GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Abschlussbericht

Erweiterung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR

A. Eichhorn-Müller

15.07.2024

Auftraggeber:	**Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)**
Projektträger:	**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**
Auftragnehmer:	**Deutscher Wetterdienst (DWD) Geschäftsbereich Klima und Umwelt Abteilung Klima- und Umweltberatung Zentrales Klimabüro**
Förderkennzeichen:	**01LP1911D**
Kassenzeichen:	**810304357490**
Vorhabenbezeichnung:	**Verbundprojekt Stadtklima im Wandel Phase 2: Modellbasierte Stadtplanung und Anwendung im Klimawandel (MOSAIK-2), Teilprojekt 4: Erweiterung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR**
Laufzeit des Vorhabens:	**01.09.2019 – 31.12.2023**

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis 2
Abbildungsverzeichnis 2
Kapitel I Kurzdarstellung 3
1. Aufgabenstellung 3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 4
3. Planung und Ablauf des Vorhabens 5
4. Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde 6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 6
Kapitel II Eingehende Darstellung 7
1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse 7
Erfüllung der Arbeitspakete/Meilensteine aus WP-P3: 7
Zusätzliche Arbeiten 10
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 11
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 11
4. Der voraussichtliche Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 11
Nutzen 11
Verwertbarkeit 12
5. Welcher Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen wurde bekannt? 12
6. Welche Veröffentlichungen erfolgten oder sind geplant? 12
Literaturverzeichnis 13
Anlage A Berichtsblatt 14
Anlage B Document Control Sheet 15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektplan (Gantt-Chart) und Meilensteine von WP-P3..... 5
Tabelle 2: Geplante Meilensteine (M) und Abgaben (A), sowie vorgenommene Ergänzungen in WP-P3. 5
Tabelle 3: Tabellarische Übersicht über die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises. 11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vertikalschnitt der potenziellen Temperatur (Farbverlauf) in PALM-4U mit herkömmlichem Interpolationsverfahren der mesoskaligen Eingangsprofile aus COSMO (links) und Terrain-angepasstem Temperaturfeld (rechts). In der linken Grafik stellt die durchgezogene, weiße Linie den mesoskaligen Geländeverlauf in COSMO dar. Aufgrund der groben, räumlichen Auflösung von COSMO und dem kleinen Untersuchungsgebiet (ca. 1250 Meter x 1250 Meter) erscheint das Gelände hier flach und homogen. Die gestrichelte, weiße Linie (links) bzw. durchgezogene, weiße Linie (rechts) stellt den mikroskaligen Geländeverlauf dar, der jedoch nur in PALM-4U aufgrund der hohen räumlichen Auflösung sichtbar ist. 8
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Wirkungsweise der neu eingeführten Steuerungsparameter *bleding_z_ubound* und *blending_dz* in INIFOR. 8
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Koordinaten- bzw. Gittertransformation zur Interpolation von beliebigen strukturierten mesoskaligen Eingangsdaten auf das Zielgitter von PALM-4U. 10

Kapitel I Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Ziel der Fördermaßnahme war, das in der 1. Phase entwickelte Stadtklimamodell PALM-4U zu einem Produkt weiterzuentwickeln, welches praxistauglich für den Einsatz in Kommunen und öffentlichen Behörden ist, aber auch für wissenschaftliche Forschungen eingesetzt werden kann.

In Modul A (Verbundprojekt MOSAIK-2) der Fördermaßnahme sollte das in der 1. Phase erschaffene Modell PALM-4U weiterentwickelt und evaluiert werden. Dazu wurden bestehende Module weiterentwickelt und neue Komponenten implementiert. Außerdem war der Aspekt der Nachhaltigkeit und Verstetigung der Modellentwicklung ein zentraler Aspekt von MOSAIK-2. Weiterentwicklungen waren vor allem hinsichtlich Luftchemie/Schadstoffausbreitung, Emissionsmodellierung, Strahlungstransfer und Multiagentenmodell vorgesehen. Neue Modellkomponenten sollten unter anderem für Sturmschäden an Bäumen (Windwurfmodell), Wolken, sowie Effekte von gefrorenem Wasser in Form von Schnee und Eis entwickelt werden. Außerdem sollten Modelloptimierungen hinsichtlich der Parametrisierung von Gebäuden und neuen Rechnerarchitekturen durchgeführt werden und die Etablierung einer Community-Modellstruktur die Nachhaltigkeit des Modells über die Förderperiode hinaus sicherstellen. Zuletzt kam der Modellevaluation eine besondere Bedeutung zu, welche auch die Überprüfung der Modellunsicherheiten bzgl. Eingangsdaten sowie deren Bereitstellung bedeutete.

Teilprojekt 4 (TP4) adressierte mit der geplanten Weiterentwicklung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR einen wesentlichen Teil der oben genannten Aspekte. Mit der Unterstützung zusätzlicher Parameter für Niederschlag, Wolken-Mikrophysik und Luftchemie wurde der Anwendungsbereich des mesoskaligen Antriebs für PALM-4U wesentlich erweitert. Die geplante Unterstützung für die zusätzlichen Antriebsmodelle ICON und WRF sollte es einer noch breiteren, nationalen und internationalen Nutzercommunity ermöglichen, PALM-4U für Untersuchungen unter realistischen synoptischen Bedingungen anzuwenden. Auch für die Modellevaluierung spielte INIFOR eine wichtige Rolle.

Das Teilprojekt TP4 des Verbundprojekts umfasst das Arbeitspaket

- **WP-P3**: Erweiterung der Schnittstelle zu mesoskaligen Modellen: Anbindung weiterer Variablen (Niederschlag, Wolken, Chemie) und Modelle; Optimierung und Parallelisierung.
    - P3.1: Einarbeitung in mesoskalige Modelle und das Chemie-Modul von PALM-4U
    - P3.2: Erweiterung von INIFOR um Niederschlag und wolkenphysikalische Größen
    - P3.3: Anbindung an ICON und WRF sowie deren Chemie-Erweiterungen
    - P3.4: Performance-Optimierung, Parallelisierung und Dokumentation
    - P3.5: Unterstützung der Modellevaluierung und neuer Nutzer von INIFOR

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Mit dem LES Modell PALM-4U existierte bereits aus Phase 1 der Fördermaßnahme ein extrem leistungsfähiges numerisches Stadtklimamodell. Auch mit der Basis-Entwicklung von INIFOR, die am DWD im Verbundprojekt MOSAIK in Phase 1 geleistet wurde, war bereits zu Projektbeginn ein Werkzeug vorhanden, dynamische Antriebsdaten für PALM-4U aus COSMO-Daten zu generieren (Offline-Nesting). Mit diesem Beitrag hat der DWD bereits in Phase 1 der Fördermaßnahme die Grundvoraussetzungen erfüllt, das Stadtklimamodell nicht nur für idealisierte, sondern auch realistische meteorologische Bedingungen nutzbar zu machen.

Die notwendige Fachexpertise zur Anwendung und Weiterentwicklung von PALM-4U bzw. INIFOR ist bereits in Phase 1 am DWD aufgebaut worden und konnte im Rahmen dieses Projekts weiter vertieft werden. Förderlich war dabei, dass für die Bearbeitung des hier beschriebenen Teilprojekts der gleiche Projektmitarbeiter gewonnen werden konnte, sodass keine Einarbeitung in die Software-Entwicklung des in Fortran programmierten Werkzeugs INIFOR mehr notwendig war.

Ursprünglich war vorgesehen, direkt auf die Entwicklung von INIFOR aus Phase 1 der Fördermaßnahme aufzubauen. Doch im Zuge der Beendigung von operationellen COSMO-Vorhersageläufen und Analysen am DWD im Februar 2021 rückte die Anwendung von INIFOR zur Anbindung von PALM-4U an COSMO unerwartet schnell in den Hintergrund und der Kreis interessierter Nutzer von INIFOR (insbesondere Verbund-externer Anwendungen) fiel schon während des Projekts kleiner aus als erwartet. Gleichzeitig stieg die Notwendigkeit eines nutzerfreundlichen Tools für die Erzeugung dynamischer Antriebsdaten basierend auf ICON und WRF. Da zur Anbindung and WRF bereits außerhalb von MOSAIK-2 erste Softwarelösungen in der Entwicklung waren und sich gleichzeitig ein starker Trend abzeichnete, Prä- und Postprocessing-Tools für PALM-4U in Python zu programmieren, entschied man sich in Rücksprache mit der Verbundkoordination zur Entwicklung eines neuen, Python-basierten Tools „promet“ als Schnittstelle zu WRF und ICON, anstatt das Fortran-basierte INIFOR um eine Funktionalität für WRF und ICON zu erweitern.

Da der Projektmitarbeiter seine Stelle vorzeitig verlassen hatte, waren die personellen Voraussetzungen zur Bearbeitung der Projektaufgaben zeitweise nicht erfüllt, weshalb es zu drastischen Verzögerungen im Projektablauf kam. Die Projektleitung des DWD-Teilprojekts hat sich jedoch über dem gesamten Projektverlauf um eine kontinuierliche Unterstützung und Zuarbeit für alle Projektpartner in den Modulen A, B und C bemüht, sodass die personellen Beeinträchtigungen fast ausschließlich zu Lasten dieses Teilprojekts gingen.

Die Corona-Pandemie hatte die Voraussetzung für eine Zusammenarbeit im Verbund stark verändert und viele der geplanten Veranstaltungen und Präsentationen von Projektergebnissen verhindert.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Arbeitsplan für das Teilprojekt richtete sich nach den Projektplänen der Antragstellung. Eine Übersicht des ursprünglich geplanten Ablaufs und zugehörigen Abgaben und Meilensteinen ist in Tabelle 1 und Tabelle 2 zu finden. Bedingt durch eine verspätete Personaleinstellung für das Projekt, die Arbeit des Projektmitarbeiters in Teilzeit und unvorhergesehene aber dringend notwendige Weiterentwicklungen (siehe Kapitel II.1) am Kern von INIFOR kam es bereits im zweiten Bearbeitungsjahr zu Verzögerungen im Projektablauf. Erschwerend hinzu kam, dass die Projektstelle ab 1. Dezember 2021 unbesetzt war und trotz intensiver Bemühungen kein neuer, fachlich qualifizierter Projektmitarbeiter gefunden werden konnte. Dank einer kostenneutralen Verlängerung bis 31.12.2023 sowie die Bewilligung einer Mittelumwidmung der restlichen Personalmittel zur Vergabe eines FE-Auftrags konnte das Projekt schließlich noch erfolgreich abgeschlossen werden.

Tabelle 1: Projektplan (Gantt-Chart) und Meilensteine von WP-P3.

Arbeitspaket	DWD PM	Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3			
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Projektstelle		*unbesetzt*				*besetzt*					*unbesetzt*		
WP-P3.1	5												
WP-P3.2	6				**A1, A2**								
WP-P3.3	15						**M1**	**A3**		**M2**	**A4**		
WP-P3.4	6											**A5**	**A6**
WP-P3.5	4												
Summe	**36**												

Geplanter Zeitraum für das Arbeitspaket

Tabelle 2: Geplante Meilensteine (M) und Abgaben (A), sowie vorgenommene Ergänzungen in WP-P3.

Kürzel	Geplanter Monat	Tatsächlicher Monat	Arbeitspaket	Typ	Beschreibung
A1	10	10	WP-P3.2	A	Langzeit-COSMO-Daten werden zur Nutzung in WP-P5 bereitgestellt
A2	12	12	WP-P3.2	A	Unterstützung von COSMO-Niederschlags- und Wolkengrößen in INIFOR ist fertig
A2a	21	21	WP-P3.2a	A	Terrain-Anpassung in INIFOR ist fertig
A3	21	52	WP-P3.3	A	WRF/WRF-Chem-Anbindung ist fertig
A4	28	52	WP-P3.3	A	ICON/ICON-ART-Anbindgung ist fertig
A5*	33	-	WP-P3.4	A	INIFOR ist parallelisiert
A6	36	21	WP-P3.4	A	INIFOR-Dokumentation ist fertig
A6a	52	52	WP-P3.4	A	promet-Dokumentation ist fertig
M1	18	50	WP-P3.3	M	Testversion der WRF/WRF-Chem-Anbindung ist fertig
M2	25	50	WP-P3.3	M	Testversion der ICON/ICON-ART-Anbindung ist fertig

orange: neue Abgaben, die aufgrund veränderter Anforderungen an das Projekt formuliert wurden.
grün: Abgaben bzw. Meilensteine, die fristgerecht erreicht wurden.
rot: Abgaben bzw. Meilensteine, bei denen es aufgrund der genannten Rahmenbedingungen zu einem verzögerten Abschluss kam.

*) A5 wurde nicht bearbeitet, da die Performance-Optimierung vollständig in das neue Tool promet investiert wurde.

4. Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Folgende vorhandenen Daten, Modelle, Werkzeuge und Verfahren bzw. Erfahrungen damit wurden zumindest teilweise genutzt

- Das aus Phase 1 entstandene LES-Modell PALM-4U
- Das aus Phase 1 bestehende Werkzeug INIFOR zum Offline-Nesting von PALM-4U in COSMO
- Erfahrungen mit MUKLIMO_3 (Sievers, 2016), INIFOR und PALM-4U
- vorhandene, beim DWD operationell erstellte und archivierte COSMO-Analyse-Daten und Vorhersagen
- vorhandene, beim DWD erstellte COSMO-Reanalyse-Daten
- vorhandene, beim DWD operationell erstellte und archivierte ICON-Analyse- und Vorhersagedaten
- PAMORE, Werkzeug zur Extraktion von Modelldaten aus der DWD-Datenbank (https://www.dwd.de/DE/leistungen/pamore/pamore.html)
- Verfahren zur Koordinatentransformation und zur Interpolation

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Projekts wurde eng mit der Leibniz Universität Hannover zusammengearbeitet. Dies betrifft insbesondere die Evaluierung und Optimierung von INIFOR und promet durch die gemeinsame Durchführung zahlreicher Sensitivitätsexperimente.

Auch mit der Technischen Universität Berlin als Gesamtkoordinator der Fördermaßnahme hat ein reger, kontinuierlicher Austausch stattgefunden, um die Projektpartner aus Modul B (Verbundprojekt 3DO+M) bestmöglich mit Daten und Expertise zu unterstützen.

Bei der konzeptionellen Entwicklung einer Schnittstelle für WRF/WRF-Chem wurde mit der Tschechischen Akademie der Wissenschaften (CAS) zusammengearbeitet, mit der zahlreiche Austauschgespräche stattgefunden haben.

Nachdem alle Versuche der Wiederbesetzung der Projektstelle am DWD nach Weggang des Projektmitarbeiters fehlschlugen, konnte eine Mittelumwidmung zur Vergabe eines FE-Auftrags an das Unternehmen pecanode GmbH bewirkt werden. Das Unternehmen hat federführend die Implementierung von promet vorgenommen und damit wesentlich zum erfolgreichen Projektabschluss beigetragen.

Kapitel II Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Für TP4 wurden insgesamt 259.228,44 Euro bewilligt. 246.904,49 Euro wurden erhalten und 522,87 Euro wieder zurückgegeben. Die Mittel wurden zu einem großen Teil für die Beschäftigung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters verwendet bzw. in die Vergabe eines Entwicklungsauftrags, nach der erfolgten Umwidmung der bewilligten Personalmittel. Für die entstandenen Verzögerungen wurde eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31.12.2023 beantragt und bewilligt. Aufgrund der Corona-Pandemie konnte ein Großteil der geplanten Dienstreisen nicht durchgeführt werden. Im Wesentlichen wurden im Projekt folgende Ergebnisse erzielt:

Erfüllung der Arbeitspakete/Meilensteine aus WP-P3:

- **Erweiterung von INIFOR um Niederschlag und wolkenphysikalische Größen (Abgabe A1 und A2):**

  INIFOR wurde erfolgreich um mesoskalige Niederschlagsraten aus COSMO als zusätzliche Antriebsgröße erweitert. Außerdem erfolgte die Erweiterung der Ausgabe um dreidimensionale Felder mikrophysikalischer Parameter (Wolken- und Regenwassergehalt, Schnee usw.) unter Verwendung der bereits aus Phase 1 existierenden Interpolationsroutinen in INIFOR.

  - Die Weiterentwicklung von INIFOR wurde in das neue Repositorium von PALM eingepflegt und dokumentiert: https://gitlab.palm-model.org/dynamic_driver/inifor

  Für Arbeitspaket WP-P5 wurden Langzeitserien von COSMO-Ausgabedaten bereitgestellt.

- **Erweiterung von INIFOR um die Fähigkeit einer Terrain-Anpassung (Abgabe A2a, A6)**

  Die Erweiterung von INIFOR um die Fähigkeit einer sogenannten Terrain-Anpassung war ursprünglich nicht vorgesehen. Die dringende Notwendigkeit für eine derartige Weiterentwicklung ergab sich jedoch während Durchführung von Testsimulationen an der Universität Hannover als Vorarbeit für die Evaluierungsläufe für Stuttgart. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass es aufgrund des komplexen Geländes in und um Stuttgart herum zu schwerwiegenden Fehlern in den Antriebsdaten für PALM-4U kommt, wenn eine einfache Gitterinterpolation der meteorologischen Informationen von COSMO-Gitter auf das PALM-Gitter vorgenommen wird. Derartige Probleme sind in diesem Ausmaß bei den bis dahin durchgeführten Simulationen für Berlin nicht aufgetreten, weil Berlin eine sehr viel flacherer Orographie aufweist. Ursprung für die Problematik ist in erster Linie die Darstellung des Geländes im mesoskaligen Modell im Vergleich zum mikroskaligen Geländeverlauf auf dem PALM-Gitter, durch das deutlich extremere Berghöhen bzw. Talebenen aufgelöst werden, an die die Grenzschichtprofile angepasst werden müssen.

Im Zuge der erweiterten Funktionalität von INIFOR wurden zwei neue Steuerungsparameter (*blending_z_ubound* und *blending_dz*) eingeführt, über die die Geländeanpassung der Grenzschichtprofile reguliert werden kann. Die Funktionalität der Parameter wird in Abbildung 1 und Abbildung 2 veranschaulicht. Die Geländeanpassung von mesoskaligen Eingangsprofilen selbst kann über die Command-Line Option *--map-terrain* ein- bzw. ausgeschaltet werden.

- Die Erweiterung von INIFOR zur Terrain-Anpassung wurde ebenfalls in das Projekt-Repositorium eingepflegt und dort dokumentiert: https://gitlab.palm-model.org/dynamic_driver/inifor

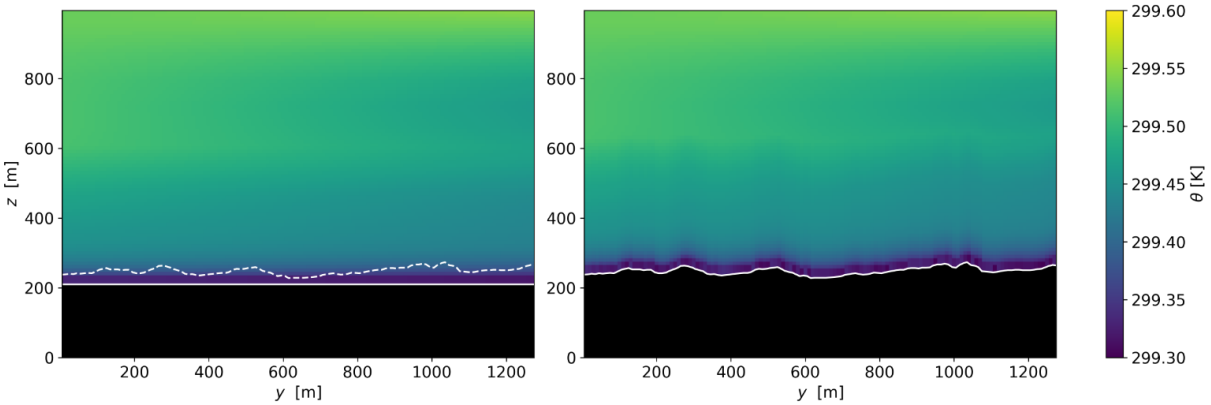

Abbildung 1: Vertikalschnitt der potenziellen Temperatur (Farbverlauf) in PALM-4U mit herkömmlichem Interpolationsverfahren der mesoskaligen Eingangsprofile aus COSMO (links) und Terrain-angepasstem Temperaturfeld (rechts). In der linken Grafik stellt die durchgezogene, weiße Linie den mesoskaligen Geländeverlauf in COSMO dar. Aufgrund der groben, räumlichen Auflösung von COSMO und dem kleinen Untersuchungsgebiet (ca. 1250 Meter x 1250 Meter) erscheint das Gelände hier flach und homogen. Die gestrichelte, weiße Linie (links) bzw. durchgezogene, weiße Linie (rechts) stellt den mikroskaligen Geländeverlauf dar, der jedoch nur in PALM-4U aufgrund der hohen räumlichen Auflösung sichtbar ist.

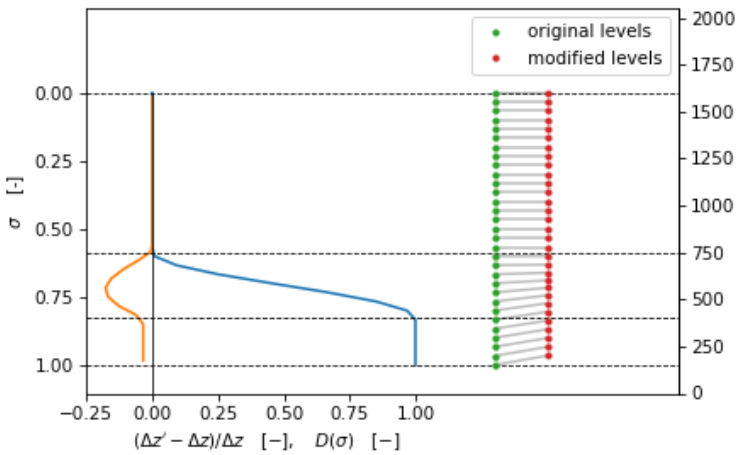

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Wirkungsweise der neu eingeführten Steuerungsparameter *bleding_z_ubound* und *blending_dz* in INIFOR.

- **Entwicklung von promet zur Anbindung an ICON/ICON-ART und WRF/WRF-Chem (Abgabe A3, A4, A6a, Meilensteine M1 und M2)**

  Vor dem Hintergrund aktueller Programmierstandards von Anwendungssoftware und Prä-/Postprocessing-Tools von PALM-4U wurde im Laufe des Projekts beschlossen, für die Anbindung von ICON und WRF nicht auf den Software-Code von INIFOR aufzubauen, sondern ein neue, Python-basierte Software zu entwickeln. Die Entwicklung von promet (Ableitung von „**pro**vide **met**eorological initial and boundary conditions for PALM“) war das Kernstück in TP4. Insgesamt wurde der Aufwand als deutlich geringer eingeschätzt, ein neues, flexibles Werkzeug zu entwickeln anstatt INIFOR für die Nutzung ICON- und WRF-Daten zu erweitern.

  Promet zeichnet sich durch seine Plugin-Struktur und intuitive Bedienung aus. Im Kern von promet finden die notwendigen Koordinatensystem-Transformationen zwischen dem individuellen geodätischen Daten und Projektionen von Eingangsdaten und PALM-Daten statt. Danach werden die als unstrukturiert angenommenen Eingangsdaten tesselliert und auf jedem Dreieck wird dann eine lineare baryzentrische Interpolation durchgeführt. So können beliebig strukturierte, rotierte und unstrukturierte Eingangsdaten immer auf dieselbe Weise auf das PALM-Gitter interpoliert werden. Anschließend werden die so interpolierten Daten vertikal entsprechend der Differenz zwischen mesoskaliger Eingangs-Orographie und mikroskaliger PALM-Orographie gestaucht/gestreckt (Terrain-Anpassung). Promet weist im Vergleich zu INIFOR eine Reihe optimierter Operationen für das Daten-Management und Mapping von Variablen auf.

  - Promet wurde auf dem PALM Gitlab-Server veröffentlicht und dokumentiert: https://gitlab.palm-model.org/dwd/promet/
  - Promet unterstützt die Erstellung von dynamischen Antriebsdaten für PALM basierend auf den Eingangsmodellen ICON, ICON-ART, WRF und WRF-Chem. Für die Verwendung mit ICON-ART und WRF-Chem Daten liegen allerdings bis jetzt nur wenige Testdatensätze und Erfahrungen vor. Da der DWD ICON-ART selbst nur für die Pollenvorhersage operationell betreibt und WRF gar nicht verwendet, stellte sich die Beschaffung notwendiger Beispieldatensätze als sehr schwierig dar.
  - Eine Erweiterung zur Anbindung weiterer Modelle für das Offline-Nesting in PALM ist aufgrund der Plugin-Struktur von promet unkompliziert umsetzbar und für die Zukunft geplant.
  - Promet befindet sich aktuell noch in einer Beta-Testing-Phase und wird nach erfolgreicher Prüfung ab der nächsten PALM Release (24.10) automatisch mit dem PALM-Quellcode ausgeliefert und integrativer Bestandteil des Modellsystems.
  - Eine wissenschaftliche Publikation zur Entwicklung von promet ist in Planung.

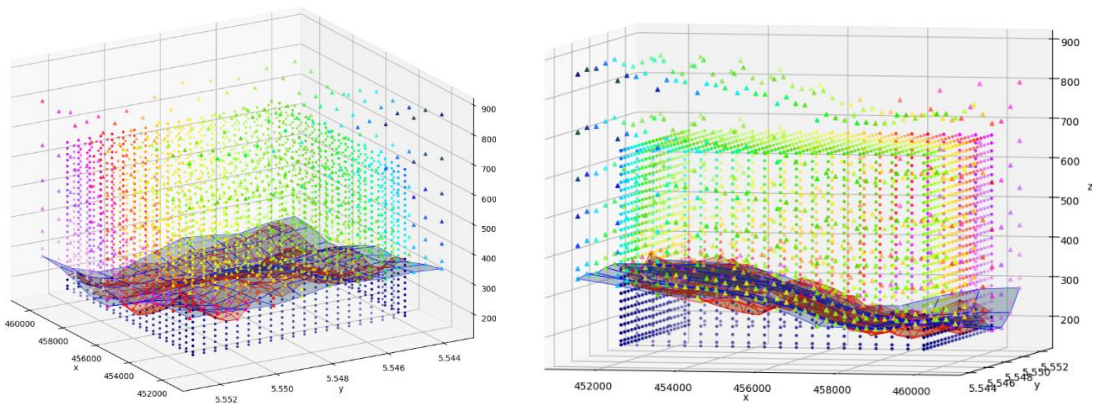

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Koordinaten- bzw. Gittertransformation zur Interpolation von beliebigen strukturierten mesoskaligen Eingangsdaten auf das Zielgitter von PALM-4U.

Zusätzliche Arbeiten

INIFOR und promet wurde bereits während der Projektlaufzeit von Nutzern innerhalb und außerhalb der Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ verstärkt genutzt. Bei Bedarf erfolgte hierfür eine Unterstützung bzw. Beratung der Nutzer. Zusätzlich erfolgte die Teilnahme an einem PALM Documentation Workshop, organisiert durch den Verbundkoordinator von MOSAIK-2. Ziel war die Verbesserung und Vereinheitlichung der gesamten PALM-4U-Dokumentation und die Überführung in GitLab.

Insbesondere für Modul B (Verbund 3DO+M) wurden einige zusätzliche Arbeiten erledigt, um die Modellevaluierung von PALM-4U in den Teilprojekte aus Modul B zu unterstützen. Teil der Arbeit war die Bereitstellung von operationellen Modelldaten (COSMO, ICON), aber auch die Interpretationshilfe dieser Daten. Zur Wiederholung der Evaluierungsläufe für Berlin wurden neben der COSMO-Analysedaten auch COSMO-Reanalysedaten aufbereitet, um die dynamischen Antriebsdaten zu verbessern.

Darüber hinaus hat sich der DWD (insbesondere die Projektleitung von TP4) für die Etablierung einer PALM Community Bildung engagiert und die Nachhaltigkeit und Verstetigung der Modellentwicklung von PALM-4U aktiv mitgestaltet. Hervorzuheben ist dabei die Initiative des DWD für die Gründung einer wissenschaftlich motivierten PALM-Modellkonferenzreihe. Die PALM Model Conference (PMC) findet seit 2023 statt, wird unter der Federführung des DWD organisiert und ist als jährlich wiederkehrendes Veranstaltungsformat angesetzt worden, um Nutzern und Entwicklern von PALM-4U ein regelmäßiges Austauschforum zu bieten.

Die Ergebnisse der Entwicklung von INIFOR wurden in der open-access Zeitschrift „Geoscientific Model Development“ (GMD, Copernicus Publications) veröffentlicht. Für die Ergebnis- und Verfahrensdarstellung der Entwicklung von promet ist noch eine Publikation geplant.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die zur Verfügung gestellten Mittel wurden in erster Linie für einen wissenschaftlichen Angestellten verwendet sowie die Vergabe eines Einzelauftrags an das Unternehmen pecanode GmbH, nachdem nach dem Weggang des Projektmitarbeiters kein qualifiziertes Personal mehr für die verbleibende Projektlaufzeit gefunden wurde. Im Einzelnen verteilen sich die Positionen wie folgt:

Tabelle 3: Tabellarische Übersicht über die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.

	verwendet	bewilligt
0835 Vergabe FE-Einzelauftrag	130.662,00 €	130.704,98 €
0812 Beschäftigte	114.073,46 €	114.073,46 €
0843 sonst. Sächl. Verwaltungsausgaben	0,00 €	3.000,00 €
0846 Dienstreisen	1.646,16 €	11.450,00 €
Summe	246.381,62 €	259.228,44 €

Es wurden 246.904,49 Euro erhalten. Die Restmittel von 522,87 € werden/wurden zurückgegeben. Da die geplante Veröffentlichung zu *promet* nicht rechtzeitig fertig gestellt werden konnte, sind keine Publikationskosten (Position 0843) angefallen. Die beantragten und bewilligten Reisemittel (Position 0846) wurden nur in sehr geringem Umfang genutzt, da ein Großteil der geplanten Dienstreisen aufgrund der Corona-Pandemie nicht durchgeführt werden konnten. Gleichzeitig wechselten viele Veranstaltungen von dem ursprünglich geplanten Präsenzcharakter in ein virtuelles oder hybrides Format, wie beispielsweise alle Projekttreffen des Verbundprojekts MOSAIK-2, sodass trotz einer Veranstaltungsteilnahme keine Reisekosten entstanden.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten waren der Aufgabenstellung angemessen und entsprechen fast vollständig den im Projektantrag geplanten Arbeiten. Sie waren notwendig, um die geplanten Meilensteine zu erreichen und die von den Projektpartnern benötigten Werkzeuge zur Verfügung zu stellen.

4. Der voraussichtliche Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Nutzen

Mit INIFOR, promet und der entsprechenden Datenschnittstelle in PALM-4U können realistische Anfangs- und Randbedingungen für das Modell auf automatischem Wege erzeugt werden. Mit der möglichen Verarbeitung von COSMO-Daten (durch INIFOR), sowie ICON- und WRF-Daten (durch promet) ist die Anbindung an die wichtigsten mesoskaligen Modelle in Deutschland und Europa gegeben. Die zwei Tools erweisen sich deshalb als sehr nützlich für alle Nutzer, die realitätsnahe PALM-4U Simulationen durchführen wollen.

Verwertbarkeit

INIFOR bzw. promet ermöglicht Nutzern von PALM-4U, stadtklimatologische und lufthygienische Untersuchungen unter realen Witterungsbedingungen durchzuführen. Damit ermöglicht das Werkzeug insbesondere auch die Evaluierung des Stadtklimamodells, z.B. auf Grundalge der Messkampagnen in 3DO.

Die Ergebnisse des gesamten Projektes dienen insbesondere der Berechnung von Stadtklimaprojektionen mit hoher räumlicher Auflösung und Qualität. Die Bereitstellung relevanter Informationen zum Stadtklima ermöglicht die Entwicklung geeigneter Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel durch Wirtschaft, Stadtplaner und Behörden und somit auch eine frühzeitige Planung von Vorsorgemaßnahmen gegen zukünftige Extremwetterereignisse (z. B. Hitzewellen) in Städten.

5. Welcher Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen wurde bekannt?

In der Modelllandschaft des DWD hat es Änderungen gegeben. Die operationellen Vorhersagen mit COSMO-D2 wurden im Februar 2021 komplett durch Simulationen mit dem Modell ICON-D2 ersetzt, was die Notwendigkeit der erfolgreichen Bearbeitung dieses Teilprojekts unterstreicht. Durch de Vertiefung der Kenntnisse am DWD zur Nutzung und Weiterentwicklung von PALM-4U hat das Modell DWD-intern mittlerweile eine wichtige Position eingenommen und löst zunehmend andere, veraltete Verfahren im Bereich der Stadt- und Regionalklimatologie ab.

6. Welche Veröffentlichungen erfolgten oder sind geplant?

Bis zum Ende des Projektes konnten folgende inter-/nationale Beiträge erbracht werden:

Poster

- A. Eichhorn-Müller, T. Gronemeier, E. Kadasch, M. Sühring (2,5): Mesoskaliges Nesting von PALM-4U als Voraussetzung realitätsnaher Simulationen, [UC]^2-Abschlussveranstaltung, 2.-3. März 2023, Berlin.
- A. Eichhorn-Müller, S. Buchholz, G. Halbig, M. Koßmann, A. Kniffka, H. Schau-Noppel: Die Anwendung von PALM-4U am Deutschen Wetterdienst, [UC]^2-Abschlussveranstaltung, 2.-3. März 2023, Berlin.

Folgende wissenschaftlichen Artikel wurden veröffentlicht oder sind geplant:

- Maronga, B., Banzhaf, S., Burmeister, C., Esch, T., Forkel, R., Fröhlich, D., Fuka, V., Gehrke, K. F., Geletič, J., Giersch, S., Gronemeier, T., Groß, G., Heldens, W., Hellsten, A., Hoffmann, F., Inagaki, A., Kadasch, E., Kanani-Sühring, F., Ketelsen, K., Khan, B. A., Knigge, C., Knoop, H., Krč, P., Kurppa, M., Maamari, H., Matzarakis, A., Mauder, M., Pallasch, M., Pavlik, D., Pfafferott, J., Resler, J., Rissmann, S., Russo, E., Salim, M., Schrempf, M., Schwenkel, J., Seckmeyer, G., Schubert, S., Sühring, M., von Tils, R., Vollmer, L., Ward, S., Witha, B., Wurps, H., Zeidler, J., and Raasch, S.: Overview of the PALM model system 6.0, Geosci. Model Dev. Discuss., https://gmd.copernicus.org/articles/13/1335/2020/, März 2020.

- Kadasch, E., Sühring, M.: Mesoscale nesting interface of the PALM model system 6.0, Geosci. Model Dev. Discuss., https://gmd.copernicus.org/articles/14/5435/2021/, September 2021.
- *geplant:* Eichhorn-Müller, Sühring, M., Knoop, H: promet – a new pre-processor to generate dynamical initial and boundary conditions for PALM. Geosci. Model Dev. Discuss.

Literaturverzeichnis

(1) Baldauf, M. A. Seifert, J. Förstner, D. Majewski, M.Raschendorfer, T. Reinhardt, 2011: Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. Mon. Wea. Rev., 139,.3887-3905 https://doi.org/10.1175/MWR-D-10-05013.1

(2) Baldauf, M., Förstner, J., Klink, S., Reinhardt, T., Schraff, C., Seifert, A., Stephan, K., 2016: Kurze Beschreibung des Lokal-Modells Kürzestfrist COSMO-DE (LMK) und seiner Datenbanken auf dem Datenserver des DWD. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main. https://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/cosmo_de/cosmo_de_dbbeschr_version_2_4_161124.pdf?__blob=publicationFile&v=4

(3) Maronga, B., Gryschka, M., Heinze, R., Hoffmann, F., Kanani-Sühring, F., Keck, M., Ketelsen, K., Letzel, M. O., Sühring, M., and S. Raasch, 2015: The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for Atmospheric and Oceanic Flows: Model Formulation, Recent Developments, and Future Perspectives. Geosci. Model Dev. 8, 1539-1637, DOI: 10.5194/gmdd-8-1539-2015.

(4) Maronga, B., S Raasch, G Groß, F Kanani-Sühring, M Sühring, S Banzhaf, M Belda, B Büter, T Esch, R Forkel, D Fröhlich, T Gronemeier, W Heldens, A Hellsten, T Lang, E Kadasch, B Khan, K Ketelsen, P Krč, H Maamari, A Matzarakis, M Mauder, G Meusel, M Pallasch, D Pavlik, J Pfaferott, J Resler, E Russo, MH Salim, M Schaap, C Schneider, M Schrempf, S Schubert10, G Seckmeyer, H Sieker, K Trusilova, RH von Tils1, S Ward, and J Zeidler, 2018: Building-resolving large-eddy simulations for entire Berlin. First results using the high-performance urban microscale model PALM-4U, 10th International Conference on Urban Climate, 6.-10. August, New York, USA, 2018. https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/341655

(5) Sievers, U., 2016: Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 248, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201606173510

Anlage A Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3. Titel Erweiterung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR Verbundprojekt Stadtklima im Wandel Phase 2: Modellbasierte Stadtplanung und Anwendung im Klimawandel (MOSAIK-2), Teilprojekt 4: Erweiterung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR	
4. Autor(en) Eichhorn-Müller, Astrid (Projektleitung)	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2024
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutscher Wetterdienst – DWD Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach am Main Postfach: 10 04 65, 63004 Offenbach am Main	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01LP1911D
	11. Seitenzahl 17
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 3
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung	
19. Schlagwörter PALM-4U, Offline-Nesting, INIFOR, promet, Modellentwicklung, Modellevaluierung	
20. Verlag	21. Preis

Anlage B Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document Final report
3. title Erweiterung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR Verbundprojekt Stadtklima im Wandel Phase 2: Modellbasierte Stadtplanung und Anwendung im Klimawandel (MOSAIK-2), Teilprojekt 4: Erweiterung der mesoskaligen Schnittstelle INIFOR	
4. author(s) (family name, first name(s)) Eichhorn-Müller, Astrid (PI)	5. end of project 12/31/2024
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Deutscher Wetterdienst – DWD Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach am Main Postfach: 10 04 65, 63004 Offenbach am Main	9. originator's report no.
	10. reference no. 01LP1911D
	11. no. of pages 17
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 3
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract	
19. keywords PALM-4U, Offline-Nesting, INIFOR, promet, model development, model evaluation	
20. publisher	21. price