

Leistungsflussprognose  
mit  
geringem  
Vorhersagefehler

(Power Flow Forecasting With  
Low Prediction Error)

*Univerza v Mariboru, FERI, Slovenija*

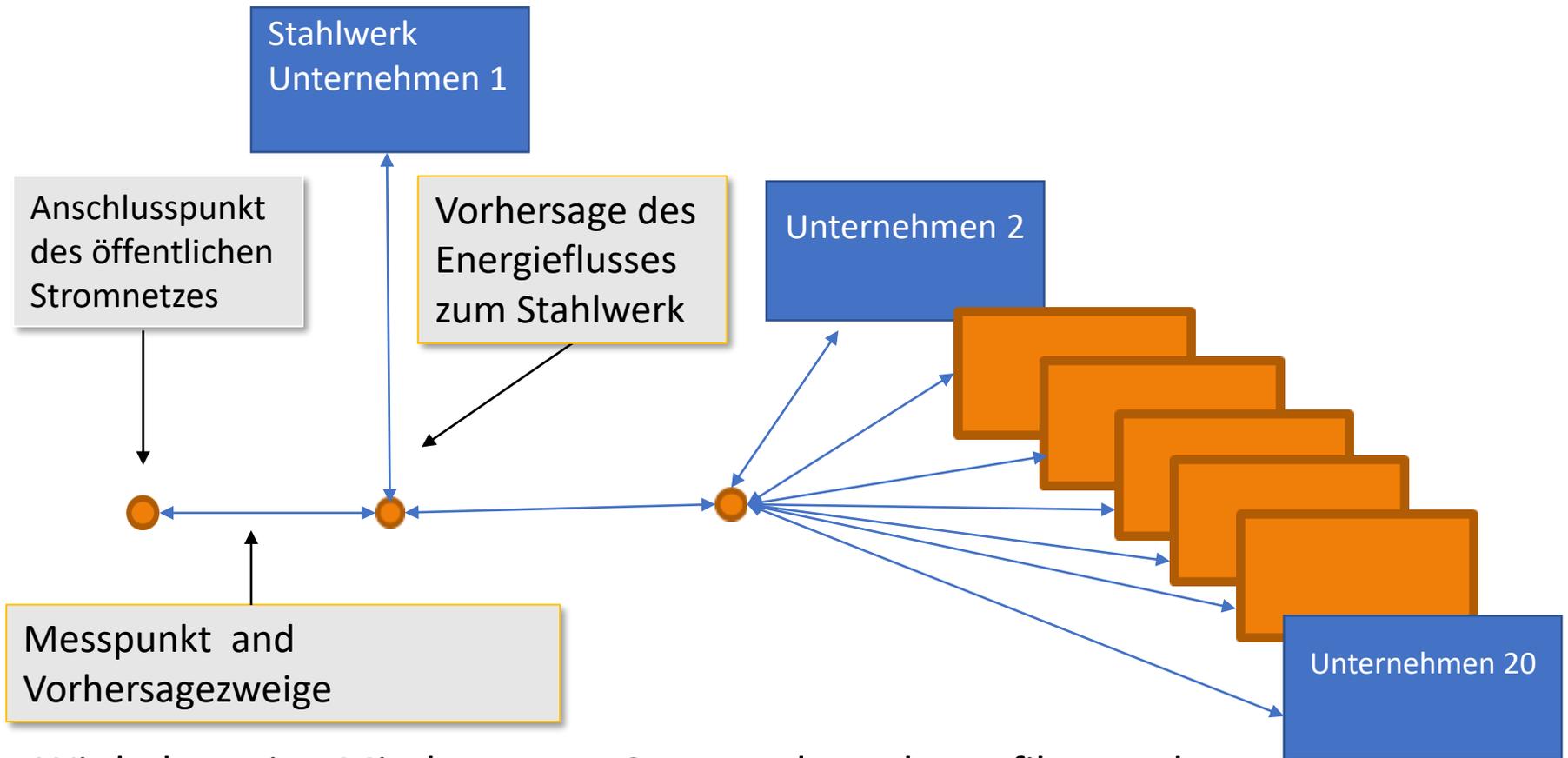
**mag. Boris Bizjak**

*E mail: [boris.bizjak@um.si](mailto:boris.bizjak@um.si)*

*Tel: 041 327 348*

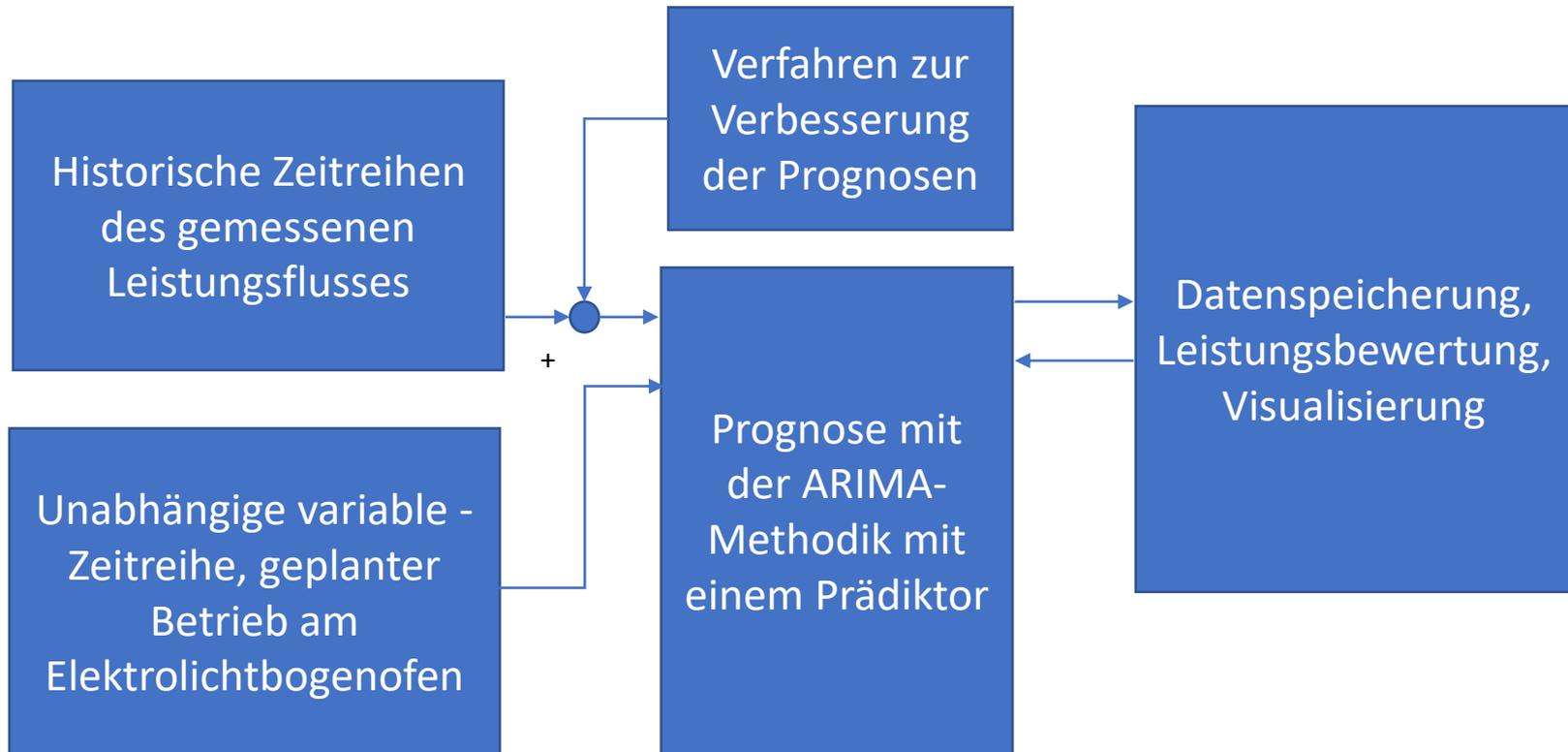
# Inhalt

- Industriekomplex und Leistungsflusszweigen
- Struktur des Prognosesystem mit Methodik der Arbeit
- Vorhersage des maximalen Leistungsflusses für 7 Tage
- Tägliche Leistungsflussprognose
  - Tägliche Leistungsflussprognose mit einfachem Prädiktor
- Tägliche Leistungsflussprognose mit geringem Vorhersagefehler
  - Unabhängige Variable - Prädiktor
  - Prognosemodell
  - Simulation der Vorhersage mit realen Messdaten
  - Verfahren zur Verbesserung der Prognose
- Ergebnisse und den Hauptpunkten des Projekts



Wir haben eine Mischung von Stromverbrauchsprofilen, sodass klassische Prognosemethoden keine guten Ergebnisse liefern.

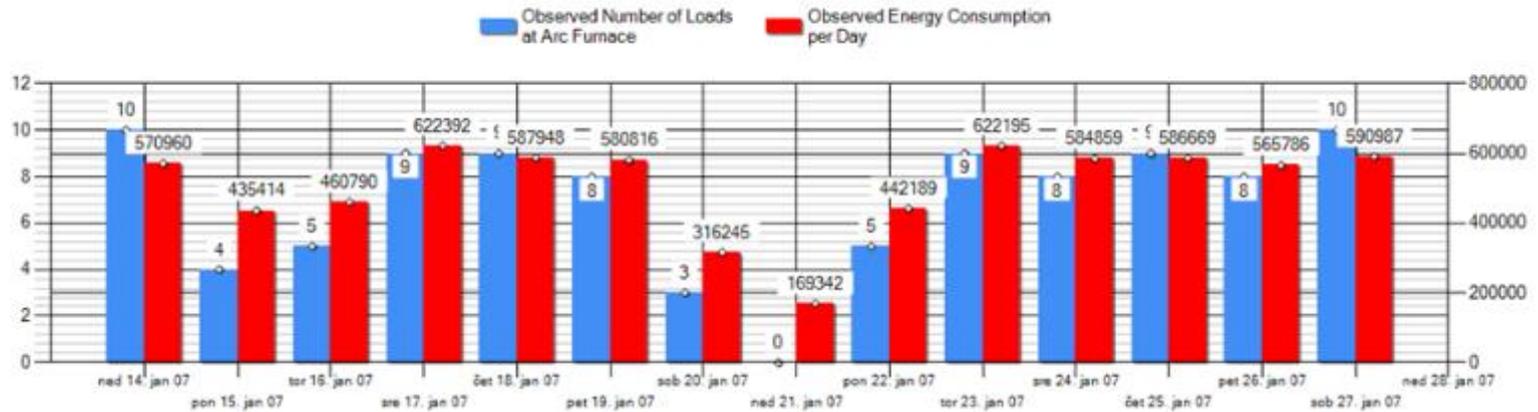
Blockdiagramm von Industriekomplex und Energieflusszweigen



- Die grundlegende Vorhersage-Technik ist ARIMA mit einem Prädiktor.
- Transaktionen zur Verbesserung der Prognosen wurden im Rahmen einer Echtzeitdatenbank durchgeführt.

## Struktur des Prognosesystem

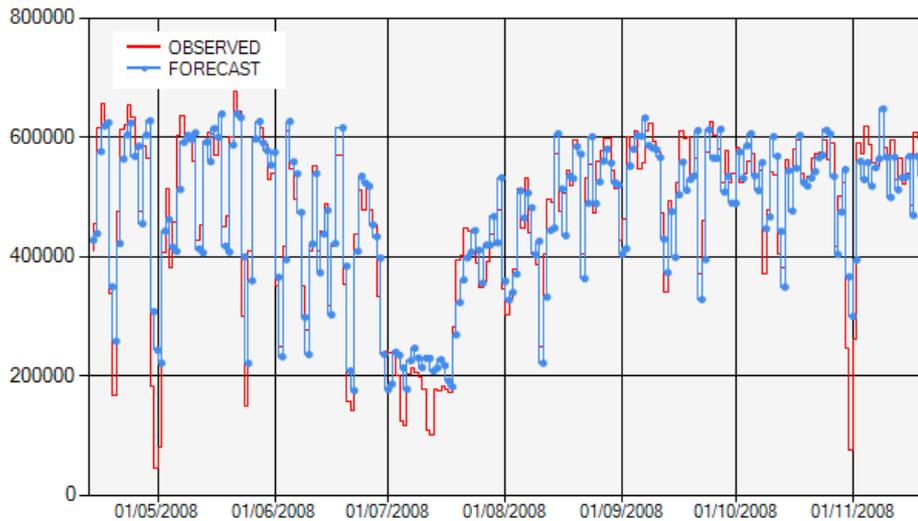
Wir prognostizieren die maximalen Leistungsflüsse für 7 Tage mit zwei einfachen Zeitreiheneingaben.



Vorhersage des maximalen Leistungsflusses für 7 Tage

- Für den Prädiktor haben wir die Gesamtzahl der Füllungen am Lichtbogenofen während eines Tages verwendet, zwischen Mitternacht und Mitternacht.
- Einfache und robuste Lösungen.

The First Day - maximum



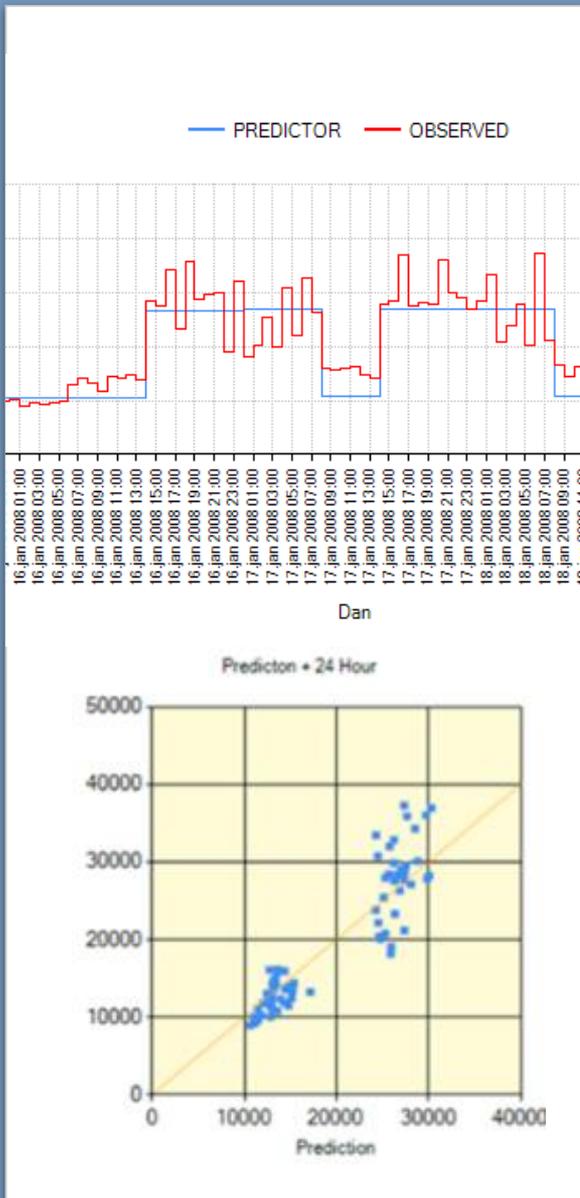
Day Plus	R <sup>2</sup>	Number of predictions	AVG observed	STDEV observed	AVG forecast	STDEV forecast	MAPE	MAE	RMSE
+ 5	0,9	220	465283,7	144625,5	466093,3	127076,2	13.7 %	36185,9	47862
+ 4	0,9	220	464618,6	144370	465873,3	127780	13.7 %	36249,2	48236
+ 3	0,9	220	464847	144030,4	468237,4	128608,9	14.1 %	36687,9	49321
+ 2	0,9	220	464743,2	144476,5	468588,5	131015,7	13.6 %	35612,9	48418
+ 1	0,9	220	465477,1	144846,2	466832,2	136577,5	11.4 %	32210,9	42787

Die Vorhersage ist gut für hohe numerische Werte und schlechter für kleine Werte. Dies kann durch die Tatsache erklärt werden, dass ARIMA die Saisonalität von 7/5 nicht abdeckt.

Vorhersage  
von Extremen  
für 7 Tage

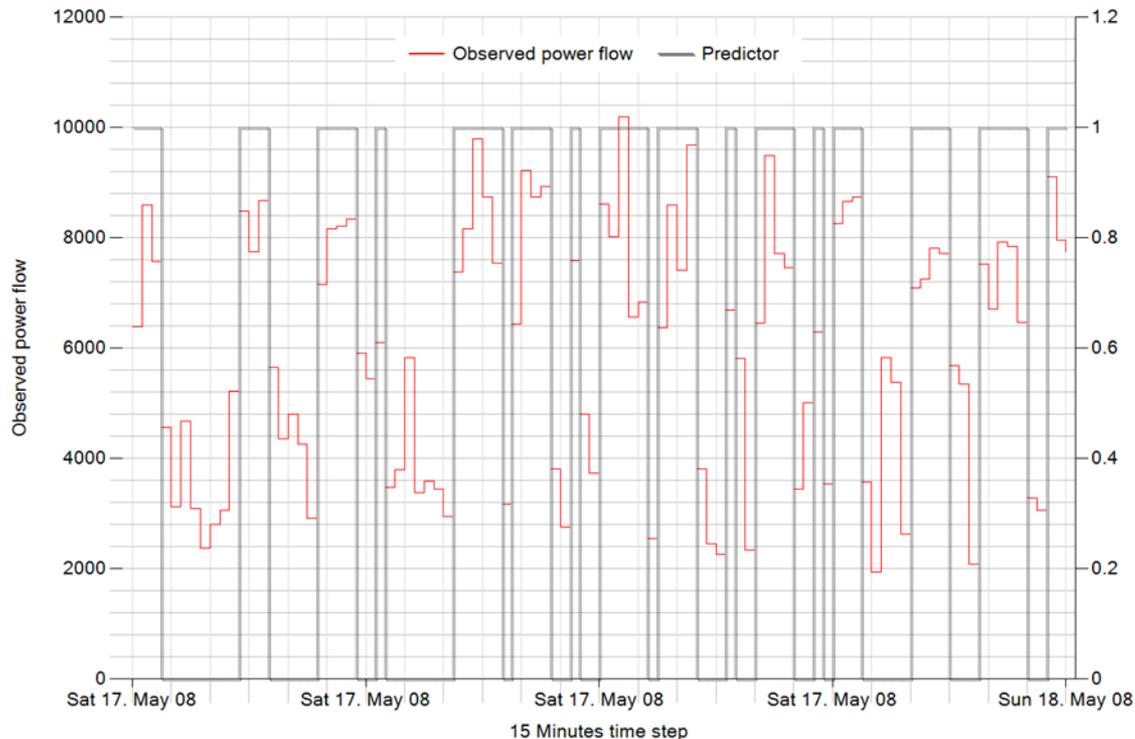
Es sollte klargestellt werden, dass die vorhergesagten Werte und die gemessenen Werte praktisch den gleichen Mittelwert und die gleiche Standardabweichung aufweisen. Dies ist ein guter Hinweis darauf, dass die Messungen und Prognosen sehr nahe beieinander liegen.

# Tägliche Leistungsflussprognose mit einfachem Prädiktor

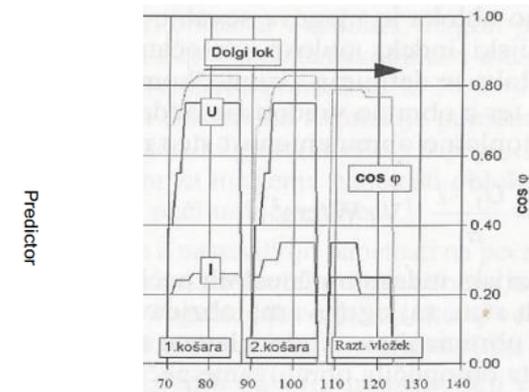


- Dieser Prädiktor war während des gesamten Betriebs des Lichtbogenofens 1, er folgte nicht dem typischen Phasen-Produktionszyklus am Lichtbogenofen.
- Das Vorhersage- / Beobachtungsdiagramm zeigt, dass eine solche Vorhersage nicht anwendbar ist, da die Vorhersagen in zwei unabhängigen Wolken verteilt werden.
- Wir haben festgestellt, dass wenn der Prädiktor direkt auf der Stundenskala aufgebaut ist, wird den Start des Lichtbogenofens für maximal 45 Minuten verpassen können.

# Prädiktor für Vorhersage mit geringem Vorhersagefehler - 15-minütiger Zeitschritt

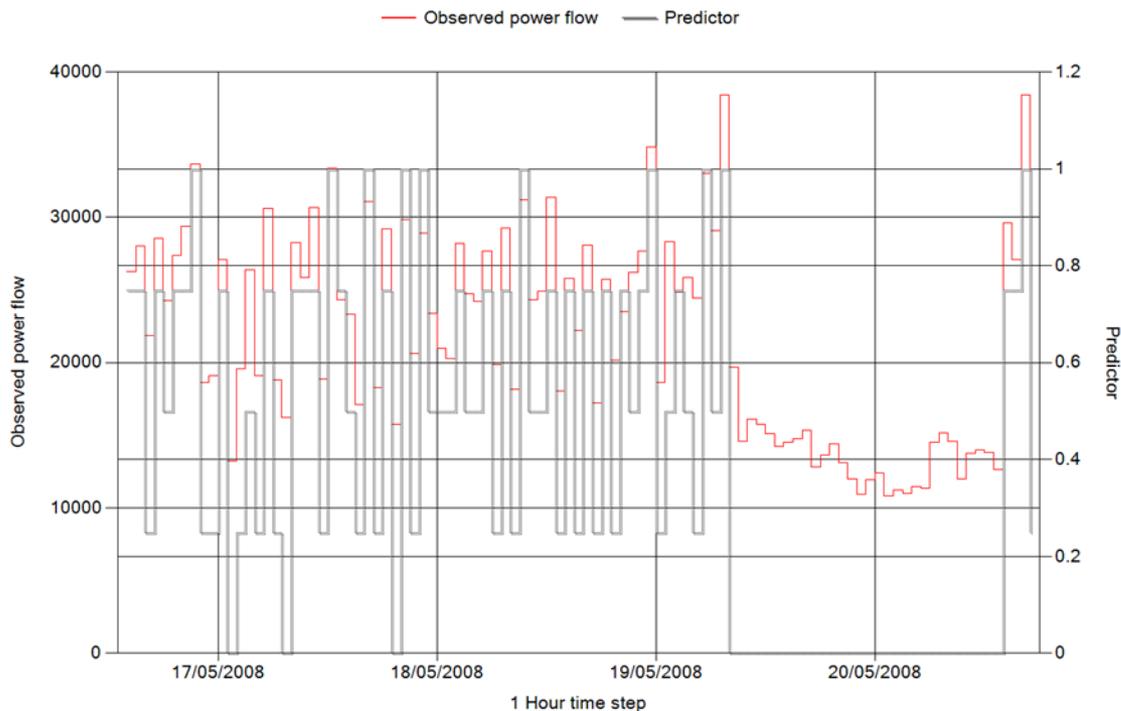


- Die Stufenlinien sind durch das Auf und Ab des Verbrauchs für die Schmelztechnologie der einzelnen Charge gekennzeichnet.



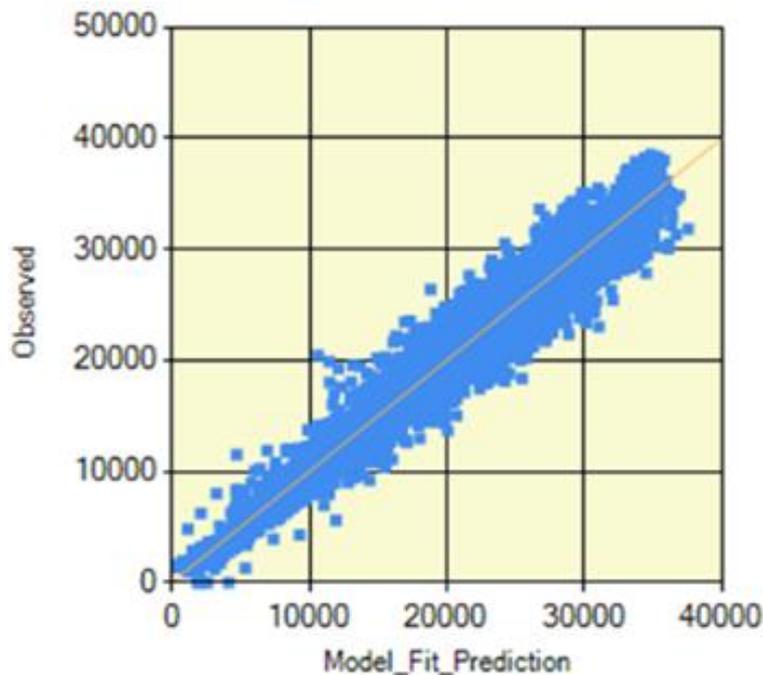
Mit dem Periodogramm überprüfen wir die Form des Prädiktors und ob wir den dominanten Einfluss des Elektroofens wirklich einfangen.

# Endgültiger Prädiktor mit Stundenskala



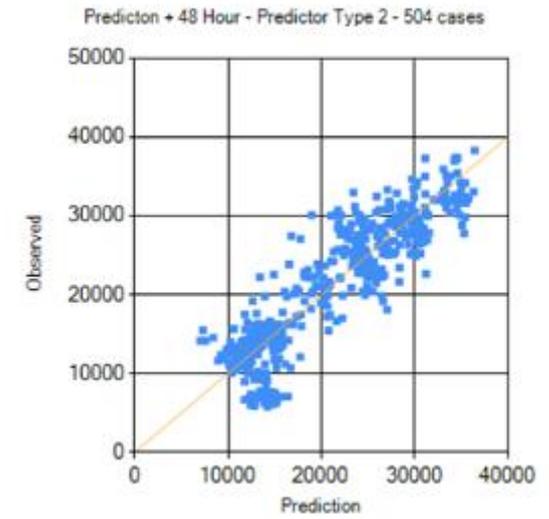
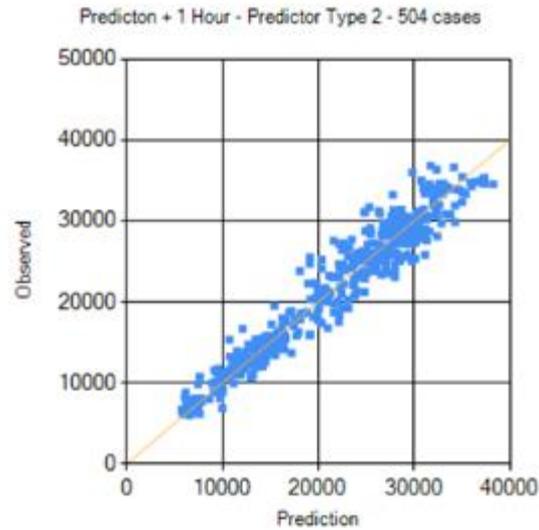
- Da wir Vorhersagen auf einer Stundenskala machten, musste der Prädiktor in einer Stundenskala mit stündlicher durchschnittlicher berechnet werden.
- Somit erhalten wir einen neuen Prädiktor auf der Stundenskala, der nun vier Werte hatte: 0,25, 0,5, 0,75, 1.
- Der Prädiktor stimmt auch gut mit dem Beginn des Schmelzens im Ofen überein.

# Modell fit für die Vorhersage mit geringem Vorhersagefehler



- Das Modell für unser Beispiel ist der lineare Standard ARIMA mit der Notation  $(0,1,1) (1,0,1)$ .
- Stationäres R-Quadrat 0,91 erklärt, dass es eine Saisonalität in den Messdaten gibt, die das Prognosemodell nicht richtig erklärt hat. Der R-Quadrat 0,95 Wert gibt an, dass die Variabilität der Zeitreihen vom Vorhersagemodell gut abgedeckt wird.

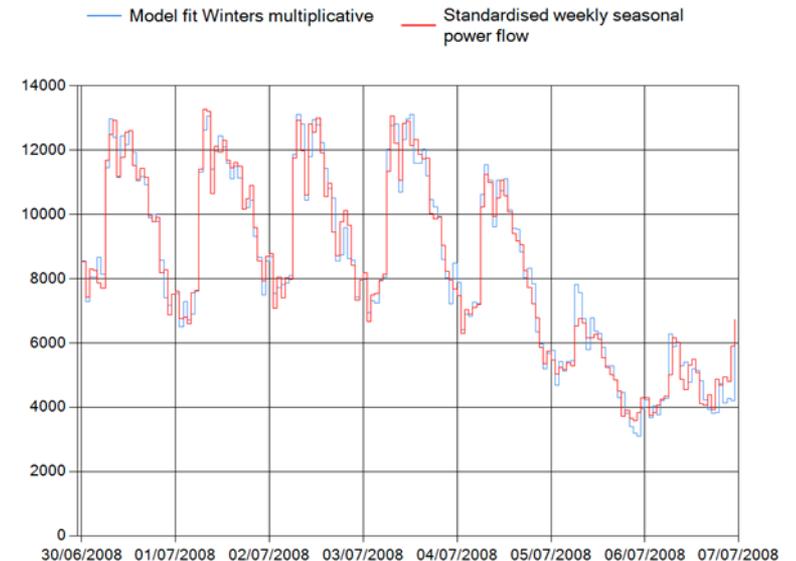
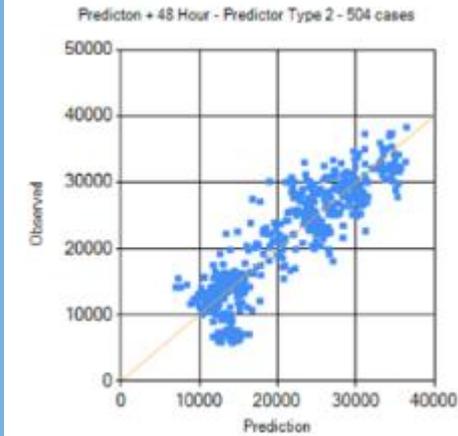
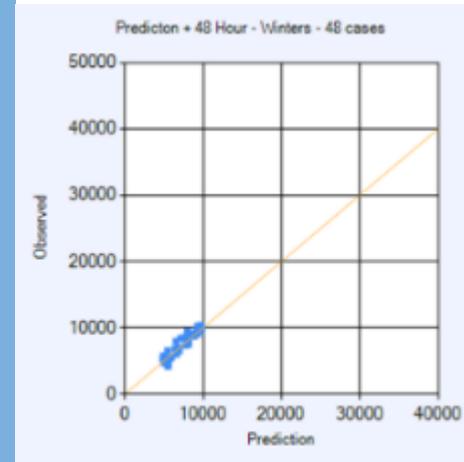
Die nächste Phase ist die Simulation der Vorhersage mit realen Messdaten



- Die 1-Schritt-Simulationsvorhersage-Statistik kommt der Modellstatistik sehr nahe.
- Prognosen für 24 Stunden haben bereits einen Vorhersagefehler von 15%.
- Die Statistiken der 48-stufigen Simulationsprognose waren jedoch noch schlechter. Der relative Fehler begann sich 19% zu nähern.

Der Energiefluss am gemeinsamen Energieanschluss kann mit ARIMA und dem Winters-Modell erklärt werden.

- Diagramme stellen da den Leistungsfluss zu Unternehmen 2 bis 20. Die Größenordnung der Energieflüsse liegt zwischen 5.000 und 10.000 und liegt in der Amplitude des problematischen Bereichs mit schlechten Prognosen in der Gesamtleistungsfluss.
- Wir kamen auf die Idee, die von Winters erfassten saisonalen Daten vom Gesamtleistungsfluss zu subtrahieren, damit das ARIMA-Modell seinen Teil der Prognose perfekt erfüllen kann.

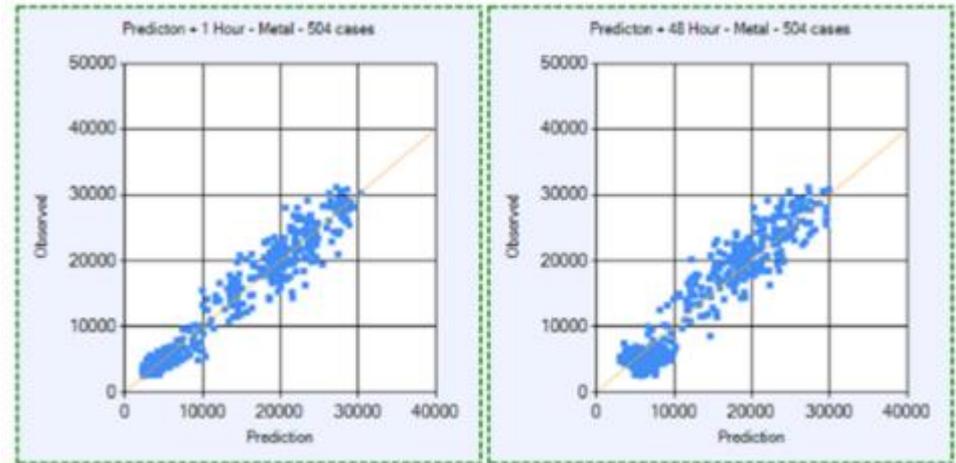


# Verfahren zur Verbesserung der Prognosen

Subtrahieren Sie die normierten Wochenwerte von den Daten des gemeinsamen Energieanschlusses.

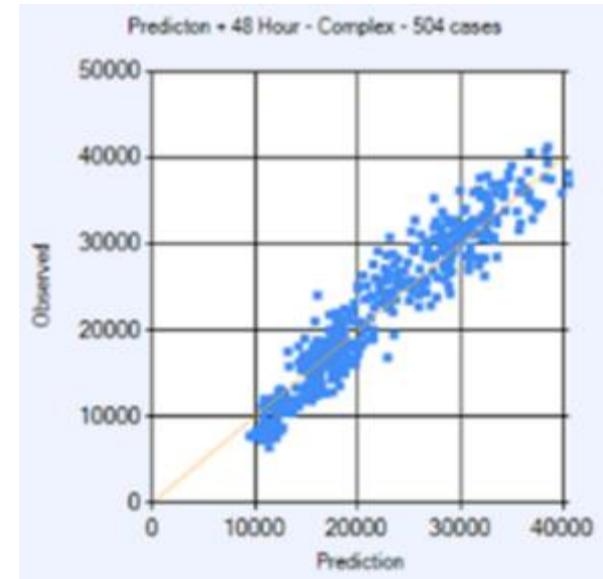
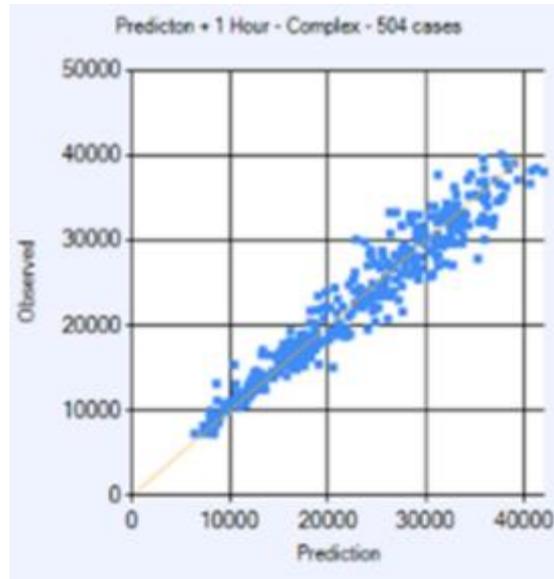
Im nächsten Schritt wird die ARIMA-Prognose für den gemeinsamen Energieanschluss ausgeführt.

Der Schritt für die endgültige Vorhersage auf dem gemeinsamen Energieanschluss besteht darin, die Werte der standardisierten Woche zur ARIMA-Prognose hinzuzufügen.



- Um die beschriebene Subtraktion und Summation durchzuführen, mussten wir einen „standardisierten wöchentlichen saisonalen Leistungsfluss“ bestimmen.
- Als Nebenprodukt haben wir eine Lastprognose für den gegenüber dem Stahlwerk erhalten. Die Vorhersage von 21 Tagen für die nächsten 24 Stunden ergab  $R^2 = 0,93$ .

Ergebnisse -  
Leistungsflussvor-  
hersage mit  
geringem  
Vorhersagefehler



Mit einem Messsignal haben wir für die nächsten 48 Stunden Leistungsfluss in drei Zweigen prognostiziert. Prognose des Leistungsfluss zum öffentlichen Stromnetz, zum Stahlwerk und zu anderen 20 Unternehmen.

Typische Werte:

nächste 1 Stunde  $R^2 = 0,95$  MAPE = 6,8%

24 Stunden:  $R^2 = 0,93$  MAPE = 9,9%

48 Stunden:  $R^2 = 0,91$  MAPE = 12,3%

# Endgültige Prognosestatistik

Die Lösung wurde getestet, indem eine Vorhersage von 21 Tagen simuliert wurde. Die letzte Vorhersage ist dem Zeitpunkt einen Schritt voraus. Wir haben also 21 Tage lang 504 Vorhersagen gemacht.

Ergebnis für die nächsten 48 Stunden:

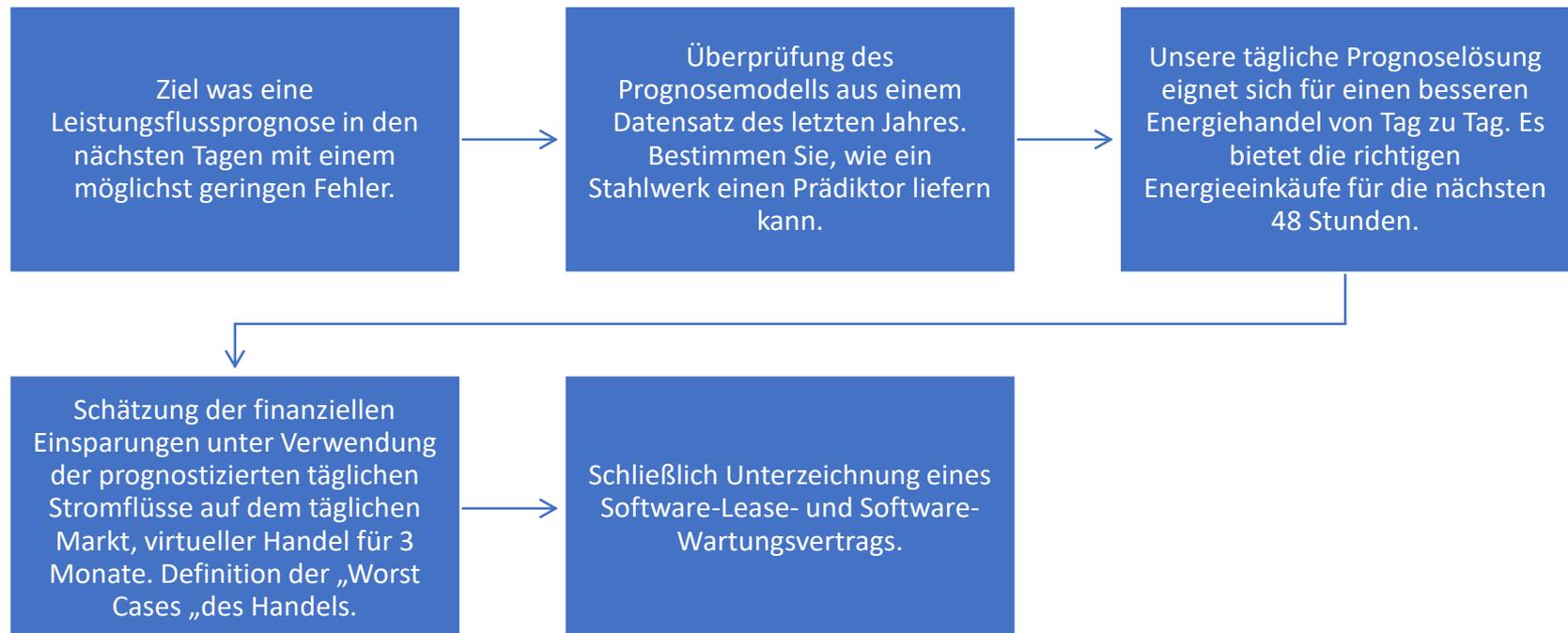
$R^2_{48} = 0,91$

$MAPE_{48} = 12,3\%$

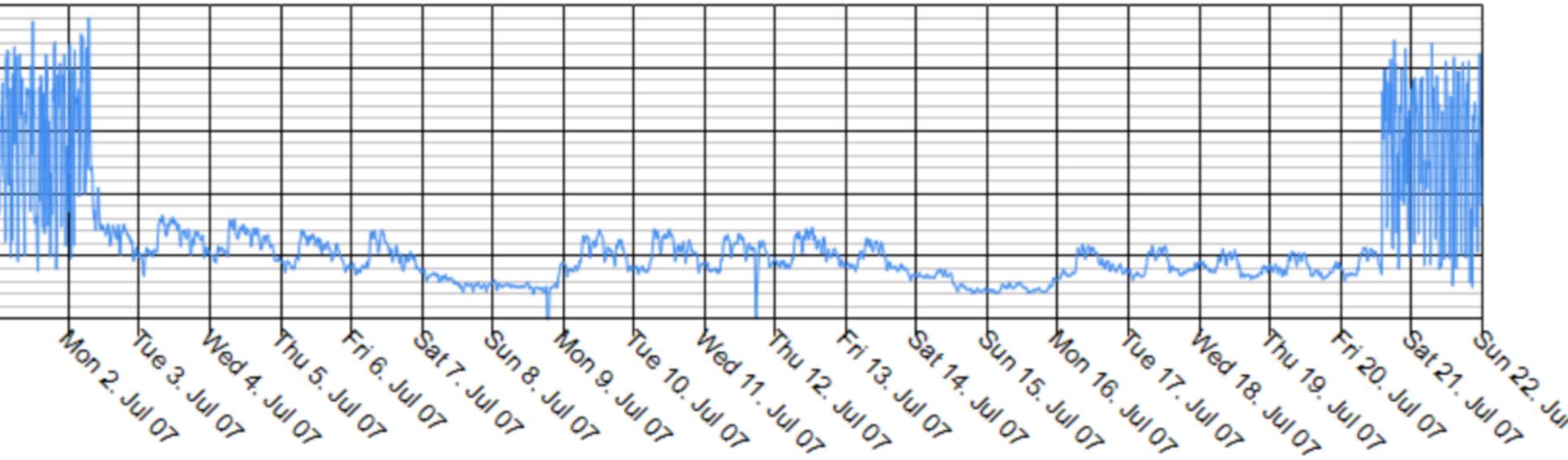
$RMSE_{48} = 2584$

Hour +	R square	MAE	MAPE	RMSE	Number of predictions
1	0,95	1386,93	6.81 %	1965,98	504
2	0,94	1455,65	7.33 %	2060,92	504
3	0,94	1534,3	7.8 %	2106,36	504
4	0,94	1616,43	8.26 %	2149,73	504
5	0,93	1675,69	8.78 %	2224,52	504
6	0,93	1711,12	9.08 %	2238,19	504
7	0,93	1748,47	9.28 %	2268,13	504
8	0,93	1756,52	9.51 %	2280,33	504
9	0,93	1759,68	9.47 %	2280,7	504
10	0,93	1789,77	9.76 %	2317,68	504
11	0,93	1828,01	9.83 %	2360,4	504
12	0,93	1837,03	9.91 %	2364,44	504
13	0,93	1824,9	9.89 %	2330,4	504
14	0,92	1855,75	10.02 %	2387,83	504
15	0,93	1816,1	9.87 %	2330,17	504
16	0,93	1845,7	10.03 %	2352,68	504
17	0,93	1795,34	9.73 %	2276,53	504
18	0,93	1794,97	9.77 %	2286,87	504
19	0,93	1813,72	9.91 %	2295,4	504
20	0,93	1814,17	9.77 %	2322,71	504
21	0,93	1758,78	9.7 %	2262,13	504
22	0,93	1781,22	9.81 %	2309,08	504
23	0,93	1780,48	9.86 %	2296,16	504
24	0,93	1786,35	9.99 %	2298,05	504

# Fazit und den Hauptpunkten des Projekts



Observed Energy at 15 Minute Intervals over a Days



## Messsignal

- Betrachtet man die Messsignal des gemeinsamen Leistungsflusses bei der Wartung des Lichtbogenofens, so fallen zwei charakteristische Verbrauchsabschnitte auf, niedrige Werte, die eine Art saisonalen Leistungsfluss darstellen, und hohe Werte bei der Stahlerzeugung.
- Eine Kombination von zwei Modellen kann dieses Signal abdecken: ARIMA mit Prädiktor und Winters multiplikative saisonale.

- The coefficient of determination ( $R^2$ ):

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2 \quad SS_{res} = \sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$$

- The Mean Absolute Percentage Error (MAPE):

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right|$$

$A_i$  ... measured values  
 $F_i$  ... predicted values

- The Root-Mean-Square Error (RMSE) is a measure of the quality of the different forecasting models for the same time series:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n}}$$

Some criteria for assessing the performance of the forecast