

Bedarfsabhängige und Innovative Gebäudeautomatisierung in Produktionsstätten (BIG)

im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme
KMU-innovativ: Ressourcen- und Energieeffizienz

Teilprojekt 3: Klima- und Wetterdatenimplementierung

Thema: Klimaanlage-Steuerung

(Stand: 13.08.2018)

INHALTSVERZEICHNIS

1 Zusammenfassung.....	1
2 Ziele des Projektes BIG.....	2
2.1 Grundsätzliche Ziele.....	2
2.2 Motivation.....	3
2.3 Projektpartner.....	3
2.4 Die Pilotanlage.....	4
3 Ziele des Projektpartners CEC.....	4
3.1 Kernziele.....	4
3.2 Grundsätzliche Herausforderungen.....	5
3.3 Inhaltliche Schwerpunkte.....	5
4 Allgemeine Beschreibung des Prognosesystems.....	6
4.1 Kurzbeschreibung.....	6
4.2 Ablaufdiagramm.....	6
4.3 Überblick über alle Programme.....	8
4.4 Verzeichnisstruktur.....	8
4.5 Innovative Aspekte.....	9
4.6 Technische Anforderungen.....	10
4.7 Installation.....	10
4.8 Laufzeiten.....	10
4.9 Fehlersuche.....	10
5 Eingangsdaten.....	11
5.1 Allgemeine Datenanforderungen.....	11
5.2 Prognosedaten.....	11
5.3 Beobachtungsdaten.....	12
5.3.1 Historische Beobachtungsdaten.....	12
5.3.2 Operationelle Beobachtungsdaten.....	13
6 Datenaufbereitung.....	13
6.1 Beschaffung und Aufbereitung der Prognosedaten.....	13
6.2 Beschaffung und Aufbereitung der Beobachtungsdaten.....	14
6.3 Analyseprogramme.....	15
7 Funktionalitäten des Prognosesystems.....	15
7.1 Steuerdateien.....	16
7.1.1 Steuerdatei FWEP_W_Ablauf.steuer.....	16
7.1.2 Steuerdatei FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer.....	16
7.1.3 Steuerdatei Prognose_all.steuer.....	17
7.1.4 Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer.....	18
7.2 Protokolldateien.....	18
7.3 Prognosen im 1 Stunden-Takt.....	18
7.4 Prognosemodule.....	19
7.4.1 ANALOGIE- oder Ähnlichkeitsmodell.....	19

7.4.2 REGRESSIONS-Modell.....	19
7.4.3 ADAPTIONS-Modell.....	19
7.4.4 KLASSIFIKATIONS-Modell.....	19
7.5 Prognosen im 15 Minuten-Takt.....	20
7.6 Prognoseergebnisse.....	20
8 Prognoserechnungen.....	21
8.1 Anforderungen an die Prognoseergebnisse.....	21
8.2 Prognosen im simulierten Rechenmodus (SRM).....	21
8.3 Prognosen im operationellen Rechenmodus (ORM).....	22
9 Optimierung des Prognosesystems.....	23
9.1 Korrelationsanalysen.....	23
9.1.1 Parameter GLOB.....	24
9.1.2 Parameter HELL.....	24
9.1.3 Parameter TEMP.....	25
9.1.4 Parameter WIND.....	27
9.2 Optimierung des 1h-Prognoseprogramms.....	28
10 Prognoseläufe im Simulierten Rechenmodus.....	29
10.1 Prognoseergebnisse im Lernzeitraum.....	29
10.1.1 Parameter GLOB.....	30
10.1.2 Parameter HELL.....	30
10.1.3 Parameter TEMP.....	30
10.1.4 Parameter WIND.....	31
10.2 Verifikationsergebnisse.....	31
10.2.1 RMSE.....	31
10.2.2 Mittlerer Absoluter Fehler.....	32
10.3 Vergleich von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum.....	33
10.3.1 Globalstrahlung GLOB.....	33
10.3.2 Helligkeit HELL.....	34
10.3.3 Temperatur TEMP.....	34
10.3.4 Windgeschwindigkeit WIND.....	34
11 Prognoseläufe im Operationellen Rechenmodus.....	35
12 Möglichkeiten der Ergebnisverwertung.....	35
12.1 Korrelationsanalysen der Beobachtungswerte.....	35
12.2 Empfehlungen zur Verwendung der Prognosen.....	36
13 Optionen für die Zukunft.....	37
14 ANHANG – Detaillierte Beschreibung aller Programme.....	39
14.1 Programme zur Beschaffung & Aufbereitung der GFS-Prognosedaten.....	39
14.1.1 Programm GFS_Download_50.....	39
14.1.2 Programm GFS_Bearbeitung_50.....	40
14.2 Programme zur Beschaffung & Aufbereitung der Beobachtungsdaten.....	40
14.2.1 Programm Download_BEO.....	40
14.2.2 Programm Lesen_BEO.....	41
14.2.3 Programm BEO_Agg_15Min.....	41
14.2.4 Programm BEO_Agg_1h.....	42
14.3 Analyseprogramme.....	42
14.3.1 Programm Aequi_Par_Ausgabe_50.....	42
14.3.2 Programm Lesen_BEO_Archive.....	43
14.3.3 Programm Vergleich_BEO_BEO.....	43
14.3.4 Programm Vergleich_GFS_GFS.....	43
14.4 Programme der 1h-Prognose.....	44
14.4.1 Programm FWEP_W_Ablauf.....	44
14.4.2 Programm Prognose_PAR.....	44
14.4.3 Programm FWEP-W_Prognose.....	45
14.4.4 Programm CART.....	46
14.4.5 Programm Verifikation.....	46
14.5 Programme der 15Min-Prognose.....	47
14.5.1 Programm FWEP_W_Ablauf_15Min.....	47
14.5.2 Programm FWEP-W_Prognose_15Min.....	48
14.5.3 Programm Verifikation_15Min.....	49
14.6 Programme zur Optimierung des Prognosesystems.....	49
14.6.1 Programm Vergleich_BEO_GFS.....	49
14.6.2 Programm Optimierung.....	50

1 Zusammenfassung

Die vorliegende Dokumentation beschreibt das im Rahmen des Forschungsprojektes BIG - „Bedarfsabhängige und innovative Gebäudeautomation in Produktionsstätten“ vom Projektpartner CEC entwickelte Prognosesystem zur Bereitstellung operationeller Wetterprognosen zur energetischen Gebäuderegulierung. Sie erläutert u.a. dessen wesentliche Funktionalitäten, die erstellten Programme, die verwendeten Daten sowie Verzeichnisstrukturen und Datenflüsse. Grundlegende Motivation für die durchgeführten Arbeiten war die Überlegung, in einer Industriehalle durch eine Kombination einzelner Automatisierungsfunktionen gegenüber deren isolierter Verwendung zusätzliche Energie-Einsparungen von bis zu 40% zu erzielen. Dazu sollen neben allen bisher isoliert angewandten Funktionalitäten der Gebäudeautomation durch die Integration von Wetterprognosen wetterabhängige Effekte in die Regelung einbezogen werden. Werden z.B. Produktionsbereiche nicht genutzt, so reagieren Heizung und/oder Klimatisierung hierauf und reduzieren ihre Leistung. Diese Informationen zusammen mit Wetterprognosen erlauben eine sinnvolle Integration äußerer Einflüsse zur bedarfsgerechten Steuerung von z.B. Fenstern und Rollläden. Durch die intelligente Nutzung äußerer Witterungseinflüsse erfolgen Heizung bzw. Klimatisierung bestenfalls ausschließlich bedarfs- bzw. belegungsabhängig.

Mit der Einbindung verlässlicher aktueller Wetterprognosen in die Regelstrategie der Gebäudeautomation leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zur Erreichung der in Deutschland gesetzten Klimaziele. Der zu erarbeitende Ansatz soll darüber hinaus möglichst standortunabhängig sein, sich also auf andere Standorte der Gebäudeautomation übertragen und durch die Berücksichtigung ortsabhängiger Aspekte ohne Funktionalitätseinbußen flächendeckend in Deutschland einsetzen lassen.

Entwickelt wurde ein operationell arbeitendes Prognosesystem, das alle für die Gebäudeautomatisierung relevanten meteorologischen Parameter für mehrere Tage im Voraus prognostiziert. Das System basiert auf Methoden verschiedener, in der Vergangenheit bereits umgesetzter Projekte, musste wegen der gänzlich anderen Zielstellung aber grundlegend neu konzipiert werden. Im Endergebnis ist ein operationell laufendes System entstanden, mit dem sich die am Standort Aachen gemessenen meteorologischen Parameter im Viertelstunden-Takt bis zu 5 Tage in die Zukunft prognostizieren lassen. Das System ist lernfähig, was bedeutet, dass seine Prognosegüte mit der Menge der für die Vergangenheit vorliegenden Daten (insbesondere der vor Ort gemessenen Beobachtungsdaten) wächst.

Die Dokumentation erläutert den Umgang mit den für die Prognoserechnungen benötigten großen Datenmengen (Prognosedaten, Beobachtungsdaten), das Ineinandergreifen einer Vielzahl von Einzelprogrammen und den voll operationellen Dauerbetrieb des Systems, der hohe Anforderungen an eine zuverlässige und effektive Datenbereitstellung, -verarbeitung, -archivierung und -nutzung stellt. Im Rahmen der Projektarbeiten waren zahlreiche grundsätzliche Fragen zu beantworten, wie z.B. nach der Art der grundsätzlich zu nutzenden Prognosedaten, der Qualität der vor Ort gemessenen Beobachtungsdaten sowie den für das Projekt umzusetzenden Methoden.

Der Bericht enthält eine allgemeine Beschreibung des Prognosesystems samt Ablaufdiagramm, in dem das Zusammenspiel aller Eingangsdaten und Programme erläutert wird, einen Überblick über alle Teilprogramme und die dahinter liegende Verzeichnisstruktur sowie Informationen zu den technischen Anforderungen des Systems. Beschrieben werden die für den Betrieb benötigten Eingangsdaten, ihre Beschaffung, Bearbeitung und Archivierung. Ebenso die Steuermöglichkeiten mittels diverser Steuerdateien, mit denen Einfluss auf das Verhalten einzelner Programme und das Gesamtsystem genommen werden kann.

Die Erstellung von Prognosen erfolgt in zwei grundsätzlichen Schritten: Prognoserechnungen im 1 Stunden-Takt und darauf aufbauend Rechnungen im 15-Minuten-Takt. Basis aller Prognoseergebnisse sind die im 1h-Takt durchgeführten Rechnungen und die im entsprechenden Programm verankerten Prognosemodule. Am Ende jedes Prognoselaufes entstehen Ergebnisse unterschiedlichster Art, u.a. eine nach Kundenwünschen erstellte „Prognosedatei“, die als direkter Input für die in Aachen geplante Gebäuderegulierung genutzt werden kann.

Um das Prognosesystem zu entwickeln und angesichts der verschiedenen Datenströme für jeden der vier Prognoseparameter („Prediktanden“) GLOB=Globalstrahlung, HELL=Helligkeit, TEMP=Temperatur und WIND=Windgeschwindigkeit zu optimieren, lässt sich das System nicht nur in einem operationellen, sondern auch in einem simulierten Modus ausführen. Der Unterschied zwischen beiden Betriebsmodi wird in diesem Bericht ebenso beschrieben wie Methoden der Systemoptimierung, mit denen die für jeden Prediktanden besten Datenströme und Parameter ermittelt werden.

Einen großen Teil des Berichtes nimmt die Darstellung der im simulierten Rechenmodus durchgeführten Prognoserechnungen ein, wobei auch der Einfluss des zum Zeitpunkt der Rechnungen vorliegenden Datenumfangs auf die Qualität der Ergebnisse diskutiert wird. Die eingesetzten Methoden und erstellten Pro-

gramme führen bereits auf der Basis der nur für einen sehr eingeschränkten Zeitraum (ca. 8 Monate) verfügbaren Beobachtungsdaten zu überraschend guten Prognosen. Da es sich um ein selbstlernendes System handelt, dessen Prognosequalität mit dem Umfang der verfügbaren Daten wächst, ist mit einer weiter zunehmenden Qualität der Prognosen zu rechnen. Dies gilt insbesondere für die Prognoseparameter, die einen ausgeprägten Jahresgang haben, wie z.B. die Temperatur TEMP, deren Werte sich für das Sommer- und Winterhalbjahr deutlich unterscheiden. Oder auch für die Parameter GLOB und HELL, die sich sowohl durch einen ausgeprägten Tages- wie auch einen deutlichen Jahresgang auszeichnen.

Am Ende des Berichtes wird die aus Sicht der Autoren mögliche Verwendung der gelieferten Prognosen zur Gebäudeautomatisierung diskutiert und es werden Empfehlungen ausgesprochen, wie welcher Parameter zur Steuerung eingesetzt werden könnte. Daneben werden Optionen für die Zukunft beschrieben, die sich zum einen auf Grund der ständig wachsenden Datenbasis ergeben, zum anderen auf alternativen Prognosedaten oder Methoden zur Systembeschleunigung beruhen.

Vorrangiges Ziel der Dokumentation ist es, dem Auftraggeber die methodische Herangehensweise, die Funktionalitäten und die Ergebnisse des entwickelten Prognosesystems zu erläutern, aber auch einen möglichen Endnutzer mit Informationen zu unterstützen und so den Umgang mit dem System zu erleichtern. Nicht unerwähnt bleiben sollte, dass es sich bei der vorliegenden Version des Berichtes um eine „Langfassung“ handelt, in der nicht nur die grundlegenden Eigenschaften des entwickelten Prognosesystems beschrieben werden, sondern auch Details zu den einzelnen Programmen. Dazu sind im Anhang alle entwickelten Teilprogramme samt ihrer Funktionsweise detailliert beschrieben. Dieser richtet sich also insbesondere an Endnutzer, die das System tiefgreifender verstehen und ggf. selbst betreiben möchten.

2 Ziele des Projektes BIG

2.1 Grundsätzliche Ziele

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes BIG – „Bedarfsabhängige und innovative Gebäudeautomation in Produktionsstätten“ sollen in den Bereichen Systembezogene Technologien, Verfahren und Dienstleistungen die Themenfelder Klimaschutz und Energieeffizienz adressiert werden. Ziel ist die Entwicklung einer Software zur Steigerung der Energieeffizienz und Erhöhung der Energieproduktivität durch bedarfsorientierte und innovative Gebäudeautomation in Produktionsstätten. Erreicht werden soll dies durch die Erstellung einer modellgestützten Regelungssoftware zur vorausschauenden und bedarfsorientierten Steuerung der Gebäude und durch Softwarebausteine, die kombinierbar und modular aufgebaut sind. Alle bislang am Markt angebotenen Systeme und Hardwarekomponenten zur Gebäude- oder Hausautomation beschränken sich auf Privathäuser. Lösungen für Produktionsbetriebe und deren individuelle Anforderungen, Möglichkeiten und Randbedingungen findet man nicht. Darüber hinaus existieren bisher lediglich „Insellösungen“ anstelle eines integrierten Konzeptes.

Die in BIG adressierten Ziele gehen weit über die Ziele bisheriger oder anderer noch laufender Projekte und sonstige Aktivitäten im Bereich der Gebäudeautomation hinaus. Während sich diese weitestgehend mit der Entwicklung einzelner Funktionalitäten befassen, strebt BIG eine Integration aller Einzelfunktionen an, um einen größtmöglichen Einspareffekt durch zusätzliche Synergiebildung zu erreichen. Durch die angestrebte Kombination einzelner Automatisierungsfunktionen werden gegenüber deren isolierter Verwendung zusätzliche Einsparungen von bis zu 40% erwartet. Erreicht werden soll dies durch die Kombination aller bisher isoliert angewandten Funktionalitäten der Gebäudeautomation, die Einbeziehung wetterabhängiger Effekte und die Integration von Klima- oder Wetterprognosen.

Die Steuerung der Gebäudeautomation durch den aktuellen und zukünftigen (auftragsbezogenen) Bedarf sowie die prädiktive Steuerung durch die Berücksichtigung von Wetterprognosen zeichnet sich durch folgende Aspekte aus:

- Die Gebäudeautomation wird auf ein neues Anwendungsgebiet (Produktionsgewerbe) übertragen.
- Die Optimierung der Gebäudeautomation durch Bedarfssteuerung und Wetterprognosen erhöht den Wirkungsgrad bestehender Systeme und resultiert in weiteren Energieeinsparungen.
- Die Nutzung von Wetterinformationen, vorausschauender Leistungsreduktion aufgrund von Nichtbelegung oder auch durch Nutzung von Abwärme zu Heizzwecken senkt die generelle Grundlast des Unternehmens und führt somit automatisch zur Reduktion von teuren Lastspitzen.

Das Projekt leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zur Erreichung der Klimaziele. Da nicht wie bisher unterschiedliche Ansätze zur Energieeinsparung einzeln betrachtet werden, bietet das zu entwickelnde Produkt einen hohen Innovationsgrad und den späteren Nutzern einen klaren Wettbewerbsvorteil. Hinsichtlich des Marktpotenzials existieren verschiedene Studien, die alle von einem hohen Einsparpotenzial durch eine intelligente Gebäudeautomation ausgehen.

2.2 Motivation

Der Energieverbrauch aufgrund stetig steigender Preise stellt einen erheblichen Kostenfaktor in jedem Produktionsbetrieb dar. Beleuchtung, Heizung und Klimatisierung tragen hierzu signifikant bei. Aktuelle Systeme der Gebäudeautomation orientieren sich lediglich an Sollwerten. So werden zwar angemessene Arbeitsbedingungen gewährleistet, eine bedarfsgerechte Steuerung liegt allerdings nicht vor. BIG hat das Ziel, mit der Kopplung von Produktionsplanung und -steuerung, Wettervorhersagen und Gebäudeautomation den Energiebedarf produzierender Unternehmen durch bedarfsabhängige und prädiktive Steuerung deutlich zu verringern. Studien prognostizieren bei der Kombination der genannten Parameter Energiekosten-Einsparungen von 30 bis 40%.

Herkömmliche Heizungen reduzieren ihre Leistung erst bei einer Sollwertüberschreitung. Bisher erfolgte die Gebäudeautomation meist durch den Einsatz eines Sensornetzwerkes. Sensoren zur Messung verschiedener Parameter wie Beleuchtung, Heizung oder Belüftung werden in den zu regelnden Bereichen installiert und ihre Messwerte in einer zentralen Steuerungseinheit zusammengeführt. Über eine entsprechende Software erfolgt die Einstellung von Sollwerten, die in einem Regelkreis kontinuierlich anhand von Ist-Messwerten überwacht werden. Bei einer Sollwertabweichung erfolgt die Regelung über die Anpassung der Steuerungseinheit.

Eine adaptive Regelung der Heizleistung reduziert bereits im Vorfeld die Leistung, und bindet zudem Gegebenheiten der laufenden Produktion aktiv ein, so dass der Sollwert anhand des antizipierten Bedarfs regelmäßig angepasst wird. Das Heizverhalten mit BIG benötigt keine Sollwertüberschreitung, um auf äußere Rahmenbedingungen zu reagieren. Zudem passen sich Belüftung und Klimatisierung an den tatsächlichen Bedarf der Mitarbeiter vor Ort an. Hierdurch wird nur dann Energie verbraucht, wenn die Mitarbeiter tatsächlich hiervon profitieren.

Werden Produktionsbereiche nicht genutzt, so reagieren Heizung und/oder Klimatisierung hierauf und reduzieren ihre Leistung. Diese Informationen erlauben durch Interaktion mit Wetterprognosen eine sinnvolle Integration äußerer Einflüsse zur Steuerung von Fenstern und Rollläden nach Bedarf einerseits zur Isolation, andererseits als externe Wärme- und Lichtquelle (Sonne). Die Heizung bzw. Klimatisierung erfolgt demnach ausschließlich bedarfs- bzw. belegungsabhängig und wird zudem unterstützt durch eine intelligente Nutzung äußerer Witterungseinflüsse.

Ziel ist deshalb die Entwicklung einer ganzheitlichen Regelstrategie, die alle relevanten Einflussgrößen zusammenfasst, mit den Soll-Werten vergleicht und die Regelabweichung über die entsprechenden Stellgrößen ausgleicht. Es sollen alle Komponenten angesteuert werden, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch und das Gebäudeklima haben. Dazu zählen u.a. Lüftungs- und Klimaanlage, Heizung und Kältemaschinen, Beschattung und Fensteröffnung. Die Eingangsparameter umfassen Klimadaten, Abwärme von Produktionsmaschinen, andere interne Wärmelasten (EDV, Beleuchtung etc.), Belegungszahlen und Schichtpläne, die Fertigungsfeinplanung und davon abhängige Maschinenlaufzeiten und die Energieerzeugung (z.B. Solar, BHKW).

2.3 Projektpartner

Unter der Führung der SYS.TEC Gebäudeautomation GmbH & Co. KG beteiligen sich die Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (Abteilung Produktionsqualität), die Fa. Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC) sowie die Fa. J. Schlenter Production GmbH als Partner an dem Projekt. Weitergehende Informationen zu den Projektpartnern können den angegebenen Webseiten entnommen werden.

SYS.TEC Gebäudeautomation GmbH & Co. KG: Das Unternehmen zählt zu den Pionieren im Bereich Gebäudeautomation. SYS.TEC wird als Konsortialführer innerhalb des Projekts hauptverantwortlich die Gebäudeautomationssoftware entwickeln. Dazu gehört die Auswahl und Weiterentwicklung von Regelalgorithmen, deren Einbindung in die Software-Struktur und die Anbindung an bestehende Hardware zur Steuerung der bestehenden Gebäudeinfrastruktur.

J. Schlenter Production GmbH: Die Firma bietet als KMU seit 150 Jahren weltweit komplette Scherzylinder, Schermesser und Untermesser für die Textil-, Leder- und Pelzindustrie an. Schlussendlich agiert das Unternehmen als Validierungsbeispiel der Projektergebnisse, indem ein Pilotsystem in der Fertigungsebene umgesetzt und die Funktionsfähigkeit der Software nachgewiesen wird.

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH - CEC: Die Firma CEC ist seit über 15 Jahren u.a. auf den Gebieten der statistischen Klimamodellierung und der Entwicklung operationeller Prognosesysteme zur Vorhersage von Wind, Ozon und PM10 tätig. Neben den allgemeinen Erfahrungen im Bereich der Meteorologie bringt die Firma ihre Expertise im Bereich Klima- und Klimafolgenforschung sowie der Entwicklung und Nutzung globaler und regionaler Klimadaten und -szenarien in das Projekt ein. CEC ist für die Entwicklung und technische Umsetzung (Programmierung) des Prognosesystems verantwortlich. Das

Know-how im Bereich prognostischer Systeme wird dazu genutzt, die Software standortunabhängig zu konzipieren und regionale Einflüsse abzubilden (www.cec-potsdam.de).

2.4 Die Pilotanlage

Die Firma J. Schlenter Production GmbH bietet als KMU seit 150 Jahren weltweit Produkte für die Textil-, Leder- und Pelzindustrie an. Seit 15 Jahren ist das Unternehmen zudem im Sektor Präzisionsdrehteile, Prototypenbau sowie Lohnfertigung aktiv. Aufgrund des modernen Maschinenparks beinhaltet der Kundenstamm einige renommierte Unternehmen. Darüber hinaus besteht Erfahrung in Bezug auf Forschungsprojekte aufgrund diverser Beteiligungen, u.a. bedingt durch die räumliche Nähe der RWTH Aachen sowie anderer Technologiezentren und Forschungsinstitute.

Die hochspezialisierte Fertigungsanlage am Standort Aachen (Größe der Halle: ca. 60 x 20 m) verteilt sich auf verschiedene, baulich voneinander getrennte Räumlichkeiten. In jedem Raum wird jeweils ein Prozess einer Fertigungstechnologie (z.B. Fräsen, Schleifen) durchgeführt, so dass dort bezogen auf die Maschinentypen „sortenreine“ Anlagen mit gleichen Eigenschaften verortet sind. Hierdurch ergeben sich für jeden Bereich unterschiedliche Anforderungen an die Gebäudeautomation bzw. unterschiedliche sinnvoll einsetzbare Features. Schlenter betreibt innerhalb ihres Maschinenparks auch Industrieöfen, welche sich sehr gut für ein Lastmanagement eignen.

Schlenter fungiert im Rahmen des Projekts zunächst als Wissenslieferant zur Berücksichtigung individueller Anforderungen eines KMU sowie der Überwachung der Machbarkeit der zu Beginn des Projektes erarbeiteten Konzepte. Schlussendlich agiert das Unternehmen aber auch als Validierungsbeispiel der Projektergebnisse, indem eine Pilotversion der neuartigen Gebäudesteuerung in der Fertigungsebene umgesetzt und die Funktionsfähigkeit der Software nachgewiesen wird. Letztendlich soll die J. Schlenter Production GmbH im Rahmen der späteren Vermarktung als Erfolgsbeispiel dienen.

3 Ziele des Projektpartners CEC

3.1 Kernziele

Externe Einflüsse wirken auf einen Produktionsstandort und legen deshalb eine vorausschauende Steuerung z.B. des Heizungs- oder Kühlbetriebs nahe. Ist eine Temperaturerhöhung (z.B. Hitzewelle) zu erwarten, so sollte im Vorfeld die Heizleistung reduziert und die externe Wärmezufuhr (Strahlung und Konvektion) genutzt werden. Ist dagegen mit einem Temperaturrückgang zu rechnen (z.B. Kältewelle), so sollte die Heizleistung vorausschauend hochgefahren werden. Eine bedarfsorientierte Steuerung der Gebäudeautomation sollte deshalb eine Kopplung an verlässliche Wetterprognosen vorsehen. Wie oben bereits ausgeführt, findet die Einbindung von Wetterprognosen in die Anlagensteuerung und -automatisierung derzeit aber lediglich in Ansätzen statt, und das trotz der Tatsache, dass ihre Berücksichtigung eine prädiktive Steuerung der Automations-Hardware und die Nutzung regenerativer Ressourcen wie z.B. der Sonne ermöglicht.

Kernziel des Projektpartners Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC) ist deshalb die Bereitstellung standortgebundener meteorologische Prognosedaten zur Integration in die Gebäudeautomation, um Gebäude und Anlagentechnik vorausschauend steuern zu können. Zielstellung ist die Einbindung von Wetterprognosen in die Regelstrategie der Gebäudeautomation. Durch die Nutzung prognostischer Werte für meteorologische Größen wie Strahlung, Temperatur oder Windgeschwindigkeit sollen wesentliche klimatische Parameter und deren Einfluss auf die Produktionsabläufe in die Anlagenregelung einfließen, und dies ohne Vernachlässigung des menschlichen Komforts. Ziel ist also die prädiktive Gebäudeautomation zur Steuerung von Jalousien, Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Lüftung - abhängig von Wettervorhersagen. Der zu erarbeitende Ansatz soll möglichst standortunabhängig sein, sich also auf andere Standorte der Gebäudeautomation übertragen und durch die Berücksichtigung ortsabhängiger Aspekte ohne Funktionalitätseinbußen flächendeckend in Deutschland einsetzen lassen.

Um diese Ziele zu erreichen, wählt der Projektpartner die relevanten meteorologischen Parameter aus, die eine industrielle Gebäudeautomation beeinflussen und für Produktionsbetriebe relevant erscheinen. Auf dieser Auswahl wiederum basiert die Entscheidung über Datensätze, die in das Software-Modell integriert werden müssen. Bei dem zu entwickelnden Modell handelt es sich um ein operationell arbeitendes Prognosemodell, das sich in ähnlicher Form bereits in der Vergangenheit bei der Prognose der von Windenergieanlagen erzeugten Leistung bewährt hat.

Um das in BIG geplante innovative Gebäudeautomatisierungsmodell umsetzen zu können, sind neben Software und Hardware auch geeignete Schnittstellen notwendig, um die bisher nicht in der Gebäudeautomatisierung berücksichtigten Wetter-Informationen in bestehende Systeme integrieren zu können. Bei

der Entwicklung des Prognosesystems ist deshalb auch die Integration der erzeugten Prognosen in bestehende Software-Strukturen zu berücksichtigen.

Durch die Mitarbeit in vorliegenden Projekt stärkt der Projektpartner CEC seine Reputation auf den Gebieten Identifikation meteorologischer Einflussfaktoren, Modellierung dieser Parameter sowie Operationalisierung im Schnittstellenbereich technischer Lösungen. Dies wiederum erweitert das Portfolio um eine prädiktive und an weitere Systeme gekoppelte Automation, die bei weiteren Industriekunden Interesse bei der Einbindung datenbasierter Wettereffekte zur energieorientierten Produktionsplanung und -steuerung wecken könnte. Dazu wird der Projektpartner das neue Einsatzgebiet von Wetterdaten im Bereich der Produktion und deren Einfluss auf die Energieeffizienz in geeigneten Veröffentlichungen erläutern. Insgesamt könnten die drei Partner SYS.TEC, Fraunhofer IPT und CEC ein ideales Gespann zur lizenzierten Vermarktung der Entwicklungsergebnisse bilden, die sich unmittelbar nach erfolgreichem Projektende umsetzen ließe.

3.2 Grundsätzliche Herausforderungen

Um die oben definierten Ziele zu erreichen, soll ein Prognosesystem entwickelt werden, das alle für die Gebäudeautomatisierung relevanten meteorologischen Parameter für mehrere Tage voraussagt. Gegenüber den bisher erstellten Prognosesystemen, mit denen die von einzelnen Windkraftanlagen, Windparks oder größeren Regionen erzeugte Leistung (nur ein Ausgangsparameter) berechnet wurde, sollen jetzt am Standort Aachen die dort gemessenen 4 meteorologischen Parameter GLOB=Globalstrahlung, HELL=Helligkeit, TEMP=Temperatur und WIND=Windgeschwindigkeit für die Vergangenheit (den Lernzeitraum) berechnet und (für die Zukunft) prognostiziert werden. Dies erfordert eine Neukonzeption des bisherigen Ansatzes mit Auswirkungen auf alle Teilkomponenten des Prognosesystems.

Unabhängig davon, ob Prognosen für einen einzelnen Standort (wie in diesem Fall) oder für größere Regionen (wie im Fall regenerativer Energiequellen) erstellt werden sollen, erfordert die Erstellung eines solchen Prognosesystems stets den Umgang mit großen Datenmengen (Prognosedaten, Beobachtungsdaten), das Ineinandergreifen einer Vielzahl von Einzelprogrammen und einen operationellen Dauerbetrieb des Systems. Insbesondere die Operationalisierung stellt dabei hohe Anforderungen an eine zuverlässige und effektive Datenbereitstellung, -verarbeitung, -archivierung und -nutzung.

Um das Prognosesystem zu entwickeln und technisch umzusetzen, mussten im Rahmen der Projektarbeiten u.a. folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Prognosedaten in welcher zeitlichen und räumlichen Auflösung eignen sich grundsätzlich für die Verwendung im vorliegenden Projekt?
- Welche standortgebundenen Daten (Beobachtungsdaten) liegen vor, wie ist es um den Umfang und die Qualität dieser Daten bestellt, welche Methoden sind zu ihrem Bezug, ihrer Verarbeitung und ihrer Verwendung zu entwickeln?
- Welche meteorologischen Prognose-Parameter spielen für die Berechnung der o.g. 4 Zielgrößen überhaupt eine Rolle?
- Welche Ansätze und Modelle der bisher erstellten Systeme sind für das aktuelle Projekt relevant, welche obsolet?
- Welche Bedeutung kann die Verwendung von Prognosedaten für die Steuerung von Klimaanlagen auf der Basis der erzielten Prognoseergebnisse grundsätzlich haben?

Obwohl zu Projektbeginn von einer grundsätzlichen Machbarkeit und technischen Umsetzbarkeit des BIG-Projektbeitrages ausgegangen werden konnte, blieben angesichts dieser Fragen doch Risiken hinsichtlich der zu verwendenden Daten und Methoden. Wie die obigen Fragen beantwortet wurden und welche Strategien und Methoden Eingang in die erstellte IT-Lösung gefunden haben, soll in den restlichen Kapiteln beschrieben werden.

3.3 Inhaltliche Schwerpunkte

Basierend auf den Erfahrungen und bislang durchgeführten Arbeiten von CEC lassen sich die durchzuführenden Arbeiten in folgende inhaltliche Schwerpunkte unterteilen:

- Auswahl der zu verwendenden und für das Projektziel geeigneten Prognosedaten
- Analyse der Prognosedaten hinsichtlich ihrer Verwendungsmöglichkeit
- Sichtung der gelieferten, am Standort erhobenen Beobachtungsdaten
- Entwicklung von Methoden und Programmlösungen zum Bezug (Download), zur Verarbeitung und zur Archivierung aller benötigten Daten

- Entwicklung von Methoden zur Fehlerkorrektur und zeitlichen Aggregation der Beobachtungsdaten
- Aufbereitung und Archivierung aller Prognose- und Beobachtungsdaten
- Konzeption des Prognosesystems: Datenströme (In- und Output), Verzeichnisstrukturen, benötigte Teilprogramme, Definition von Schnittstellen zwischen den Teilprogrammen etc.
- Entwicklung und Test aller Teilprogramme samt der dort implementierten Methoden und Algorithmen
- Entwicklung des vollständigen Prognosesystems samt aller benötigten Schnittstellen
- Testläufe des Prognosesystems im „simulierten Rechenmodus“ (SRM) und Überarbeitung bzw. Ergänzung einzelner Komponenten
- Auswertung der im SRM erzielten Prognoseergebnisse
- Optimierung des Prognosesystems durch Anpassung verschiedener Eingangsparameter (z.B. Prognosefelder) und Steuerparameter
- Testläufe des Prognosesystems im „operationellen Rechenmodus“ (ORM)
- Optimierung des operationellen Ablaufs hinsichtlich Geschwindigkeit und Schnittstellen

4 Allgemeine Beschreibung des Prognosesystems

Das vorliegende Kapitel gibt einen Überblick über das erstellte Prognosesystem. Details zu den einzelnen Programmen sind dem Anhang zu entnehmen (Langfassung).

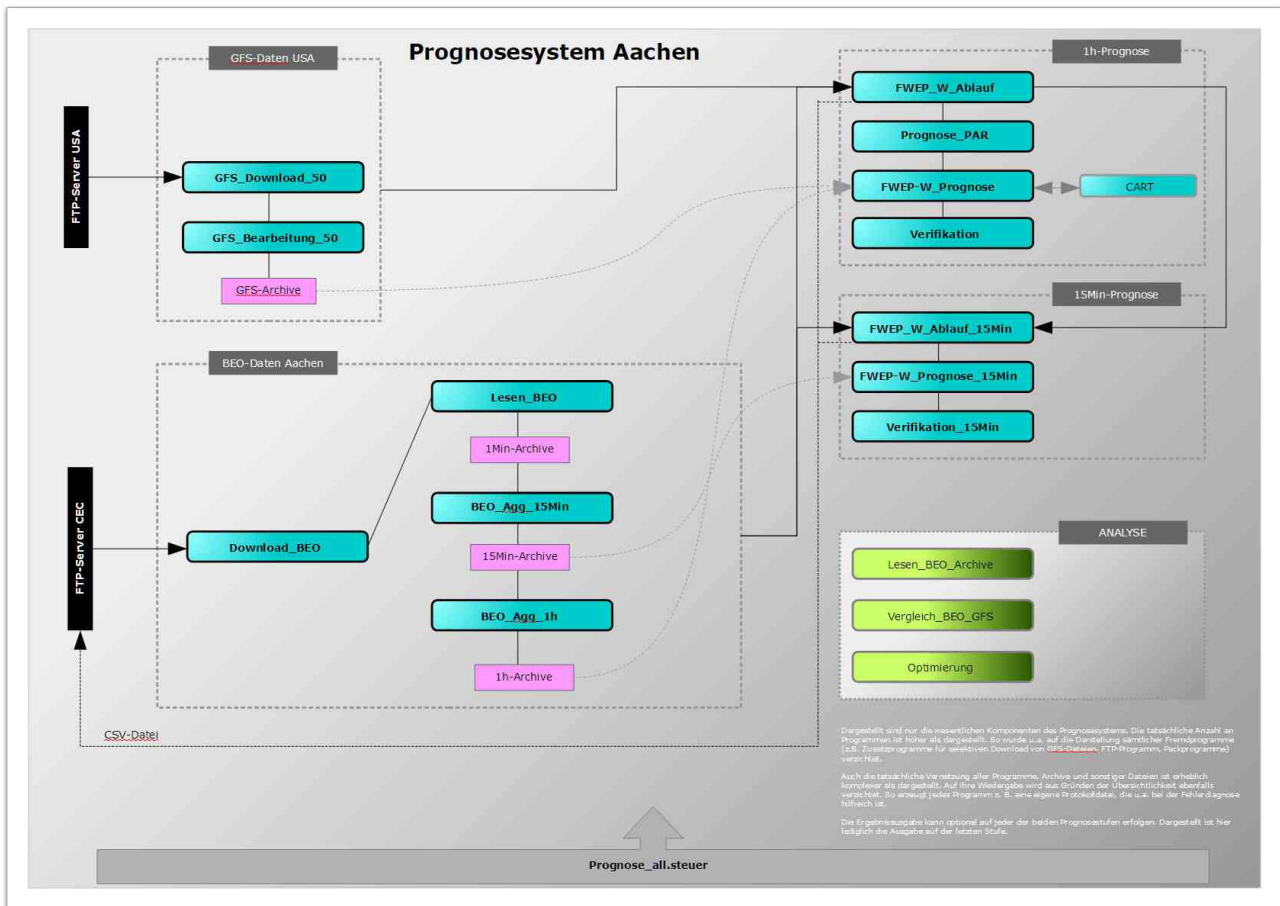
4.1 Kurzbeschreibung

Das Prognosesystem zeichnet sich durch folgende grundlegenden Eigenschaften aus:

- Modulare Struktur mit insgesamt 15 Teilprogrammen (aktiv im ORM), die in einer vorgegebenen Reihenfolge aufgerufen werden und jeweils bestimmte Aufgaben übernehmen. Die Modularität ist notwendige Folge der Tatsache, dass die von den einzelnen Programmen übernommenen Aufgaben z.T. sehr komplex und auch zeitintensiv sind. Aber auch Folge der Erfahrung, dass sich Probleme im Gesamtsystem viel leichter aufspüren und beheben lassen, wenn jeweils streng getrennte Einzelaufgaben abgearbeitet werden.
- Individuelle Steuerungsmöglichkeiten des Systems durch den Endnutzer mittels einfacher Steuerdateien (Format: ASCII)
- Protokollierung der von den Teilprogrammen abgearbeiteten Aufgaben in „Protokolldateien“. Jedes Teilprogramm generiert eine Protokolldatei Proto-Programmname.txt im Verzeichnis ..\exe\Protokoll, dem Informationen sowie Einzelheiten zu den internen Prozessen und abgearbeiteten Aufgaben entnommen werden können. Diese Protokolle dienen auch dazu, im Fall möglicherweise auftretender Probleme schnell deren Ursache(n) festzustellen zu können.
- Um eine größtmögliche Unabhängigkeit von kostenpflichtigen Daten und Diensten sicherzustellen, werden vom Prognosesystem nur Programme genutzt, die entweder Teil des Windows-Betriebssystems oder aber frei verfügbar sind (Open Source-Dienstprogrammen für z.B. FTP-Transfer, email-Versand oder Komprimierungsaufgaben).
- Nutzung frei verfügbarer Prognosedaten des Global Forecasting Systems - GFS des NCAR|USA
- Nutzung von Beobachtungsdaten, die vom Auftraggeber bereit gestellt und operationell heruntergeladen werden
- Ausgabe der Prognoseergebnisse in einem vom Auftraggeber gewünschten Format (z.B. CSV)
- Verankerung aller Programme, Input- und Outputdaten sowie Protokoll-, Steuer- und sonstiger Dateien in einer festen Verzeichnisstruktur, die direkt auf dem Root-Verzeichnis einer beliebigen Windows-Partition aufsetzt
- Lernfähiges System, das kontinuierlich die jeweils aktuellsten Daten in das System einbringt und dadurch im Laufe der Zeit zu immer genaueren Prognosen führt.

4.2 Ablaufdiagramm

Nachfolgend ist die grundsätzliche Struktur des Prognosesystems mit allen Programmen (grün), den erstellten Datenarchiven (magenta) sowie einigen wichtigen Datenflüssen wiedergegeben. Dargestellt sind nur die wesentlichen Komponenten des Prognosesystems. Die tatsächliche Anzahl an genutzten Programmen ist höher. So wurde im Diagramm u.a. auf die Darstellung sämtlicher Fremdprogramme verzichtet. Auch die tatsächliche Vernetzung aller Programme, Archive und sonstigen Dateien ist erheblich komplexer als dargestellt. Auf ihre Wiedergabe wird aus Gründen der Übersichtlichkeit ebenfalls verzichtet. Die Ergebnisausgabe und der Transfer der berechneten Prognosen an den Endkunden kann optional auf jeder der beiden Prognosestufen (1h- oder 15Min-Prognose) erfolgen (z.B. in Form einer CSV-Datei).



Struktur des Prognosesystems

Grundsätzlich besteht das Prognosesystem aus insgesamt 15 Einzelprogrammen, die in einer vorgegebenen Reihenfolge aufgerufen werden müssen und jeweils bestimmte Teilaufgaben übernehmen. Viele der Teilprogramme erfüllen auch Managementaufgaben wie das Löschen von im Vorlauf erzeugter lokaler Dateien oder das Packen/Komprimieren älterer lokaler Dateien auf dem Prognoserechner. Programme mit FTP-Zugriffen verwalten darüber hinaus auch Dateien auf dem FTP-Server (Löschen älterer Dateien, die bereits auf den Prognoserechner übertragen wurden), damit sich der FTP-Server nicht unnötig mit Dateien füllt. Weitere Managementfunktionen sind den Kurzbeschreibungen der Einzelprogramme im Anhang (Kap. 14) zu entnehmen. Neben den selbst erstellten Programmen beinhaltet das System auch Open Source-Fremdprogramme, die wegen ihrer kommandozeilenorientierten Funktionsweise in den FORTRAN-Code eingebunden und von diesen aufgerufen werden können (z.B. FTP-Programm FTPS.exe) sowie WINDOWS-Funktionalitäten, die direkt genutzt werden.

Das Prognosesystem wird über die Ablaufprogramme FWEP_W_Ablauf (1h-Prognosen) bzw. FWEP_W_Ablauf_15Min (15Min-Prognosen) gestartet. Diese wiederum rufen alle in den Steuerdateien FWEP_W_Ablauf.steuer (vgl. Kap. 7.1.1) bzw. FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer (vgl. Kap. 7.1.2) eingetragenen und aktivierten Teilprogramme in der vorgegebenen Reihenfolge auf. Viele der übrigen Programme verfügen über eigene Steuerdateien, mit denen verschiedene Einstellungen und ein bestimmtes Verhalten vorgegeben werden können.

Der Ablauf eines Prognoselaufes beginnt mit dem Download, der Verarbeitung und der Archivierung der Prognosedaten (oben links). Diesem folgten Download, Verarbeitung und Archivierung der Beobachtungsdaten (unten links), die Berechnung der Prognosen im 1h-Takt (oben rechts) sowie im 15Min-Takt (rechts Mitte). Alle Programme beziehen einen Teil ihres Inputs aus der Haupt-Steuerdatei Prognose_all.steuer (unten; s. auch Kap. 7.1.3) und tauschen über weitere Steuerdateien, Schnittstellen-Dateien und Protokolldateien Informationen aus. Insgesamt handelt es sich um das Zusammenspiel von 15 Einzelprogrammen (plus 7 Open Source-Programmen) mit Schnittstellen für den jeweiligen In- und Output sowie die zu übergebenden Parameter und Informationen. Alle selbst erstellten Programme liegen als 64Bit-Versionen vor.

4.3 Überblick über alle Programme

Die folgende Tabelle enthält eine Kurzbeschreibung aller im Ablaufdiagramm enthaltenen Programme, und zwar in der Reihenfolge in der sie bei einem Prognoselauf aufgerufen und ausgeführt werden (Detailbeschreibungen finden sich im Anhang - Kap. 14).

PROGRAMME DES PROGNOSESYSTEMS	
FWEP_W_Ablauf.exe	Rahmen- oder Ablaufprogramm, das den Aufruf der für den operationellen Betrieb der 1h-Prognosen benötigten Programme steuert und u.a. finale Ergebnistabellen und Ergebnisdateien nach Endnutzeranforderungen erstellt
GFS_Download_50	Herunterladen globaler GFS-Prognosedateien mit Auflösung 0.5° und 41 Prognosehorizonten (120 Stunden) vom US-Server (Format: GRIB2)
GFS_Bearbeitung_50	Verarbeitung und Archivierung der mit dem Programm GFS_Download_50 heruntergeladenen GFS-Dateien
Download_BEO	Herunterladen der vom Auftraggeber operationell bereit gestellten Beobachtungsdateien (zeitliche Auflösung: 1 Minute)
Lesen_BEO	Einlesen der historischen operationellen 1Min-BEO-Dateien (Rohdaten) und Einspeisen der neuen Werte in binäre Jahres-Speicher (Direct Access Files DAF)
BEO_Agg_15Min	Aggregation der 1Min-BEO-Werte zu 15Min-BEO-Werten (Berechnung gemittelter 15Min-Werte aus den 1Min-Werten)
BEO_Agg_1h	Aggregation der 15Min-BEO-Werte zu 1h-BEO-Werten (Berechnung gemittelter 1h-Werte aus den 15Min-Werten)
Prognose_PAR	Aufruf des 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose für jeden der zu prognostizierenden Parameter (meteorologische Zielgröße), für den jeweils eigene (zuvor optimierte) Einstellungen verwendet werden. Alle Parameter werden getrennt nacheinander abgearbeitet, FWEP-W_Prognose also mehrmals hintereinander mit einer jeweils neu erstellten Steuerdatei Prognose.steuer aufgerufen
FWEP-W_Prognose	Hauptprogramm des Prognosesystems zur Durchführung von Prognoserechnungen im 1h-Takt für einen vorgegebenen Prediktanden (zu prognostizierende Größe)
CART	Modul des 1h-Prognoseprogramms, das als integraler Bestandteil in Form einer auf Jahresbasis lizenzierten static library CART.lib eingebunden ist. CART dient mit seinem speziellen statistischen Ansatz der finalen Verbesserung der 1h-Prognosen.
Verifikation	Wertet die Prognoseergebnisse des 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose statistisch aus. Dazu werden dessen neueste Prognoseergebnisse eingelesen und anschließend die Verifikation über alle Werte bzw. ab einem in Prognose_all.steuer vorgebbaren Anfangsdatum durchgeführt.
FWEP_W_Ablauf_15Min	Rahmen- oder Ablaufprogramm, das den Aufruf der für den operationellen Betrieb der 15Min-Prognosen benötigten Programme steuert
FWEP-W_Prognose_15Min	Berechnung der 15Min-Prognosen, basierend auf den Ergebnissen der zuvor berechneten 1h-Prognosen sowie den höher aufgelösten 15Min-BEO-Werten
Verifikation_15Min	Wertet die Prognoseergebnisse des 15Min-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose_15Min statistisch aus. Dazu werden dessen neueste Prognoseergebnisse eingelesen und anschließend die Verifikation über alle Werte bzw. ab einem in Prognose_all.steuer vorgebbaren Anfangsdatum durchgeführt.
ANALYSE- UND SONSTIGE PROGRAMME	
Aequi_Par_Ausgabe_50	Analyseprogramm zur Ausgabe der vom Programm GFS_Bearbeitung_50 erstellten GFS-Archive
Lesen_BEO_Archive	Ausgabe der mit den Programmen Lesen_BEO, BEO_Agg_15Min und BEO_Agg_1h erzeugten BEO-Archive mit den 1Min-Originalwerten, aggregierten 15Min- und 1h-Werten
Vergleich_BEO_GFS	Vergleich der 1h-BEO-Zeitreihen am Messpunkt Aachen mit 1h-GFS-Werten verschiedener GFS-Felder, die diesem Standort zugewiesen werden
Vergleich_BEO_BEO	Korrelationsanalysen für die 1h-BEO-Zeitreihen am Messpunkt Aachen
Vergleich_GFS_GFS	Korrelationsanalysen für die 51 verfügbaren GFS-Prognosefelder
Optimierung	Optimierung der verschiedenen Stufen des 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose

4.4 Verzeichnisstruktur

Alle Programme, Input- und Outputdateien sowie Protokoll-, Steuer- und sonstige Dateien sind in einer festen Verzeichnisstruktur verankert. Diese Struktur setzt direkt auf dem Root-Verzeichnis einer beliebigen

gen Windows-Partition auf (damit ist auch der Betrieb von einer externen Festplatte möglich) und darf nachträglich nicht verändert werden. Einen Überblick über den grundsätzlichen Inhalt der einzelnen Verzeichnisse gibt die nachfolgende Tabelle. Alle Verzeichnisse sind in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt. Zusätzliche Informationen zu den Programmen und den In- und Outputdateien sind dem Anhang - Kap. 14 zu entnehmen. Die Liste enthält nur die Verzeichnisse, die ein Endnutzer bei Übernahme des Prognosesystems vorfindet. Viele der Verzeichnisse werden erst dann angelegt, wenn das Prognosesystem zum ersten Mal gestartet wird.

HV	UV1	UV2	Inhalt
Prognosesystem (Verzeichnis LW:\ FWEP-W\Gebäudeautomatisierung\)			
Daten			Alle benötigten Input-Daten
	BEO-Daten	\jjjj\mm\tt\	Am Standort Aachen gemessene und per FTP heruntergeladene Beobachtungsdaten, getrennt nach Datum
	Ergebnisdaten	15MinDaten	Archive der aus den 1Min-Rohdaten ausgelesenen 15-Minuten-Werte: Dateien XXXX_Station.daf, abgespeichert in Jahresverzeichnissen \jjjj\
		1h_Daten	Archive der zu 1h-Werten aggregierten 15Min-Beobachtungsdaten (Dateinamen und Struktur wie zuvor)
		1MinDaten	Archive der 1Min-Rohdaten (Dateinamen und Struktur wie zuvor)
	konstat		Koordinaten-Datei zur Aufbereitung der GFS-Daten
exe			Alle ausführbaren Programme *.exe des Prognosesystems
	Endergebnisse		Alle beim Prognoselauf erstellten Endergebnisse im ASCII- und CSV-Format
	LERNMODUS		Dateien, die vom Prognosesystem im „Lernmodus“ erzeugt werden (abgelegt in den Verzeichnissen \Stunde_hh\XXXX\ für die Stunde hh des Prognoselaufs)
	Prognosen	XXXX	Prognoseergebnisse des letzten 1h-Prognoselaufs für alle Tage der Gesamtperiode: Dateien Taegl_Prog_y_xx.dat, abgespeichert in Unterverzeichnissen für die Prognosegrößen XXXX
	Prognosen_15Min		Prognoseergebnisse des letzten 15Min-Prognoselaufs für alle Tage der Gesamtperiode: Dateien Taegl_Prog_y_xx_zz.dat, abgespeichert in Unterverzeichnissen XXXX
	Protokoll		Protokolldateien Proto-*. * aller Einzelprogramme
	Prozesse		Enthält Datei Log1.txt, die bei der Fehlersuche nützlich ist
	Steuer		Alle Steuerdateien *.steuer zur Programmsteuerung sowie Dateien zum Informationsaustausch zwischen Teilprogrammen
	Verifikation		Ergebnisse der Verifikationsrechnungen für die 1h-Prognose und den vorgegebenen Verifikationszeitraum: Dateien Verifikation_y_xx.dat
	Verifikation_15Min		Ergebnisse der Verifikationsrechnungen für die 15Min-Prognosen und den vorgegebenen Verifikationszeitraum: Dateien Verifikation_y_xx_zz.dat
GFS-Daten (Verzeichnis LW:\ FWEP-W\GFS)			
Daten	Aequifelder_5Tage_50	jjjj	Dateien Aequi_Prog_jjjj_23x23_ii_jj.daf, abgelegt in Jahresverzeichnissen jjjj mit ii=00,06,12,18=Zeitstempel und jj=01..51=GFS-Felder: Auf ein äquidistantes 23x23-Gitter interpolierte GFS-Daten mit 0,5° Auflösung und 120 Prognosestunden
	GFS-Daten_50	\jjjj\mm\tt\	Heruntergeladene GFS-Rohdateien im GRIB2-Format, abgespeichert in einer Verzeichnisstruktur \jjjj\mm\tt\ (164 Dateien täglich)

Legende: HV=Hauptverzeichnis
 UV1=Unterverzeichnis 1. Ordnung
 UV2=Unterverzeichnis 2. Ordnung
 XXXX=GLOB, HELL, TEMP, WIND
 y=Prognosestag, xx=Prognosestunde, zz=Viertelstunde

4.5 Innovative Aspekte

VERWENDUNG MEHRERER DATENQUELLEN

Als Prognosewerte für ausgesuchte meteorologische Parameter wie die Temperatur oder die Windgeschwindigkeit könnte man in einem ersten Ansatz die von verfügbaren Prognosemodellen erzeugten Werte einer Rasterzelle als repräsentativ für einen Standort ansehen. Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen jedoch, dass ein solch einfacher Ansatz die tatsächlich vor Ort gemessenen Werte nur sehr unzureichend wiedergibt. Dies liegt zum einen daran, dass die räumliche Auflösung dieser Modelle die Werte eines lokalen Standortes naturgemäß nur unzureichend widerspiegeln kann und auf die besonderen Besonderheiten wie Geografie, Beschaffenheit der Landoberfläche (Bebauung, Landnutzung, Wälder, Seen usw.) oder Abschattungseffekte nur wenig Rücksicht nimmt. Viel genauer sind da Methoden, die neben den über die zugeordnete Rasterzelle verwendeten Prognosewerten auch vor Ort gemessene meteorologische Parameter mit einbeziehen. Ein solcher Ansatz hat sich in den bisher zum Zweck der Leistungsprognose aus regenerativen Energiequellen (wie z.B. Windenergie) erstellten Prognosesystemen als deutlich zielführender herausgestellt. Die Verwendung beider Datenquellen ist zwar erheblich komplizierter, trägt den besonderen lokalen Eigenschaften aber auch deutlich besser Rechnung.

ANZAHL DER PREDIKTANDEN

Die bisherigen Prognosesysteme erstellten Prognosen für einen von verschiedenen meteorologischen Größen angetriebenen Prediktanden (z.B. die von Windparks erzeugte Leistung), der kein Analogon in den verwendeten Prognosefeldern hatte. Einzige Ausnahme waren direkte Windprognosen für einzelne Windkraftanlagen (WKA), die mit komplexen Methoden anschließend in Leistungen umgerechnet werden mussten. Während bislang immer nur ein Prediktand verwendet wurde, müssen im vorliegenden Projekt deren 4 prognostiziert werden. Einfacher ist dagegen die Beschränkung auf einen Standort (Aachen) gegenüber mehreren Standorten (Regionen oder WKAs) in der Vergangenheit.

4.6 Technische Anforderungen

Die Gesamtgröße des operationellen Prognosesystems hängt stark vom Umfang der bereits angesammelten Prognose- und Beobachtungsdaten ab. Der Umfang steigt mit laufender Betriebszeit, da permanent neue Daten in nicht unerheblicher Menge beschafft, aufbereitet und in das System eingespeist werden. Das Prognosesystem ist auf jedem heute üblichen Windows-Rechner zu betreiben. Um eine effektive, sichere und ausreichend schnelle Performance sicherzustellen, sind folgende Anforderungen an die Hard- und Software zu stellen:

- Aktuelles Windows-Betriebssystem
- RAM $\geq$ 8GB
- Akt. Prozessor (je schneller, desto besser)
- HD $\geq$ 1 TB (für mehrjährige Laufzeit)
- LAN/WLAN-Zugriff mit $\geq$ 16 MBit/s
- Hardware für stabilen Dauerbetrieb

4.7 Installation

Die Installation des Prognosesystems erfolgt durch einfaches Kopieren aller benötigten Programme, Daten und sonstiger Dateien in das Root-Verzeichnis einer beliebigen Windows-Partition (eines beliebigen Laufwerks) des Prognoserechners. Dabei ist darauf zu achten, dass diese Partition genügend Platz bietet, um das System auch längerfristig betreiben zu können. Bei der Erstinstallation sind alle Einstellungen so vorkonfiguriert, dass das Prognosesystem direkt in Betrieb genommen werden kann (sofern die o.g. technischen Voraussetzungen erfüllt sind).

4.8 Laufzeiten

Bei jedem Prognoselauf müssen z.T. erhebliche Datenmengen heruntergeladen und verarbeitet werden. Ein hoher Bearbeitungsaufwand ergibt sich insbesondere dann, wenn neue GFS-Prognosedaten zur Verfügung stehen (alle 6 Stunden um ca. 00:15, 06:15, 12:15 und 18:15) und nicht direkt auf die bereits vorhandenen GFS-Archive zurückgegriffen werden kann. Zu den genannten Zeiten müssen jeweils 41 Dateien mit insgesamt ca. 112 MB vom Server in den USA heruntergeladen, verarbeitet und in die bestehenden Datenarchive eingespeist werden. Die Laufzeiten werden nicht nur durch die Qualität der Internetverbindung und die Schnelligkeit des verfügbaren Rechners beeinflusst, sondern auch durch die Vorgabe, wie weit die Prognosen in die Zukunft reichen sollen. Generell ist für Prognosen für 2 Tage voraus mit Rechenzeiten im Umfang mehrerer Minuten zu rechnen.

4.9 Fehlersuche

Für den Fall, dass beim Betrieb des Prognosesystems Fehler auftreten sollten, unterstützen verschiedene Mechanismen den Endnutzer bei der Lokalisierung des Fehlers. Mögliche Fehlerursachen können u.a. sein:

- Hardware-Probleme (z.B. PC-Ausfall, HD voll, FTP-Zugriff gestört, für die Beobachtungsdaten verfügbarer FTP-Bereich voll etc.)
- Vom Nutzer verursachte Fehler bei Änderung von Einstellungen in den verschiedenen Steuerdateien
- Zeitliche Überschneidung mit anderen Windows-Tasks („Aufgabenplanung“), die den Ablauf der Prognoserechnungen stören oder gar blockieren können.

Die einfachste Art, der Ursache eines Fehlers auf die Spur zu kommen besteht darin, die Protokolldatei des Teilprogramms zu öffnen, das nicht fehlerfrei durchgelaufen ist. Dort finden sich Hinweise darauf, welche Ursachen zum Abbruch der Prognoserechnung geführt haben. Darüber hinaus enthält die Datei \exe\Prozesse\Log..txt den Output des letzten Teilprogramms, das problemlos abgearbeitet wurde. Sollte die Ursache des Fehlers nicht vor Ort lokalisiert werden können, so sollten alle Protokolldateien dem Hersteller zur näheren Diagnose zugestellt werden.

5 Eingangsdaten

Als Eingangsdaten benötigt das Prognosesystem zum einen aktuelle (globale oder regionale) Prognosedaten, zum anderen für das oder die zu prognostizierenden Elemente/Parameter bereit gestellte aktuelle Beobachtungsdaten. Diese Daten werden aus verschiedenen Quellen bezogen und i.d.R. in sehr unterschiedlichen zeitlichen Zyklen bereit gestellt oder aktualisiert.

5.1 Allgemeine Datenanforderungen

Grundsätzlich sollten die benötigten Daten zuverlässig und in möglichst kurzen zeitlichen Intervallen zur Verfügung stehen, da nur mit den aktuellsten Daten auch qualitativ hochwertige Prognosen erstellt werden können. Im Fall der GFS-Prognosedaten wurde zwar eine Methode implementiert, mit der sich Lieferausfälle bis zu 24 Stunden überbrücken lassen, allerdings leidet dann die Prognosegüte unter der Verwendung veralteter Prognosedaten. Deutlich gravierendere Probleme ergeben sich aus einem Ausfall der Beobachtungsdaten, da die daraus entnommenen Persistenzwerte maximal 3 Stunden zurückreichen dürfen.

5.2 Prognosedaten

Für das Projekt werden Prognosedaten des Global Forecasting System (GFS) des National Center for Environmental Prediction (NCEP) in den USA mit 0,5° Auflösung und Werten bis zu 120 Stunden (5 Tage) voraus (41 Prognosehorizonte) verwendet („GFS-Daten“), die für Prognosehorizonte im Abstand von 3 Stunden vorliegen und im Rhythmus von 6 Stunden („Zeitstempel“) aktualisiert werden.

- Dateinamen: gfs.tyyz.pgrb2.0p50.fxxx mit yy = Zeitstempel (00,06,12,18) und xxx = Prognosehorizont (000...120)
- Format: Komprimiertes GRIB2-Format
- Datenumfang: Pro Zeitstempel (41 Dateien) ca. 112 MB, pro Tag (164 Dateien) ca. 450 MB

Die auf dem US-Server in 6h-Abständen (um ca. 00:15, 06:15, 12:15 und 18:15) bereit gestellten Prognosedateien enthalten globale Prognosewerte in einer räumlichen Auflösung von ca. 50x50 km, und zwar für insgesamt mehr als 300 meteorologische Parameter. Da von diesen lediglich 15 für das aktuelle Prognosesystem benötigt werden, erfolgt der Download selektiv unter Verwendung von Perl + Perl-Skript + curl (vgl. dazu Anmerkungen in Kap. 14.1.1). Wegen der großen Datenmengen werden die GFS-Dateien der Vergangenheit lediglich für etwa 14 Tage auf dem US-Server vorgehalten. Da die Prognosedateien für jeden Tag den gleichen Namen tragen, werden sie beim Herunterladen in einer lokalen Verzeichnisstruktur \jjjj\mm\tt\ abgelegt. Pro Bereitstellungstermin („Zeitstempel“) werden insgesamt 41 Dateien heruntergeladen und anschließend verarbeitet. Die Verarbeitung der GRIB2-Rohdaten erfolgt mit den in Kap. 6.1 beschriebenen Programmen. Insbesondere der umfangreiche Verarbeitungsprozess führt zu erheblichen Rechenzeiten.

Es werden GFS-Dateien für die folgenden 15 Primärparameter heruntergeladen und verarbeitet:

01 = GP 1000	- geopotentielle Höhe	1000 hPa
02 = GP 850	- geopotentielle Höhe	850 hPa
03 = GP 700	- geopotentielle Höhe	700 hPa
04 = GP 500	- geopotentielle Höhe	500 hPa
05 = TP 850	- Temperatur	850 hPa
06 = TP 500	- Temperatur	500 hPa
07 = RF 850	- relative Feuchte	850 hPa
08 = RF 500	- relative Feuchte	500 hPa
09 = U Wind	- Windgeschwindigkeit (U-Komponente)	
10 = V Wind	- Windgeschwindigkeit (V-Komponente)	
11 = TP 1000	- Temperatur	1000 hPa
12 = LowCloud	- Bedeckung tiefe Wolken	
13 = MidCloud	- Bedeckung mittlere Wolken	
14 = ShortWave	- Downward Short-Wave Rad. Flux	
15 = LongWave	- Downward Long-Wave Rad. Flux	

Aus den 15 Primärparametern werden im Rahmen des Verarbeitungsprozesses (s. hierzu Kap. 6.1) zahlreiche weitere Sekundärparameter abgeleitet und berechnet, so dass am Ende insgesamt die folgenden 51 Parameter archiviert werden:

01 = GP 1000	- geopotentielle Höhe	1000 hPa
02 = GP 850	- geopotentielle Höhe	850 hPa
03 = GP 700	- geopotentielle Höhe	700 hPa
04 = GP 500	- geopotentielle Höhe	500 hPa
05 = TP 850	- Temperatur	850 hPa
06 = TP 500	- Temperatur	500 hPa
07 = RF 850	- relative Feuchte	850 hPa
08 = RF 500	- relative Feuchte	500 hPa
09 = HD1 850	- horizontale Diff N-S	850 hPa
10 = HD2 850	- horizontale Differenzen O-W	850 hPa

11 =	HD1 500	- horizontale Differenzen N-S	500 hPa
12 =	HD2 500	- horizontale Differenzen O-W	500 hPa
13 =	VOR 1000	- Vorticity	1000 hPa
14 =	VOR 850	- Vorticity	850 hPa
15 =	VOR 700	- Vorticity	700 hPa
16 =	VOR 500	- Vorticity	500 hPa
17 =	RT 850_10	- Schichtdicke	850/1000 hPa
18 =	RT 700_10	- Schichtdicke	700/1000 hPa
19 =	RT 500_10	- Schichtdicke	500/1000 hPa
20 =	TD 850-50	- Temperaturdifferenz	850/500 hPa
21 =	SIE	- Stabilitätsindex (Enke)	
22 =	SIS	- Stabilitätsindex (Showalter)	
23 =	TW1 850_1	- Thermischer Wind (U-Komponente)	850/1000 hPa
24 =	TW2 850_1	- Thermischer Wind (V-Komponente)	850/1000 hPa
25 =	TW3 850_1	- Drehung des thermischen Windes	850/1000 hPa
26 =	TW1 700_8	- Thermischer Wind (U-Komponente)	700/850 hPa
27 =	TW2 700_8	- Thermischer Wind (V-Komponente)	700/850 hPa
28 =	TW3 700_8	- Drehung des thermischen Windes	700/850 hPa
29 =	TW1 500_7	- Thermischer Wind (U-Komponente)	500/700 hPa
30 =	TW2 500_7	- Thermischer Wind (V-Komponente)	500/700 hPa
31 =	TW3 500_7	- Drehung des thermischen Windes	500/700 hPa
32 =	FNW	- Frontneigungswinkel (Margules und Stueve)	
33 =	AT 850	- Advektion der Temperatur	850 hPa
34 =	AF 850	- Advektion der absoluten Feuchte	850 hPa
35 =	GradP 100	- Gradient des Geopotentials	1000 hPa
36 =	GradP 850	- Gradient des Geopotentials	850 hPa
37 =	GradP 700	- Gradient des Geopotentials	700 hPa
38 =	GradP 500	- Gradient des Geopotentials	500 hPa
39 =	GradT 850	- Gradient der Temperatur	850 hPa
40 =	GradT 500	- Gradient der Temperatur	500 hPa
41 =	GradF 850	- Gradient der relativen Feuchte	850 hPa
42 =	GradF 500	- Gradient der relativen Feuchte	500 hPa
43 =	PT 850	- Pseudopotentielle Temperatur	850 hPa
44 =	U Wind	- zonale Komponente des Windes	10m üGr
45 =	V Wind	- meridional Komponente des Windes	10m üGr
46 =	TP 1000	- Temperatur	1000 hPa
47 =	LowCloud	- Bedeckung tiefe Wolken	
48 =	MidCloud	- Bedeckung mittlere Wolken	
49 =	Wind	- Windgeschwindigkeit - intern aus 44 und 45 berechnet	
50 =	ShortWave	- Downward Short-Wave Rad. Flux	
51 =	LongWave	- Downward Long-Wave Rad. Flux	

Anmerkung: Die gewählten GFS-Daten erlauben Prognosen für insgesamt 5 Tage in die Zukunft. Zwar könnten prinzipiell auch Daten mit einem Prognosehorizont von 240 Stunden (10 Tagen) verwendet werden, was angesichts der zunehmenden Ungenauigkeit von Prognosedaten allerdings wenig sinnvoll erscheint. Der Einsatz der GFS-Daten zur Gebäudesteuerung legt keine Prognosen nahe, die weit über den Folgetag hinausgehen sollten.

5.3 Beobachtungsdaten

Am Produktionsstandort Aachen werden seit Ende September 2017 mit einer Messapparatur auf dem Dach kontinuierlich folgende meteorologische Daten erfasst: Globalstrahlung GLOB, Helligkeit HELL, Temperatur TEMP und Windgeschwindigkeit WIND. Daneben werden verschiedene Parameter auch direkt in der Produktionshalle gemessen, die als Steuergrößen für das zu entwickelnde Regelsystem genutzt werden. Die in der Halle gemessenen Daten sind für die von CEC durchgeführten Prognoserechnungen allerdings uninteressant, da die GFS-Prognosedaten lediglich in einen Zusammenhang mit den außerhalb der Betriebshalle gemessenen meteorologischen Daten gebracht werden können. Die Messungen der o.g. 4 Parameter erfolgen kontinuierlich im 1 Minuten-Takt (zu Beginn der Messperiode allerdings z.T. sehr unregelmäßig und lückenhaft). Da die Beobachtungsdaten in einer für Prognosezwecke zu hohen zeitlichen Auflösung vorliegen, müssen sie zu gemittelten Werten von 15 Minuten und 1 Stunde aggregiert werden. Details dazu finden sich in Kap. 6.2.

5.3.1 Historische Beobachtungsdaten

Bis zum Sommer 2018 lagen die benötigten Beobachtungsdaten nicht operationell vor, sondern wurden in unregelmäßigen Abständen von einem Monat oder mehr um neue Messwerte ergänzt. Die entsprechenden Dateien mit diesen (im Folgenden „historisch“ genannten) Daten mussten händisch von einer Internetplattform (Content Server der Fraunhofer Gesellschaft) heruntergeladen werden. Dort wurden jeweils 9 Dateien im Packformat TAR mit den vor Ort im 1 Minuten-Takt gemessenen meteorologischen Größen bereit gestellt:

- Datenarchiv_ID1=Temperatur Halle
- Datenarchiv_ID2=Luftfeuchte Halle
- Datenarchiv_ID3=Taupunkt Halle
- Datenarchiv_ID4=Helligkeit Halle
- Datenarchiv_ID5=Luftgüte (Sensoren noch immer nicht angeschlossen)
- Datenarchiv_ID6=Umgebungstemperatur Station
- Datenarchiv_ID7=Globalstrahlung Station

Datenarchiv_ID8=Windstärke Station
 Datenarchiv_ID9=Helligkeit Station

Heruntergeladen und weiterverwendet wurden lediglich die Dateien 6 bis 9 mit den am Messmast gemessenen Daten, die zu unterschiedlichen Zeiten beginnen: GLOB - ab 27.09.2017, HELL - ab 11.10.2017, TEMP - ab 27.09.2017, WIND - ab 27.09.2017.

Die Dateien besitzen ein CSV-ähnliches Format und enthalten pro Zeile jeweils 4 Einträge (der letzte Eintrag ist der Messwert). Das Format der Messwerte ist variabel und nicht fest. Nachfolgend ist ein Ausschnitt aus der Datei Datenarchiv_ID8.csv mit den Werten für den Parameter TEMP wiedergegeben (Stand:12.07.2018).

```
Datum,Uhrzeit,Millisekunden,Wert
27.09.2017,14:15:57,209191,"1"
27.09.2017,14:17:27,66241,"0.5"
27.09.2017,14:18:27,958880,"1.5"
27.09.2017,14:19:47,263271,"1.8"
27.09.2017,14:20:50,213716,"2"
27.09.2017,14:24:18,378869,"1.5"
27.09.2017,14:25:34,699286,"1.7"
...
12.07.2018,09:46:04,291136,"1.8"
12.07.2018,09:47:04,271570,"3.2"
12.07.2018,09:49:04,104501,"1.5"
12.07.2018,09:50:04,225887,"1"
12.07.2018,09:51:04,473736,"2.1"
12.07.2018,09:52:04,318500,"2"
```

5.3.2 Operationelle Beobachtungsdaten

Um aktuelle Prognosen an den Auftraggeber zurückzuliefern, werden jeweils die aktuellsten in Aachen gemessenen Beobachtungswerte benötigt. Noch vor Beginn der operationellen Lieferung der Daten wurde in Vorbereitung auf die operationelle Bereitstellung der Daten ein passwort-geschützter FTP-Zugang auf dem FTP-Server der Fa. CEC eingerichtet mit eigenen Verzeichnissen für den Input (Rohdaten aus Aachen) und den Output (Prognoseergebnisse für Aachen). Da lange unklar war, in welcher Form diese Daten bereit gestellt werden (eine gemeinsame Datei für alle 4 Parameter oder Einzeldateien für jeden Parameter, Format, Inhalt, jeweils nur Werte für die letzten Tage oder Wochen etc.) konnte das für den Download der Dateien verwendete Programm Download_BEO (s. Kap. 6.2 und 14.2.1) zunächst nur in seiner grundlegenden Ausgestaltung erstellt und mit Testdateien erprobt werden.

Für die Bereitstellung der Daten und die Benennung der Dateien wurden dem Datengeber folgende Vorschläge gemacht:

- Lieferung der Parameterwerte GLOB, HELL, TEMP und WIND in separaten Einzeldateien (wie im Fall der historischen Daten), um größere Änderungen am Einleseprogramm Lesen_BEO (s. Kap. 14.2.2) zu vermeiden
- Auskopplung der Dateien zu festen Zeiten pro Stunde hh, also z.B. um hh:00, hh:15, hh:30 und hh:45
- Versehen des Dateinamens mit einem Datum- und Zeit-Stempel, um eine eindeutige Verarbeitung und Sicherung der jeden Tag einlaufenden Daten sicherzustellen
- Die Dateien mit den 1 Min-Werten sollten nicht (wie im Fall der historischen Daten) alle Werte seit Messbeginn enthalten, sondern lediglich Werte für den aktuellen Tag oder die letzten 3 bis 7 Tage. Dies verhindert den Download und die erneute Verarbeitung von stetig umfangreicher werdenden Inputdateien und stellt darüber hinaus sicher, dass im Falle eines Übertragungsfehlers oder Systemausfalls fehlende Daten nachträglich in die Daten-Archive eingearbeitet werden können.

6 Datenaufbereitung

Bei jedem operationellen Lauf des Prognosesystems werden neu vorliegende GFS-Prognosedateien sowie die von Aachen bereit gestellten aktuellen Beobachtungsdateien heruntergeladen und verarbeitet. Für beide Prozessschritte wurden Programme erstellt, die im Anhang (Kap. 14.1 bzw. 14.2) detaillierter beschrieben sind. Im vorliegenden Kapitel sollen lediglich die wesentlichen Funktionen dieser Programme erläutert werden.

6.1 Beschaffung und Aufbereitung der Prognosedaten

Wie in Kap. 5.2 beschrieben, werden für das Projekt global bereit gestellte GFS-Daten mit 0,5° Auflösung und einem maximalen Prognosehorizont von 5 Tagen verwendet. Nachfolgend werden die für den Download, die Verarbeitung und die Archivierung dieser Daten erstellten Programme kurz vorgestellt.

DOWNLOAD

Das Herunterladen der GFS-Dateien vom FTP-Server in den USA erfolgt mit dem Programm **GFS_Download_50**. Dieses Programm verwendet weitere Open Source-Programme und Methoden, mit deren Hilfe nur die tatsächlich benötigten Parameter|Felder (und nicht die mehr als 300 Feldgrößen enthaltenen Originaldateien) heruntergeladen werden. Dies führt zu einer enormen Beschleunigung des Download-Prozesses und stellt sicher, dass die Zeit für den Bezug und die Verarbeitung neuer GFS-Daten in einem zeitlich akzeptablen Rahmen bleibt.

Das Programm wird über die Steuerdatei `GFS_Download_50.steuer` gesteuert, in der folgende Einstellungen enthalten sind: Anzahl der Tage für die Daten verarbeitet werden sollen (i.d.R. aktueller Tag und Vortag) sowie Charakteristika und Zugriffskennungen des FTP-Servers in den USA. Vom Programm angelegt wird die Datei `Steuer_50.dat`, die Anfangs- und Enddatum des Downloads für das Nachfolgeprogramm `GFS_Bearbeitung_50` enthält. Ebenso erstellt das Programm eine Schnittstelle zum nachfolgenden Verarbeitungsprogramm mit der Information, ob neue GFS-Daten heruntergeladen wurden oder nicht (Datei `GFS_neu_50.txt`). Falls nicht, werden alle Schritte der Datenverarbeitung übersprungen.

VERARBEITUNG & ARCHIVIERUNG

Die Verarbeitung der heruntergeladenen GFS-Dateien (hochkomprimiertes Grib2-Format) erfolgt mit dem Programm **GFS_Bearbeitung_50** für den in der Datei `Steuer_50.dat` übermittelten Zeitbereich. Das Programm liest die globalen Werte für insgesamt 15 Primärparameter aus den GFS-Rohdateien (s. Kap. 5.2), schneidet einen hinreichend großen Ausschnitt aus dem globalen Datensatz (41x31-Gitter) und projiziert die darin enthaltenen Gitterwerte auf ein äquidistantes 23x23-Gitter. Aus den 15 Primärparametern werden anschließend zahlreiche weitere Sekundärparameter berechnet und am Ende die Werte für insgesamt 51 Parameter in speziellen Dateien (DAF=Direct Access File) archiviert. Diese Dateien garantieren einen schnellen Zugriff auf die Parameterwerte und werden im Laufe eines Jahres sukzessive mit Werten gefüllt. Eine Verarbeitung und Archivierung von Daten erfolgt nur dann, wenn das vorhergehende Programm über die Schnittstelle `GFS_neu_50.txt` ein Ja übermittelt hat.

6.2 Beschaffung und Aufbereitung der Beobachtungsdaten

Um die vom Auftraggeber bereit gestellten Dateien mit den vor Ort gemessenen Parametern herunterzuladen und zu bearbeiten, werden im operationellen Betrieb insgesamt 4 Programme benötigt, deren grundlegende Funktionsweise nachfolgend beschrieben wird. Details zu diesen Programmen finden sich wiederum im Anhang der Langversion (Kap. 14.2).

DOWNLOAD

Das Herunterladen der vom Auftraggeber operationell bereit gestellten 1Min-Beobachtungsdateien erfolgt per FTP mit dem Programm **Download_BEO**. Auf dem FTP-Server des CEC wurde für den Datenaustausch mit dem Datengeber ein gesonderter, passwortgeschützter Bereich angelegt, auf dem dieser die Dateien mit den gemessenen 1Min-Rohdaten in regelmäßigen Abständen bereitstellt. `Download_BEO` wird über die FTP-Steuerdatei `Beob_Download_CEC.steuer` gesteuert, welche die für den FTP-Zugriff notwendigen Informationen sowie Steuerparameter enthält, mit denen temporär lokal erzeugte Dateien gelöscht sowie die Dateien auf dem FTP-Server verwaltet werden können. Außerdem enthält diese Steuerdatei die Anzahl an Tagen, für welche Dateien heruntergeladen werden sollen (i.d.R. nur für den aktuellen Tag und den Vortag). `Download_BEO` überprüft das FTP-Verzeichnis auf dem FTP-Server bei jedem Prognoselauf auf neu eingetroffene Dateien und lädt sie - nach Tagen getrennt - in eine lokale Verzeichnisstruktur `\jjjj\mm\tt\` herunter.

VERARBEITUNG & ARCHIVIERUNG

Das Einlesen und die Verarbeitung der gelieferten Dateien mit den 1Min-Messdaten (s. Kap. 5.3.1) erfolgt mit dem Programm **Lesen_BEO**. Da am Messort keine Kontrolle oder Korrektur der Messdaten erfolgt, kommt der Überprüfung und Korrektur der gemessenen Momentanwerte im Rahmen des Einlese- und Archivierungsprozesses eine hohe Bedeutung zu. Alle Werte müssen auf Fehler überprüft und ggf. korrigiert, sonstige Defizite mit geeigneten Methoden behoben werden. So werden möglicherweise auftretende negative Werte für die Parameter 1=Globalstrahlung (GLOB), 2=Helligkeit (HELL) und 4=Windstärke (WIND) beim Einlesen auf NULL gesetzt (beim Parameter 3=Temperatur – TEMP sind negative Werte natürlich zulässig) und die insbesondere zu Lieferbeginn auftretenden erheblichen Datenlücken als Fehlwerte -999.0 gekennzeichnet. Diese Datenlücken sind im Fall der Windgeschwindigkeit besonders gravierend, da alle Werte für die Periode 13.12.2017 14:51 bis 31.01.2018 23:59 (also u.a. für den gesamten Januar 2018) fehlen. Insbesondere zum Beginn der Datenlieferung (bis zum November 2017) sind auch die in den Dateien abgelegten Termine (Uhrzeiten) mehr oder weniger unregelmäßig und werden deshalb durch Auf- oder Abrunden auf einen festen Minutentakt gelegt. Die Werte für den Parameter HELL sind extrem hoch und überschreiten z.T. 100.000. Um eine technisch störungsfreie Verarbeitung dieses Parameters sicher zu stellen, werden dessen Werte deshalb um den Faktor 1000 verkleinert.

Das Programm Lesen_BEO enthält auch einige statistische Analysemethoden. So kann das Minimum und das Maximum der eingelesenen Werte ausgegeben werden, genauso wie die Anzahl an Fehlwerten, kompletten Fehltagen und vollständig belegten Tagen. Am Ende des Verarbeitungsprozesses werden die fehlerbereinigten 1Min-Werte in binären Jahres-Speichern XXXX_Station.daf mit XXXX=GLOB, HELL, TEMP und WIND archiviert.

AGGREGIERUNG ZU 15-MINUTEN-WERTEN

Da das 1h-Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose (s. Kap. 14.4.3) 1h-Beobachtungswerte, das nachgeschaltete 15Min-Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose_15Min (s. Kap. 14.5.2) 15Min-Beobachtungswerte erwartet, müssen die zuvor archivierten 1Min-Werte in einer zweiten und dritten Stufe der Datenaufbereitung zeitlich zu diesen Werten aggregiert (gemittelt) werden. Die Aggregation zu 15Min-Werten erfolgt mit dem Programm **BEO_Agg_15Min**. Die Aggregation kann nach zwei unterschiedlichen Methoden erfolgen, wobei sich die Mittelung aus 15 1Min-Werten um den 15Min-Termin als sinnvoller erwiesen hat. Zur Mittelung werden die zuvor erstellten 1Min-Archive XXXX_Station.daf eingelesen und die berechneten 15Min-Werte anschließend in 15Min-Archive gleichen Namens (aber in einem anderen Verzeichnis) abgelegt. Da es im Fall größerer Datenlücken in den 1Min-Archiven vorkommen kann, dass für die Mittelwertbildung nicht alle 15 1Min-Werte zur Verfügung stehen, enthält das Programm die Möglichkeit, solche ungünstigen Datensituationen auszuweisen, indem überprüft wird, wie viele 1Min-Termine zu jedem 15Min-Termin beitragen.

AGGREGIERUNG ZU 1-STUNDEN-WERTEN

Die anschließende Aggregation der 15Min-Werten zu 1h-Werten erfolgt mit dem Programm **BEO_Agg_1h**. Auch hier stehen wieder zwei unterschiedliche Mittelungsverfahren zur Verfügung, wobei sich die Mittelung über jeweils fünf 15-Min-Werte um die volle Stunde als sinnvoller erwiesen hat. Auch dieses Programm enthält die Möglichkeit festzustellen, wie viele 15Min-Werte tatsächlich für die Aggregation zu 1h-Werten verwendet werden.

6.3 Analyseprogramme

Um die für die GFS- und BEO-Daten erzeugten Archive direkt auslesen und statistisch auswerten zu können, wurden zwei weitere Programme erstellt, die sich insbesondere bei der Überprüfung der Vollständigkeit der Archive (Fehlstellen etc.) sowie in Zusammenhang mit der Entwicklung der Prognoseprogramme (Überprüfung eingelesener Werte) bewährt haben.

ANALYSE DER GFS-ARCHIVE

Mit dem Analyseprogramm **Aequi_Par_Ausgabe_50** können die vom Programm GFS_Bearbeitung_50 erstellten GFS-Archive mit Auflösung 0.5° und Prognosehorizonten bis 120h ausgegeben und analysiert werden. Dabei können die auszugebenden Parameter (eines oder mehrere der insgesamt 51 Prognosefelder), das oder die Jahre, die Zeitstempel (1..4), die Prognosehorizonte (1..41) und ein Gitterpunkt aus dem 23x23 Raster vorgegeben werden. Die Feldwerte selbst können im ASCII- oder CSV-Format ausgegeben werden. Daneben ist die Ausgabe statistischer Kennwerte (wie oft ist ein Parameter im Jahr belegt?) möglich.

ANALYSE DER BEO-ARCHIVE

Mit dem Analyseprogramm **Lesen_BEO_Archive** können die von den Programmen Lesen_BEO, BEO_Agg_15Min und BEO_Agg_1h erzeugten BEO-Archive mit den 1Min-Originalwerten, aggregierten 15Min- und 1h-Werten ausgegeben und analysiert werden. Dazu werden die entsprechenden Archive XXXX_Station.daf eingelesen. Die Ausgabe der Werte kann im Format ASCII oder CSV erfolgen. Im Rahmen der statistischen Analysen sind folgende Auswertungen möglich: (1) Ausgabe von Minimum und Maximum aller eingelesenen Werte, (2) Überprüfung von Globalstrahlung, Helligkeit und Windstärke auf negative Werte, (3) Ausgabe der Anzahl kompletter Fehltag und vollständig belegter Tage, (4) Überprüfung der Archive auf unwahrscheinliche bzw. unmögliche Extremwerte und (5) Untersuchung von Sprüngen in den 1Min-Daten (Rohdaten): Wie viele Werte unterscheiden sich um wie viel vom vorherigen Wert (Hintergrund: Wie zuverlässig sind die Rohdaten, treten innerhalb einer Minute nicht verständliche Sprünge auf)?

7 Funktionalitäten des Prognosesystems

Der generelle Aufbau des Prognosesystems wurde bereits im Diagramm von Kap. 4.2 erläutert. Die bisher beschriebenen Teile dieses Systems befassten sich mit der Aufbereitung und Bereitstellung der benötigten Prognose- und Beobachtungsdaten. Nachfolgend sollen nun alle Programme und deren Zusammenwirken beschrieben werden, die Teil des eigentlichen Prognoseteils des Gesamtsystems sind. Dazu gehören auch diverse Steuer- und sonstigen Dateien, welche die Kommunikation verschiedener Programme untereinander ermöglichen.

7.1 Steuerdateien

Die nachfolgend beschriebenen Steuerdateien (alle im Verzeichnis \exe\Steuer\) werden z.T. von allen Programmen des Prognosesystems verwendet, z.T. nur von einzelnen Programmen. Sie ermöglichen die Steuerung aller Programmen in der vom Nutzer gewünschten Weise.

7.1.1 Steuerdatei FWEP_W_Ablauf.steuer

Die Steuerdatei FWEP_W_Ablauf.steuer steuert den Ablauf der 1h-Prognose, indem alle dafür benötigten Programme nacheinander abgearbeitet werden. Die Steuerdatei gliedert sich in drei Blöcke, und zwar einen zur Beschaffung, Bearbeitung und Archivierung der GFS-Daten, einen zweiten zur Beschaffung, Bearbeitung und Archivierung der Beobachtungsdaten sowie einen dritten zur Durchführung der eigentlichen Prognoseberechnungen und deren statistischer Auswertung. Zunächst werden die zur Verarbeitung der GFS-Daten benötigten Programme aufgerufen (BLOCK 1), danach die zur Verarbeitung der BEO-Daten benötigten Programme (BLOCK 2). Erst danach erfolgt der Aufruf des eigentlichen 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose (für jeden der 4 Prognoseparameter getrennt über das Programm Prognose_PAR) sowie des Verifikationsprogramms Verifikation (BLOCK 3).

```
# Ablauf-Steuerdatei - Projekt Gebaeudeautomatisierung (1h-Prognose)
#
# Diese Datei steuert den Ablauf von FWEP_W_Ablauf.exe
# Änderungen sollten mit Vorsicht durchgeführt werden!
# Das Zeichen # kennzeichnet Kommentarzeilen
# Das Zeichen E kennzeichnet das Ausführen eines Programms
# Das jeweilige Zeichen muss an Position 1 der Zeile stehen.
#
# Der Eintrag nach dem zweiten & ist ein Kommentar der beim Aufruf ausgegeben wird
# Jede mit E gekennzeichnete Zeile wird mit dem Zeichen "$" beendet
#
# BLOCK 1: GFS-Daten -----
E GFS_Download_50.exe & x & Starte GFS-Download mit GFS_Download_50... $
E GFS_Bearbeitung_50.exe & x & Starte GFS-Bearbeitung mit GFS_Bearbeitung_50... $
#
# BLOCK 2: BEO-Daten -----
E Download_BEO.exe & x & Starte Daten-Download mit Download_BEO... $
E Lesen_BEO.exe & x & Starte Daten-Lesen 1Min-Daten mit Lesen_BEO... $
E BEO_Agg_15Min.exe & x & Starte 15Min-Aggregation mit BEO_Agg_15Min... $
E BEO_Agg_1h.exe & x & Starte 1h-Aggregation mit BEO_Agg_1h... $
#
# BLOCK 3: 1h-Prognose -----
E Prognose_PAR.exe & x & Starte 1h-Prognose mit Prognose_PAR... $
E Verifikation.exe & x & Starte Verifikation mit Verifikation... $
```

HINWEIS: Die dargestellte Version der Steuerdatei gilt für die Durchführung operationeller Prognoseläufe. Sollen lediglich Prognosen im „simulierten Rechenmodus“ (SRM, siehe hierzu Kap. 8.2) durchgeführt werden, so sind alle (dann nicht benötigten) Programme in BLOCK 1 und BLOCK 2 mit einem # auszukommentieren.

7.1.2 Steuerdatei FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer

Die Steuerdatei FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer steuert den Ablauf der 15Min-Prognose. Dazu können zunächst die zur Beschaffung, Verarbeitung und Archivierung der BEO-Daten benötigten Programme (BLOCK 4) erneut aufgerufen werden. Dies ist dann sinnvoll, wenn die 1h-Prognose soviel Zeit benötigt, dass in der Zwischenzeit ggf. neue BEO-Daten vorliegen. Anschließend erfolgt der Aufruf des eigentlichen 15Min-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose_15Min und des Verifikationsprogramms Verifikation_15Min (BLOCK 5).

```
# Ablauf-Steuerdatei - Projekt Gebaeudeautomatisierung (15Min-Prognose)
#
# Diese Datei steuert den Ablauf von FWEP_W_Ablauf_15Min.exe
# Änderungen sollten mit Vorsicht durchgeführt werden!
# Das Zeichen # kennzeichnet Kommentarzeilen
# Das Zeichen E kennzeichnet das Ausführen eines Programms
# Das jeweilige Zeichen muss an Position 1 der Zeile stehen
#
# Der Eintrag nach dem zweiten & ist ein Kommentar der beim Aufruf ausgegeben wird
# Jede mit E gekennzeichnete Zeile wird mit dem Zeichen "$" beendet
#
# BLOCK 4: BEO-Daten -----
E Download_BEO.exe & x & Starte Daten-Download mit Download_BEO... $
E Lesen_BEO.exe & x & Starte Daten-Lesen 1Min-Daten mit Lesen_BEO... $
E BEO_Agg_15Min.exe & x & Starte 15Min-Aggregation mit BEO_Agg_15Min... $
E BEO_Agg_1h.exe & x & Starte 1h-Aggregation mit BEO_Agg_1h... $
#
# BLOCK 5: 15Min-Prognose -----
E FWEP-W_Prognose_15Min.exe & x & Starte Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose_15Min... $
E Verifikation_15Min.exe & x & Starte Verifikationsprogramm Verifikation_15Min... $
```

HINWEIS: Im „simulierten Rechenmodus“ sind wiederum alle nicht benötigten Programme in BLOCK 4 mit einem # auszukommentieren.

7.1.3 Steuerdatei Prognose_all.steuer

Einträge in der Steuerdatei Prognose_all.steuer werden von allen Programmen des Prognosesystems eingelesen. Über die dortigen Einträge kann festgelegt werden, in welcher Form das Gesamtsystem und einzelne Programme arbeiten sollen. So lassen sich besondere Funktionen ein- oder ausschalten (z.B. für die Ergebnisausgabe). Informationen zur Bedeutung der einzelnen Optionen sind als Kommentare direkt in der Steuerdatei zu finden.

Auch hier werden alle mit # beginnenden Zeilen als Kommentarzeilen interpretiert und überlesen. Zeilen, aus denen Werte eingelesen werden, beginnen mit einem Steuerwort bestehend aus 3 Zeichen. Jedes Steuerwort darf nur einmal vorkommen. Dies schließt auch die im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer ein. Dem Steuerwort folgt ein Leerzeichen sowie der oder die einzulesenden Parameter. Kommentare in den Zeilen selbst beginnen mit einem Ausrufezeichen. In den Kommentaren enthalten sind auch Angaben zur Variablenbenennung und zum Format des/der einzutragenden Parameter. Die Reihenfolge der Zeilen in der Steuerdatei ist beliebig, bestimmte Zeilen (FEST) dürfen nicht verändert oder auskommentiert werden.

Beispiel: Über die Steuerworte APR und APZ (Block Allgemeine Prognoseparameter) kann eine simulierte Rechenumgebung (Simulierter Rechenmodus – SRM) vorgegeben werden, mit der Prognosen für einen simulierten Rechentag und eine simulierte Rechenzeit (also nicht operationell) durchgeführt werden können. Dies ist z.B. bei der Programmentwicklung sinnvoll, kann aber auch dazu genutzt werden, Prognosen für einen bestimmten Termin nachzurechnen.

HINWEIS: Grundsätzlich sollten alle Änderungen in dieser (und allen anderen) Steuerdateien mit größter Vorsicht vorgenommen werden, da z.B. Formatierungsfehler dazu führen können, dass das Prognosesystem nicht mehr richtig funktioniert.

```
#STEUERDATEI für Projekt Gebaeudeautomatisierung
#
# - Alle Zeilen mit # am Anfang werden als Kommentarzeilen interpretiert und überlesen (max. Zeilenlänge: 150)
# - Zeilen, aus denen Werte eingelesen werden, beginnen mit einem Steuerwort bestehend aus 3 Zeichen
# - ACHTUNG: Jedes Steuerwort darf nur einmal vorkommen (in dieser Steuerdatei inkl. den Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer)
# - Diesem folgt ein Leerzeichen sowie der oder die einzulesenden Parameter
# - Kommentare in den Zeilen beginnen mit einem !
# - Darin enthalten auch Angaben zur Variablenbenennung und zum Format des/der einzutragenden Parameter
# - Die Reihenfolge der Zeilen ist beliebig
# - HINWEIS: Alle mit *FEST deklarierten Zeilen dürfen nicht verändert oder auskommentiert werden!

#PROJEKTEIGENSCHAFTEN -----
WPN Gebaeudeautomatisierung !Name des Projekts (Windpark) [max. A30]
ATG CEC !Name Auftraggeber (Auftraggeber) [max. A26]
WPA 04 !Gesamtzahl zu prognostizierender Parameter (anzPAR) [I2]
EPA 04 !Zu bearbeitender Parameter (parA) [I2]
NAP GLOB,HELL,TEMP,WIND !Namen der zu prognostizierenden Parameter (PredName) [A4]
ZBP 1,1,1,1 !Aktivierte Parameter (parnot) [I1]

#LERNMODUS & OPER MODUS -----
LER j !LERNMODUS LM (j) oder OPER MODUS OM (n)? (LERN) [A1] [j oder n]
PEA n !Autom. Aktivierung LERNMODUS LM in vorgegebenen Zeitabständen? (LMakt) [A1] [j oder n]
PES 07 !Periode (Tage) ab der LERNMODUS LM aktiviert werden soll (LMperiode) [I2]

#Beschaffung & Bereitstellung GFS-Daten -----
APH 41 !Anzahl GFS-Prognosehorizonte, die heruntergeladen & verarbeitet werden (GFS-Daten für 5 Tage = 120h) (progdim) *FEST [I2]
CHK j !Prüfung ob GFS-Dateien des Zeitstempels überhaupt bearbeitet werden müssen (CheckArchiv) [A1] [j oder n] (default=j)

#ALLGEMEINE PROGNOSEPARAMETER -----
APS 064 !Anzahl Prognosestermine(-stunden, die vorwärts gerechnet werden soll (progVor) [I3]
LLZ 233 !Länge Lernzeitraum in Tagen (ldim) (hierüber wird Anfang Lernzeitraum autom. festgelegt) [I3]
#ALZ 16.11.2017 !Anfang Lernzeitraum (AlzrDatum) (Lernzeitraum dynamisch) [I2.I2.I4]
APR 07.07.2018 !Simulierter Rechentag (im oper. Fall auskommentieren) (sim_RT) [I2.I2.I4]
APZ 07:30 !Simulierte Rechenzeit (im oper. Fall auskommentieren) (sim_RZ) [I2.I2]
SIM n !BEO-Werte bei sim. Rechenumgebung nach dem Rechenzeitpunkt auf Rnil setzen? (SimUmgeb) [A1] [j oder n] (default=j)

#1h- und 15Min-Prognose -----
ASR n !ASYMMETRISCHE RASTERUNG in der 1h-Prognose? (RASTER) [A1]
KOB n !Korrektur zu hoher/falscher BEO-Werte? (KorrBEO) [A1] [j oder n] (default=n)
SOW j !Berücksichtigung Sommer-/Winterzeit in GFS-Daten? (SOWI) [A1] (default=j)
KOR j !KORREKTUR der finalen 1h-Prognosen (KorrPROG)? [A1] [j oder n] (default=j)
VER n !Ausgabe interne Verifikation Prognoseprogramme (Verifikation) [A1] [j oder n] (default=n)

#15Min-Prognose -----
VP1 j !15Min-Prognose direkt nach 1h-Prognose ausführen? (Prog_15Min) [A1] [j oder n] (default=j)
PUF 00 !Verzögerung mit der die BEO-Dateien auf dem Server vorliegen (in Min) (puffer) [I2]
AMR 06 !Anzahl Prediktoren, die in der Multiplen Regression MR verwendet werden (ndim) [I2]
OFF 1,1,1,1,0,1 !Abschalten Prediktoren der MR (Abschalt) BEO PERS1 PERS2 PERS3 Pers1(1h-interpol) Prog(1h-interpol) [z.B. 1,1,0,1,0,0]

#UPLOAD & TRANSFER-----
UP1 n !Hochladen|Transferieren Endergebnisse 1h-Prognose auf FTP-Server (Up_Load1)? [A1] [j oder n]
UP2 n !Hochladen|Transferieren Endergebnisse 15Min-Prognose auf FTP-Server (Up_Load2)? [A1] [j oder n]
LOC n !Hochladen|Transferieren: j=per LOKALEM Transfer (Kopieren) oder n=per FTP-Transfer? (LOCAL) [A1] [j oder n]
#FTP CEC !FTP-Transfer von welchem FTP-Server? (FTP) [CEC oder PE2]
```

```
HTC 00-24 !Anfang-Ende Zeitbereich, in dem die CSV-Datei lokal hochgeladen|transferiert werden soll (StundeA-StundeE) [I2-I2]
#ZIV D:\FTP\Kunden\50HZT_DA\output\          !Zielverzeichnis für die CSV-Datei bei lokalem Upload (ZielVerzeichnis) (max. A40)
SDM n          !Verschicken der Endergebnisse per email (send)? [A1] [j oder n] (default=n)

#AUSGABE -----
LVD j          !Infos zu den letzten verfügbaren Daten in Ablaufprogrammen ausgeben (lastdate)? [A1] [j oder n]
DET j          !Darstellung Endergebnistabellen über Windows-Editor (darErg)? [A1] [j oder n]
EAP j          !Erweiterte Ausgabe Protokolldateien? (erwAusgabe) (genutzt in allen Programmen DATENAUFBEREITUNG) [A1] [j oder n]

#VERIFIKATION -----
#VDA 01.01.2016 !Beginn Verifikationzeitraum (verDatumA) (auskommentiert -> identisch zu Anfang Lernzeitraum) [I2.I2.I4]
#VDE 15.05.2017 !Ende Verifikationzeitraum (verDatumE) (auskommentiert -> identisch zu Ende Lernzeitraum) [I2.I2.I4]
SGE j          !Ausgabe stat. Größe für einzelne Horizonte? (hori_einzel) [A1] [j oder n]
STG 3          !Statistische Größe, die ausgegeben werden soll: 1=mittl. Fehler, 2=mittl. abs. Fehler, 3=RMSE, 4=RVpers (ME) [I1]
AQR n          !Ausgabe quadr. gemittelte statistische Größe in CSV-Datei? (CSV) [A1] [j oder n] (default=n)

#ANALYSEN -----
ABP j          !Ablaufprogramme: Ausgabe BEO- und PROG-Werte im CSV-Format? (CSV) [A1] [j oder n] (default=n)
FAF n          !1h-Prognoseprogramm: Ausgabe Belegung Array Adafeld in Dateien Adafeld_XXXX_ii_y_xx.txt (FEHLERCHECK) [j oder n] (default=n)

#STEUERPARAMETER CART -----
CRT j          !CART ausführen? (do_CART)? [A1] [j oder n] (default=j)
CRE 7          !Bei CRT=n CART-Prognose durch welche Vorprognose ersetzen? 2=Pers1,3=Pers2..8=Kurz (ersVP) [I1]
TRA 1 1 1 1 1 !Transformations-Parameter CART: original,quadratisch,logarithmisch,Wurzel,Binarisierung (Itrans(i),i=1,5) [z.B. 1 1 1 1 1]
```

7.1.4 Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer

Die Steuerdatei Prognose_all.steuer wird ergänzt durch die 4 Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer, die spezifische Parameter für die 4 zu prognostizierenden Größen XXXX=GLOB, HELL, TEMP und WIND enthalten. Diese Parameter steuern die im 1h-Prognoseprogramm enthaltenen Prognosestufen ANALOGIE, REGRESSION und ADAPTION sowie Lage und Ausdehnung des zugeordneten Gitterpunktes in den 23x23-GFS-Feldern. Alle Parameter sind für die Prognoseparameter XXXX unterschiedlich und werden durch verschiedene Optimierungsmethoden angepasst, um deren Prognosegüte zu erhöhen (s. Kap. 9).

Als Beispiel ist nachfolgend die Steuerdatei Prognose_TEMP.steuer für den Prognoseparameter XXXX=Temperatur wiedergegeben.

```

**** Spezifische Parameter TEMP *****

#STEUERPARAMETER GITTERPUNKT -----
LRG 06,13      !Optimale Rasterzelle im 23x23-Feld (merk,jmerk) [I2,I2]
ARL 0          !Ausdehnung Raster "Länge" beim Einlesen der GFS-Felder REGRESSION (git_ext_laenge) 0=zentraler Gitterpunkt, 1=3 Rasterzellen etc. [I1]
ARB 0          !Ausdehnung Raster "Breite" beim Einlesen der GFS-Felder REGRESSION (git_ext_breite) 0=zentraler Gitterpunkt, 1=3 Rasterzellen etc. [I1]

#STEUERPARAMETER ANALOGIEMODELL -----
MAM 50         !Max. Anzahl ähnlicher Fälle in ANALOGIE (anzaehnmax) [I2]
AAM 05         !Anzahl verwendeter ähnlicher Fälle in ANALOGIE (anzaehnverw) [I2]
ZAF 1          !Max. Anzahl Felder für ANALOGIE (maxpredana) [I1]
NAF 46,17,18,43 !Ausgewählte Felder für ANALOGIE (predana) [I2]
WGF 0.04,0.02  !Wichtung des Gradienten des Feldes (wichtgrad) [F4.2]
EFA 5          !Einschränkung des Analogiegebietes - 1=Gesamtfeld, 5=Zentraler Mittelpunkt (zentr) [I1]

#STEUERPARAMETER INTERNE REGRESSION -----
ALM 4          !Max. Anzahl Felder für REGRESSION (maxpredreg) [I1]
ZFR 46,02,37,47 !Ausgewählte Felder für REGRESSION (predreg) [I2] (nach Optimierung)

#STEUERPARAMETER ADAPTION -----
AFM 04         !Max. Anzahl Felder für ADAPTION (maxpredada) [I2]
APN 17,21,36,46 !Ausgewählte Felder für ADAPTION (predada) [I2] (nach Optimierung)
AKS 1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1 !Abschalten Prediktoren für ADAPTION (schaltab): 1=Beo 2=Pers1 3=Pers2 4=Pers3 5=Anal 6=Regr 7=Lang 8=Kurz 9=Cart 10=erstes GFS-Feld Adaption
ABA 05 !Anzahl der Fälle die für Kurzeitadaption verwendet werden (kurzzeitadap) [I2]

```

HINWEIS: Der Inhalt dieser Steuerdateien muss nicht dem des ggf. übergebenen Prognosesystems entsprechen, da der Optimierungsprozess erst nach Aufbau einer hinreichend großen Datenbasis für die Beobachtungsdaten beendet ist.

7.2 Protokolldateien

Jedes der im Prognosesystem enthaltenen Programme generiert eine „Protokolldatei“ Proto-Programmname.txt im Verzeichnis ..\exe\Protokoll), dem Informationen sowie Einzelheiten zu den internen Prozessen und abgearbeiteten Aufgaben entnommen werden können. Diese Protokolle dienen auch dazu, im Fall möglicherweise auftretender Probleme schnell deren Ursache(n) festzustellen zu können. Die Protokolldateien enthalten i.d.R. Programmname und Programmversion, Ersteller und Zweck des Programms, die Rechenzeit der letzten Ausführung, verwendete Steuer- und sonstige Dateien, verwendete Einstellungen in den Steuerdateien, Informationen zu den verwendeten Inputdateien und deren Aktualität sowie zur benötigten Laufzeit. Auch protokollieren sie den genauen Bearbeitungsprozess und geben wichtige Informationen zu allen Stufen dieses Prozesses (inkl. Warnhinweisen). Über Einstellungen in der Steuerdatei Prognose_all.steuer lassen sich darüber hinaus bestimmte Prozesse detaillierter steuern und bestimmte Ausgaben erzwingen oder unterdrücken.

7.3 Prognosen im 1 Stunden-Takt

Basis aller Prognoseergebnisse sind die mit dem Programm FWEP_W_Ablauf durchgeführten Prognoserechnungen im 1h-Takt. Diese werden im operationellen Modus (ORM) über einen entspr. eingerichteten WINDOWS-Task („Aufgabenplanung“ in WINDOWS 10) zu vorgegebenen Zeiten und in einem vorgegebenen Rhythmus aktiviert (s. Kap. 8.3). Über die in den Steuerdateien FWEP W Ablauf.steuer und

FWEW_W_Ablauf_15Min.steuer aktivierten Blöcke 1, 2 und 4 (s. Kap. 7.1.1) erfolgt dann auch das Herunterladen und die Verarbeitung neuer GFS- und BEO-Daten.

Im nicht-operationellen Modus („simulierter Rechenmodus“ SRM) werden die 1h-Prognosen durch den manuellen Aufruf von FWEW-W_Ablauf gestartet. Wesentliche Einstellungen für diesen Modus sind die Einträge APR tt.mm.jjjj (simulierter Rechentag) und APZ hh:mm (simulierte Rechenzeit) in der Steuerdatei Prognose_all.steuer. Die Programme der o.g. Blöcke 1, 2 und 4 sollten dann deaktiviert werden. Im Ergebnis entstehen bei jedem 1h-Prognoselauf im Verzeichnis \exe\Prognosen\XXXX\ (XXXX = GLOB, HELL, TEMP, WIND) für jeden Prognosetag y und jede Prognosestunde xx die Prognosedateien Taegl_Prog_y_xx.dat. Bei jedem Prognoselauf (unabhängig in welchem Modus) werden bereits vorliegende, alte Dateien in den Verzeichnissen Prognosen und Verifikation zunächst gelöscht. Außerdem werden Dateien im Verzeichnis Endergebnisse neu erzeugt (ORM) oder überschrieben (SRM).

7.4 Prognosemodule

Das „Herz“ des entwickelten Prognosesystems, das 1-Stunden-Prognose-Programm FWEW-W_Prognose, beruht auf insgesamt 4 Prognosestufen, die nachfolgend kurz beschrieben werden sollen. Zum Einsatz kommen hier Algorithmen der Fingerabdruckidentifikation (Analogie-Modell), multiple Regressionsansätze (Regressions- und Adaptions-Modell) sowie Klassifikationsmethoden (CART).

7.4.1 ANALOGIE- oder Ähnlichkeitsmodell

Die erste Stufe des Prognoseansatzes, das Analogie- oder Ähnlichkeitsmodell, sucht für einen geographischen Ort oder eine Region und für den aktuellen Prognosetermin (Tag, Stunde) mit Algorithmen der Fingerabdruckidentifikation ähnliche (analoge) Wetterlagen in den angebotenen GFS-Prognosefeldern (Prediktoren, meteorologische Elemente) des zu prognostizierenden Parameters (Prediktand, Zielgröße, hier z.B. GLOB oder TEMP). Dabei wird ermittelt, welche und wie viele Einflussgrößen (Prediktoren, Prognosefelder) zur Suche ähnlicher Fälle in der Vergangenheit optimal sind, d.h. zum besten Vorhersageergebnis durch Vergleich mit den Beobachtungsdaten führen. Für die Zielgröße werden damit die Prediktoren und die optimale Anzahl der analogen Fälle festgelegt.

Die im Ähnlichkeitsmodell zur Prognose der Wetterlage eingesetzten Algorithmen ähneln denen der Fingerabdruckidentifikation und erfassen die geometrische und topologische Struktur meteorologischer Situationen bedeutend besser als andere Ähnlichkeitsmaße. Die zur Suche analoger Fälle in einem Langzeitarchiv eingesetzte Methode führt zu einer merklich besseren Auswahl ähnlicher Fälle aus der Historie für die sich anschließende zweite Prognosestufe. Die Qualität der in der ersten Prognosestufe gefundenen ähnlichen Tage (Tage an denen die zum Prognosetermin vorliegenden meteorologischen Zustände der verwendeten GFS-Felder ähnlich sind) hängt stark davon ab, auf welcher Datenbasis diese Suche erfolgt. Je länger der „Lernzeitraum“ (also der für die Suche genutzte Datenbestand der Vergangenheit) ist, umso genauer sind die Suchergebnisse. Diese Programmstufe legt deshalb die Grundlage für alle folgenden Stufen und damit auch die Qualität der berechneten Prognosen. Die Anzahl der zu verwendenden ähnlichen Tage kann über die Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer (Steuerwort AAM) vorgegeben werden.

7.4.2 REGRESSIONS-Modell

Die aus der ersten Prognosestufe resultierenden Prognosen basieren noch nicht auf einer umfassenden Beschreibung der Physik der Atmosphäre für den konkreten Tag und Ort. Auf Basis der gefundenen analogen Fälle erfolgt deshalb in einer zweiten Prognosestufe eine Vorhersage mit Verfahren der multiplen (linearen oder nichtlinearen) Regression (MR). Zur Ermittlung von statistischen Beziehungen zwischen dem jeweiligen Prediktanten (der Zielgröße) und den Prediktoren (Prognosefelder ergänzt durch die Persistenz des Prediktanten, d.h. die letzte aktuelle Beobachtung) wird ein multiples Regressionsverfahren eingesetzt. Dabei wird für jeden Prediktanten festgestellt, welche und wie viele Prediktoren zum besten Vorhersageergebnis für jeden Prognosehorizont führen. Dies erfolgt sukzessiv, indem zuerst der beste Prediktor ermittelt und anschließend geprüft wird, welche der weiteren Prediktoren zusammen mit dem ersten Prediktor zum besten Prognoseergebnis führen. Auf diese Weise entsteht die zweite Prognose in der vierstufigen Prognosekette.

7.4.3 ADAPTIONS-Modell

Auf der Basis der Ähnlichkeit- und Regressionsprognose (Stufen 1 und 2) erfolgt in einer dritten Prognosestufe eine weitere Verbesserung der 1h-Prognose. Dazu werden die beiden Vorprognosen sowie die letzten Beobachtungsdaten im Adaptionsmodell, einem lernfähigen multiplen Regressionsverfahren kombiniert. Durch die Kombination von stabiler Langzeitregression und schnell lernender Kurzzeitregression werden Wetterlagenwechsel erkannt und der jeweils geeignete Algorithmus zur Berechnung der Prognose angewendet.

7.4.4 KLASSIFIKATIONS-Modell

Da bei extremen Ausprägungen der Zielgröße (z.B. schwacher oder starker WIND) andere Prediktoren für die Prognose wichtig sein können, sollten unterschiedliche Ausprägungen (z.B. Windgeschwindigkeiten)

unterschiedlich behandelt werden. Dies kann mit einem Klassifikationsverfahren erfolgen. Um die optimalen Klassengrenzen zu treffen, wird das dynamische Klassifizierungsverfahren CART (Classification As Regression Tree) eingesetzt. Dieses nutzt die lineare Regression zur Suche nach den optimalen Klassengrenzen. Dabei entsteht ein Baum mit max. 32 Klassen, wobei in jeder Klasse unterschiedlich viele Fälle landen können. Die beste Klasse wird dann für die Prognose verwendet. CART ist als Library direkt in das 1h-Prognoseprogramm eingebunden und liefert die finalen Prognosewerte. Das Modul lässt sich über das Steuerwort CRT in der Steuerdatei Prognose_all.steuer ein- oder ausschalten. Wird CART ausgeschaltet, so kann über das Steuerwort CRE vorgegeben werden, welche Vorprognose als Finalprognose verwendet werden soll.

7.5 Prognosen im 15 Minuten-Takt

Der Grund dafür, dass zunächst Prognosen im 1 Stunden-Takt erstellt werden, liegt an der Struktur der GFS-Prognosedaten, die in einem recht groben zeitlichen Takt von nur 3 Stunden vorliegen und vor ihrer Verwendung zu 1 Stunden-Werten interpoliert werden müssen. Die erstellten 1h-Prognosen stellen deshalb die Basis für alle weiteren, zeitlich höher aufgelösten Prognosen dar. Unter Verwendung der Ergebnisse des 1h-Prognoselaufes sowie der aktuellsten 15 Minuten-Beobachtungsdaten werden deshalb in einem weiteren Schritt Prognoserechnungen im 15 Minuten-Takt durchgeführt. Dazu wird ein multipler Regressionsansatz genutzt, in den zur Berechnung der 15Min-Prognosewerte neben den 1h-Prognosen und den 15Min-Beobachtungsdaten auch mehrere Persistenzwerte dieser Eingangsgrößen als Prediktoren eingehen.

Die 15Min-Prognose wird (sofern in der Steuerdatei Prognose_all.steuer VP1=j gesetzt ist) gestartet durch Aufruf des Programms FWEP-W_Ablauf_15Min aus dem Programm FWEP-W_Ablauf. Das Programm wird gesteuert über die Steuerdatei FWEP-W_Ablauf_15Min.steuer. Die in den 15Min-Prognoselauf eingebundenen Programme reduzieren sich auf diejenigen zum Herunterladen und Verarbeiten der aktuellsten Beobachtungsdaten sowie auf das 15Min-Prognose- und Verifikationsprogramm. Die Programme zur Beschaffung und Verarbeitung der Beobachtungsdaten (BLOCK 4) können im Modus SRM auskommentiert werden. Im Ergebnis des 15Min-Laufs entstehen im Verzeichnis \exe\Prognosen_15Min\XXXX\ (XXXX = GLOB, HELL, TEMP, WIND) für jeden Prognosetag y, jede Prognosestunde xx und jede Viertelstunde zz die Prognosedateien Taegl_Prog_y_xx_zz.dat. Bei jedem Prognoselauf werden die Dateien in den Verzeichnissen Prognosen_15Min und Verifikation_15Min neu erstellt (die alten zuvor gelöscht). Außerdem werden Dateien im Verzeichnis Endergebnisse neu erzeugt oder überschrieben.

7.6 Prognoseergebnisse

Als Ergebnis jedes Prognoselaufs werden die finalen Prognoseergebnisse in verschiedenen Dateien im Verzeichnis \exe\Endergebnisse\ abgelegt. Diese Dateien werden von den Programmen FWEP-W_Ablauf und FWEP-W_Ablauf_15Min erstellt, und zwar basierend auf den Einzelergebnissen der verschiedenen zuvor abgearbeiteten Teilprogramme. Sie enthalten die Ergebnisse der Prognoseprogramme FWEP-W_Prognose bzw. FWEP-W_Prognose_15Min sowie der Verifikationsprogramme Verifikation bzw. Verifikation_15Min mit den statistischen Auswertungen der Ergebnisse.

Die Dateien können über ihren Dateinamen eindeutig dem 1h- bzw. 15Min-Prognoselauf zugeordnet werden. Prinzipiell handelt es sich um zwei Typen von Dateien: Zum einen um ASCII-Dateien im Tabellenformat (Endung txt), zum anderen um CSV-Dateien (Endung csv), die an den Endkunden übergeben werden. Jeder 1h-Prognoselauf erzeugt folgende Dateien:

- Endergebnisse_ jjjjmmmtt_hhmm_1h.txt
- Endergebnisse_ jjjjmmmtt_hhmm_1h_inter.txt
- K001_1h_ jjjjmmmtt_hhmm.csv

mit jjjj=Jahr, mm=Monat, tt=Tag, hh=Stunde, mm=Minute (Rechenzeit des Prognoselaufes). Bei der ersten Datei handelt es sich um eine strukturierte (und damit leicht lesbare) ASCII-Datei, welche die Ergebnisse im 1h-Takt für die vorgegebene Anzahl an Prognosehorizonten enthält. Nach einem Header mit Informationen zum Berechnungslauf, den verwendeten Beobachtungs- und GFS-Daten, der Verifikationsperiode und einer Legende werden die Ergebnisse der Prognoserechnungen für alle 4 prognostizierten Parameter ausgegeben. Für jeden Prognosehorizont sind der Beobachtungswert (im operationellen Fall als Fehlwert -999.0 gekennzeichnet, da noch nicht vorliegend), der Prognosewert, der mittlere und der mittlere absolute Fehler und der RMSE (jeweils berechnet aus den Prognosen für die gesamte Verifikationsperiode) angegeben. Die zweite Ergebnisdatei ist analog zur ersten aufgebaut, enthält aber neben den Stundenwerten zusätzlich Werte im 15Min-Takt, die durch Interpolation aus den Stundenwerten gewonnen wurden.

Bei der dritten Datei handelt es sich um eine CSV-Datei, deren Struktur und Inhalt vom Endkunden vorgegeben wird. Sie enthält lediglich die prognostizierten Werte der Parameter GLOB, HELL, TEMP und

WIND. Da der Endkunde i.d.R. an den Prognoseergebnissen der nachfolgenden 15Min-Prognosestufe interessiert ist, wird die CSV-Datei der 1h-Prognosestufe gewöhnlich nicht an den Endkunden weitergegeben (Einstellung UP1=n in der Steuerdatei Prognose_all.steuer).

Jeder 15Min-Prognoselauf erzeugt folgende Dateien:

- Endergebnisse_ jjjjmmtt_hhmm_15Min.txt
- K001_15Min_ jjjjmmtt_hhmm.csv

Bei der ersten Datei handelt es sich wiederum um eine strukturierte ASCII-Datei, die analog zur entspr. Datei der 1h-Prognosen Ergebnisse im 15Min-Takt für die vorgegebene Anzahl an Prognosehorizonten enthält. Die zweite Datei im CSV-Format enthält nur die für die Parameter GLOB, HELL, TEMP und WIND prognostizierten 15Min-Werte und wird an den Endkunden übergeben. Nachfolgend ist eine aus der 15-Min-Prognose stammende CSV-Datei in Auszügen wiedergegeben. Sie enthält die am 07.07.2018 um 07:30 für den Zeitbereich 07.07.2018 08:00 bis 09.07.2018 23:00 prognostizierten Werte der 4 Parameter GLOB, HELL, TEMP und WIND.

```
Erstellungsdatum;;23.07.2018;;;;;
Erstellungsuhrzeit;;15:44;;;;;
```

```
Datum;von;bis;GLOB;HELL;TEMP;WIND
07.07.2018;07:45;08:00;141,73;40,41;19,94;1,07
07.07.2018;08:00;08:15;158,57;43,04;20,51;1,14
07.07.2018;08:15;08:30;187,23;51,98;21,22;1,30
07.07.2018;08:30;08:45;190,48;54,53;21,59;1,37
07.07.2018;08:45;09:00;199,43;58,88;22,29;1,42
07.07.2018;09:00;09:15;214,38;57,25;22,81;1,62
...
09.07.2018;21:30;21:45;0,60;0,25;21,75;0,86
09.07.2018;21:45;22:00;0,19;0,07;21,21;0,81
09.07.2018;22:00;22:15;0,45;0,01;20,72;0,72
09.07.2018;22:15;22:30;0,10;0,00;20,12;0,69
09.07.2018;22:30;22:45;0,24;0,00;19,70;0,69
09.07.2018;22:45;23:00;0,60;0,00;19,37;0,58
```

```
Kontrollsumme;;;46724,82;9207,01;6117,35;350,52
```

ANMERKUNGEN

- Statt in Form von CSV-Dateien können die Prognoseergebnisse dem Endkunden auf Wunsch auch in einem anderen Format bereitgestellt werden (ASCII, XML etc.).
- Bei jedem Prognoselauf im simulierten Rechenmodus öffnen sich (sofern die Option DET=j in der Steuerdatei Prognose_all.steuer aktiviert ist) automatisch zwei Ergebnistabellen auf dem Bildschirm.

8 Prognoserechnungen

8.1 Anforderungen an die Prognoseergebnisse

Bei dem erstellten Prognosesystem handelt es sich um ein selbstlernendes System, das umso genauere Prognosen liefert, je umfangreicher die Datenbasis ist, auf deren Grundlage das System „angelernt“ werden kann. Insofern besteht im vorliegenden Fall ein Defizit, da die Beobachtungsdaten erst mit Beginn September 2017 bereitgestellt wurden, aber erst ab November 2017 tatsächlich verwendbar sind (vgl. Kap. 5.3). Dies bedeutet, dass zur Zeit der Berichtslegung für die Prognoserechnungen Beobachtungsdaten für weniger als ein Jahr zur Verfügung stehen.

Dennoch besteht seitens des Erstellers des Prognosesystems der Anspruch Prognosen zu liefern, die sich durch folgende Eigenschaften auszeichnen:

- Alle 15 oder 30 Min neu berechnete Prognosen für die nächsten 1 bis 3 Tage auf der Basis operationell bereit gestellter aktueller Beobachtungsdaten
- Übergabe der Prognoseergebnisse in einem geeigneten und leicht weiterzuverarbeitenden Format
- Gute Qualität der Prognoseergebnisse auch bei nicht ausreichender Datenbasis
- Zuverlässige Lieferung auch bei einem kurzfristigen Datenausfall.

8.2 Prognosen im simulierten Rechenmodus (SRM)

Prognoseläufe können im sogn. „Simulierten Rechenmodus“ (SRM) ausgeführt werden, also zu einem in der Vergangenheit liegenden Zeitpunkt vor dem aktuellen Tag und der aktuellen Uhrzeit. Dieser Modus kann dazu genutzt werden, Prognosen für einen bestimmten Termin nachzurechnen, er ist aber auch im Rahmen der Programmentwicklung sinnvoll, um z.B. alle in die verschiedenen Programme eingehenden

Inputdaten zu überprüfen (diese liegen im SRM auch für den Prognosezeitraum vollständig vor). Von den insgesamt 15 Programmen werden im SRM lediglich 8 benötigt, da keine neuen Daten heruntergeladen, verarbeitet und archiviert werden müssen. Um diesen Rechenmodus zu aktivieren, sind folgende Einstellungen und Aktionen vorzunehmen (s. auch Hinweise in den Kapiteln 7.1.1, 7.1.2, 7.1.3 und 7.3):

- Alle für den Prognoselauf nicht benötigten Programme sind in den Steuerdateien FWEP_W_Ablauf.steuer (BLOCK 1 und BLOCK 2) und FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer (BLOCK 4) mit einem # auszukommentieren.
- Über die Steuerworte APR und APZ in der Steuerdatei Prognose_all.steuer (Block Allgemeine Prognoseparameter) wird der Modus SRM (simulierter Rechentag und simulierte Rechenzeit) vorgegeben.
- Die Länge des Lernzeitraums ist über das Steuerwort LLZ in der Steuerdatei Prognose_all.steuer so vorzugeben, dass die Prognoserechnungen frühestens am 17.11.2017 beginnen, da die Beobachtungswerte für die zu prognostizierenden 4 Parameter davor entweder nicht oder nur sehr lückenhaft vorliegen.
- Der 1h-Prognoselauf wird manuell durch den Aufruf von FWEP-W_Ablauf gestartet.

8.3 Prognosen im operationellen Rechenmodus (ORM)

Prognosen im „Operationellen Rechenmodus“ (ORM) sind gegenüber dem „Simulierten Rechenmodus“ (SRM) deutlich anspruchsvoller, da hier nicht nur alle Programme des Prognosesystems zum Einsatz kommen, sondern auch hohe Anforderungen an eine zuverlässige und effektive Datenbereitstellung, -verarbeitung, -archivierung und -nutzung gestellt werden. Außerdem sind einige Randbedingungen zu beachten, die nachfolgend ebenfalls erläutert werden sollen.

EINSTELLUNGEN

Für den ORM sind folgende Einstellungen und Aktionen vorzunehmen:

- In den Steuerdateien FWEP_W_Ablauf.steuer und FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer sind ALLE Programme zu aktivieren.
- In der Steuerdatei Prognose_all.steuer sind die Einträge unter den Steuerworten APR und APZ zu deaktivieren (mit # auszukommentieren).
- Die Länge des Lernzeitraums ist über das Steuerwort LLZ in der Steuerdatei Prognose_all.steuer so vorzugeben, dass die Prognoserechnungen frühestens am 17.11.2017 beginnen (s. hierzu Anmerkungen oben). Alternativ kann über das Steuerwort ALZ ein Datum für den Beginn des Lernzeitraums vorgegeben werden, woraus die Länge des Lernzeitraums automatisch ermittelt wird (dynamischer Lernzeitraum).
- Der 1h-Prognoselauf wird über einen dazu einzurichtenden Windows-Task und den dort angegebenen Aufruf des Programms FWEP-W_Ablauf gestartet (s. dazu nachfolgenden Abschnitt).

WINDOWS-TASK

Für den operationellen Betrieb des Prognosesystems ist ein sogn. Windows-Tasks („Aufgabenplanung“ in WINDOWS 10) einzurichten, der für die automatische Ausführung des Prognosesystems zu vorgegebenen Zeiten und im gewünschten Rhythmus sorgt. Bei seiner Einrichtung ist der Laufzeit des Prognosesystems und dem Zeitpunkt des Vorliegens neuer GFS- und BEO-Daten Rechnung zu tragen. Außerdem sind zeitliche Überschneidungen mit anderen, möglicherweise bereits eingerichteten Tasks zu vermeiden, die den Ablauf der Prognoserechnungen stören oder gar blockieren können.

FTP-SERVER

Um die jeweils aktuellsten Beobachtungsdaten herunterzuladen und die bei jedem Prognoselauf erzielten Prognosedateien hochzuladen, wird ein passwort-geschützter FTP-Server benötigt. Dieser wurde bereits im Januar 2018 eingerichtet (FTP-Server des CEC mit getrennten Verzeichnissen für Input- und Outputdaten) und mit Testdateien getestet (s. Kap. 5.3.2).

LAUFZEITEN UND TAKTUNG

Der für den operationellen Betrieb erstellte Windows-Task muss passfähig zum Rhythmus der Bereitstellung der GFS-Daten auf dem Server in den USA sowie der Bereitstellung der Beobachtungsdaten sein. Sobald neue GFS-Daten auf dem FTP-Server in den USA vorliegen (4-mal täglich um etwa 00:15, 06:15, 12:15 und 18:15), werden diese von den entsprechenden Programmen heruntergeladen und verarbeitet. Da insbesondere die Verarbeitung der GFS-Daten erhebliche Zeit in Anspruch nimmt, dauern die Prognoseläufe zu diesen Zeiten deutlich länger als sonst. Der Download und die Verarbeitung der aktuellsten Beobachtungsdaten benötigt dem gegenüber zwar deutlich weniger Zeit, doch sollte sich der Startzeitpunkt des Prognosesystems an den Bereitstellungszeiten dieser Daten orientieren, um immer die neuesten Daten für die Prognoseläufe zu verwenden. Grundsätzlich tragen schnell und effektiv arbeitende Einzel-

programme mit geeigneten Schnittstellen dazu bei, ein im ORM laufendes Prognosesystem hinsichtlich seiner Geschwindigkeit zu optimieren.

9 Optimierung des Prognosesystems

Das Prognosesystem wird durch eine Vielzahl von GFS-Feldern sowie Algorithmen angetrieben, die z.T. über Steuerdateien eingestellt werden können. Ziel der Optimierung ist es, den optimalen Parametersatz für jedes der 4 zu prognostizierenden Prognoseelemente XXXX=GLOB, HELL, TEMP und WIND zu bestimmen. Die Güte der vom Prognosesystem erstellten Prognosen hängt (neben den bereits erwähnten Randbedingungen wie Länge des Lernzeitraums) erheblich davon ab, welche GFS-Felder den verschiedenen Prognosestufen der 1 Stunden-Prognose angeboten und welche sonstigen „optimierbaren“ Parameter verwendet werden. Die Optimierung betrifft deshalb in erster Linie die Basis aller Prognosen, das 1h-Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose.

Wie in Kap. 7.1.4 beschrieben, wird die zentrale Steuerdatei Prognose_all.steuer ergänzt durch die 4 Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer, die jeweils spezifische GFS-Felder und Parameter für die zu prognostizierenden Ausgangsgrößen XXXX enthalten. Diese Einstellungen steuern (neben Lage und Ausdehnung des verwendeten Gitterpunktes in den 23x23-GFS-Archiven) die im 1h-Prognoseprogramm enthaltenen Prognosestufen ANALOGIE, REGRESSION und ADAPTION (vgl. Kap. 7.4). Alle Parameter sind für die Ausgangsgrößen XXXX unterschiedlich und müssen durch verschiedene Optimierungsmethoden angepasst werden, um die Prognosegüte für die Ausgangsgrößen zu erhöhen.

Nachfolgend werden zwei Stufen der Prognoseoptimierung beschrieben. Zum einen vergleichsweise einfache Korrelationsanalysen, mit denen die zur Beschreibung der Prognoseparameter GLOB, HELL, TEMP und WIND grundsätzlich geeignetsten GFS-Felder ermittelt werden können, zum anderen umfassende Optimierungsmethoden, mit denen an Hand der erzielten Prognoseergebnisse die am besten geeigneten GFS-Felder und sonstigen Einstellungen bestimmt werden können. Beide Herangehensweisen samt den dazu erstellten Programmen sind detailliert im Anhang (Kap. 14.6.1 und 14.6.2) beschrieben. Grundsätzlich anzumerken ist, dass der Optimierungsprozess erst nach Aufbau einer hinreichend großen Datenbasis (Beobachtungs- und GFS-Daten) wirklich belastbare Ergebnisse liefert.

9.1 Korrelationsanalysen

Mit dem Programm Vergleich_BEO_GFS lassen sich Korrelationen zwischen den am Messpunkt Aachen erhobenen Messdaten und den diesem Standort zugewiesenen Werten verschiedener GFS-Felder berechnen. Verglichen werden dazu die zu 1h-Werten aggregierten BEO-Zeitreihen mit entsprechend erstellten 1h-GFS-Zeitreihen (Die nicht triviale Erstellung dieser GFS-Zeitreihen soll an dieser Stelle nicht vertieft werden). Durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen einem der vier BEO-Parameter GLOB, HELL, TEMP und WIND und allen 51 GFS-Parametern lassen sich schnell alle für jeden BEO-Parameter prinzipiell relevanten GFS-Felder identifizieren. Die Korrelationsanalysen liefern Aufschluss darüber, welche GFS-Felder potenziell für die Prognose der Messgröße XXXX in Frage kommen könnten. Mit dem Programm lassen sich folgende Fragen klären:

- Wie groß sind die Korrelationen zwischen den gemessenen BEO-Werten GLOB, HELL, TEMP und WIND und verschiedenen GFS-Feldern|Parametern?
- Welche GFS-Felder eignen sich prinzipiell für die 1h-Prognosen dieser Messgrößen?

Basis für die Analysen sind die GFS-Archive für insgesamt 51 Parameter|Felder (s. Kap. 14.6.2) sowie die 1h-BEO-Archive für die Messgrößen XXXX=GLOB, HELL, TEMP und WIND (s. Kap. 6.2). Die GFS-Temperatur-Felder 05, 06, 20 und 46 werden für den Vergleich jeweils in °C umgerechnet.

Bevor ausgewählte Ergebnisse der Korrelationsanalysen vorgestellt werden, zunächst einige Hinweise zur Genauigkeit des Vergleichs:

- Die BEO-Messwerte für die Parameter GLOB, HELL, TEMP, WIND werden am Standort Aachen mit einer eher einfachen Messapparatur erhoben. Informationen zu ggf. auftretenden lokalen Beeinflussungen (wie z.B. Abschattungseffekten) liegen nicht vor.
- Die z.T. lückenhaft erhobenen 1Min-BEO-Daten führen bei der Aggregation zu teilweise ungenauen 15Min- und 1h-Werten.
- Der für die Analysen verfügbare Datenumfang ist vergleichsweise gering: Die Daten beginnen frühestens am 27.09.2017 und reichen maximal bis zum Sommer 2018. Für den Parameter WIND fehlen die Daten für die Periode 14.12.2017-31.01.2018 völlig.
- Die GFS-Zeitreihen nutzen GFS-Prognosewerte, die bis zu 5h vorwärts reichen (es handelt sich also nicht um "Messwerte").
- Die auf reinen Prognosewerten basierenden GFS-Zeitreihen werden mit einer neuartigen Methode erzeugt, die 1h-GFS-Werte durch lineare Interpolation aus den 3h-Werten gewonnen.

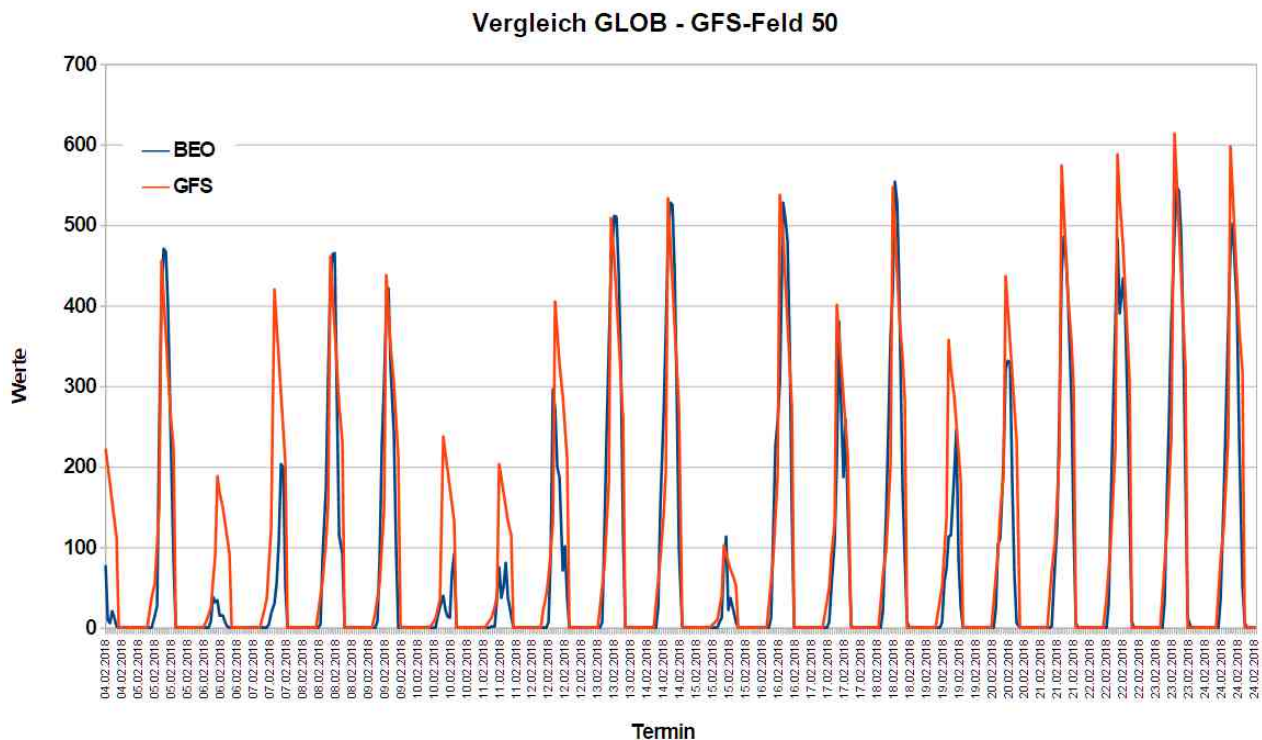
- Für die GFS-Parameter 47, 48, 50, 51 werden die grundsätzlich fehlenden 3h-Werte des 1. Horizonts durch Rückwärtsinterpolation ergänzt.
- Die BEO-Archive für die Parameter 50 und 51 enthalten erst ab dem 04.02.2018 Werte für die neuen Parameter ShortWave und LongWave.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der für die 4 Parameter erzielten Ergebnisse der Korrelationsanalysen wiedergegeben, die auf den für den Zeitraum 01.01. - 12.07.2018 bzw. 01.01. - 17.04.2018 vorliegenden BEO-Daten und dem Gitterpunkt (06,13) für den Standort Aachen basieren (jeweils nur die 5 höchsten der insgesamt 51 Werte sind angegeben).

9.1.1 Parameter GLOB

Periode 01.01. - 12.07.2018	Periode 01.01. - 17.04.2018
GFS-Parameter: 50 = ShortWave KORR = 0.82731	GFS-Parameter: 50 = ShortWave KORR = 0.83820
GFS-Parameter: 46 = TP 1000 KORR = 0.44380	GFS-Parameter: 13 = VOR 1000 KORR = 0.22580
GFS-Parameter: 17 = RT 850_10 KORR = 0.31509	GFS-Parameter: 46 = TP 1000 KORR = 0.21940
GFS-Parameter: 4 = GP 500 KORR = 0.28561	GFS-Parameter: 9 = HD1 850 KORR = 0.18702
GFS-Parameter: 3 = GP 700 KORR = 0.28167	GFS-Parameter: 11 = HD1 500 KORR = 0.17389

Für den Messparameter GLOB = Globalstrahlung zeigt erwartungsgemäß das GFS-Feld 50 (Kurzwellige Strahlung, s. Tabelle in Kap. 14.1.2) die bei weitem höchsten Korrelationen mit dem Messparameter.

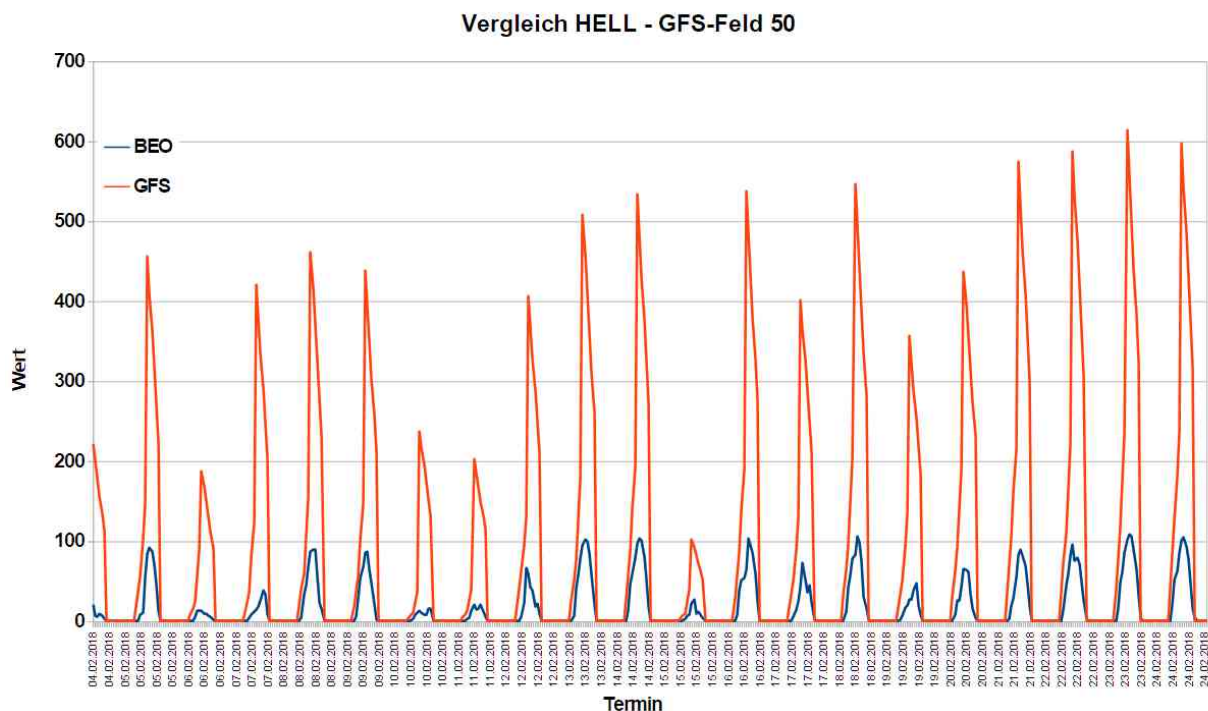


Dies wird auch in der Abbildung deutlich, in welcher der Verlauf der BEO- und GFS-Zeitreihen (1h-Werte) für dieses Prognosefeld und einen zeitlichen Ausschnitt (04.02. - 24.02.2018) dargestellt ist. Beide Zeitreihen zeigen einen ausgeprägten Tagesgang mit Werten NULL in den Nachtstunden. Deutlich wird aber auch der Einfluss der Länge der zur Verfügung stehenden BEO-Zeitreihen: Während in beiden Fällen das GFS-Feld 50 der dominante Parameter bleibt, ändert sich die Reihenfolge und damit die Bedeutung der anderen GFS-Felder.

9.1.2 Parameter HELL

Periode 01.01. - 12.07.2018	Periode 01.01. - 17.04.2018
GFS-Parameter: 50 = ShortWave KORR = 0.84498	GFS-Parameter: 50 = ShortWave KORR = 0.84875
GFS-Parameter: 46 = TP 1000 KORR = 0.43244	GFS-Parameter: 13 = VOR 1000 KORR = 0.24441
GFS-Parameter: 17 = RT 850_10 KORR = 0.29855	GFS-Parameter: 46 = TP 1000 KORR = 0.21122
GFS-Parameter: 4 = GP 500 KORR = 0.27393	GFS-Parameter: 9 = HD1 850 KORR = 0.18736
GFS-Parameter: 3 = GP 700 KORR = 0.27059	GFS-Parameter: 11 = HD1 500 KORR = 0.16922

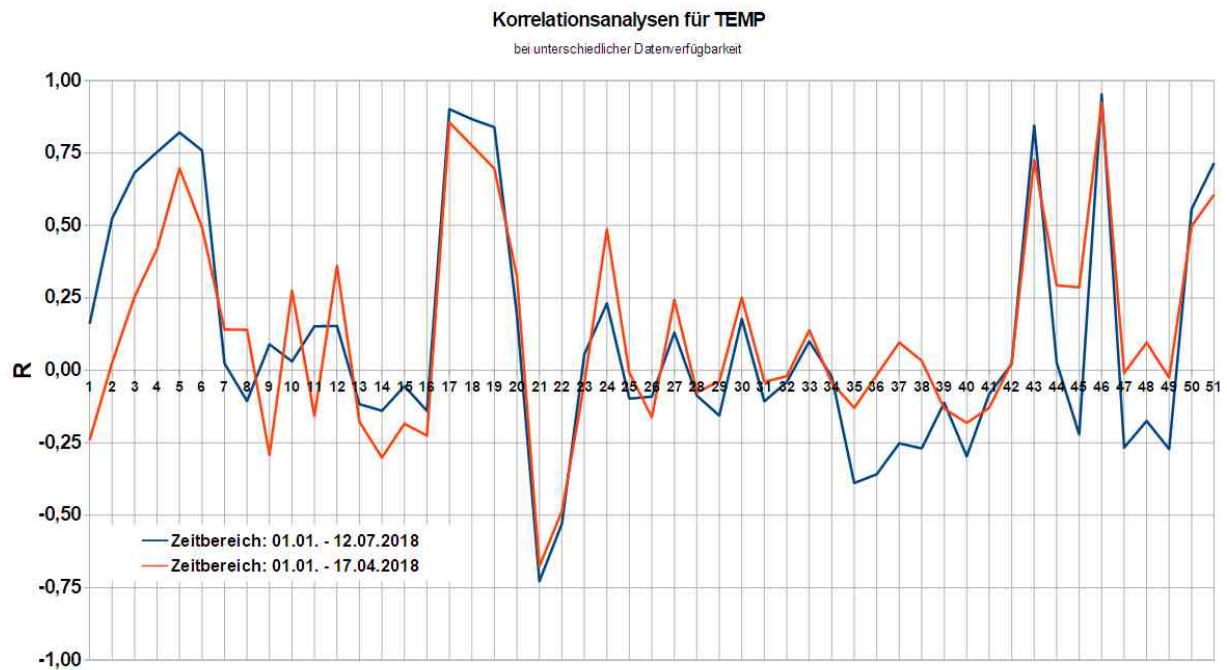
Auch der Messparameter HELL = Helligkeit zeigt die bei weitem höchsten Korrelationen mit dem GFS-Feld 50, und zwar sowohl für die bis zum 17.04. als auch für die bis zum 12.07.2018 reichende BEO-Zeitreihe. Der Verlauf der BEO- und GFS-Zeitreihen ist sehr ähnlich zu dem für GLOB und geprägt von einem deutlichen Tagesgang. Wie die nachfolgende Abbildung für den Zeitbereich 04.02. - 24.02.2018 zeigt, ist die Größenordnung der Prognose- und Beobachtungswerte aber deutlich unterschiedlich. Dies dürfte daran liegen, dass GFS- und BEO-Werte in anderen Maßangaben angegeben bzw. gemessen werden, ergänzt um die Tatsache, dass die Werte von HELL beim Archivieren um den Faktor 1000 verkleinert wurden. Wegen der in den Programmen verwendeten Methoden (z.B. Multiple Regressionsansätze) spielt dies für die Korrelationsanalysen allerdings keine Rolle.



9.1.3 Parameter TEMP

Periode 01.01. - 12.07.2018	Periode 01.01. - 17.04.2018
GFS-Parameter: 46 = TP 1000 KORR = 0.95257	GFS-Parameter: 46 = TP 1000 KORR = 0.92286
GFS-Parameter: 17 = RT 850_10 KORR = 0.90172	GFS-Parameter: 17 = RT 850_10 KORR = 0.85424
GFS-Parameter: 18 = RT 700_10 KORR = 0.86702	GFS-Parameter: 18 = RT 700_10 KORR = 0.77433
GFS-Parameter: 43 = PT 850 KORR = 0.84466	GFS-Parameter: 43 = PT 850 KORR = 0.72575
GFS-Parameter: 19 = RT 500_10 KORR = 0.83887	GFS-Parameter: 5 = TP 850 KORR = 0.69426

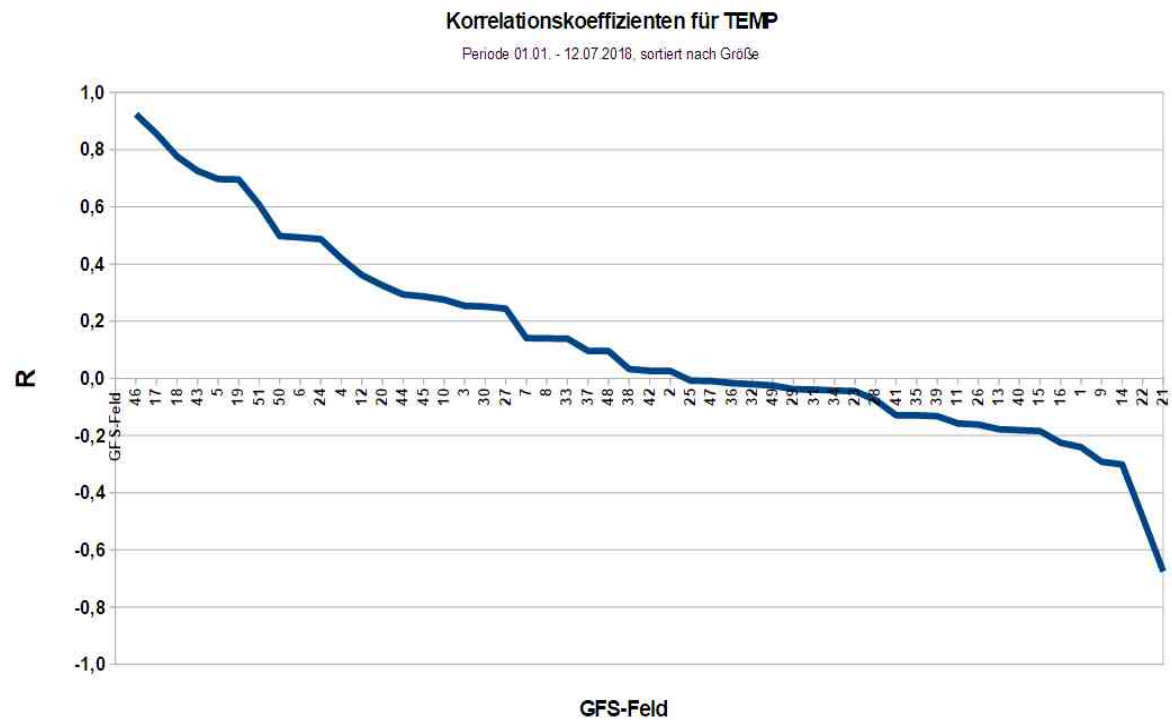
Das GFS-Feld 46 (TP 1000 = Temperatur in einer Höhe von 1000 mb) zeigt die höchsten Korrelationen zur Messgröße TEMP = Aussentemperatur, gefolgt von der relativen Feuchte in 850-1000 mb Höhe. Der Einfluss der unterschiedlichen Länge der BEO-Zeitreihe ist aber deutlich geringer als für die beiden zuvor diskutierten Parameter: Die Reihenfolge der dominanten GFS-Felder ist fast identisch, der Wert des Korrelationskoeffizienten für die längere Zeitreihe dagegen deutlich höher. Viele der 51 GFS-Felder zeigen dagegen entweder nur geringe oder sogar negative Korrelationen mit TEMP. Dies wird in der nachfolgenden Abbildung deutlich, in der die für alle 51 GFS-Felder ermittelten Korrelationskoeffizienten für beide Verfügbarkeitsperioden von TEMP dargestellt sind.



GFS-Feld

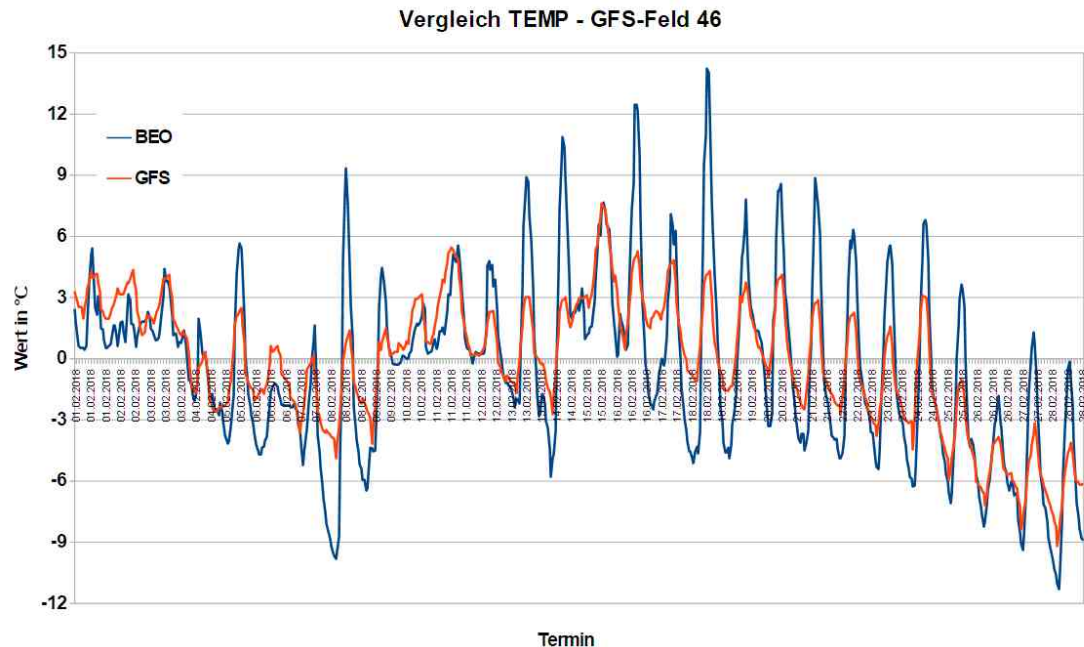
Korrelationskoeffizienten R zwischen dem Beobachtungs-Parameter TEMP und allen 51 GFS-Feldern (für eine Datenverfügbarkeit von TEMP für die Perioden 01.01. - 12.07.2018 bzw. 01.01. - 17.04.2018).

Die nachfolgende Abbildung zeigt den zwischen dem Beobachtungs-Parameter TEMP und allen 51 GFS-Feldern berechneten und nach Größe sortierten Korrelationskoeffizienten (längere Periode 01.01. - 12.07.2018). Deutlich wird, dass etwa die Hälfte aller GFS-Felder entweder keine oder schwache Korrelationen mit TEMP zeigen (Werte nahe Null), das GFS-Feld 21 (Stabilitätsindex, s. Tabelle in Kap. 14.1.2) die negativsten Korrelationen.



Zwischen TEMP und allen 51 GFS-Feldern berechnete und nach Größe sortierte Korrelationskoeffizienten (Periode 01.01. - 12.07.2018)

Betrachtet man den in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Verlauf der für die Messgröße TEMP und das GFS-Feld 46 erzeugten Zeitreihen (Periode 01.02. - 28.02.2018), so stellt man fest, dass sich die Größenordnung der gemessenen und der aus den GFS-Archiven extrahierten Temperaturwerte trotz des hohen Korrelationskoeffizienten von über 0.9 z.T. deutlich unterscheidet. In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die „Hinweise zur Genauigkeit des Vergleichs“ von oben erinnert sowie an die Tatsache, dass die in einer Höhe von 1000 mb prognostizierte GFS-Temperatur nicht der am Messturm gemessenen Temperatur entsprechen kann.



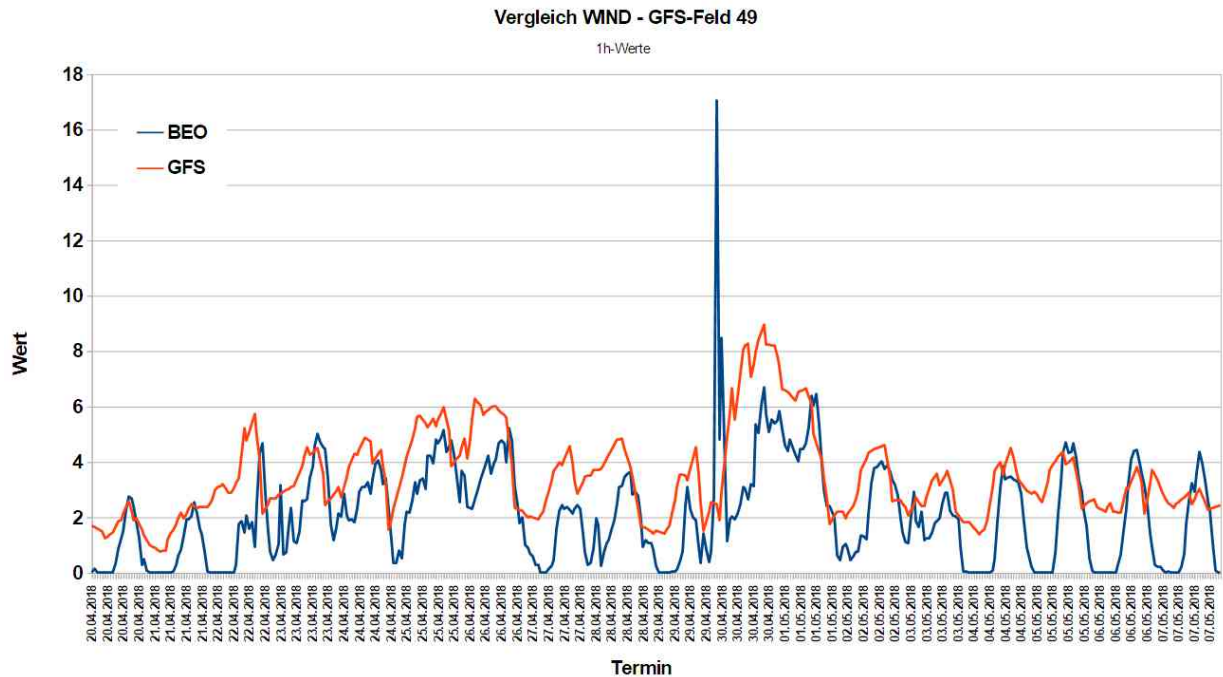
9.1.4 Parameter WIND

Periode 01.01. - 12.07.2018	Periode 01.01. - 17.04.2018
GFS-Parameter: 49 = Wind KORR = 0.66378	GFS-Parameter: 49 = Wind KORR = 0.67717
GFS-Parameter: 36 = GradP 850 KORR = 0.48670	GFS-Parameter: 36 = GradP 850 KORR = 0.54352
GFS-Parameter: 35 = GradP 100 KORR = 0.46405	GFS-Parameter: 35 = GradP 100 KORR = 0.49358
GFS-Parameter: 37 = GradP 700 KORR = 0.37658	GFS-Parameter: 37 = GradP 700 KORR = 0.36825
GFS-Parameter: 50 = ShortWave KORR = 0.31235	GFS-Parameter: 39 = GradT 850 KORR = 0.32925

Im Fall des Messparameters WIND = Windgeschwindigkeit ergeben die Korrelationsanalysen erwartungsgemäß den höchsten Wert für das GFS-Feld 49 (aus den Feldern 44 und 45 berechnete Windgeschwindigkeit). Allerdings ist dem nachfolgend dargestellten Verlauf der beiden Zeitreihen (Periode 20.04. - 07.05.2018) anzusehen, dass der Korrelationskoeffizient keinen besonders hohen Wert aufweist. Die z.T. doch recht deutlichen Unterschiede zwischen den 1h-Werten beruhen nicht nur auf der angewandten Methodik, sondern auch darauf, dass sich die lokal gemessene Windgeschwindigkeit nur ansatzweise mit der in einem Raster von 50 x 50 km prognostizierten vergleichen lässt. Besonders deutlich wird dies für die am 30.04.2018 am Standort Aachen gemessenen Windspitzen von ca. 17m/s.

Dennoch lassen sich auch im Fall von WIND aus den Korrelationsanalysen Hinweise darauf gewinnen, welche GFS-Felder primär für die Prognoserechnungen verwendet werden und deshalb als Startparameter für weitere Optimierungen in die Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer eingetragen werden sollten.

Abschließend soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass der Umfang der zur Verfügung stehenden Datenbasis (BEO- und GFS-Daten) einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Korrelationsanalysen hat. Er ändert nicht nur die Reihenfolge der GFS-Felder mit den höchsten Korrelationskoeffizienten R, sondern auch die Größe von R. Eine verlässliche Festlegung der den Messparameter am „besten“ beschreibenden GFS-Felder erfordert also eine hinreichend große Datenbasis.



9.2 Optimierung des 1h-Prognoseprogramms

Da die 1h-Prognosen die Basis für die finalen 15Min-Prognosen darstellen, sollte Ihre Qualität besonders hoch sein. Das Programm **Optimierung** dient der Optimierung der verschiedenen Prognosestufen des 1h-Prognoseprogramms FWEF-W_Prognose, indem es unter Variation verschiedener Parameter dieses Programm aufruft und bei jeder Variation verschiedene Qualitätsparameter protokolliert. Mit dem Programm lassen sich unterschiedliche Parameter (und damit die dort implementierten Modelle, vgl. Kap. 7.4) optimieren: Der für das Gebiet oder den Standort gewählte GFS-Gitterpunkt samt seiner Ausdehnung sowie alle wesentlichen Parameter und GFS-Felder des Analogie-, Regressions- und Adaptionmodells. Alle zu variierenden Parameter befinden sich in der Steuerdatei Prognose_all.steuer sowie den spezifischen Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer (XXXX=GLOB, HELL, TEMP, WIND). Welches Modell oder welcher Parameter variiert werden sollen, kann in der Steuerdatei Optimierung.steuer vorgegeben werden. Hier lassen sich auch die Bereiche angeben, innerhalb derer die einzelnen Parameter variiert werden sollen.

Ziel der Optimierung ist es, die besten Einstellungen für das 1h-Prognoseprogramm zu finden, und in den Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer für zukünftige Prognoseläufe zu verwenden. Die Optimierung sollte so erfolgen, dass für alle Zeitstempel der verwendeten GFS-Prognosedaten und möglichst alle Prognosehorizonte (also nicht nur für die Horizonte des 1. Prognosetags) gemeinsame „beste“ Parameter gefunden werden. Da die Optimierungsläufe abhängig von der gewählten Anzahl an Parametervariationen erhebliche Zeit in Anspruch nehmen können, wird nach der ersten Parametervariation eine Abschätzung der voraussichtlichen Rechendauer ausgegeben, um den Optimierungslauf ggf. abbrechen und mit einer geringeren Anzahl an Variationen neu starten zu können.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es nie einen Satz „optimaler“ Parameter geben kann, da folgende Grundeinstellungen in der Steuerdatei Prognose_all.steuer Einfluss auf die Optimierungsergebnisse haben: APS = Anzahl Prognoseterminale/-stunden, die vorwärts gerechnet werden soll, LLZ = Länge des Lernzeitraums und APZ = Simulierte Rechenzeit (da sie den Zeitstempel der verwendeten GFS-Daten bestimmt). Zu Details des Optimierungsprogramms sei auf Kap. 14.6.2 des Anhangs verwiesen.

Da die Anzahl zu optimierender Parameter nicht unerheblich ist, wurde eine Optimierungs-Strategie entwickelt, mit deren Hilfe in vergleichsweise kurzer Zeit die „optimalen“ Einstellungen für die 4 Prognose-Parameter XXXX gefunden wurden. Nachfolgend werden einige Details der so durchgeführten umfangreichen Optimierungsläufe diskutiert. Basis für diese Läufe ist die im Juli 2018 vorliegende Datenbasis mit Beobachtungsdaten, die bis zum 12.07.2018 reichen. Auf dieser Basis konnten erste halbwegs belastbare Optimierungsrechnungen durchgeführt werden, und dies trotz der Tatsache, dass Daten für WIND für Januar 2018 nicht vorliegen und die GFS-Strahlungsfelder 50 und 51 erst ab dem 04.02.2018 belegt sind.

ANALOGIEMODELL: Wie in Kap. 7.4.1 detaillierter beschrieben, sucht das Analogiemodell als erstes Prognosemodul in den GFS-Prognosefeldern (Prediktoren) zum aktuellen Zeitpunkt ähnliche oder analoge meteorologische Zustände für den zu prognostizierenden Parameter (Prediktanden). In das Modul gehen ausschließlich GFS-Prognosefelder und keine Beobachtungswerte ein. Die in Kap. 7.1.4 exemplarisch angegebene Steuerdatei `Prognose_TEMP.steuer` weist unter dem Steuerwort `NAF` die für das Modul ausgewählten GFS-Felder aus, deren maximale Anzahl über das Steuerwort `ZAF` vorgegeben wird. In der Regel (und auch in diesem Projekt) wird im Analogiemodul nur ein GFS-Feld verarbeitet. Die Anzahl verwendeter ähnlicher Fälle wird über `AAM` vorgegeben. Zu optimierende Parameter sind neben `AAM` und `NAF` noch die Parameter `WGF` und `EFA`, auf deren Bedeutung hier nicht näher eingegangen werden soll. Insgesamt gibt es für das Analogiemodul also 4 Parameter bzw. GFS-Felder, die in das Optimierungsverfahren eingehen.

REGRESSIONSMODELL: In das zweite Modul des 1h-Prognoseprogramms („Interne Regression“) gehen neben dem Prediktanden und dessen Persistenz die unter dem Steuerwort `ZFR` eingetragenen GFS-Felder ein, deren Anzahl durch `ALM` vorgegeben wird. Zu optimierende Parameter sind also lediglich GFS-Felder.

ADAPTIONSMODELL: In das Adaptionmodell als drittes Modul des 1h-Prognoseprogramms gehen neben dem Prediktanden und drei Persistenzen die zuvor berechnete Analogie- und Regressionsprognose sowie ausgewählte GFS-Felder ein. Zu optimierende Parameter sind die unter `AFN` eingetragenen GFS-Felder, deren Anzahl durch `AFM` vorgegeben wird, sowie der unter `AKA` eingetragene Wert, der hier nicht weiter diskutiert werden soll.

GITTERPUNKT: Für alle drei Module des 1h-Prognoseprogramms kann vorgegeben werden, aus welcher Rasterzelle der 23 x 23-GFS-Archive die Werte für die verschiedenen GFS-Felder entnommen werden sollen. Über den Eintrag unter dem Steuerwort `LRG` wird dieser Gitterpunkt definiert, über die beiden weiteren Einträge unter `ARL` und `ARB` kann definiert werden, ob die Werte einer einzigen Rasterzelle oder (als Mittelwert) die mehrere Rasterzellen verwendet werden sollen. Alle Einträge unter `LRG`, `ARL` und `ARB` lassen sich optimieren. Im vorliegenden Projekt werden die Parameter `XXXX` für einen lokalen Standort (und nicht für eine größere Region) prognostiziert. Deshalb ist es nicht überraschend, dass die Optimierungsrechnungen eine Verwendung von GFS-Feldwerten für den geografisch nächsten Gitterpunkt (06,13) ergeben.

10 Prognoseläufe im Simulierten Rechenmodus

Mit den optimierten Parametern und auf der Basis der bis zum 12.07.2018 vorliegenden Beobachtungsdaten wurden Prognoseläufe im Simulierten Rechenmodus (SRM) durchgeführt (nur dann liegen die Beobachtungsdaten bereits vor und können bei grafischen Darstellungen für Vergleichszwecke verwendet werden). Einige der dabei erzielten Ergebnisse sollen in diesem Kapitel vorgestellt werden.

Alle nachfolgend dargestellten Ergebnisse basieren auf einem Prognoselauf mit folgende Einstellungen in der Steuerdatei `Prognose_all.steuer`:

- `APS=64` - Anzahl Prognosetermine|-stunden, die vorwärts gerechnet werden soll (3 Tage)
- `LLZ=233` - Länge Lernzeitraum in Tagen (für die Rechnungen lagen BEO-Daten bis zum 12.07.2018 vor)
- `APR=07.07.2018` - Simulierter Rechentag (RT)
- `APZ=07:30` - Simulierte Rechenzeit (RZ)

Mit diesen Einstellungen wurden Prognosen für den Zeitbereich 16.11.2017 – 07.07.2018 (Lernzeitraum von 233 Tagen) sowie für weitere 64 Stunden ab dem 07.07.2018, 08:00 (Prognosezeitraum) berechnet.

10.1 Prognoseergebnisse im Lernzeitraum

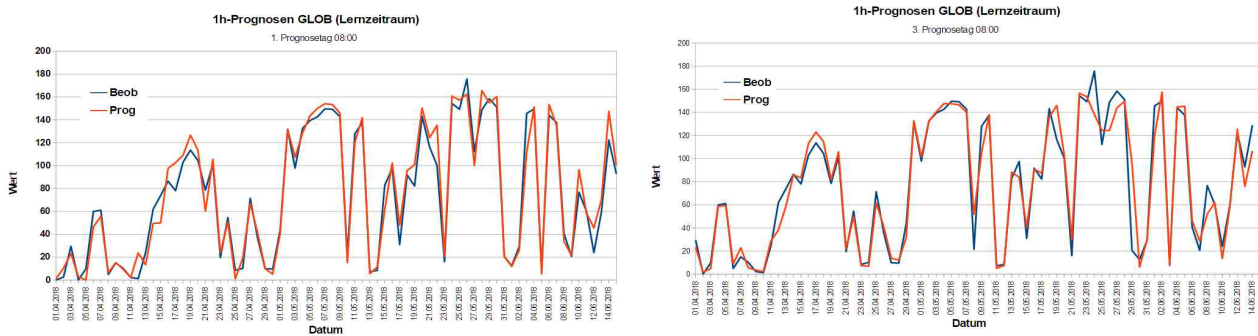
Im Lernmodus LM werden für jeden Tag des 233-tägigen Lernzeitraums und jeweils für jeden der 64 Prognosehorizonte|stunden Prognosen erstellt. Die Ergebnisse des Lernmodus stellen die Basis für Prognosen ab dem Rechenzeitpunkt 07.07.2018 08:00 (also für die Zukunft) dar. Die Güte der im LM erstellten Prognosen bestimmt im operationellen Betrieb unmittelbar die Qualität der für die Zukunft erstellten Prognosen (für die noch keine Beobachtungsdaten vorliegen).

Für die Darstellungen der im Lernzeitraum (für jeden Tag und jeden der 64 Prognosehorizonte) berechneten Prognosen wurden die für den Prognosetag `t` und die Prognosestunde `hh` erzeugten 1h-Prognosedateien `Taegl_Prog_t_hh.dat` (Verzeichnis `\exe\Prognosen`) verwendet. Nachfolgend werden einige Ergebnisse des Prognoselaufs vorgestellt, und zwar lediglich die täglich für den 1. Prognosetag 08:00 und den 3. Prognosetag 08:00 für die Größen `XXXX` erzeugten Prognosen (berechnet werden für jeden Tag des Lernzeitraums Prognosen für 64 Stunden, beginnend um 08:00 des aktuellen Tages bis zum übernächsten Tag um 23:00). Dargestellt sind für einen Ausschnitt aus dem Lernzeitraum (Periode 01.04.-

15.06.2018) jeweils die für jeden Tag berechneten Prognosen (rot) sowie die für diese Zeitpunkte vorliegenden Beobachtungswerte (blau).

10.1.1 Parameter GLOB

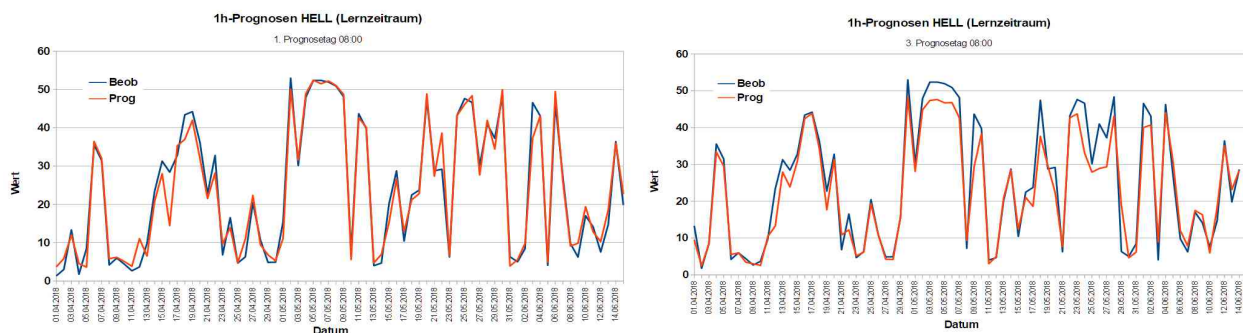
Da für GLOB wegen fehlender GFS-Daten für das GFS-Feld 50 vor dem 05.02.2018 Prognosen erst ab diesem Tag erstellt werden können, beschränkt sich der Lernzeitraum für diesen Parameter auf die Periode 05.02.-07.07.2018. Deshalb sind für GLOB (wie auch für HELL) qualitativ weniger gute Prognoseergebnisse zu erwarten. Dennoch folgen die täglich für den 1. Prognosetermin (Prognosetag 1 08:00) erstellten Prognosewerte sehr gut den für diesen Termin vorliegenden Beobachtungswerten. Selbst die für den 3. Prognosetag 08:00 erstellten Prognosen (die grundsätzlich schlechter sein müssen) sind trotz des eingeschränkten Lernzeitraums qualitativ erstaunlich gut.



Prognoseparameter GLOB: Verlauf der Beobachtungs- und Prognosewerte für die Periode 01.04.-15.06.2018 des Lernzeitraums, berechnet für den jeweils ersten (links) bzw. den dritten (rechts) Prognosetag um 08:00.

10.1.2 Parameter HELL

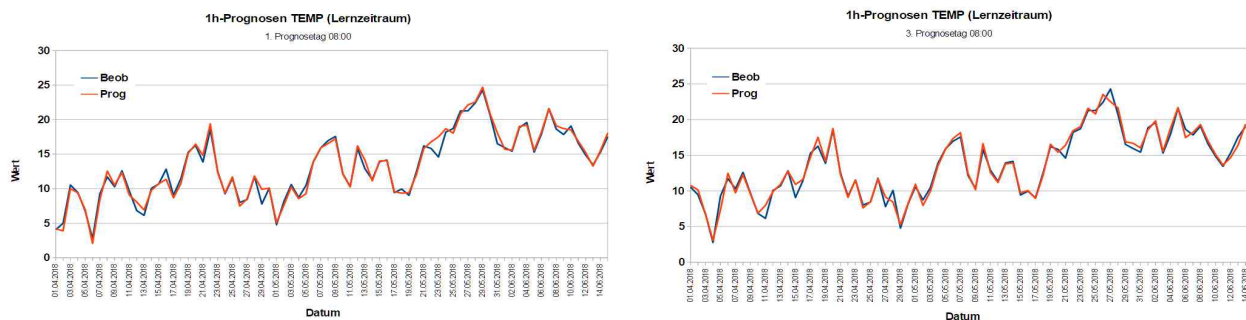
Wegen der starken Korrelationen zwischen den Parametern GLOB und HELL gelten die oben für GLOB gemachten Schlussfolgerungen grundsätzlich auch für HELL. Die täglich für den 1. Prognosetermin (Prognosetag 1 08:00) erstellten Prognosewerte folgen sehr gut den für diesen Termin vorliegenden Beobachtungswerten. Die für den 3. Prognosetag 08:00 erstellten Prognosen sind qualitativ etwas schlechter als für GLOB, aber immer noch gut.



Prognoseparameter HELL: Verlauf der Beobachtungs- und Prognosewerte für die Periode 01.04.-15.06.2018 des Lernzeitraums, berechnet für den jeweils ersten (links) bzw. den dritten (rechts) Prognosetag um 08:00.

10.1.3 Parameter TEMP

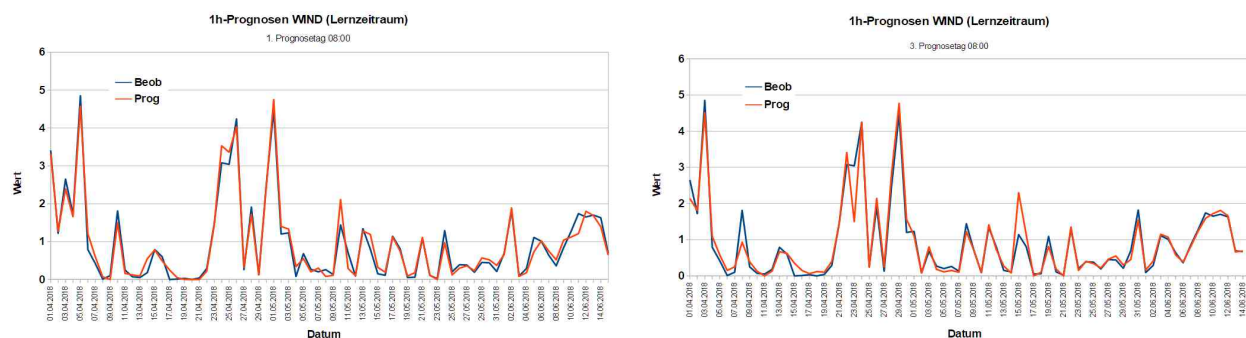
Da für TEMP alle Beobachtungswerte ab dem 19.11.2017 vorliegen und verwendet werden können, kann ein deutlich umfangreicherer Lernzeitraum von 233 Tagen für die Prognoserechnungen genutzt werden. Den Effekt spiegelt die deutlich bessere Prognosegüte für beide Prognosehorizonte wieder. Die Übereinstimmungen zwischen Beobachtungs- und Prognosewerten ist insgesamt deutlich besser als für GLOB und HELL. Auch unterscheiden sich die für den 3. Prognosetag 08:00 erstellten täglichen Prognosen qualitativ kaum von den für den 1. Prognosetag 08:00 erstellten.



Prognoseparameter TEMP: Verlauf der Beobachtungs- und Prognosewerte für die Periode 01.04.-15.06.2018 des Lernzeitraums, berechnet für den jeweils ersten (links) bzw. den dritten (rechts) Prognosetag um 08:00.

10.1.4 Parameter WIND

Die für den Prognoseparameter WIND im Lernzeitraum berechneten Prognosen sind qualitativ zwar deutlich besser als die für GLOB und HELL, doch verkürzt sich der effektiv nutzbare Lernzeitraum wegen der Datenlücke für die Periode Mitte Dezember 2017 bis Ende Januar 2018 gegenüber TEMP um etliche Tage. Trotz dieser Verkürzung liefert die Rechnung qualitativ gute Prognosen, die sich für die beiden dargestellten Prognosehorizonte qualitativ nicht gravierend unterscheiden.



Prognoseparameter WIND: Verlauf der Beobachtungs- und Prognosewerte für die Periode 01.04.-15.06.2018 des Lernzeitraums, berechnet für den jeweils ersten (links) bzw. den dritten (rechts) Prognosetag um 08:00.

10.2 Verifikationsergebnisse

In diesem Kapitel sollen die von den beiden Verifikationsprogrammen Verifikation und Verifikation_15Min im Rahmen des Prognoselaufes erzeugten Verifikationsergebnisse für die 1h- und 15Min-Prognose diskutiert werden (diese sind jeweils Teil der jeweiligen Protokolldatei). Dabei handelt es sich um den Qualitätsparameter RMSE (Root Mean Square Error, Standardabweichung) sowie den mittleren absoluten Fehler.

10.2.1 RMSE

Die beiden nachfolgenden Tabellen enthalten die statistische Auswertung aller für den Lernzeitraum 16.11.2017 - 07.07.2018 berechneten Prognoseergebnisse. Die für jede Prognosestunde bzw. Viertelstunde berechneten Prognosewerte werden dazu mit den entsprechenden Beobachtungswerten verglichen und führen zu einem RMSE, der in den beiden Tabellen getrennt für die 1h- (links) und die 15Min-Prognose (rechts) für jeden einzelnen der 4 Prognosetage sowie als Mittel über alle Prognosetage angegeben ist (Ausgabe des RMSE mit der Einstellung STG=3 in der Steuerdatei Prognose_all.steuer). Den Tabellen ist zu entnehmen, dass der einfach gemittelte RMSE für den Parameter WIND (Windgeschwindigkeit) am 1. Prognosetag 0,31 m/s (1h) bzw. 0,52 m/s (15Min) beträgt, am 3. Prognosetag 0,34 m/s (1h) bzw. 0,49 m/s (15Min). Dies führt dazu, dass die Windgeschwindigkeit im 15Min-Rythmus über 3 Tage mit einer mittleren Genauigkeit von ca. 0,49 m/s prognostiziert wird. Betrachtet man die übrigen drei Prognoseparameter, so werden diese – für die 15Min-Prognose über alle Prognosetage gemittelt – mit einer Genauigkeit von etwa 34,6 (GLOB), 6,6 (HELL; noch mit Faktor 1000 zu multiplizieren) und 1,0 °C (TEMP) prognostiziert.

1h-Prognose	15Min-Prognose
RMSE über ALLE Prognosehorizonte Prognosehorizonte 1 bis 64 (Tag 1 08:00 - Tag 3 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 24.574.761.050.32 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 34.676.451.620.33 RMSE über Prognosehorizonte des 1. Tages Prognosehorizonte 1 bis 16 (Tag 1 08:00 - Tag 1 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 28.815.621.500.31 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 35.186.552.790.31 RMSE über Prognosehorizonte des 2. Tages Prognosehorizonte 17 bis 40 (Tag 2 00:00 - Tag 2 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 23.534.550.880.31 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 35.456.680.920.31 RMSE über Prognosehorizonte des 3. Tages Prognosehorizonte 41 bis 64 (Tag 3 00:00 - Tag 3 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 22.774.390.920.34 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 33.536.130.960.34	RMSE über ALLE Prognosehorizonte Prognosehorizonte 1 bis 64 (Tag 1 08:00 - Tag 3 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 34.636.580.990.49 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 48.538.831.100.51 RMSE über Prognosehorizonte des 1. Tages Prognosehorizonte 1 bis 16 (Tag 1 08:00 - Tag 1 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 44.968.471.230.52 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 54.159.791.430.53 RMSE über Prognosehorizonte des 2. Tages Prognosehorizonte 17 bis 40 (Tag 2 00:00 - Tag 2 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 32.626.310.930.50 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 48.088.920.970.51 RMSE über Prognosehorizonte des 3. Tages Prognosehorizonte 41 bis 64 (Tag 3 00:00 - Tag 3 23:00) Einfach gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 32.116.050.960.49 Quadratisch gemittelt 01020304 GLOBHELLTEMPWIND 46.618.351.010.50

Verifikationsgröße Standardabweichung (RMSE): Ergebnisse der statistischen Auswertung der für die Periode 16.11.2017 - 07.07.2018 (Lernzeitraum) durchgeführten Prognoserechnungen für jeden einzelnen Prognosetag und als Mittel über alle Prognosetage (links: 1h-Prognose, rechts: 15Min-Prognose)

Die Unsicherheit der Prognosen sollte mit zunehmendem Prognosetag grundsätzlich anwachsen, der RMSE also immer größere Werte annehmen. Dass dies hier nicht der Fall ist, dürfte mit der immer noch zu geringen Datenbasis (insbesondere dem Umfang der Beobachtungsdaten und der dadurch definierbaren Länge des Lernzeitraums) zusammenhängen. Sobald diese größer ist, sind die im Vorfeld notwendigen Maßnahmen zur Optimierung der in die Modelle eingehenden Parameter (s. Kap. 9) erneut durchzuführen und dürften zu noch besseren Verifikationsergebnissen führen.

10.2.2 Mittlerer Absoluter Fehler

Neben dem RMSE kann der mittlere absolute Fehler (MAF) als einfach interpretierbares Kriterium für die Qualität der Prognoseergebnisse herangezogen werden (Ausgabe mit der Einstellung STG=2 in der Steuerdatei Prognose_all.steuer). Die nachfolgenden Tabellen zeigen die entspr. Ergebnisse der beiden Verifikationsprogramme.

1h-Prognose	15Min-Prognose
MitAbsFehl über ALLE Prognosehorizonte	MitAbsFehl über ALLE Prognosehorizonte
-----	-----
Prognosehorizonte 1 bis 64 (Tag 1 08:00 - Tag 3 23:00)	Prognosehorizonte 1 bis 64 (Tag 1 08:00 - Tag 3 23:00)
Einfach gemittelt	Einfach gemittelt
01 02 03 04	01 02 03 04
GLOB HELL TEMP WIND	GLOB HELL TEMP WIND
16.00 3.12 0.72 0.22	24.13 4.57 0.70 0.34
Quadratisch gemittelt	Quadratisch gemittelt
01 02 03 04	01 02 03 04
GLOB HELL TEMP WIND	GLOB HELL TEMP WIND
22.93 4.33 1.15 0.22	34.30 6.23 0.79 0.35
MitAbsFehl über Prognosehorizonte des 1. Tages	MitAbsFehl über Prognosehorizonte des 1. Tages
-----	-----
Prognosehorizonte 1 bis 16 (Tag 1 08:00 - Tag 1 23:00)	Prognosehorizonte 1 bis 16 (Tag 1 08:00 - Tag 1 23:00)
Einfach gemittelt	Einfach gemittelt
01 02 03 04	01 02 03 04
GLOB HELL TEMP WIND	GLOB HELL TEMP WIND
19.03 3.74 1.05 0.22	31.33 5.88 0.89 0.38
Quadratisch gemittelt	Quadratisch gemittelt

01 GLOB 23.60	02 HELL 4.42	03 TEMP 2.03	04 WIND 0.22	01 GLOB 38.17	02 HELL 6.87	03 TEMP 1.08	04 WIND 0.37
MitAbsFehl über Prognosehorizonte des 2. Tages				MitAbsFehl über Prognosehorizonte des 2. Tages			
Prognosehorizonte 17 bis 40 (Tag 2 00:00 - Tag 2 23:00)				Prognosehorizonte 17 bis 40 (Tag 2 00:00 - Tag 2 23:00)			
Einfach gemittelt				Einfach gemittelt			
01 GLOB 15.52	02 HELL 2.97	03 TEMP 0.60	04 WIND 0.21	01 GLOB 22.96	02 HELL 4.42	03 TEMP 0.65	04 WIND 0.34
Quadratisch gemittelt				Quadratisch gemittelt			
01 GLOB 23.65	02 HELL 4.55	03 TEMP 0.62	04 WIND 0.21	01 GLOB 34.38	02 HELL 6.38	03 TEMP 0.68	04 WIND 0.34
MitAbsFehl über Prognosehorizonte des 3. Tages				MitAbsFehl über Prognosehorizonte des 3. Tages			
Prognosehorizonte 41 bis 64 (Tag 3 00:00 - Tag 3 23:00)				Prognosehorizonte 41 bis 64 (Tag 3 00:00 - Tag 3 23:00)			
Einfach gemittelt				Einfach gemittelt			
01 GLOB 14.45	02 HELL 2.84	03 TEMP 0.61	04 WIND 0.23	01 GLOB 22.14	02 HELL 4.15	03 TEMP 0.67	04 WIND 0.34
Quadratisch gemittelt				Quadratisch gemittelt			
01 GLOB 21.72	02 HELL 4.03	03 TEMP 0.64	04 WIND 0.23	01 GLOB 32.60	02 HELL 5.82	03 TEMP 0.70	04 WIND 0.34

Verifikationsgröße Mittlerer Absoluter Fehler (MAF): Ergebnisse der statistischen Auswertung der für die Periode 16.11.2017 - 07.07.2018 (Lernzeitraum) durchgeführten Prognoserechnungen für jeden einzelnen Prognosetag und als Mittel über alle Prognosetage (links: 1h-Prognose, rechts: 15Min-Prognose)

Danach werden GLOB, HELL, TEMP und WIND - über die Prognosehorizonte aller Prognosetage gemittelt - bei der 15Min-Prognose mit einer Genauigkeit von etwa 24.1, 4.6, 0.7 °C und 0.34 m/s prognostiziert.

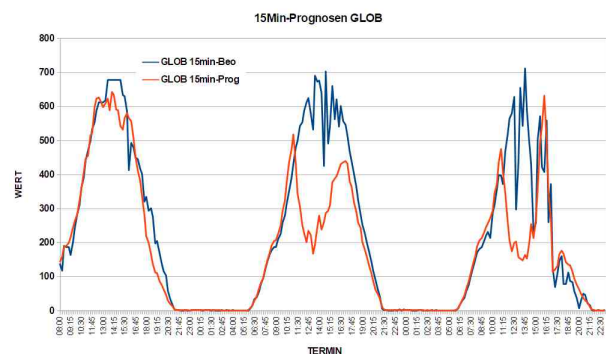
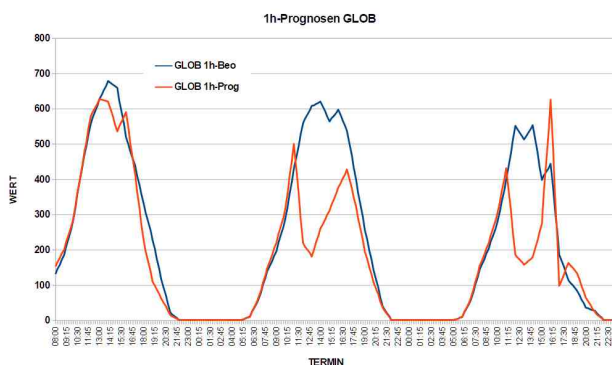
An dieser Stelle sollte darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den obigen RMSE- und MAF-Werten um mittlere Qualitätsparameter für den Lernzeitraum handelt, für bestimmte Prognosezeiten also auch deutlich größere Abweichungen von den tatsächlich gemessenen Werten auftreten können.

10.3 Vergleich von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen für jede der 4 prognostizierten Größen GLOB, HELL, TEMP und WIND den Verlauf von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum, also beginnend am 07.07.2018 um 08:00 (1. Prognosetag) bis zum 09.07.2018 um 23:00 (3. Prognosetag, 64 Stunden in der Zukunft), und zwar jeweils für die 1h- und die 15Min-Prognose (Hinweis: Im Fall der 1h-Prognose sind nicht die 1h-Werte selbst dargestellt, sondern die zu 15Min-Werten interpolierten 1h-Werte). Grundlage für die Darstellungen der Beobachtungs- und Prognosewerte sind die beiden CSV-Dateien 1h-Ergebnisse_BEOPRO_20180707_0730.csv und 15Min-Ergebnisse_BEOPRO_20180707_0730.csv (Verzeichnis Endergebnisse), die bei aktiviertem Steuerparameter ABP=j in der Steuerdatei Prognose_all.steuer von den Programmen FWEP_W_Ablauf und FWEP_W_Ablauf_15Min erzeugt werden.

10.3.1 Globalstrahlung GLOB

Die für GLOB berechneten 3-Tages-Prognosen folgen dem ausgeprägten Tagesverlauf der Beobachtungswerte mit Werten NULL in den Nachtstunden. Andererseits werden Höhe und Lage der zu den Tagesstunden gemessenen Werte z.T. nur unzureichend wiedergegeben. Dies gilt sowohl für die 1h- als auch die 15Min-Prognosen (Letztere zeigen lediglich eine höhere zeitliche Auflösung). Ein Grund für die Diskrepanzen während des Tages kann die Tatsache sein, dass GFS-Prognosedaten einer gesamten Gitterzelle von 50x50 km² zur Prognose der an einem lokalen Standort auftretenden Werte verwendet werden.



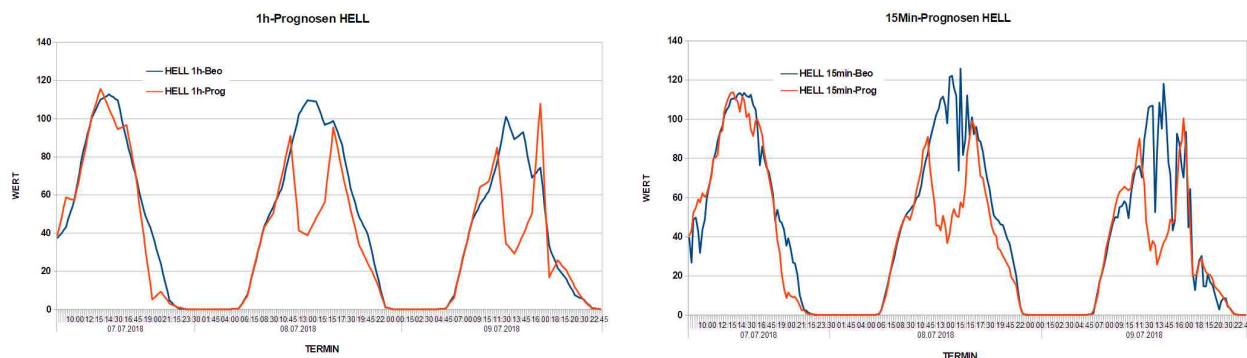
GLOB: Verlauf von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum 07.07.2018 08:00 bis 09.07.2018

23:00 (64 Prognosestunden)

Ein anderer Grund kann darin liegen, dass die für die Prognosen von GLOB momentan zur Verfügung stehende Datenbasis (effektiv nur 150 Tage, da die GFS-Daten erst ab dem 05.02.2018 vorliegen) noch deutlich zu gering ist, um eindeutige statistische Beziehungen für diesen Parameter mit seinem ausgeprägten Tagesverlauf abzuleiten. Es ist zu vermuten, dass sich die Güte der Prognosen für GLOB (und analog für HELL) erst dann deutlich verbessern wird, wenn Beobachtungs- und GFS-Daten dieses Parameters für mindestens ein gesamtes Jahr zur Verfügung stehen.

10.3.2 Helligkeit HELL

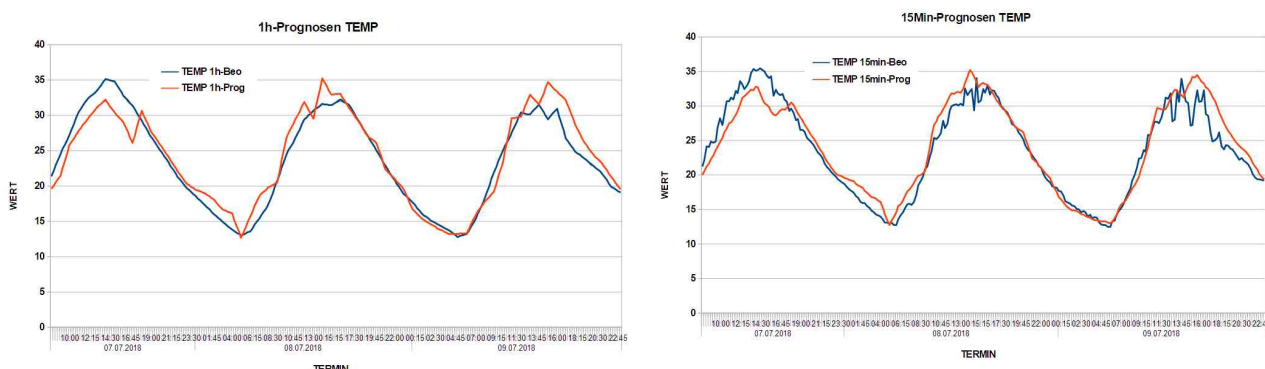
Der Verlauf der für HELL gemessenen und prognostizierten Werte ähnelt wegen der starken Korrelationen zu GLOB sehr dem für GLOB.



HELL: Verlauf von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum 07.07.2018 08:00 bis 09.07.2018 23:00 (64 Prognosestunden)

10.3.3 Temperatur TEMP

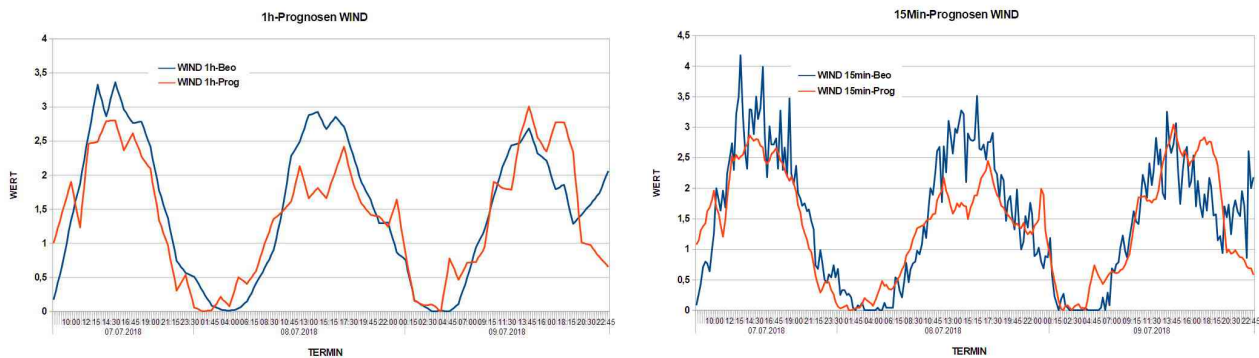
Der Tagesgang der Anfang Juli 2018 gemessenen Außentemperatur wird von den prognostizierten Werten über 3 Tage insgesamt zufriedenstellen wiedergegeben. Der Verlauf der gemessenen und zu 15Min-Werten aggregierten Temperaturen am 09.07.2018 zeigt, dass am Messort innerhalb kürzerer Zeit starke Fluktuationen auftreten, die von den auf einem globalen Modell basierenden Prognosen nicht wiedergegeben werden können und verschiedene Ursachen (wie z.B. lokale Bewölkung, die zu relativ kurzfristigen Temperaturschwankungen führt) haben können.



TEMP: Verlauf von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum 07.07.2018 08:00 bis 09.07.2018 23:00 (64 Prognosestunden)

10.3.4 Windgeschwindigkeit WIND

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die lokalen Windverhältnisse durch die prognostizierten Windgeschwindigkeiten über 3 Tage vergleichsweise gut wiedergegeben werden. Die Abweichungen zwischen beobachteten und prognostizierten Werten dürften auf lokale Effekte zurückzuführen sein. Auch ist darauf hinzuweisen, dass es sich beim Prognosezeitraum 07.-09.07.2018 um eine recht windarme Periode handelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Übereinstimmungen zwischen Beobachtungs- und Prognosewerten in einer windreicheren Periode deutlich positiver darstellen sollten.



WIND: Verlauf von Beobachtungs- und Prognosewerten für den Prognosezeitraum 07.07.2018 08:00 bis 09.07.2018 23:00 (64 Prognosestunden)

11 Prognoseläufe im Operationellen Rechenmodus

Im Operationellen Rechenmodus (ORM) werden unter Nutzung aktueller Prognose- und Beobachtungsdaten Prognosen für die Zukunft erstellt, also für einen Zeitraum nach der aktuellen Systemzeit. Vergleiche der erzielten Prognosewerte mit gemessenen Daten (wie in Kap. 10.3) sind nicht möglich, da die Beobachtungsdaten noch nicht vorliegen. Die Qualität der Prognosen lässt sich lediglich auf Basis der Verifikationsergebnisse beurteilen, die für die Tage des Lernzeitraums ermittelt werden. Wie gut die operationell erzeugten Prognosewerte zu den Beobachtungswerten „passen“, lässt sich für eine 3-Tages-Prognose erst nach diesen 3 Tagen feststellen. Im Ergebnis des ORM werden die für den Endkunden erzeugten „Prognosedateien“ (z.B. die in Kap. 7.6 genannten CSV-Dateien) auf einem FTP-Server zum Download bereit gestellt.

Auch wenn alle Vorbereitungen zur Überführung des Prognosesystems vom simulierten (SRM) in den operationellen Rechenmodus (ORM) getroffen wurden (s. Kap. 6.2), scheiterte diese Überführung an der Tatsache, dass die in Aachen gemessenen Daten dem Ersteller des Prognosesystems bis zum Zeitpunkt der Berichtslegung operationell nicht verfügbar gemacht werden konnten. Erst unter dieser Voraussetzung wäre die Lieferung aktueller Prognosen möglich gewesen. Aber auch letzte Arbeiten zur technischen Umsetzung und Feinjustierung dieses Betriebsmodus, dessen Komplexität sich deutlich von dem des SRM unterscheidet (s. dazu Kap. 8.3). Diese Arbeiten sind deshalb ebenso Teil der „Zukunftsoptionen“ (Kap. 13) wie das auf der Grundlage einer umfangreicheren Datenbasis mögliche „Feintuning“ des Prognosesystems selbst.

12 Möglichkeiten der Ergebnisverwertung

Angesichts der erzielten Prognoseergebnisse stellt sich die Frage, welche Anregungen zu deren Weiterverwendung daraus erwachsen und wie die für die Parameter GLOB, HELL, TEMP und WIND gelieferten Prognosen sinnvoll zur Gebäudeautomatisierung verwendet, also in das Steuersystem der Pilotanlage eingespeist werden könnten. Ob und in welcher Weise die Prognoseparameter zur Gebäuderegulation weiterverwendet werden, hängt von den Parametern selbst, deren grundsätzlicher Variabilität (Tagesgang) sowie ihren Beziehungen untereinander ab. Diese Beziehungen wurden mittels der nachfolgend vorgestellten Korrelationsanalysen untersucht.

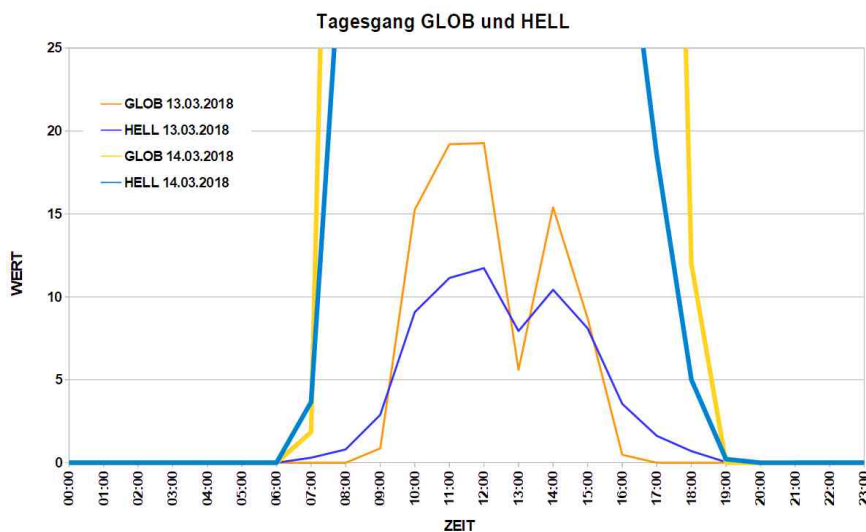
12.1 Korrelationsanalysen der Beobachtungswerte

Um herauszufinden, ob und wie stark die 4 Messgrößen voneinander abhängen (korreliert sind), wurden auf der Basis der bis zum 12.07.2018 vorliegenden Beobachtungsdaten (1h-Werte) mit dem dazu erstellten Programm **Vergleich_BEO_BEO** Korrelationsanalysen für die 4 Messgrößen GLOB, HELL, TEMP und WIND durchgeführt. Aus diesen Analysen sollte sich qualitativ ableiten lassen, ob und für welche Zwecke jede der 4 Messgrößen für die Gebäudesteuerung eingesetzt werden könnte. Auch sollte sich die Frage beantworten lassen, welche Parameter sich auf Grund fehlender oder geringer Korrelationen zu den anderen Parametern nur als Einzelparameter verwenden lassen und welche Parameter wegen hoher Korrelationen alternativ oder gemeinsam für die Steuerung einsetzbar sind.

Für die Analysen wurden die zu 1h-Werten aggregierten Beobachtungswerte verwendet, da diese auch bei den 1h-Prognosen Eingang finden. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Korrelationsanalysen wiedergegeben.

Korrelationen zwischen GLOB und HELL: 0.99
 Korrelationen zwischen GLOB und TEMP: 0.62
 Korrelationen zwischen GLOB und WIND: 0.43
 Korrelationen zwischen HELL und TEMP: 0.60
 Korrelationen zwischen HELL und WIND: 0.44
 Korrelationen zwischen TEMP und WIND: -0.01

- GLOB und HELL: Die Zeitreihen dieser beiden Parameter sind mit 0.99 fast perfekt korreliert. Grund dafür ist die Tatsache, dass beide Größen einen ausgeprägten Tagesgang zeigen mit Werten NULL während der Nachtstunden. Wie stark diese Korrelationen sind, zeigt die nachfolgende Abbildung, in welcher der Tagesgang der beiden Messgrößen exemplarisch für zwei Tage (13. und 14.03.2018) dargestellt ist. Sowohl GLOB als auch HELL zeigen zu gleichen Zeiten Werte ungleich Null, auch wenn sich die Werte für den 13.03.2018 (eher wolkenloser Tag) und den 14.03.2018 (eher wolkenloser Tag) in ihrer Größe deutlich unterscheiden. Da die Übergangsbereiche von Werten Null zu Werten ungleich Null für beide Größen zusammenfallen, können GLOB und HELL alternativ zur Gebäudesteuerung verwendet werden. Für die Temperatur- und Klimaanlagesteuerung wäre aber GLOB der eher geeignete Parameter, da seine Größe die Einstrahlung an der Fassade dominiert.



Tagesgang der Messgrößen GLOB und HELL am 13.03. und 14.03.2018

- GLOB und TEMP: Beide Größen zeigen nur mittelmäßig ausgeprägte Korrelationen, da TEMP auch zu Zeiten mit GLOB=NULL (nachts) Werte aufweist, die sich nicht immer drastisch von den am Tag gemessenen Werten unterscheiden müssen. Ein nicht vorhandener prägender Tagesgang ist damit für die Größe der Korrelation verantwortlich.
- GLOB und WIND: Vergleichsweise geringe Korrelationen zwischen beiden Parametern weisen darauf hin, dass Wind eine von GLOB wenig abhängige Größe ist, da sie auch nachts deutliche Werte annehmen kann.
- HELL und TEMP: Der gemäßigte Wert des Korrelationskoeffizienten resultiert daraus, dass HELL und TEMP wegen i.d.R. ansteigenden Temperaturen tagsüber nicht völlig unabhängig voneinander sind.
- HELL und WIND: Wegen der starken Korrelationen von GLOB und HELL gelten die gleichen Argumente wie bei GLOB und WIND.
- TEMP und WIND: Beide Größen sind praktisch unkorreliert, da Wind unabhängig von der Temperatur auftreten kann. Wind ist ein von der Außentemperatur praktisch unabhängiger Parameter.

12.2 Empfehlungen zur Verwendung der Prognosen

Aus den zuvor diskutierten, für die 4 Messgrößen durchgeführten Korrelationsanalysen sowie den in Kap. 10.3 vorgestellten ersten Prognoseergebnissen ergeben sich folgende Empfehlung hinsichtlich ihrer Eignung zur Gebäuderegelung:

GLOB: Der ausgeprägte Tagesgang der Globalstrahlung definiert für jeden Tag, ab wann und bis wann die Werte deutlich größer als Null sind. Deshalb definiert GLOB für jeden Tag des Jahres die zeitliche Periode, in der i.d.R. auch mit einer Erhöhung der Temperatur TEMP zu rechnen ist. Neben TEMP ist daher GLOB der für die Temperatur- und Klimaanlagesteuerung geeignete Parameter, da seine Größe die Energieein-

strahlung prägt. Allerdings ist nach der Diskussion in Kap. 10.3.1 darauf hinzuweisen, dass die Verwendung von GLOB wegen seines starken Tagesgangs für die Gebäudesteuerung erst dann einen Sinn machen dürfte, wenn Beobachtungs- und GFS-Daten dieses Parameters für mindestens ein gesamtes Jahr zur Verfügung stehen. Davon ist die gegenwärtige Datenbasis mit effektiv 150 Tagen noch deutlich entfernt.

HELL: Da HELL und GLOB zwei stark korrelierte Parameter sind, eignen sie sich gleichermaßen gut oder schlecht zur Temperatur- und Klimaanlagesteuerung. Allerdings ist HELL der weniger geeignete Parameter für eine vorausschauende Steuerung, da nicht die Helligkeit sondern die Einstrahlung das Temperaturregime des Gebäudes definiert.

TEMP: Prognosen der Außentemperatur dürften der wichtigste Parameter für die Steuerung der Klimaanlage oder für sonstige prognostische energetische Maßnahmen sein. Wird für den Folgetag eine deutliche Temperaturerhöhung oder Temperaturverringerung verglichen zum aktuellen Tag prognostiziert, so könnten vorausschauend Maßnahmen zur Kühlung bzw. Heizung ergriffen werden, bevor die Hitzewelle bzw. der Kälteeinbruch eintritt. Die Prognosen von TEMP sind - zusammen mit denen für GLOB für eine vorausschauende Steuerung von Temperatur und Klimaanlage geeignet.

WIND: Prognosen für die Windgeschwindigkeit eignen sich wegen nicht ausgeprägter Korrelationen zu den anderen Messgrößen nur als singulärer Steuerparameter für die Gebäudesteuerung. Da es sich um einen sehr variablen Parameter handelt (z.B. kurzfristige Änderungen auf Minutenbasis durch Windböen), können die Prognosen nur als grober Hinweis für Abschottmaßnahmen (z.B. Öffnen oder Schließen der Jalousien) dienen. Eine direkte Steuerung auf Basis von 15Min- oder 1h-Prognosewerten erscheint wenig sinnvoll. Als Anhaltspunkt für eine vorausschauende Steuerung könnten Mittelwerte der Prognosen für die nächsten Stunden herangezogen werden, die über einem vorgegebenen Schwellenwert liegen. Für die kurzfristige Steuerung sollten die vor Ort erhobenen Messwerte direkt verwendet werden, da diese der hohen Variabilität des Parameters gerecht werden. Die gemessenen Momentanwerte der Windgeschwindigkeit sollten deshalb für die Steuerung der Jalousien verwendet werden, prognostische Daten dagegen für die Planung des Schließens im Fall einer absehbar windarmen Periode.

13 Optionen für die Zukunft

Auch wenn die mit dem erstellten Prognosesystem erzielten Ergebnisse sehr vielversprechend sind, gibt es für die Autoren einige Aspekte und Optionen, mit denen sich die Prognosegüte in Zukunft wahrscheinlich noch deutlich erhöhen lässt.

DATENUMFANG

Wie mehrmals in diesem Bericht erwähnt, handelt es sich bei dem Prognosesystem um ein selbstlernendes System, dessen prognostische Aussagekraft mit dem zur Verfügung stehenden Datenbestand wächst. Dies betrifft insbesondere den nutzbaren Umfang der vor Ort gemessenen Beobachtungsdaten, der momentan lediglich ca. 8 Monate umfasst. Sobald Beobachtungsdaten für deutlich länger als ein Jahr zur Verfügung stehen, verbessert sich nicht nur das „Lernpotenzial“ des Systems, sondern auch die zur Optimierung der Eingangsparameter (s. Kap. 9) verfügbare Datenbasis.

LERNMODUS LM und SCHNELLMODUS SM

Mit zunehmender Datenbasis wachsen die für den Lernzeitraum zur Verfügung stehende Periode und damit auch die Rechenzeiten. Bereits bei der Erstellung des Prognosesystems wurde deshalb eine Option vorbereitet, mit der sich die Laufzeiten deutlich verringern lassen. Tests dieser Option sind allerdings erst mit einer Datenbasis sinnvoll, die deutlich umfassender ist als die momentan vorliegende.

ZUSÄTZLICHE PROGNOSEFELDER

Wie in Kap. 5.2 beschrieben, werden momentan 15 GFS-Primärfelder heruntergeladen und insgesamt 51 GFS-Felder archiviert und dem Prognosesystem als möglicher Input angeboten. Denkbar wäre die Verwendung von GFS-Prognosefeldern, die inhaltlich noch „näher“ an den gemessenen meteorologischen Parametern liegen. Diese könnten z.B. sein: Oberflächentemperatur, mittlere, maximale und minimale Temperatur in 2 m Höhe oder latenter Wärmefluss an der Oberfläche. Vor ihrer Verwendung im Prognosesystem müssten diese Zusatzfelder allerdings erst heruntergeladen und mit ihnen ausreichend lange zusätzliche GFS-Archive aufgebaut werden.

ALTERNATIVE PROGNOSEDATEN

Statt der kostenfrei verfügbaren GFS-Prognosedaten des NCEP, die jeweils global zur Verfügung gestellt werden und deshalb im Sinne der technischen Handhabbarkeit in ihrer räumlichen Auflösung beschränkt sein müssen, könnten als Prognosedaten z.B. auch solche des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet werden. Dafür in Frage kämen Daten der Modelle ICON oder COSMO-DE. Diese sind räumlich deutlich höher aufgelöst und werden z.T. auch in höherer zeitlicher Auflösung und Taktrate zur Verfügung gestellt.

Allerdings sind diese Daten noch immer nicht kostenfrei verfügbar und würden den Kostenrahmen deutlich erhöhen. Außerdem ist momentan nicht abzuschätzen, inwieweit räumlich und zeitlich höher aufgelösten Prognosedaten die Prognosegüte tatsächlich spürbar erhöhen würden.

24/7- BETRIEB

Gegenwärtig kann das Prognosesystem auf jedem aktuellen, mit dem Internet verbundenen Rechner betrieben werden. Der Betrieb auf einem lokalen Rechner beinhaltet aber auch stets die Gefahr, dass die in hoher Wiederholungsrate durchzuführenden Prognoserechnungen auf Grund verschiedenster Störungen unterbrochen werden oder für einen größeren Zeitraum ganz ausfallen. Gründe dafür können ein Defekt des Rechners selbst, eine Unterbrechung des Internetzugriffs (Router-Ausfall) oder sonstige lokal bedingte Störungen sein. Deshalb sollte das Prognosesystem für einen dauerhaften Betrieb auf einem Internetrechner installiert und betrieben werden, um eine fast ausfallfreie 24/7-Verfügbarkeit sicher zu stellen.

14 ANHANG – Detaillierte Beschreibung aller Programme

Im Anhang sollen alle für das Prognosesystem erstellten Programme mit ihren grundsätzlichen Funktionen, den Steuermöglichkeiten, den verwendeten Input- und erzeugten Outputdateien sowie ihren Verknüpfungen mit anderen Programmen detaillierter beschrieben werden. Auf eine vollständige Beschreibung aller Funktionalitäten und Steuermöglichkeiten wird aus Platzgründen verzichtet. Ebenso verzichtet wird auf die Beschreibung der in den Programmen implementierten Methoden und Algorithmen.

Die Reihenfolge der nachfolgend beschriebenen Programme des Prognosesystems entspricht weitgehend deren Aufruf in der Programmkette. Unter OUTPUTDATEIEN ist die von jedem Programm standardmäßig erstellte „Protokolldatei“ Proto-Dateiname.txt nicht aufgeführt. Gleiches gilt für die Haupt-Steuerdatei Prognose_all.steuer, die von allen Programmen genutzt wird. Unter STEUERDATEIEN (alle im Verzeichnis \exe\Steuer\) sind alle Dateien aufgeführt, aus denen das jeweilige Programm Informationen und/oder Einstellungen einliest. INPUTDATEIEN listet alle Dateien und Archive auf, aus denen das Programm seine Daten und sonstigen Informationen ließt.

LEGENDE

Nachfolgend werden (wenn nicht anders angegeben) durchgehend folgende Abkürzungen verwendet:

- XXXX=GLOB, HELL, TEMP und WIND
- hh=00..23 (Stunde)
- y=Prognosestag, xx=Prognosestunde, zz=Prognose-Viertelstunde

14.1 Programme zur Beschaffung & Aufbereitung der GFS-Prognosedaten

14.1.1 Programm GFS_Download_50

ZWECK: Herunterladen der globalen GFS-Prognosedateien mit Auflösung 0.5° und 41 Prognosehorizonten (120h)

DATENQUELLE: FTP-Server National Center for Environmental Prediction - NCEP; Global Forecasting System-GFS; USA; Datenverzeichnis auf Server: ftpprd.ncep.noaa.gov/pub\data\ncf\com\gfs\prod\gfs.jjjjmmddyy\ mit yy=Zeitstempel=00 06 12 18

STEUERDATEIEN

- GFS_Download_50.steuer - FTP-Steuerdatei

BENÖTIGTE ZUSATZPROGRAMME, LIBRARIES & DATEIEN

- FTPS.exe – FTP-Programm für den Daten-Download
- perl.exe – PERL-Programm für den selektiven FTP-Zugriff auf die GFS-Daten in den USA
- get_gfs_50.pl - PERL-Script zum Download von GFS-Dateien mit 0.5°-Auflösung
- curl.exe - CURL-Programm
- libeay32.dll & libssl32.dll - Libraries für CURL

Hinweis: Mit Hilfe dieser Zusatzprogramme werden nur die wirklich benötigten GFS-Parameter|Felder (und nicht die alle Parameter enthaltenen, deutlich größeren Originaldateien) heruntergeladen.

OUTPUTDATEIEN

- GFS_neu_50.txt – Datei mit Info, ob GFS-Dateien heruntergeladen wurden oder nicht (enthält j oder n)
- Steuer_50.dat - Steuerdatei mit Anfangs- und Enddatum für Nachfolgeprogramm GFS_Bearbeitung_50
- Heruntergeladene GFS-Dateien gfs.tyyz.pgrb2.0p50.fxxx mit xxx=Prognosehorizont im Tagesverzeichnis der GFS-Daten (Format Grib2)
- Hinweis: Darüber hinaus werden weitere temporäre Dateien erzeugt, die über einen Eintrag in der Steuerdatei GFS_Download_50.steuer am Programmende optional gelöscht werden.
- Die heruntergeladenen GFS-Dateien gfs.tyyz.pgrb2.0p50.fxxx enthalten globale Werte für die in Kap. 5.2 angegebenen Parameter|Felder.

LAUFZEITEN & DATENUMFANG

- Pro Datei: 4.4s (2.8 MB)
- Pro Zeitstempel (41 Dateien): 3Min (112 MB)
- Pro Tag (164 Dateien): 12Min (450 MB)

HINWEISE

- Um alle für einen Tag bereit gestellten GFS-Daten herunterzuladen, sollte das Programm alle 6h zu angepassten Zeiten aufgerufen werden
- Das Programm lädt nur die Dateien herunter, die (i) bereits|noch auf US-Server und (ii) noch nicht lokal vorliegen
- Da die GFS-Prognosedateien für jeden Tag die gleichen Namen haben, sollten sie lokal getrennt vorgehalten werden. Das Herunterladen erfolgt deshalb in eine Verzeichnisstruktur \jjj\mm\tt\

- Das Programm versucht für den aktuellen und den vorherigen Tag (Einstellung pAnzTageZurueck=01 in Steuerdatei GFS_Download_50.steuer), die Dateien für alle Zeitstempel herunterzuladen.
- In Abhängigkeit davon, ob diese Dateien bereits/noch/nicht/nicht mehr vorliegen, werden alle lokal noch nicht vorliegenden Dateien heruntergeladen. Im operationellen Fall (Programm läuft mindestens alle 6 Stunden) werden jeweils die Dateien eines Zeitstempels heruntergeladen.

14.1.2 Programm GFS_Bearbeitung_50

ZWECK: Verarbeitung der mit dem Programm GFS_Download_50 vom US-Server heruntergeladenen GFS-Dateien mit Auflösung 0.5° und Prognosehorizont 120h. Dazu werden die Rohdateien für jeden der 15 Primärparameter ausgelesen, ein hinreichend großer Ausschnitt (41x31) aus dem globalen Datensatz (720x361) entnommen und auf ein äquidistantes, ganz Deutschland überdeckendes 23x23-Gitter projiziert, aus den 15 Primärparametern weitere Sekundärparameter berechnet und die Werte für insgesamt 51 Parameter in DAF-Dateien (DAF=Direct Access File) archiviert.

STEUERDATEIEN

- GFS_neu_50.txt – Von GFS_Download_50 erzeugte Datei, die "j" enthält, wenn zuvor neue GFS-Daten heruntergeladen wurden und deshalb zu bearbeiten sind
- Steuer_50.dat – Von GFS_Download_50 erzeugte Datei mit dem zu bearbeitenden Zeitbereich (Tage)

BENÖTIGTE ZUSATZPROGRAMME

- wgrib2 – Programm zum Entpacken der GFS-Dateien (hochkomprimiertes Grib2-Format)

INPUTDATEIEN

- \Daten\konst\Aequibrla_GFS_50_23x23.dat – Geographische Koordinaten des äquidistanten 41x31-GFS-Feldes
- \FWEP-W\GFS\Daten\GFS-Daten\jjjj\mm\tt\gfs.ttyz.pgrb2.0p50.fxxx – GFS-Dateien mit 0.5° Auflösung, yy=Zeitstempel=00,06,12,18 und xxx=Prognosehorizont=000,003,006,009,...,120

OUTPUTDATEIEN

- \GFS\Daten\Aequifelder_5Tage_50\jjjj\Aequi_Prog_jjjj_23x23_xx_ii.daf – GFS-Archive mit äquidistanten 23x23-Feldern für Parameter iii=1..51, Zeitstempel xx=00,06,12,18, progdim=41 Prognosetermine (00:00,03:00,06:00 .. 120:00h = 5 Tage), Größe: jeweils ca. 31,8 MB
- Darüber hinaus werden im Rahmen des Verarbeitungsprozesses weitere temporäre Dateien erzeugt, die über einen Eintrag in der Steuerdatei GFS_Download_50.steuer am Programmende optional gelöscht werden.

LAUFZEIT

- Pro Tag (4 Zeitstempel = 204 Dateien) ca. 15Min (abh. von Internetverbindung)

BELEGUNG DER 51 GFS-ARCHIVE: Siehe hierzu Zusammenstellung in Kap. 5.2

HINWEISE

- Für jedes Jahr werden insgesamt 204 GFS-Archive erstellt und sukzessive mit den aktuellsten Werten aufgefüllt (jeweils 51 Archive pro Zeitstempel, Name: Aequi_Prog_jjjj_23x23_xx_ii.daf)
- Die für das vorliegende Projekt benötigten Archive 50 und 51 enthalten erst ab dem 04.02.2018 Werte für die neuen Parameter ShortWave und LongWave.

14.2 Programme zur Beschaffung & Aufbereitung der Beobachtungsdaten

14.2.1 Programm Download_BEO

ZWECK: Herunterladen der vom Auftraggeber operationell bereit gestellten 1Min-Beobachtungsdateien

HINWEIS: Obwohl bis zum Juli 2018 vom Auftraggeber Aachen noch keine operationellen Daten bereit gestellt wurden und die BEO-Dateien bis dahin manuell über eine passwortgeschützte Webseite der Hochschule Aachen heruntergeladen und weiterverarbeitet werden mussten, wurde das Programm zum Herunterladen dieser Dateien bereits im Vorfeld erstellt und mit dazu erstellten Testdateien erfolgreich getestet. Dazu wurde auf dem FTP-Server des CEC für den Datenaustausch mit der RWTH Aachen ein gesonderter, passwortgeschützter Bereich angelegt, auf den der Auftraggeber in regelmäßigen Abständen (von z.B. 15 Minuten) die Dateien mit den vor Ort gemessenen 1Min-Rohdaten transferieren kann. Das Programm Download_BEO überprüft das entspr. FTP-Verzeichnis dann bei jedem Prognoselauf auf neu eingetroffene Dateien und lädt sie in eine vorgegebene lokale Verzeichnisstruktur herunter.

OUTPUTDATEIEN

- Oper. Rechenmodus ORM: Heruntergeladene Dateien mit den 1Min-Rohdaten im Verzeichnis \Daten\BEO-Daten\jjjj\mm\tt\
- Sim. Rechenmodus SRM: Dateien im Verzeichnis \Daten\HistDaten\

STEUERDATEIEN

- Beob_Download_CEC.steuer – FTP-Steuerdatei

BENÖTIGTE ZUSATZPROGRAMME

- FTPS.exe – Programm für den FTP-Transfer

Im nicht-operationellen Modus wurden die folgenden 4 Dateien mit den am Messturm in Aachen gemessenen 1Min-Beobachtungsdaten heruntergeladen und im Verzeichnis \Daten\HistDaten\ gespeichert:

- Datenarchiv_ID6.csv - TEMP: Umgebungstemperatur Station
- Datenarchiv_ID7.csv - GLOB: Globalstrahlung Station
- Datenarchiv_ID8.csv - WIND: Windstärke Station
- Datenarchiv_ID9.csv - HELL: Helligkeit Station
- Bei den Messwerten handelt es sich um vor Ort erfasste Momentanwerte.
- Alle bislang bereit gestellten Dateien weisen folgendes Defizit auf: Die jeweils neu erfassten Werte werden in den Dateien lediglich ergänzt, weshalb diese immer auch alle Werte seit der ersten Datenbereitstellung enthalten.
- Die Steuerdatei Beob_Download_CEC.steuer enthält die für den FTP-Zugriff notwendigen Informationen (Name FTP-Server, Login Name, Password, Name Haupt- und Unterverzeichnis auf dem FTP-Server) sowie Steuerparameter, mit denen temporär lokal erzeugte Dateien gelöscht sowie die Dateien auf dem FTP-Server verwaltet werden können (z.B. Löschen aller Dateien, die ein vorgegebenes Alter überschritten haben).

14.2.2 Programm Lesen_BEO

ZWECK: Einlesen der historischen|operationellen 1Min-BEO-Daten (Rohdaten) und Einspeisen der neuen Werte in binäre Jahres-Speicher (DAF-Speicher)

INPUTDATEIEN

- Im nicht-operationellen Modus (SRM) werden die 4 oben genannten Dateien Datenarchiv_IDi.csv mit den historischen 1Min-Werten ausgelesen. Die Dateien besitzen ein CSV-ähnliches Format und enthalten pro Zeile jeweils 4 Einträge (der letzte Eintrag ist der Messwert):
Datum,Uhrzeit,Millisekunden,Wert
27.09.2017,14:15:57,195041,"26.3"
27.09.2017,14:17:00,164670,"27.6"
...
21.12.2017,15:08:00,833616,"8.4"
21.12.2017,15:09:00,944716,"7.9"
- Die Trennung der Spalten erfolgt durch Komma (statt Semikolon), die Messwerte (4. Wert) sind in Hochkommata eingeschlossen. Die Bereitstellung der Werte erfolgt variabel, also mal ohne, mal mit unterschiedlich vielen Nachkommastellen. Dies ist beim Einlesen der Dateien zu berücksichtigen.

OUTPUTDATEIEN

- Das Programm erzeugt die 1Min-Archive XXXX_Station.daf im Verzeichnis \Daten\Ergebnisdaten\1MinDaten\jjjj\.
- Diese Archive enthalten für jeden der 4 Parameter alle für jeden Tag des Jahres jjjj und alle 1440 Termine (Minuten) des Tages eingelesenen Werte.

STEUERDATEIEN

- BEO_Download_CEC.steuer - FTP-Steuerdatei (oper. Betrieb)

DEFIZITE & FEHLERBEHANDLUNG

Die Inputdateien enthalten gemessene Momentanwerte und müssen beim Einlesen hinsichtlich verschiedener Defizite und Fehler geprüft und korrigiert werden.

- So werden negative Werte für die Parameter 1=Globalstrahlung, 2=Helligkeit und 4=Windstärke beim Einlesen auf NULL gesetzt.
- Insbesondere zum Beginn der Datenlieferung (bis zum November 2017) sind auch die in den Dateien abgelegten Termine (Uhrzeiten) mehr oder weniger unregelmäßig und werden deshalb durch Auf- oder Abrunden auf einen festen Minutentakt gelegt.
- Darüber hinaus liegen in den 1Min-Dateien viele Lücken vor, die in den Archiven mit dem Fehlwert -999.0 belegt werden. Im Fall der Windgeschwindigkeit fehlen alle Werte für die Periode 13.12.2017 14:51 bis 31.01.2018 23:59 (also u.a. für den gesamten Januar 2018).
- Die Werte für den Parameter HELL sind extrem hoch und überschreiten z.T. 100.000. Um eine technisch störungsfreie Verarbeitung dieses Parameters sicher zu stellen, werden alle Werte beim Archivieren deshalb um den Faktor 1000 verkleinert. Dies ist bei der späteren Weiterverwertung von HELL zu berücksichtigen.

SONSTIGES

Das Programm enthält auch einige statistische Analysemethoden. So kann neben dem Minimum und Maximum der eingelesenen Werte u.a. die Anzahl an Fehlwerten, kompletten Fehltagen und vollständig belegten Tagen ausgegeben werden.

14.2.3 Programm BEO_Agg_15Min

ZWECK: Aggregation der 1Min-BEO-Werte zu 15Min-Werten (Berechnung gemittelter 15Min-Werte aus den 1Min-Werten)

AGGREGIERUNG

Die mit dem Programm Lesen_BEO eingelesenen und archivierten 1Min-Werte müssen in einer zweiten und dritten Stufe zu 15Min- bzw. 1h-Werten aggregiert werden, da das Prognosesystem nur mit solchen Werten betrieben werden kann. Im Fall der Aggregation zu 15Min-Werten sind 2 unterschiedliche Methoden implementiert, wobei sich die erste Methode als zielführender herausgestellt hat.

Methode 1

- Die 15Min-Werte werden ermittelt aus 15 1Min-Werten UM den 15Min-Termin
- Bsp.: Der 15Min-Wert für 00:30 ergibt sich als Mittelwert aus den 15 1Min-Werten 00:23..00:37
- Damit werden keine Werte doppelt verwertet, die Mittelung erfolgt ohne zeitlichen Überlapp.

Methode 2

- Die 15Min-Werte werden ermittelt aus 16 1Min-Werten VOR dem 15Min-Termin
- Bsp.: Der 15Min-Wert für 00:30 ergibt sich als Mittelwert aus den 16 1Min-Werten 00:15..00:30

INPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\1MinDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 1Min-Archive

OUTPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\15MinDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 15Min-Archive gleichen Namens

ANMERKUNGEN

Im Fall größerer Datenlücken in den 1Min-Rohdaten kann es vorkommen, dass für die Mittelwertbildung nicht alle 15 1Min-Werte zur Verfügung stehen, sondern u.U. deutlich weniger. Deshalb enthält das Programm die Möglichkeit, eine solche ungünstige Datensituation auszuweisen, indem überprüft wird, wie viele 1Min-Termine zu jedem 15Min-Termin beitragen. Im Extremfall könnte es z.B. dazu kommen, dass nur ein 1Min-Wert den 15Min-Wert definiert. Wegen der extrem kurzen Laufzeit des Programms wird dieses (im Gegensatz zur Verarbeitung der GFS-Daten) auch dann ausgeführt, wenn zuvor keine neuen BEO-Daten heruntergeladen wurden.

14.2.4 Programm BEO_Agg_1h

ZWECK: Aggregation der 15Min-Werte zu 1h-Werten (Berechnung gemittelter 1h-Werte aus den 15Min-Werten)

AGGREGIERUNG

Die mit dem Programm BEO_Agg_15Min erzeugten 15Min-Werte müssen in der dritten Stufe der Behandlung der Beobachtungsdaten zu 1h-Werten aggregiert werden, da das 1h-Prognoseprogramm diese Werte benötigt. Auch im Fall der Aggregation zu 1h-Werten sind 2 unterschiedliche Methoden implementiert, wobei wiederum die erste Methode eingesetzt wird.

Methode 1

- Die 1h-Werte werden gemittelt über jeweils 5 15-Min-Werte UM die volle Stunde
- Bsp.: 06:00-Wert wird gemittelt aus den 15Min-Werten für 05:30..06:30
- Damit werden keine Werte doppelt verwertet, die Mittelung erfolgt ohne Überlapp

Methode 2

- Die 1h-Werte werden ermittelt aus den 15Min-Werten der vorherigen Stunde
- Bsp.: 1h-Wert für 02:00 ergibt sich als Mittelwert aus den 5 15Min-Werten 01:00,01:15,01:30,01:45 und 02:00

INPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\15MinDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 15Min-Archive

OUTPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\1hDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 1h-Archive gleichen Namens

ANMERKUNGEN

Auch dieses Programm enthält die Möglichkeit festzustellen, wie viele 15Min-Werte tatsächlich für die Aggregation zu 1h-Werten verwendet werden. Wegen der extrem kurzen Laufzeit des Programms wird dieses auch dann ausgeführt, wenn zuvor keine neuen BEO-Daten heruntergeladen wurden.

14.3 Analyseprogramme

Um die für die GFS- und BEO-Daten erzeugten Archive direkt auslesen und statistisch auswerten zu können, wurden weitere Programme erstellt, die sich insbesondere bei der Überprüfung der Vollständigkeit der Archive (Fehlstellen etc.) sowie in Zusammenhang mit der Entwicklung verschiedener Programme des Prognosesystems bewährt haben.

14.3.1 Programm Aequi_Par_Ausgabe_50

ZWECK: Analyseprogramm zur Ausgabe der vom Programm GFS_Bearbeitung_50 erstellten GFS-Archive mit Auflösung 0.5° und Prognosehorizonten bis 120h. Die auszugebenden Parameter (eines oder mehrere der insgesamt 51

Felder), Jahre, Zeitstempel, Prognosehorizonte und Gitterpunkt können dabei vorgegeben werden. Darüber hinaus sind statistische Auswertungen möglich.

INPUTDATEIEN

- \GFS\Daten\Aequifelder_5Tage_50\jjjj\ - GFS-Archive Aequi_Prog_jjjj_23x23_xx_ii.daf mit 0,5° Auflösung, 5 Tage = 120 h Prognosehorizonten, Auflösung 23 x 23 Gitterpunkte, xx=Zeitstempel (00,06,12,18h) und ii=GFS-Parameter|Felder (01..51)

INTERNE STEUERMOGLICHKEITEN

- Vorgabe von Jahr(en), GFS-Feldern, Zeitstempeln, Prognosehorizonten und des Gitterpunkts im 23x23-Gitter
- Ausgabe der Werte in verschiedenen Formaten (u.a. im CSV-Format zur Übernahme in Tabellenkalkulation)
- Ausgabe statistischer Kennwerte

14.3.2 Programm Lesen_BEO_Archive

ZWECK: Ausgabe der mit den Programmen Lesen_BEO, BEO_Agg_15Min und BEO_Agg_1h erzeugten BEO-Archive mit den 1Min-Originalwerten sowie den aggregierten 15Min- und 1h-Werten

INPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\YY\jjjj*.daf - BEO-Archive mit YY=1hDaten, 15MinDaten, 1MinDaten

FUNKTIONALITÄTEN

- Optionale Ausgabe der Werte im CSV-Format (für Überprüfungen und grafische Darstellungen in Tabellenkalkulation)
- Ausgabe von Min und Max aller eingelesenen Werte
- Überprüfung von Globalstrahlung, Helligkeit und Windstärke auf negative Werte
- Ausgabe der Anzahl Fehlwerte, Anzahl kompletter Fehltage und vollständig belegter Tage
- Überprüfung der Archive auf unwahrscheinliche bzw. unmögliche Extremwerte. Dazu Vorgabe von max. und min. Wert für jeden Parameter
- Untersuchung von Sprüngen in den 1Min-Daten (Rohdaten): Wie viele Werte unterscheiden sich um wie viel vom vorherigen Wert? (Hintergrund: Wie zuverlässig sind die Rohdaten, treten innerhalb einer Minute nicht verständliche Sprünge auf?)

ERGEBNISSE

- Die 15Min-BEO-Werte sind erst ab dem 16.11.2017 brauchbar, da zuvor auch in der Nacht Werte > 0 (GLOB) bzw. zu viele Fehlwerte (TEMP) auftreten. Für WIND stehen zwar offenbar verlässliche 15Min-Werte ab dem 28.09.2017 zur Verfügung, dafür aber keine Werte für die Periode 13.12.2017-31.01.2018.
- In den meisten Fällen ändert sich die Temperatur innerhalb einer Minute nicht, die max. Temperatur-Änderung beträgt nur in wenigen Fällen zwischen 3 und 4°C (Abschattungseffekte).
- Änderungen der Windgeschwindigkeit innerhalb einer Minute sind deutlich ausgeprägter. So sind Änderungen von 1m/s deutlich häufiger als Konstanz des Wertes.

14.3.3 Programm Vergleich_BEO_BEO

ZWECK: Korrelationsanalysen für die 1h-BEO-Zeitreihen am Messpunkt Aachen. Mit dem Programm lässt sich klären, wie groß die Korrelationen zwischen den gemessenen Zeitreihen der BEO-Werte GLOB, HELL, TEMP und WIND sind.

INPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\1hDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 1h-BEO-Archive

FUNKTIONALITÄTEN

- Berechnung von Korrelationskoeffizienten zwischen den 4 Beobachtungsgrößen GLOB, HELL, TEMP und WIND
- Vorgabe des Datums im Jahr, bis zu dem die Korrelationskoeffizienten berechnet werden sollen
- Optionale Ausgabe der BEO-Werte im CSV-Format und zwei Formaten: CVStyp=1=STANDARDFORMAT (jeweils alle Werte eines Tages in einer Zeile), CVStyp=2=Ausgabe als ZEITREIHE (jeweils nur ein Wert pro Zeile)

14.3.4 Programm Vergleich_GFS_GFS

ZWECK: Korrelationsanalysen für die 51 verfügbaren GFS-Prognosefelder (0,5° Auflösung, Prognosehorizonte bis 120h). Mit diesem Programm lässt sich klären, ob und wie stark verschiedene GFS-Felder korreliert sind.

Es lassen sich Korrelationsanalysen zwischen einer beliebigen Gruppe von GFS-Feldern (Ausgangsgruppe) und anderen GFS-Feldern (Vergleichsgruppe) durchführen.

METHODIK

- Die 1h-GFS-Zeitreihen werden mit einer neu erstellten Methodik erzeugt und basieren auf reinen Prognosewerten (es handelt sich nicht um Messwerte)
- Genutzt werden GFS-Prognosewerte, die bis zu 5h vorwärts reichen
- Die 1h-GFS-Werte werden durch lineare Interpolation aus den 3h-Werten gewonnen
- Für die GFS-Parameter 47,48,50,51 werden die grundsätzlich fehlenden 3h-Werte des 1. Horizonts durch Rückwärtsinterpolation ergänzt.

FUNKTIONALITÄTEN

- Ausgabe der Original-GFS-Werte für jeden Zeitstempel im ASCII- und CSV-Format (2 verschiedene Formate)
- Ausgabe für einen beliebig vorgegebenen (z.B. einen einem Standort zugewiesenen) Gitterpunkt
- Ausgabe der erzeugten 1h-GFS-Zeitreihe im CSV-Format

INPUTDATEIEN

- \GFS\Daten\Aequifelder_5Tage_50\jjjj\Aequi_Prog_jjjj_23x23_xx_ii.daf mit xx=Zeitstempel (00,06,12,18h) und ii=Parameter=01..51 – GFS-Archive mit 0,5° Auflösung, Prognosehorizonte bis 120h, 23 x 23 Gitterpunkte. Die Archive 50 und 51 enthalten erst ab dem 04.02.2018 Werte für die Parameter ShortWave und Long-Wave.

14.4 Programme der 1h-Prognose

Zur Durchführung von 1h-Prognosen werden insgesamt 4 Programme benötigt, die in diesem Kapitel beschrieben werden. Das Kernprogramm FWEP-W_Prognose führt dabei die eigentlichen Prognoserechnungen durch. Die übrigen Programme dienen der Steuerung bzw. der Ausgabe und Verifikation der Ergebnisse.

14.4.1 Programm FWEP_W_Ablauf

ZWECK: Rahmen- oder Ablaufprogramm, das den Aufruf der für den operationellen Betrieb der 1h-Prognosen benötigten Programme steuert und u.a. Ergebnistabellen und Ergebnisdateien nach Endnutzeranforderungen erstellt

FUNKTIONALITÄTEN

- Abarbeitung mehrerer Programme entsprechend der in der Steuerdatei FWEP_W_Ablauf.steuer vorgegebenen Reihenfolge (s. Kap. 7.1.1)
- Erstellung finaler Ergebnistabellen aus Teilergebnissen der aufgerufenen Programme
- Ermittlung von Datum und Termin der letzten verfügbaren GFS-Prognose- und 1h-Beobachtungsdaten
- Optionales Öffnen der Endergebnis-Tabelle mit dem WINDOWS-Standardprogramm
- Optionales Hochladen der Prognoseergebnisse auf einen FTP-Server
- Optionaler Mail-Versand der Prognoseergebnisse

STEUERDATEIEN

- FWEP_W_Ablauf.steuer - Ablauf-Steuerdatei mit allen aufzurufenden Programmen

INPUTDATEIEN

- \Daten\Ergebnisdaten\1hDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 1h-BEO-Archive
- \GFS\Daten\Aequifelder_5Tage_50\jjjj\Aequi_Prog_jjjj_23x23_xx_ii.daf - GFS-Archive mit äquidistanten 23x23-Feldern für Parameter ii=1..51, Zeitstempel xx=00,06,12,18, progdim=41 Termine (00:00,03:00,06:00 .. 120:00h = 5 Tage)
- \exe\Prognosen\XXXX\Taegl_Prog_y_xx.dat – Prognosedateien zur Ermittlung von Prognosetagen und Prognosestunden|-horizonten
- \exe\Verifikation\Verifikation_y_xx.dat – 1h-Verifikationsdateien
- \exe\Steuer\FTP_Upload.steuer - Steuerdatei für Upload Ergebnisse auf FTP-Server (optional)
- \exe\Steuer\MailVersand.steuer bzw. MailNachricht.steuer - Steuerdatei Mailversand (optional)

OUTPUTDATEIEN (alle im Verzeichnis \exe\Endergebnisse\)

- Endergebnisse_jjjjmmdd_hhmm.dat – Tabelle mit den 1h-Prognoseergebnissen (ASCII)
- Endergebnisse_jjjjmmdd_hhmm_inter.dat – Tabelle mit den auf 15Min interpolierten 1h-Prognoseergebnissen (ASCII)
- Endkunde_1h_jjjjmmdd_hhmm.csv (CSV) – CSV-Datei mit den auf 15Min interpolierten Prognoseergebnissen (Format und Inhalt nach Kundenwunsch)
- tt.mm.jjjj.tar - Gepackte Endergebnisdateien (optional)

BENÖTIGTE EXTERNE PROGRAMME

- \exe\FTPS.exe - FTP-Programm
- \exe\gnutar.exe - TAR-Packprogramm (optional)
- \exe\blat.exe - email-Programm (optional)

HINWEIS: Die Weitergabe der auf 15Min-Werte interpolierten 1h-Prognosen über die CSV-Datei Endkunde_1h_jjjjmmdd_hhmm.csv erfolgt nur optional.

14.4.2 Programm Prognose_PAR

ZWECK: Aufruf des 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose für die zu prognostizierende Ausgabeparameter (meteorologischen Zielgrößen) XXXX, für die jeweils eigene (optimierte) Einstellungen verwendet werden. Alle Parameter werden getrennt nacheinander abgearbeitet, FWEP-W_Prognose also mehrmals hintereinander mit einer jeweils neu erstellten Steuerdatei Prognose.steuer aufgerufen

STEUERDATEIEN

- Prognose_all.steuer - Steuerdatei mit den für alle Parameter gültigen Einstellungen
- Prognose_XXXX.steuer - Steuerdatei mit spezifischen Einstellungen für die Parameter XXXX
- Prognose.steuer - Steuerdatei für Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose und Parameter XXXX
- Die Steuerdatei Prognose.steuer wird für jeden Parameter erstellt aus Prognose_all.steuer und Prognose_XXXX.steuer. Sie enthält die für jeden der 4 Parameter XXXX spezifische Einstellungen (die zuvor separat optimiert wurden).

HINWEISE

- Über den Steuerparameter ZBP in der Steuerdatei Prognose_all.steuer lässt sich angeben, für welche der 4 Prognoseparameter XXXX Prognosen erstellt werden sollen (i.d.R. alle 4).

14.4.3 Programm FWEP-W_Prognose

ZWECK: Hauptprogramm des Prognosesystems zur Durchführung von Prognoserechnungen im 1h-Takt für einen vorgegebenen Prediktanden (zu prognostizierende Größe)

FUNKTIONALITÄTEN

- Das Programm enthält die 3 Prognose-Module ANALOGIE, REGRESSION und ADAPTION, die nacheinander abgearbeitet werden.
- Hohe Modularität über separate Subroutinen für diese 3 Module, zum Einlesen der BEO- und GFS-Daten sowie für weitere Aufgaben
- Multiple Steuerbarkeit über Steuerparameter in der Steuerdatei Prognose_all.steuer
- Bei jedem neuen Lauf Löschen aller im Vorlauf für den bearbeiteten Parameter erzeugten Prognosedateien im Verzeichnis Prognosen\XXXX\ sowie Dateien des Lernmodus im Verzeichnis \LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\ (nur bei LERN=j)
- Ermittlung aller für die Zuordnung der BEO-, PERS- und GFS-Daten notwendigen Parameter nur auf der Basis der Rechenzeit und der Anzahl Prognosetermine|-stunden
- Bestimmung der für die Prognoserechnungen tatsächlich benötigten GFS-Felder. Dabei handelt es sich um all die Felder, die unter NAF (Analogie), ZFR (Regression) und AFN (Adaption) in den Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer stehen.
- Berücksichtigung & Zuordnung SO|WI-Zeit für alle Tage des Lernzeitraums
- CART ist integraler Bestandteil des Programms und als auf Jahresbasis lizenzierte static library eingebunden
- Korrekturalgorithmen für die finalen 1h-Prognosen bei KOR=j

STEUERDATEIEN

- Prognose.steuer - Steuerdatei Programm (von Prognose_PAR erstellt aus Prognose_all.steuer und Prognose_XXXX.steuer)
- LernZeitRaum.txt - Infos zu Lernzeitraum & Verifikationszeitraum (erstellt von FWEP_W_Ablauf)
- Datum_Zeitungstellung.dat - Tabelle mit Zeitumstellungen Sommer-Winter-Zeit für die Jahre bis 2023

INPUTDATEIEN

- \GFS\Daten\Aequifelder_5Tage_50\jjjj\Aequi_Prog_jjjj_23x23_xx_yy.daf - GFS-Archive mit äquidistanten 23x23 GFS-Prognosefeldern (0,5° Auflösung, Prognosen bis 5 Tage = 120h)
- \Daten\Ergebnisdaten\1hDaten\jjjj\XXXX_Station.daf - 1h-BEO-Archive (erzeugt von BEO_Agg_1h)

OUTPUTDATEIEN

- \exe\Prognosen\XXXX\Taegl_Prog_y_xx.dat - 1h-Prognosedateien. Die Prognosedateien enthalten 9 Werte: 1=Beob 2=Pers 3=Pers2 4=Pers3 5=Analog 6=Regres 7=Lang 8=Kurz 9=Cart

Im Lernmodus LM werden erzeugt (im Verzeichnis \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\):

- Aehnlichkeits_Tage_DDDD_y_xx.dat - Ähnliche Tage des Analogiemodells für Tag DDDD (optional)
- Interne_Regressions_Tage_DDDD_y_xx.dat - Ausgabe Regressions-Modell für Tag DDDD (optional)
- Koeffizienten_y_xx.dat - Regressionskoeffizienten aus dem Adaptions-Modul (optional)
- Klassifikation_y_xx.erg, Regerg_y_xx.dat, TransBin_y_xx.erg - Von CART erzeugte Dateien
- Interne_Verifikation_y_xx.dat - Dateien mit den Ergebnissen der Internen Verifikation (optional mit VER=j)

PROGNOSEDATEIEN

Das Programm erzeugt im Verzeichnis \exe\Prognosen\XXXX\ für jeden Prognosestag y und jede Prognosestunde xx die Prognosedateien Taegl_Prog_y_xx.dat. Diese Dateien enthalten Angaben zum Prognoseelement, den für die Prognose verwendeten GFS-Daten sowie dem Prognosehorizont (Prognosen erstellt für welchen Zeitpunkt in der Zukunft). Anschließend folgen für jeden Tag des Lernzeitraums der Beobachtungswert, drei Persistenzwerte sowie die für die verschiedenen Prognosemodule berechneten Prognoseergebnisse.

Als Beispiel ist nachfolgend ein Auszug der für den Parameter TEMP für den ersten Prognosestag und die Prognosestunde 23:00 erstellten Prognosedatei Taegl_Prog_1_23.dat wiedergegeben:

TEMP GFS-Daten von 00:00 Prognose fuer 14.04.2018 23:00

DATUM	Beob	Pers1	Pers2	Pers3	Analog	Regres	Lang	Kurz	Cart
18.11.2017	5.32	1.08	0.60	0.41	4.85	4.49	4.22	3.50	4.42
19.11.2017	3.15	2.91	2.82	2.80	3.86	2.65	3.06	2.68	2.56
20.11.2017	8.57	2.70	2.45	2.30	6.35	8.19	7.79	8.71	8.20
21.11.2017	8.30	9.50	9.28	9.34	7.98	9.49	8.77	9.45	9.53
22.11.2017	11.59	9.13	9.37	9.40	8.94	10.28	9.43	9.96	10.34
23.11.2017	9.93	11.89	11.56	10.97	9.70	9.71	10.74	10.58	9.75

...									
10.04.2018	9.71	12.59	11.88	11.89	10.61	11.80	11.89	11.84	11.89
11.04.2018	8.02	9.65	9.01	9.66	11.06	9.58	10.91	9.73	9.62
12.04.2018	9.53	6.83	5.47	5.18	11.72	9.09	10.78	8.76	9.12
13.04.2018	10.53	6.13	3.85	3.85	10.07	10.41	9.93	8.72	10.47
14.04.2018	13.68	10.05	8.03	8.12	11.06	9.58	11.41	10.34	9.62

Hinweis: Die für den Endkunden relevanten Prognosewerte sind jeweils die in der Spalte „Cart“ stehenden finalen Prognosen.

ANMERKUNGEN

Das 1h-Prognoseprogramm ist das bei weitem umfangreichste Programm der gesamten Programmkette und durch weitere Charakteristika gekennzeichnet, die selbst in dieser ausführlicheren Dokumentation nicht in Gänze beschrieben werden können. Nachfolgend sollen deshalb lediglich einige besondere Merkmale herausgestellt werden.

- Direkte Verwendung der 23x23-GFS-Felder mit 0,5° Auflösung und Prognosehorizonten bis zu 5 Tagen=120h
- Interpolation der 3h-GFS-Werte auf 1h-Werte direkt nach dem Einlesen der benötigten GFS-Felder aus den GFS-Archiven
- Für die GFS-Felder 47,48,50,51 fehlt für alle Zeitstempel jeweils der 3h-Wert des ersten Prognosetermins 000. Damit fehlen nach der Interpolation der 3h-Werte zu 1h-Werten alle Werte für die Horizonte 000,001,002. Deshalb werden diese fehlenden 3h-Wert künstlich ergänzt, um diese Lücken in den GFS-Zeitreihen zu schließen. Dazu werden vor der Interpolation der 3h-Werte zu 1h-Werten die 3h-Wert für den 1. Horizont (000) durch lineare "Rückwärtsinterpolation" erstellt aus den 3h-Werten für den 2. und 3. Horizont (003,006). Dabei entstehende negative Werte werden auf NULL gesetzt.

LERNMODUS (LM) und OPERATIONELLER MODUS (OM)

Prognoserechnungen lassen sich im Lernmodus (LM) und im erheblich schnelleren operationellen Modus (OM) durchführen, wobei sich beide Modi über Parameter in der Steuerdatei von außen steuern lassen. Die Geschwindigkeitserhöhung im OM gegenüber dem LM ist erheblich und erhöht sich mit der Anzahl der Prognosehorizonte. Im LM werden Informationen|Dateien weggeschrieben, die dann zur Verwendung für die Prognoserechnungen im OM verwendet werden (Verzeichnis \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\). Im OM werden keine Prognosen für den Lernzeitraum, sondern nur für den akt. Tag erstellt. Ein sinnvoller Einsatz des OM ist allerdings erst dann möglich, wenn der LM zuvor über einen hinreichend langen „Lernzeitraum“ betrieben wurde.

14.4.4 Programm CART

ZWECK: Modul des 1h-Prognoseprogramms, das als integraler Bestandteil in Form der auf Jahresbasis lizenzierten static library CART.lib eingebunden ist. CART dient mit seinem besonderen statistischen Ansatz der Verbesserung der 1h-Prognosen. Auf Einzelheiten und Methoden soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

LIZENSIERUNG

CART unterliegt einer Lizenzierung auf Jahresbasis. Zur Erstellung des Lizenzfiles CART.KEY wurde das Programm LicenseFile erstellt, das für ein vorgegebenes Jahr diese verschlüsselte Datei erstellt. Beim Einsatz des Prognosesystems wird der Endnutzer unter Verweis auf den CART-Vertrag und bei Vorliegen bestimmter Umstände darauf hingewiesen, dass die CART-Lizenz demnächst ausläuft. Nur bei Vorliegen eines aktuellen Lizenzfiles kann das Prognosesystem im vollen Umfang weiter betrieben werden.

Der Lizenzfile wird bei jedem Aufruf von CART eingelesen. Geprüft werden Name des Lizenznehmers und Lizenzjahr. Enthält der Lizenzfile den falschen Lizenznehmer, so wird CART direkt beendet. Enthält der Lizenzfile das falsche Lizenzjahr, so wird CART beendet, wenn das aktuelle Datum nach dem 14.01. des Folgejahres liegt. In den letzten 14 Tagen des aktuellen Jahres sowie den ersten 14 Tagen des neuen Jahres erfolgt ein Hinweis zum Ablauf und die Aufforderung zur Aktualisierung der Lizenz. Die Aktualisierung der Lizenz kann also (ohne Unterbrechung des operationellen Betriebs) in einem Puffer-Zeitraum von jeweils 14 Tagen um den Jahreswechsel erfolgen.

14.4.5 Programm Verifikation

ZWECK: Wertet die Prognoseergebnisse des 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose statistisch aus. Dazu werden dessen aktuellste Prognoseergebnisse eingelesen und anschließend die Verifikation über alle Werte bzw. ab einem in Prognose_all.steuer vorgebbaren Anfangsdatum durchgeführt.

STEUERDATEIEN

- LernZeitRaum.txt - Infos zu Lernzeitraum & Verifikationszeitraum (erzeugt von FWEP-W_Ablauf)

INPUTDATEIEN

- \exe\Prognosen\XXXX\Taegl_Prog_y_xx.dat - 1h-Prognosedateien (erzeugt von FWEP-W_Prognose)

OUTPUTDATEIEN

- \exe\Verifikation\Verifikation_y_xx.dat - 1h-Verifikationsdateien

Das Programm erzeugt im Verzeichnis \exe\Verifikation\ für jeden Prognosestag y und jede Prognosestunde xx die Verifikationsdateien Verifikation_y_xx.dat. Diese Dateien enthalten

- Informationen zum Rechenzeitpunkt, zur Prognosestunde, zur Verifikationsperiode und zur Anzahl der Tage aus dieser Periode, die für die statistischen Berechnungen genutzt werden konnten.
- für jeden der 4 prognostizierten Parameter GLOB, HELL, TEMP und WIND und jeden der in den Prognosedateien enthaltenen 8 Werte Pers1 .. Cart die Ergebnisse der statistischen Berechnungen durch Vergleich dieser Werte mit den Beobachtungswerten
- die Anzahl der für die Statistik verwertbaren Tage, den mittleren Fehler, den absoluten Fehler, die Standardabweichung (Root Mean Square Error RMSE), die relative Verbesserung gegenüber der Persistenz 1 sowie den Mittelwert.

Als Beispiel ist nachfolgend ein Auszug aus der für den ersten Prognosestag und die Prognosestunde 15:00 erstellte Verifikationsdatei Verifikation_1_15.dat wiedergegeben:

VERIFIKATIONSERGEBNISSE

Berechnung vom 11.05.2018,09:55
 Prognosestunde: 15:00
 Verifikationsperiode: 18.11.2017 - 14. 4.2018
 Anzahl prinzipiell verwertbarer Tage: 148

LEGENDE

- MitFehl|MitAbsFehl = mittl.|abs. Fehler gegenüber Beobachtung
- RMSE = root mean square error
- RV_Pers = Relative Verbesserung gegenüber Persistenz 1
- Mittelwert = Mittelwert

Prognose: Pers1

	01	02	03	04
	GLOB	HELL	TEMP	WIND
Tage	146	148	148	98
MitFehl	-135.27	-24.85	-4.95	-1.21
MitAbsFehl	136.37	25.29	5.07	1.54
RMSE	219.29	37.30	6.84	1.91
RV_Pers[%]	0.00	0.00	0.00	0.00
Mittelwert	7.61	4.15	2.71	1.97

....

Prognose: Cart

	01	02	03	04
	GLOB	HELL	TEMP	WIND
Tage	145	148	148	98
MitFehl	0.90	0.14	-0.25	0.00
MitAbsFehl	49.91	11.16	1.24	0.56
RMSE	73.67	15.84	1.74	0.78
RV_Pers[%]	88.71	81.96	93.55	83.25
Mittelwert	140.61	29.15	7.41	3.19

14.5 Programme der 15Min-Prognose

Zur Durchführung von 15Min-Prognosen werden insgesamt 3 Programme benötigt, die in diesem Kapitel beschrieben werden. Das Kernprogramm FWEP-W_Prognose_15Min führt dabei die eigentlichen Prognoserechnungen durch. Die übrigen Programme dienen der Steuerung bzw. der Ausgabe und Verifikation der Ergebnisse.

14.5.1 Programm FWEP_W_Ablauf_15Min

ZWECK: Rahmen- oder Ablaufprogramm, das den Aufruf der für den operationellen Betrieb der 15Min-Prognosen benötigten Programme steuert (aufgerufen aus FWEP-W_Ablauf bei VP1=j).

FUNKTIONALITÄTEN

- Sequentielle Abarbeitung der in der Steuerdatei FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer angegebenen Programme (s. Kap. 7.1.2)
- Erstellung finaler Ergebnistabellen aus Teilergebnissen der aufgerufenen Programme
- Ermittlung von Datum und Termin der letzten verfügbaren 15-Min-Beobachtungsdaten
- Optionales Öffnen der Endergebnis-Tabelle mit dem WINDOWS-Standardprogramm
- Optionales Hochladen der Prognoseergebnisse auf einen FTP-Server
- Optionales Verschicken der Prognoseergebnisse per email

STEUERDATEIEN

- FWEP_W_Ablauf_15Min.steuer - 15Min-Ablauf-Steuerdatei mit allen aufzurufenden Programmen
- LernZeitRaum.txt - Infos zu Lernzeitraum & Verifikationszeitraum (erzeugt von FWEP_W_Ablauf)
- FTP_Upload_CEC.steuer - Steuerdatei für den Upload der Prognoseergebnisse auf den CEC-FTP-Server

INPUTDATEIEN

- \exe\Prognosen\XXXX\Taegl_Prog_y_xx.dat – 1h-Prognosedateien zur Ermittlung von Prognosetagen und Prognosestunden|-horizonten
- \exe\Verifikation_15Min\Verifikation_y_xx_zz.dat – 15Min-Verifikationsdateien (erstellt von Verifikation_15Min)

OUTPUTDATEIEN (alle im Verzeichnis \exe\Endergebnisse\)

- Endergebnisse_jjjjmmdd_15Min.txt – Tabelle mit den 15Min-Endergebnissen (ASCII)
- Endkunde_15Min_jjjjmmdd_hhmm.csv – CSV-Datei mit den 15Min-Prognoseergebnissen (Format und Inhalt nach Kundenwunsch)
- 15Min-Ergebnisse_BEO_jjjjmmdd_hhmm.csv, 15Min-Ergebnisse_PRO_jjjjmmdd_hhmm.csv und 15Min-Ergebnisse_BEOPRO_jjjjmmdd_hhmm.csv – Ausgabe der BEO- und PROG-Werte im CSV-Format (optional)

BENÖTIGTE EXTERNE PROGRAMME

- \exe\FTPS.exe – FTP-Programm
- \exe\blat.exe – email-Programm (optional)

HINWEIS: In der Regel ist es die CSV-Datei Endkunde_15Min_jjjjmmdd_hhmm.csv, die als Ergebnis eines Prognoselaufes an den Endkunden weitergeleitet wird (siehe hierzu auch Anmerkung in Kap. 14.4.1).

14.5.2 Programm FWEP-W_Prognose_15Min

ZWECK: Berechnung der 15Min-Prognosen, basierend auf den Ergebnissen der zuvor berechneten 1h-Prognosen und unter Verwendung der höher aufgelösten 15Min-BEO-Werte

FUNKTIONALITÄTEN

Ziel der nachgeschalteten 15Min-Prognose ist es, die im 1h-Prognoseansatz berechneten Prognosen durch Verwendung der höher aufgelösten Werte der 15Min-BEO-Daten zeitlich höher aufzulösen und ggf. zu verbessern. Für die 15Min-Prognose kommt ein Multipler Regressionsansatz (MR) zum Einsatz, bei dem insgesamt 6 Prediktoren genutzt werden: 15Min-BEO-Wert (passend zur Prognosezeit, eingelesen aus den 15Min-BEO-Archiven), PERS1..PERS3=daraus abgeleitete Persistenzen, interpolierter 15Min-PERS1-Wert sowie interpolierter 15Min-PROG-Wert aus dem 1h-Lauf (jeweils aus 1h-Prognosedateien).

STEUERDATEIEN

- LernZeitRaum.txt – Infos zu Lernzeitraum & Verifikationszeitraum (erstellt von FWEP_W_Ablauf)

INPUTDATEIEN

- \Prognosen\XXXX\Taegl_Prog_y_xx.dat – 1h-Prognoseergebnisse des letzten 1h-Prognose-Laufs
- \Daten\Ergebnisdaten\15MinDaten\jjjj\XXXX_Station.daf – 15Min-BEO-Archive

OUTPUTDATEIEN

- \exe\Prognosen_15Min\XXXX\Taegl_Prog_y_xx_zz.dat – 15Min-Prognosedateien

Im Lernmodus LM werden erzeugt (im Verzeichnis \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\):

- \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\Interne_Verifikation_15Min_y_xx_zz.dat – Interne Verifikationsdateien (optional)
- \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\RegKoeff_y_xx_zz.dat – Regressionskoeffizienten (erstellt im LM, eingelesen im OM) (optional)

PROGNOSEDATEIEN

Das Programm erzeugt Prognosedateien, die in ihrem Aufbau denen der 1h-Prognose ähneln sind (vgl. Kap. 14.4.3). Im Verzeichnis \exe\Prognosen_15Min\XXXX\ werden für jeden Prognosetag y, jede Prognosestunde xx und jede Viertelstunde zz die Prognosedateien Taegl_Prog_y_xx_zz.dat abgelegt. Diese Dateien enthalten Angaben zum Prognoseelement, den für die Prognose verwendeten GFS-Daten sowie dem Prognosehorizont. Anschließend folgen für jeden Tag des Lernzeitraums der Beobachtungswert, drei Persistenzwerte sowie die für die verschiedenen Prognosemodule berechneten Prognoseergebnisse.

Als Beispiel sei nachfolgend ein Auszug der für den Parameter TEMP für den ersten Prognosetag und die Prognosestunde 10:30 erstellten Prognosedatei Taegl_Prog_1_10_30.dat wiedergegeben:

TEMP GFS-Daten von 00:00 Prognose fuer 14.04.2018 10:30

DATUM	Beob	Pers1	Pers2	Pers3	Analog	Regres	Lang	Kurz	Cart
18.11.2017	3.20	1.74	1.43	1.04	4.44	3.17	3.55	4.05	3.41
19.11.2017	5.16	3.20	2.63	2.90	5.10	4.39	4.89	4.10	4.97
20.11.2017	3.70	2.70	2.70	2.70	2.69	3.71	3.53	4.43	3.30
21.11.2017	9.50	9.50	9.50	9.50	8.92	11.69	10.42	9.59	10.13
...									
11.04.2018	9.58	9.70	9.70	9.82	12.60	11.25	10.68	9.41	11.00
12.04.2018	10.50	7.40	7.28	6.90	12.67	12.49	12.38	11.54	11.88
13.04.2018	14.30	7.83	7.02	6.03	12.57	12.53	14.39	12.18	15.06
14.04.2018	21.83	12.01	11.04	9.62	12.37	12.77	13.13	10.93	15.03

Hinweis: Die für den Endkunden relevanten Prognosewerte sind auch hier die in der Spalte „Cart“ stehenden Prognosen, die mit diesem Programm neu berechnet werden.

14.5.3 Programm Verifikation_15Min

ZWECK: Wertet die Prognoseergebnisse des 15Min-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose_15Min statistisch aus. Dazu werden dessen neueste Prognoseergebnisse eingelesen und anschließend die Verifikation über alle Werte bzw. ab einem in Prognose_all.steuer vorgebbaren Anfangsdatum durchgeführt.

STEUERDATEIEN

- LernZeitRaum.txt - Infos zu Lernzeitraum & Verifikationszeitraum (erzeugt von FWEP_W_Ablauf)

INPUTDATEIEN

- \exe\Prognosen_15Min\XXXX\Taegl_Prog_y_xx_zz.dat - 15Min-Prognoseergebnisse (erzeugt von FWEP-W_Prognose_15Min)

OUTPUTDATEIEN

- \exe\Verifikation_15Min\Verifikation_y_xx_zz.dat - 15Min-Verifikationsdateien

Die vom Programm für jeden Prognosetag y, jede Prognosestunde xx und jede Viertelstunde zz erzeugten Verifikationsdateien sind analog zu den der 1h-Verifikation aufgebaut und enthalten vergleichbare Informationen – allerdings für jede Viertelstunde des Prognoselaufs (siehe hierzu Kap.14.4.5).

14.6 Programme zur Optimierung des Prognosesystems

Das Prognosesystem wird durch die vor Ort gemessenen Beobachtungsdaten und eine Vielzahl von GFS-Feldern angetrieben, die über Steuerdateien vorgegeben und damit auch optimiert werden können. Ziel der Optimierung ist es, den optimalen Parametersatz für jedes der 4 zu prognostizierenden Prognoseelemente XXXX zu bestimmen. Nachfolgend werden zwei Programme beschrieben, mit denen die Parameteroptimierung durchgeführt werden kann.

14.6.1 Programm Vergleich_BEO_GFS

ZWECK: Vergleich der 1h-BEO-Zeitreihen am Messpunkt Aachen mit den 1h-GFS-Werten verschiedener GFS-Prognosefelder (0,5° Auflösung, Prognosehorizonte bis 120h), die diesem Standort zugewiesen werden

Durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen einem der vier gemessenen Beobachtungswerten und allen 51 GFS-Parametern lassen sich schnell alle für den BEO-Parameter relevanten GFS-Felder identifizieren. Die Ergebnisse der so durchgeführten Korrelationsanalysen haben große Bedeutung in Zusammenhang mit der Optimierung des Prognosesystems, also der Frage, welche GFS-Felder potenziell für die Prognose dieser Messgrößen in Frage kommen könnten (s. Kap. 9).

Mit diesem Programm lassen sich folgende Fragen klären:

- Wie groß sind die Korrelationen zwischen den gemessenen BEO-Werten XXXX und verschiedenen GFS-Feldern?
- Welche GFS-Parameter eignen sich prinzipiell für die 1h-Prognosen der Messgrößen XXXX?
- Welcher dem Standort zugeordnete Gitterpunkt ist für welchen BEO-Parameter der "beste"

INPUTDATEIEN

- GFS-Archive für insgesamt 51 GFS-Parameter|Felder im Verzeichnis \GFS\Daten\Aequifelder_5Tage_50\ (0,5° Auflösung, Prognosehorizonte bis 120h, erstellt von GFS_Bearbeitung_50 - Siehe Kap. 5.2)
- 1h-BEO-Archive im Verzeichnis \Daten\Ergebnisdaten\1hDaten\jjjj\XXXX_Station.daf – 1h-Archive (erzeugt von BEO_Agg_1h)

HINWEISE

Die Erzeugung einer 1h-GFS-Zeitreihe für den gewählten Standort Aachen mit Werten für 24 Stunden ist nicht trivial, da alle 6 Stunden neue GFS-Werte im 3h-Takt vorliegen und die 1h-GFS-Werte durch Interpolation von 3h-Werten gewonnen werden müssen. Außerdem handelt es sich um reine Prognosedaten, die deshalb nur eingeschränkt für einen Vergleich mit Beobachtungsdaten herangezogen werden können. Da die Werte für den 1. Prognosehorizont der Realität jeweils am nächsten kommen, werden von den interpolierten 1h-Werten zur Erzeugung der GFS-Zeitreihen folgende verwendet:

Zeitstempel 00: Werte 1..6 = 000..005 - Stunden 00:00 bis 05:00
 Zeitstempel 06: Werte 1..6 = 000..005 - Stunden 06:00 bis 11:00
 Zeitstempel 12: Werte 1..6 = 000..005 - Stunden 12:00 bis 17:00
 Zeitstempel 18: Werte 1..6 = 000..005 - Stunden 18:00 bis 23:00

Die Temperatur-Felder 05, 06, 20 und 46 werden für den Vergleich mit den BEO-Werten jeweils in °C umgerechnet.

HINWEISE zur Genauigkeit des Vergleichs

- Die Messwerte für die BEO-Parameter GLOB, HELL, TEMP, WIND werden am Standort Aachen mit einer eher einfachen Messapparatur erhoben
- Die lückenhaft erhobenen 1Min-BEO-Daten führen bei der Aggregation zu teilweise ungenauen 15Min- und 1h-Werten

- Der Datenumfang ist immer noch vergleichsweise gering: Die Daten beginnen frühestens am 27.09.2017 und reichen maximal bis zum akt. Tag. Für den Parameter WIND fehlen die Daten für die Periode 14.12.2017-31.01.2018 völlig.
- Die GFS-Zeitreihen werden mit einer neu erstellten Methodik erzeugt und basieren auf reinen Prognosewerten
- Die 1h-GFS-Werte werden durch lineare Interpolation aus den originären 3h-Werten gewonnen
- Die GFS-Zeitreihen nutzen GFS-Prognosewerte, die bis zu 5h vorwärts reichen (es handelt sich nicht um "Messwerte")
- Für die GFS-Parameter 47, 48, 50, 51 werden die grundsätzlich fehlenden 3h-Werte des 1. Horizonts durch Rückwärtsinterpolation ergänzt
- Die GFS-Archive für die Parameter 50 und 51 enthalten erst ab dem 04.02.2018 Werte für die neuen Felder ShortWave und LongWave.

Die Korrelationsanalysen liefern die GFS-Felder mit den höchsten Korrelationen zu den Beobachtungswerten XXXX (s. Kap. 9.1). Diese Felder werden als Initialwerte in den Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer für die eigentliche Parameteroptimierung verwendet.

14.6.2 Programm Optimierung

ZWECK: Optimierung der verschiedenen Prognosestufen des 1h-Prognoseprogramms FWEP-W_Prognose

HINTERGRUND

Die 1h-Prognosen stellen die Basis für die anschließenden 15Min-Prognosen dar. Ihre Qualität sollte deshalb möglichst hoch sein. Das Programm Optimierung dient genau diesem Zweck, indem es unter Variation von Parametern das 1h-Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose aufruft und bei jeder Variation verschiedene Qualitätsparameter protokolliert.

Mit dem Programm lassen sich auf diese Weise die Parameter des 1h-Prognoseprogramms (und damit die dort implementierten Modelle) optimieren: Der für das Modellgebiet gewählte GFS-Gitterpunkt samt Ausdehnung, sowie das Analogiemodell, Regressions- und Adaptionsmodell. Alle zu variierenden Parameter befinden sich in der Steuerdatei Prognose_all.steuer sowie in den spezifischen Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer. Welches Modell oder welcher Parameter variiert werden sollen, kann in der Steuerdatei Optimierung.steuer vorgegeben werden. Hier lassen sich auch die Bereiche angeben, innerhalb derer die einzelnen Parameter variiert werden sollen. Ziel der Optimierung ist es, die besten Parameter für die Steuerdateien Prognose_XXXX.steuer zu finden und für zukünftige Prognoseläufe zu verwenden. Die Optimierung sollte so erfolgen, dass die besten Parameter für alle GFS-Zeitstempel und möglichst viele Prognosehorizonte (also nicht nur für den 1. Prognosetag) gefunden werden.

STEUERDATEIEN

- Optimierung.steuer - Steuerdatei für dieses Programm
- Prognose_all.steuer - Steuerdatei Projekt mit allg. Parametern
- Prognose_XXXX.steuer - Steuerdateien mit spezifischen Parametern für die Messgrößen XXXX
- Prognose.steuer - Arbeitskopie der (zusammengesetzten) Steuerdatei
- Prognose_all.steuer-orig - Backup der Steuerdatei (um am Ende den Originalzustand von Prognose_all.steuer wieder herzustellen)

INPUTDATEIEN

- \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\Interne_Verifikation_1h_y_xx.dat - Interne Verifikationsdateien (erzeugt von FWEP-W_Prognose bei VER=j)

OUTPUTDATEIEN (im Verzeichnis \exe\OPTIMIERUNG\XXXX\)

- typBez_y_xx.txt mit y=Prognosetag und xx=Prognosestunde und typBez = ANALOGIEOPTIMIERUNG, REGRESSIONSOPTIMIERUNG, GITTERPUNKTOPTIMIERUNG, ADAPTIONSOPTIMIERUNG - Optimierungsdateien
- typBez_Zusammenfassung.txt - Zusammengefasste Optimierungsergebnisse samt weiterer Informationen

Über die nachfolgend wiedergegebene Steuerdatei Optimierung.steuer wird vorgegeben, für welchen Parameter XXXX Optimierungsrechnungen durchgeführt werden sollen, welches Modul des 1h-Prognoseprogramms optimiert und in welchen Bereichen und Schritten verschiedene Parameter (z.B. GFS-Felder) variiert werden sollen.

```
#Steuerdatei für Optimierungsprogramm Optimierung

# - Alle Zeilen mit # oder BLANK am Anfang werden als Kommentarzeilen interpretiert und überlesen
# - Zeilen, aus denen Werte eingelesen werden, beginnen mit einem Steuerwort aus 3 bzw. 4 Zeichen
# - Diesem folgt ein Leerzeichen sowie der oder die einzulesenden Parameter
# - Die Reihenfolge der Parameter-Zeilen ist beliebig
# - Bei den Prediktoren handelt es sich um die Nummern der GFS-Felder. Hier können jeweils Bereiche angegeben werden.
# - Andere Parameter können in Schritten von einem Anfangs- bis zu einem Endwert geändert werden.

#PROGNOSEPARAMETER
#01=GLOB
#02=HELL
#03=TEMP
#04=WIND

#Allg. Steuerparameter Optimierungsprogramm -----
PAR 01 !PARAMETER, der optimiert werden soll (parA) [I2]
LOE j !Alte Optimierungsdateien löschen? (loeschen) [j oder n]
#TYP ANALOGIEOPTIMIERUNG !Optimierungstyp [max. A30]
#TYP REGRESSIONSOPTIMIERUNG !Optimierungstyp [max. A30]
#TYP ADAPTIONSOPTIMIERUNG !Optimierungstyp [max. A30]
#TYP GITTERPUNKTOPTIMIERUNG !Optimierungstyp [max. A30]
```

```

#Relevante GFS-Felder (max. 51; nur diese werden nachfolgend variiert) [I2] -----
RPR 03,04,05,06,09,10,12,13,14,17,18,19,20,21,22,23,24,27,30,35,36,37,39,43,44,45,46,49,50,51

#ANALOGIEOPTIMIERUNG -----
NAF 50,50      !Bereich der zur Analogiesuche verwendeten GFS-Felder (predana) [I2,I2]
WGF 0.01,0.02,0.01 !Bereich Wichtung der zur Analogiesuche verwendeten GFS-Felder (wichtgrad) [3F4.2]
AAM 10,15,05    !Anzahl verwendeter ähnlicher Fälle in ANALOGIE (anzaehnverw) [I2,I2,I2]
EFA 4,4,1       !Einschränkung des Analogiegebietes - 1=Gesamtfeld, 5=Zentraler Mittelpunkt (zentr) [I1,I1,I1]

#REGRESSIONSOPTIMIERUNG -----
ZFR1 50,51     !1. Bereich der für die Regression verwendeten Felder [I2,I2]
ZFR2 45,49     !2. Bereich der für die Regression verwendeten Felder [I2,I2]
ZFR3 13,13     !3. Bereich der für die Regression verwendeten Felder [I2,I2]

#ADAPTIONSSOPTIMIERUNG -----
AFN1 50,50     !1. Bereich der für die Adaption verwendeten Felder (predada) [I2,I2]
AFN2 13,13     !2. Bereich der für die Adaption verwendeten Felder (predada) [I2,I2]
AFN3 22,22     !3. Bereich der für die Adaption verwendeten Felder (predada) [I2,I2]
AFN4 17,17     !4. Bereich der für die Adaption verwendeten Felder (predada) [I2,I2]
AKA 05,40,05   !Anzahl Fälle die für Kurzzeitadaption verwendet werden (kurzzeitadaption) [I2,I2,I2]

#GITTERPUNKTSOPTIMIERUNG -----
LRG 05,07,12,14 !Lage Gitterpunkt im 23x23-GFS-Feld (imerk1,imerk2,jmerk1,jmerk2) Bsp 11,13,11,13 [I2,I2,I2,I2]
ARL 0,1         !Ausdehnung Raster "Länge" (git_ext_laenge) 0=zentraler Gitterpunkt,1=3-Raster,2=5 Raster [I1,I1]
ARB 0,1         !Ausdehnung Raster "Breite" (git_ext_breite) 0=zentraler Gitterpunkt,1=3-Raster,2=5 Raster [I1,I1]

```

GRUNDLEGENDE FUNKTIONSWEISE

Aus der Steuerdatei Optimierung.steuer werden eingelesen

- der zu optimierende Parameter XXXX= 01..04= GLOB, HELL, TEMP oder WIND
- die Steuergröße LOE, mit dem alle alten Optimierungsdateien im Verzeichnis \exe\OPTIMIERUNG\ gelöscht werden
- Der Optimierungstyp TYP, mit dem der Typ der Optimierung festgelegt wird
- Für die Prognoserechnungen relevante GFS-Parameter RPR (statt aller 51 werden dann diese variiert)

Erstellung der Steuerdatei Prognose.steuer für das 1h-Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose

- Zu Beginn wird eine Kopie der Original-Steuerdatei Prognose_all.steuer erstellt (Prognose_all.steuer-orig), um nach den Optimierungsläufen Prognoserechnungen mit den zuvor gewählten Einstellungen durchführen zu können.
- In der Steuerdatei Prognose_all.steuer wird der Parameter EPA für den ausgewählten Parameter XXXX gesetzt, die Interne Verifikation von FWEP-W_Prognose eingeschaltet und der Parameter LER auf j gesetzt (FWEP-W_Prognose muss im Lernmodus LM laufen).
- Die Steuerdatei Prognose.steuer für XXXX wird aus den beiden Steuerdateien Prognose_all.steuer und Prognose_XXXX.steuer erstellt.

Aufruf von einer der 4 Optimierungsroutinen zur Variation von Parametern des Analogie-, Regressions- oder Adaptionsmodells sowie des Gitterpunkts und seiner Ausdehnung. In den Routinen werden folgende Operationen durchgeführt:

- Einlesen von Parametern aus der Steuerdatei Optimierung.steuer
- Je nach Optimierungstyp werden Bereiche für die Parameter gelesen, die variiert werden sollen
- Aus den eingelesenen Parameter-Bereichen wird die Anzahl der Parameter-Variationen berechnet (unter Berücksichtigung nur der relevanten GFS-Parameter)
- Prognoseläufe über alle zu variierenden Parameter werden gestartet.
- Nach der 1. Variation wird die voraussichtliche Rechenzeit ausgegeben
- Bei jeder Variation werden die zu variierenden Parameter in die Steuerdatei Prognose.steuer geschrieben und anschließend das Prognoseprogramm FWEP-W_Prognose gestartet. Dabei wird die Bildschirm-Ausgabe von FWEP-W_Prognose unterdrückt (falls DET=j)
- Die bei eingeschalteter Internen Verifikation von FWEP-W_Prognose erzeugten Dateien \exe\LERNMODUS\Stunde_hh\XXXX\Interne_Verifikation_1h_y_xx.dat werden für alle Horizonte ausgelesen und zusammen mit dem aktuellen Parametersatz ausgegeben
- Anschließend erfolgt eine Ausgabe der Optimierungsergebnisse getrennt nach Prognosehorizonten (Prognose-tagen und Prognosestunden) sowie absteigend sortiert nach den für den Optimierungstyp gewählten RV-Werten („Relative Verbesserung“)
- Am Ende wird der Originalzustand der Steuerdatei Prognose_all.steuer wieder hergestellt

BESONDERE FUNKTIONALITÄTEN

- Über die Anzahl der durchzurechnenden Variationen und die Rechenzeit für die erste Variation wird die voraussichtliche Rechendauer berechnet und zu Beginn des Optimierungslaufes ausgegeben (um den Optimierungslauf ggf. abbrechen zu können)
- Welche Prognoseergebnisse von FWEP-W_Prognose ausgewertet (und nach dem RV-Wert sortiert) werden sollen, kann intern vorgegeben werden.

RANDBEDINGUNGEN der Optimierung

Folgende Grundeinstellungen (in den Steuerdateien Prognose_all.steuer bzw. Optimierung.steuer) haben Einfluss auf die Optimierungsergebnisse:

- APS = Anzahl Prognosetermine|-stunden, die vorwärts gerechnet werden soll
- LLZ = Länge Lernzeitraum
- APZ = Simulierte Rechenzeit (da sie den Zeitstempel der verwendeten GFS-Daten bestimmt)
- RPR = Relevante GFS-Parameter, die für die Optimierung freigegeben werden

LAUFZEITEN

Diese können je nach gewähltem Optimierungstyp und dem gewählten Bereich der zu variierenden Parameter u.U. erheblich sein. Deshalb ist eine Optimierungsstrategie zu entwickeln, die in möglichst kurzer Zeit zu verlässlichen Ergebnissen führt.