

Datenassimilation: Aktueller Stand, neue Wege und Anforderungen ZV Leipzig: Workshop

A. Ziemann, R. Faulwetter

Leipziger Institut für Meteorologie (LIM) der Universität Leipzig

Am 8. Juni 2006 fand in Leipzig ein Workshop zur Datenassimilation statt. In zwei Übersichtsvorträgen (Chr. Schraff, DWD; H. Elbern, RIU Köln) und vier weiteren Kurzvorträgen wurden die Grundlagen und die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Datenassimilation für numerische Atmosphärenmodelle vorgestellt. Folgende Themenbereiche wurden diskutiert: Datenassimilation im Meteorologiestudium, Entwicklung der Datenerfassung, Assimilationsverfahren für meteorologische und chemische Daten, operationelle Datenassimilation von Fernerkundungssystemen, Bereitstellung von Wasserdampfdaten durch GPS-Tomographie, Datenassimilation für Modelle der mittleren Atmosphäre. Eine Zusammenfassung der Kurzvorträge ist im folgenden aufgeführt.

Meteorologische Datenerfassung - gestern und heute

S. Schienbein,

Leipziger Institut für Meteorologie (LIM) der Universität Leipzig

Vor der Datenassimilation steht die Datenerfassung und für einen betagten Meteorologen ist die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Datenerfassung besonders interessant. Im Vortrag wird auf die Erfassung der verschiedenen Messgrößen und deren Erfassungsort eingegangen.

Die ursprüngliche Aufzeichnung in handschriftlicher Form ist der automatischen Datenerfassung mit maschinenlesbaren Dateien gewichen. Die Datenmengen haben sich insbesondere seit der Beobachtung von Satelliten aus sehr stark vergrößert. Es sind die unterschiedlichsten Datenkollektive entstanden. Einige Größen werden in speziellen Messnetzen beobachtet. Eine Koordination der unterschiedlichsten Quellen ist erforderlich. Dabei stellt sich heraus, dass bei der Beobachtung gleicher Messgrößen mit verschiedenen Methoden unterschiedliche Qualitäten für Genauigkeit und Repräsentation bestehen. Eine Vielzahl von Daten aus indirekten Messmethoden müssen durch solche mit direkten gestützt werden. Ein gutes Beispiel liefert der Radarverbund im Deutschen Wetterdienst. Hier werden die Radarechos mit ermittelten Daten von Beobachtungsstationen gestützt und die Darstellungen erreichen damit für den Nutzer eine hohe Aussagekraft.

Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen aus den Strahlungsbeobachtungen vom Weltraum aus. Auch hier werden die optischen Ergebnisse unter Verwendung der direkt mit Radiosonden ermittelten Werte gestützt und sind dadurch für die verschiedensten Aussagen gut geeignet. Dabei muss die Erhöhung der Datendichte aus dem Weltraum gekoppelt werden mit der Verbesserung der Beobachtungsdaten an den meteorologischen Stationen.

Als Beispiel für die Verringerung des Strahlungsfehlers dient der Vergleich der gebräuchlichen Wetterhütten für die Erfassung der Lufttemperatur in 2 m Höhe. Die lange Zeit verwendeten "englischen Wetterhütten" in Holzbauweise und auch kleine Hütten ohne zusätzliche Ventilation haben einen erheblichen Strahlungsfehler. Dieser konnte mit den am Institut für Meteorologie in Leipzig gebauten Hütten mit Ventilation und doppeltem Strahlungsschutz entsprechend dem Aspirationspsychrometer nach Assmann auf unter 0,1 K minimiert werden.

Einführung in die Datenassimilation

Chr. Schraff

Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach

Die numerische Wettervorhersage (NWV) ist ein stark unterdeterminiertes Anfangswertproblem. Die Aufgaben der Datenassimilation zur Erzeugung der Anfangsbedingung einer Vorhersage mit Hilfe von meteorologischen Beobachtungen sind (1) die Lösung des Problems der Underdeterminiertheit, (2) die Projektion des Beobachtungsraums (z.B. Satellitenstrahlrichtungen) in den Modellraum (z.B. Temperatur an den Modellgitterpunkten), sowie (3) die Filterung der relevanten Information aus den Beobachtungen. Dazu wird das in Form des Vorhersagemodells gegessene Wissen über die Dynamik der Atmosphäre und Beobachtungsinformation aus der Vergangenheit benutzt, oft in Form einer 3-Stunden-Vorhersage. Diese bildet dann die "erste Schätzung" für die neue Analyse. Aktuelle Beobachtungen werden lediglich dazu verwendet, diese Schätzung, auch Hintergrund genannt, im Umfeld der Beobachtungen zu korrigieren. Dieses Umfeld und die Verteilung und Stärke der Korrekturen und damit die grundlegenden Filtereigenschaften eines Datenassimilationsschemas hängen dabei im Wesentlichen von den räumlichen Fehlerkovarianzen des Hintergrundes ab.

In üblichen operationellen Systemen, z.B. der Optimalen Interpolation oder der zur Zeit entwickelten variationellen 3-dimensionalen Analyse für das Globalmodell GME des DWD, werden diese Fehlerkovarianzen statistisch über einen längeren Zeitraum (Monate) abgeleitet. Die in den letzten Jahren durch die internationale Forschung entwickelten experimentellen Ensemble-basierten Assimilationsmethoden erlauben jedoch, die Fehlerkovarianzen der aktuellen Strömung näherungsweise zu bestimmen. Damit kann dann eine Beobachtung z.B. in einer Frontalzone in erster Linie den Frontalbereich selbst beeinflussen und nicht die Gebiete ausserhalb, wie dies bei den heute benutzten, meist näherungsweise isotropen Kovarianzen der Fall ist (Abbildung 1).

In langfristig angelegten Projekten und Kooperationen werden beim DWD solche Ensemble-Assimilationsmethoden sowohl für das Globalmodell (Ensemble Transform Kalman Filter) als auch für die konvektive Skala (Sequential Importance Resampling Filter) entwickelt werden.

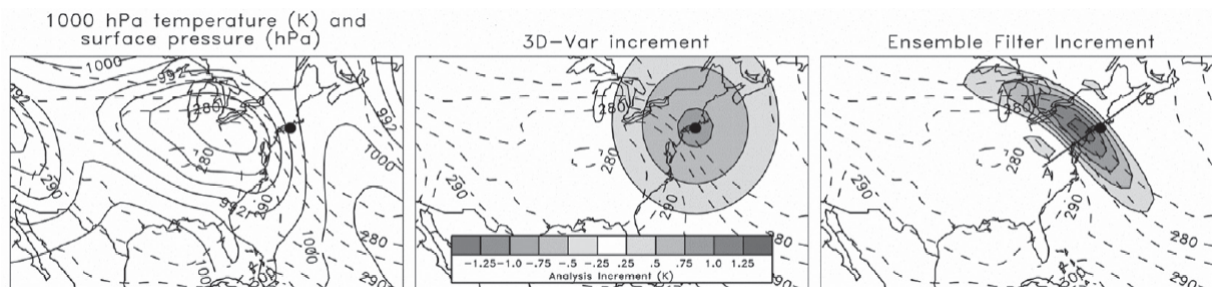


Abb. 1: Analyseninkrementfeld für eine Temperaturbeobachtung am Rande einer Front in einem 3D-Var Schema (Mitte) und einem Ensemble Filter (rechts) (aus Whitaker et al. 2005).

Entwicklung und operationelle Anwendung eines Qualitätsindexes für die Assimilation von Radarniederschlägen im LM-Kürzestfrist

K. Helmert

Deutscher Wetterdienst (DWD) Leipzig

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) entwickelt ein modellbasiertes System für Kurzestfristvorhersagen (2-18 Stunden) auf einer Skala von 2.8 km (LMK), welches speziell zur Vorhersage von Unwetterereignissen, die in Beziehung zu hochreichender Feuchtkonvektion stehen, dienen soll. Zur Triggerung der Konvektion auf der Skala des LMK ist eine Assimilation

räumlich und zeitlich hochaufgelöster Niederschlagsdaten erforderlich. Von den 16 Wetterradaren des DWD stehen Radardaten mit einer horizontalen Auflösung von 1° und 1 km und einer zeitlichen Auflösung von 5 min zur Verfügung. Bedingt durch Hindernisse, externe Sender oder spezielle meteorologische Bedingungen sind die Radardaten fehlerbehaftet (Clutter, Speichen, Ringe, Klops, corrupt image, anormaler Strahlverlauf, Abschwächung).

Daher wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher für jedes Pixel erkannte Fehler in einem Qualitätsprodukt speichert. Bei der Erstellung des Niederschlagskomposits wird die gewonnene Qualitätsinformation in den Überlappungsbereichen durch Wichtung der einzelnen Radarfehler berücksichtigt. Zusätzlich wird ein entsprechendes Qualitätskomposit erzeugt. Dabei wird groben Fehlern (z.B. corrupt image) die geringste, Fehlern, die die Aussage, ob Niederschlag vorkommt, beeinflussen (z. B. Clutter, Speichen, Ringe) eine mittlere und Fehlern, die die Niederschlagsmenge beeinflussen (z. B. Abschwächung) eine hohe Wichtung zugeordnet. Fehlerfreie Pixel erhalten die höchste Wichtung.

In den Überlappungsbereichen wird dann der Wert mit der höchsten Wichtung ins Komposit übernommen. Alle im Qualitätskomposit markierten Pixel werden im Niederschlagskomposit als Fehlwert betrachtet. Die auf diese Weise verbesserte Radarinformation wird mit der Methode des latent heat nudging (LHN) ins LMK assimiliert. Die vom Radar beobachtete Niederschlagsrate spiegelt die Umsätze latenter Wärme entlang des Weges der Niederschlagsteilchen durch die Atmosphäre von der Bildung der Wolkentröpfchen bis zum Erreichen des Bodens wieder. Dem LHN liegt die Annahme zugrunde, dass diese Relation auch innerhalb einer Modellsäule gilt. Um den beobachteten Niederschlag zu simulieren, ist daher eine Änderung der vertikalen latenten Wärmerate erforderlich. Das wird durch das Anbringen von entsprechenden Temperatur-Inkrementen erreicht. In verschiedenen Testläufen hat sich gezeigt, dass sich durch die auf diese Weise assimilierten Radarniederschläge die LMK-Vorhersage im Mittel für einen Zeitraum von 4-6 Stunden deutlich verbessert. Dabei ist der Einfluss für konvektive Bedingungen größer als in Situationen mit stratiformer Bewölkung.

Einführung in die Atmosphärenchemie-Datenassimilation

H. Elbern

Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln (RIU) und Helmholtz virt. Institut für Inverse Modellierung atmosphärischer Konstituenten (IMACCO)

Während Datenassimilation bei Anwendungen zur Wettervorhersage weitgehend durch bessere Vorhersagegüte motiviert und gerechtfertigt ist, bleibt dies bei atmosphärenchemischen Simulationen weitgehend nachgeordnet. Im Vordergrund dieser noch recht jungen Disziplin stehen oftmals wissenschaftliche Anwendungen und Aufgaben des Monitoring. Gemeinsame Grundlage sind immer die optimale Ausnutzung der verfügbaren Informationsquellen (und ihrer Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen), d.h. also Beobachtungen und Fernerkundungsdaten, atmosphärenchemische Modelle, und gegebenenfalls weitere statistische Informationen. Nach objektiven Kriterien zusammengefügt, sollen sie ein vollständigeres, dem wahren Zustand näher kommendes, chemisch konsistentes Zustandsbild liefern (etwa zum Monitoring), oder aber mit statistischer Signifikanz dessen Unwahrscheinlichkeit demonstrieren (etwa zur Modellvalidation). In dem Vortrag wurden Assimilationsbeispiele für die Stratosphärenchemie und Luftqualität gezeigt.

Eine Besonderheit in der troposphärenchemischen Datenassimilation ist die Tatsache, dass neben den Anfangswerten auch noch andere Parameter optimiert werden müssen. In erster Linie sind dies die Emissionsraten, die zumeist nicht genau genug bekannt sind, andererseits aber einen großen Einfluss auf die Simulation haben.

GPS Wasserdampf-Tomographie

M. Bender, A. Raabe

Leipziger Institut für Meteorologie (LIM) der Universität Leipzig

Das Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System) hat in den letzten Jahren eine so starke Verbreitung gefunden, daß eine große Zahl von GPS-Daten mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung vorliegt. Es lag daher nahe, diese Daten nicht nur für Positionierungszwecke zu nutzen, sondern auch die darin enthaltenen Informationen über den Zustand der Atmosphäre auszuwerten.

Die GPS-Signale durchlaufen auf ihrem Weg vom Satelliten zum Empfänger die Troposphäre mit ihrem räumlich und zeitlich stark veränderlichen Wasserdampfgehalt. Dieser Wasserdampf führt wegen des starken permanenten Dipolmoments der Wassermoleküle zu einer spürbaren Verzögerung in der Signallaufzeit. Die Laufzeitverzögerung kann damit als Maß für die Menge des Wasserdampfes entlang des Signalpfades genutzt werden.

Die entlang verschiedener Ausbreitungswege gemessenen Wasserdampfdaten sind nicht ohne weiteres interpretierbar. Hierzu sind tomographische Inversionstechniken nötig, die aus vielen Einzelmessungen eine räumliche Verteilung rekonstruieren. Im Gegensatz zu tomographischen Anwendungen in der Medizin oder der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung liegen in der GPS Tomographie jedoch vergleichsweise wenige Daten vor, die zudem noch äußerst inhomogen verteilt sind und deren Qualität zeitlich stark schwankt. Außerdem ist die Informationsdichte gerade in der bodennahen Grenzschicht, die einen großen Teil des Wasserdampfes enthält, relativ gering. Diese Schwierigkeiten erfordern die Entwicklung spezielle Inversionsverfahren die neben den GPS-Daten auch noch andere Meßdaten nutzen.

Trotz der beschriebenen Schwierigkeiten hat sich die GPS Wasserdampf-Tomographie in vielen Meßkampagnen bewährt und entwickelt sich zu einem allwettertauglichen Fernerkundungsverfahren, das kontinuierlich räumlich aufgelöste Feuchtefelder bereitstellen kann. Mit dem Aufbau des europäischen Galileo-Navigationssystems und der Modernisierung des russischen GLONASS Systems werden sich die Bedingungen bis etwa 2010 noch erheblich verbessern.

Wellenausbreitung in der mittleren Atmosphäre - eine Modellstudie unter Einbindung von NCEP Daten

K. Fröhlich (1), A.I. Pogoreltsev (2), Ch. Jacobi (1), L.A.Nachaeva (2),

(1) Leipziger Institut für Meteorologie (LIM) der Universität Leipzig, (2) Staatliche Russische Hydrometeorologische Universität St. Petersburg

Globale 3D Zirkulationsmodelle der mittleren Atmosphäre werden vor allem für grundlegende Studien der Dynamik von Stratosphäre, Mesosphäre und unterer Thermosphäre angewendet. Wellen verteilen Energie und Impuls in der Atmosphäre um und stellen somit eine Kopplung der verschiedenen Schichten her. Deshalb ist eine möglichst genaue Berechnung ihrer Ausbreitung wichtig. Die Bedingungen der unteren Atmosphäre wurden durch Nudging 40-jährig gemittelter NCEP-Temperatur Daten (inklusive Trend) eindeutig verbessert. Während die zonal gemittelte Temperatur des Modells auf die Reanalysedaten hin relaxiert wurde, werden Prozesse der mittleren Atmosphäre wie solare Gezeiten und planetare Wellen weiterhin vom Modell berechnet. Abbildung 3 zeigt die vertikale und horizontale Ausbreitung der Quasi-16-Tage Welle. Die linke Seite zeigt die Bedingungen im Ausgangszustand des Modells. Die maximale Amplitude der planetaren Welle ist geringer als beobachtet. Rechts ist dagegen eine in vertikaler Richtung stärker ausgeprägte Welle zu sehen, deren Amplitude besser mit Beobachtungen übereinstimmt.

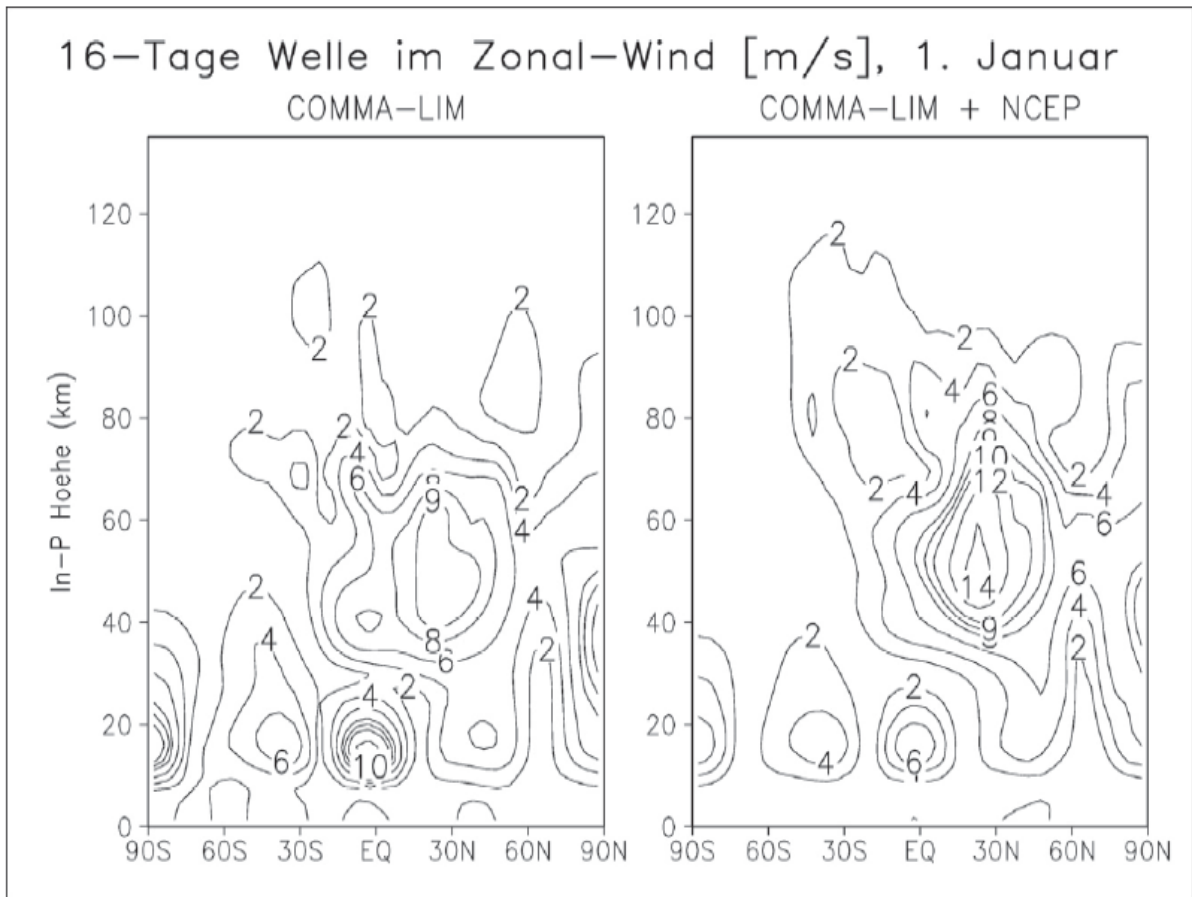


Abb. 3: Globale Ausbreitung der Amplitude der quasi 16-Tage Welle im Zonalwind, berechnet mit COMMA - LIM unter Kontrollbedingungen (links) und unter Einbindung der NCEP Temperatur Daten (rechts).