

Abb. 1:
Luftaufnahme des 20,5 MW-Solarparks Rothenburg (Oberlausitz, Sachsen).
Die 70 ha große Fläche umfasst 11 Wechselrichtercontainer, aufgeteilt auf drei Teilfelder.

Analyse der Betriebsgrößen der unterschiedlichen Teilsysteme des 20 MW PV-Großkraftwerks Rothenburg

Bodo Giesler⁽¹⁾ • Moritz Czakalla⁽²⁾ • Mike Zehner⁽²⁾ • Ken Maletz⁽²⁾ • Martin Bothner⁽²⁾ • Georg Wirth⁽²⁾ • Gerd Becker⁽²⁾
Thomas Vollweiter⁽³⁾ • Thomas Bäuml⁽³⁾ • Gerald Kumerle⁽³⁾ • Jakob Gleichenstein⁽⁴⁾

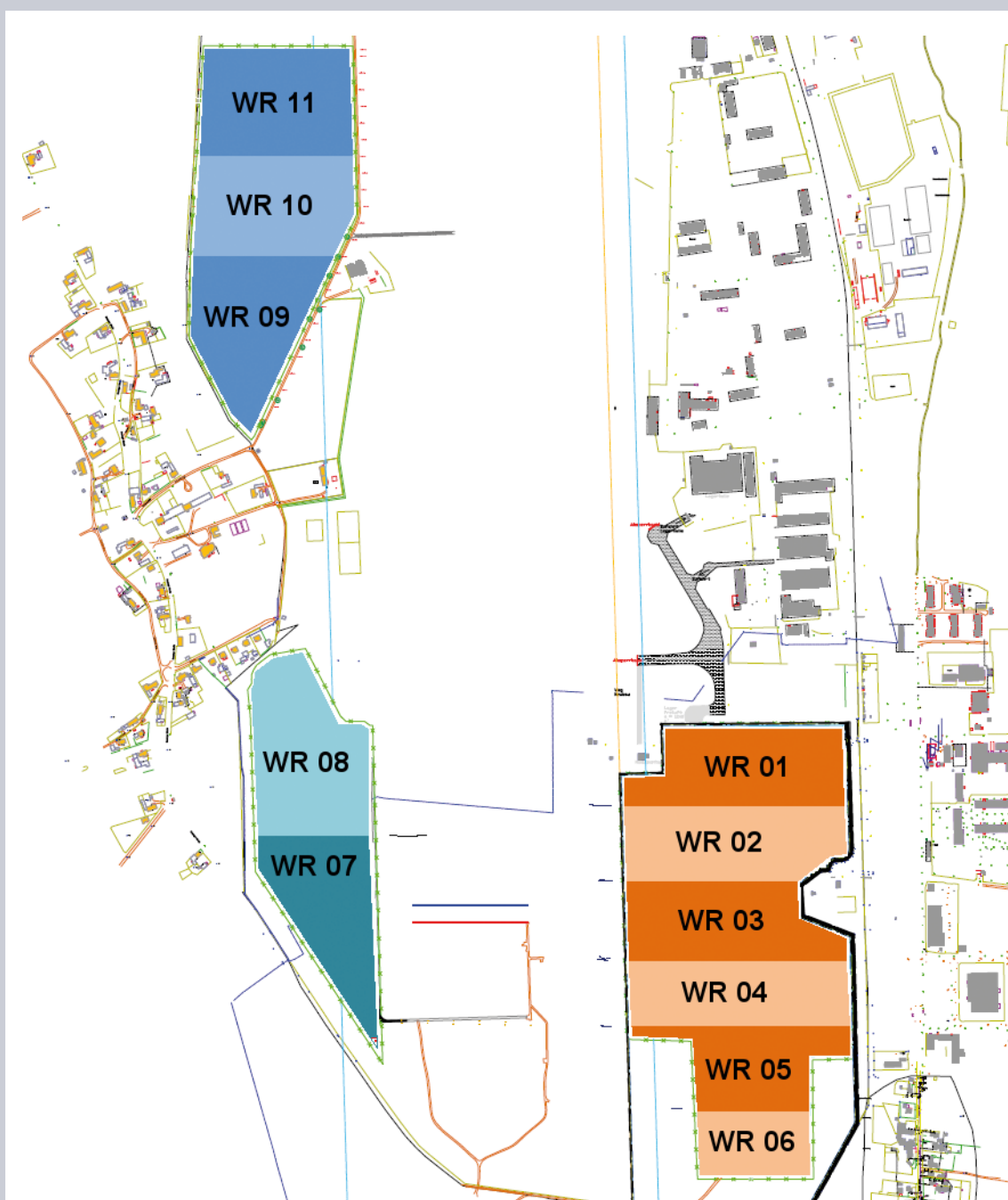
Die PV-Freiflächenanlage mit einer Gesamtleistung von 20,493 MW umfasst drei Teilfelder und wurde mit 273.240 Dünnschichtmodulen von First Solar und 11 Zentralwechselrichtern von Siemens realisiert. Auf Grund der unterschiedlichen Leistungsverhältnisse bei gleichem Modultyp und gleicher geografischer Lage, bot die Anlage ideale Bedingungen, um die einzelnen Teilsysteme zu analysieren. Bei der Auslegung netzgekoppelter PV-Anlagen werden die Einstrahlungsspitzen im Sekundenbereich nicht berücksichtigt und die Wechselrichter in der Regel systematisch zu klein bemessen. An diesem Standort war erstmals ein Vergleich unterschiedlicher Anlagengrößen von 1, 1,5 und 2 MW sowie der Unterdimensionierung von 5 bis zu 11 an neun real gebauten 2-MW-Anlagen möglich. Damit ist nachweisbar, welchen Einfluss die Spitzenleistungsabregelung auf den Ertrag in der 2-MW-Klasse hat.

Spitzenleistungsabregelung und Auslegungsverhältnis

Abb. 3 zeigt die typischen I(U)-Punktwolken des Betriebsverhaltens zweier exemplarischer Systeme mit unterschiedlichem Auslegungsverhältnis für das Sommerhalbjahr 2010. Für detailliertere Betrachtungen sind die normierten DC-Leistungen der beiden Systeme für die einzelnen Monate über den DC-Spannungen in den Abb. 4 und 5 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Wechselrichter häufig an der Leistungsgrenze arbeitet. An der Ausgangsstromgrenze regelt der Wechselrichter, bei konstanter Leistung, die Eingangsspannung nach oben. Alle Punkte, die sich nahe an der Maximalleistung des Wechselrichters befinden und über etwa 675 V liegen, wurden abgeregelt. Sie befinden sich somit nicht im Punkt maximaler Leistung (MPP) der U-I-Kennlinie des Generatorfeldes. Bei sehr hohen Einstrahlungsspitzen führt somit die prozentuale Abweichung von momentaner Spannung zu Spannung im MPP, zu einer überproportionalen Abweichung von momentaner Wechselrichterleistung zur theoretisch möglichen Maximalleistung des Generatorfeldes. Die Spannungsspitze an der Grenze zur Wechselrichtermaximalleistung lässt Rückschlüsse auf die energetischen Verluste durch zu klein bemessene Wechselrichter zu.

Die maximale zulässige Abregelbetriebsspannung wurde bei keinem der 170 Millionen Messwerte erreicht. Deshalb erfolgte keine Wechselrichter- oder Generator-teilfeldabschaltung durch Leistungsabregelung. Diese würde zu erheblichen Ertragsverlusten führen. Ein höheres Leistungsverhältnis von über 95 % würde den zu betrachtenden Abregelungszeitraum mindestens um die Monate März und Oktober erweitern.

Bei Teilsystem 6 mit einem Leistungsverhältnis von 94,8 %, treten Leistungsbegrenzungen mit einem Energiegehalt von unterhalb einem Prozent auf. Betrachtet man Teilsystem 7 mit einem Leistungsverhältnis von 89,5 %, ist festzustellen, dass die Leistungsgrenze des Wechselrichters nur selten erreicht wird und Energieverluste unter einem Promille auftreten. Der Wechselrichter kann unter Berücksichtigung seines Wirkungsgrades, die volle Generatorleistung einspeisen.



Tab. 1: Technische Daten der einzelnen Teilsysteme.

Teilsystem	PV Nennleistung (STC) in kW	Modulanzahl	Anzahl der Teil-WR	WR Nennleistung DC in kW	Nennleistungsverhältnis PV/WR	Relative Unterbelegung	WR Maximalleistung (gemessen) in kW	Maximales Leistungsverhältnis PV/WR	Relative Unterbelegung
Feld A	10.665	142.200		10.773			11.318		
1	2.025	27.000	4	2.052	0,987	-1,32 %	2149	0,942	-5,77 %
2	2.025	27.000	4	2.052	0,987	-1,32 %	2156	0,939	-6,05 %
3	2.025	27.000	4	2.052	0,987	-1,32 %	2146	0,944	-5,62 %
4	2.025	27.000	4	2.052	0,987	-1,32 %	2164	0,936	-6,43 %
5	1.539	20.520	3	1.539	1,000	0,00 %	1621	0,949	-5,08 %
6	1.026	13.680	2	1.026	1,000	0,00 %	1082	0,948	-5,19 %
Feld B	3.852	51.360		4.104			4.226		
7	1.872	24.960	4	2.052	0,912	-8,77 %	2093	0,895	-10,54 %
8	1.980	26.400	4	2.052	0,965	-3,51 %	2133	0,928	-7,17 %
Feld C	5.976	79.680		6.156			6.375		
9	1.944	25.920	4	2.052	0,947	-5,26 %	2113	0,920	-8,01 %
10	2.016	26.880	4	2.052	0,982	-1,75 %	2118	0,952	-4,79 %
11	2.016	26.880	4	2.052	0,982	-1,75 %	2144	0,940	-5,98 %
Gesamtsystem	20.493	273.240		21.033			21.918		

Abb. 2: Übersichtsplan des Solarparks und seiner 11 Teilsysteme auf drei Teilfeldern. Die oberen neun Teilsysteme haben eine Leistung von 2 MVA, WR5 1,5 MVA und WR6 1 MVA.

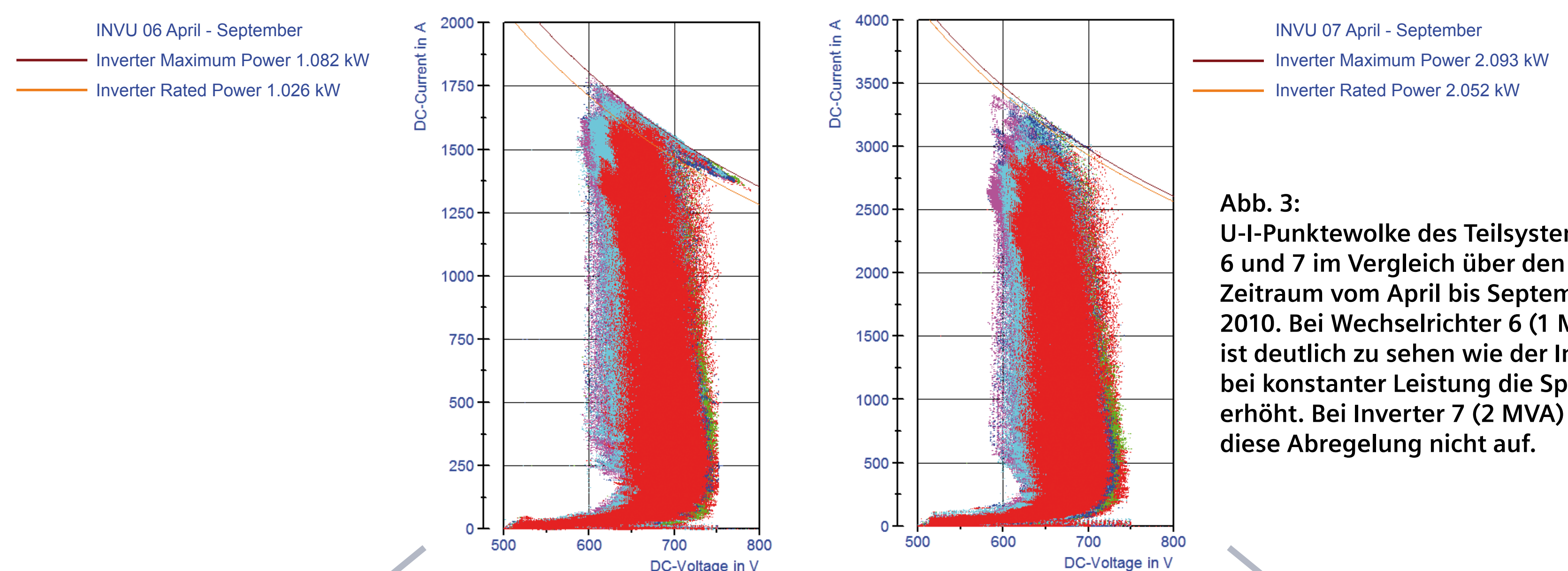


Abb. 3: U-I-Punktwolke des Teilsystems 6 und 7 im Vergleich über den Zeitraum vom April bis September 2010. Bei Wechselrichter 6 (1 MVA) ist deutlich zu sehen wie der Inverter bei konstanter Leistung die Spannung erhöht. Bei Inverter 7 (2 MVA) tritt diese Abregelung nicht auf.

94,8 % Auslegungsverhältnis $(P_{PV-STC} / P_{WR-DCmax})$ 89,5 %

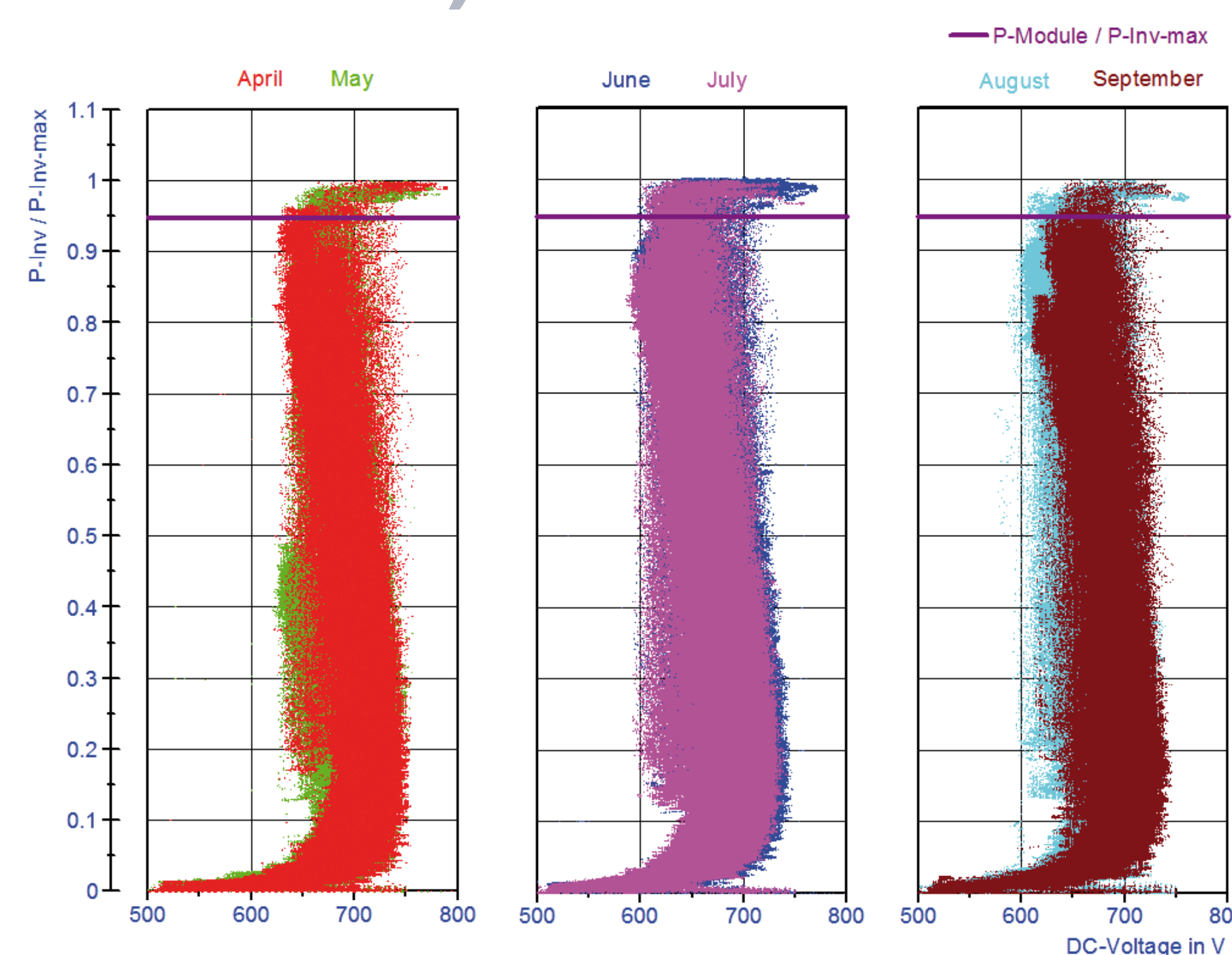


Abb. 4: Teilsystem 6 (1 MVA) mit einem Auslegungsverhältnis von 94,8 %. Die Leistungsabregelung ist durch die hohe Zahl von Sekundenwerten an der Leistungsgrenze gut zu sehen.

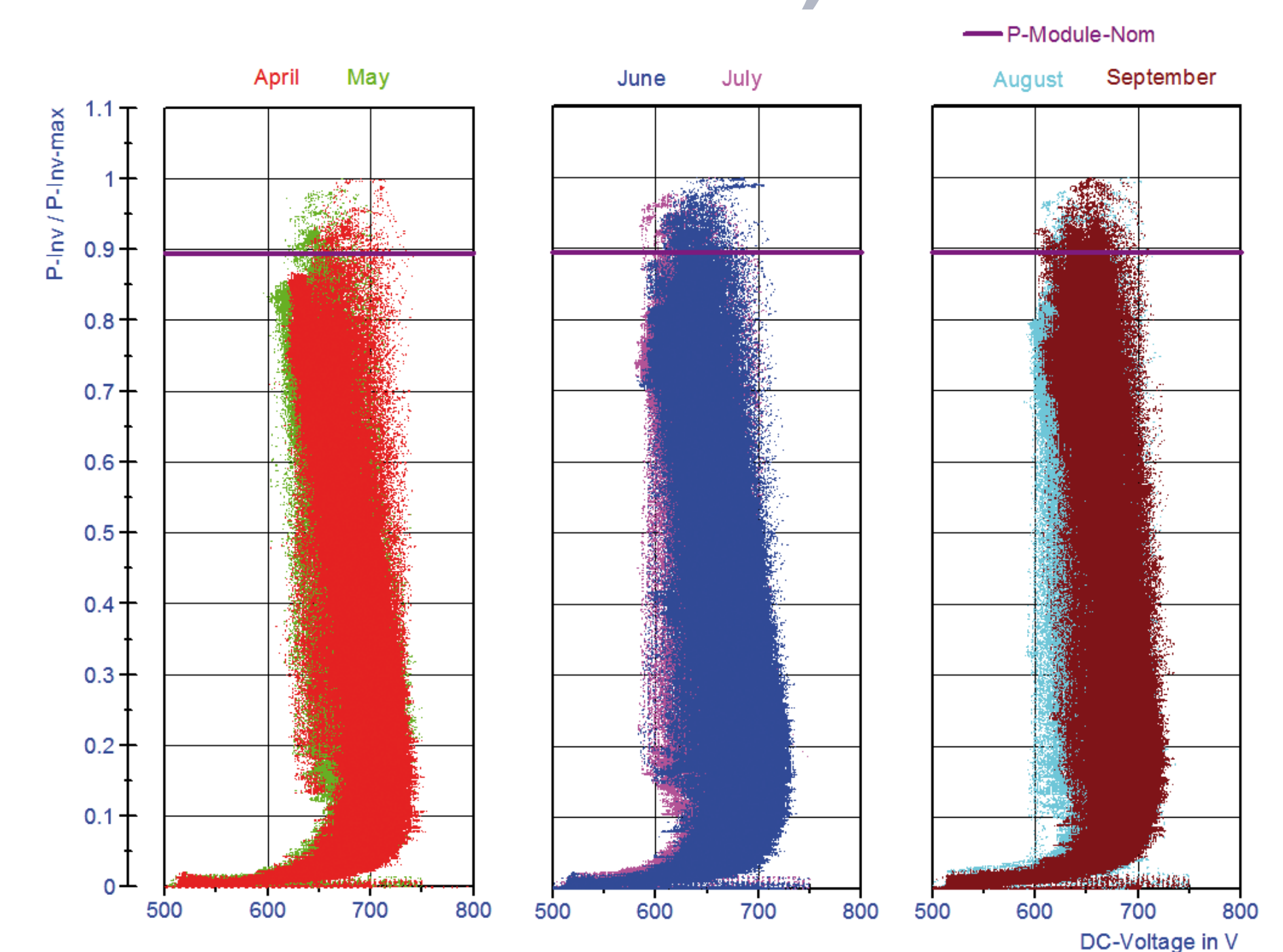


Abb. 5: Teilsystem 7 (2 MVA) mit einem Auslegungsverhältnis von 89,5 %. Eine Leistungsabregelung ist nur marginal im Juni feststellbar. Je Bild wurden 15 Mio. Messwerte verarbeitet.

Zusammenfassung

Die Analyse der Messdaten der einzelnen Teilsysteme hat gezeigt, dass bei Überdimensionierung der Wechselrichter geringste Abregelverluste auftreten. Es tritt keine nennenswerte Leistungsbegrenzung ($P_{PV-STC} / P_{WR-DCmax}$) bei einem Leistungsverhältnis von 89,5 % in der 2 MVA-Klasse auf. Über 99,9 % der möglichen PV-Energie werden dadurch genutzt. Bei anderen 2 MVA-Anlagen mit einem Leistungsverhältnis von 92,0 - 95,2 %

sind nur energetische Abregelungen im Promillebereich nachweisbar. Die 1 MVA-Anlage mit einem Leistungsverhältnis von 94,8 % hat bis zu einem Prozent Energieverluste. Es treten überproportionale Ertragsverluste > 1% auf, wenn durch eine Unterdimensionierung des Wechselrichters starke Leistungsabregelung auftritt, die zum Überschreiten der Abschaltspannung des Wechselrichters führt.