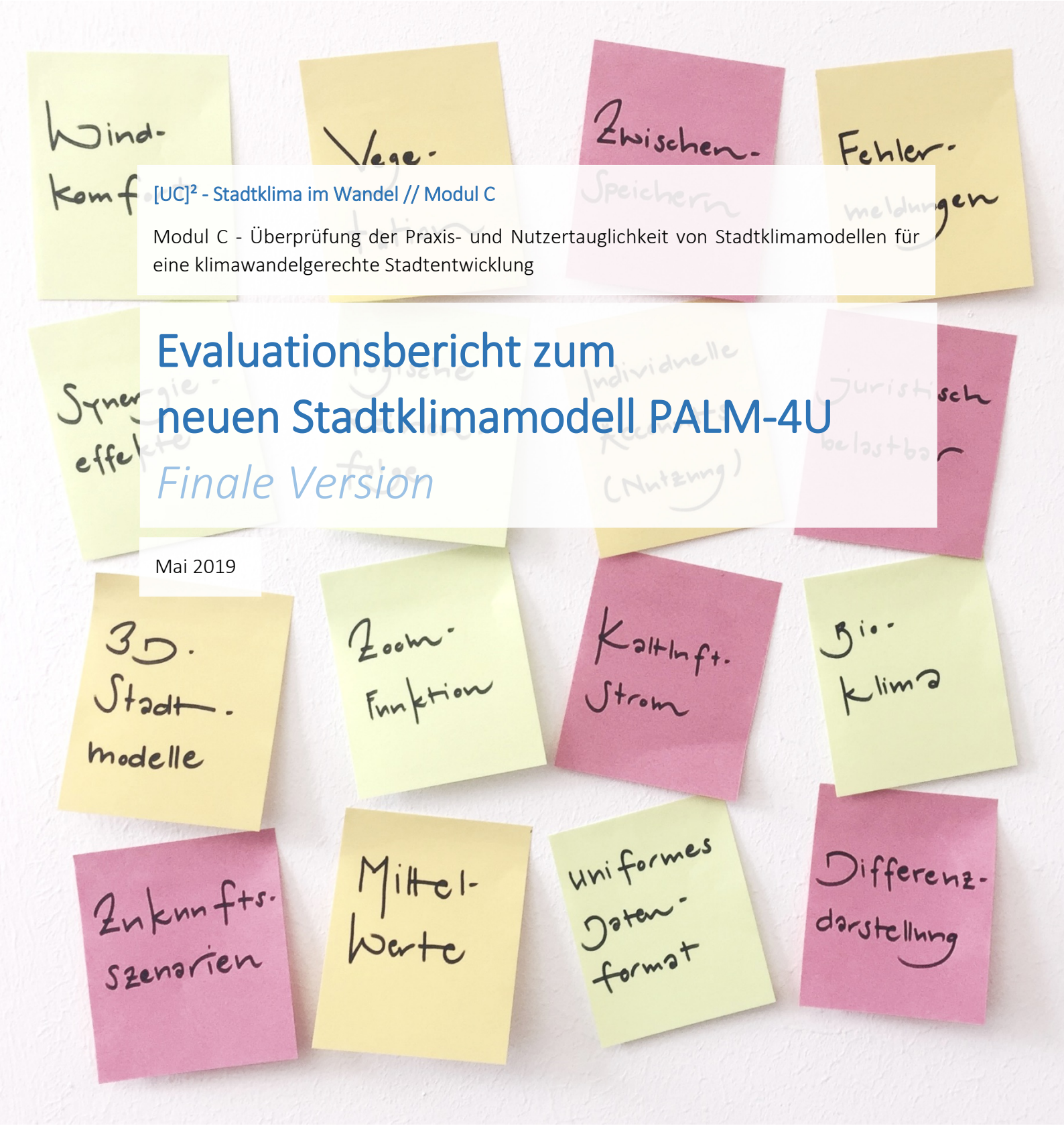
KliMoPrax

UseUClim
Modul C
[UC]²



[UC]² - Stadtklima im Wandel // Modul C

Modul C - Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung

Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U

Finale Version

Mai 2019

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U

Editorinnen:

Bettina Steuri[1] & Irina Heese[2]

Verbundprojekt UseUClim:

[1] Climate Service Center Germany (GERICS)

[6] Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

Verbundprojekt KliMoPrax:

[2] Deutscher Wetterdienst (DWD)

[5] Deutsches Institut für Urbanistik (DIFU)

[3] GEO-NET Umweltconsulting GmbH

[4] Technische Universität Dortmund – Sozialforschungsstelle

Kontaktpersonen:
UseUClim: Bettina Steuri (bettina.steuri@hzg.de)
KliMoPrax: Irina Heese (irina.heese@dwd.de)

Coverfoto:
Ein Einblick in die Evaluation (GERICS, 2019)

Zusammenfassung

Der Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U ist neben dem Nutzer- und Anforderungskatalog (NAK) das zweite zentrale Produkt von Modul C, einem von drei Modulen der Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“. In diesem Bericht sind sämtliche Erkenntnisse aus der Überprüfung der Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U enthalten, die in enger Zusammenarbeit mit den Praxispartner*innen erfolgte. Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut:

- *Teil 1: Tabelle mit evaluierten Anforderungen*
- *Teil 2: Erläuterungen zur Evaluation*

Die Herleitung der Evaluationskriterien als auch die Evaluation basieren auf einem verbundübergreifenden Prozess. Bereits im Juli 2017 fand die erste Videokonferenz statt, bei dem ein Entwurf zur Vorgehensweise gemeinsam erarbeitet wurde. Dabei konnte festgelegt werden, dass ausschließlich die Anforderungen evaluiert werden, welche die Module A und B als „umsetzbar“ einstufen. Anforderungen, die gegenwärtig nicht umsetzbar sind, flossen daher nicht in die Überprüfung mit ein. Obwohl der Evaluationsbericht ein gemeinsames Produkt ist, haben die beiden Verbundprojekte UseUClim und KliMoPrax unterschiedliche Methoden zur Anforderungsüberprüfung eingesetzt. Während in UseUClim die Praxispartner*innen mit PALM-4U in Kombination mit der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) gearbeitet haben, stand bei KliMoPrax die Evaluierung des skript-basierten Modells im Vordergrund. Die 157 umsetzbaren Anforderungen aus fünf Kategorien wurden daher umfassend und sorgfältig evaluiert. Zusammenfassend kann folgendes Ergebnis festgehalten:

skript-basierte Überprüfung[1]:

- *63 erfüllt,*
- *10 teilweise erfüllt,*
- *28 nicht erfüllt, und*
- *15 nicht überprüft werden konnten.*

Überprüfung mit der GUI:

- *62 erfüllt,*
- *43 teilweise erfüllt,*
- *35 nicht erfüllt, und*
- *17 nicht überprüft werden konnten.*

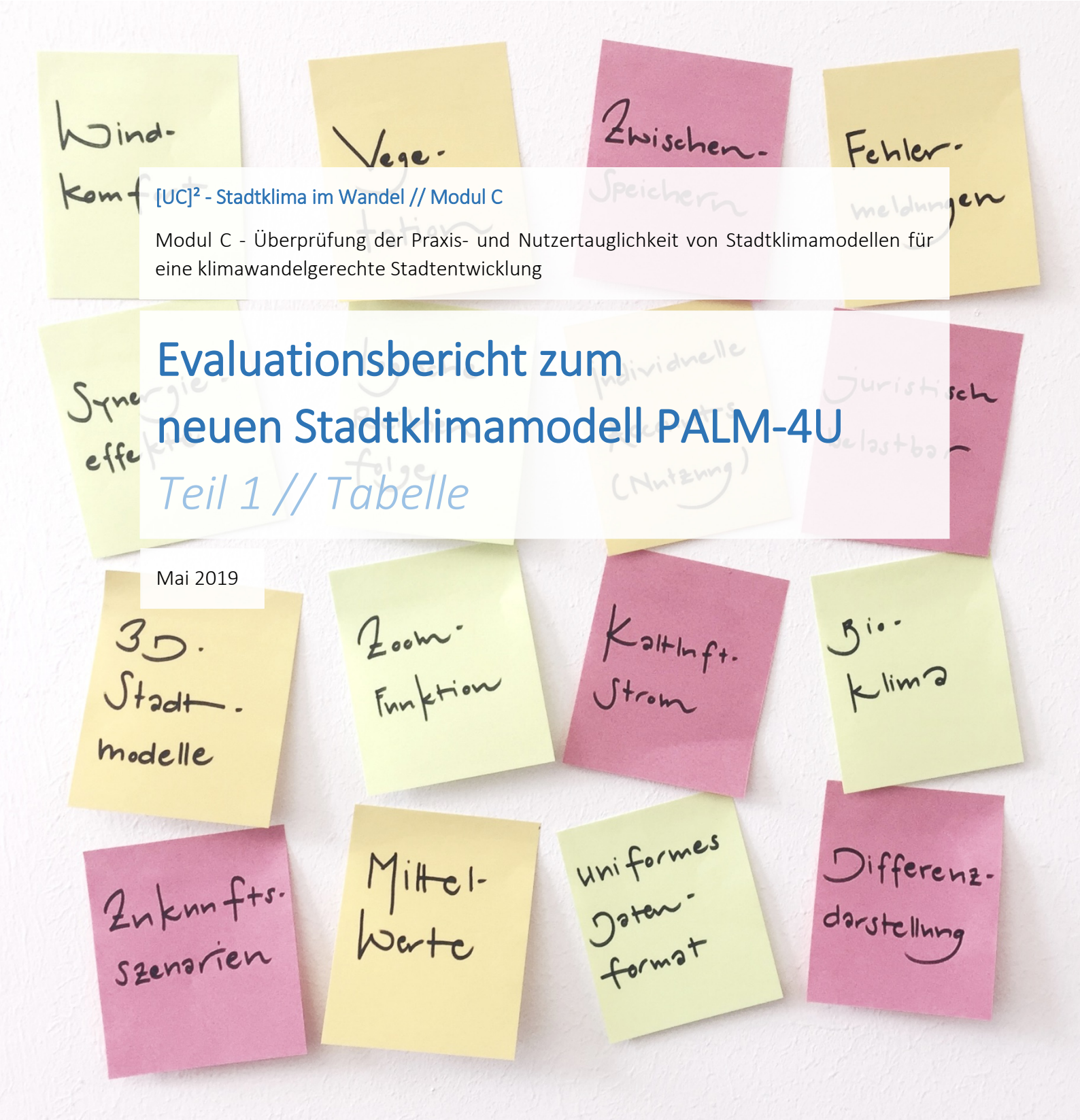
Im zweiten Berichtsteil, den Erläuterungen, wurden Hintergrundinformationen – beispielweise zur Herleitung der Evaluationskriterien oder den eingesetzten Methodiken – festgehalten. Des Weiteren gibt es eine kurze Zusammenfassung zu den überprüften Kategorien, die jeweils mit einem kurzen Fazit schließen. In einem separaten Unterkapitel ist das Feedback der Nutzer*innen aufgeführt, welches sich insbesondere Anwendungsumgebung in der Praxis konzentriert. Auch wenn damit das neue Stadtklimamodell nur indirekt betroffen ist, können hieraus wichtige Informationen für potenzielle Anwender*innen aus der Praxis vorgestellt werden.

Nach der dreijährigen Projektlaufzeit kann festgehalten werden, dass das neue Stadtklimamodell PALM-4U bereits eine Vielzahl von Anforderungen aus der Praxis erfüllt. Allerdings gibt es noch eine Reihe von Anforderungen, die nur teilweise oder gar nicht erfüllt sind. Wie oben erwähnt, gibt es zudem weitere Anforderungen aus der Praxis, die von der Modellentwicklung derzeit als nicht umsetzbar eingestuft wurden. Daher ist das Projekt „praxistaugliches Stadtklimamodell“ noch nicht abgeschlossen, sondern sollte in den nächsten Jahren weiterentwickelt werden – nur so kann das neue Stadtklimamodell PALM-4U tatsächlich relevant für die Praxis werden.

Diese Seite wurde absichtlich leer gelassen.

KliMoPrax

UseUClim
Modul C
[UC]²



[UC]² - Stadtklima im Wandel // Modul C

Modul C - Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung

Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U

Teil 1 // Tabelle

Mai 2019

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U

Teil 1 // Tabelle

Autor*innen:

Bettina Steuri[1], Irina Heese[2], Cornelia Burmeister[3], Rick Hölsgens[4] & Matthias Winkler[5]

Verbundprojekt UseUClim:

[1] Climate Service Center Germany (GERICS)

[5] Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

Verbundprojekt KliMoPrax:

[2] Deutscher Wetterdienst (DWD)

[3] GEO-NET Umweltconsulting GmbH

[4] Technische Universität Dortmund – Sozialforschungsstelle

Kontaktpersonen:
UseUClim: Bettina Steuri (bettina.steuri@hzg.de)
KliMoPrax: Irina Heese (irina.heese@dwd.de)

Coverfoto:
Ein Einblick in die Evaluation (GERICS, 2019)

Tabellarische Evaluation der Anforderungen

Legende

Erklärung // Kategorie	
4.1	Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen
4.2	Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen
4.3	Eingangsdaten
4.4	Ausgabedaten
4.5	Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Erklärung // Quelle	
BMBF	= Bekanntmachung
GERICS	= Verbundpartner UseUClim // Climate Service Center Germany
Fraunhofer IBP	= Verbundpartner UseUClim // Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Difu	= Verbundpartner KliMoPrax // Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH
DWD	= Verbundpartner KliMoPrax // Deutscher Wetterdienst
FiW	= Verbundpartner KliMoPrax // Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen
Geo-Net	= Verbundpartner KliMoPrax // Geo-Net Umweltconsulting GmbH
TU DO	= Verbundpartner KliMoPrax // Technische Universität Dortmund - Sozialforschungsstelle
BKR Aachen	= Verbundpartner KliMoPrax // BKR Aachen Noky & Simon

Erklärung // Evaluationskriterien	
allgemein	= Allgemeingültige Anforderungen, die auch ohne Prüfszenario und Anwenderfeedback eindeutig geprüft werden können.
fachlich	= Anforderungen, für deren eindeutige Prüfung ein Prüfszenario und/ oder ein Anwenderfeedback nötig ist.
individuell	= Anforderungen, deren Prüfung aufgrund einer persönlichen Einschätzung des Anwenders erfolgt.
extern	= Prüfung nicht möglich.

Erklärung // Evaluation	
GUI-Evaluation	= Die Anforderung wurde mit der grafischen Benutzeroberfläche evaluiert.
nSKM-Evaluation	= Die Anforderung wurde skript-basiert evaluiert.

Erklärung // Farben	
erfüllt	= Die Anforderung wurde gemäß den Abnahmekriterien als "erfüllt" evaluiert.
teilweise erfüllt	= Die Anforderung umfasste mehrere Teilkriterien, diese wurden "teilweise erfüllt".
nicht erfüllt	= Die Anforderung wurde gemäß den Abnahmekriterien als "nicht erfüllt" evaluiert.
Prüfung nicht möglich	= Modul C konnte die Anforderung nicht evaluieren, daher war eine "Prüfung nicht möglich".
	= Diese Anforderungen wären in einer zweiten Förderphase umsetzbar. Da sie für die Partner*innen aus der Praxis eine hohe Priorität hatten, wurde Modul A im Januar 2018 gebeten, diese - wenn möglich - zusätzlich umzusetzen. Die Evaluationsergebnisse flossen nicht in die Erläuterungen (Teil 2 dieses Evaluationsberichts) mit ein.

Auswertung

Nr.	Kat.	ID	Beschreibung **Basisanforderung**	**Quelle**	Kategorie **Evaluationskriterium**	GUI-Evaluation **Modul C**	nSKM-Evaluation **Modul C**
2	4.1	4.1-2	Das nSKM muss mehrplatzfähig sein. Das heisst, die Software muss in der Lage sein, gleichzeitig auf mehreren vernetzten Arbeitspätzen ausgeführt zu werden.	GERICS	allgemein	erfüllt	erfüllt
4	4.1	4.1-4	Das nSKM muss an COSMO-DE gekoppelt werden können.	IBP	allgemein	teilweise erfüllt	erfüllt
5	4.1	4.1-5	Das nSKM muss mit frei verfügbaren Visualisierungstools kompatibel sein, die eine Schnittstelle zu NetCDF haben.	GERICS	allgemein	erfüllt	erfüllt
6	4.1	4.1-6	Das nSKM muss in der Lage sein, mit den Rechnerkapazitäten eines handelsüblichen Desktop-PCs wenig komplexe Simulationen innerhalb eines Tages (24 Stunden) durchführen zu können. Eine solche Simulation umfasst bspw.: _Gebietsgrösse: max. 1x1 km _Dauer: 1 synthetischer Tag (typischer Tagesgang) _Gitterweite: 10m _Modus: RANS Ein handelsüblicher Desktop-PC weist folgende technische Daten auf: mind. 4 Kerne, 8 GB RAM , Festplattenspeicher ca. 256 GB	Fraunhofer IBP, GERICS	fachlich	Prüfung nicht möglich	erfüllt
7	4.1	4.1-7	Die Bedienung des nSKM muss über Windows erfolgen können.	Difu	allgemein	erfüllt	erfüllt
8	4.1	4.1-8	Die Planungsdaten müssen für die Simulation von Varianten modifiziert resp. ausgetauscht werden können. Dies ist nötig, damit u.a. Varianten von Architekturwettbewerben aus stadtklimatologischer Sicht bewertet werden können. Das bedeutet, dass jeweils das Klötzchenmodell und ggf. das digitale Geländemodell (DGM) ausgetauscht werden können, die restlichen Eingaben und Einstellungen bleiben erhalten.	GERICS, Geo-Net	fachlich	nicht erfüllt	erfüllt
10	4.1	4.1-10	Das nSKM muss als open-source Software zur Verfügung gestellt werden und ist somit dauerhaft kostenfrei für die nSKM-Nutzer*innen.	BMBF	allgemein	nicht erfüllt	erfüllt
11	4.1	4.1-11	Das nSKM muss konfigurierbar sein, sodass es bei Bedarf für fachspezifische Fragestellungen weiterentwickelt werden kann. Das heißt, das nSKM muss über eine technische Schnittstelle verfügen, die die Anbindung nutzererstellter Plug-Ins ermöglicht.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	erfüllt
12	4.1	4.1-12	Das nSKM muss über mehrere Stunden und Tage ununterbrochen rechnen können. Das heißt, dass es auch über die Nacht oder das Wochenende eingesetzt werden kann, ohne dass es in einen Standby-Modus fällt	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt

13	4.1	4.1-13	Das nSKM muss in der Lage sein, komplexe Situationen innerhalb mehrerer Tagen (max. 2 Wochen) auf handelsüblichen Desktop-PCs zu simulieren. Eine solche Simulation umfasst bspw.: Gebietsgrösse: 0.5 x 0.5 km Dauer: 1 - 3 simulierte Tage Gitterweite: 1 bis 2m Modus: LES Ein handelsüblicher Desktop-PC weist folgende technische Daten auf: mind. 4 Kerne, 8 GB RAM , Festplattenspeicher ca. 256 GB	Fraunhofer IBP, GERICS	fachlich	Prüfung nicht möglich	nicht erfüllt
18	4.1	4.1-18	Das nSKM muss konfigurierbar sein, sodass es bei Bedarf auf fachspezifische Fragestellungen ausgerichtet werden kann. Das heißt, je nach Nutzer*in und zu bearbeitendem Thema können zusätzliche Teilmodule hinzugefügt werden. Zu den möglichen Teilmodulen gehören bspw. die Simulation des Innenraumklimas.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	erfüllt
20	4.1	4.1-20	Das nSKM muss durch COSMO-DE gesteuert werden können.	BMBF, IBP	allgemein	teilweise erfüllt	erfüllt
21	4.1	4.1-21	Das nSKM muss über eine offene Datenschnittstelle verfügen, sodass regionale Klimamodelle angebunden werden können (nesting).	IBP	allgemein	teilweise erfüllt	nicht erfüllt
22	4.1	4.1-22	Die Installation des nSKMs muss in einer Schritt-für-Schritt Anleitung erläutert werden. Dabei müssen auch alle zusätzlichen Ressourcen, die nötig sind, um das nSKM im vollen Funktionsumfang zu verwenden (z.B. Compiler, Bibliotheken, etc.), inklusive deren Mindestversion, Bezugsquelle sowie einen Verweis auf ihre jeweilige Installationsanleitung mit aufgeführt werden.	Fraunhofer IBP	allgemein	nicht erfüllt	erfüllt
23	4.1	4.1-23	Das nSKM muss in der Lage sein, mit den Rechnerkapazitäten eines handelsüblichen Laptops einfache Simulationen innerhalb eines Tages (24 Stunden) durchführen zu können. Eine solche Simulation umfasst bspw.: _Gebietsgrösse: max. 1 x 1 km _Dauer: 1 simulierter Tag _Gitterweite: 10m (Mindestwert gem. BMBF-Bekanntmachung) _Modus: RANS Ein handelsüblicher Laptop weist folgende technische Daten auf: mind. 4 Kerne, 4 GB RAM, Festplattenspeicher ca. 250 GB.	GERICS	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
24	4.1	4.1-24	Das nSKM muss in der Lage sein, mit den Rechnerkapazitäten eines hochleistungsfähigen Laptops einfache Simulationen innerhalb eines Tages (24 Stunden) durchführen zu können. Eine solche Simulation umfasst bspw.: _Gebietsgrösse: max. 0.5 x 0.5 km _Dauer: 1 synthetischer Tag _Gitterweite: 2m _Modus: LES Ein hochleistungsfähiger Laptop weist folgende technische Daten auf: mind. 8 Kerne, 16 GB RAM, Festplattenspeicher ca. 1 TB + SSD	GERICS	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich

25	4.1	4.1-25	Das nSKM muss in der Lage sein, mit den Rechnerkapazitäten eines hochleistungsfähigen Desktop-Rechners Simulationen innerhalb eines Tages (24 Stunden) durchführen zu können. Eine solche Simulation umfasst bspw.: Gebietsgrösse: 0.5 x 0.5 km Dauer: min. 1 synthetischer tag Gitterweite: 1 bis 2 m Modus: LES-Modus Ein hochleistungsfähiger Desktop-Rechner weist folgende technische Daten auf: mind. 16 Kerne, 64 GB RAM, Festplattenspeicher ca. 2 TB + SSD	GERICS	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
31	4.1	4.1-31	Das nSKM muss mit globalen Klimamodellen kompatibel sein (Nesting).	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
33	4.1	4.1-33	Das nSKM muss von einem Rechner, der mit dem Linux-Betriebssystem läuft, über ein Webinterface angesteuert und betrieben werden können. Zu den wichtigsten Linux-Betriebssystemen gehören ubuntu oder SUSE.	GERICS	allgemein	erfüllt	Prüfung nicht möglich
35	4.2	4.2-35	Das nSKM muss Synergieeffekte von mehreren baulichen Vorhaben berücksichtigen.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
36	4.2	4.2-36	Das nSKM muss validiert und verifiziert sein. Dies erfolgt beispielsweise durch den Vergleich mit Windkanalmessungen, VDI-Richtlinien, DIN-Normen und den Messdaten aus Modul B.	BMBF	extern	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
37	4.2	4.2-37	Das nSKM rechnet gebäudeauflösend mit einer Gitternetzweite <= 10 m.	BMBF	allgemein	erfüllt	erfüllt
38	4.2	4.2-38	Das nSKM muss Gebäudemodelle mit Einzelgebäuden inklusive schräger Dachformen, überhängender Gebäudeteile und Gebäudeoberflächen (LOD2 und aufwärts, vollständige 3D-Darstellung) abbilden und verarbeiten können.	Geo-Net, DWD, Difu	allgemein	erfüllt	erfüllt
39	4.2	4.2-39	Das nSKM muss Großstädte (bspw. Berlin oder München) als Ganzes erfassen und dazu Modellergebnisse in geeigneter Auflösung liefern. Die Modellfäche für die Simulationen soll ca. 1´000 bis 2´000 km^2 betragen.	BMBF	fachlich	Prüfung nicht möglich	erfüllt
40	4.2	4.2-40	Ein zwei-Wege-Nesting muss implementiert sein.	DWD	allgemein	nicht erfüllt	erfüllt
41	4.2	4.2-41	Die räumliche und zeitliche Auflösung des nSKMs muss je nach Fragestellung frei wählbar sein.	DWD	allgemein	erfüllt	erfüllt
42	4.2	4.2-42	Die Anströmung des Modellgebietes aus allen Richtungen (ohne Drehung des Modellgebiets) muss möglich sein.	DWD	fachlich	erfüllt	erfüllt
43	4.2	4.2-43	Die Modellierung verschiedener thermischer Schichtungen (neutral, konvektiv, stabil) muss mit dem nSKM möglich sein.	DWD	allgemein	Prüfung nicht möglich	erfüllt
44	4.2	4.2-44	Das nSKM muss die Ausbreitungswege und Konzentration von Luftschadstoffen berechnen können.	DWD	fachlich	nicht erfüllt	Prüfung nicht möglich
45	4.2	4.2-45	Das nSKM muss Punktquellen und lineare Emissionsquellen simulieren können. Zu den wichtigsten Emissionen gehören Gerüche und Luftschadstoffe.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	Prüfung nicht möglich

47	4.2	4.2-47	Das nSKM muss Konzentrationsunterschiede von Schadstoffen simulieren. Hierzu gehören unterschiedliche Emissionsintensitäten und die durchschnittliche Konzentration über einen Zeitraum.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	Prüfung nicht möglich
48	4.2	4.2-48	Das SKM muss unterschiedliche räumliche und zeitliche Mittelwerte (Tagesgänge, Jahresgänge) der meteorologischen und luftchemischen Parameter, insbesondere in 2m Höhe über Grund, berechnen können.	DWD, Geo-Net, Difu	fachlich	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
49	4.2	4.2-49	Das nSKM muss Minima und Maxima der meteorologischen und luftchemischen Parameter berechnen können.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
50	4.2	4.2-50	Das nSKM berechnet thermische Parameter und Indizes (UTCI gemäß COST Action 730, gefühlte Temperatur, PET und PMV) auf der Basis von Energiebilanzmodellen des Menschen.	DWD, Geo-Net	fachlich	erfüllt	erfüllt
51	4.2	4.2-51	Das nSKM muss in der Lage sein, das Innenraumklima (insbesondere die Temperatur) in Abhängigkeit von Gebäude- und Raumparametern zu berechnen.	DWD	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
52	4.2	4.2-52	Das nSKM berücksichtigt verschiedene Geländeoberflächen (Asphalt, Wasser, Vegetation, vegetationsloser Boden, Dachbegrünung), die jeweils unterschiedlichen Teilen des Rechengebiets zugeordnet werden können.	DWD	allgemein	erfüllt	erfüllt
53	4.2	4.2-53	Das nSKM muss in den Simulationen unterschiedliche Bodenbedeckungstypen und deren Einfluss auf die Verdunstung berücksichtigen.	GERICS	allgemein	erfüllt	erfüllt
54	4.2	4.2-54	Das nSKM berücksichtigt die Strahlung verschiedener Gebäude- und Geländeoberflächen inklusive der Abschattung durch Bäume und Vegetation.	DWD	fachlich	erfüllt	erfüllt
55	4.2	4.2-55	Das nSKM muss die Verdunstung aus offenenWasserflächen integrieren.	Difu	fachlich	erfüllt	erfüllt
57	4.2	4.2-57	Das nSKM muss die nächtliche Kaltluftbewegungen [m/s] als Zeitreihe simulieren können.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
58	4.2	4.2-58	Das nSKM muss die Kaltluftmächtigkeit / Schichtdicke (m über Grund) simulieren können.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
59	4.2	4.2-59	Das nSKM muss die Kaltluftvolumenstrom [m³/s] simulieren können.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
60	4.2	4.2-60	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von baulichen Verdichtungen auf das Stadtklima simulieren zu können.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
61	4.2	4.2-61	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von Gebäudekomplexen (Stellung, Kubatur, Gebäudehöhen) auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung simulieren zu können.	GERICS	allgemein	erfüllt	erfüllt
62	4.2	4.2-62	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von Grünflächen / Vegetation (auch im Umfeld von Gebäuden) auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung simulieren zu können.	GERICS, Difu	fachlich	erfüllt	erfüllt
63	4.2	4.2-63	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von unterschiedlichen Szenarien auf das Stadtklima erstellen zu können. Unterschiedliche Szenarien können beispielsweise Entwurfsvarianten eines Bauvorhabens sein.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt

64	4.2	4.2-64	Das nSKM muss klimatische Einflüsse auf direkt benachbarte Bereiche unterschiedlicher Flächennutzung simulieren können.	Difu	fachlich	erfüllt	erfüllt
67	4.2	4.2-67	Das nSKM muss Kennzahlen zur Verdunstung auswerten können.	GERICS	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
69	4.2	4.2-69	Das nSKM muss die thermische Belastung anhand von Kenntagen berechnen können. Zu den wichtigsten Kennzahlen gehören die Anzahl der Tage mit Wärmebelastung, Anzahl Sommertage, Anzahl Hitzetage und Anzahl Tropennächte.	GERICS, Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
70	4.2	4.2-70	Das nSKM muss in der Lage sein, verschiedene Klimawandelszenarien simulieren zu können.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
71	4.2	4.2-71	Das nSKM muss in der Stadtentwicklungs- und Flächennutzungsplanung eingesetzt werden können. Die Kartengrundlagen für die zu bearbeitenden Flächen und Räume erstrecken sich im Allgemeinen über einen Maßstab von 1:10´000 (gemäß VDI 3785, Blatt 1) .	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
72	4.2	4.2-72	Das nSKM muss in der Flächennutzungsplanung und in der Bauleitplanung eingesetzt werden können. Die Kartengrundlagen für die zu bearbeitenden Flächen und Räume erstrecken sich im Allgemeinen über einen Maßstab von 1:5´000 (gemäß VDI 3785, Blatt 1) .	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
73	4.2	4.2-73	Das nSKM muss in der Bauleitplanung mit konkreter Freiraumplanung eingesetzt werden können. Die Kartengrundlagen für die zu bearbeitenden Flächen und Räume erstrecken sich im Allgemeinen über einen Maßstab von 1:2´000 (gemäß VDI 3785, Blatt 1) .	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
74	4.2	4.2-74	Das nSKM muss in der Lage sein, Wärmeinseln (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
75	4.2	4.2-75	Das nSKM muss in der Lage sein, Windfelder gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
76	4.2	4.2-76	Das nSKM muss in der Lage sein, Kaltluftströme (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
77	4.2	4.2-77	Das nSKM muss in der Lage sein, Bioklima (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
78	4.2	4.2-78	Das nSKM muss das alpine Pumpen berücksichtigen.	TU DO	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
79	4.2	4.2-79	Das nSKM muss unterschiedliche Wetterlagen rechnen können.	TU DO	fachlich	erfüllt	erfüllt
80	4.2	4.2-80	Ein Self-Nesting muss im nSKM implementiert sein. Ganze Stadtgebiete können auf diese Weise mit niedriger Auflösung und kleine Teilgebiete mit hoher Auflösung (bis zu 1 m) modelliert werden.	DWD	allgemein	nicht erfüllt	erfüllt
83	4.2	4.2-83	Mit dem nSKM müssen Monats- und Jahresgänge simuliert werden können (Klimamodus).	Fraunhofer IBP	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
84	4.2	4.2-84	Die Vegetation muss mit ihren wesentlichen Funktionalitäten (z.B. Verdunstung durch die Blattöffnungen), ihrer Gestalt (Unterscheidung Stammraum und Krone eines Baumes) und der Art der Vegetation (Rasen, Stauden, Baumarten) im nSKM darstellbar und berechenbar sein.	DWD	fachlich	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt

85	4.2	4.2-85	Das nSKM muss unterschiedliche Begrünungsraten und dessen Einfluss auf das Mikroklima simulieren können, damit Begrünungsraten begründet in einem Bebauungsplan festgesetzt werden können.	TU DO	fachlich	erfüllt	erfüllt
90	4.2	4.2-90	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von Nutzungsänderungen auf das Stadtklima simulieren zu können.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
91	4.2	4.2-91	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von Freiflächen auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung simulieren zu können.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
93	4.2	4.2-93	Das nSKM muss Kennzahlen zur Luftfeuchtigkeit auswerten können. Die hierfür wichtigste Kennzahl ist die relative Luftfeuchtigkeit.	GERICS	fachlich	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
95	4.2	4.2-95	Das nSKM muss die Lage von Bereichen mit einer besonders hohen thermischen Belastung identifizieren	Difu	fachlich	erfüllt	erfüllt
96	4.2	4.2-96	Das nSKM muss in der Lage sein Zukunftsszenarien abzubilden um Folgen des Klimawandels abzuschätzen.	Fraunhofer IBP	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
97	4.2	4.2-97	Das nSKM muss in der Lage sein, Bereiche mit besonders hohen Vulnerabilitäten für sensible Bevölkerungsgruppen identifizieren zu können.	Difu	individuell	nicht erfüllt	nicht erfüllt
100	4.2	4.2-100	Das nSKM muss Extremwetterereignisse abbilden können. Extremwetterereignisse können bspw. Stürme sein.	Fraunhofer IBP	fachlich	erfüllt	erfüllt
101	4.2	4.2-101	Die nSKM-Ergebnisse müssen juristisch belastbar sein	Difu	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
102	4.2	4.2-102	Das nSKM muss in der Gebäudearchitektur (Bebauungsplan // Bauantrag) eingesetzt werden können. Die Kartengrundlagen für die zu bearbeitenden Flächen und Räume erstrecken sich im Allgemeinen über einen Maßstab von 1:500 (gemäß VDI 3785, Blatt 1) .	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
103	4.2	4.2-103	Das nSKM muss in der Lage sein, Flurwinde (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas in geeigneter Auflösung simulieren zu können.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
104	4.2	4.2-104	Das nSKM muss in der Lage sein, Kaltluftseen (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
105	4.2	4.2-105	Das nSKM muss in der Lage sein, Lufthygiene (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	nicht erfüllt	Prüfung nicht möglich
106	4.2	4.2-106	Das nSKM muss in der Lage sein, Windkomfort (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
107	4.2	4.2-107	Das nSKM muss Normalwetterereignisse abbilden können. Beispiele für Normalwetterereignisse sind Sommertage oder Wintertage.	Fraunhofer IBP	fachlich	teilweise erfüllt	erfüllt
108	4.2	4.2-108	Die klimatische Situation in Straßenschluchten muss mit dem nSKM simuliert werden können.	TU DO	fachlich	erfüllt	erfüllt
109	4.2	4.2-109	Der Einfluss von architektonischen Veränderungen von Straßenschluchten, wie beispielsweise das Abrücken von Gebäuden, muss mit dem nSKM simuliert werden können.	TU DO	fachlich	erfüllt	erfüllt

111	4.2	4.2-111	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von Stadtrückbau auf das Stadtklima simulieren zu können.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
112	4.2	4.2-112	Das nSKM muss in der Lage sein, Auswirkungen von Einzelgebäuden (Stellung, Kubatur, Gebäudehöhe) auf das Stadtklima der direkten und großräumigen Umgebung simulieren zu können.	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
113	4.2	4.2-113	Ergebnisse aus einer Simulation müssen auf vergleichbare städtebauliche Situationen übertragbar sein.	Difu	individuell	erfüllt	erfüllt
115	4.2	4.2-115	Das nSKM muss in der Regional- und Landschaftsplanung eingesetzt werden können. Die Kartengrundlagen für die zu bearbeitenden Flächen und Räume erstrecken sich im Allgemeinen über einen Maßstab von 1:50´000 (gemäß VDI 3785, Blatt 1) .	GERICS	fachlich	erfüllt	erfüllt
118	4.3	4.3-118	Das nSKM muss digitale Geländemodelle einlesen und verarbeiten können.	BMBF	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
119	4.3	4.3-119	Das nSKM muss 3D-Stadtmodelle (Klötzchenmodellen LOD1 und aufwärts) einlesen und verarbeiten können.	BMBF	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
123	4.3	4.3-123	Das nSKM muss Daten zur Gebäudebegrünung einlesen und verarbeiten können.	GERICS	allgemein	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
125	4.3	4.3-125	Das nSKM muss Daten zur thermischen Speicherfähigkeit von Oberflächen einlesen und verarbeiten können.	GERICS	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
126	4.3	4.3-126	Das nSKM muss Vegetationsdaten einlesen und verarbeiten können. Vegetationsdaten bestehen aus einer räumlichen Verortung, Höhenangabe und Art der Vegetation, Kronendurchmesser und evtl. weiteren Parametern.	GERICS	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
128	4.3	4.3-128	Wenn alle Daten in das nSKM eingelesen/geladen sind, muss das Modell in der Lage sein, die räumliche und inhaltliche Datenvollständigkeit und -konsistenz zu überprüfen und eine entsprechende Meldung vor dem Simulationsstart auszugegeben.	Geo-Net	fachlich	erfüllt	erfüllt
129	4.3	4.3-129	Wenn alle Daten in das nSKM eingelesen/geladen sind, muss das Modell in der Lage sein, die zeitliche Datenvollständigkeit und -konsistenz zu überprüfen und eine entsprechende Meldung vor dem Simulationsstart auszugegeben.	Geo-Net	fachlich	Prüfung nicht möglich	Prüfung nicht möglich
131	4.3	4.3-131	Wenn der Nutzer im nSKM einen Berechnungsfall anlegt, muss das Modell dem Nutzer anzeigen, welche Daten dafür benötigt werden.	Geo-Net	fachlich	teilweise erfüllt	nicht erfüllt
132	4.3	4.3-132	Das nSKM muss in der Lage sein, alle gängigen Raster- und Vektordatenformate so zu konvertieren, dass sie in das nSKM eingelesen werden können.	Geo-Net	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
137	4.3	4.3-137	Die notwendigen Eingangsdaten müssen dokumentiert sein. Dazu gehören die Art der Daten, ihre Qualität, die zeitliche Auflösung und die Bezugsquellen sowie das Dateiformat in dem sie dem nSKM zur Verfügung gestellt werden (INSPIRE-Konformität)	Fraunhofer IBP	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
138	4.3	4.3-138	Das nSKM muss in der Lage sein, Web-Services zu nutzen und einzubinden. Dazu gehören zum Beispiel WMS und WFS..	BKR Aachen	allgemein	Prüfung nicht möglich	nicht erfüllt

139	4.3	4.3-139	Das nSKM muss mit einem Standardsatz meteorologischer Eingangsdaten ausgestattet werden. Es muss sich um ein Set von Standarddatensätze handeln, damit auf regionale und lokale Begebenheiten reagiert werden kann. Es muss den Nutzer*innen ermöglicht werden, die passenden Standarddaten eigenhändig auszuwählen und ggf. anzupassen.	GERICS	fachlich	nicht erfüllt	erfüllt
140	4.3	4.3-140	Das nSKM muss Eingangsdaten in einem einheitlichem und offenem Datenformat zur Verfügung stellen.	Geo-Net	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
143	4.3	4.3-143	Zur Verwendung von Daten aus der regionalen Klimamodellierung muss das nSKM die aktuellen EURO-CORDEX-Daten einlesen können.	Difu	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
145	4.3	4.3-145	Das nSKM muss Daten zur Wettervorhersage integrieren können. Das können bspw. Daten vom DWD sein.	Difu	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
148	4.3	4.3-148	Simulationsergebnisse aus der Basisversion des nSKM müssen ohne Datenverlust und Neuberechnung in die Expertenversion des nSKM übertragen werden können.	TU DO	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
149	4.3	4.3-149	Ein Beispieldatensatz für Eingangsdaten soll zusammen mit dem fertigen nSKM zur Verfügung gestellt werden, um dem Nutzer einen Einblick auf die benötigten Eingangsdaten und deren Struktur zu liefern.	Fraunhofer IBP	allgemein	nicht erfüllt	erfüllt
150	4.3	4.3-150	Eine Übernahme von Simulationsrandbedingungen aus Simulationen mit dem nSKM anderer Städte muss möglich sein, um z.B. Veränderungen im Stadtklimamodell der Nachbarstadt übertragen zu können.	Fraunhofer IBP	fachlich	erfüllt	erfüllt
152	4.3	4.3-152	Die Simulationsrandbedingungen sollen sich nach den verfügbaren Eingangsdaten richten. So soll sich z.B. die Rasterbreite der Simulation & Ausgabedaten an die der Eingangsdaten anpassen.	Fraunhofer IBP	fachlich	erfüllt	erfüllt
153	4.3	4.3-153	Das nSKM muss meteorologische Eingangsdatensätze aus Klimamodellen räumlich downscalen können.	Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
154	4.4	4.4-154	Die nSKM-Ergebnisse müssen mit GIS-Programmen eingelesen werden können.	Fraunhofer IBP	fachlich	erfüllt	erfüllt
155	4.4	4.4-155	Das nSKM muss bei der Ergebnisdarstellung einen Plankopf mit den Standardangaben zur Verfügung stellen. Zu den wichtigsten Standardangaben gehören der Maßstab, der Nordpfeil, Titel der Ergebnisdarstellung und diverse Angaben zum Verfasser. Die Angaben werden standardmäßig vom nSKM ausgefüllt, müssen aber vom Nutzer editiert werden können.	GERICS	allgemein	teilweise erfüllt	nicht erfüllt
158	4.4	4.4-158	Das nSKM muss Ausgabedaten in einem einheitlichem und offenem Datenformat zur Verfügung stellen.	Geo-Net	allgemein	erfüllt	erfüllt
159	4.4	4.4-159	Das nSKM muss die Ergebnisse in gängigen Raster- und Vektordatenformaten zur Verfügung stellen, so dass eine Kopplung mit anderen Modellen und kommunalen Anwendungen ohne Datenkonvertierung erfolgen kann. Gängige Formate sind GeoTIFF, ASCII-Daten wie Grids, Excel-Tabellen, Shape und CAD-Formate.	Geo-Net	allgemein	teilweise erfüllt	nicht erfüllt

160	4.4	4.4-160	Das nSKM muss in der Lage sein, Karten, Profile oder Statistiken als Ergebnisausgabe zur Verfügung zu stellen.	Geo-Net	allgemein	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt
161	4.4	4.4-161	Das nSKM muss Ergebnisse in unterschiedlichen Komplexitätsgraden ausgeben. Eine vereinfachte Darstellung und eine vollständige Ausgabe (Expertenausgabe) der Ergebnisse muss möglich sein.	Geo-Net	individuell	nicht erfüllt	nicht erfüllt
167	4.4	4.4-167	Mit dem nSKM muss es möglich sein, die Ergebnisse als 2D- und 3D-Visualisierungen in einem gängigen Format zu speichern. Zu den wichtigsten Formaten gehören pdf, png und jpg.	DWD	allgemein	teilweise erfüllt	nicht erfüllt
168	4.4	4.4-168	Die Ausgabedaten müssen in einer 3D-Verteilung ausgegeben werden.	Fraunhofer IBP	allgemein	teilweise erfüllt	erfüllt
169	4.4	4.4-169	Das nSKM muss bei der Ergebnisdarstellung farbpsychologische Effekte bei Farbskalen berücksichtigen. Das bedeutet beispielsweise, dass blau für kalt / nass, rot für warm / trocken und grün für Vegetation steht. Der Nullwertbereich muss neutral (beispielsweise weiß) dargestellt werden.	GERICS	allgemein	erfüllt	nicht erfüllt
170	4.4	4.4-170	Das nSKM muss bei Vergleichen einheitliche Werteskalen verwenden und stellt die Ergebnisse in diesen Werteskalen dar.	GERICS, Difu	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
172	4.4	4.4-172	Das nSKM muss bei der Ergebnisdarstellung angeben, mit welcher Gitternetzweite die Simulation gerechnet wurde. Diese Angabe kann im Plankopf stehen.	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
173	4.4	4.4-173	Die nSKM-Ergebnisse müssen die Meso- bis Mikroskala umfassen.	BKR Aachen	allgemein	Prüfung nicht möglich	erfüllt
174	4.4	4.4-174	Die Ergebnisse des nSKM müssen sowohl einen Ist- als auch einen Plan-Zustand widerspiegeln können. Diese Ergebnisse müssen als Entscheidungshilfen (für unterschiedliche Standorte oder Wettbewerbsvarianten) verwendet werden können.	BKR Aachen, GERICS	fachlich	nicht erfüllt	nicht erfüllt
175	4.4	4.4-175	Das nSKM muss die Modellergebnisse (Legenden, Farben, Farbskalen und Signaturen) einheitlich darstellen. Dies ist nötig, damit unterschiedliche Varianten miteinander verglichen werden können. Da keine amtliche Planzeichenverordnung besteht, wäre für die Vereinheitlichung die VDI 3787 (Blatt 1) ein Vorschlag.	GERICS	allgemein	erfüllt	nicht erfüllt
176	4.4	4.4-176	Das nSKM muss eine Reihe von unterschiedlichen Kartendarstellungen ausgeben. Zu den wichtigsten Kartendarstellungen gehören Differenzdarstellungen (relative Werte); die Darstellung einzelner Parameter (Temperatur, Windgeschwindigkeit, ...); Darstellung zeitlicher Abläufe; Darstellungen von Ensembles.	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
177	4.4	4.4-177	Das nSKM muss den Nutzer*innen die Möglichkeit bieten, die Modellergebnisse in unterschiedlich Datenformate exportieren zu können. Die Nutzer*innen müssen das Datenformat selbst auswählen können. Zu den wichtigsten Datenformaten gehören Bild-, Text, Tabellenformate.	GERICS	fachlich	teilweise erfüllt	nicht erfüllt

178	4.4	4.4-178	Das nSKM muss die Berechnungsgrundlagen bei den Modellergebnissen anzeigen. Zu den wichtigsten Berechnungsgrundlagen gehören die verwendeten Eingangsdaten.	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	nicht erfüllt
180	4.4	4.4-180	Die Ergebnisse müssen anschaulich und leicht verständlich dargestellt werden, sodass sie auch von Nicht-Experten (z.B. Politikern) interpretiert werden können.	Fraunhofer IBP	individuell	nicht erfüllt	nicht erfüllt
182	4.4	4.4-182	Die Simulationsergebnisse des nSKM müssen in einem Datenformat ausgegeben werden, welches es erlaubt die Ergebnisse mit Daten aus externen Quellen zu vergleichen. Externe Quellen sind z.B. Daten aus anderen Programmen oder Daten aus der Verwaltung.	Fraunhofer IBP	fachlich	erfüllt	erfüllt
187	4.5	4.5-187	Die Bedienung der GUI muss über Windows erfolgen.	Difu	allgemein	erfüllt	
188	4.5	4.5-188	Das nSKM muss den Nutzer*innen ermöglichen, bei der Darstellung der Modellergebnisse verschiedene Layer über die GUI individuell ein- und ausblenden zu können. Die Layer sind abhängig von der jeweiligen Aufgabenstellung.	GERICS	allgemein	erfüllt	
189	4.5	4.5-189	Das nSKM muss die Möglichkeit bieten, individuelle Benutzeraccounts zu erstellen. Die Anmeldung zum individuellen Benutzeraccount erfolgt über die Eingabe von User-Namen und Passwort.	GERICS	allgemein	teilweise erfüllt	
190	4.5	4.5-190	Die GUI des nSKM muss in deutscher Sprache zur Verfügung gestellt werden.	GERICS	allgemein	erfüllt	
191	4.5	4.5-191	Das nSKM muss Standardwerte automatisch einsetzen. Zu den Standardwerten gehört bspw. das aktuelle Datum. Dem Nutzer ist es möglich, die Werte bei Bedarf anpassen zu können.	GERICS	fachlich	teilweise erfüllt	
192	4.5	4.5-192	Das nSKM muss die Arbeitsschritte in logischer Reihenfolge zur Verfügung stellen.	GERICS	individuell	erfüllt	
193	4.5	4.5-193	Das nSKM muss Orientierungshilfen bereitstellen. Zu den Orientierungshilfen gehören beispielsweise Fortschrittsanzeigen oder eine strukturierte Benutzeroberfläche.	GERICS	allgemein	teilweise erfüllt	
194	4.5	4.5-194	Das nSKM muss zu den einzelnen Elementen erklärende und leicht verständliche Kurzinformationen zur Verfügung stellen. Diese können beispielsweise in Form von Tooltips angezeigt werden.	GERICS, Difu	individuell	erfüllt	
195	4.5	4.5-195	Das nSKM muss dem Anwender leicht verständliche Rückmeldungen zu den ausgeführten Aktionen zur Verfügung stellen. Die Rückmeldung kann bspw. Informationen über den Erfolg einer vorher durchgeführten Aktion beinhalten.	GERICS	individuell	teilweise erfüllt	
196	4.5	4.5-196	Das nSKM muss dem Anwender die Möglichkeit bieten, eine Aktion abzubrechen.	GERICS	allgemein	erfüllt	
197	4.5	4.5-197	Das nSKM muss die Befehle "Rückgängig" und "Wiederherstellen" korrekt ausführen können.	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	
198	4.5	4.5-198	Das nSKM muss dem Anwender die Möglichkeit bieten, den aktuellen Bearbeitungsstand als Datei zwischenzuspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder verlustfrei zu öffnen.	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	

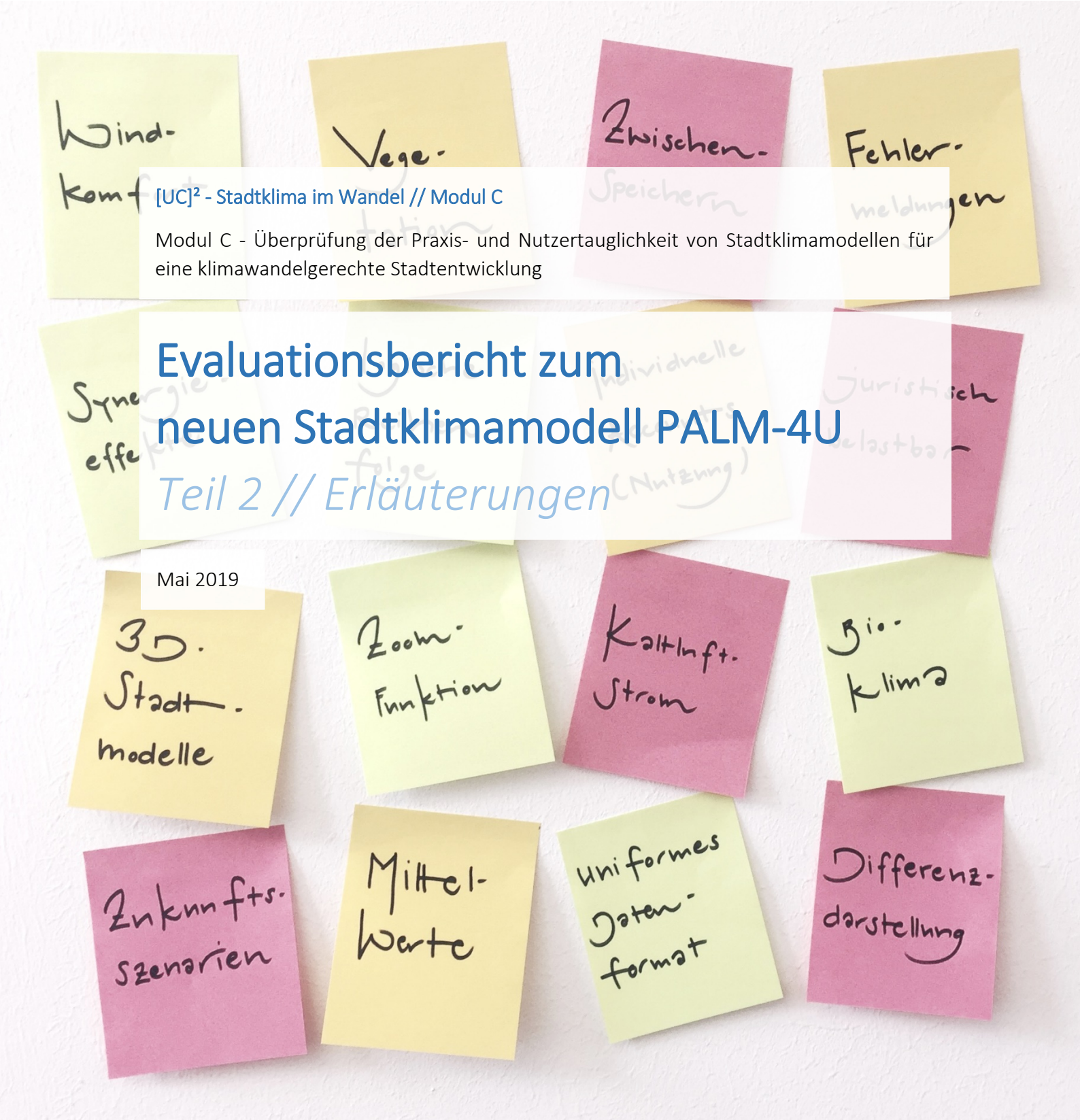
199	4.5	4.5-199	Das nSKM muss Fachbegriffe in sämtlichen Arbeitsschritten, Hilfestellungen und Ergebnisdarstellungen konsistent verwenden.	GERICS	fachlich	erfüllt	
201	4.5	4.5-201	Das nSKM muss allgemein bekannte Symbole verwenden, bspw. das "Mülleimer-Symbol" für die Aktion "Löschen".	GERICS	allgemein	erfüllt	
203	4.5	4.5-203	Das nSKM muss den Nutzer vor der Durchführung von kritischen Aktionen rückfragen, ob die Aktion wirklich durchgeführt werden soll.	GERICS	allgemein	erfüllt	
204	4.5	4.5-204	Das nSKM muss fehlerhafte Formulareingaben anzeigen.	GERICS	allgemein	erfüllt	
205	4.5	4.5-205	Das nSKM muss bei der Dateneingabe ausformulierte, verständliche Fehlermeldungen anzeigen. Dies bedeutet, dass Fehlermeldungen in Text und nicht ausschließlich mit technischen Formeln beschrieben werden.	GERICS	individuell	teilweise erfüllt	
206	4.5	4.5-206	Das nSKM muss über eine vereinfachte GUI für eine Basisversion verfügen.	TU DO	allgemein	erfüllt	
208	4.5	4.5-208	Die GUI ermöglicht dem Nutzer eine geostatistische Auswertung der Simulationsergebnisse	Geo-Net	fachlich	nicht erfüllt	
210	4.5	4.5-210	Die GUI muss dauerhaft (während und nach der Projektlaufzeit) in vollem Umfang über eine Freeware-Lizenz (z.B. GNU GPL - Free Software) verfügbar sein. Damit soll es für alle Interessengruppen dauerhaft frei zugängig sein.	BMBF, GERICS, Geo-Net	allgemein	erfüllt	
211	4.5	4.5-211	Die GUI muss unabhängig vom Betriebssystem und vom Browser funktionieren. Sie muss auch über das Internet erreichbar sein.	Geo-Net	allgemein	erfüllt	
212	4.5	4.5-212	Die GUI muss dem Nutzer ermöglichen, die Ausgabe der Simulationsergebnisse in Art und Form selbst zu steuern.	Geo-Net	fachlich	teilweise erfüllt	
214	4.5	4.5-214	Bei einem Abbruch der Berechnungen müssen eindeutig interpretierbare Fehlermeldungen auf der GUI angezeigt werden. Dies bedeutet, dass Fehlermeldungen in Text und nicht ausschließlich mit technischen Formeln beschrieben werden.	Fraunhofer IBP	individuell	nicht erfüllt	
216	4.5	4.5-216	Die GUI muss den Kernnutzer bei der "Übersetzung" der kommunalen stadtklimatischen Fragestellung in zu berechnende Klimaparameter und -indizes durch Dialogfenster und Eingabehilfen anleiten.	Difu	individuell	teilweise erfüllt	
217	4.5	4.5-217	Bei der Auswahl der zu modellierenden Klimaparameter und -indizes über die GUI muss eine allgemeinverständliche Definition des jeweiligen Parameters einschließlich der zugehörigen Maßeinheiten bereitgestellt werden.	Difu	individuell	nicht erfüllt	
219	4.5	4.5-219	Die Dateneingabe muss über das GUI erfolgen	Difu	allgemein	erfüllt	
220	4.5	4.5-220	Die konkrete Bedeutung der auf der GUI dargestellten Ergebnisse muss erläutert werden. Die Erläuterung muss für den Nutzer einfach und frei zugänglich sein, beispielsweise durch eine integrierte Hilfe oder erläuternde Texte auf der GUI.	Fraunhofer IBP	allgemein	teilweise erfüllt	
221	4.5	4.5-221	Ein Verschneiden verschiedener Informationsebenen der Eingabe- und Ausgabedaten muss innerhalb der GUI möglich sein.	Fraunhofer IBP	fachlich	nicht erfüllt	

222	4.5	4.5-222	Mit Hilfe der GUI müssen Varianten einer bestehenden Simulationsrechnung erstellt werden können. Das heißt, eine Variation der Eingangsdaten oder der Randbedingungen muss möglich sein.	Fraunhofer IBP	fachlich	nicht erfüllt	
223	4.5	4.5-223	Über die GUI müssen die Ergebnisse mehrerer Simulation bzw. Varianten miteinander verglichen werden können, z.B. mittels einer Differenzdarstellung	Fraunhofer IBP	fachlich	nicht erfüllt	
224	4.5	4.5-224	Die Darstellung und Interpretation der Simulationsergebnisse des nSKM muss über die GUI gesteuert werden können.	Fraunhofer IBP	fachlich	teilweise erfüllt	
225	4.5	4.5-225	Die GUI muss eine Darstellung der Ein- und Ausgabedaten in mehreren Skalen- und Maßstabsebenen (Regional- und Landschaftsplanung bis Gebäudearchitektur) ermöglichen.	Fraunhofer IBP	allgemein	Prüfung nicht möglich	
226	4.5	4.5-226	Nutzer*innen mit Erfahrung in der Stadtplanung müssen in der Lage sein, sämtliche Steuerelemente der GUI zu verstehen und zu bedienen.	GERICS	individuell	teilweise erfüllt	
227	4.5	4.5-227	Das nSKM muss den Nutzer*innen die Erstellung von Vorlagen ermöglichen. Vorlagen müssen für ähnliche Fragestellungen und für ein einheitliches Aussehen von Modellergebnissen (Plankopf, Logo, ...) verwendet werden können.	GERICS	fachlich	nicht erfüllt	
228	4.5	4.5-228	Die Kartendarstellung der GUI muss über eine Zoom-Funktion verfügen.	Fraunhofer IBP	allgemein	erfüllt	
229	4.5	4.5-229	Das GUI muss den Nutzer*innen die Möglichkeit bieten, die Modellergebnisse in unterschiedlich Datenformate im- und exportieren zu können. Zu den wichtigsten Datenformaten gehören Bild-, Text, Tabellenformate.	Geo-Net	allgemein	teilweise erfüllt	
230	4.5	4.5-230	Die Installation und Inbetriebnahme der GUI muss in einer Anleitung erläutert werden. Dabei müssen auch alle zusätzlichen Ressourcen die nötig sind um die GUI im gemeinsamen Betrieb mit dem nSKM im vollen Funktionsumfang zu verwenden (z.B. Queuing-System), inklusive deren Mindestversion, Bezugsquelle sowie einen Verweis auf ihre jeweilige Installationsanleitung mit aufgeführt werden.	Fraunhofer IBP	allgemein	nicht erfüllt	
233	4.5	4.5-233	Das nSKM muss die Verwendung von gängigen Short-Cuts ermöglichen. Zu den gängigen Short-Cuts gehört bspw. "Stgr + S" zum Speichern.	GERICS	allgemein	nicht erfüllt	
235	4.5	4.5-235	Das nSKM muss die Möglichkeit bieten, die Schriftgrösse den Bedürfnissen der nutzenden Person anzupassen.	GERICS	allgemein	erfüllt	
236	4.5	4.5-236	Das nSKM muss in der Lage sein, die Corporate Identity des Nutzers in der Ergebnisdarstellung aufzunehmen.	GERICS	allgemein	teilweise erfüllt	
240	4.5	4.5-240	Bei der Erstellung des Modellgebietes erscheint eine Fehlermeldung, wenn die Abstände zwischen Rändern und Gebäuden zu klein sind.	DWD	allgemein	nicht erfüllt	

Diese Seite wurde absichtlich leer gelassen.

KliMoPrax

UseUClim
Modul C
[UC]²



[UC]² - Stadtklima im Wandel // Modul C

Modul C - Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung

Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U

Teil 2 // Erläuterungen

Mai 2019

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U

Teil 2: *Erläuterungen*

Autor*innen:

Bettina Steuri[1], Irina Heese[2], Cornelia Burmeister[3], Guido Halbig[2], Rick Hölsgens[4], Luise Willen[5] & Matthias Winkler[6]

Verbundprojekt UseUClim:

[1] Climate Service Center Germany (GERICS)

[6] Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

Verbundprojekt KliMoPrax:

[2] Deutscher Wetterdienst (DWD)

[5] Deutsches Institut für Urbanistik (DIFU)

[3] GEO-NET Umweltconsulting GmbH

[4] Technische Universität Dortmund – Sozialforschungsstelle

Kontaktpersonen:

UseUClim: Bettina Steuri (bettina.steuri@hzg.de)
KliMoPrax: Irina Heese (irina.heese@dwd.de)

Coverfoto:

Ein Einblick in die Evaluation (GERICS, 2019)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis *24*

Abkürzungsverzeichnis *25*

1 EINLEITUNG 26

2 EVALUATIONSANSATZ 28

2.1 Herleitung von Evaluationskriterien 28

2.2 Umgang mit neuen Anforderungen 30

2.3 Verbundübergreifende Zusammenarbeit 31

3 METHODIK 32

3.1 UseUClim 33

3.2 KliMoPrax 35

4 EVALUATIONSERGEBNISSE 37

4.1 Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen 38

4.2 Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen 40

4.3 Eingangsdaten 42

4.4 Ausgabedaten 44

4.5 Grafische Benutzeroberfläche (GUI) 46

4.6 Erfahrungen in den Kommunen und Praktikabilität des Modells für (kommunale) Anwender*innen 48

5 FAZIT // PRAXISTAUGLICHKEIT VON PALM-4U 53

6 AUSBLICK 56

7 LITERATURVERZEICHNIS 58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die Modulstruktur im Forschungsprojekt „Stadtklima im Wandel“ 26
Abbildung 2 Die Umsetzbarkeit der 240 Anforderungen 28
Abbildung 3 Verbundübergreifende Evaluierungskriterien. 29
Abbildung 4 Arbeitsstruktur in Modul C 30
Abbildung 5 Exemplarischer Ausschnitt aus der NAK-Tabelle 30
Abbildung 6 Zeitplan zur Erstellung des Evaluationsberichts 32
Abbildung 7 Impressionen aus den Vor-Ort-Schulungen 33
Abbildung 8 Impressionen aus der KliMoPrax-Dialogwerkstatt III in Essen 36
Abbildung 9 Ergebnisse der Evaluation "Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen" 39
Abbildung 10 Ergebnisse der Evaluation "Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen" 41
Abbildung 11 Ergebnisse der Evaluation "Eingangsdaten" 42
Abbildung 12 Workflow für die Datenaufbereitung am Beispiel Bonn 43
Abbildung 13 Ergebnisse der Evaluation "Ausgangsdaten". 44
Abbildung 14 Ergebnisse der Evaluation „Grafische Benutzeroberfläche". 47
Abbildung 15 Die beiden Konsortien in Modul C 48
Abbildung 16 Impressionen aus dem UseUClim-Workshop in Holzkirchen 50
Abbildung 17 Einblick in den Evaluationsworkshop in Dortmund 51
Abbildung 18 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 157 Anforderungen. 53

Abkürzungsverzeichnis

[UC]²	*Urban Climate Under Change*
BauGB	Baugesetzbuch
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bspw.	beispielsweise
COSMO-DE	Regionalmodell
GIS	Geografische Informationssysteme
GUI	Grafische Benutzeroberfläche *(graphical user interface)*
INIFOR	*Mesoscale Interface for Initializing and Forcing PALM-4U*
NAK	Nutzer- und Anforderungskatalog
nSKM	neues Stadtklimamodell
PALM-4U	*PArallelized Large-Eddy Simulation Model for Atmospheric and Oceanic Flows – for Urban Application*
PC	*personal computer*
u.a.	unter anderem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Stadtklima im Wandel“ – *Urban Climate Under Change [UC]²*, wird ein innovatives Stadtklimamodell entwickelt, mit dem atmosphärische Prozesse für gesamte Stadtgebiete gebäudeauflösend modelliert werden sollen. Das Projekt setzt sich aus den drei Modulen Modellentwicklung (Modul A), Beobachtungsdaten und Modellevaluation (Modul B) sowie Praxistauglichkeit (Modul C) zusammen (siehe Abbildung 1). Modul C umfasst die beiden Konsortien KliMoPrax und UseUClim, deren Ziel es ist, die Praxistauglichkeit und somit die zukünftige Anwendbarkeit des neuen Stadtklimamodells sicherzustellen.

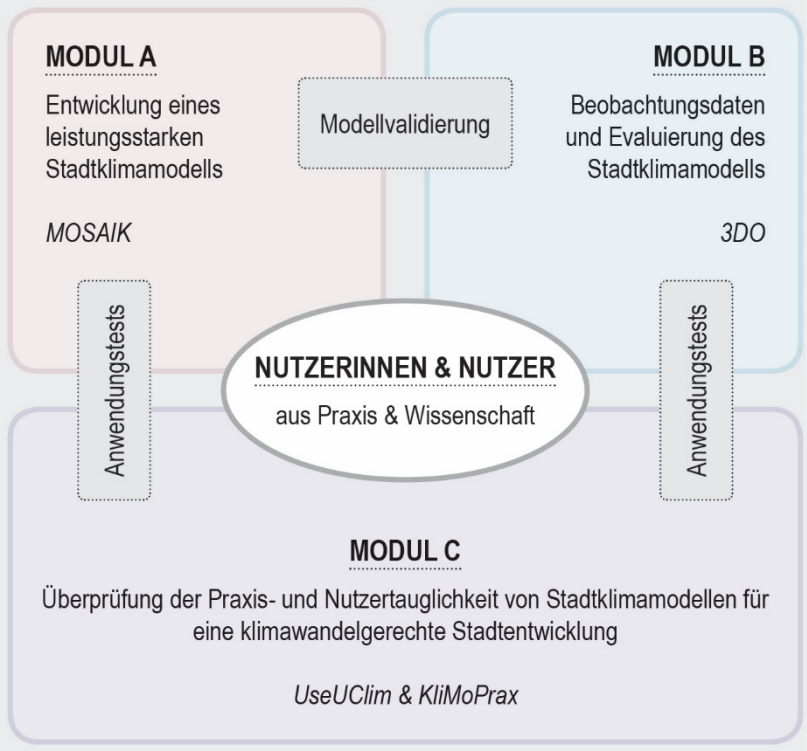


Abbildung 1 Die Modulstruktur im Forschungsprojekt „Stadtklima im Wandel“ – Urban Climate Under Change [UC]² (Quelle: GERICS; in Anlehnung an Scherer et al., 2019a).

In Großstädten und urbanen Regionen gibt es ein im Vergleich zum Umland verändertes Lokalklima, das auf dichte Bebauung, Flächenversiegelung, fehlende Vegetation und erhöhte Schadstoffbelastungen zurückzuführen ist. Atmosphärische Prozesse werden modifiziert und führen zu einer erhöhten Temperatur sowie zu geringeren mittleren Windgeschwindigkeiten mit der Folge einer mangelnden Durchlüftung. Auch Starkniederschläge, Stürme und Trockenperioden stellen Städte vor große Herausforderungen. Da sich die Probleme durch den Klimawandel verstärken und bereits mehr als die Hälfte der Erdbevölkerung in urbanen Regionen lebt, besteht ein hoher Handlungsbedarf.

Derzeit fehlen Stadtklimamodelle, mit denen eine Modellierung atmosphärischer Prozesse für ganze Stadtgebiete in hoher Auflösung möglich ist. Zudem können bisherige Modelle nicht an numerische Wettervorhersagemodelle gekoppelt werden. Das neue Stadtklimamodell PALM-4U soll diese Lücke schließen. Das Modell soll in der Stadt- und Umweltplanung eingesetzt werden und damit einen Beitrag zur klimawandelangepassten Entwicklung von Siedlungs- und Freiraumstrukturen leisten. Damit das Modell Anwendung in unterschiedlichen Nutzerkreisen findet, muss es nicht nur auf Großrechnern, sondern auch auf gewöhnlichen PCs laufen und darüber hinaus über eine grafische Benutzeroberfläche

steuerbar sein, die die Bedienung des Modells vereinfacht. Anhand von praxisnahen Anwendungsbeispielen aus potentiellen Nutzergruppen soll die Praxistauglichkeit des neuen Modells sichergestellt werden. Zudem sind die Verstetigung der begonnenen Aktivitäten und die Integration von PALM-4U in bestehende Klimadienstleistungen bedeutsam, damit das Stadtklimamodell ein fester Bestandteil in der Praxis wird.

Die Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und insbesondere kommunalen und städtischen Verwaltungen muss gestärkt werden, um die Herausforderungen für eine klimawandelgerechte Stadt der Zukunft zu bewältigen. Es ist daher wichtig, dass PALM-4U von einem breiten Kreise aus Nutzer*innen verwendet wird. Adressaten der Modellergebnisse sind Anwender*innen aus der Umweltplanung, Stadt- und Landschaftsplanung, Grün- und Freiraumplanung oder dem städtischen Klimaschutz.

Ziel des vorliegenden Evaluationsberichtes ist es daher zu überprüfen, ob mit PALM-4U zum Ende der Projektlaufzeit im Mai 2019 ein verwendbarer Prototyp vorliegt, der gemäß der Ausschreibung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) die folgenden Kriterien zur Praxistauglichkeit erfüllen muss (BMBF, 2015):

- Die Ergebnisse der Simulationen sollen für Nutzer des Modells nachvollziehbar und überprüfbar sein. Das Modell soll die Simulationsergebnisse in adäquater gut verständlicher Form ausgeben.
- Die Modelloberfläche soll einfach zu verstehen und zu benutzen sein. Jeder Nutzer und Anwender soll in der Lage sein, aufgrund der selbsterklärenden Softwareoberfläche Stadtstrukturen schnell in das Modell einzugeben.
- Das Modell soll in der Lage sein, digitale Geländemodelle (DGM) und Klötzchenmodelle (digitale 3D-Modelle von Städten) zu verarbeiten.
- Das Modell soll für die Stadtplanung und Stadtentwicklung passfähig sein.
- Die Ergebnisse sollen in Wirkmodelle (z. B. für sozioökonomische Analysen) integrierbar sein.

Der vorliegende Evaluationsbericht prüft den *Release Candidate PALM-4U Version 6.0*, der am 31.10.2018 veröffentlicht wurde, sowie die grafische Benutzeroberfläche, mit Entwicklungsstand vom 01. April 2019, hinsichtlich der Praxistauglichkeit mit den dargestellten Zielen. Das folgende Kapitel 2 erläutert den Evaluationsansatz, bevor in Kapitel 3 die unterschiedlichen Methodiken von KliMoPrax und UseUClim beschrieben werden. Die Ergebnisse der Evaluation werden in Kapitel 4 zusammengefasst. Der Bericht schließt mit einem Fazit und Ausblick in den Kapiteln 5 und 6.

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung als Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) unter den Kennzeichen 01LP1603 (KliMoPrax) und 01LP1604 (UseUClim) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor*innen.

2 Evaluationsansatz

2.1 Herleitung von Evaluationskriterien

Grundlage für die hier angewendeten Evaluationskriterien bildet der gemeinsam im Modul C erarbeitete vorfinale Nutzer- und Anwendungskatalog (siehe Steuri et al., 2018a; Weber et al., 2018). In diesem wurden insgesamt 240 Anforderungen erhoben, die ein praxistaugliches Stadtklimamodell erfüllen sollte. Die Anforderungen wurden mit den Modulen A und B abgestimmt und von diesen auf ihre Umsetzbarkeit bewertet. Sie lassen sich, wie in Abbildung 2 dargestellt, in fünf Hauptkategorien aufteilen: Technische und fachliche Anforderungen, Anforderungen an Eingangs- und Ausgabedaten sowie Anforderungen an die Benutzeroberfläche. In ihrer Gesamtheit beschreiben sie die Erwartungen der Praxis an die Fähigkeiten eines Stadtklimamodells, damit es regelmäßig eingesetzt werden kann.

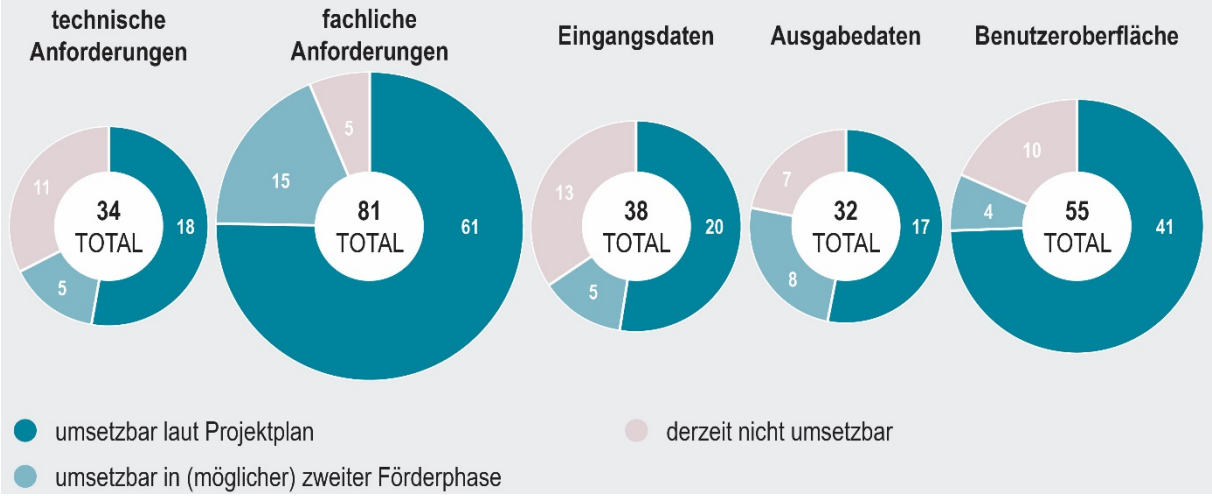


Abbildung 2 Die Umsetzbarkeit der 240 Anforderungen (Quelle: GERICS).

Nicht alle dieser Anforderungen können aktuell von PALM-4U erfüllt werden, da sie entweder nicht im Projektplan, welcher vor der Anforderungserhebung aufgestellt wurde, vorgesehen waren oder grundsätzliche, meist technische, Probleme deren Umsetzung verhindern. Zur Evaluierung der Praxistauglichkeit von PALM-4U wurden nur die Anforderungen bewertet, die im Projektplan des MOSAIK-Verbunds vorgesehen waren und von den Modulen A und B als umsetzbar gekennzeichnet wurden. Zudem identifizierte Modul C sechs Anforderungen, die grundsätzlich umsetzbar wären, aber von der Modellentwicklung nicht im Projektplan der Förderphase 1 vorgesehen waren. Da diese Anforderungen für die Partner*innen aus der Praxis eine hohe Priorität hatten, wurde Modul A im Januar 2018 gebeten, diese – wenn möglich –- zusätzlich umzusetzen (siehe blau markierte Anforderungen im Teil 1 dieses Evaluationsberichts). Obwohl diese Anforderungen evaluiert wurden, flossen sie nicht in die abschließende Beurteilung ein.

Die Anforderungen, die von den Wissenschaftler*innen als nicht-umsetzbar klassifiziert wurden, stellen jedoch auch für die Praxis relevante Funktionalitäten eines Stadtklimamodells dar, wie z.B. die Implementierung des Niederschlags und die damit verbundenen Bewertungsmöglichkeiten. Sie werden ebenso wie neu hinzukommende Anforderungen genutzt, um künftig nötige Weiterentwicklungen von PALM-4U aufzuzeigen (siehe Kapitel 2.2).

PALM-4U ist ein komplexes und modular aufgebautes Stadtklimamodell, das grundsätzlich skript-basiert bedient wird. Diese Bedienmethode erlaubt einen flexiblen Zugriff auf alle Modellfähigkeiten, setzt jedoch ein tiefgründiges Verständnis des Modells voraus. Um die Bedienung für Anwender in der Praxis zu erleichtern wird gleichzeitig eine grafische Benutzeroberfläche entwickelt, die Nutzer bei der Übersetzung ihrer Planungsfragen in Simulationsrechnungen unterstützt. Diese grafische Benutzeroberfläche erlaubt allerdings keinen vollen Zugriff auf alle Modellfunktionen. Daher wird bei der Evaluierung jede Anforderung zweimal bewertet: Einmal für die skript-basierte Anwendung und einmal für die Anwendung über die grafische Benutzeroberfläche. Ausgenommen sind Anforderungen, die einzig an die grafische Benutzeroberfläche adressiert sind (siehe Kapitel 4.5).

Jeder Anforderung ist ein Abnahmekriterium zugeordnet, welches die nötige Funktionalität beschreibt, durch die eine Anforderung als erfüllt einzuordnen ist. Neben der Einteilung in „erfüllte“ und „nicht erfüllte“ Anforderungen wurde zusätzlich noch die Zwischenstufe „teilweise erfüllt“ in der Evaluierung berücksichtigt. Diese wird vergeben, wenn die Erfüllung einer Anforderung mehrere Teilkriterien umfasste und nur eine Teilmenge davon erfüllt war.

EVALUATIONSKRITERIEN // auf Basis des Nutzer- und Anforderungskatalogs		
ALLGEMEIN	**FACHLICH**	**INDIVIDUELL**
Allgemeingültige Anforderungen, die auch ohne Prüfszenario und Feedback der Anwender*innen eindeutig geprüft werden können.	Anforderungen, für deren eindeutige Prüfung ein Prüfszenario und // oder ein Feedback der Anwender*innen nötig ist.	Anforderungen, deren Prüfung aufgrund einer persönlichen Einschätzung der Anwender*innen erfolgt.
Beispiel // Anforderung 4.5-190 *„Die GUI des nSKM muss in deutscher Sprache zur Verfügung gestellt werden.“*	Beispiel // Anforderung 4.2-74 *„Das nSKM muss in der Lage sein, Wärmeinseln (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren“.*	Beispiel // Anforderung 4.5-192 *„Das nSKM muss die Arbeitsschritte in logischer Reihenfolge zur Verfügung stellen.“*

Abbildung 3 Verbundübergreifende Evaluierungskriterien auf Basis des Nutzer- und Anforderungskatalogs (Quelle: Fraunhofer IBP).

Die Umsetzung der Anforderungen wird in den beiden Verbünden KliMoPrax und UseUClim mit zum Teil unterschiedlichen Methoden geprüft (siehe Kapitel 3). Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden die Anforderungen vor deren Prüfung einer der in Abbildung 3 beschriebenen Kriterien zugeteilt. Auf Basis dieser Einteilung entwickelten die beiden Verbünde für jede Anforderung des NAK eigene Testszenarien, mit denen die Anforderungen und deren Abnahmekriterien geprüft wurden. Kann eine Anforderung nicht getestet werden, z.B. da nötige Ressourcen fehlten, wird die Anforderung als „nicht prüfbar“ eingestuft.

2.2 Umgang mit neuen Anforderungen

In der Projektphase 1 wurden im Rahmen der Anforderungserhebung von Modul C mittels unterschiedlicher Methoden – u.a. Workshops mit den Partner*innen aus der Praxis, Online- Umfrage, Literaturrecherche – 240 Anforderungen im vorfinalen Nutzer- und Anforderungskatalog erfasst. Zusätzlich zu dieser bereits sehr umfassenden Anforderungsanalyse konnten auch in den Projektphasen 2 und 3 weitere Anforderungen erhoben werden (siehe Abbildung 4):

- Im Rahmen der Projektphase 2 wurden in UseUClim während der Vor-Ort-Schulungen und selbstständigen Anwendungsphasen neue Anforderungen erfasst.
- Auch in der Projektphase 3 wurden nochmals neue Anforderungen generiert. Hierbei handelt es sich um Anforderungen aus der Projektphase 1, die im Rahmen der Evaluation detaillierter aufgeschlüsselt wurden.

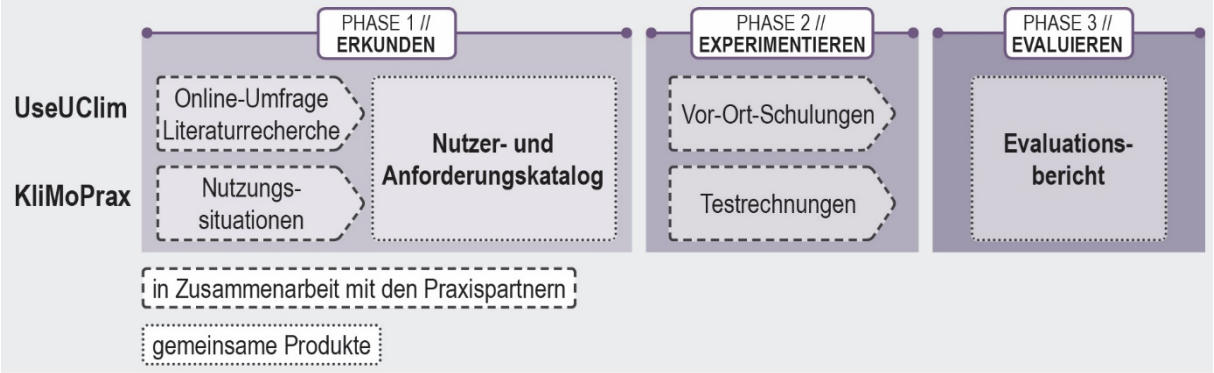


Abbildung 4 Arbeitsstruktur in Modul C (Quelle: Steuri et al., 2018b).

Die in beiden Projektphasen erfassten Anforderungen wurden gesammelt und – analog zur Anforderungserhebung in Projektphase 1 – tabellarisch erfasst und systematisch beschrieben. Diese neuen Anforderungen wurden anschließend im Teil 1 des finalen Nutzer- und Anforderungskatalogs eingefügt (siehe Steuri et al., 2019). Die neuen Anforderungen beginnen mit der Nummer 241, ihre ID wurde zudem mit einem „n“ für „neu“ gekennzeichnet (siehe Abbildung 5).

241	4.2	4.2-n241	Das nSKM muss in der Lage sein, den Einfluss der Bodenbedeckungstypen auf die Verdunstung der darüber liegenden Vegetation zu simulieren.	+	MOSAIK	GERICS	2. Förderphase
242	4.2	4.2-n242	Das nSKM muss in der Lage sein, den Einfluss der Bodenbedeckungstypen an deren luftberührten Oberfläche zu simulieren.	+	MOSAIK	GERICS	2. Förderphase
243	4.2	4.2-n243	Das nSKM muss in der Lage sein, den Einfluss der Bodenfeuchte auf die Verdunstung zu simulieren.	+	MOSAIK	GERICS	2. Förderphase
244	4.3	4.3-n244	Das nSKM muss es den Nutzer*innen ermöglichen, über die GUI den Speicherort beim Export manuell festzulegen.	+++	MOSAIK	GERICS	2. Förderphase
245	4.3	4.3-n245	Die vordefinierten Datentypen für Gebäude müssen das Spektrum typischer Nutzungen und Bauweisen im urbanen Raum umfassen (z.B. Wohnen, Büro, Gewerbe, Industrie, historische Gebäude, Lager).	+++	MOSAIK	Fraunhofer IBP	2. Förderphase

Abbildung 5 Exemplarischer Ausschnitt aus der NAK-Tabelle mit den neuen Anforderungen (Quelle: Steuri et al., 2019).

2.3 Verbundübergreifende Zusammenarbeit

Das Forschungsprojekt war vom Fördergeber als Verbundprojekt angelegt, in dem die drei Module Modellentwicklung (Modul A), Beobachtungsdaten und Modellevaluation (Modul B), Praxistauglichkeit (Modul C) quasi synchron innerhalb der drei Jahre Förderdauer stattfinden sollten (siehe Scherer at al., 2019a, Maronga et al., 2018, Scherer et al., 2019b, Halbig et al., 2019). Dadurch war von Anfang an eine enge Verzahnung der drei Module erforderlich. Insbesondere die Erstellung des Nutzer- und Anforderungskatalogs und die Bewertung der Umsetzbarkeit der Praxisanforderungen erfolgte in enger Abstimmung mit den Modulen A und B. Dadurch wurde beispielsweise die zweifache Bewertung der Anforderungen entsprechend der Bedienungsweise von PALM-4U (skript-basiert und GUI-Bedienung, siehe Kapitel 2.1) auf Wunsch von Modul A eingeführt. Durch die enge Zusammenarbeit konnte zudem erreicht werden, dass von der Modellentwicklung auch Anforderungen umgesetzt wurden, welche die Nutzer*innen, abweichend von der Projektausschreibung, als relevant eingestuft hatten. Modulübergreifende Treffen sowie die Einbindung der Module A und B in die Modul-C-Steuerungsgruppe lieferten darüber hinaus wertvolle Erkenntnisse und förderten die Umsetzung der Projektziele.

Modul C selbst setzt sich aus zwei Konsortien zusammen: KliMoPrax und UseUClim. Beide haben unterschiedliche Zielgruppen im Fokus und verfolgen dabei unterschiedliche Verfahren und Prozesse. Mit dem Nutzer- und Anforderungskatalog und dem abschließenden Evaluationsbericht erarbeiten sie aber gemeinsam zentrale Modul C-Produkte (siehe Abbildung 4). Kapitel 3 beschreibt die in den beiden Konsortien angewandten Methoden. Zur Koordination des Evaluationsprozesses in Modul C wurde frühzeitig ein gemeinsames Vorgehen entwickelt, welches zu den in Kapitel 2.1 beschriebenen Evaluationskriterien führte. In regelmäßigen Treffen der für die Evaluation der Praxistauglichkeit verantwortlichen Partner (DWD, GEO-NET, TU-Dortmund, Fraunhofer IBP, GERICS) wurde der Fortschritt bei der Evaluation diskutiert und aus den Ergebnissen der beiden Konsortien eine Synthese zur gemeinsamen Modul-C-Bewertung gebildet. Bei abweichenden Einschätzungen der Verbünde zur Evaluation einer Anforderung wurde die Synthese nach eingehender gemeinsamer Diskussion gebildet.

3 Methodik

Um die Praxistauglichkeit von PALM-4U zu bewerten, wandten die beiden Verbünde UseUClim und KliMoPrax parallel unterschiedliche Methoden an. In Summe entstand so ein umfassendes Bild, das den praktischen Umgang mit dem Modell und seinen Ergebnissen aus verschiedenen Anwenderperspektiven und Bedienungsmöglichkeiten beschreibt. Die in den Verbünden angewandten Methoden sind nachfolgend näher beschrieben. Abbildung 6 fasst den zeitlichen Verlauf für die Prüfung der Praxistauglichkeit und die Erstellung des Evaluierungsberichts zusammen.

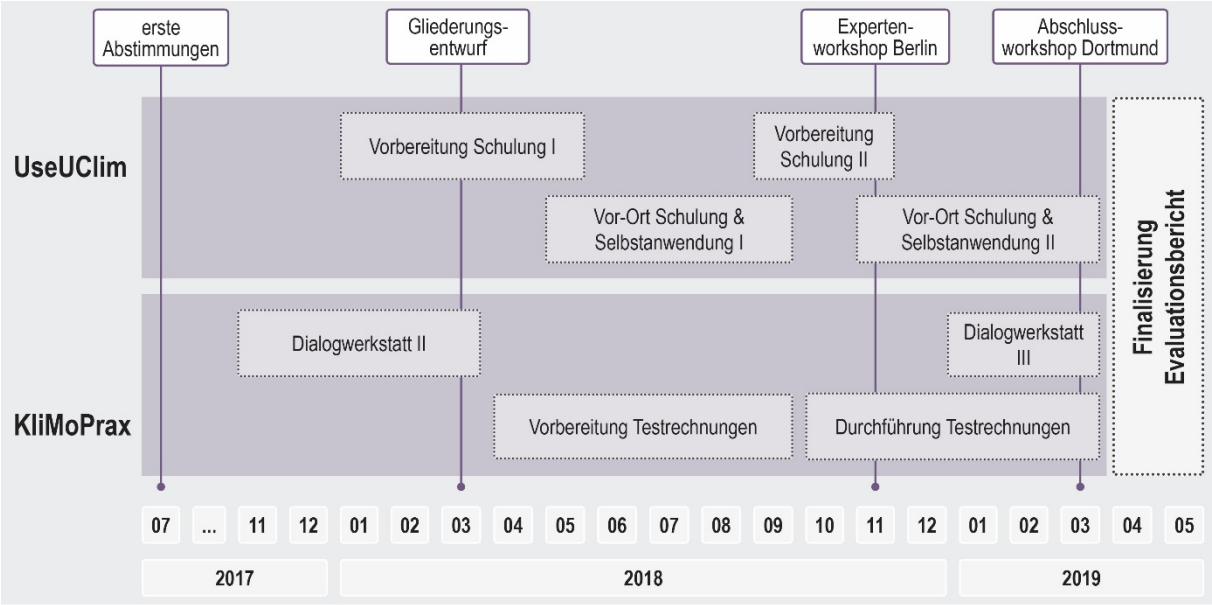


Abbildung 6 Zeitplan zur Erstellung des Evaluationsberichts (Quelle: Fraunhofer IBP).

3.1 UseUClim

Für die Evaluierung und Verbesserung der Praxistauglichkeit von PALM-4U verfolgt UseUClim einen Living-Lab-Ansatz, bei dem die im Projekt beteiligten Praxispartner*innen direkt in den Entwicklungsprozess eingebunden werden und das Modell selbst anwenden (siehe Steuri et al., 2018b). Die Praxispartner*innen setzen sich aus Mitarbeiter*innen von kommunalen Umwelt- und Stadtplanungsämtern sowie eines in der Stadtplanung tätigen Planungs- und Beratungsunternehmens zusammen. Auf Basis des Feedbacks der Praxispartner*innen sowie den Erfahrungen der Verbundpartner Fraunhofer IBP und GERICS wurde die Praxistauglichkeit von PALM-4U getestet und die Ergebnisse für den Evaluierungsbericht aufbereitet. Dabei wurden die nachfolgend beschriebenen Methoden angewandt.

UseUClim entwickelte zusätzliche Software-Tools, um den Praxispartner*innen die Nutzung von PALM-4U zu erleichtern. Da diese spezifisch für die Schulungen entwickelt und nur im Verbund UseUClim angewandt wurden, werden sie nicht in die Evaluierung der Praxistauglichkeit von PALM-4U miteinbezogen.

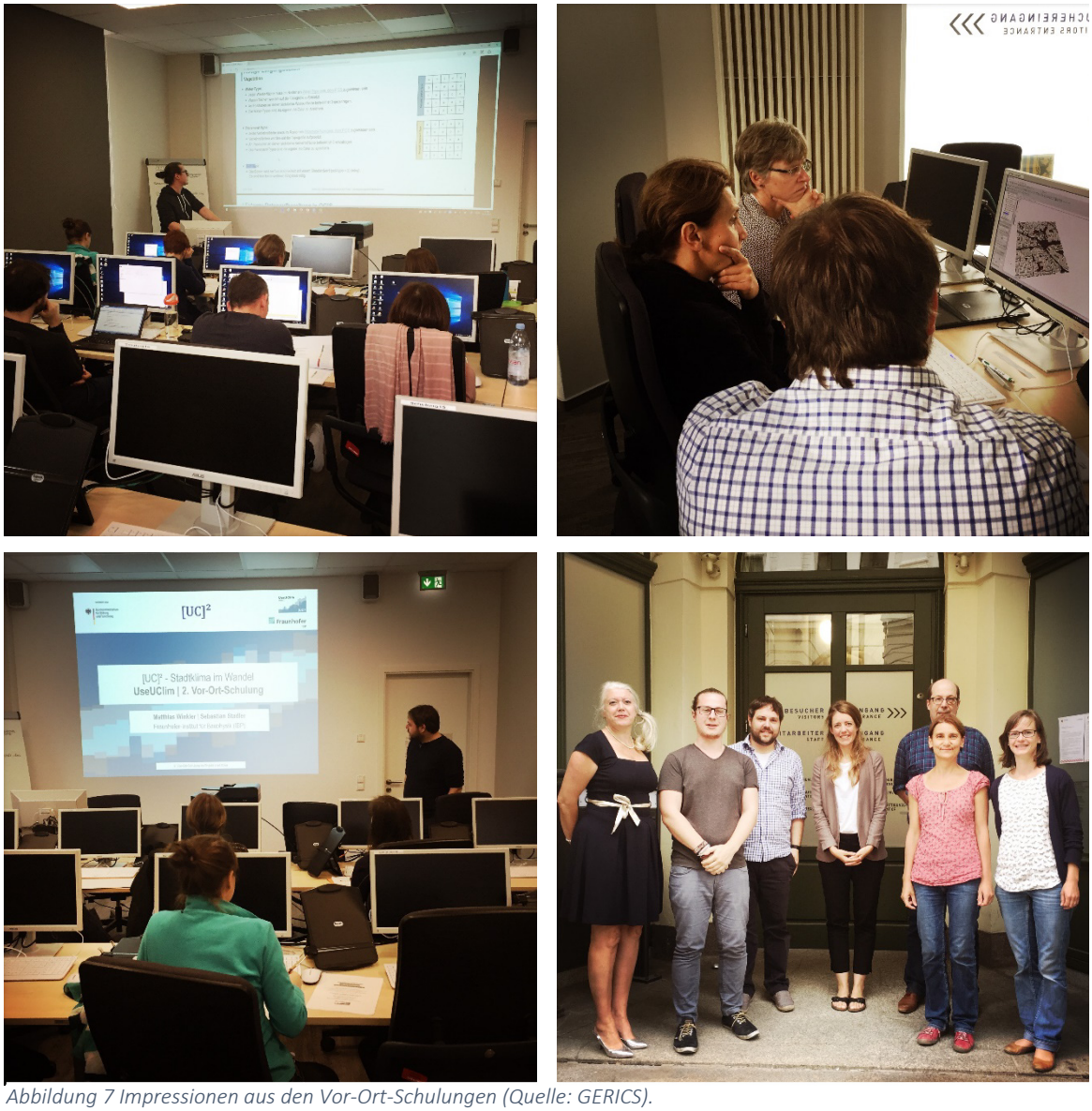


Abbildung 7 Impressionen aus den Vor-Ort-Schulungen (Quelle: GERICS).

Interne Testanwendungen

Interne Testanwendungen wurden zunächst zur Vorbereitung und Entwicklung der Anwenderschulungen durchgeführt. Dabei wurde sowohl die Anwendung des Modells über die GUI als auch die skriptbasierte Anwendung erprobt und Verbesserungsvorschläge an die Modellentwickler*innen kommuniziert. Nach Abschluss der zweiten Schulungsphase wurden zusätzliche interne Testanwendungen durchgeführt, um ausgewählte Anforderungen zu evaluieren, die auch ohne direktes Nutzerfeedback beantwortet werden konnten („allgemeine" Anforderungen) oder deren Prüfung tiefergehende Tests bedingten, die im Rahmen von Schulungen nicht durchgeführt werden konnten. Dazu gehören vornehmlich Anforderungen an einzelne Modellfähigkeiten.

Nutzerbeteiligung: Anwenderschulungen und Selbstanwendung

Die Praxispartner*innen in UseUClim wurden in zwei Schulungsphasen in der Handhabung des Modells geschult. In den zugehörigen Anwendungsphasen konnten sie im Anschluss für mehrere Monate selbstständig mit PALM-4U arbeiten. Die Bedienung des Modells erfolgte dabei ausschließlich über die grafische Benutzeroberfläche (GUI), wodurch auch der Schwerpunkt der Evaluierung der Praxistauglichkeit in UseUClim auf der GUI lag. Abbildung 7 zeigt Impressionen aus den Schulungen. Die beiden Schulungsphasen hatten folgende Inhalte:

- In der Schulungsphase I lag der Fokus auf dem Testen und Verbessern der vorliegenden prototypischen Modellbasis, v.a. der GUI. Die Praxispartner*innen wurden anhand vorgefertigter praktischer Beispiele und Anwendungsszenarien in die Arbeit mit PALM-4U eingeführt. Im Anschluss an die Schulungen konnten die Praxispartner*innen das Modell inkl. GUI über mehrere Monate in der Selbstanwendung nutzen. Die Feedbackphase wurde mit einem gemeinsamen Workshop abgeschlossen. Verbesserungsvorschläge zur Modellentwicklung wurden regelmäßig an Modul A kommuniziert.

- In der Schulungsphase II lag der Fokus auf der Evaluierung der Praxistauglichkeit der aktuellen Version PALM-4U und der GUI. Alle Praxispartner*innen wurden dabei soweit befähigt, dass sie ihre eigenen kommunalen Grunddaten aufbereiten und für Simulationen mit der GUI von PALM-4U nutzen konnten. Da es keine Tools zur Erstellung der Eingangsdaten für PALM-4U („static driver") gab, entwickelten UseUClim-Partner*innen eine entsprechende Software für die Schulungen. Das parallel entwickelte Benutzerhandbuch wurde ebenfalls in die Schulung integriert und getestet. Im Anschluss an die Schulungen konnten die Praxispartner*innen PALM-4U inkl. GUI in der Selbstanwendung nutzen. Die zweite Schulungsphase wurde mit dem Modul-C-Abschlussworkshop beendet.

Erhebung des Nutzerfeedbacks

Das Nutzerfeedback der Praxispartner*innen wurde mit verschiedenen Methoden erfasst. Aus dem direkten Nutzerdialog während der Schulungen und der Selbstanwendung konnten Rückmeldungen zur Bedienung und Vorschläge für Weiterentwicklungen von Modell und GUI erfasst werden. Auf Basis der zu prüfenden Anforderungen wurde für jede Schulungs- und Anwendungsphase ein Fragebogen erstellt und an die Praxispartner*innen verteilt, um standardisiertes Feedback mit Bezug auf die zu evaluierenden Anforderungen zu erheben. Zusätzlich erstellten die Praxispartner*innen zum Ende jeder Selbstanwendungsphase einen individuellen Feedbackbericht der ihre Erfahrungen und Einschätzungen aus der Anwendung von PALM-4U dokumentiert. Diese Berichte lieferten sowohl wertvollen zusätzlichen Input zur Evaluierung als auch Verbesserungs- und Weiterentwicklungsvorschläge und deckten neue Nutzeranforderungen auf.

3.2 KliMoPrax

Um die Praxistauglichkeit von PALM-4U zu überprüfen, arbeitet das KliMoPrax-Konsortium mit den sieben Partnerstädten Berlin, Bonn, Essen, Karlsruhe, Hamburg, München und Stuttgart zusammen. In jeweils drei Dialogwerkstätten vor Ort wurden mit den kommunalen Partner*innen anhand der derzeit kommunalen verfolgten priorisierten Aufgabenstellungen Nutzungssituationen erarbeitet, Testrechnungen festgelegt und die Ergebnisse der Testrechnungen diskutiert. Für die Evaluation von PALM-4U nutzt KliMoPrax die Resultate der Testrechnungen, einen Fragebogen und den Input aus den dritten Dialogwerkstätten mit den kommunalen Praxispartner*innen. Während UseUClim schwerpunktmäßig die Praxistauglichkeit von PALM-4U über die Bedienung der GUI untersucht (s. Kapitel 3.1), steht bei KliMoPrax die Evaluierung des skript-basierten Modells PALM-4U im Vordergrund mit der Fragestellung: Können mit den Ergebnissen von PALM-4U derzeit häufig auftretende Fragestellungen in Kommunen beantwortet werden?

Testrechnungen

In den Dialogwerkstätten wurden stadtklimatische Fragestellungen mit den kommunalen Partner*innen abgestimmt, zu denen in den meisten Fällen aktuelle Um- und Neubauverfahren zur Schaffung von Wohnraum im Innen- und im Außenbereich gehören. Die einzelnen Testfälle wurden derart ausgewählt, dass möglichst viele Anforderungen bewertet werden können, insbesondere technische, fachliche und wissenschaftliche Anforderungen sowie Anforderungen an die Ein- und Ausgabedaten. Aufgrund der spezifischen Planungsaufgaben handelt es sich um teilräumliche Modellierungen.

Die Rechnungen wurden entweder von KliMoPrax-Partner*innen in Absprache mit den Kommunen durchgeführt, oder Mitarbeiter*innen der Kommunen führten die Modellrechnungen mit Unterstützung der KliMoPrax-Partner*innen selbst durch. Ursprünglich war geplant, dass die Städte Berlin, Essen und Stuttgart eigenständig mit PALM-4U arbeiten. Da die GUI nur eingeschränkt nutzbar ist (vgl. Kapitel 4.5) und Personal fehlte, sind in Essen und Berlin keine Anwendungsfälle mit PALM-4U durch kommunale Mitarbeiter*innen gerechnet worden. In Stuttgart gibt es eine Mitarbeiterin, die bereits Erfahrungen mit anderen Stadtklimamodellen hat und aufgrund dieser Kenntnisse erste Rechnungen mit PALM-4U durchführen konnte.

Bei den Vorbereitungen der Testrechnungen im Jahr 2018 wurden mehrere Bugs im Modell gefunden und an die Modellentwicklung zurückgespiegelt.

Fragebogen

Da die Testanwendungen nicht alle Anforderungen evaluieren können, wurde zusätzlich ein Fragebogen eingesetzt. Dieser wurde von jeder Person ausgefüllt, die Testrechnungen mit PALM-4U durchführt. Der Fragebogen enthält Angaben zur fachlichen Qualifikation, zur Installation von PALM-4U, zur Anwendung des Modells mit und ohne GUI sowie eine detaillierte Dokumentation der einzelnen Modellrechnungen.

Dialogprozess

In drei Vor-Ort-Dialogwerkstattrunden wurde mit Vertreter*innen der sieben Partnerkommunen über die kommunalen Anforderungen an ein Stadtklimamodell diskutiert (siehe Abbildung 8). Bei den ersten beiden Runden standen die Erhebung von Anforderungen und Anwendungsfällen sowie die Datenverfügbarkeit und Datenbereitstellung für die Testrechnungen an zentraler Stelle, während bei dem dritten Arbeitstreffen in den Städten primär die Evaluation der Testergebnisse im Vordergrund stand. Aufgrund der verfügbaren Zeit nach der Veröffentlichung des *Release Candidate PALM-4U Version 6.0* im Spätherbst 2018, wurde in jeder Kommune nur eine Testanwendung präsentiert, die auch nur sehr kurzfristig

vor den Vor-Ort-Workshops gerechnet werden konnte. Der Teilnehmerkreis war in jeder Kommune unterschiedlich und abhängig von der jeweiligen Testrechnung, umfasste aber in der Regel Vertreter*innen aus den Bereichen Umwelt, Stadtplanung, Klima, Grün und weiteren Fachämtern. Die Testrechnungen wurden den Teilnehmern in der Dialogwerkstatt III vorgestellt und anhand von drei „Leitthemen“ diskutiert:

- Technik: erforderliche Datenausgabeformate und Benutzeroberfläche (Karten, Tabellen, Legenden, Skalen, Visualisierungen, Bewertungen, Auswertungszeit)
- Personal- und Organisationsentwicklung: Kompetenzen und technisches Knowhow zur eigenständigen Modellierung in der Kommune
- Mehrwert: Mehrwert von PALM-4U und Verbesserungsideen, Diskussion über Anwendungsbereiche von Modellierungen vs. Grenze der Belastbarkeit von Modellergebnissen, Einordnung der Modellergebnisse

Neben den Vor-Ort-Dialogwerkstätten wurden weitere Dialogformate in größerer Runde organisiert. Insbesondere die Expertenwerkstatt in Berlin und die in Dortmund durchgeführte Modul C-Abschlussveranstaltung haben wesentliche Erkenntnisse für die Evaluation des Modells geliefert.

Abbildung 8 Impressionen aus der KliMoPrax-Dialogwerkstatt III in Essen (Quelle: TU DO).

4 Evaluationsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Evaluation vorgestellt und erläutert. In den Kapiteln 4.1 – 4.4 erfolgt die Bewertung zweigeteilt:

- Erfüllt das *Stadtklimamodell PALM-4U* die erhobenen umsetzbaren Anforderungen?
- Erfüllt die *grafische Benutzeroberfläche* die erhobenen umsetzbaren Anforderungen?

Abweichend hiervon werden in Kapitel 4.5 nur die Anforderungen zur GUI evaluiert, während Kapitel 4.6 die Erkenntnisse aus dem Dialogprozess mit den Kommunen zusammenfasst.

Grundlage der Bewertung ist der *Release Candidate PALM-4U Version 6.0* sowie der Entwicklungsstand der GUI zum 01. April 2019. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass sich das Modell PALM-4U und die GUI während der gesamten Projektlaufzeit in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess befanden. Zudem baute die Programmierung der GUI auf der Modellentwicklung auf. Es wurden beständig weitere Module in PALM-4U eingebunden, entsprechend regelmäßig musste die GUI angepasst werden.

4.1 Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen

In der Anforderungserhebung wurden für die Kategorie „Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen“ insgesamt 34 Anforderungen erfasst. Die Module A und B haben davon 18 Anforderungen als umsetzbar bewertet. Das bedeutet, dass Modul C etwas mehr als die Hälfte der erhobenen Anforderungen evaluieren konnte (siehe Abbildung 2)

Die Überprüfung der Anforderungen mit dem neuen *Stadtklimamodell PALM-4U* und damit der skriptbasierten Anwendung ergibt, dass von den 18 evaluierten Anforderungen 12 (67%) erfüllt sind (siehe Abbildung 9). Die erfüllten Anforderungen sind vielfältig und beinhalten u.a. die Kopplung und Steuerung durch COSMO-DE (4.1-4, 4.1-20), eine Schritt-für-Schritt Anleitung für die Installation (4.1-22) sowie die Möglichkeit, Planungsdaten für die Simulation von Varianten auszutauschen (4.1-8). Nicht erfüllt sind zwei Anforderungen, darunter die Kompatibilität von PALM-4U mit globalen Klimamodellen (4.1-31).

Wenn die Anforderungen mit der *grafischen Benutzeroberfläche* überprüft werden, zeigt sich ein schlechteres Bild (siehe Abbildung 9). Hier sind von den 18 evaluierten Anforderungen 5 (28%) erfüllt, zwei Anforderungen sind teilweise erfüllt. Bei Letzteren handelt es sich um die beiden Anforderungen, die sich mit der Kopplung und Steuerung durch COSMO-DE befassen (4.1-4, 4.1-20). Ein Drittel der auf diese Weise getesteten umsetzbaren Anforderungen wird als nicht erfüllt angesehen, diese betreffen insbesondere die Konfigurierbarkeit und Weiterentwicklung für fachspezifische Fragestellungen (4.1-11, 4-18). Auch die Forderung nach einer Installationsanleitung inkl. Hinweisen zu erforderlichen Ressourcen (u.a. Rechnerkapazitäten, Zugriffsmöglichkeiten auf Bibliotheken und damit verbundene Datensicherheitsbelange, Integration Behördennetzwerk, …), ist derzeit nicht erfüllt (4.1-22). Allerdings ist gerade diese Anforderung für die Praxispartner*innen von höchster Bedeutung, um abklären zu können, ob sich das „Selbstrechnen“ überhaupt lohnen würde.

Bei 8 Anforderungen finden sich identische Evaluationsergebnisse zwischen dem neuen Stadtklimamodell PALM-4U und der GUI. Davon sind 4 erfüllt, 1 nicht erfüllt und bei 3 Anforderungen ist eine Prüfung derzeit nicht möglich. Erfüllt sind die Anforderungen bezüglich der Mehrplatzfähigkeit (4.1-2), der Kompatibilität mit Visualisierungstools inkl. NetCDF-Schnittstelle (4.1-5) sowie des ununterbrochenen Arbeitens über Nächte und Wochenenden (4.1-12). Auch die Anforderung 4.1-7 „Die Bedienung des nSKM muss über Windows erfolgen“ ist erfüllt. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass PALM-4U nativ nicht unter Windows lauffähig ist. Das heißt, eine Bedienung unter Windows ist nur über einen Fernzugriff auf einen PALM-Server oder Virtualisierung möglich.

Abweichende Evaluationsergebnisse zwischen dem neuen Stadtklimamodell PALM-4U und der GUI wurden in 10 überprüften Anforderungen erfasst, beispielsweise bei den Anforderungen 4.1-10 und 4.1-11: obwohl PALM-4U als open-source Software zur Verfügung gestellt wird und somit dauerhaft kostenfrei zugänglich ist für die Nutzer*innen, ist die GUI lediglich als Freeware erhältlich und schränkt den Zugang sowie die Weiterentwicklung für fachspezifische Fragestellungen ein. Dieses Problem wurde bereits erkannt und wird in der Weiterentwicklung der GUI im Rahmen der zweiten Förderphase aufgegriffen.

Die Anforderungen, die dezidiert auf die unterschiedlichen Rechnerkapazitäten und damit korrespondierenden Simulationen abzielen (4.1-6, 4.1-13, 4.1-23, 4.1-24, 4.1-25), können ausschließlich über die konsolenbasierte Anwendung evaluiert werden. Hier zeigte sich, dass im Rahmen der Vor-Ort-Schulungen und Testanwendungen lediglich 2 Anforderungen tatsächlich überprüft werden konnten (4.1-6, 4.1-13). Das lag daran, dass die erforderlichen Hardware-Ressourcen für eine Prüfung nicht zur Verfügung standen.

Fazit

Die Praxistauglichkeit ist in der Kategorie „Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen“ nur teilweise gegeben. Wie in Abbildung 9 ersichtlich ist, gibt es einen großen Unterschied zwischen der konsolenbasierten Arbeit mit dem neuen Stadtklimamodell PALM-4U und der praxistauglicheren Variante mit der GUI.

Ein Vorteil gegenüber anderen Stadtklimamodellen liegt darin, dass die Möglichkeit besteht, COSMO-Daten einzulesen. Besonders hervorzuheben ist zudem die informative, umfassende Installationsanleitung für die konsolenbasierte Anwendung – diese fehlt für die Anwendung mit der GUI leider vollständig und hat so massive Auswirkungen auf die Zugänglichkeit. Der Unterschied in der Bewertung hängt insbesondere damit zusammen, dass die GUI derzeit eine limitierte Funktionspalette aufweist und somit die Fähigkeiten des neuen Stadtklimamodells PALM-4U nicht vollständig abbilden. Um die Praxistauglichkeit zu erhöhen, ist es in Zukunft unumgänglich, sowohl die GUI und PALM-4U besser aufeinander abzustimmen, als auch den gesamten Funktionsumfang über die GUI zu gewährleisten.

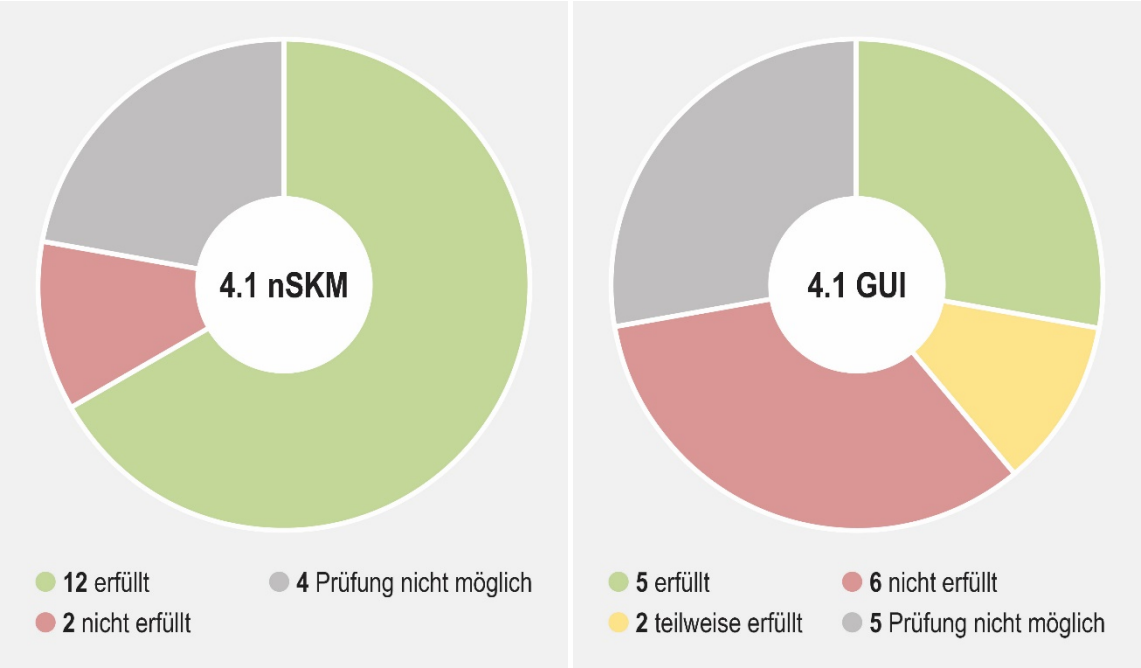


Abbildung 9 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 18 Anforderungen in der Kategorie "Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen".

4.2 Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen

Von insgesamt 81 fachlich und wissenschaftlichen Anforderungen im NAK wurden 61 Anforderungen von Modul A und B als umsetzbar eingestuft (siehe Abbildung 2).

In Bezug auf das *Stadtklimamodell PALM-4U* sind von diesen 61 Anforderungen – wie in Abbildung 10 dargestellt – 41 erfüllt (67%), 8 nicht erfüllt (13%), 3 teilweise erfüllt (5%) und 9 nicht überprüfbar (15%). Fast die Hälfte der Anforderungen basieren auf den Themen Meteorologie / Luftchemie / Klimaszenarien, die andere Hälfte setzt sich zusammen aus Anforderungen zu Bebauung, Geländeoberflächen, Stadt- und Regionalplanung, Auswirkungen vorgenommener Maßnahmen und technischen Forderungen an das Modell. PALM-4U erfüllt Anforderungen, mit denen häufig auftretende Fragestellungen zum Windkomfort und zum thermischen Komfort beantwortet werden können.

Nicht erfüllt werden Anforderungen zur Berechnung von Kaltluftflüssen (4.2-57, 4.2-76, 4.2-104) und Klimawandelszenarien (4.2-70, 4.2-96), zur juristischen Belastbarkeit der Ergebnisse (4.2-109), zur Ausgabe von Minima und Maxima (4.2-49) sowie zur Identifikation von Bereichen mit hohen Vulnerabilitäten für sensible Bevölkerungsgruppen (4.2-97). Die letzten beiden Anforderungen können mit Analyseprogrammen und notwendigem Hintergrundwissen von den Nutzer*innen in einem weiteren Schritt bestimmt werden. Kaltluftflüsse lassen sich über die Auswertung von Orographie, Temperaturprofilen, Windrichtung und Windgeschwindigkeit zwar erkennen, PALM-4U bietet aber keine Möglichkeit, die Flächenverteilung der Kaltlufthöhe, die mittlere Fließgeschwindigkeit oder Volumenströme quantitativ zu bestimmen. Aus diesem Grund werden alle Anforderungen, die die Kaltluft betreffen, als nicht erfüllt eingestuft.

Mangels geeigneter Testfälle können Anforderungen zu Luftschadstoffen (4.2-44, 4.2-45, 4.2-47, 4.2-105), Innenraumklima (4.2-51), Verdunstung (4.2-67), alpinem Pumpen (4.2-78) sowie Monats- und Jahresgängen (4.2-83) nicht überprüft werden. Ebenfalls nicht möglich ist die Überprüfung der Validierung und Verifizierung des Stadtklimamodells (4.2-36), da zum Zeitpunkt der Evaluation noch keine Ergebnisse von Modul A und B vorliegen. Die Funktionalitäten der Vegetation (4.2-84), die Auswertung von Kennzahlen zur Luftfeuchtigkeit (4.2-93) und die Ausgabe von zeitlichen Mittelwerten (4.2-48) werden als teilweise erfüllt eingestuft.

In Bezug auf die *grafische Benutzeroberfläche* sind 36 Anforderungen erfüllt (59%), 14 nicht erfüllt (23%), 4 teilweise erfüllt (7%) und 7 nicht überprüfbar (11%). Die GUI bietet keine Möglichkeit, die Ausbreitung und Konzentration von Luftschadstoffen (4.2-44, 4.2-45, 4.2-47, 4.2-105) zu modellieren oder ein Nesting (4.2-40, 4.2-80) zu implementieren. Auch die Berechnung von Normalwetterereignissen (4.2-107) ist nur eingeschränkt möglich. Dies liegt daran, dass in der GUI beispielsweise für Wintertage keine vorgegebene Fragestellung existiert und die Erstellung eines Winter-Setups mit realen meteorologischen Eingangsdaten innerhalb der GUI nicht möglich ist. Die Daten müssen in einem separaten Schritt skript-basiert erstellt werden. Eine gesamtstädtische Rechnung (4.2-39) ist mit der GUI nicht durchgeführt worden. Bei allen anderen Anforderungen unterscheiden sich das Modell und die GUI nicht.

Fazit

Das Stadtklimamodell PALM-4U 6.0 kann gängige Fragestellungen beantworten, jedoch ist die quantitative Bewertung von Kaltluftflüssen und die Berechnung von Klimaprojektionen nicht möglich. Gerade

der Themenbereich Kaltluft hat für die Nutzer*innen eine hohe Priorität und die Berechnung von Klimaprojektionen wird in Zukunft noch weiter an Bedeutung gewinnen. Auch die juristische Belastbarkeit der Ergebnisse als Grundlage für Planungs- und Genehmigungsentscheidungen ist essentiell für die Anwendung von PALM-4U, um die Erstellung von Gutachten zu ermöglichen. Derzeit bietet die GUI nicht die gleiche Flexibilität bei der Berechnung von Testanwendungen wie das Modell, daher können viele Nutzergruppen PALM-4U nicht in vollem Umfang nutzen. Basierend auf diesen Ergebnissen wird die Praxistauglichkeit als teilweise erfüllt bewertet.

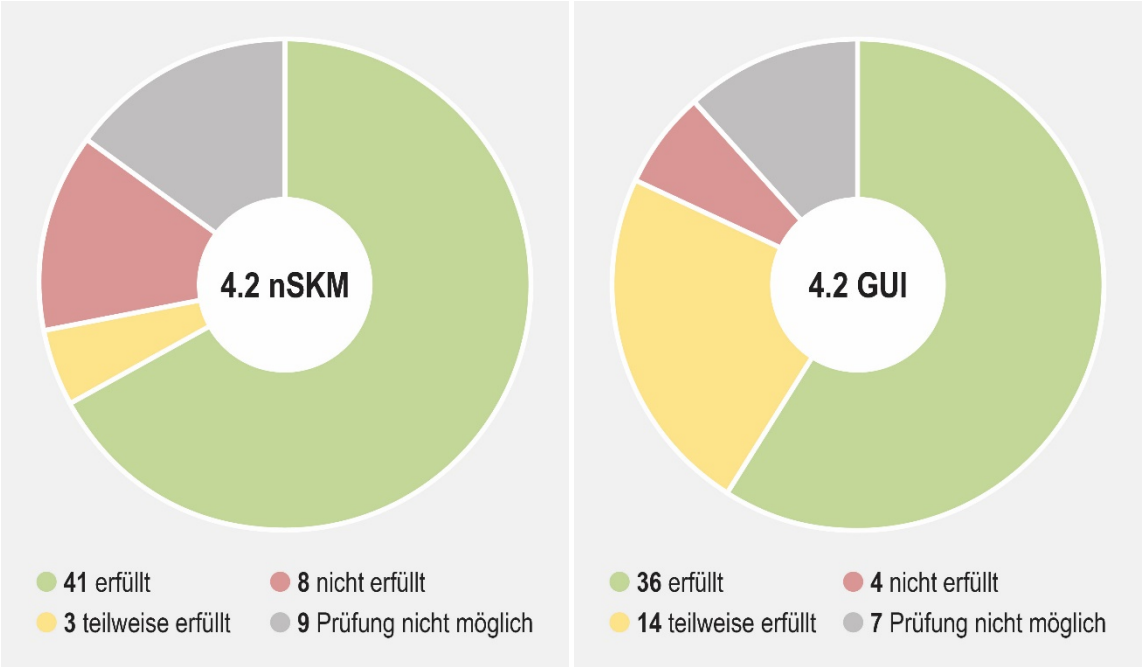


Abbildung 10 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 61 Anforderungen in der Kategorie "Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen".

4.3 Eingangsdaten

Das vorgegebene Format der Eingangsdaten ist im Palm Input Data Standard (PIDS) festgelegt (Heldens et al., 2019). Für die Erstellung der Eingangsdaten müssen die in den Kommunen vorliegenden Daten umgewandelt und übersetzt werden. Dies ist nur über externe Tools wie ein GIS möglich. Für die Erzeugung des „static driver“, in dem alle benötigten Eingangsdaten in einem NetCDF File zusammengefasst sind, ist ein Skript, bspw. in R (siehe R Core Team, 2018), NCL oder Python nötig, das dies leisten kann.

Von insgesamt 38 erfassten Anforderungen an Eingangsdaten im NAK werden 20 bewertet, also über die Hälfte wird evaluiert (siehe Abbildung 11).

Die Bewertung der Anforderungen mit dem *Stadtklimamodell PALM-4U* ergibt, dass von 20 evaluierten Kriterien 11 (55%) teilweise oder ganz erfüllt sind. Bspw. ist die Anforderung zum Einlesen von digitalen Geländemodellen (4.3-118) teilweise erfüllt, da die vorliegenden Geländemodelldaten immer in das PIDS-Format übertragen werden müssen. Als voll erfüllt wird bspw. die Anforderung, dass Randbedingungen aus Simulationen mit anderen Städten übertragen werden können (4.3-152) angesehen. Nicht erfüllt sind 7 (35%) der geprüften Anforderungen. Darunter fällt bspw. die Anforderung, dass das PALM-4U alle gängigen Raster- und Vektorformate ins Net-CDF konvertieren kann (4.3-132) oder dass Klimamodelldaten mit PALM-4U downgescalt werden können (4.3-153). Lediglich für 2 (10%) der Anforderungen ist eine Prüfung aufgrund von fehlenden Testanwendungen zum jetzigen Stand nicht möglich.

Die Bewertung der Anforderungen für die *grafische Benutzeroberfläche* ergibt, dass 11 (50%) teilweise oder ganz erfüllt sind, was weniger als bei der Evaluation mit dem Modell ist. Dies ist darauf zurück zu führen, dass aufgrund der Tatsache, dass die GUI noch nicht alle Funktionalitäten des Modells aufgreift, Anforderungen als „Prüfung nicht möglich“ kategorisiert wurden. In dieser Kategorie sind 3 (15%) der Anforderungen einsortiert, dagegen sind es 2 (10 %) der Anforderungen bei der Evaluation mit PALM-4U. Nicht erfüllte Anforderungen gibt es 7 (35%) bei der Evaluation mit der GUI, was gleich zur Anforderungsbewertung mit dem Modell ist. Jedoch gibt es hier Unterschiede, welche der Anforderungen als nicht erfüllt bewertet werden, bspw. die Anforderung, dass ein Beispieldatensatz bei der Installation

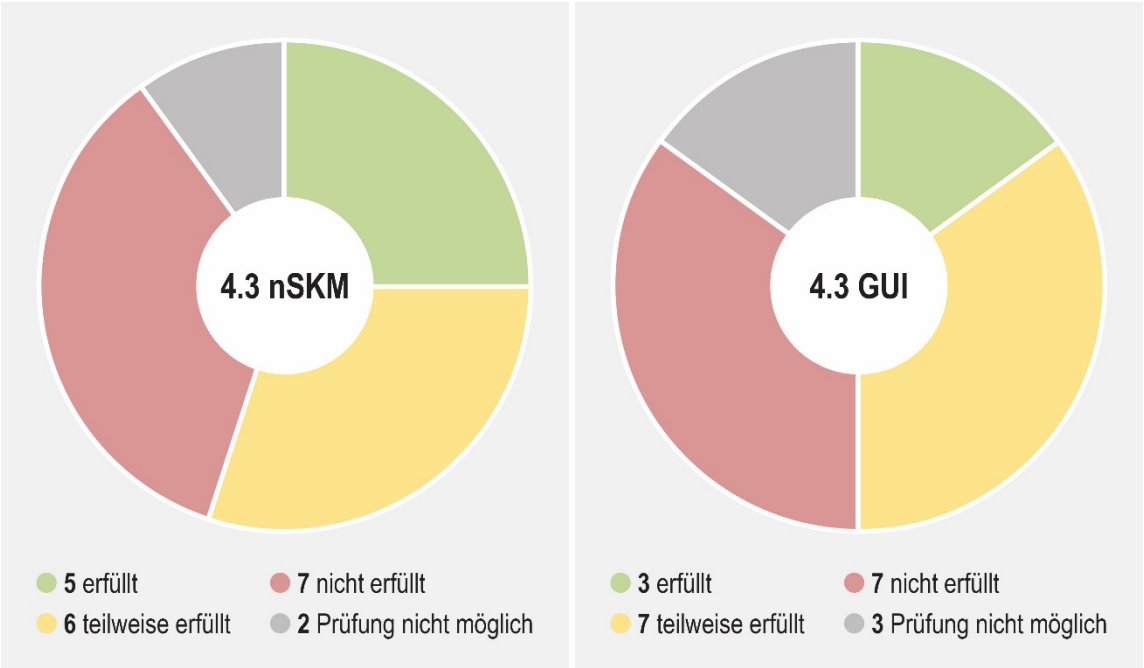


Abbildung 11 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 20 Anforderungen in der Kategorie "Eingangsdaten".

mitgeliefert wird (4.3-149), ist für die GUI als nicht erfüllt bewertet, jedoch als erfüllt für die Anforderungsevaluation mit dem PALM-4U. Es gibt weitere Unterschiede zwischen der GUI und dem PALM-4U. Es sind auf der GUI zum Teil mehr Informationen und Anleitungen hinterlegt wie bspw. die Information, welche Eingangsdaten benötigt werden (4.3-131). So wird diese Anforderung für das PALM-4U als nicht erfüllt evaluiert, bei der Prüfung mit der GUI als teilweise erfüllt, beurteilt.

Fazit

Die Praxistauglichkeit hinsichtlich der Handhabung und Erzeugung der Eingangsdaten ist nur teilweise gegeben, da die vorhandenen Daten immer in das PALM-4U konforme NetCDF-Format überführt werden müssen. Dabei besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen der konsolenbasierten Arbeit mit dem Modell und der nutzerfreundlicheren Variante mit der GUI, die im Moment nicht in der Lage ist, die Eingangsdaten zu erzeugen (aus vorhandenen Daten zu transformieren). Es ist immer ein aufwändiger Pre-Processing-Schritt nötig (dargestellt am Beispiel Bonn in Abbildung 12), um PALM-4U konforme Eingangsdaten zu erzeugen und daher ist die Anwendung des Modells in der Kommune momentan noch zu aufwendig.

Darüber hinaus besteht das grundlegende Problem der Verfügbarkeit und Aktualität der vorhandenen Daten und deren Fortschreibung bzw. Pflege. Geo-Daten werden meistens auf Landesebene erfasst, um den Entwicklungsstand zu kontrollieren. Im Zuge dessen, erfolgt oftmals nur in größeren Abständen eine Aktualisierung der Datengrundlagen. Teilweise sind Daten, die für PALM-4U benötigt werden, nicht vorhanden wie bspw. Daten zu privatem Grün. Die Qualität der Eingangsdaten hat großen Einfluss auf die Güte und Plausibilität der Ergebnisse, daher besteht bereits hier – in der Vorkette – eine eingeschränkte Praxistauglichkeit in der Anwendung des Modells.

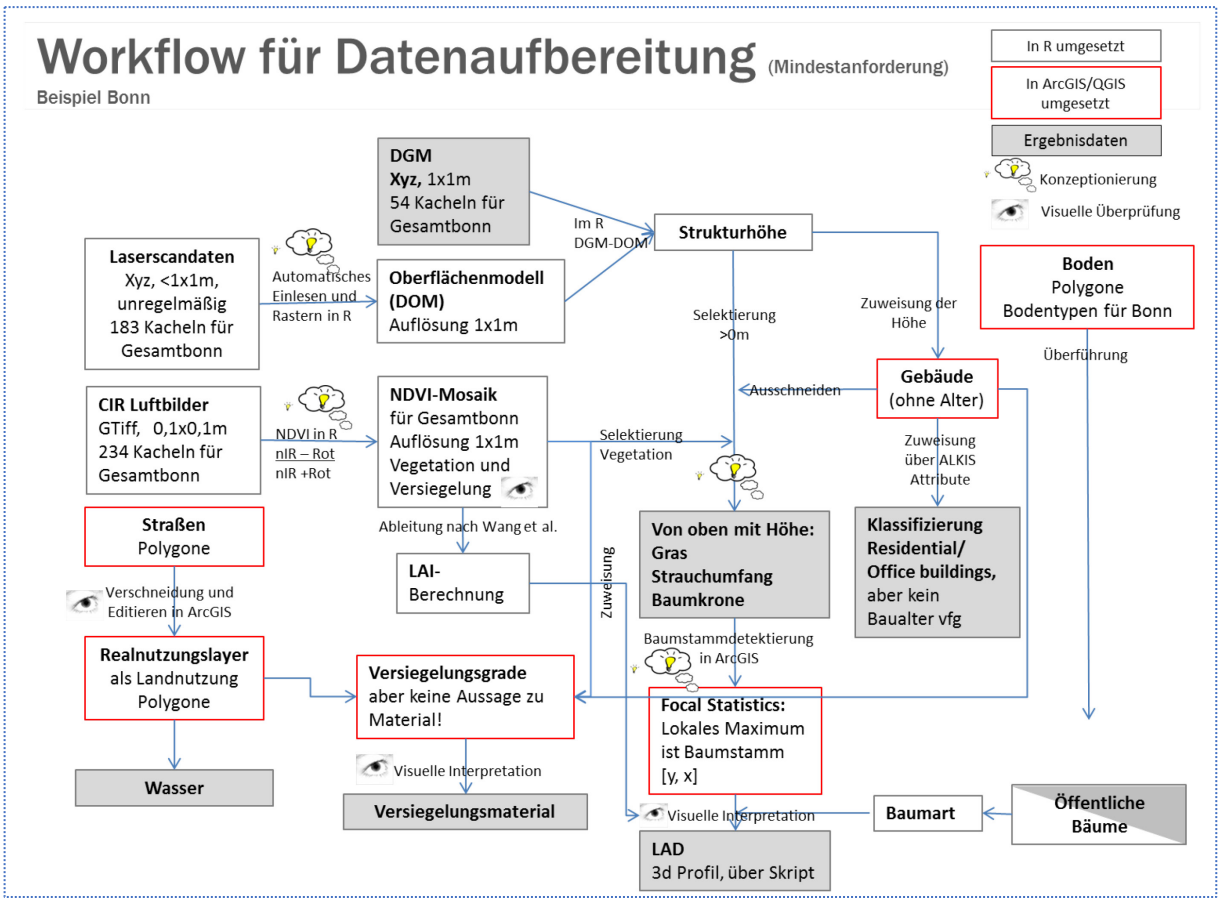


Abbildung 12 Workflow für die Datenaufbereitung am Beispiel Bonn (Quelle: GEO-NET).

4.4 Ausgabedaten

Die Beschreibung der Ausgabedaten und ihrer Formate ist in den Palm Output Data Standards (PODS) beschrieben (IMUK, 2018). Alle Ergebnisse, also Modellausgaben sind als NetCDF Dateien verfügbar. Die Ergebnisdateien müssen für die Weiterverwendung zurechtgeschnitten, statistisch verarbeitet und in Formate für die Weiterbearbeitung überführt werden wie bspw. als Raster (GeoTiff) für Kartenplots.

Von insgesamt 32 erfassten Anforderungen an die Ausgabedaten im NAK werden 17 bewertet, also über die Hälfte wird evaluiert (siehe Abbildung 13).

Die Bewertung der Anforderungen mit dem *Stadtklimamodell PALM-4U* ergibt, dass 5 (29%) teilweise oder ganz erfüllt sind. Darunter fällt bspw. die Anforderung, dass die Ergebnisdateien (NetCDF) in GIS-Programmen eingelesen werden können, was QGIS oftmals unkompliziert gewährleistet (4.4-154). Als teilweise erfüllt gilt bspw. die Anforderung, dass Karten, Profile oder Statistiken als Ergebnisausgabe zur Verfügung stehen (4.4-160). Mit der Bedienung des Modells können aus den Ergebnisdaten Profile erstellt werden, jedoch keine fertigen Karten oder Statistiken.

Als nicht erfüllt werden 11 (65%) der Anforderungen bewertet. Hierunter fällt bspw. die Anforderung, dass das PALM-4U als Ergebnisdateien gängige Raster- und Vektordatenformate zur Verfügung stellen soll, ohne dass eine Konvertierung der Daten für die Nutzung in anderen Programmen nötig ist (4.4-159). NetCDF kann von GIS gelesen werden, allerdings müssen die Daten vorher noch gemittelt, analysiert und umgeformt werden, bevor sie weiter sinnvoll genutzt werden können.

Da alle Anforderungen geprüft werden konnten, entfällt die Kategorie „Prüfung nicht möglich“ für die modellbasierte Evaluation.

Die Bewertung der Anforderungen für die *grafische Benutzeroberfläche* ergibt, dass 10 (59%) der Anforderungen als teilweise oder ganz erfüllt bewertet werden. Das ist fast das Doppelte als bei der Anforderungsevaluation mit PALM-4U. Dies ist auf die erweiterten Funktionen in der GUI wie bspw. Datenexportwerkzeuge und verfügbare Darstellungen der Ergebnisdateien mit hinterlegten Legenden zurückzuführen. Daher sind lediglich 6 (35%) der Anforderungen als nicht erfüllt bewertet. Eine Anforderung (6 %) konnte nicht geprüft werden, nämlich die Anforderung, dass die Ergebnisse sowohl die Meso- als

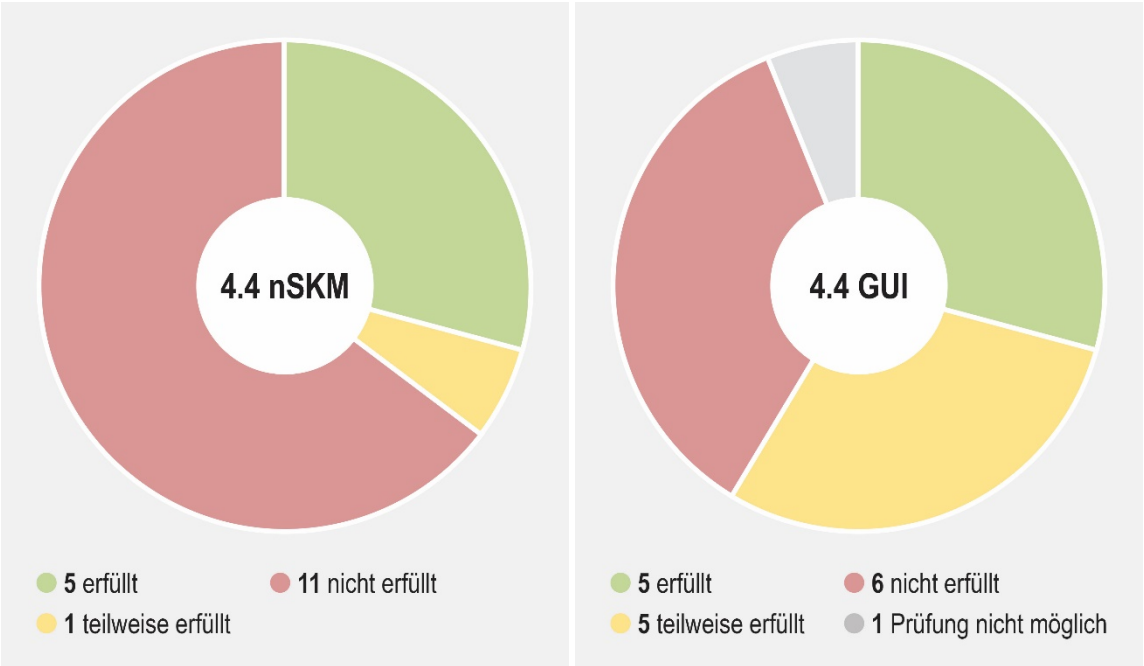


Abbildung 13 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 17 Anforderungen in der Kategorie "Ausgangsdaten".

auch Mikroskala umfassen (4.4-173). Hier gibt es für die GUI-Bewertung keine Anwendung im mesoskaligen Bereich.

Fazit

An der Bewertung der Anforderungen für die Ausgabedaten zeigt sich, dass die GUI deutlich zur Nutzerfreundlichkeit und Praxistauglichkeit beiträgt/beitragen kann. Die Zugänglichkeit zu den Ergebnisdateien wird erst über die Darstellung in der GUI und/oder den Export der PALM-4U NetCDF Ergebnisdateien in gängige Formate erreicht. Diesen Export kann das Modell noch nicht leisten, aber in Ansätzen die GUI.

Hierin steckt erhebliches Potenzial hinsichtlich der Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit und Praxistauglichkeit.

4.5 Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) von PALM-4U erlaubt das Erstellen, Durchführen und Visualisieren von Stadtklimasimulationen anhand definierter Vorlagen, den sogenannten „Fragestellungen“. Diese umfassen zum Stand der Evaluierung (April 2019) Vorlagen zum thermischen Komfort und Windkomfort und eingeschränkt das Erstellen freier Simulationen mit wenigen Freiheitsgraden. Nach erfolgreicher Simulation können die Ergebnisse in einer Kartendarstellung visualisiert oder exportiert werden. Voraussetzung für die Nutzung der GUI ist, dass die Eingangsdaten bereits im Vorfeld vollständig aufbereitet wurden (siehe Kapitel 4.3).

In den Kapitel 4.1 – 4.4 werden die technischen und fachliche Anforderungen sowie Anforderungen an Eingangs- und Ausgangsdaten sowohl für PALM-4U selbst als auch für die Nutzung über die GUI bewertet. Für entsprechende Anforderungen der GUI sei daher auf die zugehörigen Kapitel verwiesen. In diesem Kapitel werden Anforderungen besprochen, die sich einzig an Funktionalitäten der Benutzeroberfläche an sich richten.

Von den insgesamt 55 Anforderungen an die *grafische Benutzeroberfläche* wurden 41 als umsetzbar eingestuft. Wie in Abbildung 14 ersichtlich, erfüllt die GUI von diesen 41 prüffähigen Anforderungen 13 (32 %). Dabei handelt es sich zumeist um grundlegende Anforderungen wie die Lauffähigkeit unter verschiedenen Betriebssystemen (4.5-187 & 4.5-211), welche durch die Umsetzung als Webapplikation gewährleistet ist, eine deutsche Sprachversion (4.5-190) oder das konsistente Verwenden von Fachbegriffen (4.5-199) und allgemein bekannter Symbole (4.5-201). Durch die reduzierten und wenigen Nutzereingaben kann die Umsetzung der GUI als „Basisversion“ (4.5-206), also einer vereinfachten Benutzeroberfläche, als erfüllt eingestuft werden. Des Weiteren wird der Zugang zur GUI nach Aussage der Entwickler*innen dauerhaft kostenfrei gewährleistet sein (4.5-210).

Der Großteil der Anforderungen, 15 von 41 (37 %), sind als zumindest teilweise erfüllt einzustufen. So sind einige Anforderungen zumindest für Teilbereiche der GUI erfüllt: Das Aufsetzen von Simulationen mit der GUI wird als zumeist strukturiert (4.5-193), logisch (4.5-192) und verständlich (4.5-226) empfunden. Diese Einschätzung trifft allerdings für die Kartendarstellung nicht zu, v.a. das Hinzufügen oder Ändern von Layern in der Kartendarstellung wird als zu umständlich und nicht intuitiv bewertet. Bei anderen Anforderungen ist die Funktionalität nur zum Teil gegeben: Layer können in der Kartendarstellung individuell ein- und ausgeblendet werden (4.5-188), allerdings werden die Daten nach kurzer Inaktivität im Hintergrund gelöscht, wodurch sie nicht mehr darstellbar sind. Simulationsergebnisse können mit Hilfe der Kartendarstellung zweidimensional visualisiert werden (4.5-224), eine Interpretation ist jedoch aufgrund fehlender Funktionalitäten (z.B. Filter- und Vergleichsmöglichkeiten, geostatistische Auswertung, einfache Anpassung von Legenden, Überlagerung mit Eingangsdaten) nur zum Teil möglich. Die Dateneingabe erfolgt zwar über die GUI (4.5-219), berücksichtigt aber die Erstellung der Eingangsdaten nicht. Fehlermeldungen bei der Dateneingabe (4.5-205) werden nur für das Aufstellen des Setups angegeben. Die größte Fehlerquelle liegt allerdings beim Erstellen der Eingangsdaten, worin die Nutzer nicht unterstützt werden. Die Bedienung und Ergebnisauswertung wird im Nutzerhandbuch erläutert, welches auf der GUI integriert ist. Die Erläuterungen zur Interpretation der Ergebnisse wird zum Teil aber als nicht ausreichend genau eingestuft (4.5-220). Die Anmeldung an der GUI ist über eigene Benutzeraccounts möglich, diese können jedoch nur von den Programmierer*innen der GUI eingerichtet werden (4.5-189).

12 der 41 (29 %) Anforderungen an die GUI sind nicht erfüllt. Darunter fallen wenige Anforderungen die die Bedienung betreffen, z.B. das Verwenden gängiger Tastaturkürzel (4.5-230) oder der Befehle „Rück-

gängig/Wiederherstellen“ (4.5-197). Die meisten nicht erfüllten Anforderungen betreffen jedoch Funktionalitäten, welche für die Arbeit mit dem Modell aus Sicht der Praxis nötig sind. Darunter fällt das Erstellen von Varianten von Simulationen (4.5-222) und ein Vergleich der Ergebnisse mittels Differenzdarstellungen (4.5-223) oder ähnlicher Vergleichsmöglichkeiten wie dem Verschneiden verschiedener Informationsebenen (4.5-221). Eine geostatistische Auswertung der Modellergebnisse (4.5-208) ist mit der GUI nicht möglich. Die nach Abbruch von Simulationen angezeigten Fehlermeldungen werden von den Praxispartner*innen als nicht interpretierbar eingestuft (4.5-214). Des Weiteren ist die Installation und Inbetriebnahme der GUI nicht dokumentiert (4.5-230).

Die Prüfung einer Anforderung (4.5-225, Darstellung der Ein- und Ausgabedaten von den Skalenebenen Regionalplanung bis Gebäudearchitektur) war nicht möglich, da kein Fallbeispiel in der Skalenebene der Regionalplanung vorlag.

Fazit

Auf Basis der bewerteten Anforderungen lässt sich die grafische Benutzeroberfläche von PALM-4U in ihrer aktuellen Form als noch nicht praxistauglich einstufen. Grundfunktionalitäten werden in Teilen erfüllt und der Aufbau ist logisch und intuitiv, zumindest für das Aufsetzen von Simulationen. Das Grundkonzept der Fragestellungen mit vorbelegten Standardwerten und wenigen Eingabemöglichkeiten bewerten die Praxispartner*innen als gelungen und hilfreich.

Wichtige Funktionen für die praktische Arbeit sind aber nur teilweise oder nicht umgesetzt. Die Kartendarstellung wird als grundsätzlich wertvolles und praxistaugliches Werkzeug gesehen, da es gerade Nutzer*innen ohne eigenen GIS-Zugang ermöglicht, die Simulationsergebnisse darzustellen, jedoch ist dessen Bedienung nicht intuitiv und wichtige Analyse-Funktionen fehlen. Auch spiegelt die Auswahl von zwei vorgegebenen Simulationsvorlagen nur einen Teil des Funktionsumfangs von PALM-4U wieder. Um die Praxistauglichkeit zu erreichen müssen die angesprochenen Problemstellen verbessert und für die Anwender*innen wichtige Funktionen ergänzt werden, wie z.B. ein Variantenvergleich mit entsprechenden Bewertungsmöglichkeiten oder einfache geostatistische Auswertungen. Zusätzlich sollten auch wichtige und bisher als nicht umsetzbar gekennzeichnete oder neue Anforderungen in Zukunft berücksichtigt werden, allen voran Interpretationshilfen für Nutzer*innen (4.5-213), die Darstellung zeitlicher Abläufe als Animationen (4.5-239) und die Abbildung des gesamten Arbeitsablaufs. Im Hinblick auf die internationale Verbreitung von PALM-4U ist die Unterstützung weiterer Sprachen, zumindest Englisch, nötig (4.5-231 & 4.5-232).

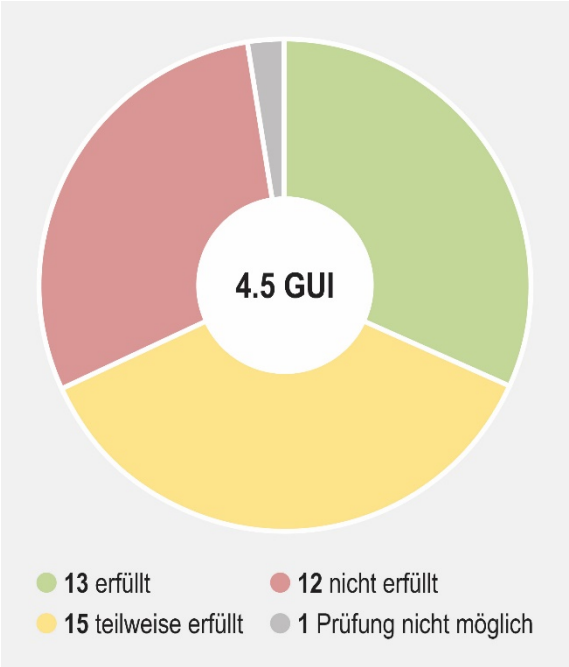


Abbildung 14 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 41 Anforderungen in der Kategorie „Grafische Benutzeroberfläche".

4.6 Erfahrungen in den Kommunen und Praktikabilität des Modells für (kommunale) Anwender*innen

In den Kapiteln 4.1 bis 4.5 wurden die Anforderungen an PALM-4U und die GUI analysiert: Anhand der NAK Tabelle (siehe Teil 1 dieses Berichts) wurde evaluiert, inwiefern PALM-4U die Anforderungen aus der (kommunalen) Anwendungspraxis erfüllt. Eine Evaluation der Praktikabilität des Modells muss allerdings mehr als nur die technische Seite und (harte) Evaluationskriterien im Blick haben, denn auch wenn das Modell technisch reibungslos funktioniert, könnten andere mögliche Hemmnisse der tatsächlichen Anwendung in der (kommunalen) Praxis im Weg stehen. In diesem Kapitel sind deswegen die Fragen nach „Personal- und Organisationsentwicklung“ und „Anwendungsbereitschaft, Entwicklungsbedarf und Mehrwert von PALM-4U“ zentral.

Die beteiligten Praxispartner*innen wurden in Modul C (siehe Kapitel 3) nach ihrer Erfahrung mit PALM-4U befragt (siehe Abbildungen 15, 16 und 17). Auf Grund der verschiedenen Anwendungsumgebungen in den Kommunen, aber auch der verschiedenen Vorgehensweisen in den Verbünden UseUClim und KliMoPrax sind die Erfahrungen mit der Modellanwendung in den Städten durchaus unterschiedlich. Nichtdestotrotz sehen die Praxispartner*innen aus beiden Projekten durchaus großes Potenzial, allerdings meist mit kritischen Anmerkungen. Dieses Kapitel beschreibt die Erfahrungen in den Kommunen und reflektiert die Modellevaluation aus Sicht der kommunalen Praxispartner*innen.

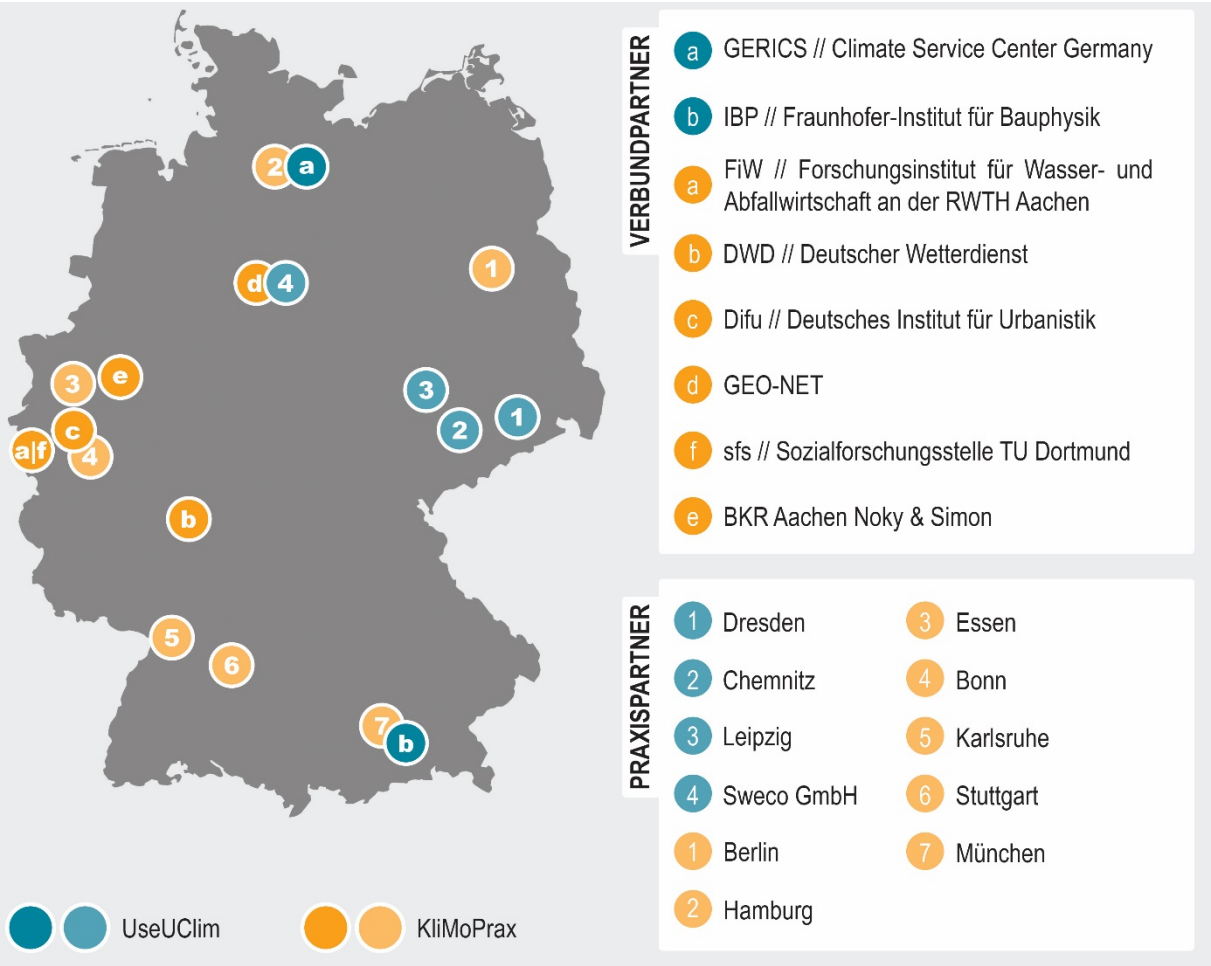


Abbildung 15 Die beiden Konsortien in Modul C (Quelle: GERICS).

Das Potenzial des Modells wird als hoch eingeschätzt und es wird als wertvolle und valide Unterstützung für planerische Entscheidungsprozesse gesehen (wie eine teilnehmende Person der Evaluationswerkstatt bestätigte: *„wenn das Modell komplett funktionsfähig ist, wird es eingesetzt und genutzt!“*). Für eine Einbindung in den praktischen Arbeitsalltag ist die aktuelle Version jedoch nur bedingt geeignet, da wichtige Teile des Arbeitsablaufes aktuell noch nicht oder nur unzureichend implementiert sind (v.a. Eingangsdatenaufbereitung, Ergebnisauswertung, Modell-Hosting). Wie durch eine teilnehmende Person formuliert: *„Bislang ist kein schneller Arbeitsprozess darstellbar. Die Tool-Sammlung ist so noch nicht in der Praxis nutzbar. Von der Datenaufbereitung bis zur Analyse müssen klar zu definierende Schritte liegen.“*

PALM-4U ist ein komplexes Modell, mit einer Vielzahl von Funktionen. Dies führt dazu, dass die Anwendung relativ anspruchsvoll ist, nicht zuletzt, weil ein bestimmtes stadtklimatisches und GIS-bezogenes Know-how vorausgesetzt wird. Dies betrifft insbesondere die Aufbereitung der Daten und die Interpretation der Ergebnisse. Obwohl das Interesse an einer selbständigen Anwendung durch nahezu alle Praxispartner*innen vorhanden ist, sehen die meisten die kommunale Verfügbarkeit der erforderlichen Kompetenzen kritisch. Es scheint den meisten Praxispartner*innen unwahrscheinlich, dass Stadtplaner*innen das Modell derzeit selbständig anwenden können.

Die Kompetenzen zur Anwendung im Zusammenhang mit der notwendigen stadtklimatologischen Expertise – u.a. Modellanwendung und Interpretation der Simulationsergebnisse – sind nur in wenigen Städten vorhanden. Schulungen werden daher als essentiell angesehen, damit Anwender*innen aus der (kommunalen) Praxis das Modell unter Begleitung kennenlernen können. Die Vor-Ort-Schulungen, die im UseUClim-Projekt durchgeführt wurden, haben sich als probates Mittel zur Qualifizierung der Anwender*innen erwiesen. Zudem sehen Kommunen einen Schulungsbedarf, der über *„den einzelnen Modellanwender“* hinausgeht und stadtklimatisches Fachwissen, aber auch die Anwendungsumgebung, z.B. bezüglich amtsübergreifender Prozesse und Arbeitsabläufe, integriert.

Aufgrund der Komplexität und des Aufwandes für die Datenaufbereitung sehen insbesondere Kommunen, die nicht regelmäßig mit Stadtklimamodellen arbeiten, die Anwendung des Modells als Aufgabe von Spezialisten oder externen Dienstleistern. Verwaltungsmitarbeiter*innen müssten lediglich die fachlichen Voraussetzungen besitzen, um die Ergebnisse verstehen, interpretieren und bewerten zu können. Aus demselben Grund erachten andere Kommunen es als wichtig, langfristig eigene Kompetenzen in der Bedienung des Modells und der Modelloberfläche aufzubauen. Sinnvoll kann dabei die Bündelung in einer zentralen Stelle „Stadtklima“ für die Anwendung des PALM-4Us sein. Diese (Stabs-)Stelle müsste den Zugriff auf die notwendigen Daten haben und eigene Kapazitäten zur Verfügung stellen. Eine dritte Gruppe von zumeist erfahrenen Kommunen mit bereits vorhandenen Modellierungskenntnissen würde eine autonome Anwendung des Modells bevorzugen. Einsatzgebiete des Modells werden in Städten mit 50.000 Einwohner oder mehr gesehen, bei besonderen Randbedingungen ggf. auch bei kleineren Städten, denen dann aber meist die notwendigen Ressourcen und Kapazitäten fehlen. Für diese kleinen Kommunen wäre eine Stadt oder Region übergreifende Stabstelle, in der die notwendigen Ressourcen und Kapazitäten zusammengebracht werden, eine mögliche Lösung.

Obwohl die Software frei zur Verfügung gestellt wird, sind die Kosten für die Anschaffung der nötigen IT-Infrastruktur für den Modelleinsatz sowohl in Kommunen als auch in Planungsbüros aktuell zu hoch. Vor diesem Hintergrund sollten zentrale Rechnerkapazitäten, z.B. über einen externen Dienstleister, zur Verfügung gestellt werden. Dabei sind insbesondere der Datenschutz und die IT-Sicherheit zu beachten.

Die Vorteile eines Open Source Modells wird bezüglich der Finanzierung der Modellierungen unterschiedlich eingeschätzt. Eigene Rechnungen mit dem Modell würden den Planungsprozess aus Sicht einzelner Kommunen verteuern, da Gutachten bei den derzeitigen Planungsverfahren üblicherweise über den Bauvorhabenträger finanziert werden. Außerdem werden die Kosten für Gutachten im Vergleich zu den gesamten Planungs- und vor allem Realisierungskosten teilweise als relativ gering eingeschätzt. Andere Kommunen schätzen dies weniger problematisch ein und bewerten den Nutzen eigener Rechnungen und der Mitarbeiterkompetenz im eigenen Haus höher. Besonders der (theoretische) Vorteil, relativ schnell mehrere Varianten zu rechnen, bzw. mit Planungsvarianten „zu spielen", wird diesbezüglich oft als Mehrwert gesehen. Daneben spielt auch die Überlegung eine Rolle, die stadtklimatischen Prozesse verwaltungsintern zu ermitteln und so qualifiziert mit den Vorhabenträger*innen verhandeln zu können. Die Praxispartner*innen sind sich, unabhängig von ihrer Position in Bezug auf die Finanzierung, darüber einig, dass ein Stadtklimamodell, das durch die Städte selbst bedient wird, externe Gutachten schwerlich ersetzen kann, da verwaltungsexterne Bewertungen bei Bürger*innen und Investor*innen als neutraler angesehen werden.

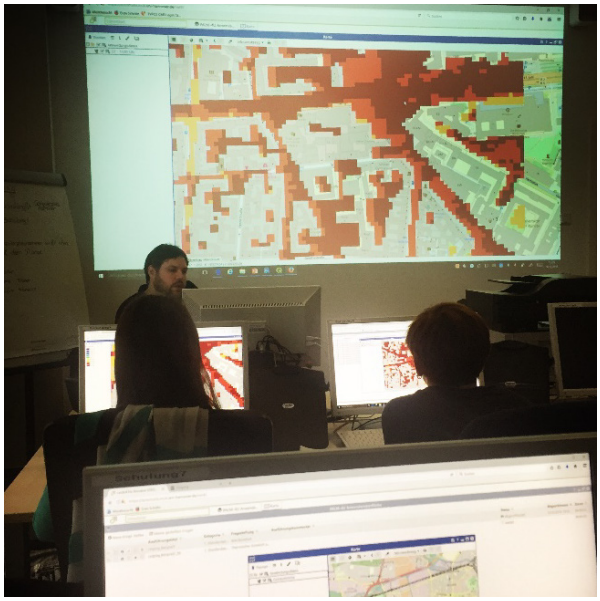


Abbildung 16 Impressionen aus dem UseUClim-Workshop in Holzkirchen und aus der Vor-Ort-Schulung (Quelle: GERICS).

Variantenrechnungen können bei der Bewertung von eingereichten Entwürfen bei Wettbewerbsverfahren oder beim „Fine Tuning" von Entwürfen eingesetzt werden, um die Planung zu optimieren. Allerdings würden Kommunen PALM-4U auch gerne zu einem früheren Zeitpunkt im Planungsprozess einsetzen, um anhand von ersten Planungsvarianten die Rahmenbedingungen für ein Bebauungsgebiet festzulegen. Dazu ist PALM-4U allerdings nicht geeignet, da es konkrete Pläne als Input benötigt. Eine beteiligte Person fasste es im Dialogprozess wie folgt zusammen: *„Der Aufwand ist zu hoch für den erwarteten Erkenntnisgewinn. Die Ergebnisse eines städtebaulichen Entwurfs können eingespeist werden, um zu sehen was dabei rauskommt. Die verschiedenen Varianten in das Modell einzugeben, sind ein zu hoher, nicht vertretbarer Aufwand."* Trotzdem verspricht das Modell mehr Flexibilität im Planungsprozess und einen schnelleren Vergleich von Varianten, entsprechende Software-Schnittstellen und einfache Handhabung über modelleigene Tools bzw. der GUI vorausgesetzt. Eine solche Flexibilität wird durch die Praxispartner*innen gewünscht.

In der gesamtstädtischen Planung muss dabei bereits heute die künftige Bebauung gelenkt werden. Daher muss das Modell auch unter Einfluss des fortschreitenden Klimawandels die klimatische Situation in

verschiedenen zukünftigen Dekaden in der Stadt abbilden und entsprechende Datensätze zur Verfügung stellen.

Die Ergebnisse der Testrechnungen wurden, wenn sie von den kommunalen Vertreter*innen als glaubhaft eingeschätzt wurden, als eine gute Argumentationshilfe der kommunalen Praxis und gegenüber Investor*innen gesehen. Allerdings wird durch die Kommunen darauf hingewiesen, dass nicht nur der Einfluss von Bebauung auf das Stadtklima imminent wichtig ist, sondern auch die Effekte von grüner und blauer Infrastruktur. PALM-4U schafft neue Kommunikationswege Richtung Stadtgesellschaft und Stadtklimaanalysen. Das wäre auch für das Stadtmarketing interessant, um die Standortvorteile der eigenen Kommune hervorzuheben.

In den Fällen, in denen das Modell Ergebnisse produziert, die aus Sicht einer Kommune als *„nicht valide oder nachvollziehbar“* eingeschätzt werden, z. B. weil sie Erfahrungs- oder Literaturwissen widerspricht, wird die Glaubwürdigkeit des Modells schnell in Frage gestellt und die Anwendungsbereitschaft reduziert sich. Die Validierung des Modells durch Modul B ist eine wesentliche Grundlage, um die Glaubwürdigkeit des Modells zu belegen.

Das Feedback einer Kommune fasst die Entwicklung des PALM-4Us passend zusammen: *„Das Klimamodell hat [während der Projektlaufzeit] einen sehr großen Schritt nach vorne gemacht. […] Mit Anpassungen bei der Anleitung und der Anpassungen von Anwendungsfragen können wir uns gut vorstellen, dass wir dieses Tool bei der Betrachtung von neuen städtebaulichen Konzepten oder der Umgestaltungen von städtischen Räumen heranziehen.“* Obwohl aus der Sicht dieser Kommune also noch einige Schritte bis zur praxistauglichen Version des Modells zu gehen sind, wird das Potenzial anerkannt und die Anwendungsbereitschaft in den Kommunen ist weiterhin vorhanden.

*Abbildung 17 Einblick in den Evaluationsworkshop in Dortmund; Vertreter*innen der Partnerkommunen erläutern die Erfahrungen mit PALM-4U (Quelle: TU DO).*

Fazit

Um das Stadtklimamodell sinnvoll und effizient in den Kommunen einsetzen zu können, benötigen diese Personal mit Fachwissen und Ressourcen (Daten und Rechner) sowie Unterstützung in der Einführungs-

phase (Lernphase). Dazu sind Anwenderschulungen notwendig. Neben den Umwelt- und Planungsämtern, wo das Modell meist zum Einsatz kommen würde, zeigt der Dialogprozess in Kommunen, dass zukünftig auch die für Geo-Daten und den Datenschutz zuständigen Ressorts eingebunden werden müssen. Die Anwendung des Modells erfordert deswegen vor dem Hintergrund der spezifischen Ausgangslage in den Kommunen eine Organisationsentwicklung jenseits der einzelnen Anwender*innen. Da die notwendige stadtklimatologische Expertise nur in wenigen Städten vorhanden ist, wäre eine im Modell aufgenommene Interpretationshilfe wünschenswert.

Eine gut aufgebaute und sinnige Anleitung ist einer der Kernpunkte, um eine erfolgreiche Projektumsetzung bzw. Programmanwendung zu fördern. Ein umfangreiches Handbuch ist notwendig. Dort sollten neben der Bedienung des Modells auch die Aufbereitung der Eingangsdaten und die Bewertung der Simulationsergebnisse erläutert werden. Das Handbuch sollte Informationen zu den Qualitätsanforderungen der Eingangsdaten enthalten und deren Aufbereitung für die Nutzung in PALM-4U beschreiben. Im Handbuch sollten auch die Arbeitsschritte in der GIS-Software (ArcGIS & QGIS) zumindest grundlegend beschrieben werden, ebenso wie praktische Beispiele, die die Anwendung des Modells nachvollziehbar beschreiben. Neben einer ausführlichen Langversion sollte es auch eine Kurzversion bieten, die die wesentlichen Arbeitsschritte prägnant zusammenfasst. Dies ist v.a. für Nutzer*innen relevant, die das Modell nur unregelmäßig nutzen, aber bereits eine Einführungsschulung erfahren haben. Außerdem wäre eine zentrale „Hotline“ für direkte Unterstützung wünschenswert.

Der Fokus der Weiterentwicklung des Modells sollte auf Basis der Erfahrungen in den Kommunen auf das vollständige und nutzerfreundliche Abbilden des Arbeitsablaufes gelegt werden. Dazu gehört, dass die Kommunen das Modell früh im Planungsprozess einsetzen wollen. Für eine schnelle Variantenrechnung ist es deswegen zukünftig am Anfang des Planungsprozesses wünschenswert, wenn es einen „Modellbaukasten“ gäbe, wodurch das Modell noch mehr Flexibilität in die Planung und die Modellanwendung einbringen könnte.

Letztlich hat sich gezeigt, dass zur Verbreitung stadtklimatischer Belange in der Planung (und letztlich damit auch des Modelleinsatzes) Förderprogramme, die die Modellanwendung (finanziell) unterstützen, notwendig sind.

5 Fazit // Praxistauglichkeit von PALM-4U

In diesem Evaluationsbericht sind die Ergebnisse der Überprüfung der Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U dargestellt. Evaluiert wurden hierbei folgende Komponenten:

- *Release Candidate PALM-4U Version 6.0* (Veröffentlichung 31. Oktober 2018)
- grafische Benutzeroberfläche (Entwicklungsstand vom 01. April 2019).

Überprüft wurden die in Projektphase 1 erhobenen Anforderungen, die von den Modulen A und B als umsetzbar betrachtet wurden. Wie in Abbildung 18 dargestellt, ergibt die Evaluierung der 157 Anforderungen folgendes Ergebnis:

- *Überprüfung durch die skript-basierte Anwendung[1]:*
  - *63 erfüllt,*
  - *10 teilweise erfüllt,*
  - *28 nicht erfüllt, und*
  - *15 Prüfung nicht möglich.*
- *Überprüfung mit der GUI:*
  - *62 erfüllt,*
  - *43 teilweise erfüllt,*
  - *35 nicht erfüllt, und*
  - *17 Prüfung nicht möglich.*

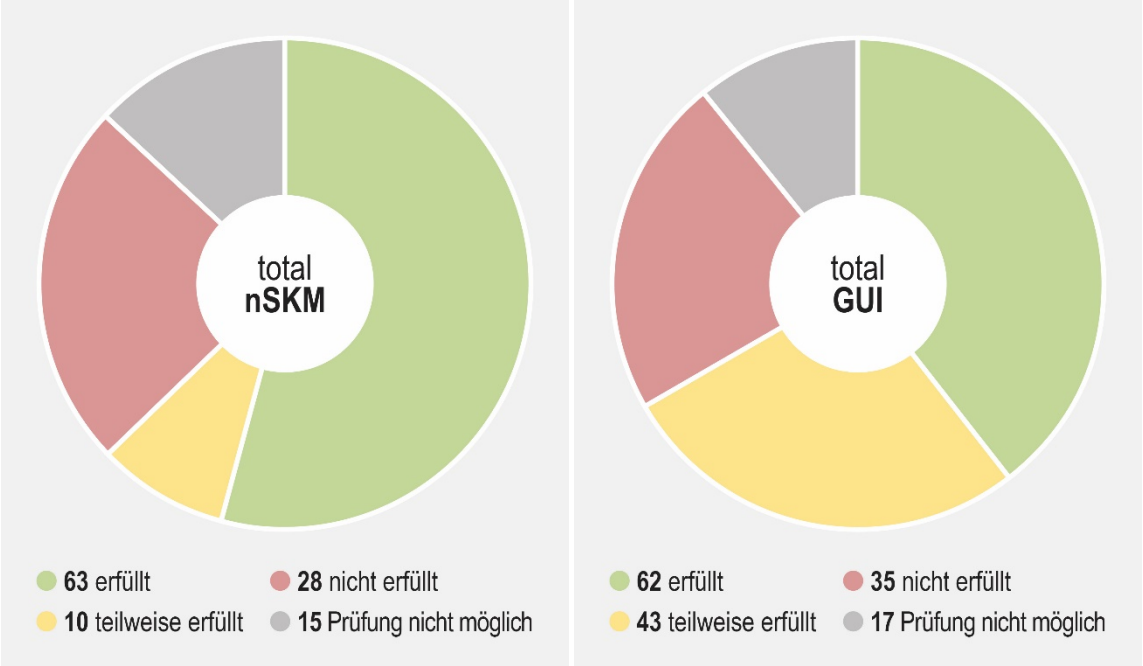


Abbildung 18 Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 157 Anforderungen.

Nachfolgend eine Übersicht der Ziele, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U festlegte und die dazugehörende Evaluation (BMBF, 2015). Hierbei ist festzuhalten, dass das Modell PALM-4U als auch die GUI immer noch in der

[1] Ohne Anforderungen, die ausschließlich an die grafische Benutzeroberfläche adressiert sind.

Entwicklung sind und die GUI-Programmierung auf der jeweils aktuellen Modellversion aufbaute. Beide Komponenten werden in der zweiten Förderphase des Projektes deutlich voranschreiten.

Die Ergebnisse der Simulationen sollen für Nutzer des Modells nachvollziehbar und überprüfbar sein. Das Modell soll die Simulationsergebnisse in adäquater gut verständlicher Form ausgeben.
PALM-4U gibt die Ergebnisse der Simulationen im NetCDF-Datenformat aus. Es kann eine große Bandbreite von Parametern ausgewählt werden, die bspw. als Profile, Zeitreihen, dreidimensionale Daten oder Daten in 2 m Höhe herausgeschrieben werden. Das NetCDF-Format ist in der kommunalen Praxis (noch) kein Standard, daher ist es vielen Nutzer*innen nicht geläufig und wird aufgrund seiner Komplexität als schwer verständlich eingestuft. Allerdings können die Simulationsergebnisse in einem weiteren Verarbeitungsschritt in ein bekannteres Format konvertiert werden und sind so besser verständlich. Eine Umwandlung in die Datenformate Shapefile, GeoPackage und das Dateiformat für Excel sowie eine erste Visualisierung der Ergebnisdateien können über die GUI durchgeführt werden. Die Interpretation und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse ist jedoch wegen fehlender Funktionalitäten (z.B. Legendenanpassung, Überlagerung mit Eingangsdaten, Differenzdarstellungen) nur teilweise gegeben.

Im Laufe der Evaluierung traten zahlreiche Bugs und unplausible Ergebnisse auf, die an Modul A zurückgemeldet wurden. Folglich kann erst mit der Validierung von PALM-4U zum Ende der ersten Projektphase eine Aussage zur Überprüfbarkeit der Simulationsergebnisse getroffen werden.

Die Modelloberfläche soll einfach zu verstehen und zu benutzen sein. Jeder Nutzer und Anwender soll in der Lage sein, aufgrund der selbsterklärenden Softwareoberfläche Stadtstrukturen schnell in das Modell einzugeben.
Das Aufsetzen von Simulationen in der grafischen Nutzeroberfläche wird als logisch und intuitiv bewertet. Dazu trägt maßgeblich das als gelungen bewertete Konzept der vereinfachten Simulationsvorlagen mit stark reduziertem Eingabeumfang bei.

Demgegenüber wird die Bedienung teilweise als umständlich und der Funktionsumfang der Kartendarstellung als nicht ausreichend bewertet. Stadtstrukturen können in der Benutzeroberfläche nicht direkt eingegeben oder geändert werden. Dazu ist immer die erneute Erstellung des „static driver“ im PALM-4U Eingangsdatenformat nötig. Sollen neue Setups erstellt werden, sind weitere Verarbeitungsschritte außerhalb der GUI notwendig. Darüber hinaus bedarf es dazu in den meisten Fällen umfangreicher meteorologischer Modellkenntnisse.

Positiv hervorzuheben ist die integrierte Visualisierung der Simulationsergebnisse auf zweidimensionalen Karten. Die Visualisierung erfolgt in einem in der Praxis üblichen Darstellungsweise, das es auch Nutzer*innen ohne eigenen GIS-Zugang ermöglicht, die Simulationsergebnisse einzusehen.

Das Modell soll in der Lage sein, digitale Geländemodelle (DGM) und Klötzchenmodelle (digitale 3D-Modelle von Städten) zu verarbeiten.
PALM-4U kann DGM und 3D-Gebäudemodelle (Ausbaustand LOD2) einlesen, jedoch sind aufwändige Umwandlungsschritte nötig, um die vorliegenden Daten in das PALM-4U konforme Format zu bringen.

Das Modell soll für die Stadtplanung und Stadtentwicklung passfähig sein.
Gängige Fragestellungen zum thermischen Komfort und zum Windkomfort können mit den Modellergebnissen beantwortet werden. Die Möglichkeit, Planungsvariantenvergleiche mit PALM-4U durchzuführen, wird als deutlicher Mehrwert von den Nutzer*innen in den Kommunalverwaltungen gesehen.

Einschränkend ist zu nennen, dass keine quantitativen Ergebnisse zum Kaltluftvolumenstrom zur Verfügung stehen. Dies ist für die klimaangepasste Stadtentwicklung in den Planungsprozessen von hoher

Bedeutung, um die Auswirkungen von Neubau oder Umbau einzuschätzen (VDI 3787, Blatt 5, S. 53). Die Anforderung an das Modell, Klimaprojektionen simulieren zu können, wie es bspw. gem. §§ 1, 1a BauGB für formale Bauplanungsprozesse erforderlich ist, ist ebenfalls nicht erfüllt (Bundesrepublik Deutschland 2018). Darüber hinaus ist die Validierung des Modells noch nicht abgeschlossen und somit die juristische Belastbarkeit des Modells für formale Planungs- und Entscheidungsverfahren aktuell noch nicht gegeben. Aufgrund der genannten Einschränkungen ist PALM-4U aktuell nur eingeschränkt passfähig für die Stadtplanung und Stadtentwicklung.

Die Ergebnisse sollen in Wirkmodelle (z. B. für sozioökonomische Analysen) integrierbar sein.

Derzeit kann keine Aussage getroffen werden, ob die Ergebnisse in Wirkmodelle integrierbar sind. Die Überprüfung der BMBF-Forderung erfolgt in der zweiten Projektphase.

Abschließende Bewertung

Das Stadtklimamodell PALM-4U kann bereits jetzt gängige stadtklimatische Fragestellungen beantworten. Aufgrund seiner fortschrittlichen und flexiblen Modellarchitektur sowie seines Funktionsumfangs zeigt sich ein großes Potential für eine künftige Ausweitung der Anwendungsgebiete. Für die praktische Anwendung in Kommunen ist das Modell in der jetzigen Form nur bedingt geeignet und muss dahingehend in der zweiten Projektphase vor allem hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit, Anleitung sowie der Anbindung an die kommunalen Dateninfrastrukturen weiterentwickelt werden.

6 Ausblick

In dem dreijährigen BMBF-Forschungsprojekt „Stadtklima im Wandel“ wurden von den drei Modulen Modellentwicklung (Modul A), Beobachtungsdaten und Modellevaluation (Modul B) und Praxistauglichkeit (Modul C) Arbeiten gleichzeitig und verzahnt durchgeführt. Die intensive modulübergreifende Zusammenarbeit hat gut funktioniert und wesentlich dazu beigetragen, dass die Praxistauglichkeit von PALM-4U umfassend überprüft werden konnte. Sehr umfangreiche und breitgefächerte Aktivitäten zur Erfassung und Bewertung der Nutzeranforderungen an das Stadtklimamodell PALM-4U waren die Grundlage der Evaluation. Die Auswertung der NAK-Anforderungen hat ergeben, dass der Prototyp von PALM-4U bereits einen Teil der erhobenen Anforderungen erfüllt. Dies lässt sich sehr schön an den beiden Zitaten von zwei Praxispartner*innen erkennen:

> *„Auch hatten wir den Eindruck, dass viele Rechendurchgänge notwendig sind, um einfach mehr Erfahrung zu sammeln bei der Beurteilung der Ergebnisse. […] Viele Hinweise und Vorschläge werden sich nach entsprechender Nutzungsdauer der GUI noch zeigen. Für die zweite Förderphase wäre aus unserer Sicht hier noch erheblicher Arbeitsbedarf und Feinabstimmung notwendig.“*

> *„Das Klimamodell hat einen sehr großen Schritt nach vorne gemacht. […] Mit Anpassungen bei der Anleitung und der Anpassungen von kleineren Anwendungsfragen, können wir uns gut vorstellen, dass wir dieses Tool bei der Betrachtung von neuen städtebaulichen Konzepten oder der Umgestaltungen von städtebaulichen Räumen heranziehen.“*

Durch seine Architektur (parallelisierbar, modular) und die Modellphysik (LES) kann PALM-4U als ein Stadtklimamodell auf dem „Stand der Wissenschaft“ bezeichnet werden. Die potenziellen Nutzer*innen stufen das Potenzial des Modells als hoch ein. Um diese positive Einstellung zu erhalten und eine zukünftig breite Nutzung des Modells für eine klimawandelgerechte und nachhaltige Stadtentwicklung zu erreichen, sind jedoch – nach Abschluss dieser dreijährigen Phase – weitere Schritte nötig, bis das Modell auch als „Stand der Technik“ gelten kann.

Zunächst müssen die noch fehlenden Bausteine von den Entwickler*innen freigegeben und implementiert werden. Zugleich muss sichergestellt werden, dass stabile Versionen des Modells erstellt werden und eine Weiterentwicklung des Modells für neue Fragestellungen in der Zukunft möglich ist.

Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) muss den potenziellen Nutzer*innen dauerhaft kostenlos zur Verfügung stehen und es ermöglichen, einfache Anwendungen ohne Programmierkenntnisse zu rechnen und die Ergebnisse in Planungsprozesse zu integrieren.

Damit auch Anwender*innen, die nicht über das Wissen und die technische Ausstattung für das Installieren und Betreiben des PALM-4U vor Ort verfügen, das Modell anwenden können, muss das Modell dauerhaft – und für alle Nutzer*innen entgeltfrei – bei einer oder mehreren großen Institutionen gehostet und der Zugriff auf das Modell über die GUI ermöglicht werden. Dies beinhaltet den Dateitransfer der anwendenden Institution (Inputdaten) und den Datenstrom wieder zurück (Ergebnisse).

Die bereits begonnenen Schulungen für die Modellanwender*innen aus der Praxis sollten standardisiert fortgesetzt und intensiviert sowie auf weitere Ressorts ausgedehnt werden. Eine Berücksichtigung in den Kurrikula der einschlägigen aber zukünftiger Studiengänge an den Hochschulen oder Kurse von Berufsvertretungsorganisationen können dazu beitragen, dass das Modell einen großen Kreis von Anwender*innen findet.

Eine umfangreiche Dokumentation zur Modellanwendung (bspw. simulierbare Anwendungsfälle) ist essentiell für die Praxistauglichkeit von PALM-4U. In dieser Dokumentation, die für jede Modellversion vorliegen muss, sollten Informationen zu den erforderlichen Eingabedaten, möglichen Ausgabeformaten und Weiterverarbeitung in GIS sowie zur Interpretation der Ergebnisse zur Verfügung gestellt werden.

Eine externe Unterstützung der Anwender*in durch Dienstleister und Services sowie der Aufbau von Stabsstellen, kommunenübergreifenden Organisationsformen oder die Nutzung bestehender Strukturen (Kreisverwaltungen, Regionalverbände, Zweckverbände, …) kann ebenfalls dazu beitragen, die Akzeptanz des Modells zu erhöhen. Auch sollte das Modell von Universitätsinstituten und wissenschaftlichen Behörden eingesetzt und getestet werden.

Durch das Projekt „Stadtklima im Wandel“ und die intensive Einbindung potenzieller Nutzer*innen in ganz Deutschland wurden hohe Erwartungen an das neue Stadtklimamodell PALM-4U geweckt. Nicht zuletzt, da eine ganze Reihe von Kommunen und Planungsbüros mit dem Einsatz von Modellen bereits Erfahrung haben und konkrete Erwartungen an ein innovatives, praxistaugliches Stadtklimamodell haben.

Um diese Erwartungen zu erfüllen und das Modell PALM-4U als Standardmodell in der kommunalen Stadtentwicklung zu etablieren, ist es notwendig, das Modell möglichst rasch, d.h. innerhalb weniger Jahre, bezüglich der Praxistauglichkeit so voranzubringen, dass es in allen in diesem Evaluationsbericht dargestellten Aspekte die volle „Alltagstauglichkeit“ erreicht.

7 Literaturverzeichnis

- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015). *Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Fördermaßnahme "Stadtklima im Wandel"*. Online verfügbar unter: https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung.php?B=1021 (letzter Zugriff: 04. April 2019).
- Bundesrepublik Deutschland (2018). *Baugesetzbuch.* Online verfügbar unter https://dejure.org/gesetze/BauGB (letzter Zugriff: 16. April 2019).
- Halbig, G., Steuri, B., Büter, B., Heese, I., Schultze, J., Stecking, M., ..., Winkler, M. (2019). *User requirements and case studies to evaluate the practicability and usability of the urban climate model PALM-4U.* Meteorol. Z. (Contrib. Atm. Sci.), accepted.
- Heldens, W., Zeidler, J., Maronga, B., Sühring, M., Pavlik, D., Burmeister, C., … & Esch, T. (2019). *Acquisition and preparation of geospatial input data for the PALM model system 6.0: model requirements, data sources, and processing.* Geoscientific Model Development, to be submitted.
- IMUK – Institut für Meteorologie und Klimatologie (2018). *PALM Output Data Standard (PODS). - Leibniz Universität Hannover (Version 1.7).* Online verfügbar unter https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/doc/io (letzter Zugriff: 09. Mai 2019).
- Maronga, B., Gross, G., Raasch, S., Banzhaf, S., Forkel, R. Helden, W., ..., & Trusilova, K. (2018). *Development of a new urban climate model based on the model PALM - Project overview, planned work, and first achievements.* Meteorol. Z. (Contrib. Atm. Sci.), accepted.
- R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing.* Vienna: R Foundation. Online verfügbar unter: https://www.R-project.org/ (letzter Zugriff: 16. April 2019).
- Scherer, D., Antretter, F., Bender, S., Cortekar, J., Emeis, S., Fehrenbach, U., ..., Scherber, K. (2019a). *Urban Climate Under Change [UC]² – A National Research Programme for Developing a Building-Resolving Atmospheric Model for Entire City Regions.* Meteorol. Z. (Contrib. Atm. Sci.), accepted.
- Scherer, D., Ament, F., Emeis, S., Fehrenbach, U., Leitl, B., Scherber, K., Schneider, C. & Vogt, U. (2019b). Three-Dimensional Observation of Atmospheric Processes in Cities. Meteorol. Z. (Contrib. Atm. Sci.), accepted.
- Steuri, B., Weber, B., Antretter, F., Bender, S., Burmeister, C., Büter, B., ..., Winkler, M. (2019). *Teil 1: Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U - Tabelle // finale Version.* In: B. Weber & B. Steuri (Eds.): Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U (1-24).
- Steuri, B., Weber, B., Antretter, F., Bender, S., Burmeister, C., Büter, B., ..., Winkler, M. (2018a). *Teil 1: Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U - Tabelle // vorfinale Version.* In: M. Stecking, B. Steuri & B. Weber (Eds.): Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U (1-16).
- Steuri, B., Cortekar, J. & Bender, S. (2018b). *Überprüfung der Praxistauglichkeit eines neuen Stadtklimamodells: #1 Anforderungserhebung als Basis.* Report 33. Hamburg: Climate Service Center Germany (GERICS).
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2003). VDI 3787 (Blatt 5:2003-12): *Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.

- Weber, B., Steuri, B., Antretter, F., Bender, S., Burmeister, C., Büter, B., …, Winkler, M. (2018). T*eil 2: Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U - Erläuterungen // finale Version.* n: B. Weber & B. Steuri (Eds.): Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U (25-65).