

PV Gutachten

(#####,#####)

Im Auftrag von

#####

Gutachten ZE15014-KAP
September 2015

Contents

1 Auftrag	2
2 PV System & Umfeld.....	2
2.1 Ort.....	2
2.2 Komponenten.....	2
2.3 Klima	3
3 Sichtprüfung	3
3.1 Elektrik.....	3
3.2 PV System	4
4 Messergebnisse	4
4.1 Spannungsmessung	4
4.2 Infrarotmessung	5
4.3 IU-Kennlinienmessung.....	6
5 Interpretation der Messergebnisse	6
6 Nächste Schritte	7
Anhang 1 PV Layout.....	8
Anhang 2 Einlinienschema.....	9
Anhang 3 Fotos.....	10
Anhang 4 Spannungsmessung.....	11
Anhang 4.1 Modul-Leerlaufspannung.....	11
Anhang 4.2 String-Spannung/-Ströme (Vmpp, Impp) am Wechselrichter.....	13
Anhang 4.3 String-spannung gegen Erdpotenzial	13
Anhang 5 IR Bilder	14
Anhang 6 IU-Kennlinien	16

Zusammenfassung

Alle untersuchten Module der Anlage zeigen eine deutlich reduzierte Modulleistung.

Design- und Montagefehler können auf Basis der Sichtprüfung ausgeschlossen werden.

Als Ursache für diese Reduktion wird PID (Potential Induced Degradation) vermutet. Die Ursache für diesen extrem starken Effekt an de facto allen Modulen ist unbekannt.

Es wird empfohlen die Module durch die Verwendung der SMA Offset-Boxen zu heilen.

1 Auftrag

Der Kunden des Auftraggebers reklamierte starken Leistungsabfall seiner Module, was an der Anzeige der Wechselrichter abgelesen wurde. Stringspannung und Stringstrom (im mpp) waren auf allen Wechselrichtern der Anlage stark reduziert gegenüber den ursprünglichen Spannungen.

Nach ersten Messungen der Leerlaufspannungen mehrerer Module, wurde deutlich, dass auch diese stark abgefallen waren.

Aufgabe dieses Gutachtens ist die Schädigung der PV Module durch stichprobenartige Infrarot- und Kennlinienmessung festzuhalten und Schlüsse über die Art des Defektes zu ziehen.

2 PV System & Umfeld

Die Anlage besteht aus einem Backup System mit einem AC-Bus, PV-Wechselrichtern und Inverter-Charger an Batterien. Eine SMA Multiclusterbox koordiniert den Betrieb der Anlage im Ongrid und Offgrid-fall.

Da kein Datalogger an der Anlage installiert war, ist es unklar wann und mit welcher Änderungsrate die Verschlechterung eingesetzt hatte.

2.1 Ort

Die Anlage befindet sich in [REDACTED] (GPS Koordinaten [REDACTED])

Im Süden der Anlage ist in einem Abstand von 50 cm ein Zaun von 3 m Höhe dessen Steher starke Verschattung auf der untersten Modulreihe hervorrufen (im Winter voraussichtlich deutlich stärker).

2.2 Komponenten

Auf der Anlage kamen die folgenden Komponenten zum Einsatz.



2.3 Klima

Das Klima in [REDACTED] ist von April bis November sehr relativ warm und auch feucht. Gelegentlich gibt es Sandstürme, die dem Material zusetzen können. Durch die unmittelbare Meeresnähe und gelegentlich sehr starke Winde ist auch mit salzhaltiger Luft zu rechnen.

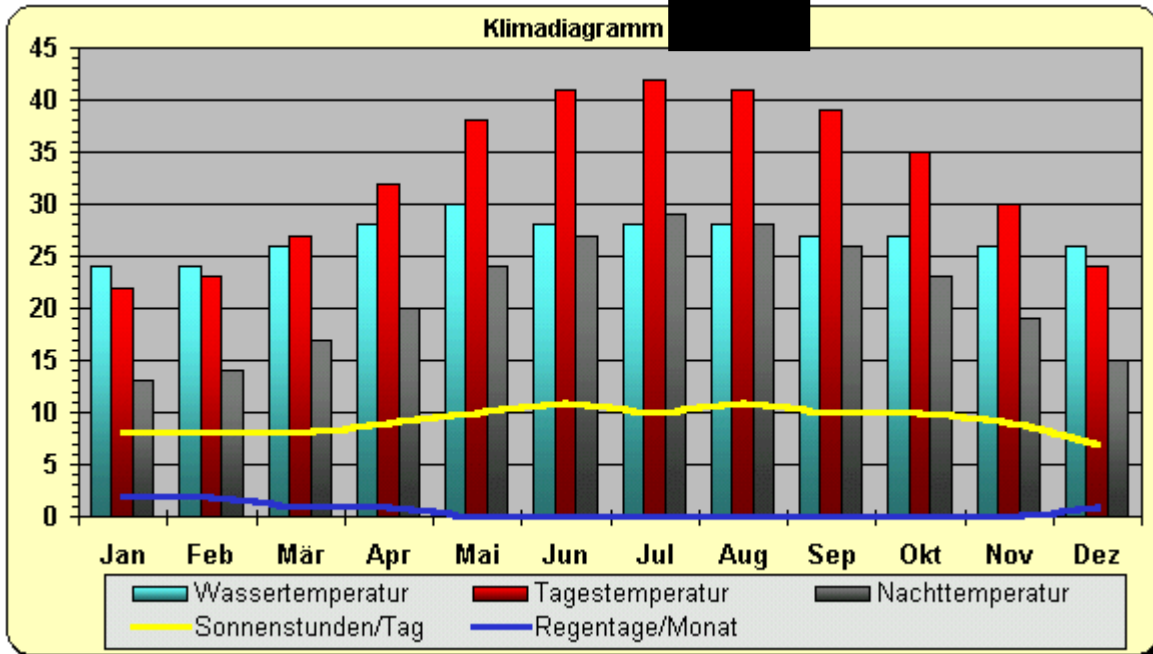


Abbildung 1 Daten von [http://www.iten-online.ch/klima/\[REDACTED\]](http://www.iten-online.ch/klima/[REDACTED])

3 Sichtprüfung

Die Sichtprüfung wurde am 8. September 2015, zwischen 8:00 und 16:00 durchgeführt. Die Tageshöchsttemperatur war zu diesem Zeitpunkt 43°C, die Luftfeuchtigkeit in etwa 50%.

3.1 Elektrik

Bei der Sichtprüfung wurden folgende Tatsachen augenscheinlich:

- Es wurden keine Wechselrichterfehler registriert.
- Die DC-Kabel und PV-Stecker zeigen keinen sichtbaren Schaden und sind ordentlich verlegt. An manchen Stellen sollten die DC Kabel vor scharfen Kanten geschützt werden (z.B. durch Kantenschutz oder Rohre) was jedoch noch nicht zu einer Verschlechterung der Isolation geführt hat.
- Alle Wechselrichter, wie auch Aufständungen wurden durch ausreichend Starke Kabel gerdet. Laut Plan ist die Erdung der Aufständung mit der Erdung des Gebäudes verbunden (wo auch die Wechselrichter stehen).

3.2 PV System

Bei der Sichtprüfung wurden folgende Tatsachen augenscheinlich:

- Die Modulaufständerung ist stabil aufgebaut, die Module sind darauf vorschriftsmäßig montiert.
- Es gibt keine sichtbare Beschädigung der Module oder der Zellen
- Manche Module sind durch den Zaun oder Bäume stark verschattet

4 Messergebnisse

Bei den Messungen wurden folgende Messgeräte verwendet:

	Hersteller	Type
Multimeter	Fluke	114
Infrarot Kamera	FLIR	E40 (E49001)
IU-Kennlinienmessgerät	PVE	PVPM 1040 (C04610)

4.1 Spannungsmessung

Es wurde die Leerlaufspannung an allen Modulen gemessen. Diese ist bei allen Modulen zu gering (auch wenn man die hohe Temperatur und die Sonneneinstrahlung von deutlich weniger als 1000W/m² berücksichtigt). Die Module am Stringanfang (die ersten 5 bis 10 Module) sind im Durchschnitt weniger geschädigt als die Module am Stringende (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2 Modul-Leerlaufspannung von 3 Strings an einem Wechselrichter

Die String-spannung im Maximum-Power-Point (mpp) die durch den Wechselrichter eingestellt wird ist im Betrieb ebenfalls viel zu gering.

Die String-spannung gegen Erde sind auf plus und minus-Leitung negativ. Die Technische Service Line von SMA konnte keine Aussage machen, ob das den Wechselrichter-Designparametern entspricht oder nicht. Bei den trafo-losen Wechselrichtern müssen aber natürlich Spannungen gegen Erde von bis zu minus 1000V in Kauf genommen werden.

	Nominal	Measured
PV Panel - open circuit voltage (V_{OC})	33.45V (@STC)	7.5 ... 28.5V
PV String Voltage (max power point) $25 \times V_{mpp}$	836.3V (@STC)	149 ... 200V
PV String +/- to GND (on inverter) V+, V-	? (unknown @ SMA)	V+: -148 ... -117V V-: -305 ... -303V

4.2 Infrarotmessung

Die Module haben in etwa eine Temperatur von 60°C.

Viele Module zeigen heiße Zellen am Modulrand und weniger heiße Zellen in der Modulmitte. Der Unterschied der gemessenen Zelltemperaturen (gemessen von vorne durch das Glas) beträgt 3 bis 4 Kelvin.

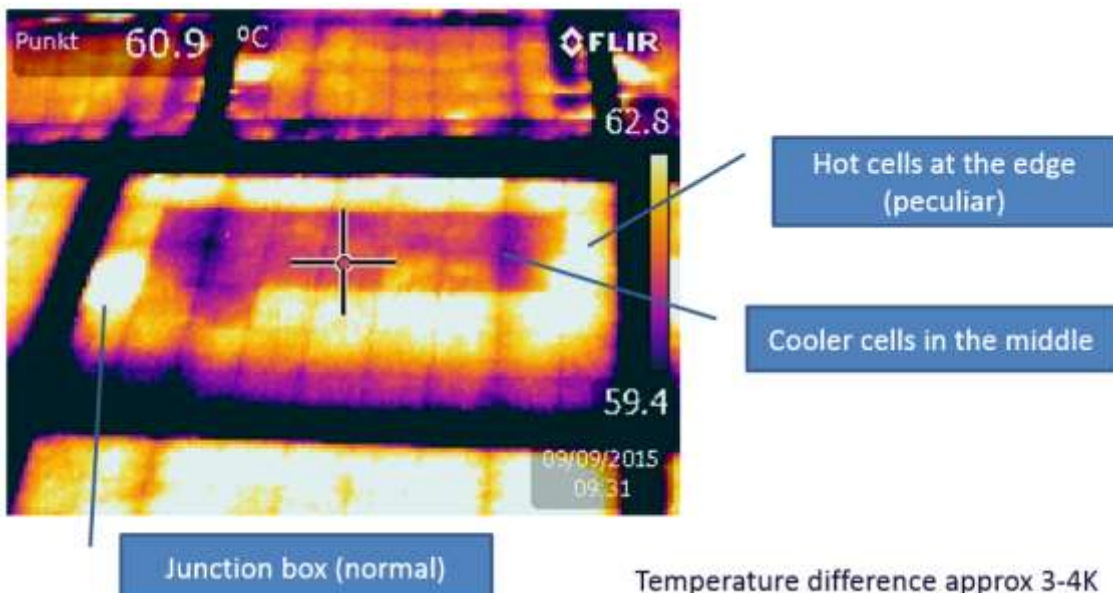


Abbildung 3 Modultemperatur

4.3 IU-Kennlinienmessung

Die IU-Kennlinienmessung zeigt starke Abweichungen von der Nominalen Kurve (die auch unter Berücksichtigung der hohen Zelltemperatur und der Einstrahlung $< 1000 \text{ W/m}^2$ nicht zu erklären sind). Sowohl die Spannungs- als auch die Stromwerte des Modules sind deutlich reduziert.

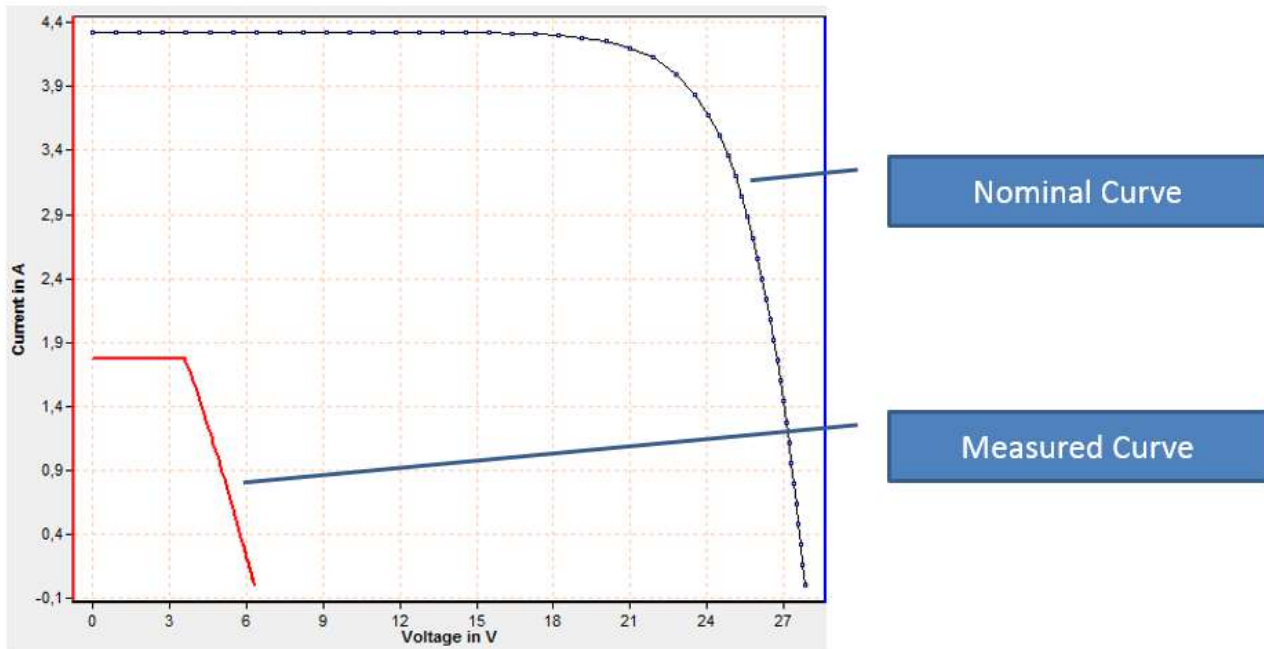


Abbildung 4 IU-Kennlinie

5 Interpretation der Messergebnisse

Folgende Faktoren weisen auf PID (Potential Induced Degradation) hin

1. Die PV-Zellen sind am Modulrand wärmer als zur Modulmitte hin
2. Die Stärke des Effekts nimmt gegen String-ende (wo eine größere negative Spannung herrscht) zu.
3. Die Flanke der IU-Kennlinie ist stark abfallend und die Leerlaufspannung stark reduziert.

Folgende Faktoren begünstigen die Bildung von PID

1. Die eingesetzten Wechselrichter sind transformatorlos
2. Die örtlichen Klimatischen Bedingungen sind heiß und feucht.
3. Die String-Erde Spannungen sind am ganzen String negativ.

Folgende Faktoren dienen dem Ausschluss anderer Fehlerquellen

1. Die Wechselrichter haben keine Isolationsfehler (und auch keine anderen Fehler) registriert
2. Es wurden keine Fehler in der Auslegung oder Ausführung der Anlage sichtbar.
3. Die Module sind optisch einwandfrei (Glas, Backsheet, Junction-box)
4. Die Bypass-dioden sind intakt, die Modulkennlinie ändert sich nicht nach deren Entfernung.

5. Es handelt sich nicht um einzelne hot-spots die zufällig verteilt wären.

6 Nächste Schritte

Eine Elektro-Lumineszenz-Messung eines der Module soll die Ergebnisse dieses Gutachtens bestätigen oder falsifizieren.

Es wird die Verwendung der SMA Offset Box empfohlen. Diese ist über einen Zeitraum von mehreren Tagen am besten mit maximaler Spannung von 1000 V und im „continuous-mode“ zu betreiben.

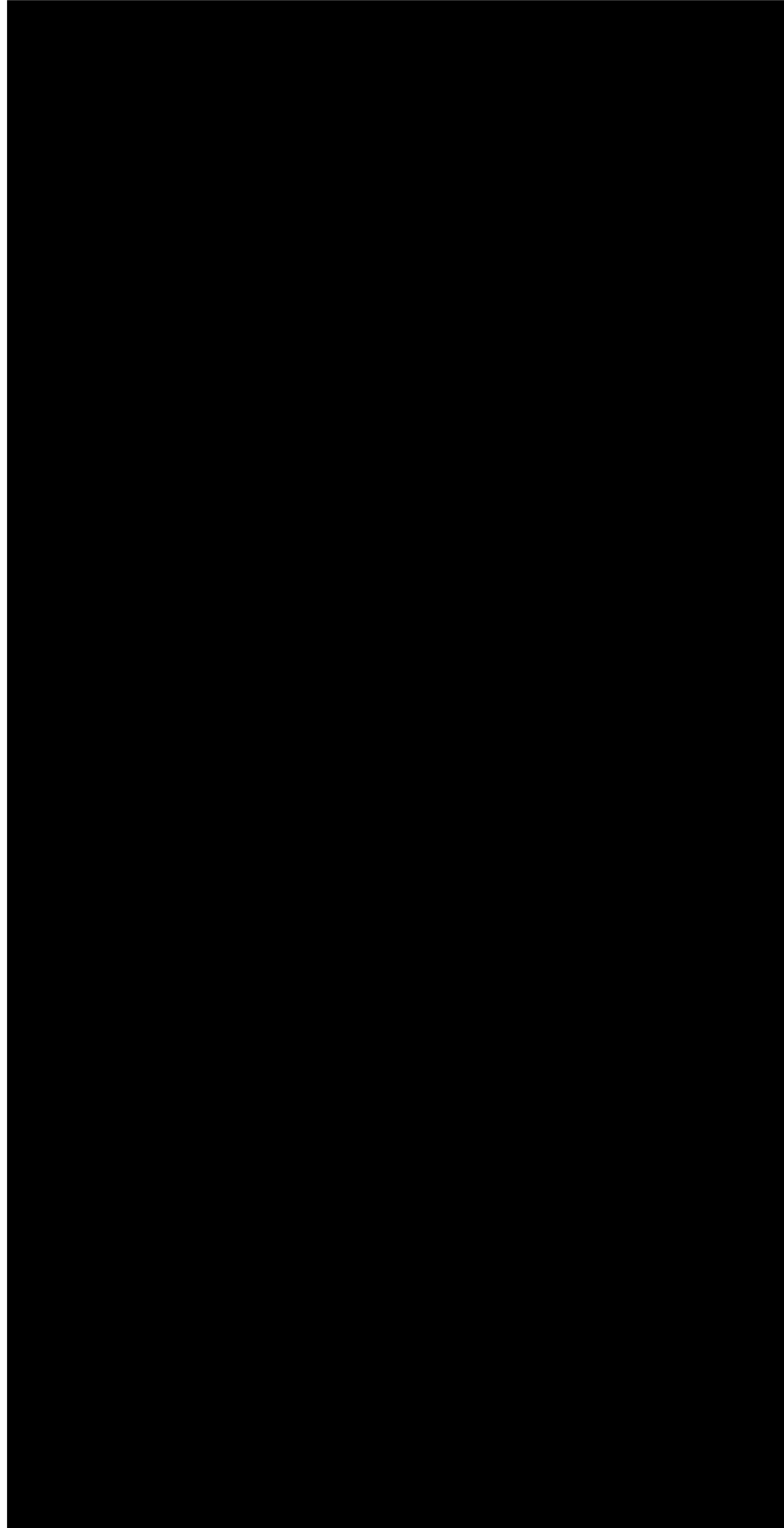
Nach einer Woche ist die Stringsplanung am Wechselrichter abzulesen und etwaige Veränderungen (Verbesserungen) aufzuzeigen.

Datum: 16.9.2015

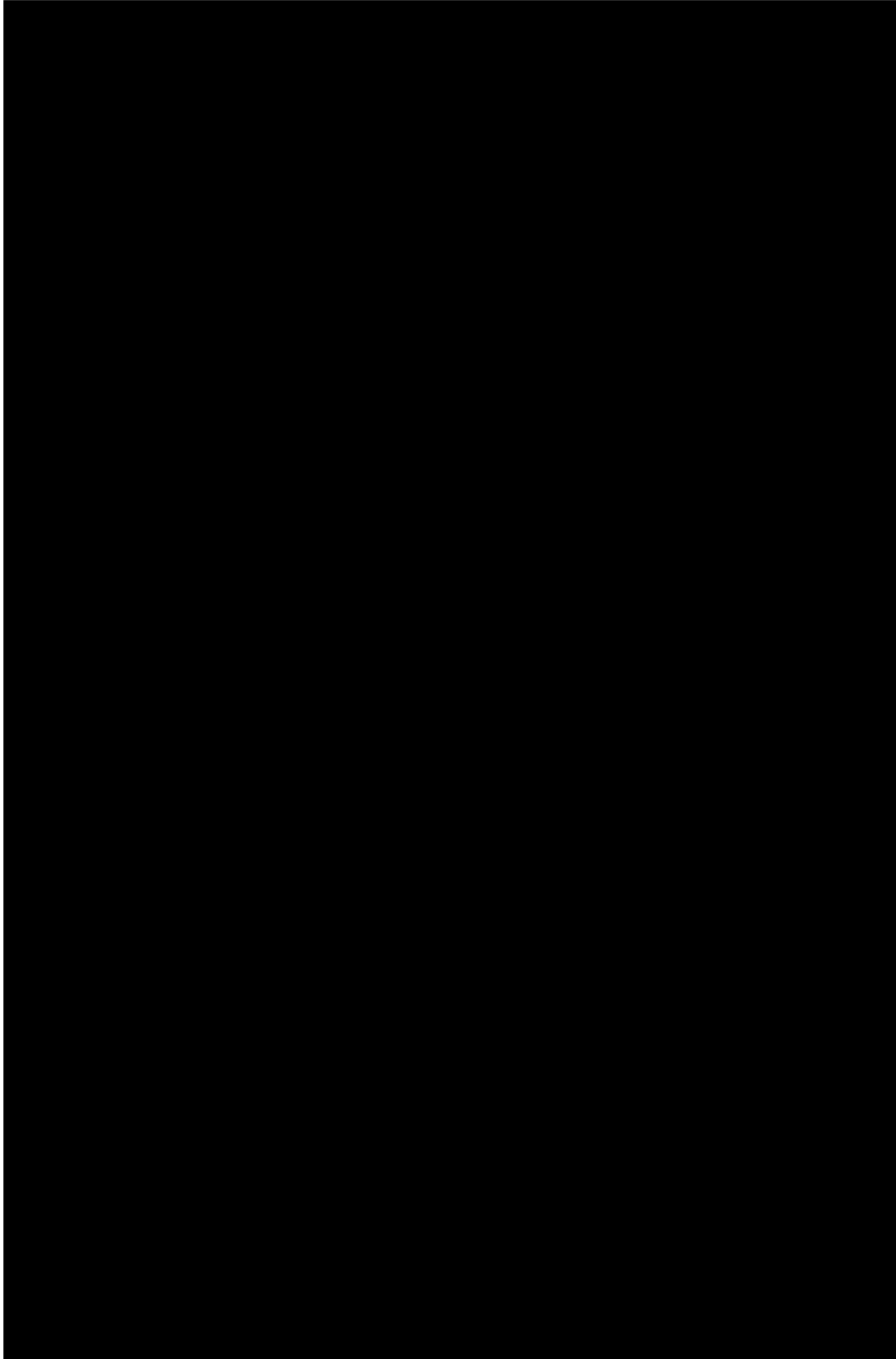
Gutachter:

Jakob Zehndorfer
Zehndorfer Engineering Consulting

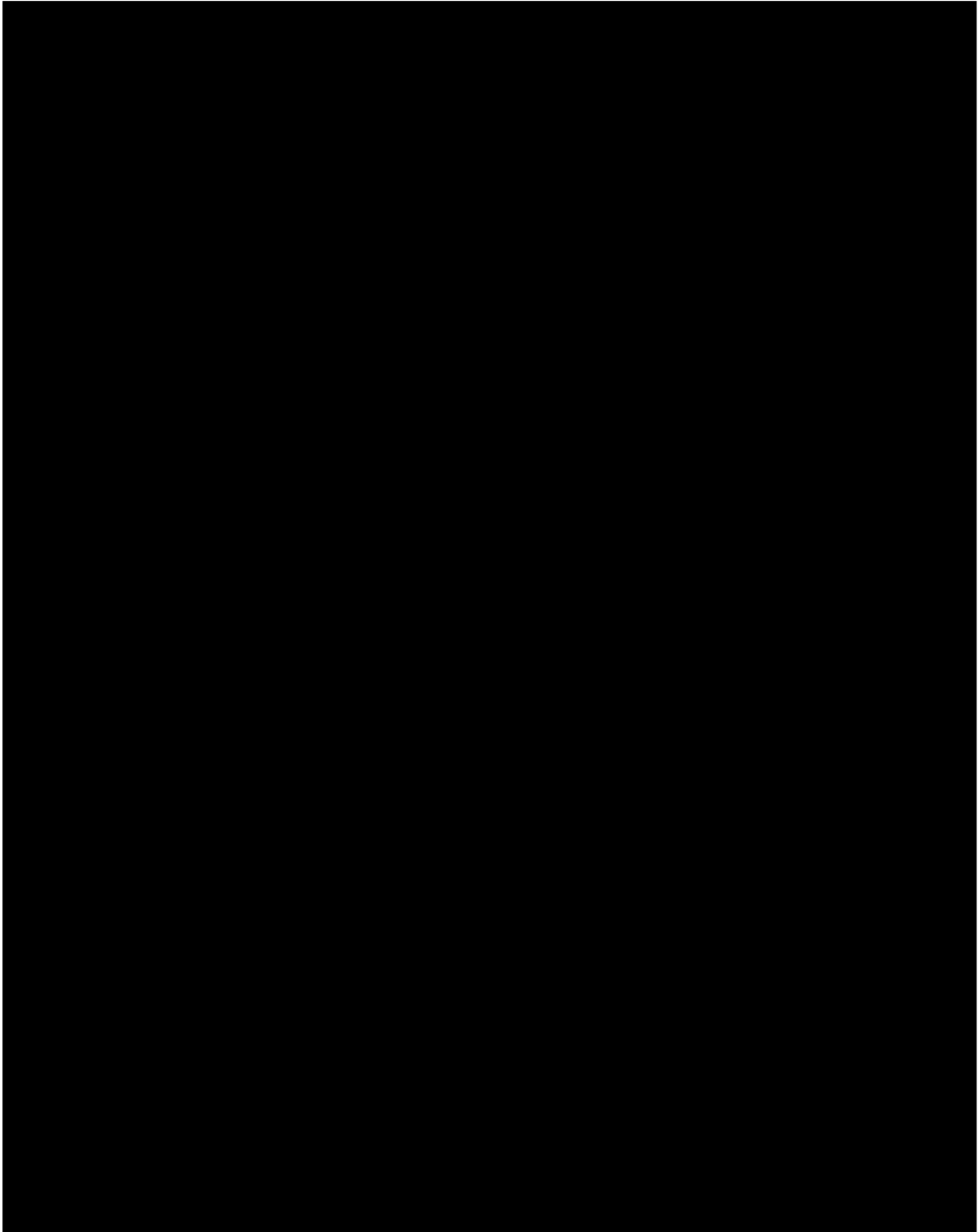
Anhang 1 PV Layout



Anhang 2 Einlinienschema



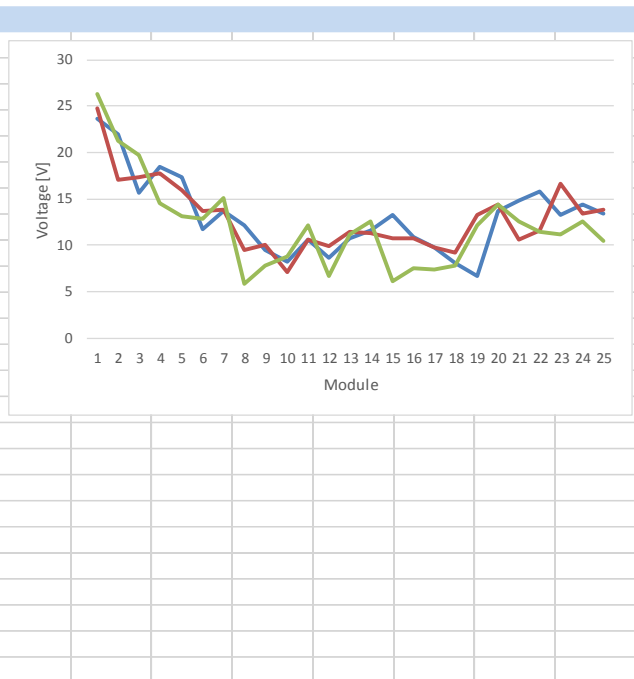
Anhang 3 Fotos



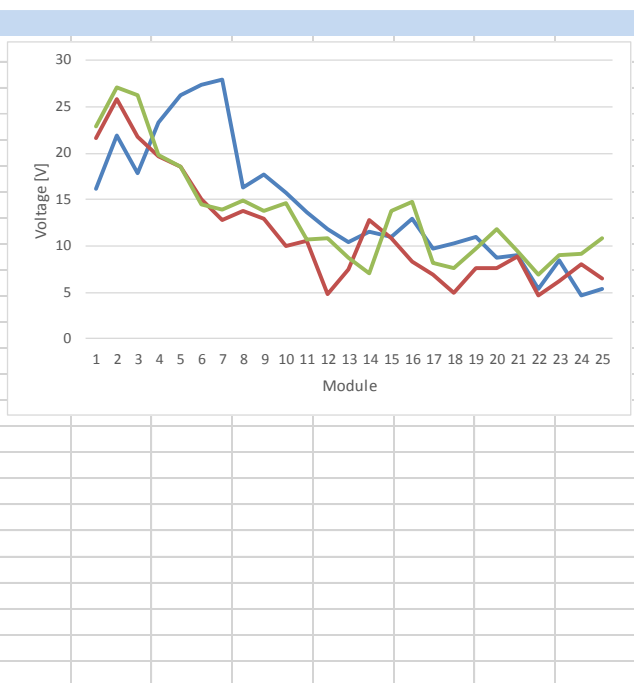
Anhang 4 Spannungsmessung

Anhang 4.1 Modul-Leerlaufspannung

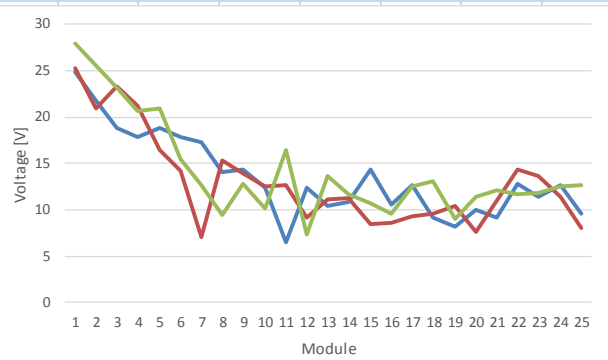
INV1	A1	A2	B1			
	KA/ A1	23,6	KA/ B1	24,8	KA/ C1	26,31
	KA/ A2	21,9	KA/ B2	17,01	KA/ C2	21,21
	KA/ A3	15,6	KA/ B3	17,41	KA/ C3	19,7
	KA/ A4	18,5	KA/ B4	17,81	KA/ C4	14,6
	KA/ A5	17,3	KA/ B5	15,91	KA/ C5	13,1
	KA/ A6	11,8	KA/ B6	13,71	KA/ C6	12,8
	KA/ A7	13,7	KA/ B7	13,81	KA/ C7	15,1
	KA/ A8	12,1	KA/ B8	9,51	KA/ C8	5,8
	KA/ A9	9,5	KA/ B9	10,01	KA/ C9	7,8
	KA/ A10	8,29	KA/ B10	7,13	KA/ C10	8,81
	KA/ A11	10,63	KA/ B11	10,56	KA/ C11	12,17
	KA/ A12	8,64	KA/ B12	9,87	KA/ C12	6,74
	KA/ A13	10,69	KA/ B13	11,41	KA/ C13	11,24
	KA/ A14	11,65	KA/ B14	11,36	KA/ C14	12,61
	KA/ A15	13,31	KA/ B15	10,69	KA/ C15	6,15
	KA/ A16	10,9	KA/ B16	10,76	KA/ C16	7,6
	KA/ A17	9,81	KA/ B17	9,81	KA/ C17	7,33
	KA/ A18	8,1	KA/ B18	9,17	KA/ C18	7,8
	KA/ A19	6,66	KA/ B19	13,29	KA/ C19	12,14
	KA/ A20	13,64	KA/ B20	14,46	KA/ C20	14,35
	KA/ A21	14,8	KA/ B21	10,57	KA/ C21	12,52
	KA/ A22	15,85	KA/ B22	11,53	KA/ C22	11,4
	KA/ A23	13,27	KA/ B23	16,67	KA/ C23	11,15
	KA/ A24	14,47	KA/ B24	13,39	KA/ C24	12,53
	KA/ A25	13,41	KA/ B25	13,79	KA/ C25	10,54



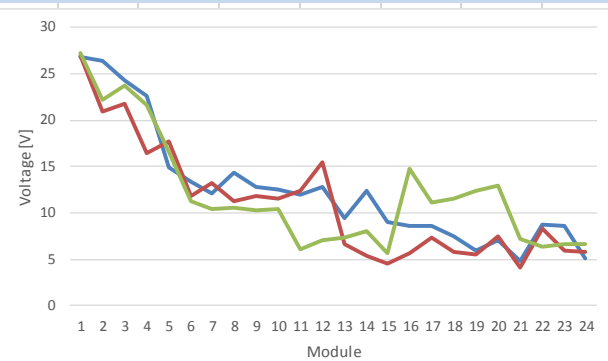
INV2	A1	A2	B1			
	KA/ A26	16,1	KA/ B26	21,59	KA/ C26	22,82
	KA/ A27	21,87	KA/ B27	25,77	KA/ C27	27,1
	KA/ A28	17,78	KA/ B28	21,71	KA/ C28	26,31
	KA/ A29	23,24	KA/ B29	19,67	KA/ C29	19,82
	KA/ A30	26,3	KA/ B30	18,59	KA/ C30	18,54
	KA/ A31	27,32	KA/ B31	14,97	KA/ C31	14,54
	KA/ A32	27,97	KA/ B32	12,73	KA/ C32	13,87
	KA/ A33	16,36	KA/ B33	13,79	KA/ C33	14,87
	KA/ A34	17,67	KA/ B34	12,92	KA/ C34	13,82
	KA/ A35	15,75	KA/ B35	9,99	KA/ C35	14,64
	KA/ A36	13,7	KA/ B36	10,61	KA/ C36	10,63
	KA/ A37	11,83	KA/ B37	4,86	KA/ C37	10,77
	KA/ A38	10,43	KA/ B38	7,41	KA/ C38	8,73
	KA/ A39	11,59	KA/ B39	12,74	KA/ C39	7,08
	KA/ A40	11,01	KA/ B40	10,86	KA/ C40	13,83
	KA/ A41	12,92	KA/ B41	8,29	KA/ C41	14,74
	KA/ A42	9,66	KA/ B42	6,96	KA/ C42	8,1
	KA/ A43	10,24	KA/ B43	4,99	KA/ C43	7,62
	KA/ A44	10,98	KA/ B44	7,55	KA/ C44	9,67
	KA/ A45	8,68	KA/ B45	7,57	KA/ C45	11,74
	KA/ A46	9,01	KA/ B46	8,92	KA/ C46	9,42
	KA/ A47	5,3	KA/ B47	4,64	KA/ C47	6,87
	KA/ A48	8,51	KA/ B48	6,17	KA/ C48	9,02
	KA/ A49	4,64	KA/ B49	8,02	KA/ C49	9,13
	KA/ A50	5,41	KA/ B50	6,46	KA/ C50	10,84



INV3	A1	A2	B1
	KA/ A51	KA/ B51	KA/ C51
	24,81	25,3	27,9
	KA/ A52	KA/ B52	KA/ C52
	21,78	20,89	25,56
	KA/ A53	KA/ B53	KA/ C53
	18,85	23,28	23,17
	KA/ A54	KA/ B54	KA/ C54
	17,78	21,2	20,7
	KA/ A55	KA/ B55	KA/ C55
	18,8	16,47	20,88
	KA/ A56	KA/ B56	KA/ C56
	17,87	14,14	15,49
	KA/ A57	KA/ B57	KA/ C57
	17,32	7,11	12,67
	KA/ A58	KA/ B58	KA/ C58
	14,1	15,36	9,46
	KA/ A59	KA/ B59	KA/ C59
	14,38	13,85	12,76
	KA/ A60	KA/ B60	KA/ C60
	12,31	12,51	10,18
	KA/ D80	KA/ E80	KA/ F80
	6,46	12,72	16,45
	KA/ D79	KA/ E79	KA/ F79
	12,44	9,09	7,27
	KA/ D78	KA/ E78	KA/ F78
	10,41	11,05	13,66
	KA/ D77	KA/ E77	KA/ F77
	10,8	11,29	11,61
	KA/ D76	KA/ E76	KA/ F76
	14,38	8,41	10,68
	KA/ D75	KA/ E75	KA/ F75
	10,54	8,52	9,63
	KA/ D74	KA/ E74	KA/ F74
	12,64	9,3	12,57
	KA/ D73	KA/ E73	KA/ F73
	9,18	9,57	13,06
	KA/ D72	KA/ E72	KA/ F72
	8,13	10,45	9,04
	KA/ D71	KA/ E71	KA/ F71
	9,92	7,62	11,37
	KA/ D70	KA/ E70	KA/ F70
	9,16	11,01	12,16
	KA/ D69	KA/ E69	KA/ F69
	12,73	14,39	11,61
	KA/ D68	KA/ E68	KA/ F68
	11,44	13,61	11,8
	KA/ D67	KA/ E67	KA/ F67
	12,59	11,34	12,45
	KA/ D66	KA/ E66	KA/ F66
	9,53	8,01	12,71



INV4	A1	A2	B1
	KA/ D65	KA/ E65	KA/ F65
	26,78	26,96	27,19
	KA/ D64	KA/ E64	KA/ F64
	26,41	20,87	22,12
	KA/ D63	KA/ E63	KA/ F63
	24,34	21,72	23,69
	KA/ D62	KA/ E62	KA/ F62
	22,56	16,43	21,67
	KA/ D61	KA/ E61	KA/ F61
	14,87	17,71	16,53
	KA/ G81	KA/ H81	KA/ I 81
	13,32	11,78	11,21
	KA/ G82	KA/ H82	KA/ I 82
	12,11	13,27	10,38
	KA/ G83	KA/ H83	KA/ I 83
	14,37	11,27	10,61
	KA/ G84	KA/ H84	KA/ I 84
	12,76	11,88	10,24
	KA/ G85	KA/ H85	KA/ I 85
	12,54	11,57	10,4
	KA/ G86	KA/ H86	KA/ I 86
	11,96	12,32	6,1
	KA/ G87	KA/ H87	KA/ I 87
	12,86	15,51	7,07
	KA/ G88	KA/ H88	KA/ I 88
	9,47	6,58	7,29
	KA/ G89	KA/ H89	KA/ I 89
	12,44	5,4	7,99
	KA/ G90	KA/ H90	KA/ I 90
	9,03	4,46	5,68
	KA/ G91	KA/ H91	KA/ I 91
	8,53	5,62	14,75
	KA/ G92	KA/ H92	KA/ I 92
	8,52	7,31	11,11
	KA/ G93	KA/ H93	KA/ I 93
	7,4	5,85	11,5
	KA/ G94	KA/ H94	KA/ I 94
	5,91	5,56	12,43
	KA/ G95	KA/ H95	KA/ I 95
	6,99	7,52	12,93
	KA/ G96	KA/ H96	KA/ I 96
	4,77	4,04	7,23
	KA/ G97	KA/ H97	KA/ I 97
	8,79	8,26	6,37
	KA/ G98	KA/ H98	KA/ I 98
	8,58	5,86	6,65
	KA/ G99	KA/ H99	KA/ I 99
	5,02	5,8	6,61



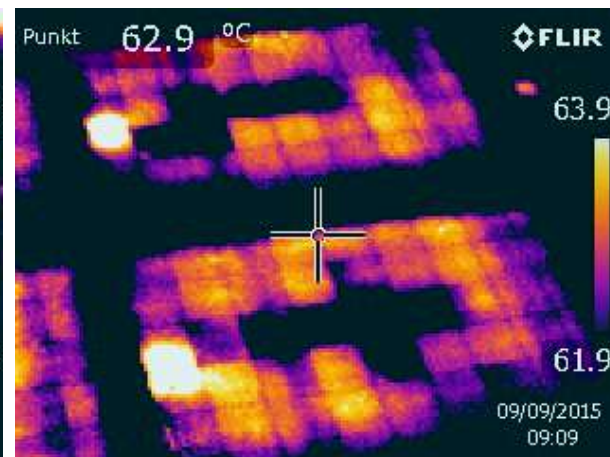
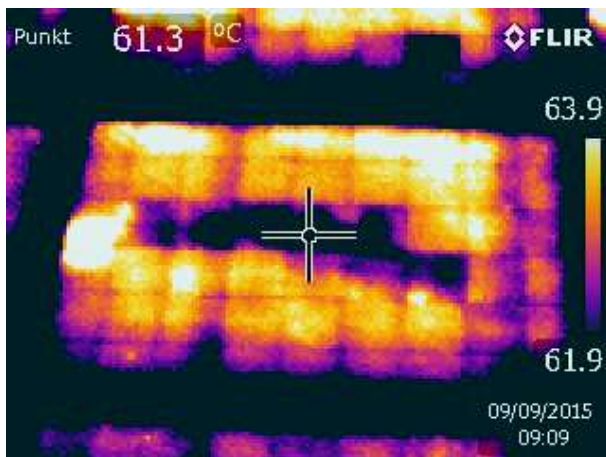
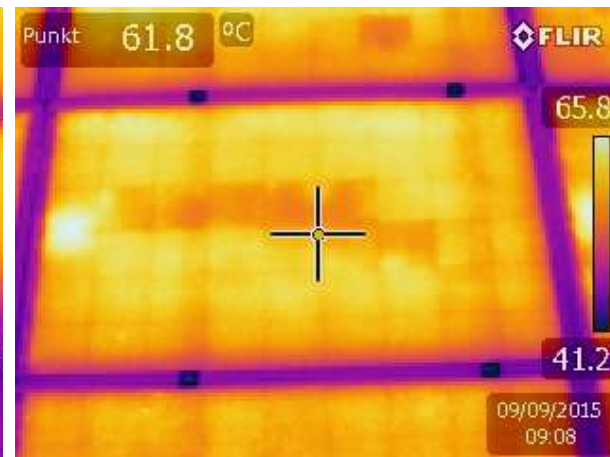
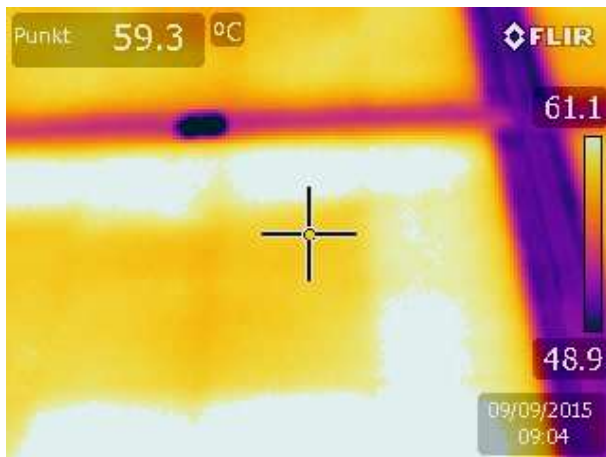
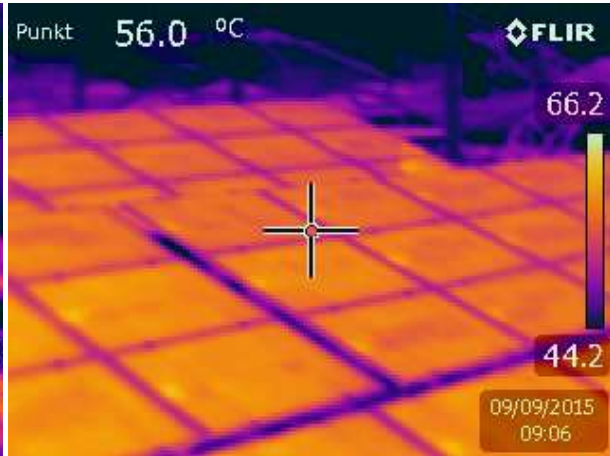
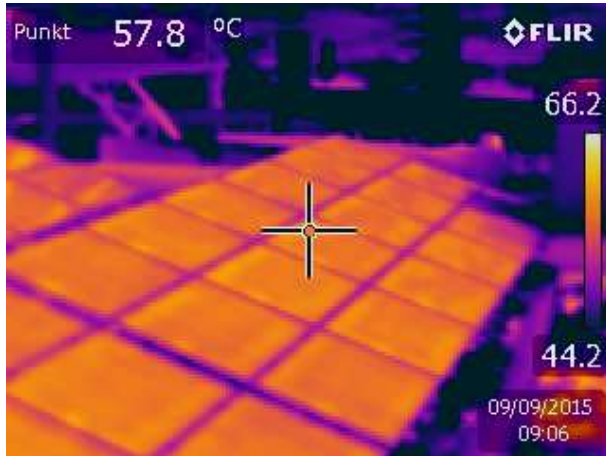
Anhang 4.2 String-Spannung/-Ströme (Vmpp, Imp) am Wechselrichter

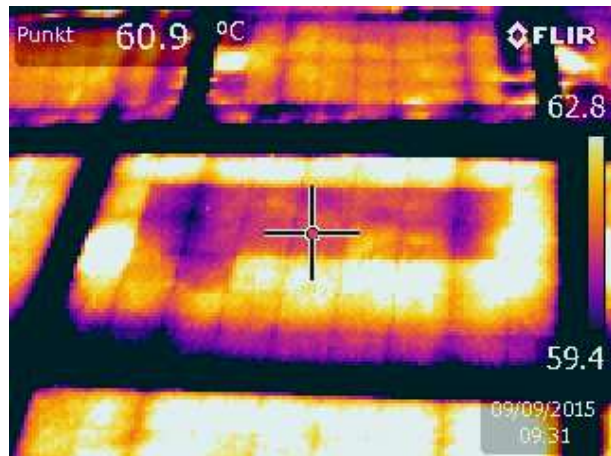
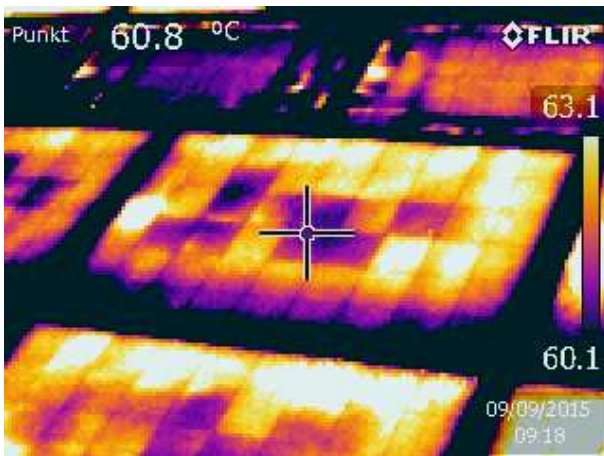
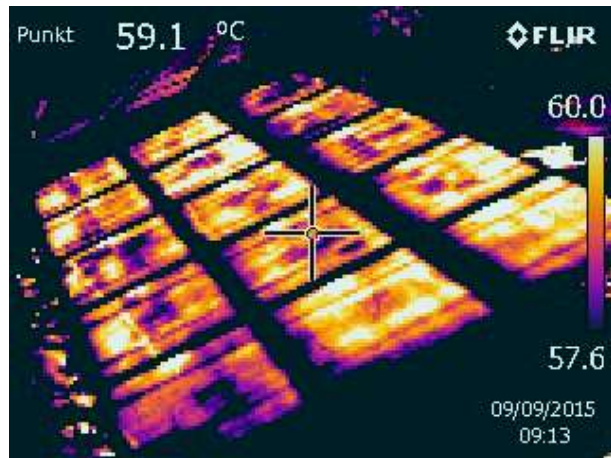
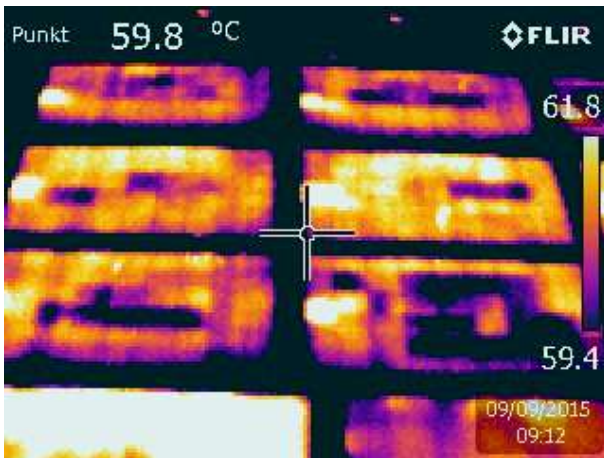
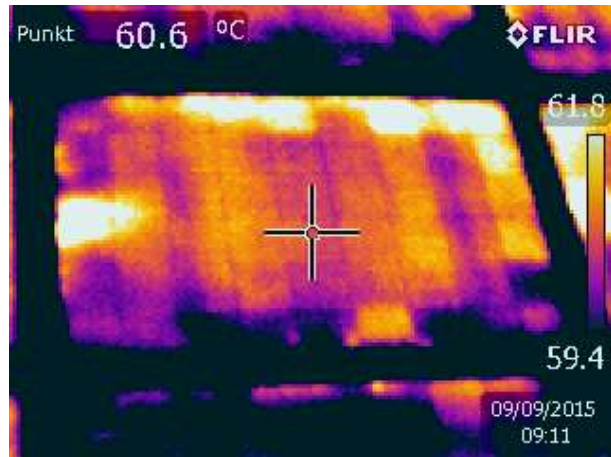
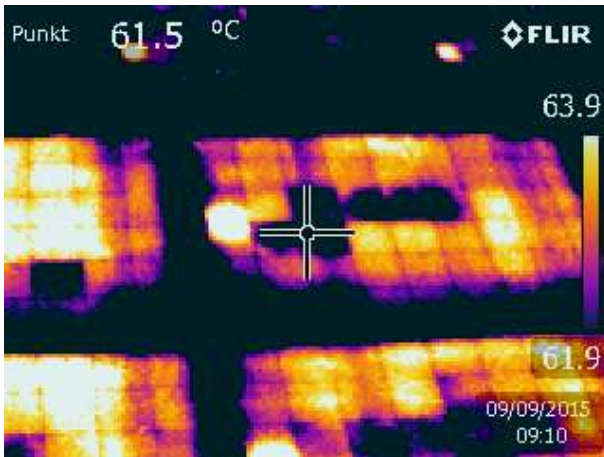
Inverter	Value		
1	UA	149 V	
	IA	6,4 A	
	UB	208 V	
	IB	3,6 A	
2	UA	162 V	
	IA	5,4 A	
	UB	188 V	
	IB	3,9 A	
3	UA	175 V	
	IA	7,8 A	
	UB	200 V	
	IB	4,0 A	
4	UA	156 V	
	IA	3,9 A	
	UB	162 V	
	IB	4,0 A	

Anhang 4.3 String-Spannung gegen Erdpotenzial

Inverter	String		
1	A1+	-117 V	
	A1-	-305 V	
2	A1+	-117 V	
	A1-	-305 V	
3	A1+	-116 V	
	A1-	-303 V	
4	A1+	-148 V	
	A1-	-303 V	

Anhang 5 IR Bilder





Anhang 6 IU-Kennlinien

auf den folgenden Seiten sind die Messprotokolle einzelner Module zu finden.