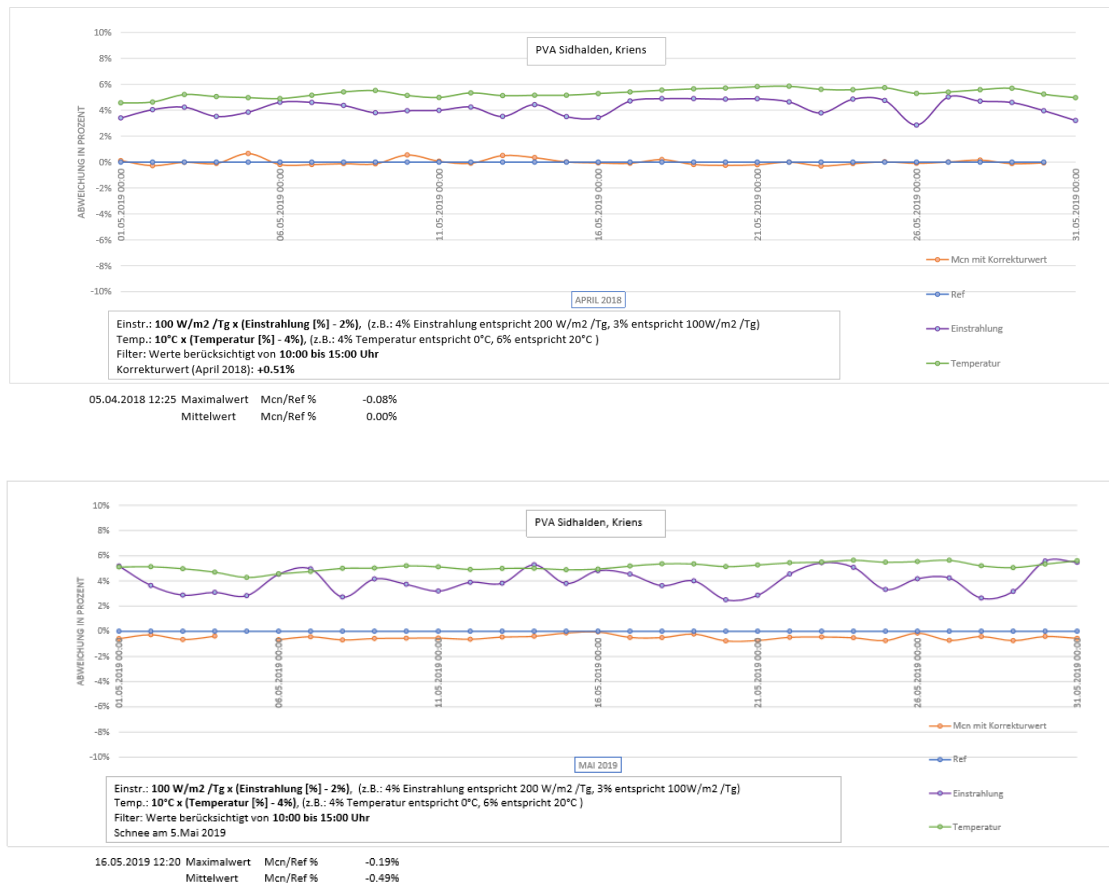
Filter: Werte berücksichtigt von 10:00 bis 15:00 Uhr

Korrekturwert (April 2018): +0.51%, (Wert für die PV-Anlage Sidhalden)



4.6.1 Sidhalden

Da in den Randstunden die Module unterschiedlich verschattet wurden, sind nur die gut besonnenen Stunden von 10:00 bis 15:00 Uhr in der Grafik berücksichtigt worden.



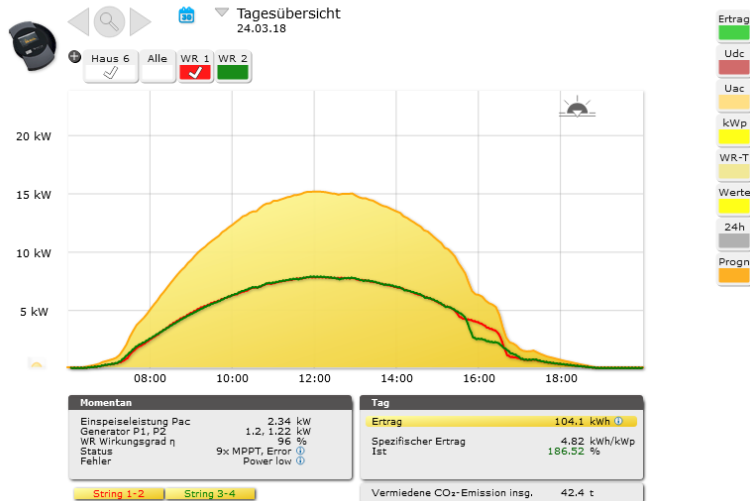
Im Betrachtungsjahr April 2018 (Startmonat oben) bis Mai 2019 konnte keine durch die Verschmutzung verursachte relevante Veränderung festgestellt werden. Auch ist keine Korrelation zur Einstrahlung erkennbar.

Alle Grafiken, ausser die Wintermonate (da teils Schnee auf den Modulen lag) sind im Anhang einsehbar.

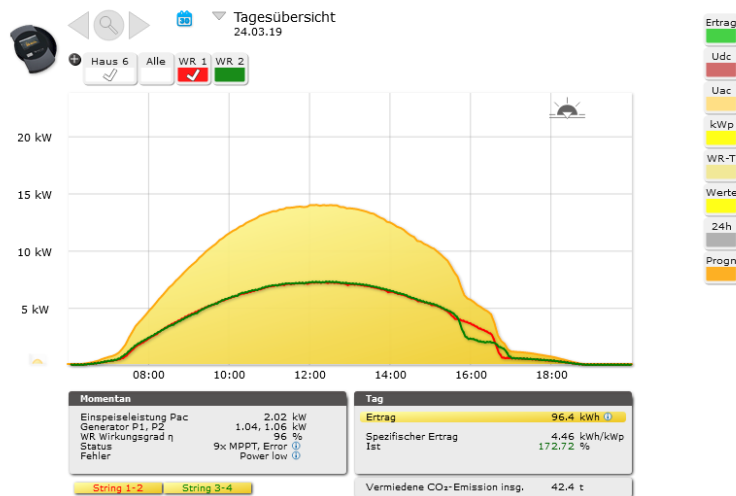


PVA Sidhalden, Energieertrag am 24.März 2018 verglichen mit dem 24. März 2019

Sidhalden Kriens



Sidhalden Kriens



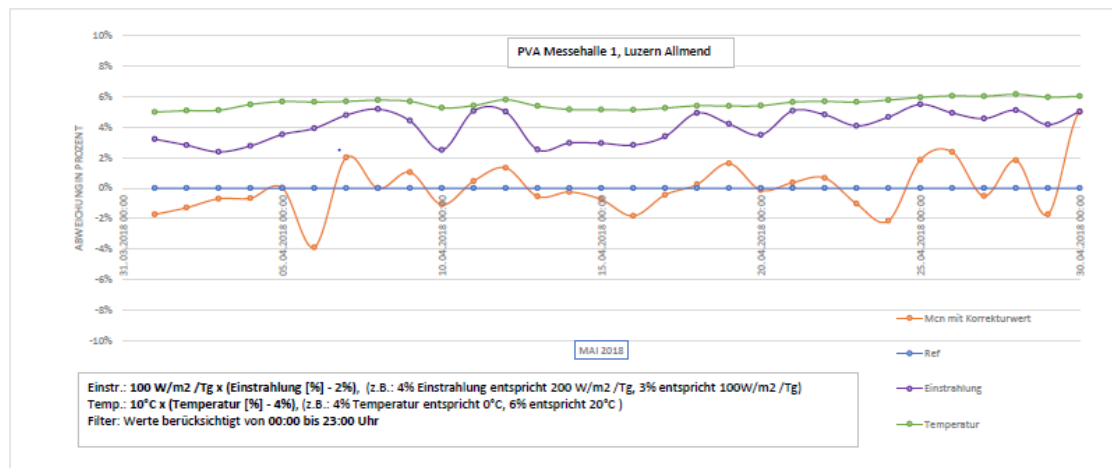
Einstrahlung 24.3.2018	233 W/ m ²	24.3.2019	225 W/ m ²	3.4% tiefer
Energieertrag	104.1 kWh/d		96.4 kWh/d	
Energieertrag	104.1 kWh/d		99.8 kWh/d korrigiert + 3.4%	
Energieertrag	100%		96%	

Die von März 18 bis März 19 angesammelte Verschmutzung führt an einem sonnigen Tag zu einem 4% tieferen Energieertrag.

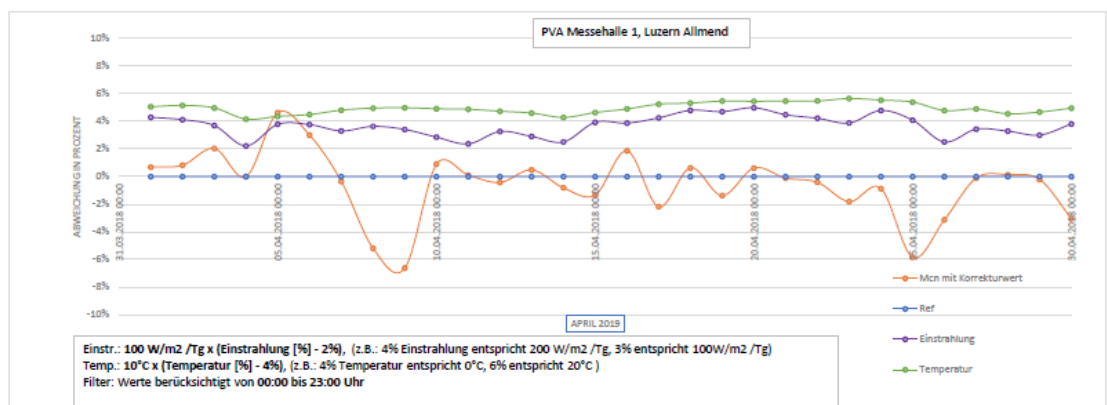


4.6.2 Messehalle LU

Bei dieser Anlage war die Verschattung gleichmässig auf alle Module und sehr klein, dadurch wurden alle Messwerte in der Grafik berücksichtigt.



23.05.2018 11:45 Maximalwert Mcn/Ref % 1.08%
Mittelwert Mcn/Ref % 0.00%



28.04.2019 13:05 Maximalwert Mcn/Ref % 6.07%
Mittelwert Mcn/Ref % -0.60%

Im Betrachtungsjahr Mai 2018 (Startmonat oben) bis April 2019 konnte keine durch die Verschmutzung verursachte Veränderung festgestellt werden. Auch ist keine Korrelation zur Einstrahlung erkennbar.

Alle Grafiken, ausser die Wintermonate (da teils Schnee auf den Modulen lag) sind im Anhang einsehbar.



Zusammenstellung der Abweichungen Mcn zu Ref [in %]:

	PVA Messehalle	PVA Sidhalden
Apr 2018	–	0.00%
Mai 2018	0.00%	0.05%
Juni 2018	1.13%	–0.08%
Juli 2018	1.23%	–0.01%
Aug 2018	1.00%	–0.19%
Sep 2018	1.22%	0.12%
Okt 2018	–2.28%	0.50%
Nov 2018	–1.89%	4.75%
Dez 2018		
Jan 2019		
Feb 2019		
März 2019		
Apr 2019	–0.60%	–0.48%
Mai 2019		–0.49%

Aus den Mittelwerten in der Liste ist kein Trend festzustellen, denn die Abweichungen sind teilweise sehr klein und schwanken zu stark.

4.7 Langzeitstabilität der More-clean

Die wöchentlichen visuellen Kontrollen erfolgten auch mit dem Augenmerk auf Veränderungen der More-clean und deren Haftung auf dem Modul.

Testanlage Sidhalden Kriens

Hier wurden 48 cm lange More-clean-Elemente eingesetzt. Die Montage der More-clean erfolgte im März 2018. In den ersten Wochen und auch den Sommer durch zeigten die More-clean und auch deren Haftung keine Veränderung.

Im Herbst, in der Woche 43, also Mitte Oktober zeigten 2 More-clean, dass Wasser eingedrungen war. Das eine Teil zeigte bis über die Hälfte hinaus eine schlechte Haftung, es liess sich abheben. Beim anderen Teil war die Haftung an den beiden Enden noch in Ordnung. In den folgenden Wochen konnte bei diesen Teilen weiterhin das eingedrungene Wasser, aber auch ein Eindringen von Schmutz festgestellt werden. Die Haftung der Teile wurde nicht schlechter, im Februar hielten wieder alle Teile mit schöner Widerstandskraft.

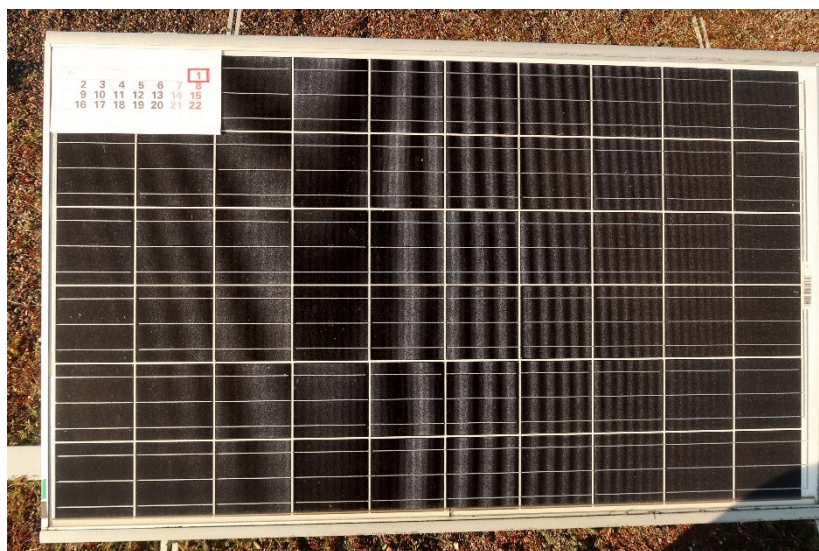
Bei der Anlage Sidhalden wurde somit über ein Jahr hinweg bei 2 von 60 More-clean ein Eindringen von Wasser und Schmutz und eine teilweise Ablösung der Haftung festgestellt.





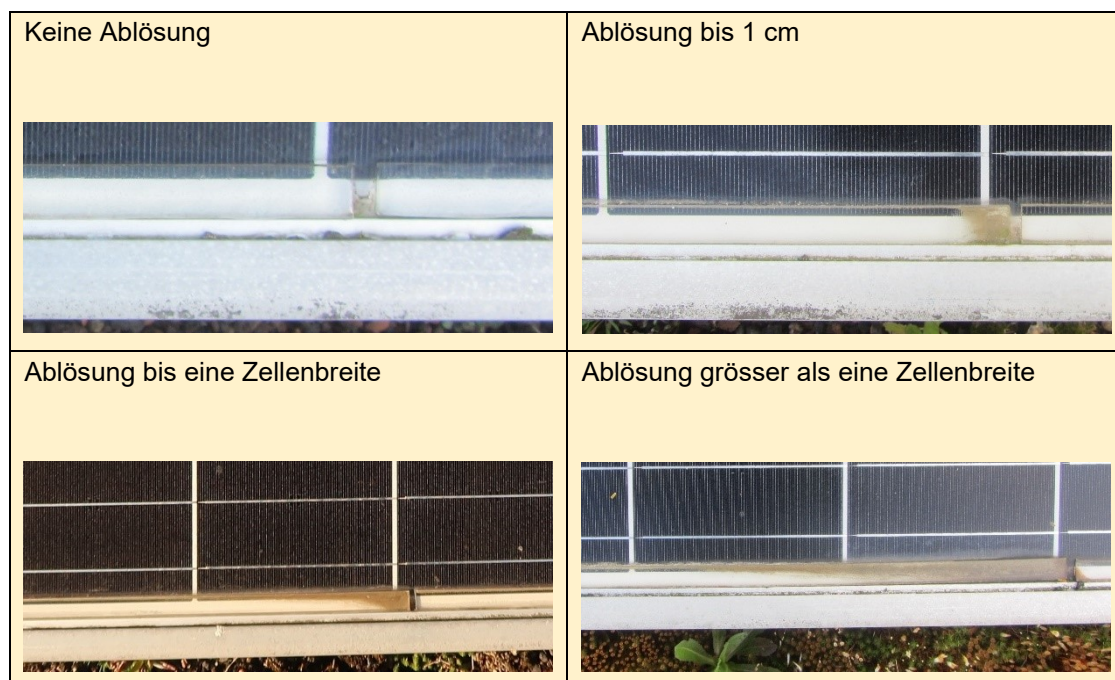
Testanlage Messehalle LU

Am 21.3.2019 wurden alle Module fotografiert, um den Zustand nach ca. einem Jahr festzuhalten. Mit diesen Bildern konnte der Zustand der Klebungen der More-clean-Elementen auf allen Modulen beurteilt werden.



Auswertung der Klebungen nach einem Jahr, Länge More-clean-Element 81 cm.

Keine Ablösung	106 Module	83%
Ablösung bis 1 cm	19 Module	15%
Ablösung bis ein Zellenbreite	2 Module	1.3%
Ablösung grösser ein Zellenbreite	1 Modul	0.7%





4.8 Erfahrungen und Diskussion der Resultate

Die Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz war sehr gut und hilfreich. In mehreren Sitzungen wurden Anforderungen und Resultate sowie Materialeigenschaften besprochen und so in effizienter Art das Weiterfahren bis zum entwickelten More-clean festgelegt.

In 2 unterschiedlichen Photovoltaikanlagen wurden die More-clean über mehr als ein Jahr getestet.

Bei der Anlage Sidhalden waren die More-clean auf 5° geneigten Modulen befestigt worden. Erwartet wurde, dass bei gewissen Regenfällen so viel Wasser über das Modul zum unteren Modulrand fliesst, dass der Schmutz dank den More-clean sozusagen weggespült wird.

Die Beobachtungen vom März 2018 bis Juli 2019 zeigten, dass bei unterdurchschnittlichen Niederschlägen, wie sie in dieser Zeit in Luzern gemessen wurden, der Schmutz sozusagen im stehenden Wasser am unteren Modulrand bleibt. Mit dem More-clean wird die stehende Wassermenge reduziert, welche somit bei schönem Wetter schneller verdunstet, die verschmutzte Fläche im Bereich des „Sees“ bleibt ohne starken Regen aber bestehen.

In Hinblick auf den Energieertrag konnte kaum eine Veränderung zwischen Anlageteilen mit More-clean und solchen ohne More-clean gemessen werden. Es zeigte sich, dass mit dem More-clean das stehende Wasser am unteren Modulrand ganz vermieden werden müsste, damit die Verschmutzung auch bei nur schwachem Regen reduziert wird.

Bei der Anlage Messehalle waren die More-clean auf 20° geneigten Modulen befestigt worden. Der Schmutz floss dort bei Regen über das More-clean mit dem Wasser weg. In der Periode April 2018 bis Juli 2019 blieb der untere Modulrand dadurch recht schmutzfrei. Ohne More-clean begann am unteren Rahmen bereits ein Schmutzrand zu wachsen, der allerdings noch nicht in die Zellen hineinreichte. Auch bei der Anlage Messehalle konnten entsprechend keine bedeutenden Ertragsunterschiede der Anlageteile mit More-clean und jener ohne More-clean gemessen werden. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Module mit 12 mm einen relativ grossen Abstand zwischen Zellen und Rahmen aufweisen und der Beobachtungszeitraum von einem Jahr für 20° geneigte Module sich als knapp erwies. Bezüglich Materialisierung hat sich das More-clean als gut erwiesen, wobei die Klebverbindung noch optimiert werden muss.



5 Schlussfolgerungen und Fazit

Die Feldversuche haben gezeigt, dass das entwickelte More-clean bei 20° geneigten Modulen zwar eine positive Wirkung zeigt, die sich aber in einem guten Jahr bei grösseren Zellabständen vom Rahmen noch nicht in einem Mehrertrag zeigt. Diesbezüglich werden wir die Beobachtungen weiterführen.

Zudem zeigte sich bei 5° geneigten Modulen mit dem montierten More-clean, dass bei unterdurchschnittlichen Niederschlägen eine ausschwemmende Wirkung des Schmutzes ausbleibt und der Schmutz sozusagen im stehenden Wasser am unteren Rand verbleibt. Um bei 5° eine positive Wirkung auf den Ertrag zu erhalten, müssten die Niederschläge grösser sein oder aber das More-clean entsprechend vergrössert werden.

Es ist anzunehmen, dass bei 10° Modulneigung das More-clean auf den Energieertrag eine positive Wirkung hat, die wohl deutlicher als jene bei 20° Neigung ist. Dies gilt es zu verifizieren.

6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Die More-clean auf den beiden Feldanlagen werden weiterhin beobachtet, um deren Wirkung festzuhalten. Zudem beabsichtigen wir auch bei einer Anlage mit 10° Neigung noch einen Feldversuch zu starten.

Zusammen dem Lieferanten gilt es, noch Optimierungen bezüglich der Klebverbindungen vorzunehmen

7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Wir möchten dem Institutsleiter Herrn Dr. Christian Rytka, dem Assistenzleiter Herrn David Botor, den Herren Daniel Zürcher, Oskar Häfeli und Moritz Thommen vielmals danken für die fruchtbare Zusammenarbeit und Unterstützungen.

Ebenfalls danken wir Herrn David Meyer von PV Integ für diverse begleiteten Abklärungen bezüglich Montage, Einsatzgebiet, Anwendungsgebiete des More-clean-Elementes.

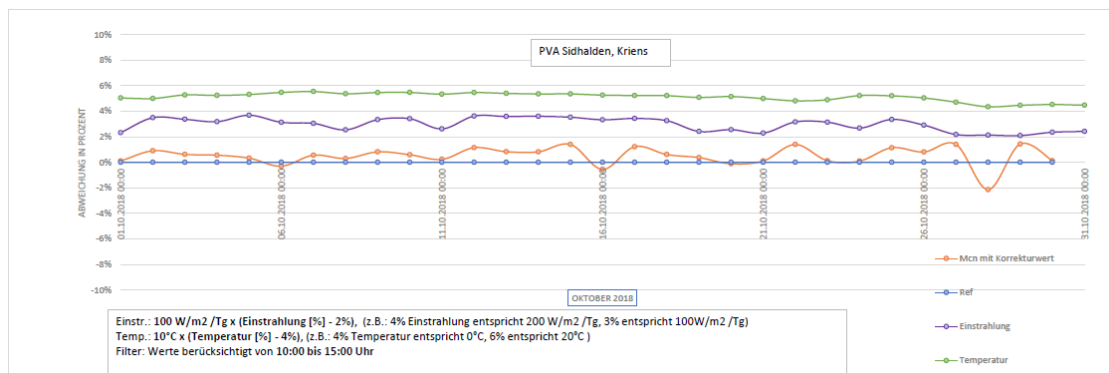
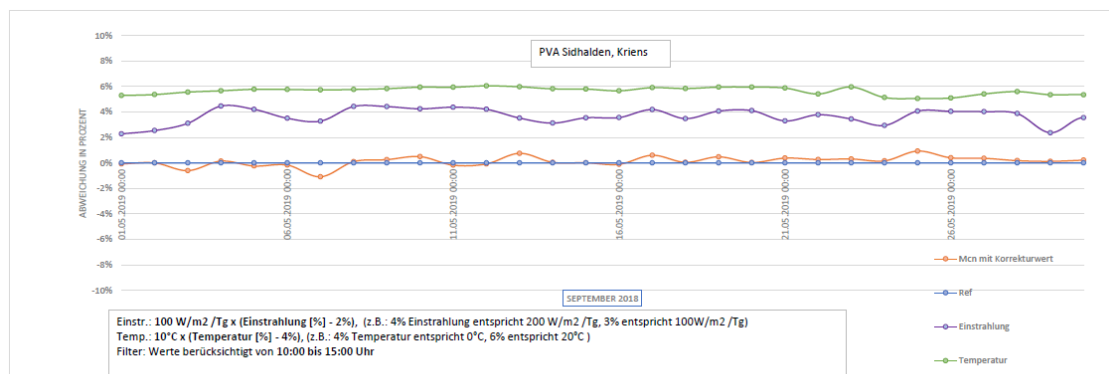
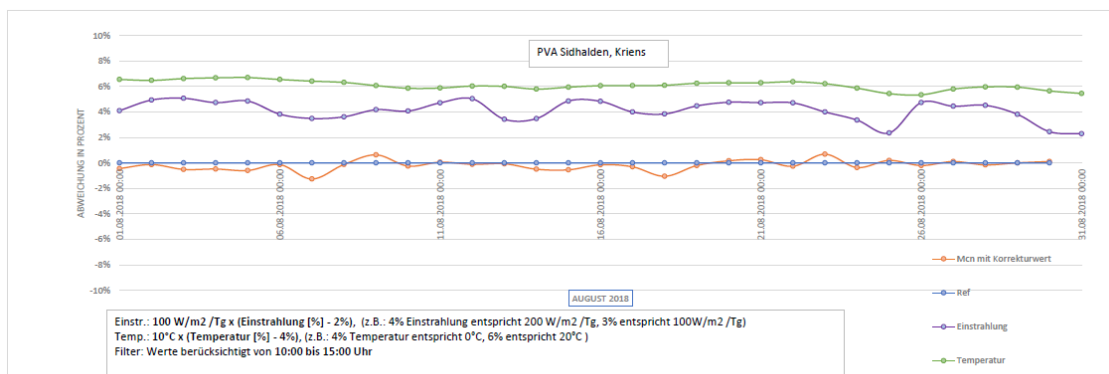
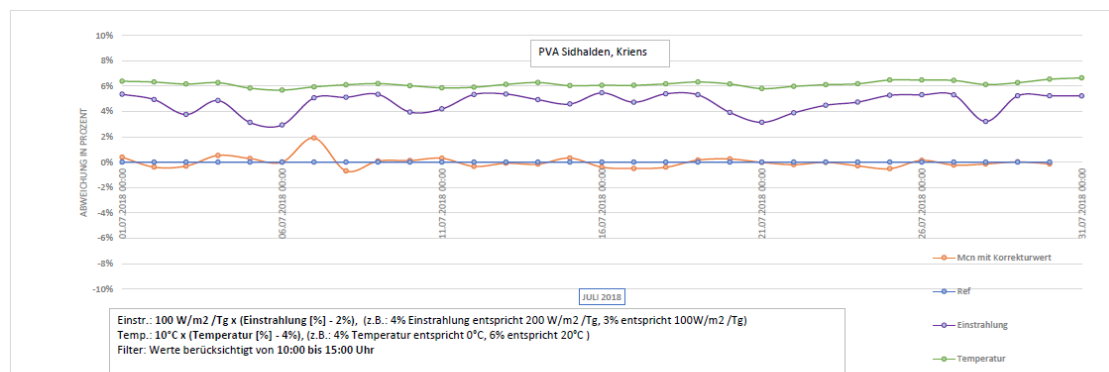
Grossen Dank gebührt aber auch der Migros Genossenschaft Aare und dem Bundesamt für Energie für die finanzielle Unterstützung.

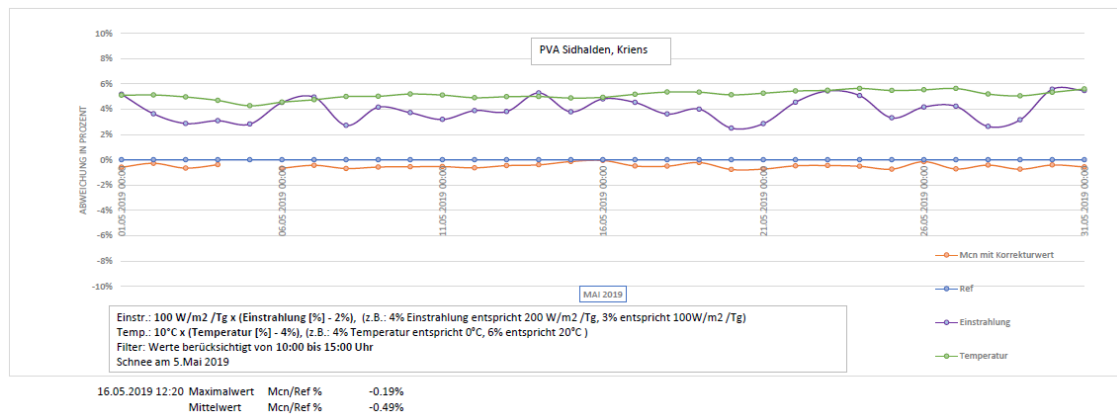
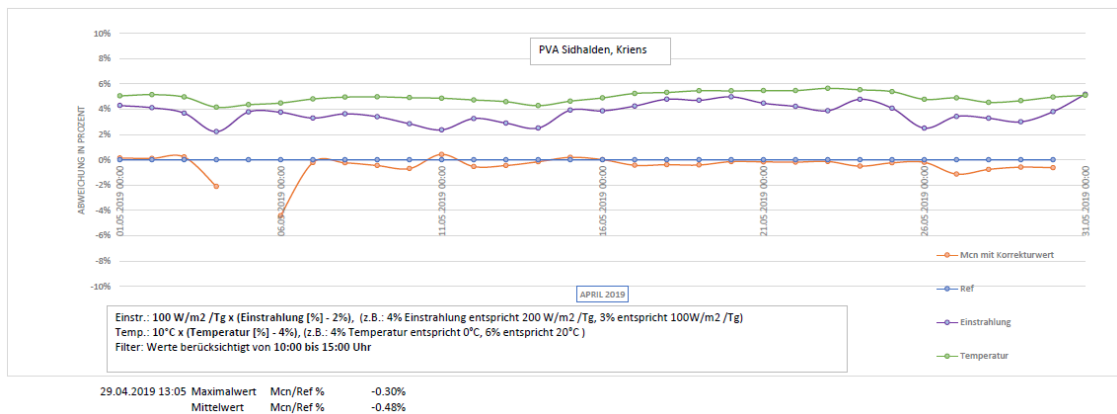
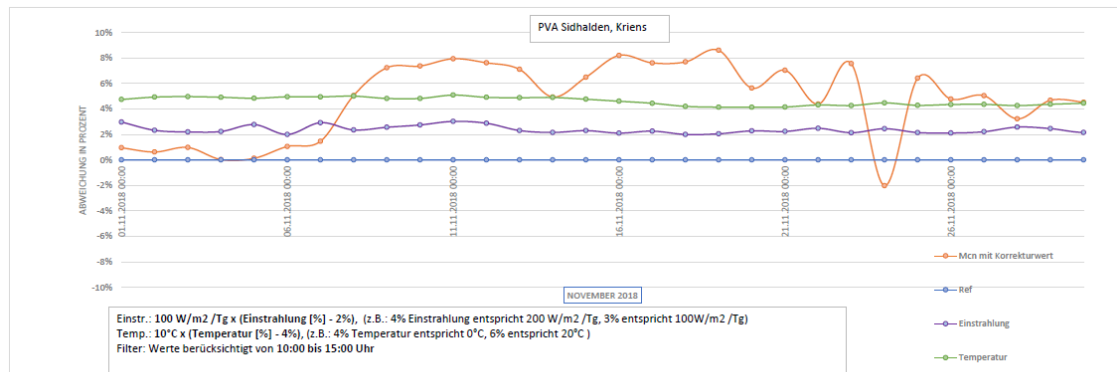


8 Anhang

8.1.1 Sidhalden, Grafiken April 18 bis Mai 19 Abweichung Energiewert Mcn zu Ref.

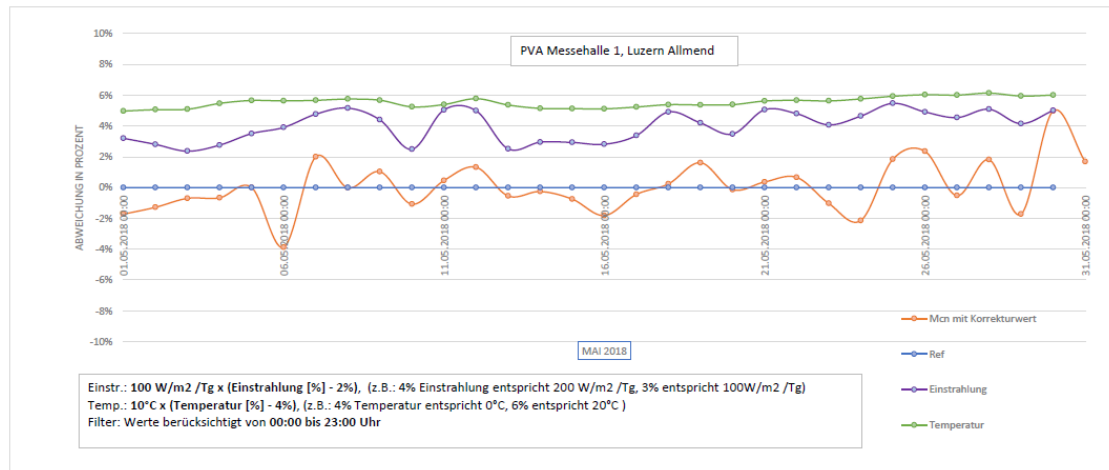




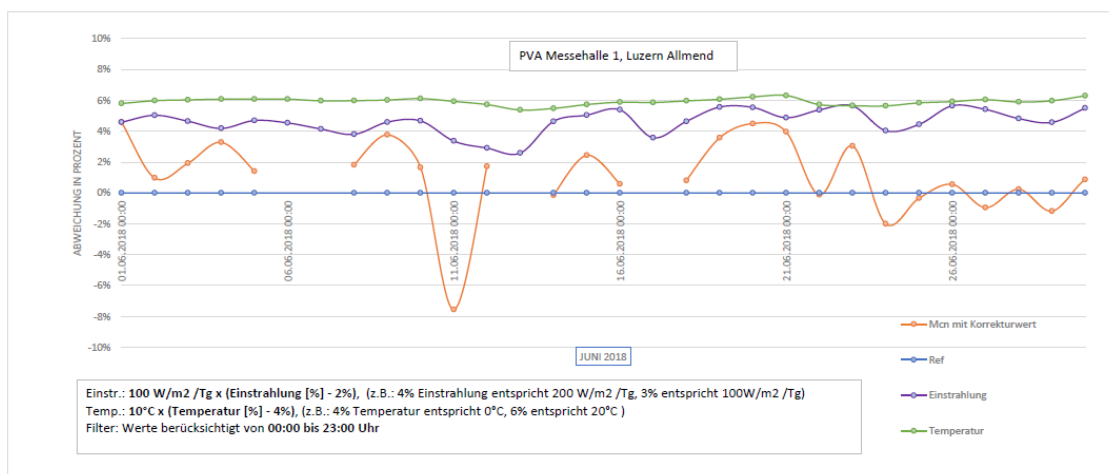




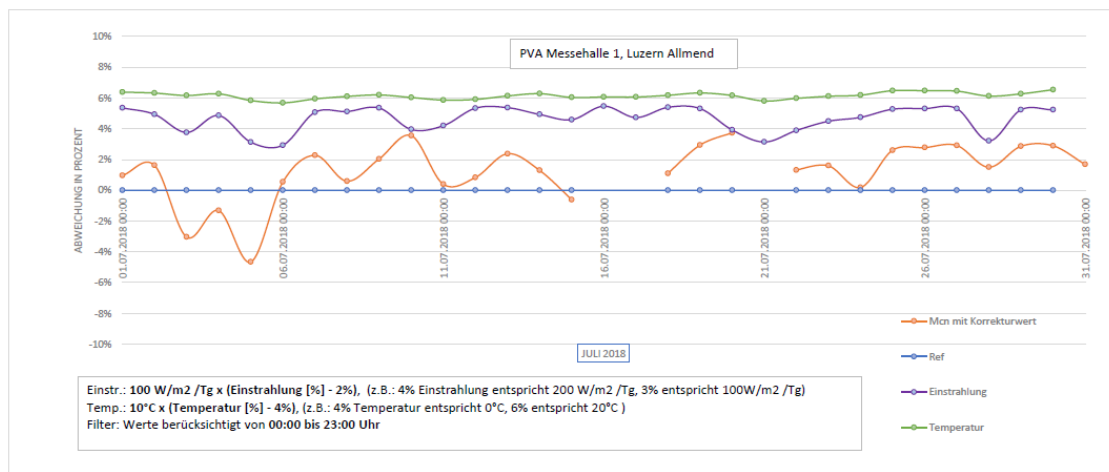
8.1.2 Messehalle LU, Grafiken Mai 18 bis April 19 Abweichung Energiewert Mcn zu Ref.



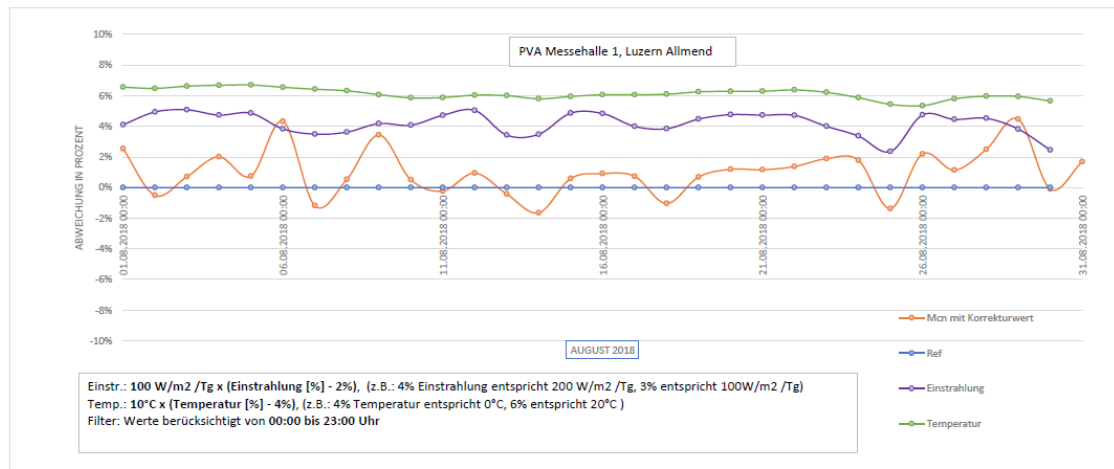
23.05.2018 11:45 Maximalwert Mcn/Ref % 1.08%
Mittelwert Mcn/Ref % 0.00%



01.06.2018 13:00 Maximalwert Mcn/Ref % 5.65%
Mittelwert Mcn/Ref % 1.13%



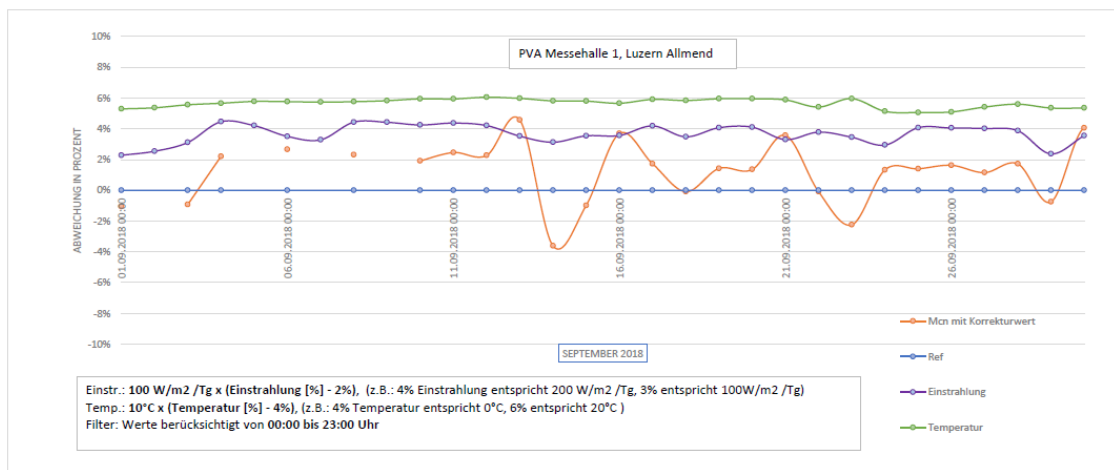
11.07.2018 14:25 Maximalwert Mcn/Ref % 2.73%
Mittelwert Mcn/Ref % 1.23%



17.08.2018 14:25 Maximalwert
Mittelwert

McN/Ref %
McN/Ref %

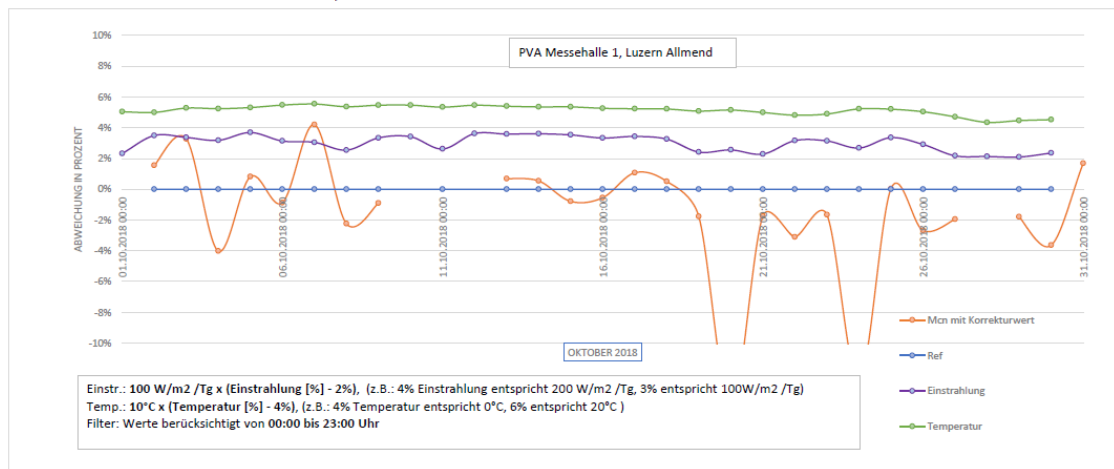
3.29%
1.00%



07.09.2018 13:25 Maximalwert
Mittelwert

McN/Ref %
McN/Ref %

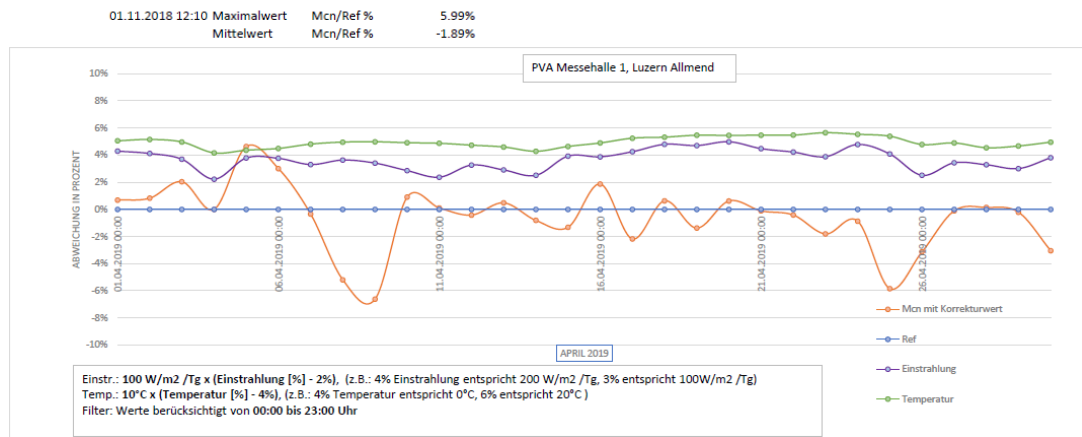
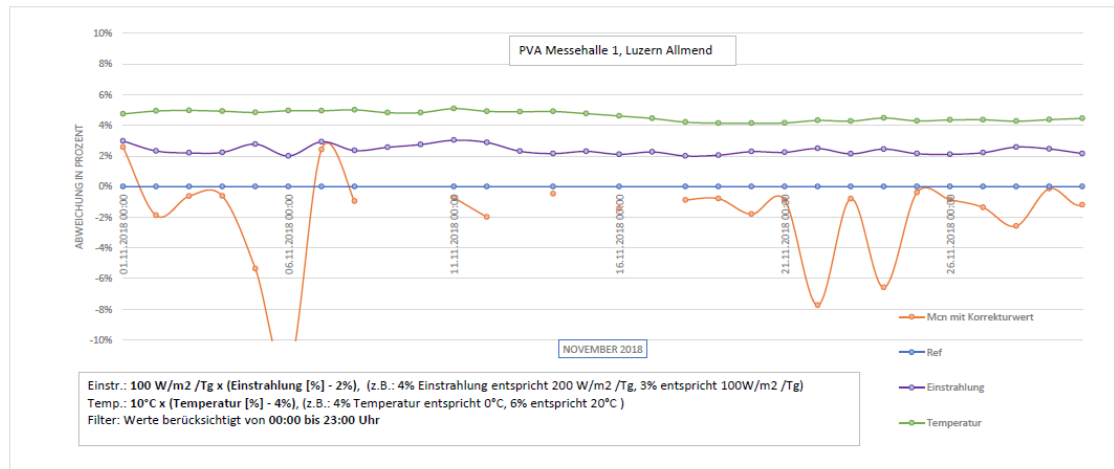
5.07%
1.22%



04.10.2018 12:25 Maximalwert
Mittelwert

McN/Ref %
McN/Ref %

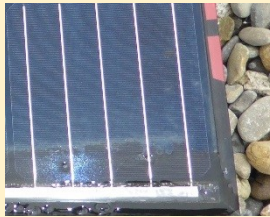
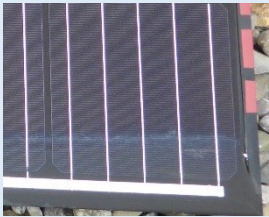
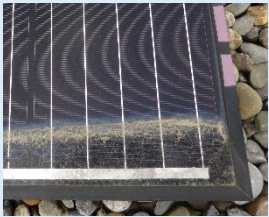
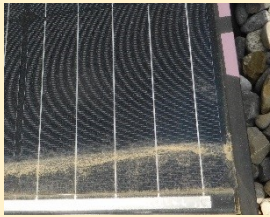
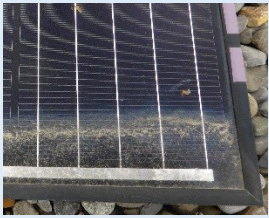
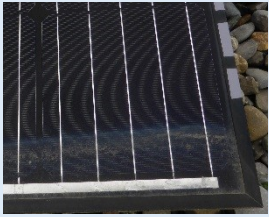
7.37%
-2.28%



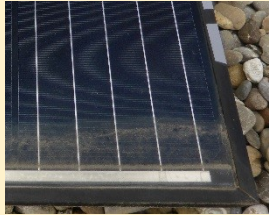
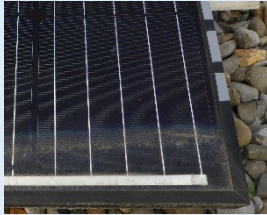
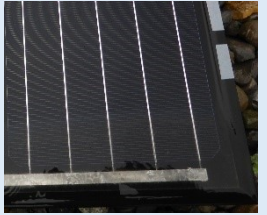
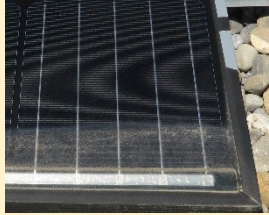
28.04.2019 13:05 Maximalwert Mcn/Ref % 6.07%
Mittelwert Mcn/Ref % -0.60%



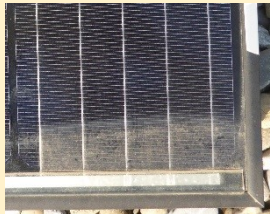
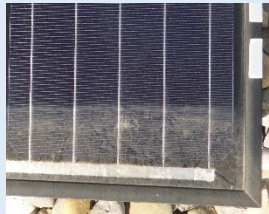
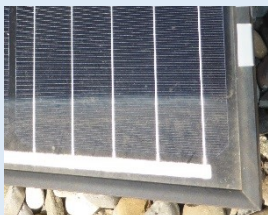
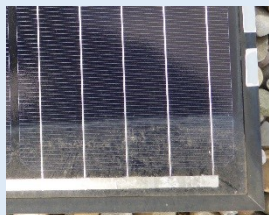
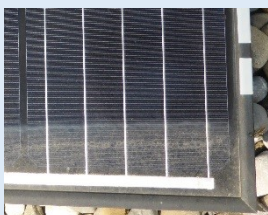
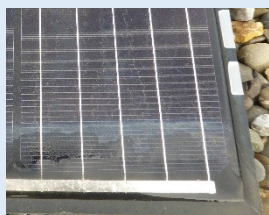
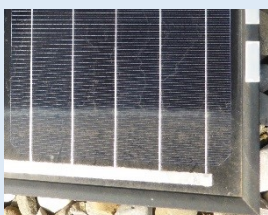
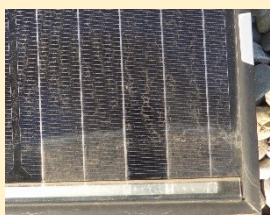
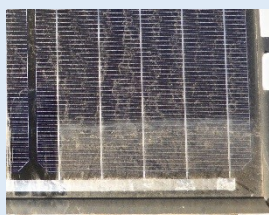
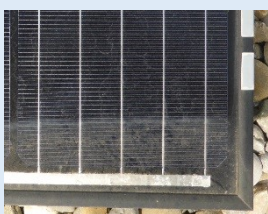
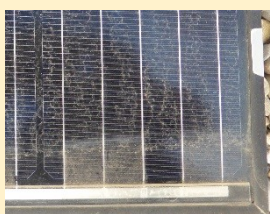
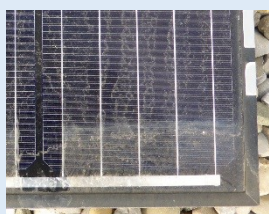
8.1.3 Sidhalden Kriens, wöchentliche Fotoreihe ab März 2018 bis April 2019

Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn	Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn
Wo 11, nass 	Wo 11, nass 	Wo 16, trocken 	Wo 16, trocken 
Wo 12, Schnee 	Wo 12, Schnee 	Wo 17, trocken 	Wo 17, trocken 
Wo 13, nass 	Wo 13, nass 	Wo 18, trocken 	Wo 18, trocken 
Wo 14, trocken 	Wo 14, trocken 	Wo 20, trocken 	Wo 20, trocken 
Wo 15, trocken 	Wo 15, trocken 	Wo 21, trocken 	Wo 21, trocken 

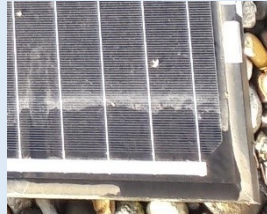
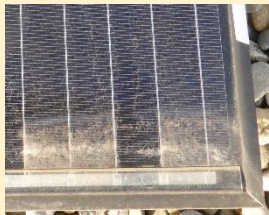
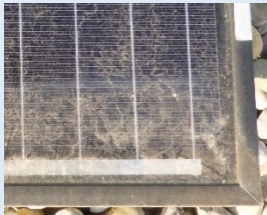
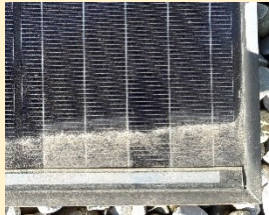
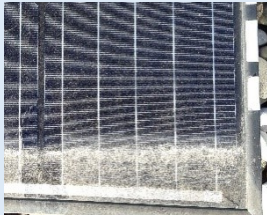
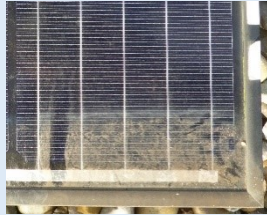


Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn	Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn
Wo 22, trocken 	Wo 22, trocken 	Wo 28, trocken 	Wo 28, trocken 
Wo 23, trocken 	Wo 23, trocken 	Wo 29, trocken 	Wo 29, trocken 
Wo 24, nass 	Wo 24, nass 	Wo 30, trocken 	Wo 30, trocken 
Wo 25, trocken 	Wo 25, trocken 	Wo 31, trocken 	Wo 31, trocken 
Wo 26, trocken 	Wo 26, trocken 	Wo 32, trocken 	Wo 32, trocken 

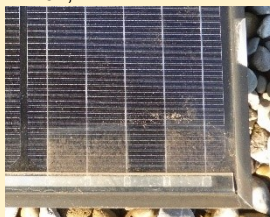
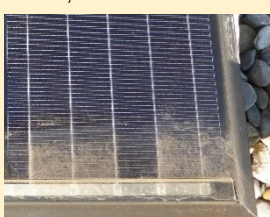
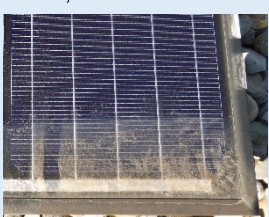
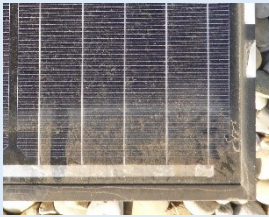
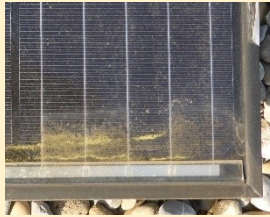
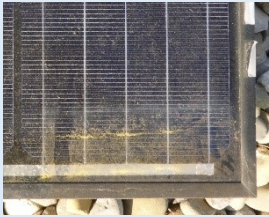


Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn	Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn
Wo 33, nass 	Wo 33, nass 	Wo 38, trocken 	Wo 38, trocken 
Wo 34, trocken 	Wo 34, trocken 	Wo 39, trocken 	Wo 39, trocken 
Wo 35, trocken 	Wo 35, trocken 	Wo 40, teilweise nass 	Wo 40, teilweise nass 
Wo 36, trocken 	Wo 36, trocken 	Wo 42, trocken 	Wo 42, trocken 
Wo 37, trocken 	Wo 37, trocken 	Wo 43, trocken 	Wo 43, trocken 



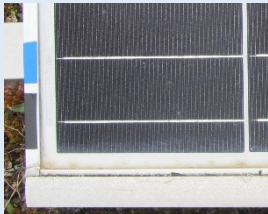
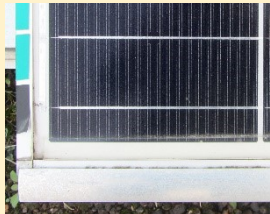
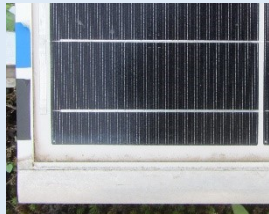
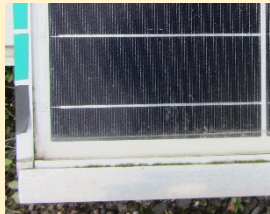
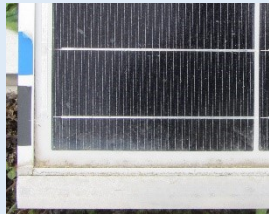
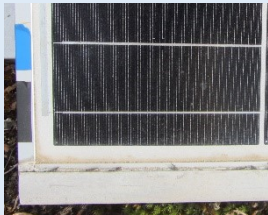
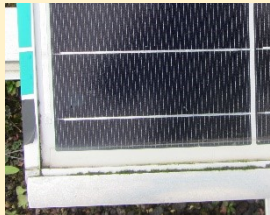
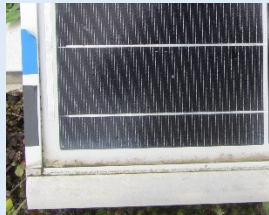
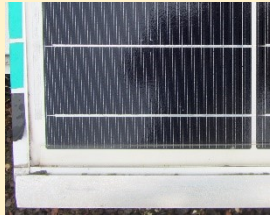
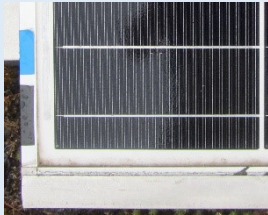
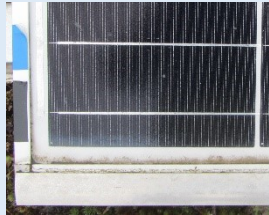
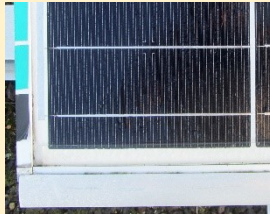
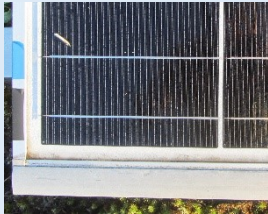
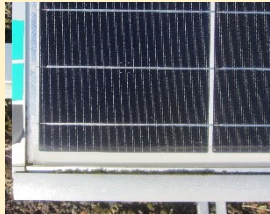
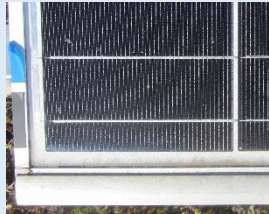
Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn	Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn
Wo 44, nass 	Wo 44, nass 	Wo 50, trocken 	Wo 50, trocken 
Wo 45, trocken 	Wo 45, trocken 	Wo 51, feucht 	Wo 51, feucht 
Wo 46, trocken 	Wo 46, trocken 	Wo 02, nass 	Wo 02, nass 
Wo 48, feucht 	Wo 48, feucht 	Wo 03, trocken 	Wo 42, trocken 
Wo 49, nass 	Wo 49, nass 	Wo 05, feucht 	Wo 05, feucht 



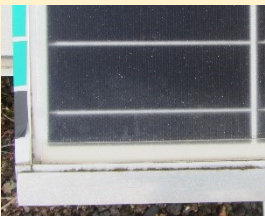
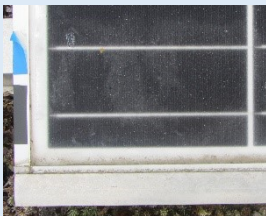
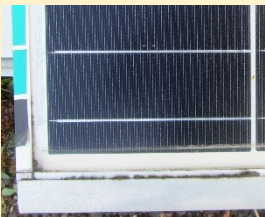
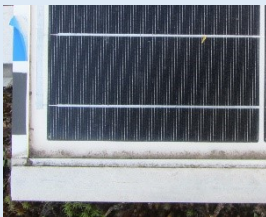
Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn	Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn
Wo 06, Schnee 	Wo 06, Schnee 	Wo 11, trocken 	Wo 11, trocken 
Wo 07, trocken 	Wo 07, trocken 	Wo 12, trocken 	Wo 12, trocken 
Wo 08, trocken 	Wo 08, trocken 	Wo 14, trocken 	Wo 14, trocken 
Wo 09, trocken 	Wo 09, trocken 	Wo 16, trocken 	Wo 16, trocken 
Wo 10, nass 	Wo 10, nass 	Wo 28, trocken 	Wo 28, trocken 



8.1.4 Messehalle LU, monatliche Fotoreihe ab Mai 2018 bis April 2019

Modul G2 mit Mcn	Modul B1 ohne Mcn	Modul G2 mit Mcn	Modul B1 ohne Mcn
Wo 18, trocken 	Wo 18, trocken 	Wo 40, trocken 	Wo 40, trocken 
Wo 23, trocken 	Wo 23, trocken 	Wo 45, trocken 	Wo 45, trocken 
Wo 27, trocken 	Wo 27, trocken 	Wo 49, trocken 	Wo 49, trocken 
Wo 32, feucht 	Wo 32, feucht 	Wo 02, trocken 	Wo 02, trocken 
Wo 36, feucht 	Wo 36, feucht 	Wo 07, trocken 	Wo 07, trocken 



Modul R2 mit Mcn	Modul R3 ohne Mcn
Wo 10, Frost 	Wo 10, Frost 
Wo 14, trocken 	Wo 14, trocken 
Wo 18, trocken 	Wo 18, trocken 