

# Neue Modelle für die realistische Generierung von Minutenwerten

## - Langfassung -

Jan Remund

Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern, Schweiz

Tel.: +41 31 307 26 26, Fax: +41 31 307 26 10

E-Mail: [jan.remund@meteotest.ch](mailto:jan.remund@meteotest.ch)

Internet: [www.meteotest.ch](http://www.meteotest.ch)

Für die Simulation von PV-Anlagen werden Strahlungsdaten in Minutenaufösung mehr und mehr nachgefragt. Aus meteorologischer Sicht macht dies Sinn, da die Verteilung der Minuten- und Stundenwerte der Globalstrahlung sich stark unterscheiden. Aus technischer Optik ist dies sinnvoll, da die Photovoltaik-Produktion der Strahlung sehr präzise folgt. Minutenwerte sind deshalb wichtig, um grosse Anlagen möglichst präzise zu planen, aber auch um Eigenverbrauch und Batteriespeicherung genauer abschätzen zu können.

Gemessene Strahlungsdaten in Minutenaufösung liegen nur selten vor (z.B. an BSRN-Standorten<sup>1</sup>). Aus Satellitendaten sind diese ebenfalls nicht direkt verfügbar (die zeitliche Auflösung beträgt 5-15 Minuten). Deshalb werden seit einigen Jahren stochastische Modelle zur Generierung von Minuten-Werten verwendet. Auch in Meteororm Version 7 ([www.meteororm.com](http://www.meteororm.com)) sind zwei Modelle zur Berechnung von Minutenwerten enthalten. Wie die Erfahrung zeigte, wiesen die eingesetzten Modelle aber Nachteile auf. Aus diesem Grund haben wir bestehende Modelle verglichen und ein neues Modell entworfen. Hier die vier getesteten Modelle:

1. TAG-Modell basierend auf Aguiar und Collares-Pereira<sup>2</sup>
2. Modell von Skartveit und Olseth<sup>3</sup> (S&O)
3. Modell von Hofmann<sup>4</sup>
4. Neues Modell "Timeseries" von Remund<sup>5</sup> (MN7.2)

Das neue Modell (Remund) basiert auf gemessenen Zeitreihen von 15 BSRN-Standorten in allen Klimaregionen (Carpentras, Payerne, Camborne, Cabauw, Lindenberg, Toravere, Regina, Billings, Chesapeake Light, Bermudas, Tateno, Tamanrasset, Sidi Boker, Alice Springs, Momote). Dabei werden 20 zufällig

---

<sup>1</sup> <http://bsrn.awi.de/>

<sup>2</sup> Aguiar R, Collares-Pereira M (1992) TAG: A time-dependent auto-regressive, Gaussian model. Solar Energy, Vol. 49, No.3, pp. 167-174

<sup>3</sup> Skartveit, A., & Olseth, J. A. (1992). The probability density and autocorrelation of short-term global and beam irradiance. Solar Energy, 49(6), 477-487

<sup>4</sup> Hofmann, M., Hunfeld, R., & Valentin, G. (2014). Analyse und Weiterentwicklung von Algorithmen zur Generation von Minutenwerten aus Stundenwerten der Globalstrahlung. In PV-Symposium Bad Staffelstein.

<sup>5</sup> [www.meteororm.com](http://www.meteororm.com)

ausgewählte Verläufe der Strahlungsdaten in Minutenaufösung, normalisiert mit der Schönwetterstrahlung, für verschiedene Witterungsbedingungen abgespeichert. Die Witterung wird dabei in 3 Windgeschwindigkeitsklassen, 10 Bewölkungsklassen und 5 Sonnenstands-Klassen eingeteilt. Die Zeitreihen werden basierend auf Stundenwerten generiert, indem in Abhängigkeit der Witterung eine der 20 gespeicherten Verläufe verwendet wird.

Die vier Modelle wurden anhand von den vier BSRN-Standorten Carpentras (FR), Payerne (CH), Camborne (UK) und Billings (USA) getestet. Die Verteilungen (Abbildung 1), die Autokorrelation (Abbildung 2) und die Standardabweichung der Variabilität (Abbildung 3) wurden analysiert.

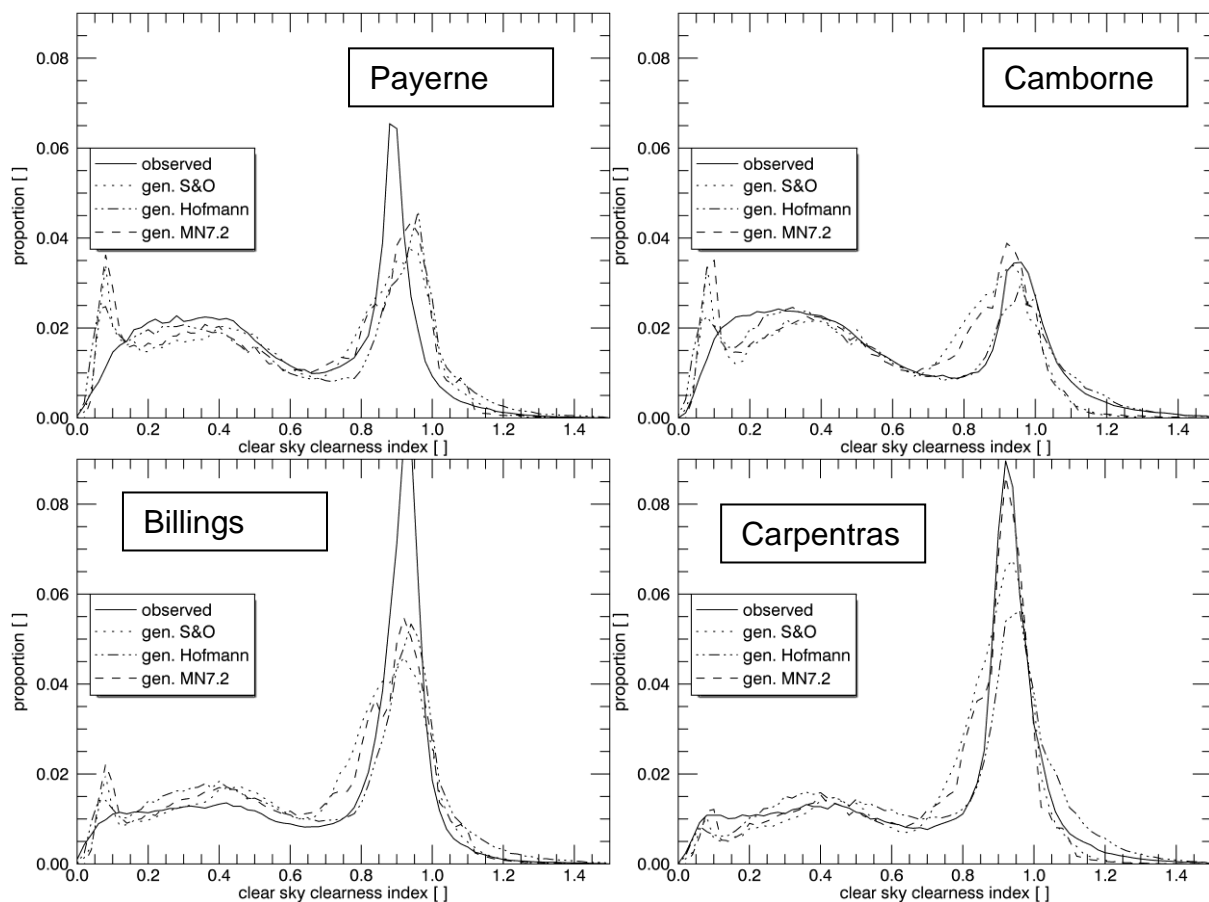


Abbildung 1: Vergleich der Verteilungen des Schönwetter-Indexes an den vier Untersuchungsstandorten.

Die zwei Maxima der Verteilungen werden von allen Modellen gezeigt, wenn auch teilweise zu wenig ausgeprägt und teils auch leicht verschoben. Die modellierten Werte weisen zu viele Werte um 0.1 auf (ausser in Carpentras).

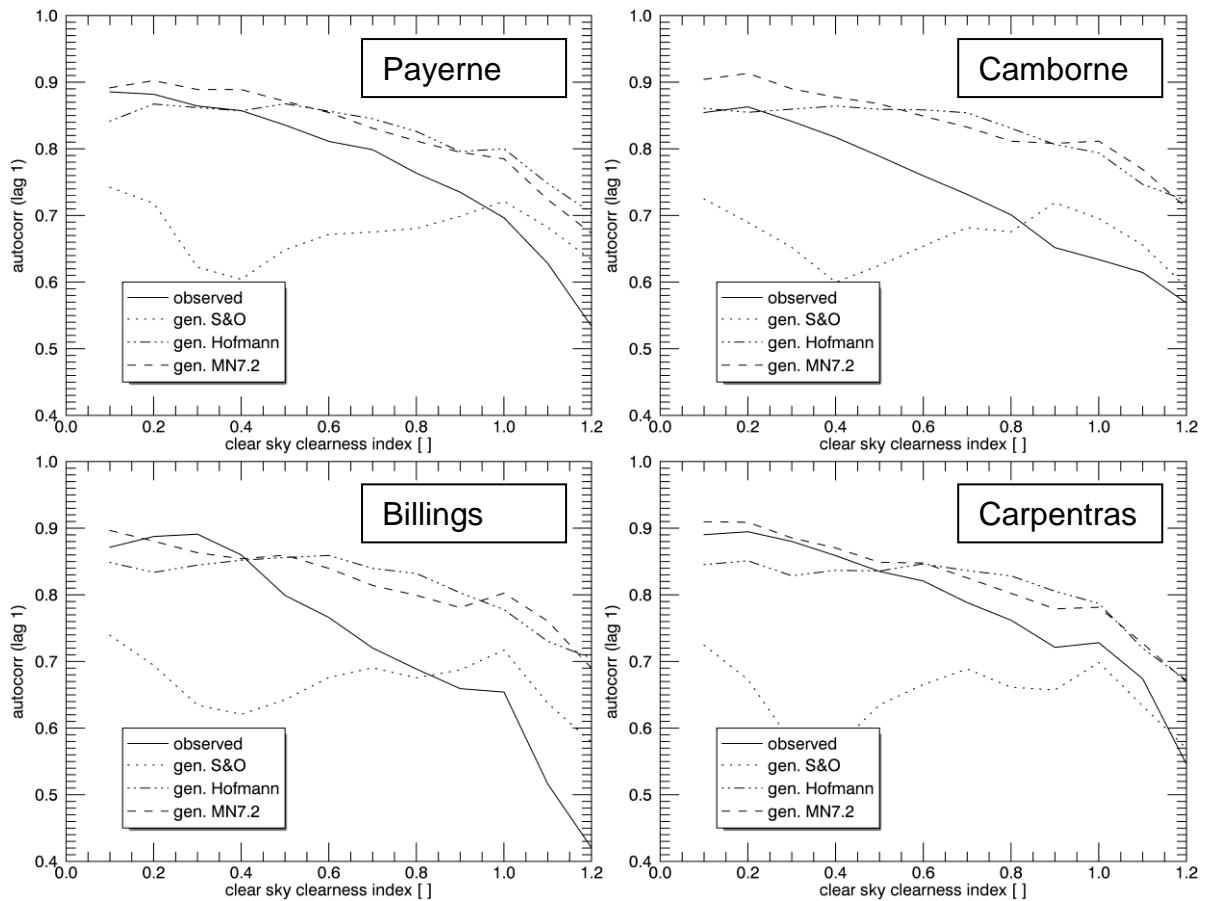
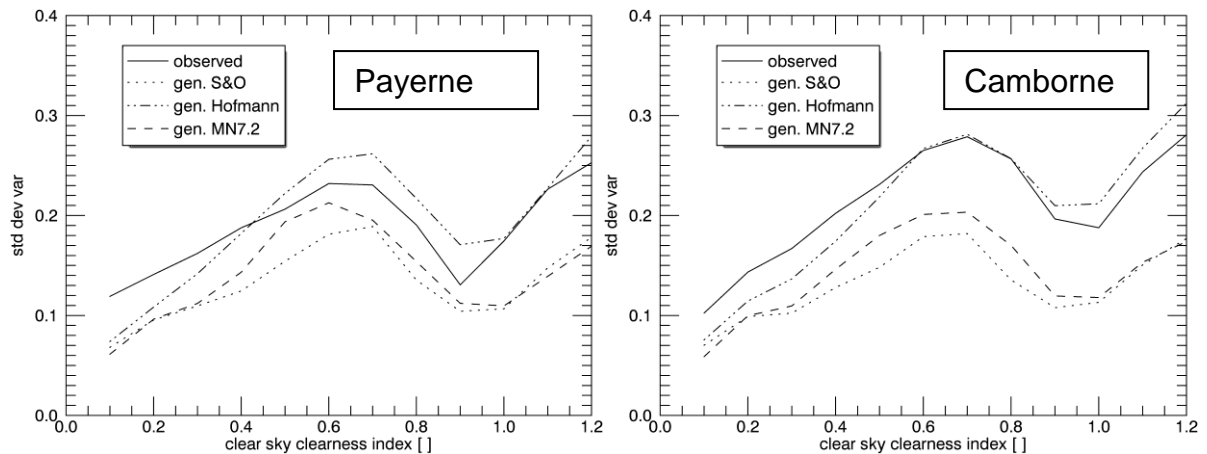


Abbildung 2: Vergleich der Autokorrelation (lag 1) von Billings (links) und von Carpentras (rechts) in Abhängigkeit des Schönwetter-Index.

Die Modelle von Hoffmann und Remund überschätzen die Autokorrelation leicht. S&O unterschätzen diese deutlich.



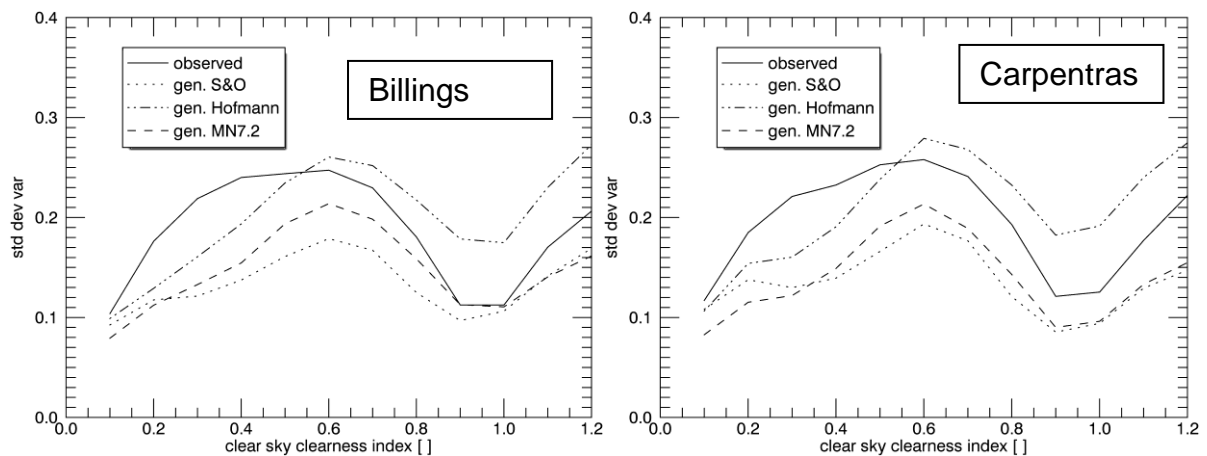


Abbildung 3: Vergleich der Standardabweichung der Variabilität in Abhängigkeit des Schönwetter-Index.

Die Standardabweichung der Variabilität wird vom Hofmann Modell gut modelliert. Die Modelle von Remund (MN7.2) und S&O unterschätzen diese.

Als numerisches Vergleichsmass wurden die Differenzen der Werte berechnet (KSI over% Wert), der auf dem Kolmogorov-Smirnov-Index beruht<sup>6</sup>. Dieses Mass wurde für Vergleiche von Verteilungen entwickelt – hier aber auch für die anderen statistischen Parameter angewendet.

Es zeigte sich, dass die Modelle von Hofmann und Remund qualitativ ähnlich sind und sich deutlich von den beiden älteren Modellen abheben. Das (hier nicht gezeigte) TAG-Modell fällt im Vergleich ab. Keines der Modelle ist aber für alle Standorte und alle Vergleichsmasse immer das Beste. Das Modell von Hofmann ist gut bezüglich der Standardabweichung. Das neue Modell von Remund ist das Beste bezüglich der Verteilungstests und der Autokorrelation. Die Modelle von Remund und Hofmann wurden aus diesem Grund in der neusten Meteororm-Version (7.2) aufgenommen.

Tabelle 1: Vergleich der statistischen Werte (KSI over%) der vier untersuchten Modelle. Je tiefer der Wert, desto besser. Der Durchschnitt ist gewichtet und normiert.

	S&O	TAG	Hofmann	MN7.2
Verteilung	1289	1417	1356	1249
Autokorrelation	21.2	14.6	15.3	14.2
Standardabw.	87.3	118.2	2.94	10.5
Durchschnitt	1.29	1.37	0.67	0.67
Rang	3	4	2	1

<sup>6</sup> Espinar, B., Ramírez, L., Drews, A., Beyer, H. G., Zarzalejo, L. F., Polo, J., & Martín, L. (2009). Analysis of different comparison parameters applied to solar radiation data from satellite and German radiometric stations. *Solar Energy*, 83(1), 118–125. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2008.07.009>

---

## Notizen