

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Messtechnik</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlagen der solaren Einstrahlung	5
2.2	Anforderungen an Sensoren für eine flächendeckende Erfassung	7
2.3	Übersicht über verfügbare Systeme	10
2.3.1	Pyranometer zur Messung der Globalstrahlung	11
2.3.2	Pyranometer mit Schattenband zur Messung der Diffusstrahlung	13
2.3.3	Pyrheliometer zur Messung der Direktstrahlung	14
2.3.4	Einstrahlungssensoren mit Richtungsaufhebungsvermögen	15
2.4	Beschreibung des Sensors <i>Solar-Igel</i>	19
2.4.1	Messprinzip	19
2.4.2	Bisheriger Entwicklungsstand	20
2.4.3	Weiterentwicklungen für das Messnetz	25
<b>3</b>	<b>Infrastruktur des Messnetzes</b>	<b>29</b>
3.1	Aufgaben des Messnetzes	29
3.2	Auswahl der Sensorstandorte	30
3.2.1	Anzahl und Verteilung der Standorte im Messnetz	30
3.2.2	Anforderungen an potenzielle Standorte	31
3.2.3	Dokumentation der ausgewählten Standorte	32
3.3	Aufbau des Messnetzes	34
3.3.1	Aufstellung der Sensoren an den Standorten	34
3.3.2	Auswahl des Tagesmesszeitraumes	34
3.4	Analyse der Datenmengen und -ströme	36
3.5	Bandbreitenuntersuchung von verfügbaren Übertragungsmedien	39
3.5.1	Mobile Datenkommunikation über GSM-Netze	40
3.5.2	Datenkommunikation über Festnetzanschlüsse	42
3.6	Datenfluss innerhalb des Messnetzes	44
3.7	Sicherheitskonzept	47
3.7.1	Auswahl des verwendeten Betriebssystems	48
3.7.2	Konzeptionelle Sicherheitsmaßnahmen	51
3.8	Ausgewählte Hardwarekomponenten	52

<b>4 Auswertung der gemessenen Einstrahlungsdaten</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Kalibrierung der Sensoren</b>	<b>53</b>
4.1.1 Messanordnung zur Kalibrierung der Sensoren	55
4.1.2 Ergebnisse der Vermessung der Bereichssensoren	58
4.1.3 Ergebnisse der Vermessung der Zenitsensoren	61
<b>4.2 Messwertvisualisierung und -speicherung</b>	<b>64</b>
<b>4.3 Berechnung der Global-, Diffus- und Direktstrahlung</b>	<b>67</b>
<b>4.4 Publikation der Ergebnisse</b>	<b>73</b>
<b>4.5 Betriebserfahrungen im Messnetz</b>	<b>78</b>
<b>5 Bestimmung eines Parametersatzes für die Wolkenbewegung</b>	<b>80</b>
<b>5.1 Beschreibung der Messverfahren</b>	<b>80</b>
5.1.1 Strategie zur Berechnung des Parametersatzes	81
5.1.2 Geometrische Definitionen	81
5.1.3 Bestimmung der Wolkenzugrichtung	83
5.1.4 Bestimmung des Geschwindigkeitshöhenkoeffizienten	86
5.1.5 Korrelationsverfahren und Abtastung	87
5.1.6 Bestimmung der Wolkenhöhe	90
<b>5.2 Analyse von Genauigkeit und Auflösung</b>	<b>95</b>
5.2.1 Auflösung und Messbereiche der Wolkengeschwindigkeit	96
5.2.2 Auflösung und Messbereiche der Wolkenhöhen	101
<b>5.3 Verbesserungspotenziale</b>	<b>107</b>
5.3.1 Bestimmung von Wolkenzugrichtung und Geschwindigkeitshöhenkoeffizient	108
5.3.2 Bestimmung der Wolkenhöhe	111
<b>5.4 Vergleich der gemessenen Wolkenbewegungsparameter mit Referenzmessungen</b>	<b>116</b>
5.4.1 Reale Messungen der Wolkenhöhe	116
5.4.2 Reale Messungen der Wolkengeschwindigkeit und Wolkenzugrichtung	121
<b>5.5 Zusammenfassung</b>	<b>126</b>

<b>6 Umrechnung von der solaren Einstrahlungsverteilung auf die Leistungsabgabe einer PV-Anlage</b>	<b>129</b>
6.1 Beschreibung der Wandlerkette	130
6.2 Umrechnung von gerichteten Strahlungsanteilen auf geneigte Flächen	134
6.3 Modellierung des Übertragungsverhaltens des Photovoltaik-Generators	137
6.3.1 Winkelabhängige Gewichtung von gerichteten Strahlungsanteilen	138
6.3.2 Bestimmung der wirksamen Gesamteinstrahlung auf das PV-Modul	140
6.3.3 Diodenmodell des PV-Moduls	141
6.3.4 Modellierung des PV-Generators	144
6.4 Ermittlung der Modultemperatur	145
6.5 Modellierung des Übertragungsverhaltens des Photovoltaik-Wechselrichters	147
6.5.1 Einsatz eines MPP-Trackers	147
6.5.2 Wirkungsgradmodell des Wechselrichters	148
6.6 Qualitätsfaktor der Gesamtanlage	150
6.7 Messtechnische Untersuchungen des Verfahrens	150
6.7.1 Validierung des PV-Generatormodells	152
6.7.2 Validierung des Wechselrichtermodells	155
6.8 Fazit	157
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>159</b>
<b>8 Literatur</b>	<b>163</b>
8.1 Auflistung der verwendeten und gekennzeichneten Literatur	163
8.2 Studien- und Diplomarbeiten	173
8.3 Veröffentlichungen	174