

# Verbesserung von Einstrahlungsvorhersagen aus mesoskalen Wettermodellen mit Model Output Statistics (MOS)

Karl G. Gutbrod<sup>(1)</sup>, Michael Bühner<sup>(2)</sup>, Mathias D. Müller<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> meteoblue AG - Clarastr.2 - CH-4058 Basel - [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)  
gkk@meteoblue.com - +41 61 535 3301

<sup>(2)</sup> meteoblue AG - Clarastr.2 - CH-4058 Basel - [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)  
Michael.Buehner@meteoblue.com - +41 61 535 3301

<sup>(3)</sup> Universität Basel – Institut für Meteorologie, Klimatologie & Fernerkundung – [www.mcr.unibas.ch](http://www.mcr.unibas.ch)  
Klingelbergstrasse 27 - CH-4056 Basel – [mathias.mueller@unibas.ch](mailto:mathias.mueller@unibas.ch)

## 1. Einleitung

Die Abhängigkeit der Sonnen-Einstrahlung von Tages- und Jahreszeit ist für jeden Standort auf der Erde sehr genau berechenbar, kann jedoch von der Bewölkung stark verändert werden. Dies hat erheblichen Einfluss nicht nur auf Wetterentwicklung, sondern auch auf wetterabhängige Tätigkeiten wie die Gewinnung von Sonnenenergie, die Gebäudesteuerung, die Landwirtschaft und andere.

Eine Vorhersage der Einstrahlung ermöglicht eine bessere Steuerung regenerativer Energieerzeugung, Gebäudesteuerung, landwirtschaftlicher Produktionsmaßnahmen. Dafür ist eine genaue Vorhersage von Bedeutung. Hocho aufgelöste (Meso-Skala) Wettermodelle (NMM) mit einer Gitterweite von 3 km bis 18km ermöglichen bereits Vorhersagen für 24 Stunden mit einer durchschnittlichen stündlichen Fehlerquote von weniger als 30% der gesamten Einstrahlungssumme.

Für eine bessere Steuerung sind möglichst tiefe Fehlerquoten anzustreben. Dies kann erreicht werden durch höhere Modell-Auflösung (NMM), mit sehr hohem Rechenaufwand, sowie durch Anpassung der Vorhersagen mit Hilfe von lokalen Messdaten und statistischen Methoden (Model Output Statistics), was die Verfügbarkeit genauer stündlicher lokaler Messdaten voraussetzt .

Die Möglichkeiten zur besseren Vorhersage mit Messungen soll anhand von Messdaten aus verschiedenen Klimaregionen in Europa untersucht werden. Damit werden einige wichtige Klimaregionen abgedeckt, in denen eine Nutzung der Solarenergie in Frage kommt.

## 2. Datenquellen und -qualität

### Modelldaten:

Die Modelldaten sind archivierte Vorhersagen aus dem NMM (Numerisches Mesoskala-Modell) der meteoblue AG, mit welchem große Flächen (Kontinente) in hoher räumlicher Auflösung (18, 12 oder 3 km) simuliert, und damit hochpräzise Wettervorhersagen in Stundenintervallen für die nächsten 6 Tage erstellt werden. Für die Initialisierung werden globale Wettermodelle verwendet (GFS, WRF, ECMWF), welche wiederum mit weltweiten Wetterdaten u.a. aus Stationen und Sonden gespeist werden. Weiteres dazu findet sich in in Bühner et al (2013) [2].

Für die vorliegende Analyse werden die berechneten, stündlichen Globalstrahlungswerte der Prognose des Vortages (24-Stunden-Vorhersage) aus den meteoblue Archiven NMM-12 für Europa extrahiert und herangezogen, um Vergleichbarkeit innerhalb einer Domain zu sichern. Ausgewählte Stationen wurden anschließend mit Vorhersagen des NMM-3 verglichen. Messdaten aus der anderen Gebieten wurden In dieser Studie nicht verwendet, da die meisten dort verfügbaren Stationen an Standorten mit geringerer Fehlerquote (Semi-arides Klima, Wüste, Hochland) steht, wo die MOS-Korrektur weniger bewirkt.

### Messdaten:

Zunächst wurden verschiedene Datenquellen identifiziert und auf deren Qualität geprüft. Neben Daten aus öffentlich zugänglichen Netzwerken des World Radiation Data Centre (BSRN, GAW) wurden auch andere Datenquellen genutzt, um möglichst viele Regionen abdecken zu können. Außerdem wurden Daten aus Quellen der meteoblue AG genutzt.

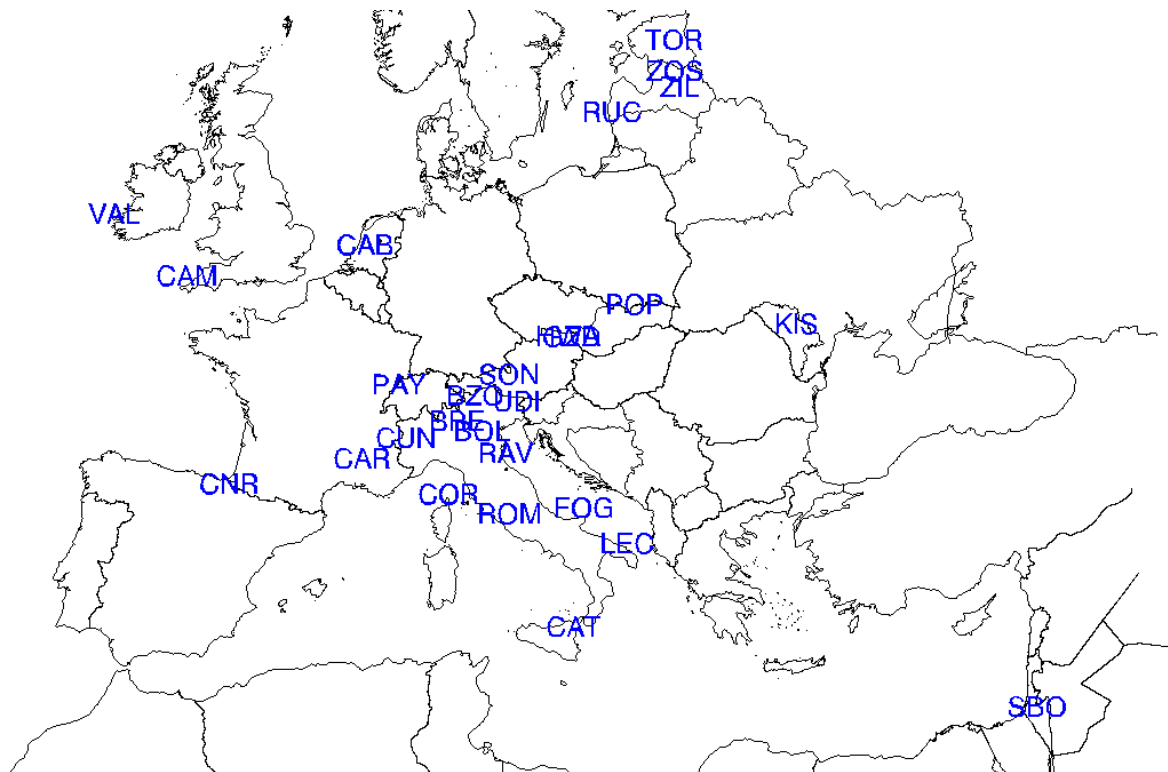


Abb.1: Lage der 21 Messstationen in der NMM-12 Domain (eigene Darstellung).

**Tab.1: Messstationen mit Strahlungsmessungen in der NMM-12 Domain.**

No.	ID	Stationsname	Abk.	Jahre	Quelle	Land	Breite	Länge	Höhe
0	4	Payerne	PAY	2009	BSRN <sup>1</sup>	Switzerland	46.82	6.94	491
1	24	Reykjavík	REY	2009	GAW <sup>2</sup>	Iceland	64.13	-21.94	10
2	28	Zilāni	ZIL	2009	GAW <sup>2</sup>	Latvia	56.52	25.92	107
3	5	Sede Boquer	SBO	2009-2011	BSRN <sup>1</sup>	Israel	30.91	34.78	500
4	20	Roma	ROM	2011	meteoblue	Italia	41.91	12.48	40
5	2	Carpentras	CAR	2009-2011	BSRN <sup>1</sup>	France	44.08	5.06	85
6	6	Toravere	TOR	2009-2011	BSRN <sup>1</sup>	Estonia	58.25	26.46	70
7	19	Udine	UDI	2011	meteoblue	Italia	46.04	13.25	90
8	14	Cuneo	CUN	2011	meteoblue	Italia	44.87	7.33	352
9	18	Ravenna	RAV	2011	meteoblue	Italia	44.15	12.46	3
10	15	Foggia	FOG	2011	meteoblue	Italia	41.88	16.17	5
11	29	Kishinev	KIS	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Moldavia	47.0	28.82	205
12	1	Cabauw	CAB	2009-2011	BSRN <sup>1</sup>	Netherlands	51.97	4.93	2
13	26	Zosēni	ZOS	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Latvia	57.13	25.90	188
14	9	Poprad Ganovce	POP	2009-2011	meteoblue	Slovakia	49.03	20.32	689
15	23	Grossenzersdorf	GZD	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Austria	48.20	16.57	157
16	21	Hohe Warte	HWA	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Austria	48.25	16.35	203
17	12	Catania	CAT	2011	meteoblue	Italia	37.55	15.09	45
18	25	Rucava	RUC	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Latvia	56.17	21.17	12
19	31	Camborne	CAM	2009-2010	GAW <sup>2</sup>	United Kingdom	50.2	-5.3	88
20	3	Cener	CNR	2010-2011	BSRN <sup>1</sup>	Spain	42.82	-1.60	471
21	10	Brescia	BRE	2011	meteoblue	Italia	45.43	10.04	94
22	27	Valentia Island	VAL	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Ireland	51.93	10.25	20
23	13	Corsica	COR	2011	meteoblue	France	42.75	9.45	159
24	8	Bologna	BOL	2011	meteoblue	Italia	45.03	11.29	10
25	22	Sonnblick	SON	2009-2011	GAW <sup>2</sup>	Austria	47.05	12.95	3105
26	16	Lecce	LEC	2011	meteoblue	Italia	40.37	18.05	30
27	9	Bolzano	BZO	2011	meteoblue	Italia	46.36	11.04	670

<sup>1</sup>Baseline Surface Radiation Network, <sup>2</sup>Global Atmosphere Watch.

Alle Datensätze wurden einer ausführlichen Qualitätskontrolle unterzogen. Standorte mit Qualitätsproblemen wurden mithilfe eines eigenen Prüfungsverfahrens identifiziert und ausgeschlossen [2]. Dabei werden u.a. die Strahlungsgänge an „clear-sky“ Tagen mit der potentiellen extraterrestrischen Einstrahlung verglichen. Kalibrierungsfehler können dabei weitgehend, aber nicht hundertprozentig ausgeschlossen werden, da die Dämpfung der Strahlung durch Aerosole ähnliche Effekte wie falsche Kalibrierung der Messgeräte erzeugt und daher ohne direkte Vergleiche zwischen Messgeräten nicht erkannt werden kann.

Je nach Verfügbarkeit wurden die Analysen für das Jahr 2009, 2010 oder 2011 an 27 Stationen der Nordhalbkugel durchgeführt (vgl. Abb. 1, Tab 1). Die beiden Modelle NMM-12 und NMM-3 werden getrennt betrachtet, um die Auswirkung der räumliche Auflösung zu vergleichen.

### **3. Model Output Statistics**

#### **Verfahren:**

Für die Korrektur der Prognose mittels MOS (Model Output Statistics) werden stündliche Mess- und Modelldaten von mehreren Monaten verglichen, und daraus Korrekturfunktionen für einen Standort abgeleitet. Neben der Strahlung können andere Vorhersage-Parameter verwendet werden, um unterschiedliche Wetterlagen zu erfassen. Somit können pro Standort auch mehrere Funktionen verwendet werden. Das Verfahren ist für Parameter wie Temperatur bereits seit Jahrzehnten erprobt [3].

Messdaten sollten für mindestens 12 Monate vorliegen, um jahreszeitenabhängige Wetterphänomene, die zu unterschiedlichen Abweichungen führen können, richtig zu interpretieren. So könnte in Tallagen die tatsächliche Einstrahlung im Winter durch Nebelbildung im Vergleich zur Umgebung überproportional verringert, im Sommer dahingegen wegen Wolkenbildung an umliegenden Hügeln eher erhöht sein.

#### **Modellfehler**

Eine Abweichung des Modells von der Messung kann mehrere Gründe haben. Zunächst ist das Modell eine Vereinfachung der Realität: Das Wettermodell besteht aus Gitterzellen, also beschreiben die Modelldaten nicht die Strahlung an einem bestimmten Punkt, sondern die mittlere Strahlung in einem Gebiet von der Größe der Gitterzelle. Je größer die Unterschiede innerhalb dieses Gebietes sind, desto größer ist der zu erwartende Unterschied zwischen Messung und Modell. Dies spielt vor allem in komplexem Gelände eine wichtige Rolle. Weiterhin sind Fehler bei der Initialisierung (Beginn der Berechnung) möglich, die sowohl durch falsche wie vor allem durch fehlende Messungen verursacht werden. Schließlich sind die Modell-Routinen zur Berechnung je nach Vorgang mehr oder weniger zuverlässig. So sind einige meteorologische Phänomene, wie Konvektion, Gewitter, Bodennebel u.a. so abhängig von mikro-meteorologischen Entwicklungen, dass ihre Modellierung weder in der Meso-Skala noch in Mikro-Skala möglich ist, da für die Berechnung metergenaue Zustandsdaten erforderlich wären. Damit entstehen Fehler, die mit dem Vorhersagezeitraum und bestimmten Wetterlagen zunehmen.

#### **Messfehler:**

Auch fehlerhafte Messungen sind möglich. Strahlungsmessungen erfordern teure Geräte, eine sorgfältige Kalibrierung und regelmäßige Wartung. Die Fehler bei der Strahlungsmessung führen bei Studien zur Aussonderung von 10% bis 20% der Messstationen [2].

#### **Fehlerkorrektur**

Durch die sorgfältige Prüfung der Messdaten sind Messfehler in dieser Studie weitgehend ausgeschlossen. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, dass die MOS Anpassungen im Wesentlichen die systematischen Abweichungen des Modells von der Realität korrigiert. Zufällige oder selten auftretende Phänomene können damit nicht korrigiert werden.

Für manche Situationen können auch ungenaue Messdaten zur MOS-Anpassung dienen, falls die Messung für einen untypischen Ort stattfindet, oder die Vorhersagen auf diese spezielle Messung kalibriert werden soll.

## 4. Berechnungen der Fehlergrößen

Zur Bewertung der Vorhersagen aus NMM Wettermodellen sowie der MOS-Vorhersagen wurden die üblichen Fehlergrößen berechnet, anhand in der Branche üblicher Algorithmen [1], jeweils für Stunden, Tages- und Monatswerte:

- BIAS: Mean Biased Error – Indikator für systematischen Fehler
- rBIAS: relative Mean Biased Error – Prozentualer BIAS
- RMSE: Root Mean Squared Error – Wurzel des mittleren Quadratfehler
- rRMSE: relative Root Mean Squared Error – Prozentualer RMSE
- MAE: Mean Absolute Error – Mittlerer Absoluter Fehler
- rMAE: relative Mean Absolute Error – Prozentualer MAE
- stddev: Standard Deviation – Standardabweichung
- rstddev: relative Standard Deviation – prozentuale Standardabweichung

## 5. Analyse der Stundenwerte

Die systematischen Fehler der Modellvorhersage in der NMM-12 Domain liegen zwischen  $-110 \text{ W/m}^2$  und  $+34 \text{ W/m}^2$ , und im Mittel bei  $-12 \text{ W/m}^2$  (Tab. 3, MOD-BIAS), was einem systematischen Fehler zwischen  $-25\%$  und  $+11\%$  der durchschnittlichen Einstrahlung ( $-3\%$  im Mittel) entspricht. Damit scheint die Kalibrierung des Modells sehr gut zu sein.

Der mittlere stündliche absolute Fehler der Modellvorhersage (MOD-MAE) bewegt sich zwischen  $70$  und  $164 \text{ W/m}^2$  einem relativen Fehler zwischen  $14\%$  und  $47\%$  der durchschnittlichen Einstrahlung ( $29\%$  im Mittel) entspricht. Diese Trefferquoten liegen im selben Bereich wie die von Bühner et al. (2013) [2].

Die absoluten Fehler nehmen von Norden nach Süden zu, parallel mit den absoluten Einstrahlungswerten. Die relativen Fehler verändern sich nicht systematisch mit dem Breitengrad. Die höchsten relativen Fehler werden an Standorten beobachtet, die in Gebirgen liegen (POP, SON, BZO) oder gebirgigen Küsten (VAL). Die Unterschätzung der Einstrahlung an höher gelegenen Standorten (SON, BZO) ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese Standorte über  $500$  Metern Höhe und in Gebirgen liegen, wo die Trübung der Luft durch Aerosole im Vergleich zur Mehrzahl der Standorte geringer ist. Am Standort POP ( $689 \text{ m}$ ) wird die Strahlung überschätzt, der Überschätzungs-Effekt tritt also in diesem höheren Standort nicht auf. Vermutlich handelt es sich hier um eine Kessellage.

Solche lokale Effekte können bei der Kalibrierung des Modells nicht berücksichtigt werden, da sich sonst die Vorhersagen in den anderen (umfangreicheren) Gebieten verändern würden. Es ist nun zu prüfen, ob lokale Effekte mit statistischen Anpassungen erfasst werden können.

Wenn die Vorhersagen mit MOS angepasst werden, bewegen sich die systematischen Fehler der Modellvorhersage (MOS-BIAS) zwischen 50 W/m<sup>2</sup> und -64 W/m<sup>2</sup>, und im Mittel bei -3 W/m<sup>2</sup> (Tab. 3), was zwischen -17% und +13% der durchschnittlichen Einstrahlung (-1% im Mittel) entspricht. Damit wurde der durchschnittliche (prozentuale) Fehler mehr als halbiert.

Die Anwendung eines einfachen MOS verringert die MAE (MOS-MAE) auf durchschnittlich 40 W/m<sup>2</sup> (27%). Damit wird der Fehler (MAE) um etwa 10% im Vergleich zum MOD-MAE (29%) reduziert). Dies ist keine sehr deutliche Verbesserung, und darauf zurückzuführen, dass MOS den MAE der Vorhersagen an einigen Standorten (CNR, ROM, CAT) sogar verschlechtert. Für einige Standorte scheint das gewählte MOS-Verfahren also keine geeignete Lösung darzustellen.

**Tab.3: Fehlergrößen für die Messtationen in der NMM-12 Domain, Jahr 2011 (in W/m<sup>2</sup>), für Mittelwert aller Stundenwerte der 24 Stundenvorhersage für 365 Tage.**

ID	Abk.	Breite	Länge	Höhe	MOD- BIAS	MOS- BIAS	MOD- RMSE	MOS- RMSE	MOD- MAE	MOS- MAE	Diff. MAE MOD-MOS
6	TOR	58.25	26.46	70	<b>-20</b>	<b>-10</b>	117	99	<b>78</b>	<b>70</b>	8
13	ZOS	57.13	25.90	188	<b>-16</b>	<b>-10</b>	128	105	<b>86</b>	<b>74</b>	12
18	RUC	56.17	21.17	12	<b>-18</b>	<b>-5</b>	145	114	<b>100</b>	<b>79</b>	21
12	CAB	51.97	4.93	2	<b>-12</b>	<b>-6</b>	131	105	<b>87</b>	<b>76</b>	11
22	VAL	51.93	-10.25	20	<b>-41</b>	<b>-9</b>	157	118	<b>111</b>	<b>85</b>	26
14	POP	49.03	20.32	689	<b>34</b>	<b>9</b>	142	124	<b>97</b>	<b>86</b>	11
16	HWA	48.25	16.35	203	<b>21</b>	<b>1</b>	132	109	<b>85</b>	<b>77</b>	8
15	GZD	48.20	16.57	157	<b>30</b>	<b>-1</b>	135	107	<b>86</b>	<b>75</b>	11
25	SON	47.05	12.95	3'105	<b>-82</b>	<b>15</b>	166	123	<b>114</b>	<b>85</b>	29
11	KIS	47.00	28.82	205	<b>5</b>	<b>-6</b>	124	109	<b>79</b>	<b>75</b>	4
27	BZO	46.36	11.04	670	<b>-110</b>	<b>1</b>	236	154	<b>164</b>	<b>110</b>	54
7	UDI	46.04	13.25	90	<b>33</b>	<b>0</b>	130	99	<b>80</b>	<b>65</b>	15
21	BRE	45.43	10.04	94	<b>-34</b>	<b>32</b>	148	124	<b>102</b>	<b>86</b>	16
24	BOL	45.03	11.29	10	<b>-2</b>	<b>-8</b>	162	134	<b>116</b>	<b>102</b>	14
8	CUN	44.87	7.33	352	<b>32</b>	<b>0</b>	131	113	<b>82</b>	<b>76</b>	6
9	RAV	44.15	12.46	3	<b>10</b>	<b>-11</b>	117	124	<b>81</b>	<b>77</b>	4
5	CAR	44.08	5.06	85	<b>-7</b>	<b>-8</b>	124	108	<b>79</b>	<b>73</b>	6
20	CNR	42.82	-1.60	471	<b>-37</b>	<b>-16</b>	154	232	<b>103</b>	<b>178</b>	-75
23	COR	42.75	9.45	159	<b>0</b>	<b>-4</b>	161	155	<b>110</b>	<b>105</b>	5
4	ROM	41.91	12.48	40	<b>14</b>	<b>50</b>	111	146	<b>70</b>	<b>88</b>	-18
10	FOG	41.88	16.17	5	<b>-6</b>	<b>0</b>	129	109	<b>82</b>	<b>71</b>	11
26	LEC	40.37	18.05	30	<b>-47</b>	<b>-13</b>	186	156	<b>138</b>	<b>102</b>	36
17	CAT	37.55	15.09	45	<b>-13</b>	<b>-64</b>	144	329	<b>92</b>	<b>221</b>	-129
3	SBO	30.91	34.78	500	<b>-29</b>	<b>-5</b>	112	72	<b>74</b>	<b>46</b>	28
	MAX	58.25	34.78	3105	<b>34</b>	<b>50</b>	236	329	<b>164</b>	<b>221</b>	54
	MITTEL	46.21	14.09	300	<b>-12</b>	<b>-3</b>	143	132	<b>96</b>	<b>91</b>	5
	MIN	30.91	-10.25	2	<b>-110</b>	<b>-64</b>	111	72	<b>70</b>	<b>46</b>	-129

Um die Eignung des MOS Verfahrens genauer zu prüfen, wurden in einer zweiten Berechnung weitere Vorhersage-Parameter herbeigezogen, mit denen unterschiedliche MOS-Gleichungen gerechnet und miteinander verglichen wurden. Dies führte zu unterschiedlichen MAE-Fehlern für jeden Standort (siehe Abb. 2): die meisten MOS-Gleichungen brachten wiederum eine Verbesserung, einige eine Verschlechterung der Vorhersage.

Letztlich ließ sich für jede Station eine MOS-Gleichung ermitteln, die zu mindestens 7% (CAR), im Mittel zu einer 19%-igen Verringerung des stündlichen MAE führte. Im besten Fall wurde der stündliche MAE um 67 W/m<sup>2</sup> (44%) gesenkt (LEC).

Mit dem mehrfach- MOS-Verfahren konnten demnach an allen Standorten signifikante Verbesserungen erzielt und der MAE unter 30% der Gesamteinstrahlung gesenkt werden.

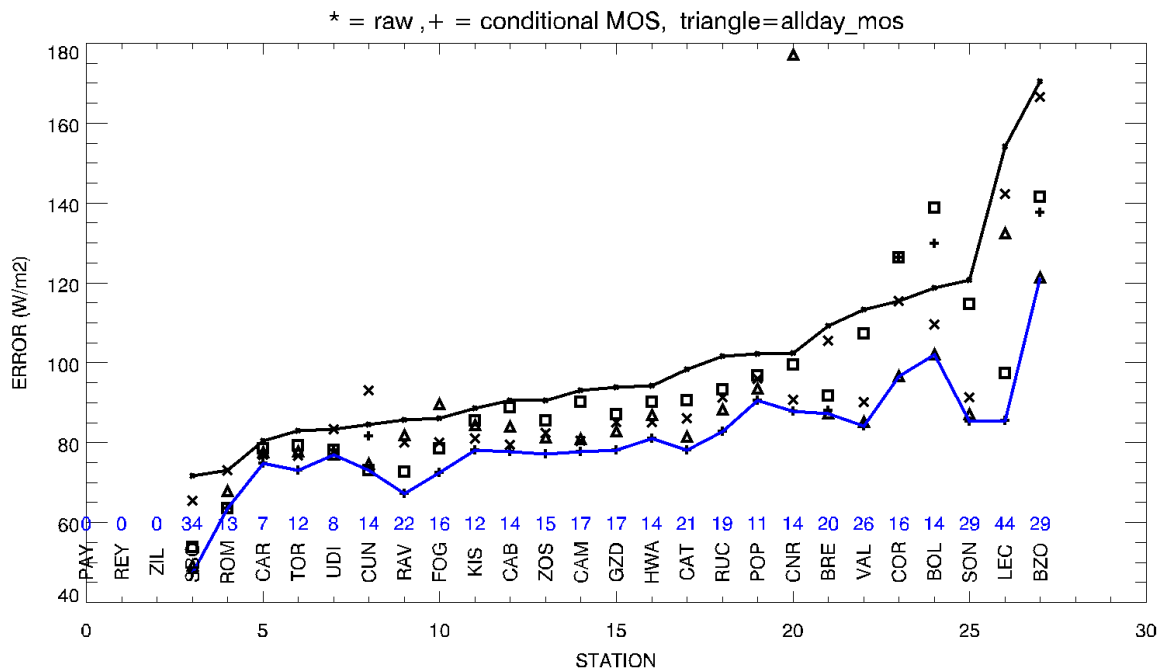


Abb. 2: Mittlerer absoluter stündlicher Fehlers (MAE, in W/qm) der Modellvorhersage (● = RAW) an 27 Stationen, verglichen mit verschiedenen MOS-Varianten (x△□) und der besten Variante (+). Stationen in der Reihenfolge von geringster zu höchster Fehlerquote. Blau: Verbesserung durch MOS im Vgl. zur Modellvorhersage (%).

## 6. Verwendbarkeit von MOS-Gleichungen über mehrere Jahre

Für die Stationen mit mehrjährigen Daten wurden die Ergebnisse der Standard MOS-Anpassung über 3 Jahre verglichen (s. Abb. 3). Dabei zeigt sich, dass die MOS-Anpassung Schwankungen über Jahre hinaus glättet: Während der mittlere Fehler (MAE) der Modell-Vorhersage zwischen den Jahren an mehr als der Hälfte der Stationen um bis zu 5-9% variiert, erreichen die Schwankungen der MOS-Vorhersage zwischen den Jahren maximal 4% und bei 9 von 12 Stationen liegen sie um oder unter 2%.

Die an einer Station mit Hilfe des MOS-Verfahrens für ein Jahr ermittelte Vorhersage-Trefferquoten können demnach in anderen Jahren auch erwartet werden, nicht so sehr jedoch an anderen Standorten.

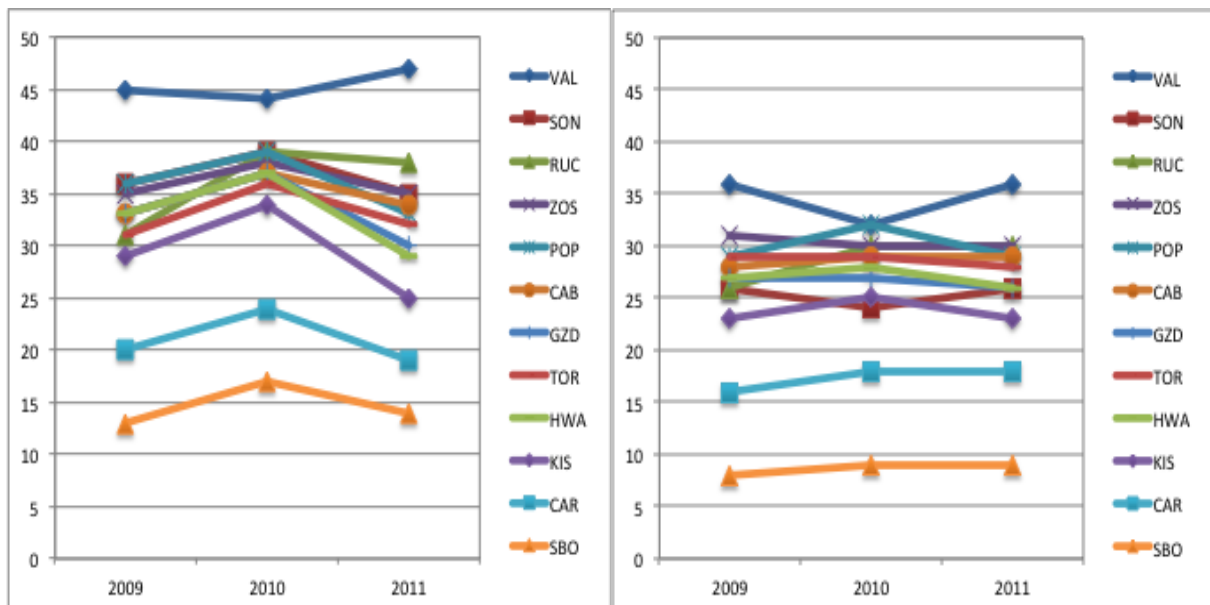


Abb. 3: Mittlerer absoluter stündlicher Fehler (MAE) der Modell-Vorhersage (links) und MOS- Vorhersage (rechts) in % der durchschnittlichen Einstrahlung an 12 Stationen in Europa über 3 Jahre.

## 7. Fazit

Die Strahlungsvorhersagen aus einem NMM-Wettermodell mit 12 Km Auflösung für die folgenden 24 Stunden erreichen mittlere absolute stündliche Fehler (MAE) von etwas unter 30% über ein ganzes Jahr im Mittel von 30 Standorten in Europa und angrenzenden Gebieten.

Mit einer Multi-Parameter MOS-Anpassung lassen sich die MAE Werte um durchschnittlich 19% senken. Die MOS-Anpassung erhöht auch die Stabilität der Vorhersage über mehrere Jahre, so dass die mit Hilfe des MOS-Verfahrens für ein Jahr ermittelte Vorhersage-Trefferquoten in anderen Jahren auch erwartet werden können.

Das MOS Verfahren eignet sich somit gut zur Verbesserung der Strahlungsvorhersagen aus Meso-Skala-Modellen, und ermöglicht auch Vorhersagen über die zukünftig zu erwartende Prognose-



Genauigkeit. Für eine MOS-Anpassung können mit dem vorgestellten Verfahren auch Wetterdaten zurückliegender Jahre für einen Standort verwendet werden. Eine Benutzung von LIVE ermittelten Messdaten ist für dieses Verfahren der MOS-Anpassung nicht notwendig.

#### **Ausblick:**

Mit der erzielten Präzision von durchschnittlich 19% mittlerer stündlicher Fehler (MAE) erreichen die MOS-Strahlungs-Vorhersagen eine bemerkenswerte Präzision.

Die mit MOS erzeugbaren NMM-Strahlungsprognosen verbessern die Eignung von Strahlungsvorhersagen nochmals deutlich, und lassen sich für alle Zwecke gut einsetzen, bei denen eine hohe Präzision der Strahlungsprognosen erforderlich sind. Notwendig für den Einsatz der MOS-Anpassung sind stündliche, geprüfte Messdaten der Einstrahlung für ein Jahr (365 Tage) am gewünschten Standort. Der Betrieb der Vorhersagen ist ohne aufwändige Bereitstellung von aktuellen Messdaten möglich und liefert über Jahre hinaus konstant gute Ergebnisse.

Angesichts der innerhalb einer Entwicklungszeit von 1 Jahr erzielten Fortschritte ist mit weiteren Verbesserungen der Methode innerhalb der nächsten Jahre zu rechnen.

## **8. Literatur**

[1] Beyer et al. (2009): MESOR – D 1.1.3 Report on Benchmarking Radiation Products.  
[http://www.mesor.net/docs/MESoR\\_Benchmarking\\_of\\_radiation\\_products.pdf](http://www.mesor.net/docs/MESoR_Benchmarking_of_radiation_products.pdf)

[2] Bühner et al. (2013): Zuverlässigkeit von Einstrahlungsdaten aus mesoskalen Wettermodellen  
[http://www.solarserver.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/SCRIPT\\_Bad\\_Staffelstein\\_NMM-Strahlungsdaten.pdf](http://www.solarserver.de/fileadmin/user_upload/downloads/SCRIPT_Bad_Staffelstein_NMM-Strahlungsdaten.pdf)

[3] Müller (2011): Effects of Model Resolution and Statistical Postprocessing on Shelter Temperature and Wind Forecasts. Journal of Applied Meteorology and Climatology, pp. 1627-1631.