

METRAS⁺:

EIN BENUTZERORIENTIERTES WERKZEUG ZUR STADT- UND REGIONALPLANUNG FÜR BERATUNGSUNTERNEHMEN UND BEHÖRDEN

Klaus Bigalke, Hans-Dieter Haenel¹

METCON Umweltmeteorologische Beratung, D-25421 Pinneberg

Heiko Panskus¹, K. Heinke Schlünzen

Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, D-20146 Hamburg

Mesoskalige Modelle sind wertvolle Hilfsmittel für Klima- und Immissionsuntersuchungen im Rahmen der Stadt- und Regionalplanung oder in Genehmigungsverfahren. Dennoch haben sie noch nicht im gleichen Maße Einzug in die gutachterliche Praxis gehalten, wie beispielsweise mikroskalige Modelle. Als wesentliche Gründe hierfür lassen sich die hohen Anforderungen solcher Modelle an die wissenschaftliche und technische Kompetenz des Anwenders, der hohe Aufwand für Datenbeschaffung, –aufbereitung und Modellrechnungen sowie bisher fehlende Qualitätsnormen nennen.

Das neue Programmsystem METRAS⁺ reduziert den Aufwand zur Vorbereitung und Durchführung mesoskaliger Modellrechnungen für den Anwender durch die volle Integration in Windowsoberflächen, einfache Datenaufbereitung und Qualitätskontrolle nach künftigen

Normen erheblich. METRAS⁺ umfasst vier Programmkomponenten, die unter einer einheitlichen Oberfläche gesteuert werden: THD – ein Preprozessor zur Aufbereitung eines gesamtdeutschen Topographiekatasters, GRITOP – ein Preprozessor zur Erzeugung von Modellgittern aus Rohdaten unterschiedlichster Herkunft, METRAS PC – eine neue Version des seit 1998 frei verfügbaren mesoskaligen Modells mit wesentlichen Modellerweiterungen und EVA – ein Programm zur Evaluierung beliebiger mesoskaliger Modelle nach den Vorschriften der geplanten VDI-Richtlinie 3783 Bl. 7.

Die Qualitätssicherung nach anerkannten Normen, die an den Anforderungen heutiger Benutzer orientierte Programmoberfläche und die Reduzierung von Arbeitsaufwand und Kosten für den Einsatz mesoskaliger Modelle in Umweltuntersuchungen können künftig zu

¹ bis April 2001

einer Steigerung ihrer Akzeptanz bei Beratungsunternehmen und Behörden führen.

1. MESOSKALIGE MODELLE IN DER GUTACHTERLICHEN PRAXIS

Im wissenschaftlichen Bereich werden mesoskalige meteorologische Modelle seit Ende der siebziger Jahre entwickelt. Seit einem guten Jahrzehnt haben viele dieser Modelle eine Anwendungsreife erreicht, die ihren Einsatz nicht nur für spezielle wissenschaftliche Fragestellungen rechtfertigt. Als Beispiele lassen sich hier die Modelle EURAD-MM5 (Hass et al., 1993), FITNAH (Groß et al., 1987), GESIMA (Mengelkamp, 1991), KAMM (Adrian u. Fiedler, 1991) oder METRAS (Schlünzen, 1990) nennen. Der räumliche Anwendungsbereich der in diesem Beitrag ausschließlich gemeinten hochauflösenden Regionalmodelle (Mesoskala γ und β) erstreckt sich über Skalen zwischen 10^2 und 10^4 km² bei Gitterauflösungen in Größenordnungen von einigen 10^1 bis 10^3 m. Feinere Auflösungen, die bis in den Größenbereich von einzelnen Bebauungsstrukturen hinunterreichen, bleiben den sogenannten mikroskaligen Modellen vorbehalten.

Mesoskalige Modelle können als wertvolles Hilfsmittel für die Beantwortung typischer Fragestellungen, wie sie sich aus der gutachterlichen Praxis oder aus der Stadt- und Regionalplanung ergeben, eingesetzt werden. Hierzu zählen die Analyse regionaler Wind- und Temperaturfelder (Thüringen, 1996; Kommunalverband

Ruhrgebiet, 2001; Kadler, 2001), Immissionsprognosen im komplexen Gelände (Bigalke, 1999), Kaltluftabflüsse und die Belüftung von Stadtgebieten, die Erstellung flächendeckender Windstatistiken oder die Prognose des Einflusses geplanter Flächennutzungsänderungen auf Faktoren des lokalen oder regionalen Klimas (Bigalke u. Schlünzen, 1992), um nur einige wenige Beispiele zu nennen. Einige dieser Fragen lassen sich natürlich – in quantitativer Hinsicht manchmal besser – durch Messungen beantworten. Der entscheidende Vorteil von Modellrechnungen gegenüber Messungen liegt aber in der lückenlosen flächendeckenden Verfügbarkeit der Ergebnisse und vor allem der Möglichkeit zu Prognosen künftiger Verhältnisse, über die Messungen keine Aussage treffen können. Darüber hinaus sind Modellrechnungen kostengünstiger und schneller durchzuführen als Messkampagnen hoher räumlicher Auflösung über lange Zeiträume. Idealerweise werden beide Verfahren miteinander kombiniert, so dass die Aussagen des Modells anhand von Messungen verifiziert und die Messungen anhand der Modellrechnungen verallgemeinert werden können.

Die Anwendung mesoskaliger Modelle ist seit einigen Jahren nicht mehr nur wissenschaftlichen Institutionen vorbehalten. So steht seit 1998 mit METRAS PC, Vers. 1.0 (Schlünzen u. Bigalke, 1998) ein Modell allen interessierten Anwendern aus Beratungsfirmen und Behörden zur Verfügung. Auch das Modell FITNAH kommt in einigen Beratungsfirmen zum Einsatz.

Es mag erstaunen, dass trotz der allgemeinen Verfügbarkeit und ihrem unbestreitbaren Nutzen mesoskalige Modellrechnungen in den vergangenen Jahren zwar verstärkt, im Vergleich zu mikroskaligen Modellen aber zögerlich Einzug in die gutachterliche Praxis gehalten haben. Stattdessen finden sich noch immer in vielen Gutachten, kommunalen oder regionalen Klimaanalysen, Landschaftsrahmenplänen oder Raumordnungsprogrammen entweder Allgemeinplätze zu den klimatischen Verhältnissen, die für planerische Fragestellungen ohne Wert sind, oder quantitative Aussagen, die teilweise spekulativen Charakter haben und weder durch Messungen noch Modellrechnungen belegt sind.

Die möglichen Gründen hierfür lassen sich unter den folgenden drei Überschriften subsumieren:

(a) Anwenderkompetenz

Mesoskalige Modelle stellen hohe Anforderungen an die wissenschaftliche Kompetenz des Anwenders. Aufgrund ihrer physikalischen Komplexität lassen sie sich nicht als „Black Box“ betreiben, deren Ergebnisse kritiklos verwertet werden können. Der Anwender hat vielmehr die Eingangsdaten einschließlich Modellgebiet und Gitterauflösung unter Berücksichtigung der konkreten Aufgabenstellung sorgfältig zu wählen und die Simulationsergebnisse einer kritischen Beurteilung zumindest auf Plausibilität zu unterziehen. Hierzu sind fundierte Kenntnisse der physikalischen Modelleigenschaften, möglicher numerischer Einflüsse auf die Ergebnisse und Erfahrungen in der Modellanwendung unverzichtbar.

Da die Modelle hauptsächlich im wissenschaftlichen Bereich zur Anwendung kommen, sind die Prozeduren zur Vorbereitung und Durchführung von Rechnungen wenig benutzerfreundlich gestaltet. Sie erfordern hohe technische Kompetenz des Anwenders, die sich z.T. auch auf Kenntnisse von Betriebssystem und Programmiersprachen erstreckt.

(b) Aufwand

Neben den meteorologischen Eingangsdaten sind Topographiedaten (Geländehöhen- und Landnutzungskataster), möglichst höher aufgelöst als das geplante Modellgitter, zu beschaffen. Daten aus unterschiedlichen Quellen unterscheiden sich häufig nicht nur in der Auflösung, sondern auch den Koordinaten- und Projektionssystemen. In solchen Fällen sind zunächst Programme zu entwickeln, die in der Lage sind, die unterschiedlichen Datentypen zu einem einheitlichen Modellgitter zusammenzufassen.

Die Eingangsdaten sind dann in diversen (meist ASCII-) Dateien für die geplanten Modellrechnungen aufzubereiten, wobei die Plausibilitäts- und Fehlerkontrolle beim Anwender liegt.

Dieser Aufwand zur Vorbereitung der Modellrechnungen ist oft erheblicher als das Aufsetzen, die Kontrolle und Auswertung der Rechnungen selbst.

(c) Qualitätssicherung

Ein gelegentlich zu hörendes Argument gegen den Einsatz mesoskaliger Modelle besagt, dass bisher keine Maßstäbe zur Beurteilung der Qualität solcher Modelle bestehen, somit z.B. für

gewerbliche Auftraggeber von Gutachten auf Basis von Modellrechnungen auch keine Rechtssicherheit hinsichtlich eindeutiger und reproduzierbarer Ergebnisse, wie sie beispielsweise nach den Regelungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft, 1986) gegeben ist, besteht. In Einzelfällen seien zwar die Ergebnisse verschiedener Modelle verifiziert worden, ein allgemeines Konzept zur Qualitätssicherung stehe aber noch aus.

Tatsächlich existieren bisher keine Richtlinien oder vergleichbare Vorschriften zur Qualitätssicherung mesoskaliger Modelle und aus der Verifizierung von Ergebnissen im Einzelfall kann nicht auf die Allgemeingültigkeit eines Modells geschlossen werden. Es muss aber auch gesagt werden, dass solche Qualitätsrichtlinien schon dem Grunde nach nicht bewirken können, dass verschiedene Modelle zu einer gegebenen Fragestellung exakt gleiche Ergebnisse liefern. Selbst bei Vorschreiben einer bestimmten Modellrealisierung („Modell XYZ in der Version n.m“) können die Ergebnisse aufgrund ihrer Abhängigkeit von den verwendeten Rand- und Anfangswerten unterschiedlich sein. Dies liegt in der hohen Komplexität mesoskaliger Modelle hinsichtlich ihrer physikalischen Grundlagen, numerischen und programmtechnischen Umsetzung begründet, die die genannte wissenschaftliche Kompetenz des Anwenders erfordert. Gerade wegen dieser Einschränkungen besteht Bedarf für Qualitätssicherungsmaßstäbe, die potentiellen Auftraggebern und Anwendern ein Mindestmaß an Sicherheit in der Beurteilung von Modellen, ihren zulässigen Einsatzbereichen und Ergebnissen verleiht.

Insgesamt führen die unter (a) bis (c) erläuterten Punkte dazu, dass Untersuchungen auf Basis mesoskaliger Modellrechnungen häufig noch vergleichsweise kostenintensiv sind und ihre Akzeptanz erhöht werden muss.

Vor dem Hintergrund der genannten Problematik wird im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes ein Programmsystem zur mesoskaligen Modellierung (METRAS⁺) entwickelt, das den folgenden Kriterien genügen wird:

- Qualitätssicherung anhand anerkannter Normen / Richtlinien
- freie Verfügbarkeit, insbesondere auch für die in der Umweltvorsorge tätigen Unternehmen (Consultingfirmen) und für Behörden
- einfache Anwendbarkeit
- kostengünstige Durchführung von Umweltuntersuchungen
- Akzeptanz in Unternehmen und Behörden,

wobei sich die beiden letzten Punkte vor allem aus den vorstehenden Kriterien ergeben werden. Dieses Programmsystem METRAS⁺ wird im Abschnitt 3 vorgestellt. Im folgenden Abschnitt 2 werden zunächst die in Planung befindlichen Grundlagen zur Qualitätssicherung erläutert.

2. QUALITÄTSSICHERUNG MESOSKALIGER MODELLRECHNUNGEN

In der Kommission Reinhaltung der Luft des Vereins Deutscher Ingenieure KRdL/VDI befasst sich gegenwärtig eine Arbeitsgruppe mit

der Erarbeitung einer Richtlinie zur Evaluierung mesoskaliger nichthydrostatischer Modelle (VDI, 2002). Diese Evaluierungsrichtlinie wird nicht ein bestimmtes Modell oder feste Modelleigenschaften vorschreiben, sondern Mindestanforderungen an Modelle und Vorschriften zur Evaluierung formulieren. Im Folgenden wird das grundlegende Konzept nach dem heutigen Stand des Richtlinienentwurfs zusammengefasst. Weitere Einzelheiten finden sich in einem anderen Tagungsbeitrag (Schlünzen u. Panskus, 2001).

Die Anforderungen der VDI-Richtlinie an Modelle gliedern sich in drei Bereiche.

2.1. Allgemeine Bewertung

Dieser Bereich enthält Anforderungen hinsichtlich der Dokumentation des Modells, der Nachvollziehbarkeit und Realisierbarkeit. Notwendige Kriterien sind u.a. Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Programmdokumentationen und Prüfbarkeit von Modell und Programm durch Dritte.

2.2. Wissenschaftliche Bewertung

Der Bereich der wissenschaftlichen Bewertung soll sicherstellen, dass das Modell von seinen physikalischen Grundlagen her für bestimmte Anwendungsbereiche geeignet ist. Die Anforderungen unterscheiden sich nach notwendigen Kriterien, die grundsätzlich vom Modell zu erfüllen sind, und optionalen Kriterien, die nur für spezielle Anwendungsbereiche erfüllt sein müssen.

Zu den notwendigen Kriterien zählen u.a. die Vollständigkeit des Gleichungssystems, zulässige Approximationen und Parameterisierungen. Dagegen stellt die im Modell ggf. enthaltene Wolkenmikrophysik ein optionales Kriterium dar, das nur dann erfüllt sein muss, wenn im Rahmen einer konkreten Modellanwendung Wolkenbildung nicht ausgeschlossen werden kann.

2.3. Validierung und Ergebniskontrolle

Unter der Validierung sind sieben Testfälle zusammengefasst, die vom Modell nachgerechnet werden müssen. Die Ergebnisse der hierfür insgesamt nötigen zwölf Modellrechnungen werden je nach Testfall mit Modellergebnissen, analytischen Lösungen oder Naturdatensätzen verglichen, wobei die Bewertung anhand von Trefferquoten erfolgt. Für eine erfolgreiche Validierung muss in jedem einzelnen Testfall eine Trefferquote von mindestens $2/3$ erreicht werden. Die erlaubten Abweichungen zwischen Modellergebnis und Referenzdaten sind abhängig vom Testfall definiert.

Die sieben Testfälle sollen möglichst isoliert einzelne Modelleigenschaften prüfen. Dazu zählen u.a. numerische Eigenschaften, orographische Effekte, Stabilitätseinflüsse und die realistische Berücksichtigung realer Orographien und Landnutzungen.

Weitere Anforderungen an das Modell sind in einer Liste von Kriterien zur Online- und Offline-Qualitätskontrolle der Modellergebnisse formuliert. Zu den Prüfpunkten zählen z.B. die

Kontrolle auf numerisch bedingte Wellenbildung, Massenerhaltung oder Eigenschaften des verwendeten Modellgitters.

2.4. Abschließende Bewertung

Die Gesamtbewertung erfolgt anhand aller oben genannten Prüfkriterien. Der Modellanwender hat auf Basis der Ergebnisse aller Einzelprüfungen ein zusammenfassendes Evaluierungsprotokoll zu erstellen, in dem alle Prüfkriterien in Form einer Liste aufzuführen und mit „erfüllt“ oder „nicht erfüllt“ zu kennzeichnen sind. Das Modell gilt als im Sinne der Richtlinie evaluiert, wenn es alle Prüfschritte erfolgreich durchlaufen hat. Werden einzelne Prüfkriterien nicht erfüllt, so ist das Modell nur für die Anwendungsbereiche evaluiert, die durch die erfüllten Prüfkriterien abgedeckt werden.

Die Veröffentlichung der VDI Richtlinie 3783 Bl. 7 ist für das Jahr 2002 geplant. Mit dieser Richtlinie werden erstmals Qualitätssicherungsnormen für mesoskalige Modelle vorliegen. Modellanwender können anhand des Evaluierungsprotokolls gegenüber Auftraggebern oder Behörden nachweisen, dass das von ihnen genutzte Modell ebenso wie dessen Anwendung anerkannten Qualitätssicherungsstandards genügt.

3. DAS PROGRAMMSYSTEM METRAS⁺

Das Programmsystem METRAS⁺ fasst vier einzelne Programme unter einer einheitlichen Windows²-Oberfläche zusammen. Es ist lauffähig unter den Betriebssystemen Windows 98x, NT4 und Windows 2000. Die Einzelprogramme dienen der Aufbereitung eines zu geringen Kosten verfügbaren bundesdeutschen Topographiekatasters (Programm *THD*), der Erzeugung eines METRAS-Modellgitters aus den Ergebnissen des Programms *THD* oder aus anderen Topographie-Rohdatensätzen (Programm *GRITOP*), der Durchführung mesoskaliger Modellrechnungen (Programm *METRAS PC*) und der Evaluierung des Modells METRAS PC oder eines beliebigen anderen mesoskaligen Modells entsprechend der geplanten VDI Richtlinie (Programm *EVA*).

METRAS⁺ kann durch

- die Windows-Oberfläche, die heutige Anwender als Standard erwarten
- die unkomplizierte Erstellung aller Eingabedaten in Windows-Dialogen
- die integrierte Kontrolle der Eingabedaten auf Fehler und Konsistenz
- die Möglichkeit zur Einbindung eines kostengünstigen Topographiedatensatzes

² Firmen- und Produktnamen sind eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Firmen

- die schnelle Erzeugung von Modellgittern aus Datensätzen verschiedenster Quellen
 - die freie Verfügbarkeit und
 - die im Programmsystem integrierte Qualitätskontrolle
- zu einer erheblichen Reduzierung des technischen und wirtschaftlichen Aufwands für die Durchführung von Umweltuntersuchungen auf Basis mesoskaliger Modellrechnungen und einer erhöhten Akzeptanz in Beratungsunternehmen und Behörden beitragen. Die eingangs genannten Anforderungen an die *wissenschaftliche Kompetenz* des Anwenders können und dürfen dagegen auch für ein anwenderfreundlich gestaltetes Modell nicht aufgegeben werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Einzelkomponenten des Programmsystems vorgestellt.

3.1. METRAS⁺-Programmoberfläche

Von der METRAS⁺-Programmoberfläche aus (Abbildung 1) werden alle Grundfunktionen (Eingabedaten erstellen, Programmausführung starten, Programmausführung abbrechen) der vier Einzelkomponenten gesteuert. Das Hauptfenster listet ein Protokoll der Fehlermeldungen (Prüfung aller Eingabedaten auf Vollständigkeit, Zulässigkeit und Konsistenz) auf. Bei fehlerhaften Eingabedaten wird der Benutzer automatisch in den entsprechenden Eingabedialog geführt. Während der Programmausführung enthält das Hauptfenster zusätzlich die von den Einzelkomponenten erstellten Laufzeitprotokolle.

Ein Zusatzfenster (Abbildung 1, links und Abbildung 2) informiert den Benutzer über den Fortschritt der Programmausführung.

Jede Anwendung einer einzelnen Programmkomponente gliedert sich in die Schritte

1. Eingabedaten erstellen (Führung des Benutzers durch Eingabedialoge einschließlich Fehlerprüfung)
2. Programmkomponente starten
3. Laufzeitkontrolle anhand des Kontrollfensters und Laufzeitprotokolls
4. ggf. Abbruch der Programmausführung
5. Abschlusskontrolle des Laufzeitprotokolls
6. nur EVA: Ausgabe des Evaluierungszertifikats.

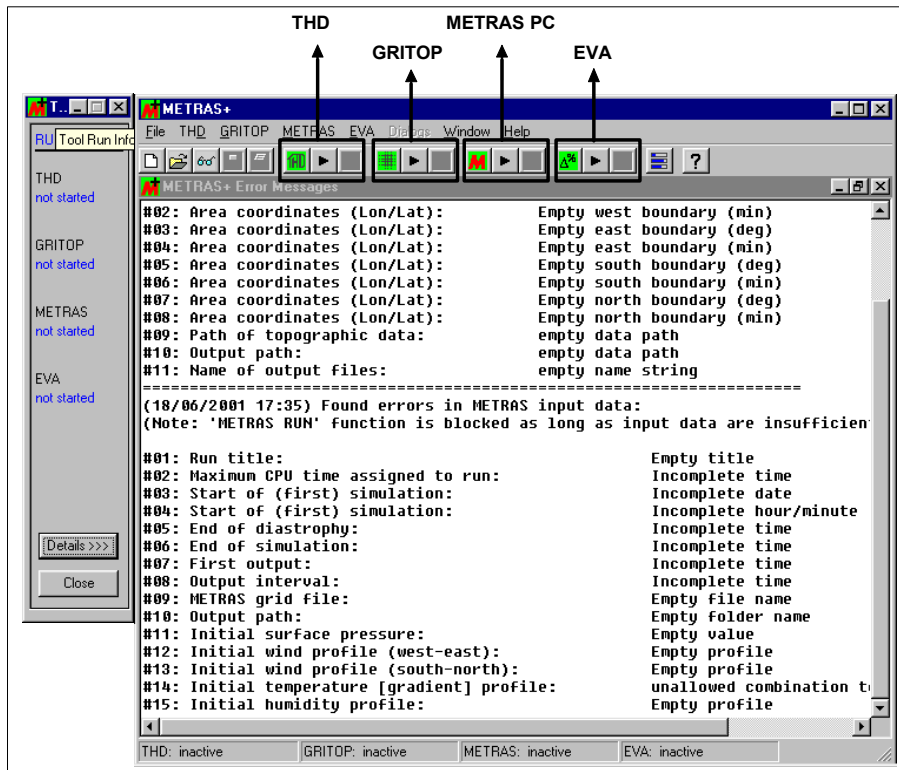


Abbildung 1: METRAS⁺-Programmoberfläche

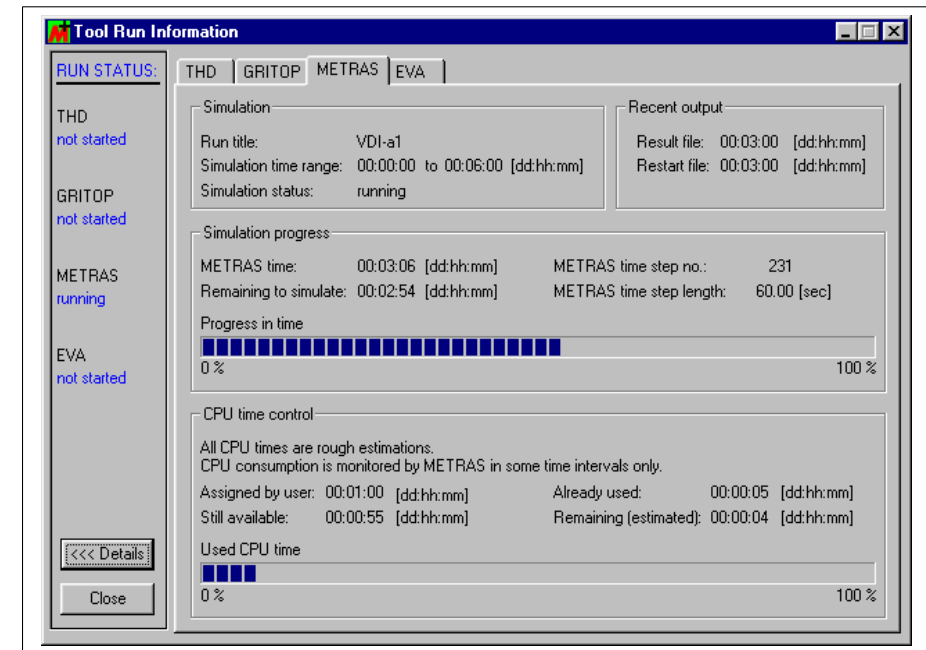


Abbildung 2: Laufzeitkontrolle der Einzelkomponenten (hier: METRAS PC)

Grundsätzlich können alle Einzelkomponenten parallel betrieben werden. So kann der Anwender beispielsweise neue Modellrechnungen vorbereiten, während eine METRAS PC-Simulation noch aktiv ist.

METRAS⁺ befindet sich gegenwärtig noch in der Entwicklung, so dass sich die Betaversion des Programms, deren Freigabe für den Spätherbst 2001 geplant ist, von der hier vorgestellten Version noch in einigen Punkten unterscheiden kann.

3.2. THD

Durch die Technische Hochschule Darmstadt, Prof. Manier, wird ein gesamtdeutscher Topographiedatensatz (Geländehöhen und

Landnutzung) vertrieben, der für relativ geringe Kosten erhältlich ist. Die Auflösung dieses Datensatzes liegt bei 5“ x 5“ (ca. 100 m x 150 m) für die alten Bundesländer und 500 m x 500 m (Landnutzung) bzw. 1 km x 1 km (Geländehöhen) für die neuen Bundesländer. Für viele Anwendungen ist diese Auflösung bereits ausreichend, so dass der Kostenfaktor für die Datenbeschaffung in solchen Fällen durch die Nutzung des Darmstädter Katasters vernachlässigbar ist.

Der Darmstädter Topographiedatensatz ist zwar nicht Bestandteil von METRAS⁺ und muss vom Anwender separat erworben werden, die Programmkomponente THD ermöglicht aber die Aufbereitung des Datensatzes für eine Weiterverarbeitung durch die Programmkomponente GRITOP. Hierzu gibt der Anwender einen Gebietsausschnitt in geographischen oder Gauß-Krüger-Koordinaten an (Abbildung 3) und wählt einige Optionen zur Aufbereitung der Rohdaten.

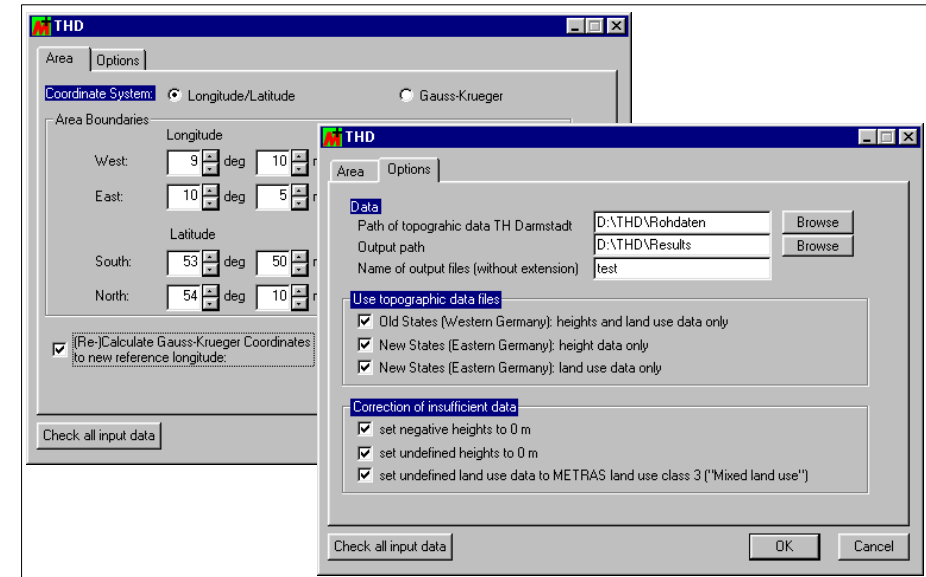


Abbildung 3: Eingabedialoge THD

Nach dem Start der Programmkomponente THD (Abbildung 1) werden aus dem Rohdatensatz die dem gewählten Gebiet entsprechenden Datensätze extrahiert, ggf. den ausgewählten Optionen entsprechend konvertiert und als Datensätze in einem von GRITOP lesbaren Format ausgegeben.

3.3. GRITOP

Diese Programmkomponente dient der Erstellung eines METRAS-Modellgitters aus einem oder mehreren Topographie-Rohdatensätzen. Das in GRITOP implementierte Verfahren beruht auf einer flächengewichteten Interpolation der Rohdaten-Raster auf das Raster des METRAS-Gitters. Die an einem METRAS-Gitterpunkt gültige Geländehöhe und Landnutzung setzt sich aus dem flächengewichteten

Mittel aller in der Gitterzelle definierten Höhen und Landnutzungen aus den Rohdaten zusammen. Da METRAS subskalige Landnutzungen innerhalb einer Gitterzelle berücksichtigt, werden diese ihrem prozentualen Anteil entsprechend getrennt aufsummiert.

Die Rohdaten müssen mindestens das gesamte Modellgebiet abdecken, dürfen sich aber gegenseitig überlappen. Im Fall einer Überlappung kann der Benutzer angeben, in welcher Priorität die Rohdaten abzuarbeiten sind. So werden üblicherweise zunächst Rohdaten hoher Auflösung auf das METRAS-Gitter interpoliert und Rohdaten geringerer Auflösung nur dann noch verwendet, wenn einzelne Gitterzellen nicht bereits von den hochauflösenden Daten abgedeckt werden.

Das Modellgebiet kann in geographischen oder Gauß-Krüger Koordinaten vorgewählt werden. Ebenso lassen sich Gitterparameter wie z.B. Äquidistanzbereich und Drehwinkel vom Anwender frei wählen (Abbildung 4).

Oft stehen für ein Untersuchungsgebiet Rohdaten aus unterschiedlichen Quellen zur Verfügung. Diese können sich in ihren Datenformaten ebenso wie in Koordinaten- bzw. Projektionssystemen unterscheiden. In den meisten Fällen wird der Anwender von METRAS⁺ seine Rohdaten direkt von GRITOP verarbeiten lassen können, da das Programm eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten für Datenformate und Projektionssysteme vorsieht.

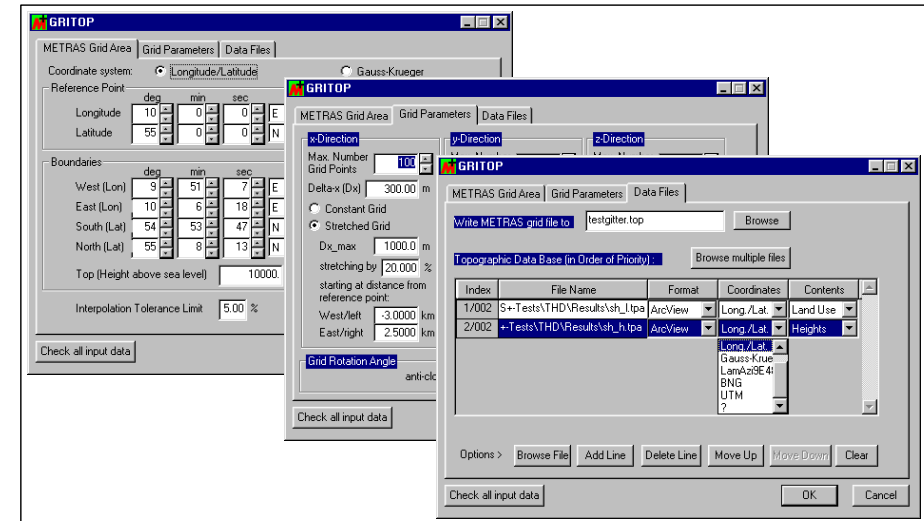


Abbildung 4: Eingabedialoge GRITOP

Das häufigste Datenformat (GRITOP-Bezeichnung „ArcView“) ist eine ASCII-Datei, wie sie von GIS-Systemen wie z.B. ArcView exportiert werden können (Headerzeilen mit Angaben zu Gebietsgrenzen und Auflösung, zweidimensionaler Datenblock in Spalten und Zeilen). Das einfachste Datenformat („xyz“) ist eine zeilenweise Auflistung von Koordinatenpaar und Wert (Höhe oder Landnutzung). Schließlich kann ein Sonderformat („Uni-HH“) verarbeitet werden, bei dem alle Zusatzinformationen bzgl. Projektionssystem und Datentyp in den Rohdatensätzen selbst enthalten sind.

Als Koordinaten- bzw. Projektionssysteme werden nach heutigem Stand von GRITOP verarbeitet:

- geographische Längen und Breiten („Lon./Lat.“)

- Gauß-Krüger-Koordinaten („Gauss-Krueger“)
- azimutale Lambert-Projektion bzgl. 9° E / 43° N („LamAzi9E43N“)
- British National Grid („BNG“)
- Universal Transverse Mercator („UTM“)

Die Lambert-Projektion entspricht dem Projektionssystem des CORINE-Datensatzes, der europaweit Landnutzungsdaten in hoher Auflösung enthält. Möglicherweise werden in die Beta-Version von METRAS⁺ weitere Projektionen aufgenommen.

3.4. METRAS PC

Der Kern des Programmsystems METRAS⁺ ist eine neue Version des erstmals 1998 herausgegebenen mesoskaligen Modells METRAS PC. Die wesentlichen Neuerungen gegenüber der Version 1.0 sind:

- vollständige Integration in eine Windows-Oberfläche
- verbessertes Initialisierungsverfahren
- Wahl zwischen zwei Turbulenzparametrisierungsansätzen
- Option Wolken und Niederschlag
- Option Mittelung subskaliger bodennaher Flüsse („Blendhöhenverfahren“)
- Option Transport und trockene Deposition passiver Stoffe
- evaluiert gemäß der geplanten VDI 3783 Bl. 7

Die zur Evaluierung des Modells nötigen Eingangsdaten werden mit METRAS⁺ ausgeliefert, so dass die Evaluierung von jedem Anwender nachvollzogen werden kann.

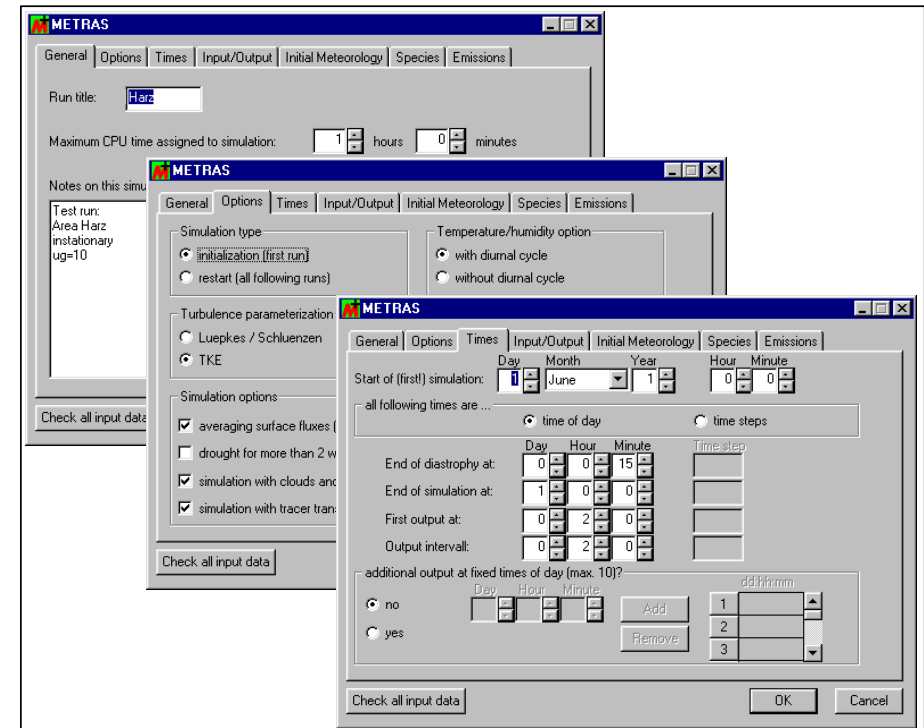


Abbildung 5: Eingabedialoge METRAS PC

Sämtliche vom Modell benötigten Eingabedaten werden über Dialoge vorgegeben (Abbildung 5) und vor dem Programmstart auf Vollständigkeit, Konsistenz und mögliche Fehler überprüft, so dass spätere Modellabstürze wegen fehlerhafter Eingangsdaten weitgehend ausgeschlossen sind. Punktemissionen können ebenfalls in einem Eingabedialog ohne genaue Kenntnis der METRAS-Gitterstruktur

vorgegeben werden und werden automatisch auf das gewählte Modellgitter umgesetzt.

Die Laufzeitkontrolle über das Kontrollfenster (Abbildung 2) und das Laufzeitprotokoll im Hauptfenster ermöglicht dem Benutzer, den Fortschritt, die Stabilität der Modellrechnungen und die voraussichtlich verbleibende Rechenzeit zu kontrollieren. Er hat die Möglichkeit, die Rechenzeit für eine Simulation (CPU-Zeit) gezielt zu beschränken oder Modellrechnungen direkt nach der Erzeugung von Restartdateien abubrechen und neu aufzusetzen. Angesichts von Rechenzeiten zwischen einigen Minuten und einigen Tagen (je nach Größe und Auflösung des Modellgebiets, gewählten Modelloptionen und meteorologischer Situation) kann auf diese Weise unnötigen Zeitverlusten, z.B. durch Instabilitäten des Betriebssystems oder Stromausfall, vorgebeugt werden.

3.5. EVA

Diese vierte Einzelkomponente des Programmsystems METRAS⁺ lehnt sich an die geplante VDI-Richtlinie 3783 Bl.7 an. Sie ist insofern unabhängig von den anderen drei Einzelkomponenten, als mit EVA nicht nur das Modell METRAS PC, sondern jedes beliebige mesoskalige Modell gemäß der Richtlinie evaluiert werden kann. Für den METRAS PC-Anwender bietet das Programm den Vorteil, dass die Ausgabedateien des Modells direkt verarbeitet werden können, während Ergebnisse anderer Modelle zunächst vom Anwender in ein

einheitliches Datenformat konvertiert werden müssen. Die Testdatensätze der VDI-Richtlinie sind in das Programm integriert.

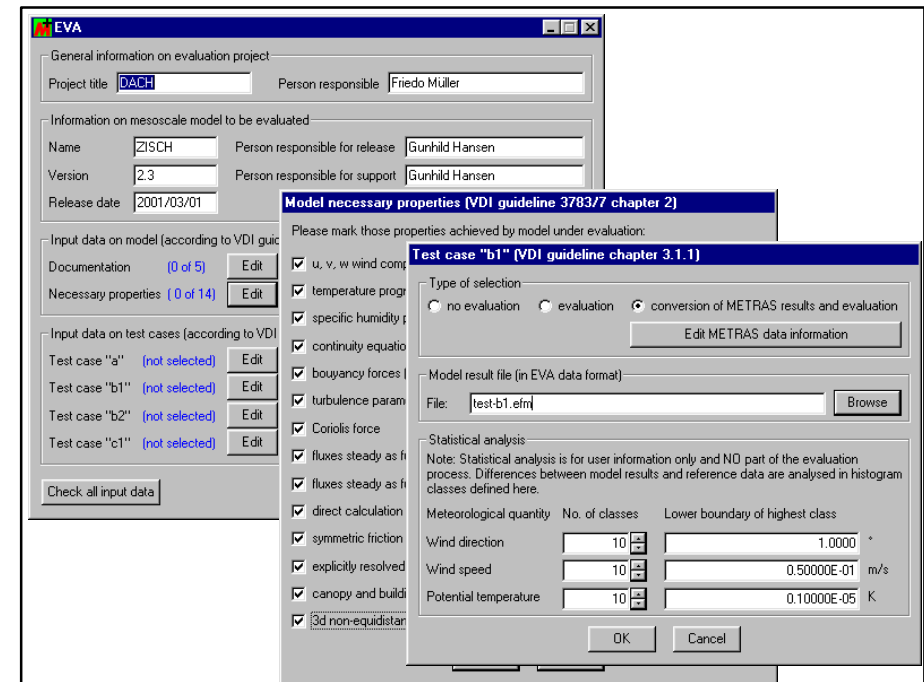


Abbildung 6: Eingabedialoge EVA


```

=====
Model Evaluation Certificate in Accordance with VDI Guideline 3783/7
=====
This document certifies the evaluation of a mesoscale prognostic model in accordance with
VDI guideline 3783/7. Numbers in brackets [...] cite corresponding chapters of the guideline.
-----
0. Mesoscale Model:
-----
Name.....: ZISCH
Version.....: 2.3
Release Date.....: 2001/03/01
Responsible Person.....: Gunhild Hansen
Responsible Person for this Evaluation: Friedo Müller
-----
1. Model Documentation:                                [guideline]                PASSED
-----
- Comprehensible                                [1.1]                YES
- Documentation, short version                    [1.2.1]              YES
- Documentation, long version                    [1.2.2]              YES
- User Manual                                    [1.2.3]              YES
- Optional: Technical Reference                  [1.2.4]              NO ***
-----
2. Model Properties:                                [guideline]                PASSED
-----
- three wind components prognostic                [2]                NO ***
- temperature prognostic                          [2]                YES
- specific humidity prognostic                    [2]                YES
- continuity equation or anelastic approximation [2]                YES
- buoyancy forces (eg. Boussinesq approx.)        [2]                YES
- turbulence parameterization function of stability [2]                YES
- Coriolis force                                  [2]                YES
- fluxes steady as function of location            [2]                YES
- fluxes steady as function of stability           [2]                YES
- direct calc. of surfaces fluxes or MO-theory     [2]                YES
- symmetric friction tensor                       [2]                YES
- explicit elevation heights                      [2]                YES
- canopy and buildings as roughness lengths       [2]                YES
- 3d non-uniform grid                             [2]                NO ***
- surface following coordinates                   [2]                NO ***
- cloud physics / short and longwave radiation    [2]                YES
- ice phase prognostic                           [2]                YES
- parameterization of subscale convection          [2]                YES
- surface fluxes at least with "force restore"     [2]                YES
- surface fluxes with short and longwave radiation [2]                YES
- surface fluxes with surface inclination          [2]                YES
- surface fluxes with shading                     [2]                YES
- surface humidity balance                        [2]                NO ***
-----
3. Test Cases:                                    [guideline]                PASSED
-----
a - homogenous terrain                            [3.1.1]              YES
b1 - mountain ridge / effect of surface shape     [3.1.1]              NO ***
b2 - mountain ridge / effect of wind speed        [3.1.1]              NO ***
c1 - idealized coast / effect of surface temperature [3.1.1]              NO ***
c2 - idealized coast / effect of clouds           [3.1.1]              NO ***
d1 - field campaign Sophienhoehe                  [3.1.1]              NO ***
d2 - field campaign Berlin                         [3.1.1]              NO ***
-----
4. Control of Model Results:                        [guideline]                PASSED
-----
- grid structure                                [3.2.1]              NO ***
- on-line control: 2*DT wave                     [3.2.2]              YES
- on-line control: standard deviations            [3.2.2]              YES
- on-line control: area averages                  [3.2.2]              YES
- on-line control: constant mass                  [3.2.2]              YES
- on-line control: valid ranges                   [3.2.2]              YES
- off-line control: 2*DX, 2*DY waves              [3.2.3]              YES
- off-line control: results independent from grid [3.2.3]              YES
- off-line control: comparison/plausible results  [3.2.3]              NO ***
=====
EVALUATION RESULT :
=====
The mesoscale model ZISCH (Version 2.3) is

**** NOT EVALUATED ****

in accordance with VDI guideline 3783/7.

I certify that all informations set out in this certificate are accurate and correct.
Statements regarding model properties are in accordance with those given by the model
developer (person responsible of model release, see point 0. above). No efforts have
been done to fit the model results to the reference data of test cases a to d.

-----
(Place and Date)                                (Friedo Müller)
-----
*****
This evaluation certificate was created by program EVA (Version 1.0).
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$ EVA CERTIFICATION KEY: poqinZsxMwH9la#F#39yafrp $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
(It can be proved by this key that no modifications have been done to the certificate.)
*****

```

Abbildung 7: Evaluierungszertifikat (Entwurf)

Die Erstellung sämtlicher Eingabedaten erfolgt, wie schon aus den anderen Einzelkomponenten bekannt, über Eingabedialoge mit integrierter Fehlerkontrolle. Sie gliedern sich in Angaben zu dem Evaluierungsprojekt (Modell, Version, Anwender usw.), Abfrage der Modelleigenschaften in Form von Prüflisten, die vom Benutzer einzeln abgehakt werden müssen und Bereitstellung der Eingabedaten zu den sieben Testfällen (Abbildung 6).

Die Richtlinie sieht nur die Berechnung von Trefferquoten für die zu prüfenden meteorologischen Größen vor. Um dem Anwender im Fall des Nichtbestehens eines Testfalls weitere Informationen an die Hand zu geben, bietet EVA darüber hinaus die Möglichkeit, eine einfache statistische Auswertung der Differenzen zwischen Modellergebnis und Referenzdaten durchzuführen. Neben Mittelwerten und mittleren quadratischen Fehlern werden die Differenzen in Histogrammform ausgewertet, dessen Klassenzahl und -grenzen vorgegeben werden können.

Das Ergebnis des Evaluierungsprozesses wird in Form eines Evaluierungszertifikates (Abbildung 7) als ASCII-Datei gespeichert, die aus der METRAS⁺-Oberfläche ausgedruckt werden kann. Jedes Zertifikat erhält einen Schlüssel, der für die Authentizität des ausgedruckten Zertifikats mit den tatsächlichen Ergebnissen des Evaluierungsprozesses bürgt. Der Anwender versichert mit seiner Unterschrift, alle Angaben zu den Modelleigenschaften wahrheitsgemäß getroffen und die Modellergebnisse nicht nachträglich an die Referenzdaten angepasst zu haben. Das unterschriebene

Zertifikat kann Auftraggebern oder Behörden als Nachweis vorgelegt werden, dass das vom Anwender verwendete Modell entsprechend der VDI-Richtlinie 3783 Bl. 7 evaluiert worden ist und den Anforderungen des konkreten Untersuchungsgegenstandes angemessen ist.

4. ANWENDUNGSBEISPIEL

Zum Redaktionsschluss für diesen Tagungsbeitrag befand sich METRAS⁺ noch in der Entwicklung. Ein in sich geschlossenes Beispiel für die Anwendung des Programmsystems kann deshalb an dieser Stelle noch nicht gegeben werden. Das folgende Beispiel ist daher nur als Anregung für eine typische Fragestellung, wie sie sich z.B. im Rahmen der Regionalplanung („Regionale Klimaanalyse“) ergeben kann, zu verstehen:

Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts EUROLAKES („Integrated Water Resource Management for Important Deep European Lakes and their Catchment Areas“, EVK1-1999-00004) waren für die Umgebung von Loch Lomond (Schottland) synthetische Windstatistiken und meteorologische Antriebsdaten für hydrodynamische Modellsimulationen zu berechnen. Die meteorologischen Modellrechnungen wurden noch mit METRAS PC 1.0³ durchgeführt.

3 Urheberrechtlicher Hinweis: „Die Modellrechnungen wurden mit METRAS PC (Version 1.0) durchgeführt. METRAS PC wurde gemeinsam von Dr. K.H. Schlünzen, S. Dierer, H. Panskus (Meteorologisches Institut, Universität Hamburg) und Dr. K.

Datenbasis zur Erzeugung eines METRAS-Modellgitters waren drei Topographiedatensätze unterschiedlicher Auflösung (25 m bis 1 km) und Projektionssysteme (BNG, Lambert, geographisch). Für die Erzeugung des Modellgitters wurde die METRAS⁺-Programmkomponente GRITOP genutzt. Das Modellgebiet von 54 x 95 Gitterpunkten umfasst einen Bereich von ca. 10.000 km² bei einer Auflösung zwischen 250 m (nördlicher Bereich Loch Lomond) und 2.5 km an der Modellgebietsrändern. In der Vertikalen liegen 31 Modellschichten zwischen 20 m und etwa 10 km Höhe vor. Die Abbildung 8 zeigt links die Lage des Modellgebiets und rechts die jeweils häufigste Landnutzungs-kategorie an den Gitterpunkten. Darin sind rot dargestellt städtische Bereiche (Glasgow), Wälder und Wiesen in Grüntönen und die schottischen Heide- und Moorlandschaften in violetten Farben. Die auf insgesamt zehn Klassen unterteilten subskaligen Nutzungen werden vom Modell berücksichtigt, sind aber in der Darstellung nicht enthalten.

Als meteorologische Eingangsdaten standen langjährige Zeitreihen des 850 hPa-Winds aus Reanalysen des ECMWF zur Verfügung. Eine Analyse der Zeitreihen führte zu 48 Klassen von Windrichtung und -geschwindigkeit, die vergleichbare relative Häufigkeiten aufweisen. Für jede Höhenwindklasse wurde eine stationäre Simulation unter Verwendung der häufigkeitsgewichteten

Klassenmittelwerte von Windrichtung und -geschwindigkeit als geostrophischem Antrieb durchgeführt. Die Schichtung entspricht in allen Fällen der WMO-Standardatmosphäre. Damit wird implizit vorausgesetzt, dass das Windklima im Untersuchungsgebiet von dynamischen Einflüssen dominiert wird.

Die bodennahe Windstatistik kann aus den Einzelergebnissen jeder Situation, jeweils gemittelt über drei Stunden Simulationszeit, mit Hilfe eines statistisch-dynamischen Verfahrens (vgl. Frank u. Landberg, 1997) abgeleitet werden.

Bigalke (METCON Umweltmeteorologische Beratung, Pinneberg) im Auftrage des Umweltbundesamtes im FE Projekt 104 04 354 aufbauend auf dem Modell METRAS entwickelt.“

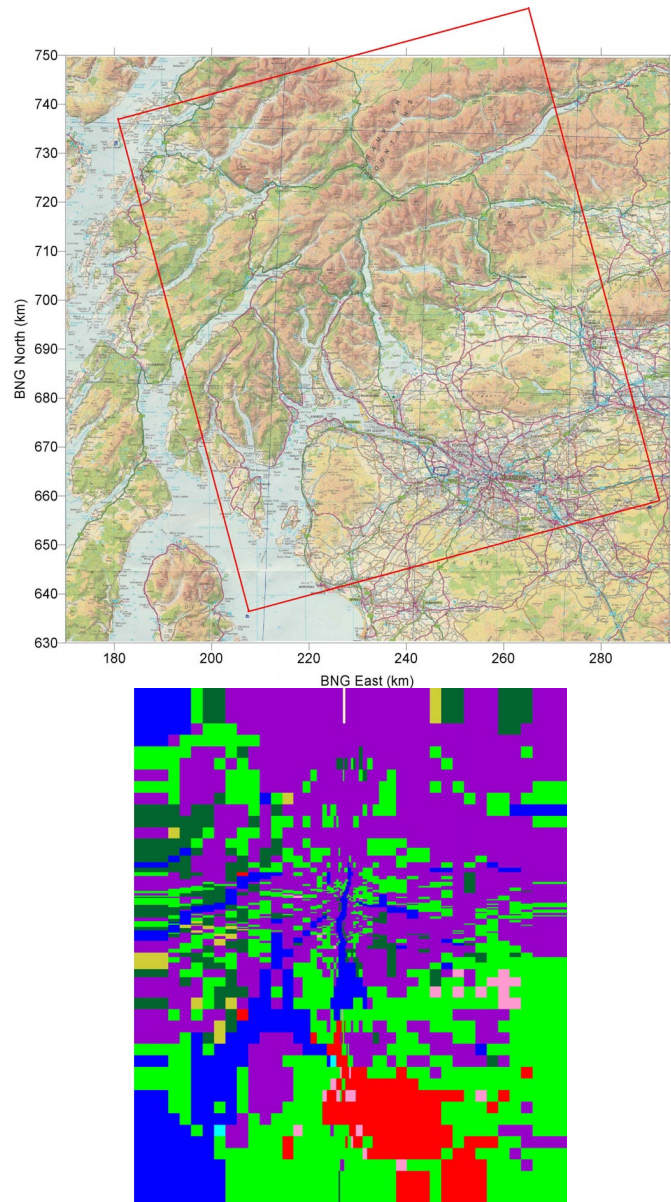


Abbildung 8: Modellgebiet um Loch Lomond / Schottland (links) und Modellgitterdarstellung (rechts: Haupt-Landnutzungsklassen, Erläuterungen im Text)

Die Abbildung 9 zeigt das bodennahe Strömungsfeld für einen geostrophischen Westwind mit 5 m/s. Während im südlichen Teil des Modellgebiets eine südwestliche Strömung vorherrscht, in der vor allem die Reduzierung der Windgeschwindigkeit über den dichter bebauten Gebieten von Glasgow auffällt, ist die Strömung im Bereich von Loch Lomond deutlich von topographischen Einflüssen geprägt. Besonders der nördliche Teil des Sees (5 m über NN) liegt in einem tief eingeschnittenen Tal zwischen umgebenden Bergen, deren höchste Erhebung Ben Lomond mit etwa 1000 m Höhe darstellt. Im Übergangsbereich zwischen dem breiten Südteil von Loch Lomond und dem schmalen Nordteil stellt sich eine antizyklonale Rückströmung hinter den bis zu rund 700 m hohen Randbergen ein. Nördlich davon wird die Strömung im wesentlichen kanalisiert, weist aber - beeinflusst von Seitentälern – kleinräumig wechselnde Richtungen auf.

Die synthetischen Windrosen (Abbildung 10) spiegeln dieses typische Strömungsmuster in der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen wieder. In dem relativ freien Gelände um Glasgow stellt Westsüdwest die vorherrschende Windrichtung dar. Über dem südlichen Loch Lomond dreht die Hauptwindrichtung auf Südwest mit einem sekundären Maximum nördlicher Windrichtungen. Nördlich

davon überwiegen die Kanalisierungseffekt durch das Tal und es treten fast ausschließlich nördliche und südliche Windrichtungen auf.

Windpfeile geben die Windgeschwindigkeit wieder. Blaue Pfeile entsprechen niedrigen, rote Pfeile höheren Windgeschwindigkeiten.

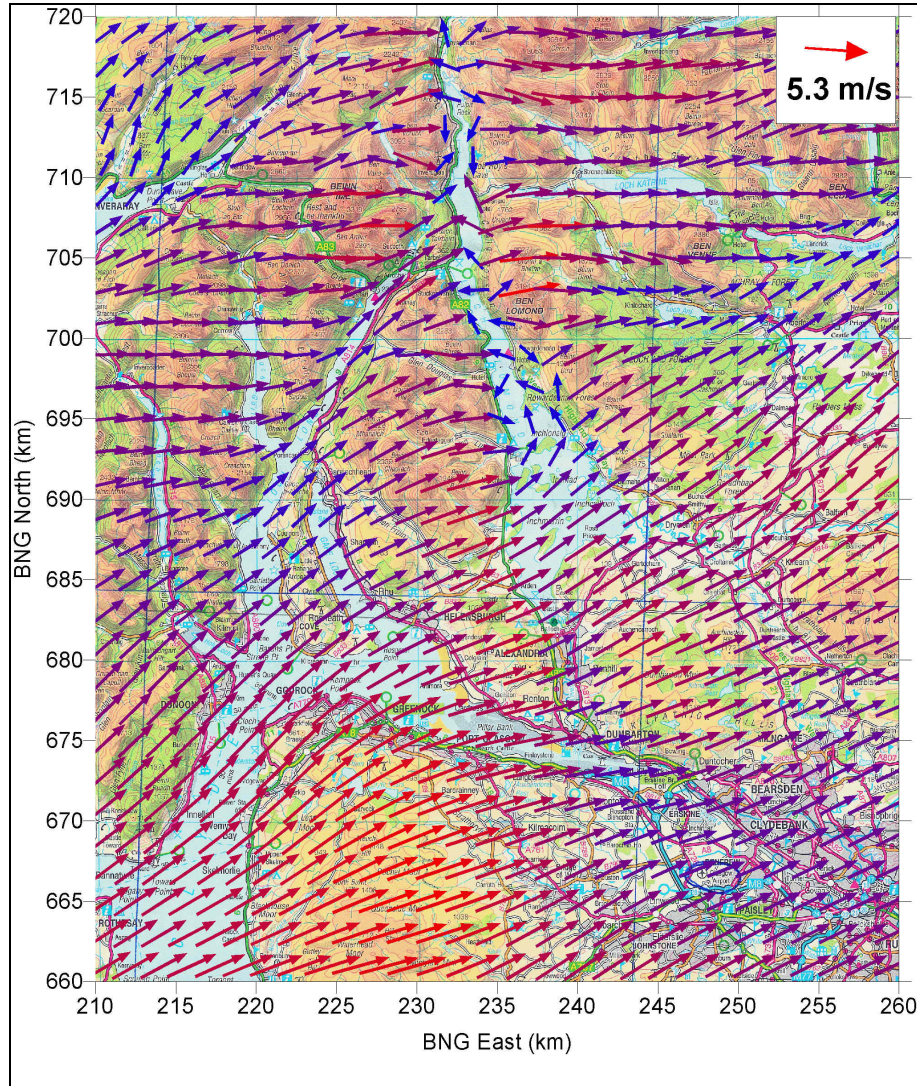


Abbildung 9: Windfeld in 10 m Höhe bei großräumiger Westanströmung mit 5.3 m/s für einen Modellgebietsausschnitt um Loch Lomond. Die Farben der

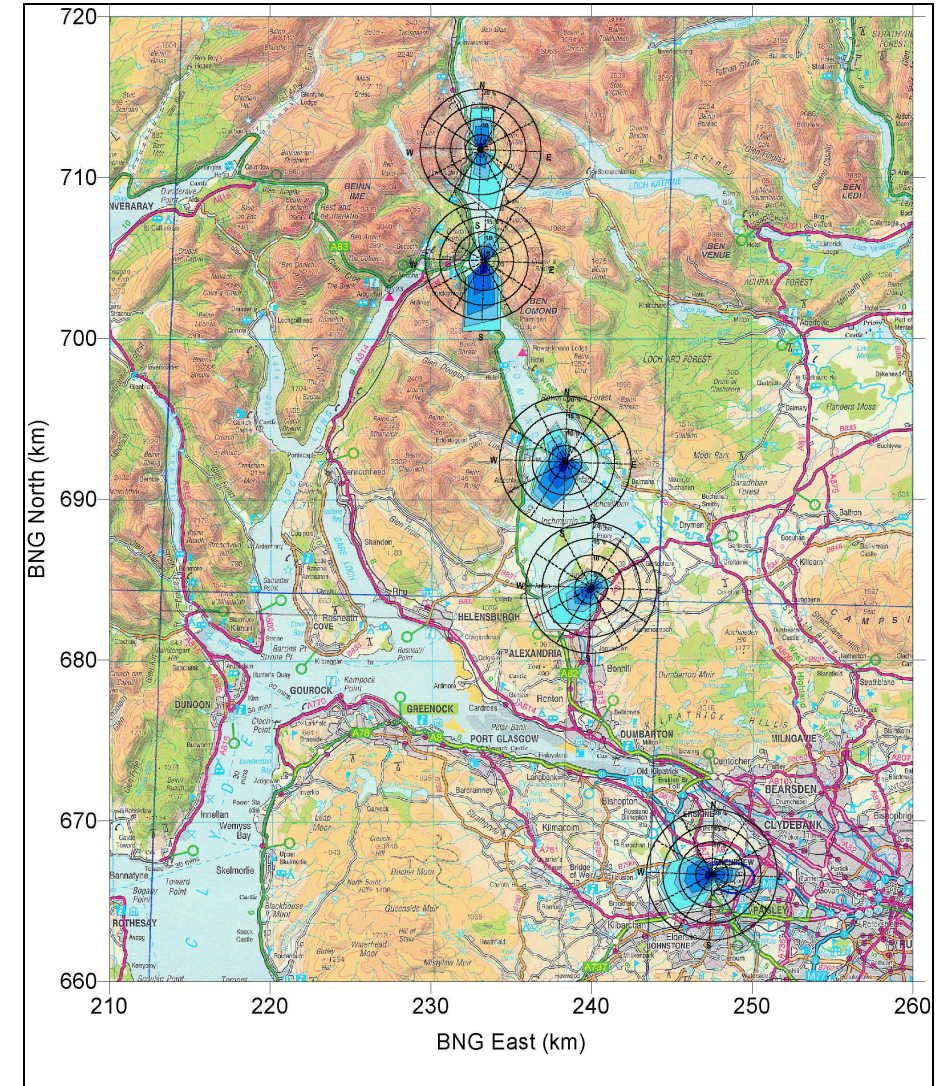


Abbildung 10: Aus Simulationen von 48 Einzelsituationen konstruierte Windrosen für einen Modellgebietsausschnitt um Loch Lomond. Die

Sektorbreite der Windrosen ist 30°, jeder Ring entspricht einer Summenhäufigkeit von 5 %. Die unterschiedlichen Blautöne stellen die Summenhäufigkeiten von Windgeschwindigkeiten <1, <2, ..., <5, <7.5, <10 und <15 m/s dar.

5. AUSBLICK

Der Abschluss der Programmentwicklung von METRAS⁺ ist für den Herbst 2001 geplant. Zur Zeit wird die Programmkomponente METRAS PC dem Evaluierungsprozess gemäß der geplanten VDI-Richtlinie 3783 Bl. 7 unterzogen. Mit der Freigabe der Betaversion von METRAS⁺, die für den Spätherbst 2001 geplant ist, wird erstmals ein mesoskaliges Modellsystem allen interessierten Anwendern aus Beratungsunternehmen und Behörden zur Verfügung stehen, das

- unter gewohnten Windows-Oberflächen mit den Betriebssystemen Windows 98x, NT 4, Windows 2000 lauffähig ist
- nach neuesten Qualitätsstandards evaluiert ist und
- nicht kommerziell vertrieben wird.

METRAS⁺ wird wie METRAS PC allgemein verfügbar gemacht und gegen eine Aufwandentschädigung abgegeben (wenige 100 EUR), die Vertriebskosten und die kostenlose Nachlieferung von „Bugfixes“ für registrierte Benutzer decken soll.

Sofern die später veröffentlichte VDI-Richtlinie 3783 Bl. 7 gegenüber dem jetzigen Entwurf noch verändert wird, werden diese Änderungen auch in METRAS⁺ (EVA) übernommen werden.

DANKSAGUNG

Die Entwicklung von METRAS⁺ wird gefördert mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

LITERATUR

Adrian, G., Fiedler, F. (1991): Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observations. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 64, 27-48.

Bigalke, K. (1999): Vergleich der mit verschiedenen Ausbreitungsmodellen in gegliedertem Gelände berechneten Zusatzbelastungen. *Projektbericht im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen, Essen.*

Bigalke, K., Schlünzen, H. (1993): Umweltmeteorologisches Gutachten für das geplante ICE-Betriebswerk in Berlin-Rummelsburg. *Projektbericht im Auftrag der Ingenieur-Consult Haas & Partner GmbH, München.*

Frank, H. P., Landberg, L. (1997): Modelling the wind climate of Ireland. *Boundary-Layer Meteorol.*, 85, 359-377.

Groß, G., Vogel, H., Wippermann, F. (1987): Dispersion over and around a steep obstacle for varying thermal stratification - numerical simulations. *Atmos. Environ.*, 21(3), 483-490.

Hass, H., Ebel, A., Feldmann, H., Jakobs, H.J., Memmesheimer, M. (1993): Evaluation studies with a regional chemical transport model (EURAD) using air quality data from the EMEP monitoring network. *Atmos. Environ.*, 27A, 867-887.

Kadler, Ritter (2001): Einsatzmöglichkeiten des Klimamodells METRAS für städtische Klimaanalysen und Konsequenzen für die Stadtplanung am Beispiel der Stadt Recklinghausen. *Geogr. Inst. der Ruhr-Universität Bochum, Dipl.-Arbeit, in Vorbereitung.*

Kommunalverband Ruhrgebiet (2001): Immissionsbewertung Stadt Bottrop. *Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Planungsamtes der Stadt Bottrop, in Vorbereitung.*

Mengelkamp, H.-T. (1991): Boundary Layer structure over an inhomogeneous surface: simulation with a non-hydrostatic mesoscale model. *Boundary-Layer Meteorol.*, 57, 323-341.

Schlünzen, K.H. (1990): Numerical study on the inland penetration of sea breeze fronts at a coastline with tidally flooded mudflats. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 63(3/4), 243-256.

Schlünzen, K.H., Panskus, H. (2001): Evaluierung atmosphärischer Modelle für die Berechnung von Strömungsfeldern. *Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologen-Tagung, 18. bis 21. September 2001, Wien.*

Schlünzen, K.H., Bigalke, K. (1998): METRAS PC, Version 1.0. Benutzerhandbuch. *Herausgeber: Meteorologisches Institut der Universität Hamburg.*

TA Luft (1986): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 27.2.1986.

Thüringen (1996): Luftreinhalteplan Weimar 1996 - Teil 3: Klima, Immissionskataster. *Herausgeber: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Erfurt.*

VDI (2002): VDI 3783 Bl. 7. Prognostische mesoskalige nichthydrostatische Windfeldmodelle, in Vorbereitung.