

Stadtklima im Wandel
**Überprüfung der Praxis- und
Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen**

Abschlussbericht Teil 2
Eingehende Darstellung

Titelbild: © B. Steuri

Zitierhinweis: Cortekar, J., Winkler, M., Steuri, B., Stratbücker, S., Stadler, S., Antretter, F., Bender, S. (2020): Stadtklima im Wandel: Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen Abschlussbericht Teil 2 – Eingehende Darstellung, Climate Service Center Germany, Hamburg

Erscheinungsdatum: Februar 2020

Stadtklima im Wandel: Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit von Stadtklimamodellen

Abschlussbericht Teil II – Eingehende Darstellung



**Climate Service Center Germany (GERICS) am
Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für
Material und Küstenforschung GmbH**
Dr. Jörg Cortekar (Verbundkoordinator)
Bettina Steuri (Koordinationsbüro)
Apl. Prof. Dr. Steffen Bender



Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Matthias Winkler
Sebastian Stratbücker
Sebastian Stadler
Florian Antretter

Februar 2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1. Verwendung der Zuwendung sowie erzielte Ergebnisse	7
1.1. Explorieren	8
1.1.1. Startworkshop Köln.....	9
1.1.2. Stakeholder Analyse	10
1.1.3. Literatur- und Projektrecherche.....	12
1.1.4. Online Umfrage.....	13
1.1.5. Schnittstellen zu existierenden Modellen und Werkzeugen.....	15
1.1.6. Abschlussworkshop in Hamburg	20
1.1.7. Nutzer- und Anforderungskatalog als finales Produkt der Anforderungserhebung.....	24
1.1.8. Lessons learned der ersten Projektphase	28
1.2. Experimentieren	30
1.2.1. Vorbereitung und Durchführung von Testanwendungen	31
1.2.2. Schnittstellenausgestaltung zu anderen Anwendungen	34
1.2.3. Benutzerhandbuch.....	39
1.3. Evaluieren	40
1.3.1. Definition der Bewertungskriterien für die Testphase	41
1.3.2. Evaluationsergebnisse.....	44
1.4. Fazit und Ausblick	52
2. Zahlenmäßiger Nachweis	56
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	57
4. Nutzen und Ergebnisverwertung im Sinne des Verwertungsplans	58
5. Relevanter Fortschritt anderer Stellen	59
6. Veröffentlichung der Ergebnisse	60
Referenzen	63

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Methoden im Rahmen der Anforderungserhebung in Phase 1	8
Abb. 2: Übersicht über die Fragenkomplexe, die in den beiden World Cafés behandelt wurden.....	9
Abb. 3: Übersicht über potenzielle Nutzergruppen des neuen Stadtklimamodells PALM-4U11	
Abb. 4: Ausgewählte Beispiele der Literatur- und Projektrecherche	13
Abb. 5: Informationsfluss vom und zum Stadtklimamodell.....	16
Abb. 6: Übersicht über die Fragestellungen am Workshop in Hamburg, wobei 1.3 und 2.1 nicht besprochen wurden.	22
Abb. 7: Aufbau des Nutzer- und Anforderungskatalogs (NAK)	26
Abb. 8: Impressionen aus den Vor-Ort-Schulungen.	32
Abb. 9: In der Schulungsphase I bearbeitete Szenarien	33
Abb. 10: Bedienoberfläche von ParaView mit PALM-4U Macros.....	35
Abb. 11: Funktion zum Befüllen fehlender Datenfelder mit PALM-4U konformen Datentypen im Static Driver Creator.....	37
Abb. 12: Informationsfluss mit PALM-4U und Augmented-Reality- Anwendungen	38
Abb. 13: Datenfluss zur Integration und Visualisierung von PALM-4U Modellergebnissen mit 3-D Stadtmodellen in Mixed Reality Anwendungen	39
Abb. 14: Zeitplan zur Erstellung des Evaluationsberichts	40
Abb. 15: Verbundübergreifende Evaluationskriterien auf Basis des Nutzer- und Anforderungskatalogs	42
Abb. 16: Exemplarischer Ausschnitt aus der NAK-Tabelle mit den neuen Anforderungen... 43	
Abb. 17: Die Umsetzbarkeit der 240 Anforderungen	44
Abb. 18: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 18 Anforderungen in der Kategorie „Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen“	45
Abb. 19: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 61 Anforderungen in der Kategorie „Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen“	46
Abb. 20: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 20 Anforderungen in der Kategorie „Eingangsdaten“.	47
Abb. 21: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 17 Anforderungen in der Kategorie „Ausgabedaten“	48
Abb. 22: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 41 Anforderungen in der Kategorie „Graphische Benutzeroberfläche“	48
Abb. 23: Impressionen aus dem UseUCLim Workshop in Holzkirchen (links) und aus einer Vor-Ort-Schulung (rechts).....	50
Abb. 24: Einblick in den Evaluationsworkshop in Dortmund; Vertreter der Partnerkommunen erläutern die Erfahrungen mit PALM-4U	52

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenfassung der entwickelten und erprobten Software-Schnittstellen.....	36
--	----

In diesem Abschlussbericht wird aus Gründen der Lesbarkeit für Funktionen das generische Maskulinum verwendet, sofern die Aufgabenbeschreibung im Vordergrund steht. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich ebenfalls angesprochen, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

1. Verwendung der Zuwendung sowie erzielte Ergebnisse

Die erfolgreiche Entwicklung eines leistungsstarken und anwenderfreundlichen Stadtklimamodells kann nur durch die enge und intensive Beteiligung der zukünftigen Anwender gelingen. Daher sind ein enger Austausch und gut konzipierte Informationsflüsse zwischen den Modellentwicklern und Praxisakteuren essentiell. Um dies sicherzustellen, wurden vier Praxispartner – die Städte Chemnitz, Dresden und Leipzig sowie die international tätige Sweco GmbH – als Kooperationspartner direkt in das Verbundprojekt UseUClim eingebunden und haben in einzelnen Phasen aktiv mitgewirkt. Sie waren jedoch nicht direkt an der Entwicklung von PALM-4U beteiligt.

UseUClim hat hierfür das Living Lab Konzept angewendet. Im Allgemeinen wird ein Living Lab als eine Plattform verstanden, die eine „Nutzer-zentrierte Forschungsmethodik ermöglicht und begünstigt“ (Meurer et al., 2015; Eriksson et al., 2005). Die Forschungsumgebung ist dabei realweltlich gestaltet und ermöglicht die Einbindung sämtlicher relevanter Stakeholder aus Wissenschaft und Praxis, die innerhalb des Entwicklungsprozesses bereits in einer frühen Phase eine aktive Rolle einnehmen (Meurer et al., 2015). Im Unterschied zur herkömmlichen Konsumentenforschung nehmen die Praxispartner unterschiedliche Positionen ein und tragen auf vielseitige Weise zum Entwicklungsprozess bei (Kusiak, 2007; Westerlund & Leminen, 2011). Das heißt, dass sie sowohl ihre Ideen und Anforderungen einbringen als auch in einen Dialog mit den Entwicklern integriert werden. Die Praxispartner werden daher zu sogenannten „co-producers“ (Ballon, 2005).

Die systematische Interaktion zwischen Wissenschaft und Praxis hat während des gesamten Projektes stattgefunden und ist in drei konsekutive Phasen gegliedert:

- **Phase 1: Erkunden:**
Erfassung potenzieller Nutzergruppen und deren Anforderungen an die Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U
- **Phase 2: Experimentieren:**
Vor-Ort Schulungen und Praxiserprobung zweier Prototypen des neuen Stadtklimamodells PALM-4U
- **Phase 3: Evaluieren:**
Beurteilung der Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U in einem Evaluationsbericht auf Basis von Projektphase 2

Um einen produktiven, ergebnisorientierten Dialog zwischen Praxis und Wissenschaft zu ermöglichen, wurden in den drei Projektphasen unterschiedliche Interaktionsformate eingesetzt, so z.B. Online-Umfragen, Schulungen und Workshops, wobei letztere häufig in Zusammenarbeit mit dem zweiten Modul-C-Verbundprojekt KliMoPrax durchgeführt wurden. Des Weiteren wurden zusammen mit KliMoPrax gemeinsame Dokumente erstellt, dazu gehören u.a. der Nutzer- und Anforderungskatalog (NAK) nach der ersten und der Evaluationsbericht nach der dritten Projektphase.

1.1. Explorieren

Die nachfolgenden Texte (mit Ausnahme von Abschnitt 1.1.5) basieren im Wesentlichen auf Steuri, B., Cortekar, J., Bender, S. (2018). Überprüfung der Praxistauglichkeit eines neuen Stadtklimamodells: #1 Anforderungserhebung als Basis. Report 33. Hamburg: Climate Service Center Germany (GERICS), https://www.gerics.de/imperia/md/content/csc/report_33.pdf. Einige Textpassagen wurden angepasst, gekürzt oder gestrichen.

Der Nutzer- und Anforderungskatalog (NAK) ist ein gemeinsames Produkt der Projektverbünde UseUCLim und KliMoPrax. Die im vorliegenden Schlussbericht des Verbundvorhabens UseUCLim vorgestellten Inhalte fokussieren auf die im Rahmen des UseUCLim-Projektes durchgeführten Arbeiten. Die im Zwillingsprojekt KliMoPrax durchgeführten Arbeiten können dem Originaldokument entnommen werden, das auf der Modul C Homepage unter <https://uc2-klimoprax-useuclim.org/> zur Verfügung steht.

Für die Überprüfung der Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U wurden in der ersten Projektphase von UseUCLim die potenziellen Nutzergruppen und deren Interessen, Anforderungen und Arbeitsmethoden erfasst. Dies ist notwendig, um die nutzerspezifischen Anforderungen bei der Modellerstellung zu berücksichtigen und eine hohe Verbreitung und Anwendung von PALM-4U zu erreichen.

Die Erfassung war in UseUCLim nicht auf kommunale Anwender begrenzt. Um neben den kommunalen Anwendern weitere mögliche Gruppen einbinden zu können, die in Zukunft mit dem Stadtklimamodell arbeiten könnten, wurden die potenziellen Nutzergruppen mit einer Stakeholder-Analyse erfasst und kategorisiert. Auf Basis einer Literatur- und Projektrecherche wurde eine Online-Umfrage erstellt, um die Nutzeranforderungen an die Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells in den identifizierten Nutzergruppen zu ermitteln. Die Ergebnisse der beiden Ansätze – wissenschaftlich aufgrund der Literaturrecherche und praxisorientiert durch die Umfrage – wurden gemeinsam mit KliMoPrax in einem Nutzer- und Anforderungskatalog systematisch gebündelt und strukturiert zusammengefasst. Dieser wurde an die Module A und B übergeben, sodass die erhobenen

Anforderungen im Sinne der Qualitätssicherung direkt in die Modellentwicklung sowie die Erhebung der Beobachtungsdaten einfließen konnten. In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Schritte und die dazugehörigen Hauptergebnisse aus der Explorationsphase dargestellt (siehe Abbildung 1).

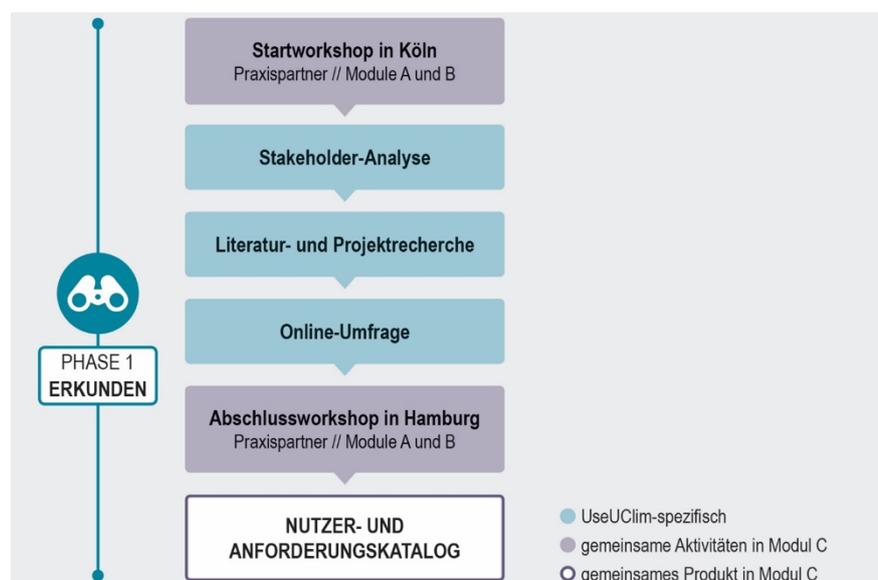


Abb. 1: Methoden im Rahmen der Anforderungserhebung in Phase 1. Quelle: Steuri et al. (2018)

1.1.1. Startworkshop Köln

Der Auftaktworkshop in Modul C fand in Köln statt. Er war die erste gemeinsame Veranstaltung in Modul C und wurde federführend vom KliMoPrax-Konsortium in Abstimmung mit UseUClim organisiert. An ihm nahmen alle Modul-C-Partner sowie Vertreter der Module A und B teil. Zusätzlich zu den Praxispartnern aus UseUClim und KliMoPrax beteiligten sich weitere interessierte Städte, insbesondere aus der näheren Umgebung Kölns und Nordrhein-Westfalen.

In zwei World Café Runden wurden 1.) die Erwartungen an das neue Stadtklimamodell PALM-4U und das Forschungsprogramm „Stadtklima im Wandel“ diskutiert, sowie 2.) die konkreten Anforderungen an das neue Stadtklimamodell PALM-4U und dessen Nutzung in der integrierten Stadtentwicklung thematisiert (siehe Abbildung 2).

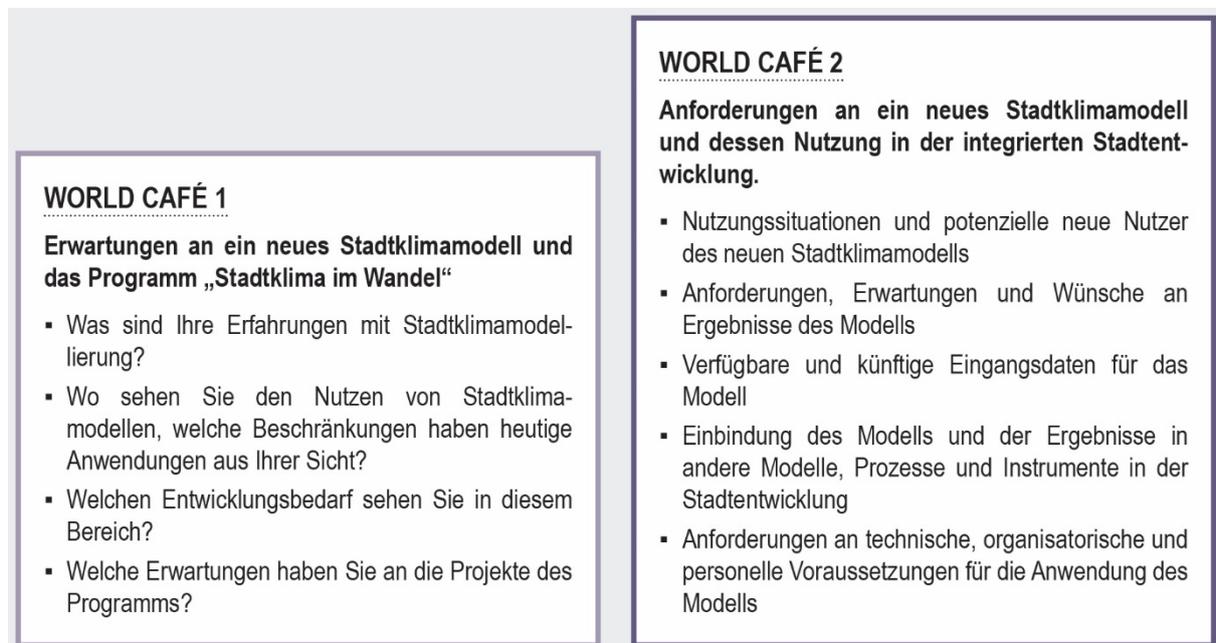


Abb. 2: Übersicht über die Fragenkomplexe, die in den beiden World Cafés behandelt wurden. Quelle: Steuri et al. (2018)

Die wichtigsten Ergebnisse der beiden World Cafés waren:

- Stadtklimamodelle werden insbesondere in der Bauleitplanung eingesetzt, damit die Auswirkungen von Bauvorhaben auf das Stadtklima ermittelt werden können, bspw. Beeinflussung des Mikroklimas oder Unterbrechungen von Kaltluftschneisen.
- Verfügbare Modellergebnisse werden als Planungshinweise genutzt. Planer können so frühzeitig die funktionalen Zusammenhänge zwischen Stadtklima und den Änderungen in Bau- und Nutzungsstrukturen erkennen. So könn(t)en Bauvorhaben aus stadtklimatischer Sicht optimiert werden.

- Die von Stadtklimamodellen benötigte Rechenzeit steht aus Sicht der Teilnehmer nicht immer im Verhältnis zur Fragestellung. Neben der Modellnutzung ist auch die Interpretation der Modellergebnisse häufig sehr komplex. Vielfach ist in den Kommunen nicht die Expertise vorhanden, die Modellergebnisse fachlich zu bewerten und mit ihnen weiterzuarbeiten.
- Entwicklungsbedarf wird insbesondere bei der nutzerfreundlichen Handhabbarkeit des Modells, der Interpretation und Bewertung der Modellergebnisse (bspw. mithilfe Grenz-, Richt- oder Orientierungswerten oder eines Ampelsystems), der Daten (automatische Prüfung resp. Vereinheitlichung von heterogenen Eingangsdaten) und der Kompatibilität mit anderen Softwares (standardisierte Schnittstellen zu anderen Stadtklimamodellen oder Simulationsprogrammen, bspw. für Lufthygiene oder hydrologische Modellierungen) gesehen.
- Von Seiten der Praxispartner wird erwartet, dass das neue Stadtklimamodell PALM-4U auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (Mikro- und Mesoskala) eingesetzt werden kann, um die entsprechenden stadtklimatischen Aspekte simulieren zu können. Neben der Temperatur schien insbesondere der Niederschlag von hoher Relevanz zu sein.
- Die Teilnehmer erhofften sich, dass das neue Stadtklimamodell PALM-4U ein handhabbares und praxistaugliches Werkzeug für die Stadtplanung wird. Dadurch sollen nicht nur neue Nutzergruppen angesprochen (bspw. Umweltverbände oder Projektentwickler), sondern auch die Anwendung für kleinere und mittlere Kommunen ermöglicht werden. Um die Modellergebnisse gegenüber der Politik und Investoren als Argumentationsgrundlage verwenden zu können, wird zudem erwartet, dass die Modellergebnisse anschaulich, transparent und verständlich visualisiert werden („Bürgermeistertool“).

Diese Ergebnisse stellen ausschließlich die Sicht der Praxis dar. Es handelte sich zu diesem Zeitpunkt um eine ungefilterte Sammlung von Erwartungen, deren Umsetzbarkeit (noch) nicht im Fokus stand.

Insgesamt hat der Workshop gezeigt, dass seitens der Verbund- und Praxispartner sowie der weiteren Teilnehmer ein hohes Interesse an einem leistungsstarken und zugleich praxistauglichen Stadtklimamodell besteht. Es konnte eine Vielzahl von unterschiedlichsten Beiträgen gesammelt werden – diese bezogen sich jedoch nicht ausschließlich auf das Stadtklimamodell, sondern auch auf die Daten (Modul B) sowie die Expertise und Infrastruktur der potenziellen Nutzergruppen. Die gewonnenen Erkenntnisse lieferten eine erste Grundlage für die weiteren Arbeitspakete. In weiteren Arbeitsschritten wurden die breitgefächerten Erwartungen in konkrete Anforderungen heruntergebrochen.

1.1.2. Stakeholder Analyse

Der Startworkshop in Köln hat gezeigt, dass PALM-4U für eine große Bandbreite von Stakeholder-Gruppen interessant sein könnte. Um die Verbreitung und Anwendung des neuen Stadtklimamodells PALM-4U sicherzustellen, ist es daher essentiell, nicht nur die Anforderungen von kommunalen Anwendern zu erfassen (auch wenn diese zunächst im

Vordergrund stehen), sondern die Anforderungen so breit wie möglich zu erfassen und zu integrieren.

Die hierfür benötigte Stakeholder-Analyse wurde in zwei Teile gegliedert. Zuerst wurden die Stakeholder mittels einer Auswertung des Start-Workshops in Köln sowie einer Marktanalyse identifiziert. Zudem konnten im Rahmen der Literatur- und Projektrecherche zusätzliche Stakeholder erfasst werden. In einem zweiten Schritt wurden die erfassten Stakeholder in Nutzergruppen mit ähnlichem Hintergrund und Interesse kategorisiert (siehe Abbildung 3).

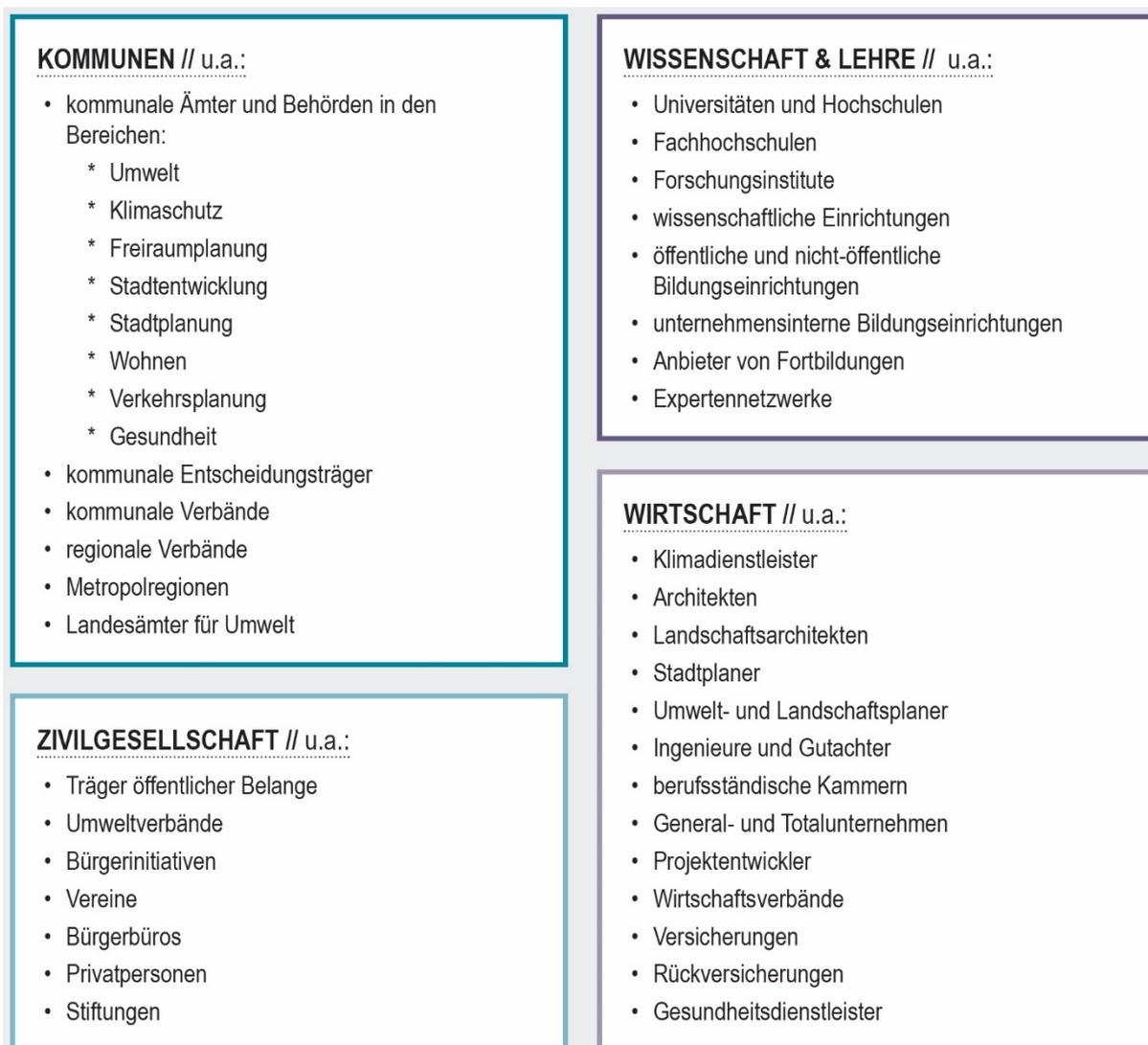


Abb. 3: Übersicht über potenzielle Nutzergruppen des neuen Stadtklimamodells PALM-4U. Quelle: Steuri et al. (2018)

Die Identifizierung und Kategorisierung der Stakeholder und ihrer Interessen am Stadtklimamodell war ein kontinuierlicher Prozess der während der gesamten Projektlaufzeit

bearbeitet und durch neue Erkenntnisse – z.B. der Online-Umfrage (siehe Kap. 1.1.4) oder auch den Dialogen während der zahlreichen Workshops – ergänzt wurde.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass kommunale Anwender die Hauptnutzergruppe sind. 75% aller Umfrageteilnehmer und fast 98% der Umfrageteilnehmer aus Kommunen schätzen die Relevanz als hoch ein. Allerdings wird das Modell auch für andere Anwendergruppen von großer Relevanz sein, so z.B. Architektur- und Planungsbüros oder wissenschaftliche Nutzer.

Fazit: PALM-4U wird als besonders relevant für Kommunen eingeschätzt. Daher wurden in den folgenden Schritten hauptsächlich deren Anforderungen für die Modellentwicklung berücksichtigt. Jedoch nehmen auch die Anforderungen der Planungs- und Beratungsbüros sowie der Wissenschaft eine wichtige Position ein und dürfen nicht vernachlässigt werden.

1.1.3. Literatur- und Projektrecherche

Der zweite Schritt im Rahmen der Anforderungserhebung war die Durchführung einer Literatur- und Projektrecherche. In diesem Arbeitsschritt wurde eine allgemeine Bestandsaufnahme der Anforderungen an die Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U erarbeitet. Auf diese Weise wurde auf dem zum damaligen Zeitpunkt aktuellen Kenntnisstand angeschlossen. Zusätzlich konnten weitere potenzielle Nutzergruppen identifiziert und in die zuvor definierten Stakeholder-Kategorien integriert werden. Wie in der Abbildung 4 ersichtlich ist, basierte die Recherche auf unterschiedlichen online und analogen Literaturformaten. Die unterschiedlichen Formate wurden eingesetzt, um eine möglichst breite Grundlage aus wissenschaftlichen und praxisorientierten Quellen zu erarbeiten.

Für die Online-Suche wurden Ecosia, Google Scholar, ScienceDirect, JSTOR, die Suchmaschine GEPRIS der Deutschen Forschungsgesellschaft, der BMBF Förderkatalog und eine interne Suchmaschine des Climate Service Center Germany (GERICS) verwendet. Folgende Suchbegriffe – auch in Kombination – wurden sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch eingegeben:

- Stadtklima, Stadtklimamodell, Stadtklimatologie, Stadtklimaanalyse und -gutachten
- Klimainformation, klimagerechte Stadtplanung
- Gebrauchstauglichkeit, Anforderungsmanagement, Praxistauglichkeit, Nutzerfreundlichkeit
- Living Lab Konzept (Reallabor)

Zudem wurden themenverwandte Forschungsprojekte wie bspw. KlimaMORO oder KLIMZUG-NORD hinzugezogen und nach möglichen Anforderungen an die Praxistauglichkeit eines Stadtklimamodells untersucht.

Die Ergebnisse wurden in einer Tabelle gesammelt und anschließend in einzelne Kategorien sortiert. Zur Kategorisierung wurden die Anforderungsbereiche in die folgenden sechs Rubriken aufgeteilt: 1) Stärken und Schwächen heutiger Stadtklimamodelle, 2)

Anwendungsgebiete von Stadtklimamodellen, 3) potenzielle Nutzergruppen, 4) Eingangs- und Ausgabedaten, 5) Gebrauchstauglichkeit und 6) technische Anforderungen. Die Ergebnisse der Literatur- und Projektrecherche dienen anschließend als wichtigste Grundlage für die Online-Umfrage.

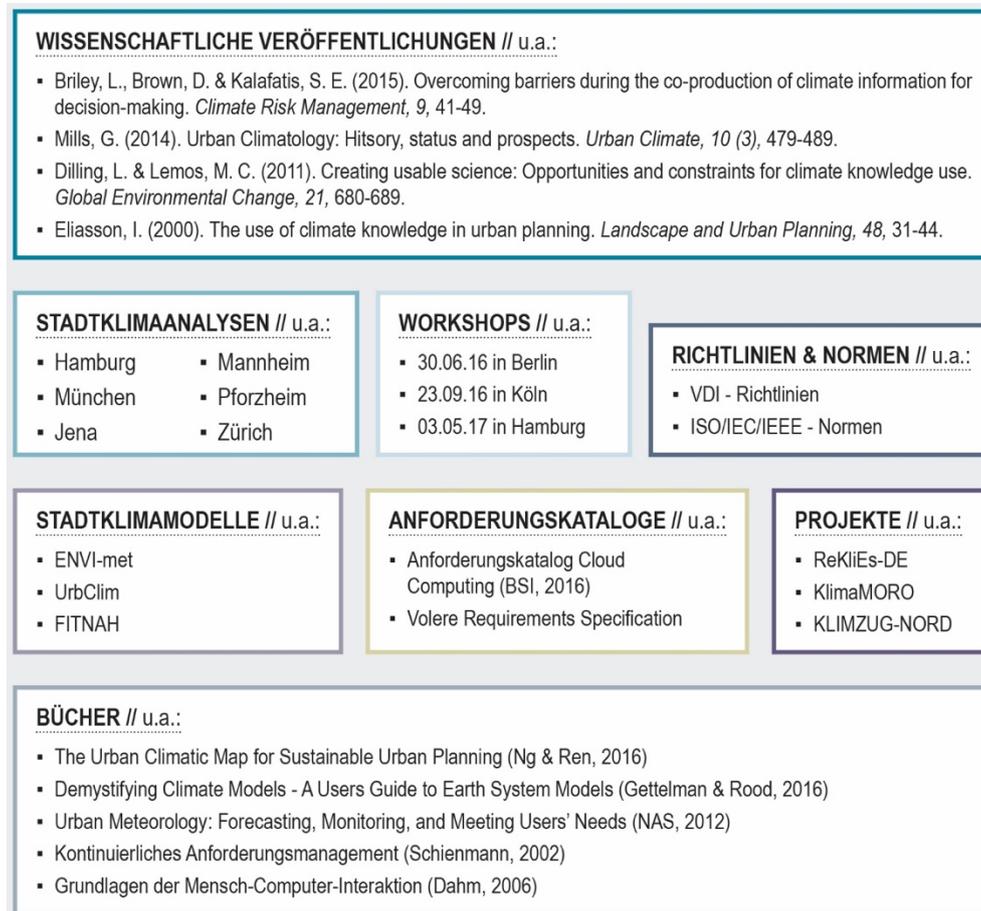


Abb. 4: Ausgewählte Beispiele der Literatur- und Projektrecherche. Quelle: Steuri et al. (2018)

1.1.4. Online Umfrage

Der dritte Schritt im Rahmen der Anforderungserhebung war die Durchführung einer Online-Umfrage. Diese basiert auf den Ergebnissen des Start-Workshops, der Stakeholder-Analyse, der Literatur- und Projektrecherche, als auch auf den internen Projekttreffen.

Um sicherzustellen, dass die Online-Umfrage sämtliche relevante Aspekte thematisiert, wurde sie verbundintern geprüft und in Abstimmung mit ausgewählten Mitgliedern der Modul-C-Steuerungsgruppe sowie fachspezifischen Experten des GERICS sowie dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik abschließend formuliert. Das Ziel der Online-Umfrage lag darin, aus den Antworten bevorzugte Charakteristiken des neuen Stadtklimamodells PALM-4U zu erfassen.

Der Fragebogen wurde an die in der Stakeholder-Analyse identifizierten potenziellen Nutzergruppen versandt und parallel dazu auf unterschiedlichen Kanälen publiziert, bspw. auf der Projektwebseite oder in Newslettern. Des Weiteren wurden Kommunen in ganz Deutschland über den Deutschen Städtetag und ICLEI angeschrieben. Diese vielfältige

Streuung der Umfrage ermöglichte, dass die Resultate die Anforderungen einer breiten Basis widerspiegeln. Dies wiederum unterstützt die Übertragbarkeit des neuen, praxistauglichen Stadtklimamodells PALM-4U auf unterschiedliche Nutzergruppen. Die Online-Umfrage hatte eine Laufzeit von zweieinhalb Monaten, von Mitte Februar bis Ende April 2017.

Die Online-Umfrage umfasste 44 Fragen, von denen 39 Pflichtfragen waren. Die Beantwortung der demographischen Fragen am Ende der Online-Umfrage war freiwillig. Eine überwiegende Mehrheit der Teilnehmer (83%) beantwortete auch diese Fragen und lieferte so weitere wertvolle Hintergrundinformationen. 43 Fragen wiesen ankreuzbare Antwortmöglichkeiten auf, wobei in 19 Fragen eigene Angaben in einem Zusatzfeld verfasst werden konnten. Lediglich die letzte Frage wurde als offene Frage gestellt und bot den Befragten die Möglichkeit, nicht berücksichtigte Punkte festzuhalten. 13% der insgesamt 108 Teilnehmer haben dieses Angebot wahrgenommen und einige Anmerkungen verfasst – zu einem kleinen Teil waren dies neue Informationen, zu einem maßgeblichen Teil hingegen wurden einige zuvor abgefragte Punkte nochmals verdeutlicht und auf deren Wichtigkeit hingewiesen.

Die Online-Umfrage wurde in sieben thematische Teilbereiche gegliedert:

- **Teil 1: Einstieg**
Drei Fragen, um etwas über den Bekanntheitsgrad sowie die Stärken und Schwächen von verfügbaren Stadtklimamodellen zu erfahren.
- **Teil 2: Nutzung von Stadtklimamodellen**
Neun Fragen zur Ermittlung möglicher Anwendungsgebiete des neuen Stadtklimamodells.
- **Teil 3: Potenzielle Nutzergruppen**
Zwei Fragen zur geschätzten Relevanz für einzelne Nutzergruppen sowie die präferierte Benutzeroberfläche (Basis- oder Expertenoberfläche).
- **Teil 4: Eingangs- und Ausgabedaten**
Sieben Fragen zu den verfügbaren Eingangsdaten (Planung, Umwelt und Meteorologie) und deren Charakteristiken. Vier Fragen zu den benötigten meteorologischen Ausgabedaten und deren Ergebnisdarstellung.
- **Teil 5: Gebrauchstauglichkeit**
Acht Fragen zur bevorzugten Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche, insbesondere im Hinblick auf ihre Tauglichkeit in der alltäglichen Praxis.
- **Teil 6: Technische Anforderungen**
Fünf Fragen zur potenziell nutzerbaren technischen Infrastruktur und der Relevanz von Schnittstellen zu weiteren Anwendungen.
- **Teil 7: Abschluss**
Fünf Fragen zum Hintergrund der und Teilnehmer sowie ein offenes Textfeld, um Punkte anzusprechen, die im Fragebogen unberücksichtigt bleiben.

An der Umfrage haben insgesamt 108 Personen aus ganz Deutschland teilgenommen und dabei insgesamt 11.108 Antworten gegeben. Die Rücklaufquote ist unklar, da keine

Informationen über die Größe der Emailverteiler von ICLEI und dem Deutschen Städtetag vorliegen. Des Weiteren wurde die Umfrage als PDF-Version zur Verfügung gestellt, sodass die Umfrage bspw. in Abteilungssitzungen gemeinsam ausgefüllt werden konnte. Von dieser Gelegenheit wurde Gebrauch gemacht, da einige ausgefüllte Feedbackbogen per Mail und Post zurückgesendet wurden. Ein Großteil der 108 Teilnehmer lässt sich auf folgende drei primären Nutzergruppen verteilen: 60% Kommunen / Städte, 18% Planungs- und Beratungsbüros und 15% wissenschaftliche Einrichtungen.

Die Anzahl der Rückmeldungen von den übrigen angeschriebenen potenziellen Nutzergruppen ist jeweils sehr gering. Dies kann viele Ursachen haben, über die man nur spekulieren kann. Zum einen konnten vergleichsweise wenige Vertreter aus der Versicherungsbranche und der Immobilienwirtschaft direkt angeschrieben werden, da meist nur auf allgemeine Emailadresse zurückgegriffen werden konnte. Zum anderen könnten diese Branchen wenig Handlungsbedarf im Bereich der Stadtklimamodellierung sehen beziehungsweise ihren Fokus auf andere Themengebiete legen.

Die Umfrage selbst sowie die Ergebnisse sind detailliert in Steuri et al. (2018) dargestellt. Die Ergebnisse der bedarfsorientierten Online-Umfrage führten zu einem besseren Verständnis von Bedürfnissen und Aspekten, die für unterschiedliche Fachbereiche von Bedeutung sind.

1.1.5. Schnittstellen zu existierenden Modellen und Werkzeugen

Unter dem Aspekt der Praxistauglichkeit für die Anwender aus den identifizierten Nutzergruppen wurden die potentiellen Schnittstellen von PALM-4U zu existierenden Modellen und Werkzeugen untersucht. Dabei wurden insbesondere die direkten Software-Schnittstellen zu PALM-4U analysiert und nach ihrer Praxistauglichkeit bewertet. Diese Schnittstellen umfassen sowohl die Aufbereitung von Daten aus unterschiedlichen Quellen im Pre-Processing als Input für das Stadtklimamodell, die Auswertung von Output Datensätzen aus dem Stadtklimamodell im Post-Processing und die direkte Modellkopplung zur Laufzeit der Simulation. Weitere Schnittstellen ergeben sich durch eine spätere Integration von Eingabedaten mit den aufbereiteten Datensätzen aus dem Post-Processing (z.B. zur anwendergerechten Visualisierung oder für interaktive Klimamodelle).

Auf Basis der Erkenntnisse aus den Testanwendungen (siehe Abschnitt 1.2) wurden weitere Schnittstellen identifiziert und spezifiziert, welche künftig noch zusätzliche Analysemethoden ermöglichen. Um die Anforderungen von *Third Party Software* in einer frühen Entwicklungsphase berücksichtigen zu können, wurde der Informationsfluss vom und zum Stadtklimamodell festgelegt (siehe Abbildung 5). Die Identifikation von anschlussfähigen Anwendungen und die Auswahl konkreter Tools zur Umsetzung der Schnittstellen

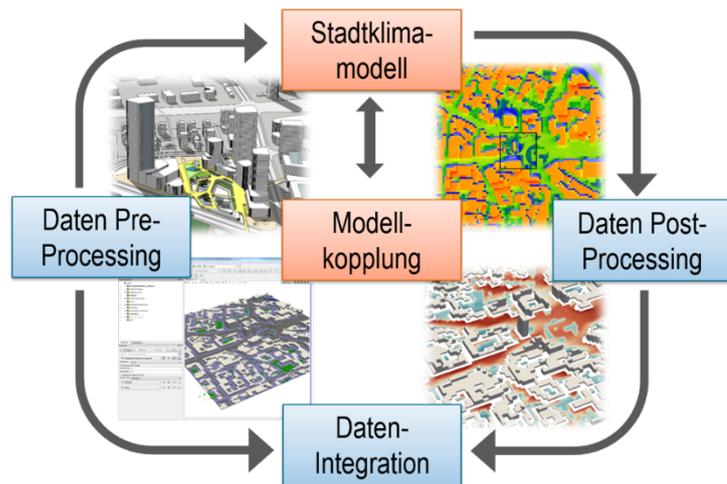


Abb. 5: Informationsfluss vom und zum Stadtklimamodell.
Quelle: Fraunhofer IBP

basierte auf den Fortschritten der Modellentwicklung (MOSAİK) und des Nutzerfeedbacks der Praxispartner. Des Weiteren wurden praxisrelevante und möglichst offene Datenformate zum Austausch identifiziert und in den Testanwendungen genutzt.

Es existieren bereits Methoden, Werkzeuge und Schnittstellen zur konsistenten und verlustfreien Datenübertragung aus Gebäude-/ Stadt-Datenmodellen in spezialisierte Berechnungsmodelle. Die hier untersuchten Planungswerkzeuge wurden hinsichtlich ihrer Eignung untersucht, mit offenen Software-Standards zu arbeiten. Um existierende Software-Lösungen sowie neue Planungs- und Simulationswerkzeuge nutzen zu können, mussten die erforderlichen Schnittstellen definiert und in einer späteren Entwicklungsphase des Stadtklimamodells implementiert werden. Einheitliche Schnittstellen und standardisierte Datenmodelle bildeten die Grundlage für homogene Workflows und automatische Konvertierungs- sowie Mapping-Routinen zwischen den Software-Komponenten. Langfristiges Ziel war die Verbesserung der Interoperabilität zwischen den verschiedenen bereits verfügbaren sowie in Entwicklung befindlichen Software-Lösungen. Ein wichtiges Kriterium wird künftig sein, dass die geschaffenen Schnittstellen es erlauben, die zum Einsatz kommenden Modelle auf den unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen verknüpfen zu können.

Bei der Definition und Entwicklung von Schnittstellen von und zu digitalen Planungs- und Simulationswerkzeugen müssen einheitliche und offene Software-Standards berücksichtigt werden. Hierzu zählen Methoden zur datenseitigen Kopplung zwischen digitalen Planungswerkzeugen und Simulations- bzw. Auswertungstools, sowie zur modellseitigen Kopplung zwischen PALM-4U und anderen numerischen Simulationswerkzeugen. Eine Besonderheit bieten hierbei moderne Skriptsprachen die zur Bearbeitung von großen, strukturierten Datenmengen immer häufiger genutzt werden und bereits in vielen ingenieurwissenschaftlichen Gebieten z.B. in Form von Plug-Ins intensiv eingesetzt werden. Im Folgenden werden die Kategorien von Software-Schnittstellen erläutert und beispielhafte Schnittstellenlösungen diskutiert.

Datenseitige Kopplung

Zur datenseitigen Kopplung von Werkzeugen wird häufig das ESRI Shapefile als Standard im GIS Bereich eingesetzt. Es ist zwar ein relativ einfaches und Format und bietet nur wenige Modellqualitäten, aber die Mehrzahl an GIS Daten steht bereits als Shapefile zur Verfügung. Ein weiterer Vorteil ist die weite Verbreitung des Formats. Im Bereich der CAD Austauschformate haben sich die von Autodesk entwickelten Standards weltweit durchgesetzt (.DWG/.DXF). Als quelloffene Schnittstelle wird der Datenstandard zwar durch keinen neutralen Normungsausschuss kontrolliert, jedoch ist Dokumentation zum DXF Format frei verfügbar. DXF ist ein geeigneter Datenaustauschstandard, um eine Liste von geometrischen Objekten zwischen Anwendungen unterschiedlicher Hersteller und Einsatzgebiete zur weiteren Verarbeitung zu übergeben. Im Gegensatz dazu ist die City Geography Markup Language (CityGML) ein GML-Schema zum Austausch von 3D-Stadtmodellen. Damit können Objekte in der Stadt, sowie das Gelände, einzelne Gebäude, aber auch Wasser- und Verkehrsflächen und unterschiedliche Arten der Vegetation modelliert werden. Das Format bietet die Möglichkeit, den Detaillierungsgrad mittels sogenannter Level of Detail (LoD) Kennzahlen zu bestimmen. Neben der rein geometrischen Beschreibung der Objekte lässt CityGML auch eine nähere Beschreibung der Inhalte zu. Die Objekte können nach ihrer Bedeutung und ihren räumlichen Beziehungen geordnet werden, was dem Stadtmodell eine zusätzliche Informationstiefe verleiht. CityGML basiert auf internationalen Standards des Open Geospatial Consortium (OGC) und der ISO TC211. Industry Foundation Classes (IFC) ist ein offenes, standardisiertes und hersteller-neutrales Datenformat mit einer objektorientierten Datenstruktur. Hiermit können ähnlich wie mit CityGML sowohl die Geometrie als auch die Semantik von Bauteilen beschrieben werden. Entwickelt wurde dieses Format ursprünglich von buildingSMART mit dem Ziel, ein plattformunabhängiges Datenmodell für Planungswerkzeuge im Bauwesen auszuarbeiten. Die IFC Datenstruktur basiert im Kern auf dem STEP-Datenstandard (ISO 10303). Neben den geometrischen Informationen einzelner Bauteile mit ihren LoD beschreibt das Austauschformat für Gebäudemodelle auch deren Eigenschaften und Objektbeziehungen durch die Modellierungssprache EXPRESS.

Daneben existieren eine Reihe von frei verfügbaren und offenen Dateiformaten zum Austausch von strukturierten Daten. Das offene Network Common Data Format (NetCDF) ist ein Dateiformat, das hauptsächlich für den Austausch wissenschaftlicher Daten verwendet wird. Das Hierarchical Data Format (HDF) bezieht sich vor allem auf die neueste Version HDF5. Das Datenformat wird für wissenschaftliche Anwendungen und die Speicherung großer Datenmengen verwendet. Im Bereich wissenschaftlicher Visualisierung wird ebenfalls das Visualization Toolkit (VTK) genutzt. Es ist ein frei verfügbares Open-Source Programm für 3-D Modellierung und Rendering. Daneben gibt es noch eine Reihe von generischen Austauschformaten für strukturierte Daten, welche eine breite Verwendung und Unterstützung durch frei verfügbare Programmbibliotheken erfahren (vgl. CSV, XML oder JSON). Diese Formate finden vor allem Einsatz bei Übertragung und Speicherung von strukturierten Daten von datenintensiven Anwendungen.

Modellseitige Kopplung

Im Vordergrund der Untersuchung von anschlussfähigen Simulationsmodellen stehen Gebäudesimulationstools, die aktuellen wissenschaftlichen Standards genügen. Im nSKM ist bereits ein integraler Baustein zur Simulation von Raumklimafaktoren und Gebäudeenergiebedarf implementiert [<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/doc/tec/indoor>]. Das Modell ist entsprechend der DIN EN ISO 13790: 2008 aufgebaut (RC-Modell mit drei Knoten) und erlaubt eine vereinfachte stündliche Bilanzierung. Dabei werden bereits die wesentlichen physikalischen Aspekte berücksichtigt, wie Material, Baujahr, Transmission und solare Wärmegewinne, Luftwechsel und interne Lasten in unterschiedlichen Zonen sowie Wärmerückgewinnung. Damit sind erste modellbasierte Annahmen zum thermischen Komfort in Gebäuden ableitbar (z.B. die operative Temperatur auf Grundlage von gemittelten Innenraumlufttemperaturen und Oberflächentemperaturen).

Eine gekoppelte bzw. integrierte mikroklimatische Stadtklimasimulation mit energetischer Gebäudesimulation besitzt besonders hohe Ansprüche an die skalenübergreifende Kopplung der Randbedingungen (Bruse und Schuster, 2008). Die wesentliche höhere Modellkomplexität von Gebäudesimulationsmodellen wie EnergyPlus [<https://energyplus.net/>], TRNSYS [<http://www.trnsys.com>], IDA-ICE [<https://www.equa.se/de/>] oder WUFI® Plus [<https://wufi.de/de/software/wufi-plus/>] muss jedoch mit der tatsächlichen Datenverfügbarkeit in Einklang gebracht werden. Gleichzeitig führt die Modellkopplung zu einem erhöhten Rechenaufwand, der in den meisten Fällen nicht nur Parallelisierung kompensiert werden kann. Vor allem für erstere Anforderung ist die Erweiterung von bereits verfügbaren statischen Gebäude- und Stadtmodellen hin zu einer Parametrierung für dynamische Modellkopplung eine wesentliche Voraussetzung. Die Gebäudemodelle in den unterschiedlichen Modellskalen (Mikroklima / Innenraumklima) müssen hinsichtlich der geometrischen und physikalischen Modellparameter angeglichen werden. Die Kopplungsvariablen zwischen Gebäudesimulation und Stadtklimamodell müssen entsprechend fein abgestimmt werden, so dass eine dynamisch gekoppelte Simulation zu jedem Zeitschritt konvergiert. Zu den variablen Randbedingungen zählen als wichtigste Einflussfaktoren das Strömungsfeld (d.h. Geschwindigkeitsvektoren); Lufttemperaturen nahe der Gebäudehülle; relative Feuchte; direkte und diffuse Solarstrahlung mit Berücksichtigung von Strahlungseffekten durch Verschattung und Reflexion (Gobakis und Kolokotsa, 2017). Davon abgeleitete Berechnungsgrößen sind der konvektive Wärmeübergang an der Gebäudefassade und der Bedachung. Aus dem Geschwindigkeitsfeld der umgebenden Luftmassen können Druckbeiwerte um die Gebäudekubatur gerechnet werden, so dass Gebäudeinfiltration und Ventilation genauer für das Gebäudesimulationsmodell bestimmt werden können. Der Einfluss von solaren Einträgen, und von mikroklimatischen Windverhältnissen auf das Raumklima und den Gebäudeenergiebedarf kann entsprechend detailliert dargestellt werden, falls die gekoppelten Modelle mit denselben Gitterweiten an den Außenflächen von Gebäuden operieren.

Generell folgt die zeitliche Auflösung der numerischen Simulation mit einem Stadtklimamodell und einem energetischen Gebäudesimulationsmodell unterschiedlichen Anforderungen. Während das nSKM derzeit nur dafür eingesetzt wird, um den Tagesgang für eine ganze Stadt oder ein Quartier zu simulieren, werden Gebäudesimulationen dazu genutzt, um den

voraussichtlichen Bedarf an Heiz- und Kühlenergie anhand eines typischen Klimadatensatzes für ein ganzes Jahr zu berechnen. Während die Rechenzeit auf einer leistungsstarken Workstation mit 32 Kernen für ein Stadtgebiet mit 10 Metern Auflösung für die stadtklimatische Simulation eines Tagesganges mehrere Stunden benötigt, kann eine Jahressimulation von einem Gebäudemodell auf einem gewöhnlichen PC oder Notebook in wenigen Minuten gerechnet werden. Optional kann das nSKM nicht im gekoppelten Modus, sondern zeitlich vorgeschaltet und für ein gesamtes Jahr ausgeführt werden, um einen spezifischen Wetterdatensatz zu erzeugen. Neben dem damit verbundenen Rechenaufwand verliert das nSKM dann auch die speziellen Eigenschaften, wie z.B. lokale Windturbulenzen zeitlich und räumlich hochaufgelöst darzustellen. Wird das Stadtklimamodell zum Zweck der Beurteilung von raumklimatischen Bedingungen gekoppelt, so würden sich zumindest die zeitlichen Randbedingungen angleichen, da z.B. bei der Betrachtung des thermischen Komforts meist nur Extremrandbedingungen von Interesse sind. Hier wäre die Simulation eines Tagesgangs z.B. an einem heißen Sommertag ausreichen, um die Hitzebelastung in den Innenräumen beurteilen zu können.

Das Functional Mock-up Interface (FMI) ist das Resultat einer Initiative der Automobilindustrie zur Etablierung eines Standards für Modellkopplung und Co-Simulation [<https://fmi-standard.org/>]. Der industrieweite Standard ermöglicht den Export von Simulationsmodellen für die Co-Simulation oder den Modellaustausch als Black Box Entity, die als Functional Mock-up Unit (FMU) bezeichnet wird. Externe, produktneutrale Simulationsplattformen mit sogenannten Master-Algorithmen zur Co-Simulation können FMUs als eigenständige Einheit oder in Verbindung mit anderen Simulationsmodellen unabhängig vom Quellwerkzeug ausführen. Dies ermöglicht die Kopplung von Modellen aus heterogenen Werkzeugen und zur Realisierung einer dynamischen Simulation unter Berücksichtigung verschiedener Planungsdisziplinen und physikalischer Domänen. Im Bausektor haben mehrere Beispiele die Anwendbarkeit und die Vorteile von FMI durch eine erweiterte Werkzeug-Interoperabilität gezeigt (Mitterhofer et al., 2016; Widl et al., 2014). Beispiele dienen zur Demonstration der FMI-Schnittstelle in bestehende Software und weisen der FMI-Technologie übereinstimmend deutliches Potential zu um die Kommunikation zwischen Tools und dadurch auch zwischen Planern zu verbessern. Eine allgemeine Methodik für die Anwendung von FMI im Gebäudebereich ist derzeit in Entwicklung. Das Building Controls Virtual Test Bed (BCVTB) ist z.B. eine frei verfügbare, quelloffene Software für Anwendungen der Co-Simulation im Bereich der Gebäudetechnik [<https://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb>]. Eine am IBP durchgeführte Arbeit untersucht das Potential von skalierbarer Gebäudeleistungssimulation auf Basis von FMI (Mitterhofer, 2018). Der Lösungsansatz für die modulare Simulation verfolgt hierbei den Einsatz wissenschaftlicher Methoden. Der Ansatz ermöglicht die automatische Ableitung einer Simulationstopologie auf der Grundlage der Informationen zu den Schnittstellenvariablen für unterschiedliche Detaillierungsebenen. Auch Informationen aus anderen Quellen wie Gebäudeinformationsmodellen (BIM) werden einbezogen.

Skript Programmierung

Neben der Möglichkeit der datenseitigen Kopplung mittels offener Datenstandards und der modellseitigen Kopplung mittels standardisierter Schnittstellen zur Co-Simulation gibt es eine weitere Möglichkeit, um Schnittstellen zwischen Softwareprogrammen zu realisieren. Vor

allem im akademischen und wissenschaftlichen Bereich gilt die Skriptsprache Python als eine der wichtigsten, um auch großen Datenmengen effizient verarbeiten zu können (McKinney, 2018) Es ist gratis verfügbar und leicht erlernbar. Außerdem wird es mit einer umfangreichen Standard-Bibliothek geliefert, welche durch eine immer größer werdende Entwicklergemeinschaft um viele weitere Programmbibliotheken erweitert wird. Als objektorientierte Programmiersprache ist sie auf vielen Plattformen verfügbar. Der Code wird zur Laufzeit von einem portablen Interpreter ausgeführt. Dadurch kann Python Code auch sehr gut in Anwendersoftware eingebunden werden (z.B. als Plug-in). R ist eine frei verfügbare Programmierumgebung für statistische Auswertungen und Visualisierung von komplexen Datensätzen. Die Sprache R wird von der wissenschaftlichen Gemeinschaft kontinuierlich weiterentwickelt. Alle neuen statistischen Methoden werden mit der Zeit auch in R integriert. Die gängigsten Datenformate können bereits importiert und verarbeitet werden. Für Ausgabedaten bietet R selbst einen quelloffenen Datenstandard.

1.1.6. Abschlussworkshop in Hamburg

Aufbauend auf den Ergebnissen der fragebogengestützten Anforderungserhebung fand ein gemeinsamer Modul C Abschlussworkshop der ersten Projektphase in Hamburg am Climate Service Center Germany statt. An dem Workshop nahmen Praxispartner sowie einige Vertreter der Module A und B teil. Das primäre Ziel des Workshops war es, den Teilnehmern die ersten Ergebnisse der Anforderungserhebung in Modul C vorzustellen und diese zu diskutieren, zu ergänzen und bei Bedarf zu verfeinern. Die Ergebnisse des Workshops sollten die Anforderungserhebung konkretisieren und vervollständigen, sodass sie in den nachfolgenden Arbeitspaketen weiterverwendet werden kann. Der eintägige Workshop wurde in drei Teile gegliedert:

- **Teil 1: Überblick Module A, B und C**

Die drei Module stellten ihren derzeitigen Arbeitsstand vor – Modul A zur Modellentwicklung, Modul B zur Erhebung der Beobachtungsdaten und Modul C zur Anforderungserhebung (jeweils eine Präsentation von UseUClim und KliMoPrax).

- **Teil 2: Gruppenarbeiten 1 und 2**

Im Vorfeld des Workshops wurden sechs Themenbereiche mit jeweils zwei bis drei Fragestellungen definiert, die sich für eine Gruppenarbeit am Workshop eigneten. Am Workshop wurden den Teilnehmern die Fragenkomplexe vorgestellt, aus denen sie dann jeweils zwei für die Gruppenarbeiten auswählen konnten. Anschließend wurden zwei Gruppen gebildet, in denen die Vertreter aus der Wissenschaft und der Praxis gleichmäßig verteilt waren.

Anschließend wurden die Fragestellungen in Zweiergruppen besprochen, zu zwei bis drei Kernaussagen zusammengefasst und schriftlich auf Moderationskarten festgehalten. Nach 20 Minuten wurden diese Aussagen der restlichen Gruppe vorgestellt und an der Metaplanwand thematisch gruppiert. Die gesammelten Kernaussagen wurden dann in der Gruppe diskutiert, ergänzt und verfeinert. Nach circa 45 Minuten wurden die Fragestellungen gewechselt.

- **Teil 3: Ausblick**

Zum Abschluss wurden die nächsten Arbeitsschritte in Modul C – Vervollständigung des Nutzer- und Anforderungskatalogs sowie die Vorbereitungen zu den Testanwendungen – vorgestellt und noch offene Fragen geklärt.

Im Rahmen der Gruppenarbeiten 1 und 2 wurden insgesamt vier Fragekomplexe besprochen (siehe Abbildung 6), um Anforderungen nicht nur zu diskutieren, sondern in Einzelfällen auch zu konkretisieren.

Während der Gruppendiskussion zeigte sich, dass nebst finanziellen Hindernissen insbesondere Datenschutzbelange die Bereitschaft zur Nutzung von externen Hochleistungsrechnern mindern. Dies könnte sich auf die zukünftige Anwendung des neuen Stadtklimamodells PALM-4U auswirken, da für komplexe Simulationen eine leistungsstarke – aber eben häufig nicht vorhandene – Hardwareinfrastruktur benötigt wird. Ob die Kommunen die Daten dann freigeben, oder sich direkt an einen Drittanbieter wenden, konnte nicht abschließend erfasst werden.

Des Weiteren zeigte es sich, dass die Berechnungszeit ein komplexes Thema ist und bleibt – auch dann, wenn Praxispartner und Wissenschaft direkt im (analogen) Dialog stehen. Die Angaben der Praxispartner bezogen sich meist auf die zu simulierende Gebietsgröße. Zu weiteren maßgeblichen Einflussgrößen – in etwa die Auflösung (räumlich und zeitlich), der Rechenmodus (RANS oder LES) oder die verfügbare Hardware – wurden keine spezifischen Angaben gemacht. Dies liegt vermutlich zum einen daran, dass solche Parameter nur von fachnahen Experten näher konkretisiert und zueinander in Bezug gesetzt werden können. Zum anderen ist es für alle Beteiligten schwierig, verbindliche Angaben zur Rechenzeit einzelner Simulationen aussagen zu verfassen, solange die genauen Spezifikationen des neuen Stadtklimamodells PALM-4U nicht klar sind.

1.1 // RECHNERINFRASTRUKTUR UND BERECHNUNGSZEIT

- Was verstehen Sie unter einer „schnellen Berechnungszeit“?
 - In Bezug auf die Simulation (Aufgabenstellung, Fläche und Auflösung)?
 - In Bezug auf die zur Verfügung stehenden Rechnerinfrastruktur?
- Wie hoch ist Ihre Bereitschaft, externe und kostenpflichtige Hochleistungsrechner einzusetzen?
- Wie hoch ist die maximal mögliche Berechnungszeit, damit Sie selber Simulationen durchführen?

1.2 // EINGANGS- UND MESSDATEN

- Welche Eingangsdaten stehen Ihnen zur Verfügung?
 - In Bezug auf die Qualität, Konsistenz und Aktualität?
 - Ist der Austausch von Daten mit anderen Abteilungen und // oder Institutionen möglich?
- Wünschen Sie sich voreingestellte Standardwerte, sodass im Falle fehlender Informationen PALM-4U trotzdem betrieben werden kann?
- Verfügen Sie über die Ressourcen, eigene Messkampagnen durchzuführen?

1.3 // SCHNITTSTELLEN ZU ANDEREN SOFTWARES

- Mit welchen Softwares soll PALM-4U kompatibel sein?
- Aus welchen Softwares würden Sie Daten an PALM-4U übergeben?
- Mit welchen Softwares würden Sie die Modellergebnisse weiterbearbeiten?
- Welche GIS- und CAD-Programme sowie Visualisierungstools verwenden Sie konkret?

2.1 // GRAFISCHE BENUTZEROBERFLÄCHE

- Welches sind Ihre Mindestanforderungen an die grafische Benutzeroberfläche (GUI)?
- Welche Elemente benötigt die GUI zwingend, sodass sie aus Ihrer Sicht bedienfähig und gebrauchstauglich ist?
- Bevorzugen Sie die GUI in deutscher oder englischer Sprache?
- Sofern es zwei Versionen der GUI geben wird: würden Sie bevorzugt die Basisoberfläche (wichtigste Funktionen und voreingestellte Standardwerte) oder die Expertenoberfläche (volle Funktionspalette) verwenden?

2.2 // ERLERNBARKEIT UND SCHULUNGEN

- Über welche Kenntnisse in der Stadtklimamodellierung verfügen Sie beziehungsweise die Personen, die voraussichtlich mit PALM-4U arbeiten werden?
- Welche technische Infrastruktur steht Ihnen für die Anwendung von PALM-4U zur Verfügung?
- Welche Hilfestellungen erachten Sie für die selbständige Anwendung von PALM-4U als besonders hilfreich?
- Erachten Sie regelmäßige Aufbau- und Auffrischungsschulungen für sinnvoll?

2.3 // MODELLERGEBNISSE UND INTERPRETATIONSHILFEN

- Welche Aspekte der Ergebnisdarstellung erachten Sie als besonders relevant?
- Welche unterstützenden Unterlagen* benötigen Sie, damit die Modellergebnisse korrekt interpretiert und in der Stadtentwicklung stärker berücksichtigt werden?

* Richt-, Grenz- oder Orientierungswerte; Empfehlungen und Handlungsanweisungen; einheitliche Werteskala bei Vergleichen, ...

Abb. 6: Übersicht über die Fragestellungen am Workshop in Hamburg, wobei 1.3 und 2.1 nicht besprochen wurden. Quelle: Steuri et al. (2018)

In Bezug auf die **Eingangs- und Messdaten** wurden grundsätzlich große Unsicherheiten festgestellt. So ist es häufig unklar, welche Daten den Praxispartnern überhaupt (flächendeckend) zur Verfügung stehen und welche dazugehörigen Metainformationen

vorhanden sind. Die Strategie von Modul B, die erhobenen Messdaten nach einem differenzierten und einheitlichen Schema mit Metadaten zu versehen, erachteten die Praxispartner als sinnvoll.

Um sinnvolle Simulationen durchführen zu können, muss für die Praxispartner zudem klar ersichtlich sein, welche Daten in welcher Qualität und Auflösung benötigt werden. Diese Informationen könnten im Rahmen des Benutzerhandbuchs erarbeitet werden. Als Hilfestellung für die Durchführung zukünftiger Messkampagnen wurde es als hilfreich erachtet, die Rahmenbedingungen für das Erheben von „PALM-4U-tauglichen“ Beobachtungsdaten zu verfassen und im Benutzerhandbuch zu verankern.

Im Rahmen des Workshops konnte zudem ermittelt werden, wie viel Zeit die Praxispartner für **Schulungen** aufwenden möchten. Für UseUCLim war diese Information hilfreich für das Erarbeiten der Vor-Ort-Schulungen für die zweite Projektphase Experimentieren. Es hat sich gezeigt, dass die Praxispartner unterschiedlichen Schulungsformaten sehr offen gegenüberstehen, trotzdem konnte die Präferenz für das Benutzerhandbuch und der Vor-Ort-Schulungen aus der Online-Umfrage bestätigt werden.

In Bezug auf die Modellergebnisse hat die Diskussion sehr deutlich gezeigt, dass nicht die Modellergebnisse allein ein nutzertaugliches Resultat ergeben, sondern dass deren Eigenschaften sowie eine Reihe weiterer essentieller Elemente dazugehören. Das Erstellen von Vorlagen ist wichtig, um Simulationen effizienter durchführen zu können und zugleich die visuelle Sprache der jeweiligen Kommune oder des jeweiligen Unternehmens aufzunehmen. Die Differenzdarstellung ist zentral für die Kommunikation von Modellergebnissen – Auswirkungen auf das Stadtklima sind durch die Visualisierung der Vorher-Nachher-Situation schnell erfassbar, auch für fachfremde Personen.

Des Weiteren wurde das Ergebnis aus der Online-Umfrage in Bezug auf Wichtigkeit einer Schnittstelle zu GIS-Anwendungen bestätigt. Eine solche Schnittstelle ist gemäß Praxispartnern essentiell, denn sie ermöglicht die „einfache“ Weiterverarbeitung der Modellergebnisse. Damit kann das Thema Stadtklima anderen Behörden zugänglich gemacht und, im besten Falle, die ressortübergreifende Zusammenarbeit gefördert werden.

Die im Vorfeld des Workshops festgelegten Ziele wurden erreicht. So konnten die in den Gruppenarbeiten besprochenen Anforderungsbereiche konkretisiert und Ergebnisse aus der Online-Umfrage bestätigt werden. Dadurch konnte die Anforderungserhebung vervollständigt werden.

Ganz im Sinne des Living Lab Konzepts diente der Workshop als Plattform für den Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis (Westerlund & Leminen, 2011). Die Praxispartner diskutierten die vorgegebenen Fragen, bei Bedarf konnten die Experten aus den Modulen A

und B weiterführende Informationen zur Verfügung stellen. Zugleich fungierten die Praxispartner als Wissensträger, denn sie gaben den Wissenschaftlern wesentliche Hinweise auf die zukünftige Anwendungsumgebung des neuen Stadtklimamodells PALM-4U. Das heißt, ein wechselseitiger Lernprozess fand zwischen den nicht-wissenschaftlichen und wissenschaftlichen Akteuren statt (Roelofsen et al., 2011). Die Vertreter aus Modul-C nahmen vorwiegend die Rollen der Moderation und Vermittlung ein und sorgten für eine neutrale Kommunikationsbasis.

Die Vorgehensweise mit der Themenauswahl für die Gruppenarbeiten wurde von den Teilnehmern als sehr sinnvoll eingestuft – die finale Entscheidung oblag den Praxispartnern und so wurden die aus Praxissicht wichtigsten Themenbereiche diskutiert. Allerdings zeigte sich diverse Male, dass das Thema praxistaugliche Stadtklimamodellierung äußerst komplex ist. Die Vielschichtigkeit des Themas, insbesondere die zahlreichen wechselseitigen Beziehungen (bspw. Gitternetzweite – Rechenzeit, ...), führten zwischen den Modellentwicklern und den Praxispartnern zu einer spürbaren Kluft. Um zumindest den komplizierten Aufbau des neuen Stadtklimamodells PALM-4U nachvollziehbar erklären zu können, wären eine schematische Grafik sowie eine Art Fact-Sheet mit den wichtigsten Funktionen und dazugehörigen Eingabeparametern sehr hilfreich gewesen. Diese Themen werden in den weiteren Arbeitspaketen von UseUClim behandelt, der Workshop hat deren Plausibilität und Bedeutsamkeit nochmals unterstrichen.

1.1.7. Nutzer- und Anforderungskatalog als finales Produkt der Anforderungserhebung

Die Ergebnisse der Anforderungserhebung aus den beiden Verbundprojekten UseUClim und KliMoPrax wurden in einem Nutzer- und Anforderungskatalog (NAK) zusammengestellt. Er stellt damit zugleich ein zentrales Element zur Überprüfung der Praxis- und Nutzertauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U dar. Der NAK bildet jedoch nicht nur eine Grundlage für nachfolgende Arbeitspakete, sondern ist zugleich ein Kommunikationswerkzeug zwischen den drei Modulen. In Abstimmung mit den Modulen A und B wurden sowohl die Struktur als auch die finalen Formulierungen der einzelnen Anforderungen festgelegt. Dank dieser Herangehensweise reflektiert er nicht nur die Praxisperspektive, sondern liefert den Wissenschaftlern aus den Modulen A und B zugleich einen Impuls für die Umsetzung der erhobenen Anforderungen.

Der Katalog ist zweiteilig aufgebaut. Der erste Teil des Katalogs besteht aus einer tabellarischen Erfassung der einzelnen Anforderungen, der zweite Teil aus dazugehörigen Erläuterungen und Hintergrundinformationen (Steuri et al., 2018a; Weber et al., 2018). In Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern von KliMoPrax konnte von unterschiedlichen potenziellen Nutzergruppen eine Vielzahl von Anforderungen an die Praxis- und Nutzertauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U erfasst werden. Insgesamt wurden während der ersten Projektphase 240 Anforderungen erhoben und in der NAK-Tabelle systematisch in fünf Kategorien zusammengestellt:

1. Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen
2. Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen
3. Eingangsdaten
4. Ausgabedaten
5. Graphische Benutzeroberfläche (GUI)

Eine vorfinale Version des Nutzer- und Anforderungskatalog wurde den Verbund- und Praxispartnern des Forschungsprojektes „Stadtklima im Wandel“ im Januar 2018 zur Verfügung gestellt. In dieser Version sind sämtliche Anforderungen enthalten, die UseUClim und KliMoPrax im Rahmen der ersten Projektphase erfasst haben. Zum Projektende wurde eine aktualisierte – finale – Version des Nutzer- und Anforderungskatalogs publiziert, die auch die Anforderungen enthält, die im Laufe der Testanwendungen in der zweiten Projektphase ermittelt werden.

Damit die NAK-Tabelle eine geeignete Basis für nachfolgende Arbeitspakete bildet, müssen bestimmte Qualitätskriterien erfüllt werden. Gemäß dem Standard ISO/IEC/IEEE 29148:2011 sollte ein Dokument, das Anforderungen an ein Softwareprodukt formuliert, folgenden Kriterien gerecht werden (Pohl & Rupp, 2015):

- Eindeutigkeit, sodass die einzelnen Anforderungen nur eine Interpretation zulassen.
- Modifizierbarkeit und Erweiterbarkeit, damit Anforderungen neu hinzugefügt, nachträglich angepasst oder bei Bedarf entfernt werden können.
- Vollständigkeit, sodass alle Anforderungen aufgeführt und die formalen Notwendigkeiten (Quellenangaben, Verweise, Abkürzungen, ...) erfüllt sind.
- Verfolgbarkeit von Änderungen, damit der Anforderungskatalog mit vorangegangenen beziehungsweise nachfolgenden Entwicklungsphasen in Beziehung gesetzt werden kann.
- Klare Struktur, damit das Dokument für sämtliche Stakeholder verständlich und gut lesbar ist.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden die Anforderungen in einer Tabelle zusammengestellt (siehe Abbildung 7). Dank des tabellarischen Aufbaus konnte jede Anforderung klar strukturiert, umfassend beschrieben, adressiert und nachverfolgt werden (Schienmann, 2002; BSI, 2016). Zudem zeichnet sich eine solche Tabelle nicht nur durch eine gute Lesbarkeit aus, sondern kann bei Bedarf – bspw. nach den Testanwendungen – mühelos erweitert werden. Insbesondere im Hinblick auf die Klassifizierung der Anforderungen war es essentiell, dass pro Zeile jeweils nur eine Anforderung beschrieben wird. Die einzelnen

Anforderungen wurden nach Pohl & Rupp (2015) in jeweils drei bis maximal fünf kurzen Sätzen und mit eindeutigen, unmissverständlichen Formulierungen beschrieben.

Perspektive Praxis						Perspektive Wissenschaft		
Nr.	Kat.	ID	Beschreibung Basisanforderung	Relevanz	zuständig zur Umsetzung	Beschreibung Abnahmekriterien	Verfasser	Umsetzbarkeit
...
75	4.1	4.2-74	Das nSKM muss in der Lage sein, Wärmeinseln (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas zu simulieren.	+++	Modul A	Das nSKM ist in der Lage, Wärmeinseln (gemäß VDI 3785, Blatt 1) als Teil des planungsrelevanten Stadtklimas in geeigneter Auflösung zu simulieren.	GERICS	+
...
190	4.5	4.5-190	Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) des nSKM muss in deutscher Sprache zur Verfügung gestellt werden.	+++	Modul A	Die GUI des nSKM liegt in deutscher Sprache vor.	GERICS	+
231	4.5	4.5-231	Die GUI des nSKM muss in englischer Sprache zur Verfügung gestellt werden.	++	Modul A	Die GUI des nSKM liegt in englischer Sprache vor.	GERICS	-

Abb. 7: Aufbau des Nutzer- und Anforderungskatalogs (NAK). Quelle: Steuri et al. (2018)

Zusätzlich wurde die Relevanz von jeder erfassten Anforderung festgelegt. Die Relevanz konnte durch mehrere Parameter bestimmt werden, zum Beispiel durch die Ergebnisse der Online-Umfrage oder den Rückmeldungen aus den Workshops mit den Praxispartnern. Jede Anforderung wurde daher bezüglich ihrer Realisierungspriorität einer der folgenden Relevanzklassen zugeordnet (IEEE, 1998):

- +++ essenziell, zwingend zu realisierende Anforderung, um die Praxistauglichkeit des Stadtklimamodells PALM-4U sicherzustellen,
- ++ vorbehaltlich, die Vernachlässigung einzelner Anforderungen dieser Klasse wird die Praxistauglichkeit des Stadtklimamodells PALM-4U nicht gefährden,
- + optional, die Nichtberücksichtigung dieser Anforderungen wird die Praxistauglichkeit des Stadtklimamodells PALM-4U nicht gefährden.

Alle Spalten außer der Spalte „Umsetzbarkeit“ spiegeln die Perspektive der Praxis wider und wurden von den Modul-C-Verbundpartnern ausgefüllt. Die Bewertung der „Umsetzbarkeit“ erfolgte durch Vertreter der Module A und B, da nur sie die hierfür benötigte Expertise aufweisen. Die Umsetzbarkeit der Anforderungen wurde wie folgt eingeteilt:

- + = umsetzbar laut Projektplan
- 0 = umsetzbar in (möglicher) zweiter Phase
- = derzeit nicht umsetzbar
- s = Bewertung ausstehend

Ein Entwurf des Nutzer- und Anforderungskatalogs wurde im Juli 2017 an die Module A und B übergeben. In der NAK-Tabelle, vorliegend im Excel-Format, konnten sie die einzelnen Anforderungen prüfen, gegebenenfalls kommentieren und direkt mit einer entsprechenden Umsetzungskategorie versehen. Nicht alle Anforderungen konnten auf Anhieb mit einer Umsetzungskategorie bewertet werden, da sie nicht immer spezifisch genug formuliert waren. Nach einer Überarbeitungsphase in den beiden Modul-C-Konsortien wurden die umgeschriebenen Anforderungen mit Vertretern der Module A und B besprochen und anschließend gemeinsam kategorisiert.

Der vorfinale Nutzer- und Anforderungskatalog bündelt und strukturiert alle bis zum Herbst 2017 erfassten Anforderungen aus der Praxissicht – zum einen für die Modellentwicklung (Modul A) und zum anderen für die Durchführung der Messkampagnen zur Validierung und Verifizierung der Modellergebnisse (Modul B).

Dieser Katalog ist ein Kommunikationsinstrument, mit dem die Anforderungen aus der Praxis systematisch festgehalten und der Wissenschaft zur Verfügung gestellt werden können (Halbig et al., 2018). Er dokumentiert sämtliche Anforderungen, die aus Sicht der Nutzer erfüllt sein müssen, damit die Bedienung und der Einsatz des neuen Stadtklimamodells PALM-4U gebrauchstauglich und zielorientiert erfolgen kann. Der NAK wurde daher den Modulen A und B zur weiteren Verwendung übergeben und es wird erwartet, dass er das wissenschaftliche Verständnis von praxisorientierten Nutzeranforderungen voranbringen wird.

Der iterative Abstimmungsprozess war essentiell für die modulübergreifende Akzeptanz des Nutzer- und Anforderungskatalogs. Da nicht unbedingt davon auszugehen war, dass allen Projektbeteiligten die Bedeutung des Themas „Praxistauglichkeit“ – das Kernstück des zu entwickelnden Stadtklimamodells PALM-4U – bewusst war. Durch den Diskurs konnte ein gemeinsames Verständnis eines „praxistauglichen“ Stadtklimamodells geschaffen und die modulspezifischen Sichtweisen auf den NAK geklärt werden. Die nicht umsetzbaren Anforderungen sollen keinesfalls als Kritik am neuen Stadtklimamodell PALM-4U verstanden werden, sondern aufzeigen, wo in Zukunft Weiterentwicklungsbedarf und somit Forschungspotenzial für die Wissenschaft besteht.

Die große Bandbreite der aktuell 240 festgehaltenen Anforderungen ist damit begründet, dass diese vorläufige Version des NAK sämtliche integrierten Ergebnisse der teilweise separat durchgeführten analytischen und empirischen Arbeiten der Verbundprojekte KliMoPrax und UseUCLim enthält (Weber et al., 2018). Da Modul C die Bedarfe der Praxis widerspiegelt, wurden alle nutzerseitig eingebrachten Anforderungen unvoreingenommen und ungefiltert in

den NAK integriert sowie – in Absprache mit den Modulen A und B – so spezifisch wie möglich formuliert.

Im Nutzer- und Anforderungskatalog gibt es einige Anforderungen, die aus Sicht der Anwender zwar eine hohe Praxisrelevanz aufweisen, aber von der Modellentwicklung in der ersten Phase der Fördermaßnahme (noch) nicht umgesetzt werden können. In einer möglichen zweiten Förderphase von „Stadtklima im Wandel“ sollte daher die Umsetzung dieser Anforderungen eine hohe Priorität haben, um die Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U weiter zu optimieren. Folgende Themenbereiche gehören dazu:

- Niederschlag – vor allem in Form von Regen – erachten die Praxisakteure als relevante meteorologische Größe (siehe bspw. Anforderung 4.2-92). Dies wurde sowohl an den Workshops mehrfach zur Sprache als auch in der Online-Umfrage zum Ausdruck gebracht.
- Die Datenaufbereitung stellt die Praxispartner vor große Herausforderungen. Insbesondere die räumliche, zeitliche und inhaltliche Konsistenz der Eingangsdaten kann oft nicht gewährleistet werden. Zudem ist eine Vereinheitlichung der Datensätze mit einem hohen Zeitaufwand verbunden (siehe bspw. Anforderung 4.3-130).
- Planungsdaten stehen häufig in GIS- oder CAD-Formaten (DXF, DWG) zur Verfügung. Diese Datenformate sollten als Eingangsdaten verwendet werden können. Gleichzeitig sollte es möglich sein, die Ausgabedaten des neuen Stadtklimamodells PALM-4U für GIS- und CAD-Anwendungen weiterverwenden zu können (siehe bspw. Anforderung 4.3-134).
- Um die Modellergebnisse korrekt interpretieren zu können, sollten unterstützende Informationen mitausgegeben werden. Hierfür gehören zum Beispiel Angaben über die Belastbarkeit der Ergebnisse oder Verweise auf relevante Unterlagen, die für die Interpretation hinzugezogen werden können (siehe bspw. Anforderungen 4.4-165 und 4.4-179).

1.1.8. Lessons learned der ersten Projektphase

Die Erstellung des Nutzer- und Anforderungskataloges hat, neben den konkreten Ergebnissen, vor allem sehr deutlich gezeigt, dass eine ernst gemeinte Einbindung von Praxisakteuren in ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben einen aufwändigen Abstimmungsprozess zwischen Wissenschaft und Praxis erfordert. In der vermittelnden Rolle zwischen diesen beiden Domänen müssen die Anforderungen der Praxis nicht nur erhoben werden - sie müssen zusätzlich so aufbereitet werden, dass sie von der Wissenschaft verstanden werden können. Die Wissenschaft mit der Verwendung ihrer fachspezifischen Terminologie ist häufig nicht in der Lage, Terminologien aus anderen Fach- oder Anwendungsbereichen zu dechiffrieren. Die verständliche Aufbereitung der Anforderungen aus der Praxis erfolgt daher in einem „Verhandlungsprozess“, der viel Zeit benötigt. Verständlich bedeutet dabei, dass die Anforderungen in einer „Sprache“ und „Didaktik“ aufbereitet werden müssen, die dem

Empfänger vertraut ist. Aus diesem Grund wurden die Anforderungen in tabellarischer Form (mit Unterstützung der Zielgruppe, hier: der Wissenschaft) präzise formuliert, was in Textform nicht möglich gewesen wäre. Wichtig dabei zu betonen ist, dass die vermittelnde Institution – hier: GERICS – im Sinne eines Usability-Engineering-Prozesses Verständnis von beiden Positionen hat, zwischen denen transparent vermittelt werden soll. Die Tätigkeiten dieser vermittelnden Institution sind „(...) vergleichbar mit der eines Architekten, der mit einem Bauherrn zunächst die Nutzungs- oder Wohnqualität eines Objekts plant, bevor ein Bauingenieur die technische Ausführung übernimmt“ (DAkKS, 2010, 74).

Allerdings ist zu beachten, dass die Vermittlung nicht nur im Rahmen des transdisziplinären Arbeitens – also zusammen mit den Projektpartnern aus Wissenschaft und Praxis – von Bedeutung war. Die erste Projektphase zeigte auch, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit Herausforderungen mit sich bringt. Die Vertreter der einzelnen wissenschaftlichen Fachdisziplinen verfügen nicht nur über spezifische Denk- und Arbeitsweisen, sondern haben auch eine eigene Vorstellung über das jeweils „richtige“ Vorgehen. Auch hier waren intensive Abstimmungsprozesse nötig, die Kernaspekte der transdisziplinären Zusammenarbeit – also Konsens, Integration und Diffusion – gemeinsam zu definieren (Defila et al., 2006).

Im Rahmen von UseUCLim erfolgte die Erstellung des Nutzer- und Anforderungskatalogs – wie zuvor bereits beschrieben – in Zusammenarbeit mit KliMoPrax und in Absprache mit den Modulen A und B. Zusätzlich wurde der NAK mit der Modul C Steuerungsgruppe abgestimmt. Dieses Gremium besteht aus Vertretern der Wissenschaft und der kommunalen Verwaltung. Nebst zahlreichen Telefonaten und Emails beinhaltete die Erstellung des Nutzer- und Anforderungskataloges die folgenden Treffen:

- **September 2016**
Modul-C-Workshop mit den Praxispartnern in Köln
Erfassung erster Anforderungen
- **November 2016**
Modul-C-Treffen mit der Steuerungsgruppe in Köln
Vorstellung des NAK-Konzepts
- **März 2017**
Modul-C-Treffen in Dortmund
Konkretisierung des NAK-Konzepts
- **April 2017**
Treffen der Module A, B und C in Dortmund
Vorstellung und Festlegung der NAK-Struktur
- **Mai 2017**
Modul-C-Workshop mit den Praxispartnern in Hamburg
Konkretisierung der erfassten Anforderungen

- **Mai 2017**
Modul-C-Treffen in Hamburg
Konsistenzprüfung der Anforderungen
- **November 2017**
Treffen der Module A, B und C in Hannover
finale Formulierung der Anforderungen und Bewertung ihrer Umsetzbarkeit
- **Januar 2018**
Koordinationstreffen der Module A, B und C in Berlin
Übergabe der vorfinalen NAK-Version an die Module A und B sowie Veröffentlichung auf der Projektplattform

1.2. Experimentieren

Die nachfolgenden Ausführungen der Kapitel 1.2 und 1.3 (mit Ausnahme von Abschnitt 1.2.3) basieren im Wesentlichen auf Steuri et al. (2019): Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U – Teil 2: Erläuterungen. In: Steuri, B., Heese, I. (Hrsg.), Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U, (21-59). Einige Textpassagen wurden angepasst, gekürzt oder gestrichen.

Der Evaluationsbericht ist ein gemeinsames Produkt der Projektverbünde UseUCLim und KliMoPrax. Die im vorliegenden Schlussbericht des Verbundvorhabens UseUCLim vorgestellte Inhalte fokussieren auf die im Rahmen des UseUCLim-Projektes durchgeführten Arbeiten. Die im Zwillingsprojekt KliMoPrax durchgeführten Arbeiten können dem Originaldokument entnommen werden, das auf der Modul C Homepage unter <https://uc2-klimoprax-useuclim.org/> zur Verfügung steht.

Die Erkenntnisse der Projektphase „Experimentieren“ bilden die Grundlage für die anschließende und letzte Phase „Evaluieren“. Um die Erkenntnisse übertragen und weiterverwenden zu können war es daher bereits frühzeitig notwendig diesen Informationsfluss zu bestimmen. Daher wurden als Vorbereitung des „Experimentierens“ bereits die Kriterien für die Evaluation festgelegt und die Projektphase um diese Kriterien herum, unter Berücksichtigung der Erkenntnisse des „Explorierens“, entwickelt. Alle evaluationsbezogenen Aktivitäten sind in Kapitel 1.3 beschrieben, wenngleich die Arbeiten im Projekt aus arbeitsorganisatorischen Gründen zum Teil parallel abgelaufen sind.

Auch die wissenschaftlichen Partner in UseUCLim mussten den Umgang mit PALM-4U zuerst selbst erlernen. Dies wurde durch Seminar- sowie Supportangebote des IMUK sowie durch den verbundübergreifenden Erfahrungsaustausch maßgeblich unterstützt. Anschließend wurden interne Testanwendungen zunächst zur Vorbereitung und Entwicklung der späteren Anwenderschulungen durchgeführt. Anschließend hatten dann die Praxispartner aus UseUCLim die Möglichkeit das Modell in zwei Schulungs- und Selbstanwendungsphasen kennenzulernen und zu testen und Nutzerfeedback zu geben. Die Nutzerintegration wurde dabei von drei Workshops begleitet: Einen Einführungsworkshop in Leipzig (Januar 2018),

einem Feedbackworkshop in Holzkirchen (September 2018) sowie einem gemeinsam mit KliMoPrax veranstalteten Abschlussworkshop für Modul C in Dortmund (März 2019).

Im Zuge der Vorbereitung stellte sich heraus, dass die für den praktischen Einsatz von PALM-4U nötige Hardware die bei den Praxispartnern vorhandene Hardware-Ausstattung deutlich übersteigt. Aufgrund der frühen Entwicklungsphase waren sehr kostenintensive Hardwareanschaffungen der Praxispartner nicht vertretbar. Um die Schulungen zu ermöglichen, stellte das HZG-GERICS einen PALM-Server aus eigenen Mitteln für die restliche Projektlaufzeit als projektinterne Server-Kapazität zur Verfügung. Der Betrieb und die Verwaltung des Servers wurden vom Fraunhofer IBP übernommen. Der PALM-Server wurde mit der GUI von PALM-4U gekoppelt, sodass die Praxispartner den Server für die Schulungs- und Selbstanwendungsphasen nutzen konnten.

1.2.1. Vorbereitung und Durchführung von Testanwendungen

Für die Evaluation und Verbesserung der Praxistauglichkeit von PALM-4U verfolgt UseUCLim einen Living-Lab-Ansatz, bei dem die im Projekt beteiligten Praxispartner direkt in den Entwicklungsprozess eingebunden werden und das Modell selbst anwenden. Dazu wurden die Praxispartner in zwei Schulungs- und Anwendungsphasen darin befähigt PALM-4U selbst kennenzulernen und anzuwenden. Zur Vorbereitung der Schulungen sowie zur Erprobung und Evaluation einzelner Modellkomponenten führte das Fraunhofer IBP zusätzlich interne Testanwendungen durch.

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 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, vgl. Kapitel 1.3.1) oder deren Prüfung tiefere Tests bedingten, die im Rahmen von Schulungen nicht durchgeführt werden konnten. Dazu gehören vornehmlich Anforderungen an einzelne Modellfähigkeiten.

Nutzerbeteiligung: Anwenderschulungen und Selbstanwendung

Die Praxispartner wurden in zwei Schulungsphasen in der Handhabung des Modells geschult. Anschließend konnten sie jeweils für mehrere Monate selbstständig mit PALM-4U arbeiten. Die Bedienung des Modells erfolgte dabei ausschließlich über die graphische Benutzeroberfläche (GUI), wodurch auch der Schwerpunkt der Evaluation der

Praxistauglichkeit in UseUCLim auf der GUI lag. Abbildung 8 zeigt Impressionen aus den Schulungen



Abb. 8: Impressionen aus den Vor-Ort-Schulungen. Quelle: Steuri et al. (2019).

Erste Schulungsphase

In der **Schulungsphase I** (Mai – Juni 2018) lag der Fokus auf dem Testen und Verbessern der vorliegenden prototypischen Modellbasis, v.a. der GUI. Diese lag während der Schulung in einer frühen Version mit eingeschränkter Funktionalität vor. Über die GUI konnten zu diesem Zeitpunkt allgemeine Setups mit wenigen Auswahlmöglichkeiten (z.B. Auswahlmöglichkeiten für klimatische Randbedingungen oder auszugebende Ergebnisse) erstellt und Simulationen durchgeführt werden. Eingangsdaten („static driver“ und „dynamic driver“) konnten nicht bearbeitet werden und mussten im Vorfeld außerhalb der GUI aufbereitet werden. Es wurden daher praktische Beispiele und Anwendungsszenarien entwickelt und während der

Schulungen genutzt um die Praxispartner in die Arbeit mit PALM-4U einzuführen. Die Anwendungsszenarien wurden dabei so gewählt, dass sie sowohl typische Szenarien aus der kommunalen Planungspraxis als auch einzelne Anwendungsmöglichkeiten sowie Funktionalitäten von PALM-4U repräsentieren (siehe Abbildung 9).

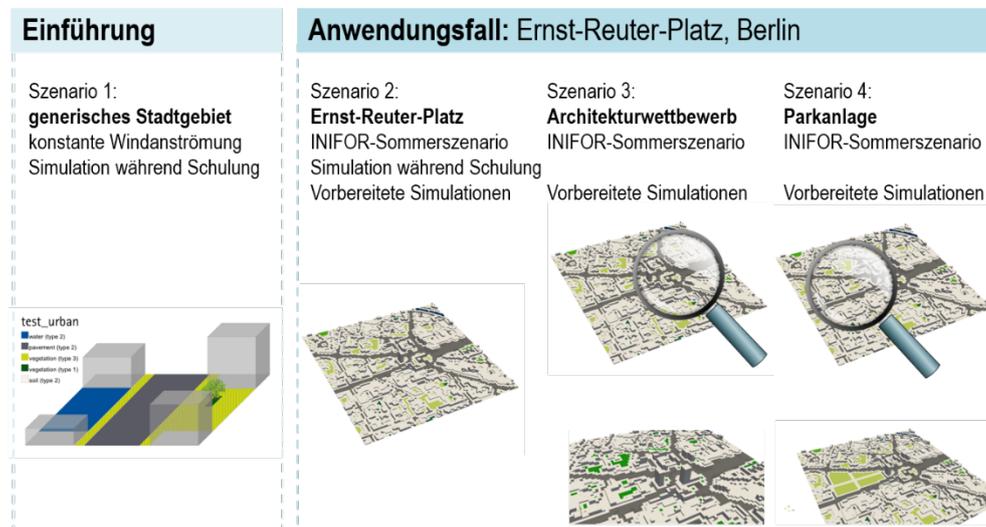


Abb. 9: In der Schulungsphase I bearbeitete Szenarien. Quelle: Fraunhofer IBP

Zum Zeitpunkt der Schulungen konnten Simulationsergebnisse nicht auf der GUI visualisiert werden. Daher wurde das im Rahmen der Schnittstellenanalyse identifizierte Visualisierungstool ParaView in den Schulungen genutzt. Um den Praxispartner die Arbeit mit diesem Tool zu erleichtern wurden Plug-Ins zur Visualisierung von PALM-4U-Eingangsdaten sowie für typische Simulationsergebnisse entwickelt (siehe Kap. 1.2.2). Im Anschluss an die Schulungen konnten die Praxispartner das Modell inkl. GUI über mehrere Monate (Juni – September 2018) in der Selbstanwendung nutzen.

Die Feedbackphase wurde mit einem gemeinsamen Workshop in Holzkirchen abgeschlossen. Dieser bestand aus zwei Teilen: Der Vormittag wurde für den Erfahrungsaustausch der Praxispartner sowohl untereinander als auch in Hinblick auf die Sammlung von Verbesserungsvorschlägen zur Praxistauglichkeit von PALM-4U genutzt. Am Nachmittag wurde die zweite Schulungsphase vorbereitet indem die Praxispartner in einer gemeinsamen Übung die ersten Schritte der Eingangsdatabearbeitung („static driver“) für PALM-4U erlernten. Verbesserungsvorschläge zur Modellentwicklung wurden während des gesamten Zeitraums regelmäßig an Modul A kommuniziert.

Zweite Schulungsphase

In der **Schulungsphase II** (November – Dezember 2018) lag der Fokus auf der Evaluation der Praxistauglichkeit der zu dem Zeitpunkt aktuellen Version PALM-4U 6.0 und der GUI. Die GUI wurde seit der ersten Schulungsphase weiterentwickelt: Funktionen zur Visualisierung

(Kartendarstellung) und Analyse (Tabellen mit Filter- und einfachen Rechenfunktionen) sowie Vorlagen für typische Anwendungsfelder von PALM-4U (Thermischer Komfort und Windkomfort) wurden integriert. Der Anwendungsfall „Thermischer Komfort“ beinhaltete die Simulation eines typischen Sommertags unter autochthoner Wetterlage und stellte vorgefertigte Grafiken (Biometeorologische Indizes und bodennahe Lufttemperatur zu zwei Zeitpunkten) zur Verfügung. Im Anwendungsfall „Windkomfort“ konnte eine konstante Windanströmung aus den Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen simuliert werden und es wurden vorgefertigte Grafiken zur Windgeschwindigkeit angeboten. Zusätzlich wurden weitere Features, Komfortfunktionen und Bugfixes auf Basis der Verbesserungsvorschläge der Praxispartner aus der ersten Schulungsphase integriert. Da es keine praxistauglichen Tools zur Erstellung der Eingangsdaten für PALM-4U („static driver“) gab, entwickelte das Fraunhofer IBP für die Praxispartner eine entsprechende Software für die Schulungen (siehe Kap. 1.2.2). Das parallel entwickelte Benutzerhandbuch (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), wurde ebenfalls in die Schulung integriert, getestet und auf Basis des Anwenderfeedbacks verbessert. In der Schulung selbst erlernten die Praxispartner zuerst die Eingangsdatenaufbereitung unter Verwendung von GIS-Software sowie des entwickelten Tools. Dazu wurde wie in der ersten Schulungsphase der Ernst-Reuter-Platz in Berlin als praktisches Anwendungsbeispiel genutzt. Mit Hilfe der selbst aufbereiteten Daten erfolgte anschließend eine Einführung in die beiden neuen Anwendungsfelder der GUI (Thermischer Komfort und Windkomfort) inklusive Simulation, Ergebnisbewertung und dem Vergleich mit Referenzwerten, z.B. aus VDI-Richtlinien (VDI 3787 Bl. 9 und Bl. 10). Als abschließenden Schulungsinhalt nutzen die Praxispartner ihre eigenen kommunalen Geo- und Plandaten um diese als Eingangsdaten für PALM-4U („static driver“) aufzubereiten. Alle Praxispartner wurden dabei soweit befähigt, dass sie ihre eigenen kommunalen Grunddaten aufbereiten und für Simulationen mit der GUI von PALM-4U nutzen konnten. Im Anschluss an die Schulungen konnten die Praxispartner PALM-4U inkl. GUI in der Selbstanwendung (Januar – März 2019) nutzen. Die zweite Schulungsphase wurde mit dem gemeinsam mit KliMoPrax veranstalteten Modul-C-Abschlussworkshop beendet.

1.2.2. Schnittstellenausgestaltung zu anderen Anwendungen

Im Zuge der Projektbearbeitung sollten aus den Testanwendungen weitere Schnittstellen identifiziert und spezifiziert werden, um weitere Analysemethoden in die bereits bestehenden Werkzeugketten anzubinden. Es wurden Ergebnisse aus der Recherche zu bestehenden Schnittstellen, Modellen und Third-Party-Software einbezogen. Die im Projektverlauf entwickelten zusätzlichen prototypischen Software-Lösungen wurden den Praxispartnern zur Verfügung gestellt, um PALM-4U effektiv nutzen zu können. Da die Software spezifisch für die Schulungen entwickelt und nur im Verbundvorhaben UseUCLim angewandt wurden, sind diese nicht Teil der Evaluation der Praxistauglichkeit von PALM-4U gewesen. Vielmehr dienten die Software-Lösungen dazu, weitere Anforderungen im Software-Lebenszyklus von PALM-4U zu identifizieren. Die Schnittstellenausgestaltung wurde deshalb speziell auf die Bedürfnisse der Praxispartner ausgerichtet. Mit dieser Vorgehensweise konnte auf fehlende Fähigkeiten der verfügbaren Programme reagiert werden, in dem essentielle Funktionsbausteine im Vorfeld zur Durchführung der Schulungen implementiert wurden. Im Vorlauf wurde eine Analyse von

Datenformaten und Application Programming Interfaces (API) sowie von freien Bibliotheken und Programmpaketen für moderne Programmiersprachen wie Python und R durchgeführt. Aus der Analyse vorhandener Software-Tools für die Ergebnisvisualisierung von PALM-4U Simulationsergebnissen ergab sich das freie Open Source Visualisierungstool ParaView als beste Wahl für den Einsatz im weiteren Projektverlauf, da es bereits nativ den Import von NetCDF Dateien ermöglicht.

Skript Programme für Pre- und Postprocessing

PALM-4U benötigt Eingangsdaten in einem Rasterdatenformat, in dem das stadtklimatisch zu berechnende Modellgebiet gemäß des eigenen Datenstandards PIDS beschrieben wird. Mit Hilfe einer GIS-Software wie QGIS können die benötigten Informationen aufbereitet und gerastert werden.

In der Schulungsphase I lag der Fokus auf Tools zur Visualisierung und Analyse von Simulationsergebnissen von PALM-4U. Dazu wurde die Software ParaView zusammen mit den vom Fraunhofer IBP entwickelten Plug-Ins zum Import von PALM-4U Simulationsergebnissen mit den Praxispartnern erprobt. Es wurde jeweils ein Plug-In für die dreidimensionale Darstellung der Eingangsdaten und zur Aufbereitung und Visualisierung der wichtigsten Simulationsergebnisse als Python Macro implementiert (siehe Tabelle 1 Schnittstelle 4 & 5). Diese beiden Macros können über die Bedienoberfläche von ParaView geladen werden.

Das Python Skript „PALMprePro“ kann dabei für einen PALM-4U *static* Inputdatensatz ausgeführt werden wohingegen „PALMpostPro“ für 3D Ergebnisdatei gültig ist. Die Funktionsweise der Macros ist dabei, die in PALM vorgegebenen Input- und Output-Variablen aus den Dateien zu extrahieren und die Daten unter Anwendung von Filtern und Farbskalen dreidimensional zu visualisieren. Die Darstellung im Pre-Processing umfasst dabei u.a. Gebäude, Wasserflächen, Pflasterung, Vegetation, Bodentypen. Im Post-Processing können zudem Lufttemperaturfelder, Luftgeschwindigkeitsfelder, absolute und relative Luftfeuchte, Bodentemperaturen und –feuchten dargestellt werden. Zur Filterung können die in ParaView standardmäßig verfügbaren Methoden eingesetzt werden, wie z.B. Threshold, Clip, Plot over line, Slice, Konturenplots.

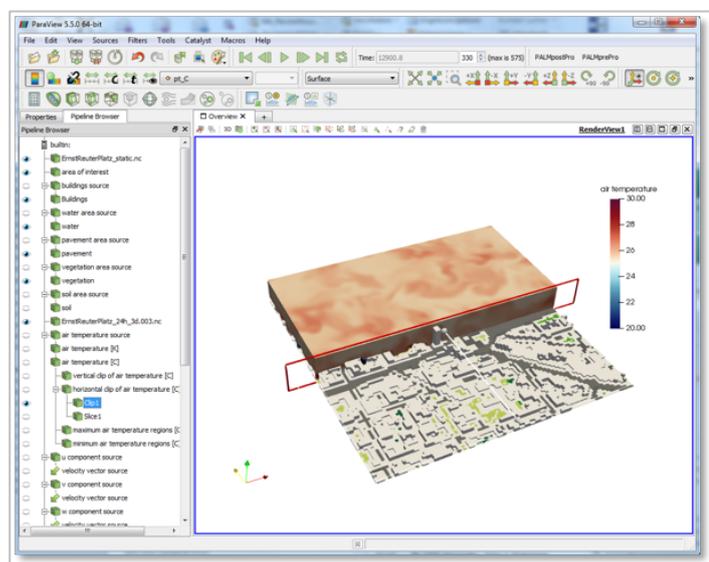


Abb. 10: Bedienoberfläche von ParaView mit PALM-4U Macros.
Quelle: Fraunhofer IBP

Tab. 1: Zusammenfassung der entwickelten und erprobten Software-Schnittstellen

	Beschreibung	Funktionsumfang	Schnittstellentyp	Anwendungsszenario	Stand der Umsetzung
1.	QGIS Interface	Datenaufbereitung, Rasterung der Eingangsdaten (meist Vektordaten)	Datenseitige Kopplung mit <i>gdal</i> Funktionen	Datenaufbereitung, Visualisierung	Künftig als verfügbar, um Workflow abzubilden
2.	R Interface	Umwandeln der gerasterten Eingangsdaten zu <i>static_driver</i> (PIDS); Bereinigung der Eingangsdaten; Visualisierung; Befüllen von fehlende Datenfeldern entsprechend dem Standard	Skriptbasierte datenseitig Kopplung mit <i>ncdf4</i> Bibliothek; PIDS	Datenaufbereitung, Visualisierung	Fertiggestellt und verfügbar
3.	PALM-4U Static Driver Creator	Zugriff auf R Programm über Nutzeroberfläche (GUI) um Praxispartner die Erstellung des <i>static_drivers</i> zu erleichtern	Graphische Nutzerschnittstelle (GUI) basiert auf R Skript und der Programm-bibliothek <i>shiny</i>	Datenaufbereitung	Prototyp für Schulungen entwickelt. Künftig mit GUI und QGIS Plugin (Python)
4.	PALM-4U Pre-Processing	3D Visualisierung des <i>static_drivers</i>	Skriptbasiert als Python-Macro für ParaView Software	3D Visualisierung und Darstellung der projektspezifischen Standard Types	Keine Weiterentwicklung geplant. Nur für interne Nutzung.
5.	PALM-4U Post-Processing	3D Visualisierung der Ergebnisdateien von PALM-4U	Skriptbasiert als Python-Macro für ParaView Software	3D Visualisierung	Anpassung nötig an geänderte PALM Types. Integration in GUI möglich.
6.	Kopplung an Gebäudesimulation	Nutzung der Stadtklimaergebnisse aus PALM-4U als Randbedingungen für Gebäudesimulation	Modellseitige Kopplung	Tiefgehende Analysen auf Gebäudeskala	Evaluation des integrierten Gebäudemodells im Vergleich zu Simulation.
7.	Augmented Reality App	Anwendungen der erweiterten Realität für Smartphones und Tablets	Datenseitige Kopplung mit <i>Unity Engine</i> , <i>Vuforia Plug-in</i>	Visualisierung; Modellinteraktion	Automatisierung und Erweiterung des Post-Processing für AR Anwendung.

Workflow zum Erstellen der PALM-4U Eingangsdaten

In der Schulungsphase II lag der Fokus auf der Schnittstellenausgestaltung zum effizienten Aufbereiten kommunaler Grunddaten für die Verwendung in PALM-4U. Zu diesem Zweck wurde ein graphisches Software-Tool entwickelt, das die Praxispartner bei der Konvertierung Ihrer Grunddaten in das PALM-4U *static* Eingangsdatenformat unterstützte (siehe Tabelle 1 Schnittstelle 3).

Das Tool erstellt aus den zuvor im GIS exportierten *.nc*-Dateien den *static driver*. Dazu werden folgende Informationen benötigt:

- Globale Attribute: Eingabe von Werten wie z.B. Ersteller, Standort und Gitterweite
- Topographie: Durch Import einer nc-Datei mit Geländehöhe
- Gebäude: Durch Import von .nc-Dateien mit building_2d, building_id sowie optionaler Gebäudetypen
- Vegetation: Durch Import von .nc-Dateien mit vegetation_types sowie optionaler Vegetationshöhen
- Wasser: Durch Import einer .nc-Datei mit water_types.
- Verkehrsflächen: Durch Import einer .nc-Datei mit pavement_types.

Einige der benötigten Informationen können aus Standardwerten vorbelegt werden. Mit Hilfe des Tools werden die Dateien miteinander verschnitten. Mittels einer einfachen 2D-Visualisierung des *static drivers* können die eingelesenen Informationen geprüft werden. Das Werkzeug bietet eine Funktion, mit der fehlende Information in den Datensätzen einfach aufgefüllt werden kann. Nach Aufbereitung der Input-Daten kann direkt vom Nutzer ein valider *static driver* exportiert werden, um in PALM-4U verwendet zu werden.

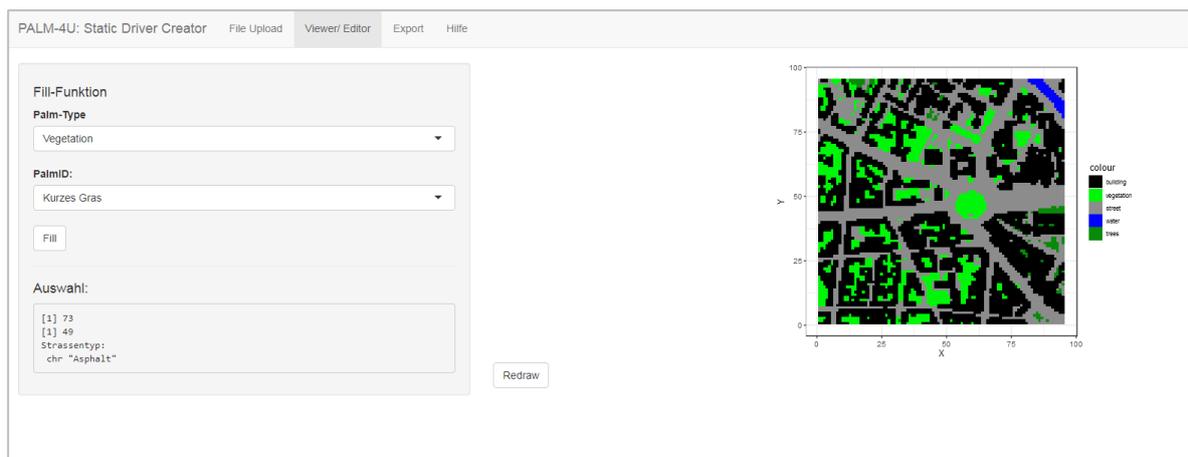


Abb. 11: Funktion zum Befüllen fehlender Datenfelder mit PALM-4U konformen Datentypen im Static Driver Creator. Quelle: Fraunhofer IBP

Schnittstellenausgestaltung zu 3D Visualisierungstools

Im Projektverlauf wurden weitere Anwendungsmöglichkeiten, sowie technische Schnittstellen zu PALM-4U untersucht. Eine innovative Art der Datenintegration und Visualisierung wurde durch die Verbindung von dreidimensionalen Geo-Datensätzen (GIS), den Stadtklimaberechnungen und Augmented Reality (AR) geschaffen (siehe Tabelle 1 Schnittstelle 7). Diese Methode erzeugt eine interaktive Kommunikationsplattform und erleichtert somit den Zugang zu den Modellergebnissen dank moderner

Visualisierungstechniken und einer intuitiven Nutzerschnittstelle. Es zeigte sich dabei, dass die stadtklimatischen Wirkungen in geeigneter Form und mit der richtigen Informationsdichte vermittelt werden müssen. Das Fraunhofer IBP stellte auf der Weltleitmesse für Architektur, Materialien und Systeme in Peking ein interaktives Stadtmodell von Shanghai aus (siehe Abbildung 12). Mittels AR wurde über einen Tablet-PC eine Stadtklimasimulation in

Kombination mit einem realen Architekturmodell auf Basis der Unity Engine einem interessierten Fachpublikum demonstriert.

Ein Ergebnis der experimentellen Schnittstelle war, dass die räumlich und zeitlich aufgelösten Stadtklimasimulation auch von Nichtexperten interpretiert werden können. Durch die immersive Form der Visualisierung können konkrete Wirkungen auf Mensch und Umwelt anschaulich und intuitiv vom Nutzer erfasst werden. Die tatsächlichen Auswirkungen von Baumaßnahmen lassen sich mit dieser Form der Präsentation direkter vermitteln, wie z.B. deren Ausmaße in Relation zu den umgebenden Strukturen oder ein spürbarer Effekt auf die Temperaturentwicklung an einem öffentlichen Platz.

Untersuchungen und Erprobungen von Kopplungsschnittstellen zur hygrothermischen Gebäudesimulation sowie zu vereinfachten Energiebilanzmodellen auf Quartiersebene zeigten Potential zur skalenübergreifenden Begleitung von Planungsprozessen. Jedoch sind die dazu notwendigen Schnittstellen und Kopplungsprozeduren noch nicht ausgereift (siehe Tabelle 1

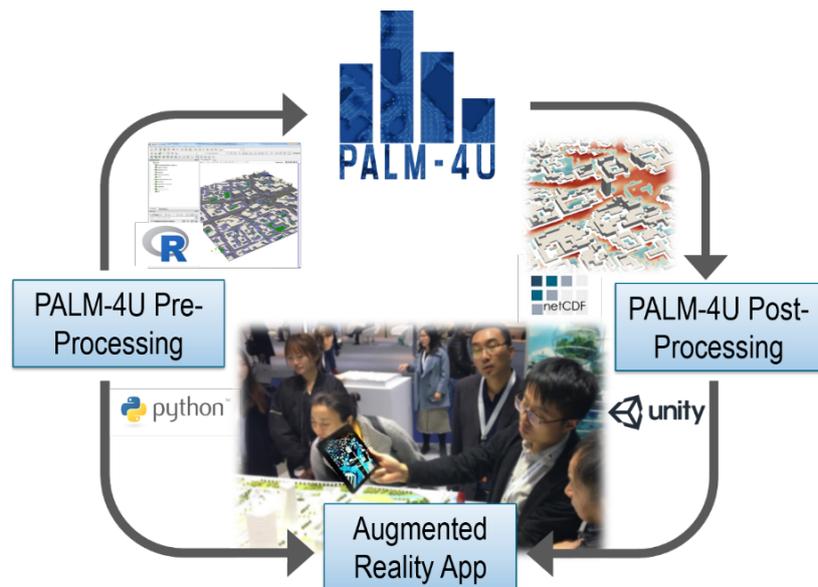


Abb. 12: Informationsfluss mit PALM-4U und Augmented-Reality-Anwendungen. Quelle: Fraunhofer IBP

Schnittstelle 6).



Abb. 13: Datenfluss zur Integration und Visualisierung von PALM-4U Modellergebnissen mit 3-D Stadtmodellen in Mixed Reality Anwendungen. Quelle: Fraunhofer IBP

1.2.3. Benutzerhandbuch

Die nachfolgenden Ausführungen des Abschnitts 1.2.3 basieren auf Steuri et al. (2019a): Handbuch PALM-4U für die Praxis.

Parallel zu den Schulungen wurde für die Praxispartner ein Benutzerhandbuch entwickelt, das die Selbstanwendung unterstützen soll. Es ist in drei Teile gegliedert: die nutzungsbezogene Dokumentation, die technische Dokumentation und die datenbezogene Dokumentation.

Der erste Teil – die **nutzungsbezogene Dokumentation** – führt durch die Modellanwendung unter der Nutzung der graphischen Benutzeroberfläche (GUI). Neben einem Überblick über die allgemeinen Bedienelemente, werden zwei Anwendungsfälle – „thermischer Komfort“ und „Windkomfort“ – in einer Schritt-für-Schritt-Anleitung vorgestellt. Darüber hinaus werden Referenzwerte zur Ergebnisbewertung als auch Erfahrungswerte zu Simulationsdauern vorgestellt. Ein Kurzkapitel zur skript-basierten Anwendung schließt den Teil 1 ab.

Der zweite Teil – die **technische Dokumentation** – liefert technische Hintergrundinformationen und stellt die Anwendungsmöglichkeiten so wie das grundsätzliche Konzept des neuen Stadtklimamodells PALM-4U vor. Die einzelnen Komponenten werden mittels Kurztexen vorgestellt und teilweise mit entsprechenden Simulationsergebnissen ergänzt. Die Texte basieren auf der Dokumentation des internationalen Modellentwicklungsteams, sie sind daher sehr technisch und in englischer Sprache verfasst. Hinweise zum Download und der Installation sowie weiterführende Links schließen das Kapitel ab.

Im dritten Teil – der **datenbezogenen Dokumentation** – wird ein Überblick über den Datenstandard, die Datenschutzrichtlinien sowie das Datenmanagementsystem gegeben. Des Weiteren wird vorgestellt, wie PALM-4U im Rahmen der Fördermaßnahme evaluiert wird. Im letzten Teil des Kapitels gibt es Informationen zur Durchführung von (eigenen) Messkampagnen.

Das Benutzerhandbuch wurde zusammen mit den Modulen A und B sowie dem Modul-C Zwillingsprojekt KliMoPrax unter Federführung von UseUClim erstellt.

Da sich wesentliche Teile der nutzungsbezogenen Dokumentation auf die Anwendung von PALM-4U mithilfe der GUI beziehen, müssen diese Teile beständig weiterentwickelt werden, sobald Änderungen an der GUI vorgenommen werden oder neue Anwendungen in PALM-4U zur Verfügung stehen.

Unabhängig davon, hat sich die Konzeptionierung des Handbuchs mit einer starken Bebilderung zur Illustration von Arbeitsschritten bewährt und wurde von den Praxispartnern als sehr hilfreich eingeschätzt.

1.3. Evaluieren

Um die Anforderungen und deren Umsetzung zu bewerten, haben die beiden Verbünde UseUClim und KliMoPrax parallel unterschiedliche Methoden angewendet (siehe Abbildung 14). In Summe entstand so ein umfassendes Bild, das den praktischen Umgang mit dem Modell und seinen Ergebnissen aus verschiedenen Anwenderperspektiven und Bedienungsmöglichkeiten beschreibt.

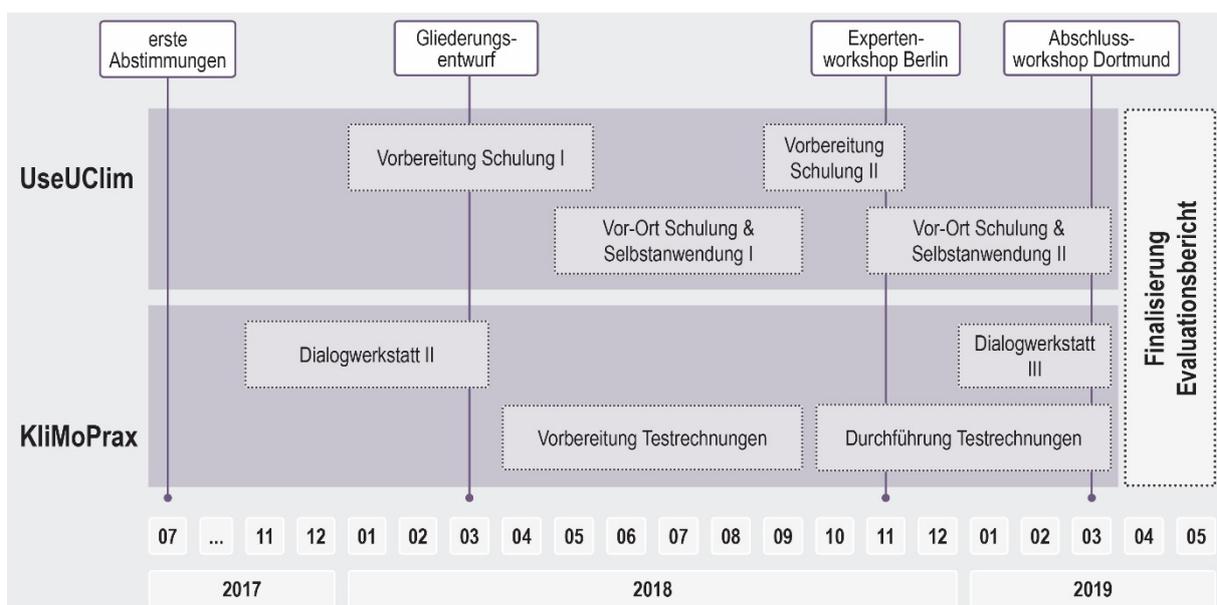


Abb. 14: Zeitplan zur Erstellung des Evaluationsberichts. Quelle: Steuri et al (2019).

1.3.1. Definition der Bewertungskriterien für die Testphase

Grundlage für 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 Kapitel 1.1.7 dargestellt, in fünf Hauptkategorien aufteilen: Technische und fachliche Anforderungen, Anforderungen an Eingangs- und Ausgabedaten sowie Anforderungen an die Benutzeroberfläche. Sie beschreiben in Ihrer Gesamtheit die Erwartungen der Praxis an die Fähigkeiten eines Stadtklimamodells, damit es in der Stadtplanung regelmäßig eingesetzt werden kann.

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 Evaluation 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. Aus der Sammlung der nicht im Projektplan vorgesehenen, aber grundsätzlich umsetzbaren Anforderungen, identifizierte Modul C sechs Anforderungen, die für die Praxistauglichkeit wichtig sind und daher noch zusätzlich umgesetzt werden sollten.

Die nicht-umsetzbaren Anforderungen 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 neue Anforderungen genutzt, um künftig nötige Weiterentwicklungen von PALM-4U aufzuzeigen.

PALM-4U ist ein komplexes und modular aufgebautes Stadtklimamodell, das grundsätzlich skriptbasiert 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 wurde von MOSAIK gleichzeitig eine graphische Benutzeroberfläche entwickelt, die Nutzer bei der Übersetzung ihrer Planungsfragen in Simulationsrechnungen unterstützt. Die graphische Benutzeroberfläche erlaubt dabei keinen vollen Zugriff auf alle Modellfunktionen. Daher wird bei der Evaluation jede Anforderung zweimal bewertet: Einmal für die skriptbasierte Anwendung und einmal für die Anwendung über die graphische Benutzeroberfläche. Ausgenommen sind Anforderungen, die einzig an die graphische Benutzeroberfläche adressiert sind.

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 Evaluation 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 Prüfzenario und Feedback der Anwender*innen eindeutig geprüft werden können.	Anforderungen, für deren eindeutige Prüfung ein Prüfzenario 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.“

Abb. 15: Verbundübergreifende Evaluationskriterien auf Basis des Nutzer- und Anforderungskatalogs. Quelle: Fraunhofer IBP.

Die Umsetzung der Anforderungen wird in den beiden Verbänden KliMoPrax und UseUCLim mit zum Teil unterschiedlichen Methoden geprüft. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten wurden die Anforderungen vor deren Prüfung einer der in Abbildung 15 beschriebenen Kriterien zugeteilt. Auf Basis dieser Einteilung entwickelten die beiden Verbände 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.

Das Feedback der Anwender wurde mit verschiedenen Methoden erfasst. Aus dem direkten Dialog 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 aus dem NAK wurde für jede Schulungs- und Anwendungsphase ein Fragebogen erstellt und an die Praxispartner verteilt, um standardisiertes Feedback mit Bezug auf die zu evaluierenden Anforderungen zu erheben. Zusätzlich erstellten die Praxispartner 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 Evaluation als auch Verbesserungs- und Weiterentwicklungsvorschläge und deckten neue Nutzeranforderungen auf.

Im Rahmen der Anforderungserhebung wurden bereits die wesentlichen Anforderungen an PALM-4U erhoben und im Nutzer- und Anforderungskatalog erfasst (Steuri et al., 2019; Weber

et al., 2019). Zusätzlich zu dieser bereits sehr umfassenden Anforderungsanalyse konnten auch in den Projektphasen „Experimentieren“ und „Evaluieren“ weitere Anforderungen erhoben werden:

- Im Rahmen der Projektphase „Experimentieren“ wurden während der internen Testanwendungen der Verbundpartner sowie in den Vor-Ort-Schulungen und selbstständigen Anwendungsphasen der Praxispartner neue Anforderungen erfasst.
- Auch in der Projektphase „Evaluieren“ wurden nochmals neue Anforderungen generiert. Hierbei handelt es sich jedoch um Anforderungen aus der Projektphase „Erkunden“, die im Rahmen der Evaluation detaillierter aufgeschlüsselt wurden.

Die in diesen beiden Projektphasen erfassten Anforderungen wurden in beiden Modul-C-Verbänden gesammelt und – analog zur Anforderungserhebung in Projektphase 1 –

Tabellarischer Nutzer- und Anforderungskatalog // finale Version									
Stadtklima im Wandel									
Modul C // KlimMoPrax & UseUClim									
Nr.	Kat.	ID	Beschreibung Basisanforderung	Relevanz	zuständig zur Umsetzung	Beschreibung Abnahmekriterien	Referenz	Umsetzbarkeit	
1	4.1	4.1-1	Das nSKM muss während des gesamten Planungs- und Bauprozesses wiederholt eingesetzt werden können. Bestehende Dateien müssen kontinuierlich mit aktuellen Daten erweitert und ergänzt werden können. Das heißt, mit Hilfe der GUI müssen die Eingangsdaten und Modellparameter in einem bereits aufgesetzten Modell fortlaufend angepasst und aktualisiert werden können.	+++	MOSAIK	Das nSKM kann während des gesamten Planungs- und Bauprozesses kontinuierlich dem aktuellen Planungsstand angepasst werden. Über die GUI können die Eingangsdaten und Modellparameter eines bestehenden Projekts bzw. einer bestehenden Simulation fortlaufend angepasst und aktualisiert werden.	Fraunhofer IBP, GERICS	-	
57	4.2	4.2-57	Das nSKM muss die nächtliche Kaltluftbewegungen [m/s] als Zeitreihe simulieren können.	+++	MOSAIK	Mit dem nSKM konnte die nächtliche Kaltluftbewegungen [m/s] als Zeitreihe simuliert werden.	Difu	+	
			:: nur eine Anforderung pro Zeile :: kurze Sätze (max. 3 - 5 Sätze pro Anforderung) :: eindeutige, unmissverständliche Formulierungen :: keine Schachtelsätze			:: kurze Sätze :: eindeutige Formulierungen :: keine Schachtelsätze			

Abb. 16: Exemplarischer Ausschnitt aus der NAK-Tabelle mit den neuen Anforderungen. Quelle: Steuri et al., 2019.

tabellarisch erfasst und systematisch beschrieben. Diese neuen Anforderungen wurden anschließend im tabellarischen Teil des finalen Nutzer- und Anforderungskatalogs eingefügt (Steuri et al., 2019; siehe Abbildung 16).

Nicht alle Anforderungen konnten 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. 155 der 240 identifizierten Anforderungen wurden jedoch als umsetzbar eingestuft (siehe Abbildung 17). Zur Evaluation 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 aus der Praxis eine hohe Priorität hatten, wurde Modul A im Januar 2018 gebeten, diese – wenn möglich –

zusätzlich umzusetzen. Obwohl diese Anforderungen evaluiert wurden, flossen sie nicht in die abschließende Beurteilung ein.

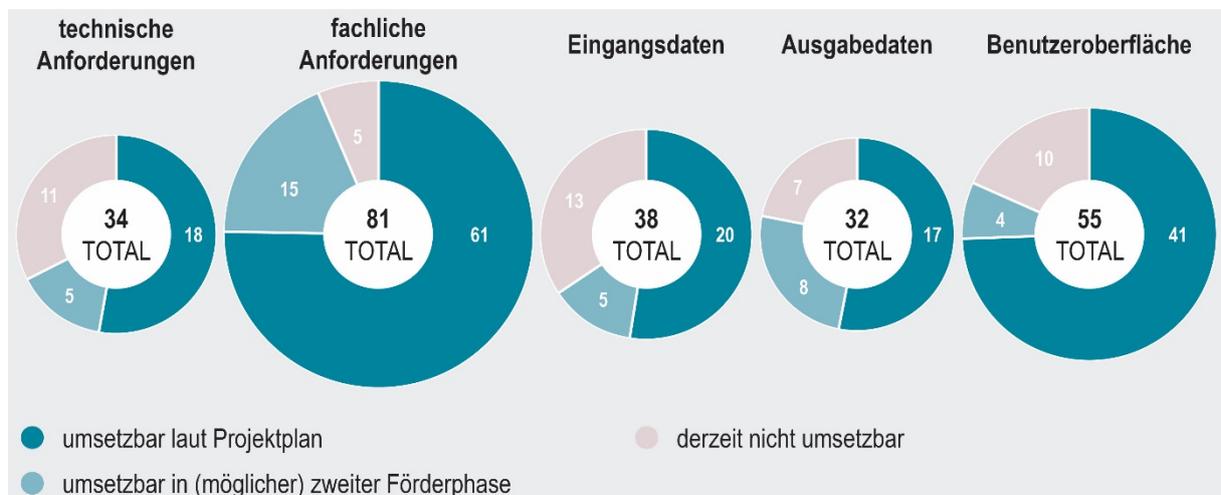


Abb. 17: Die Umsetzbarkeit der 240 Anforderungen. Quelle: Steuri et al. (2019)

Die Anforderungen, die von den Wissenschaftlern 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.

1.3.2. Evaluationsergebnisse

Die Ergebnisse der Evaluation sind detailliert in Steuri & Heese (2019) beschrieben. Hier werden einige Schlaglichter hervorgehoben. Dabei ist zu betonen, dass die Bewertung für die ersten vier Aspekte zweigeteilt erfolgt:

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

Die Praxistauglichkeit ist in der Kategorie „**Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen**“ nur teilweise gegeben. Wie in Abbildung 18 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 abbildet. Um die Praxistauglichkeit zu erhöhen, ist es in Zukunft

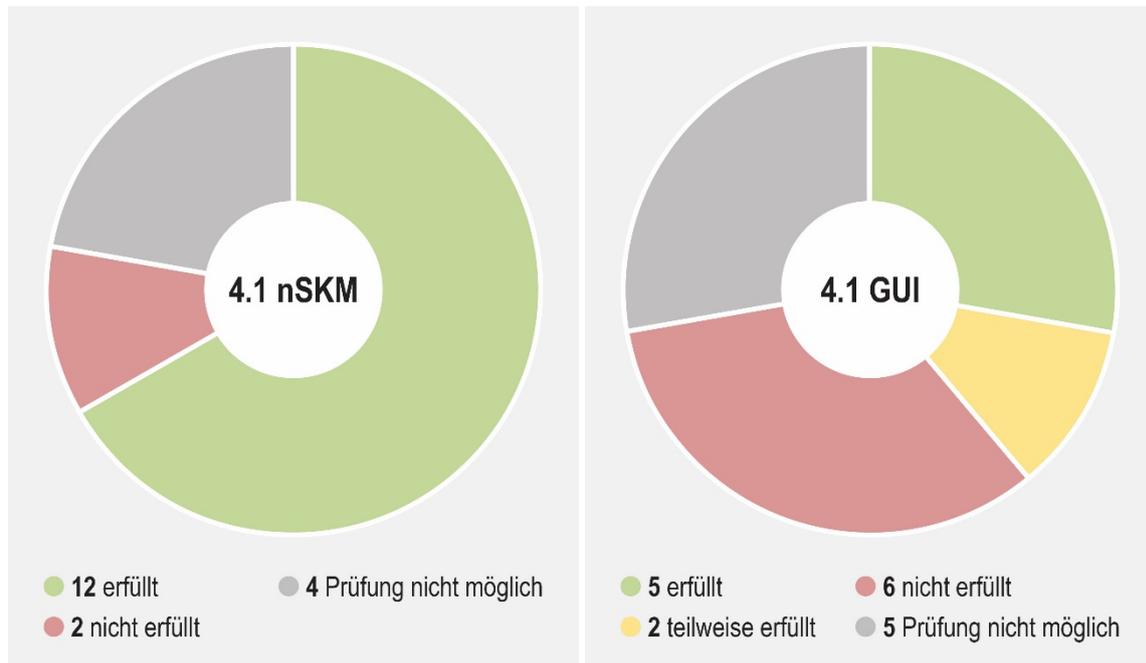


Abb. 18: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 18 Anforderungen in der Kategorie „Technische Anforderungen und Systemvoraussetzungen“. Quelle: Steuri et al. (2019)

unumgänglich, sowohl die GUI und PALM-4U besser aufeinander abzustimmen, als auch einen möglichst umfassenden Funktionsumfang über die GUI zu gewährleisten.

Im Bereich der „**fachlichen und wissenschaftlichen Anforderungen**“ werden 67% der als umsetzbar eingestuften Anforderungen als erfüllt angesehen (siehe Abbildung 19). 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 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.

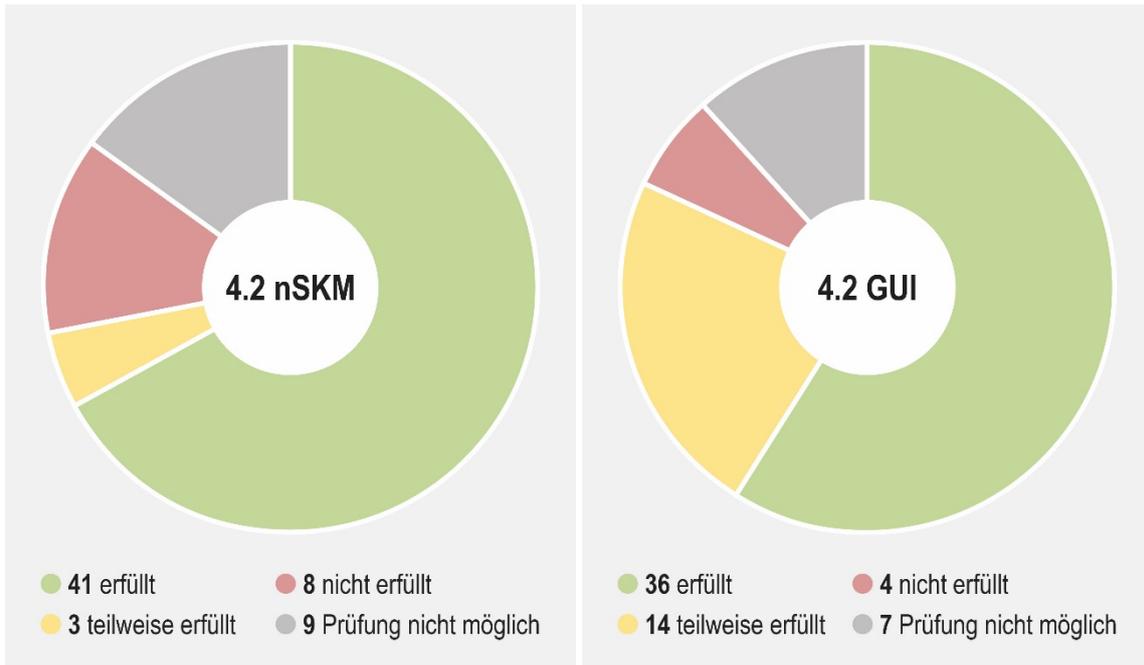


Abb. 19: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 61 Anforderungen in der Kategorie „Fachliche und wissenschaftliche Anforderungen“. Quelle: Steuri et al. (2019)

Das vorgegebene Format der **Eingangsdaten** ist im Palm Input Data Standard (PIDS) festgelegt. Für die Erstellung der Eingangsdaten müssen die in den Kommunen vorliegenden Daten umgewandelt und übersetzt werden. Dies ist nur über externe Tools wie z.B. 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, NCL oder Python nötig, dass dies leisten kann. Von insgesamt 38 erfassten Anforderungen an Eingangsdaten im NAK werden 20 bewertet, also über die Hälfte wird evaluiert (siehe Abbildung 20).

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) oder zu modifizieren. Es ist immer ein aufwändiger Pre-Processing-Schritt nötig, 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.

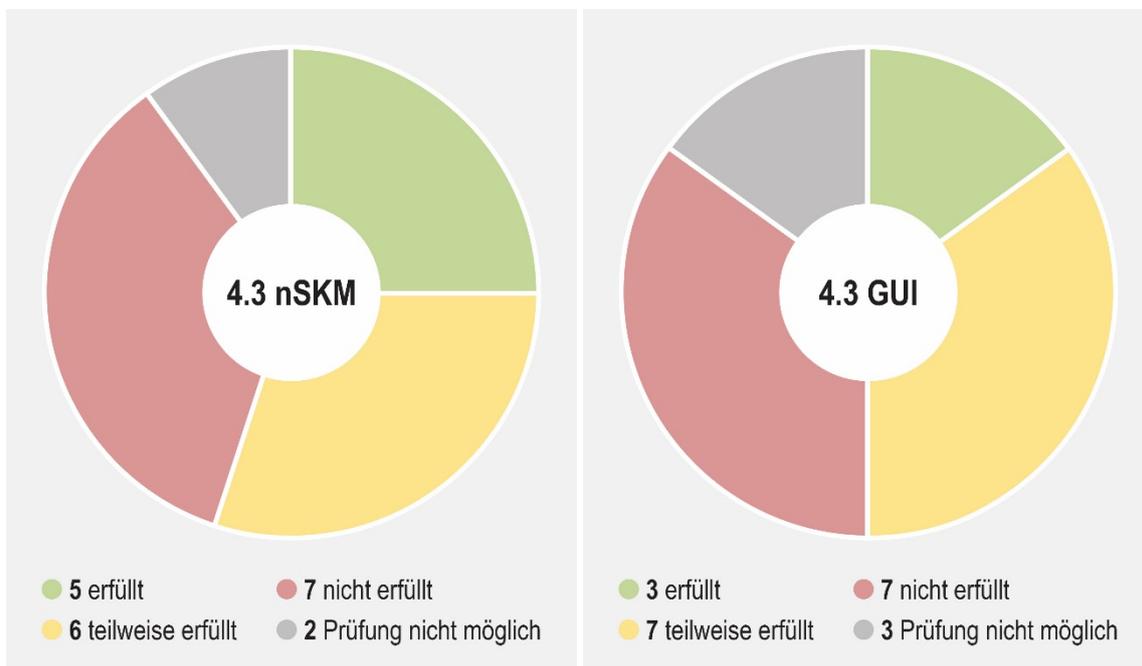


Abb. 20: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 20 Anforderungen in der Kategorie „Eingangsdaten“. Quelle: Steuri et al. (2019)

Die Beschreibung der **Ausgabedaten** und ihrer Formate ist in den Palm Output Data Standards (PODS) beschrieben. 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 21).

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.

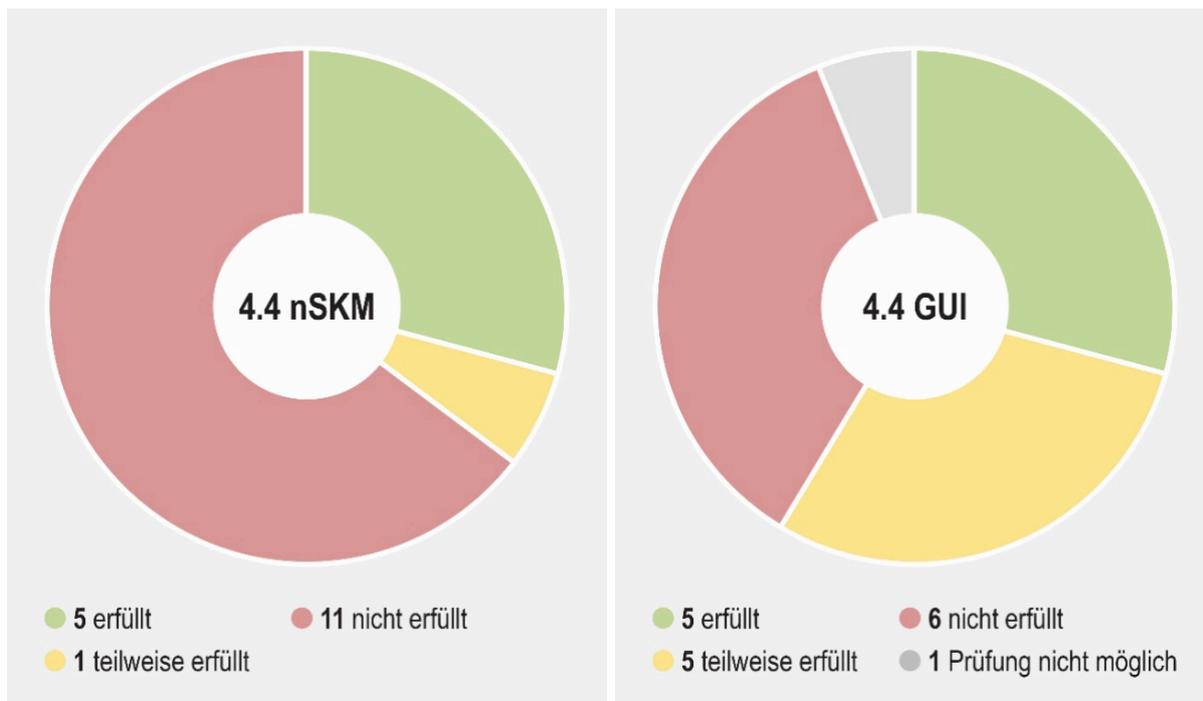


Abb. 21: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 17 Anforderungen in der Kategorie „Ausgabedaten“. Quelle: Steuri et al. (2019)

Die **graphische Benutzeroberfläche (GUI)** von PALM-4U erlaubt das Erstellen, Durchführen und Visualisieren von Stadtklimasimulationen anhand definierter Vorlagen, den sogenannten „Fragestellungen“. Diese umfassen zum Stand der Evaluation (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.

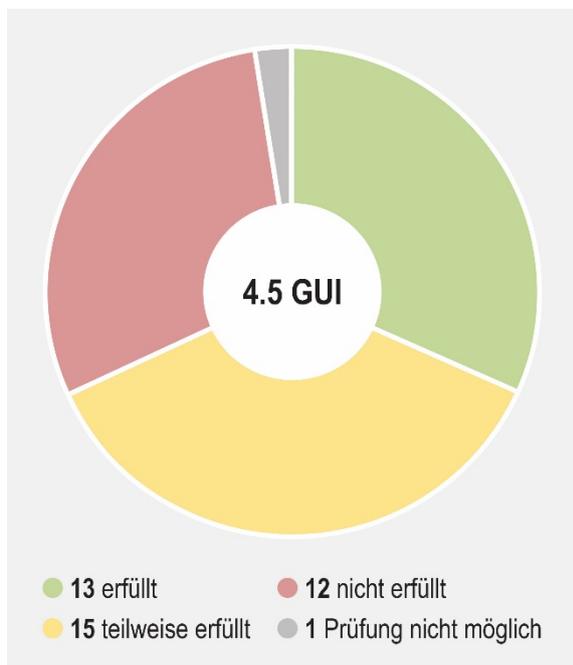


Abb. 22: Ergebnisse der Evaluation für die insgesamt 41 Anforderungen in der Kategorie „Graphische Benutzeroberfläche“. Quelle: Steuri et al. (2019)

Auf Basis der bewerteten Anforderungen lässt sich die graphische Benutzeroberfläche von PALM-4U in ihrer aktuellen Form als noch nicht praxistauglich einstufen (siehe Abbildung 22). Grundfunktionalitäten werden in Teilen erfüllt und der Aufbau ist logisch und intuitiv, zumindest für das Aufsetzen von Simulationen. Das Grundkonzept der Fragestellungen mit vorgelegten Standardwerten und wenigen Eingabemöglichkeiten bewerten die Praxispartner 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 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 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, die Darstellung zeitlicher Abläufe als Animationen und die Abbildung des gesamten Arbeitsablaufs. Im Hinblick auf die internationale Verbreitung von PALM-4U ist die Unterstützung weiterer Sprachen, zumindest Englisch, nötig.

Evaluationsergebnisse basierend auf den Dialogformaten

Die beteiligten Praxispartner wurden im Rahmen der zahlreichen Dialogformaten nach ihren Erfahrungen mit PALM-4U befragt. Auf Grund der verschiedenen Anwendungsumgebungen in den Kommunen, aber auch der verschiedenen Vorgehensweisen in den Verbänden UseUCLim und KliMoPrax sind die Erfahrungen mit der Modellanwendung in den Städten durchaus unterschiedlich. Nichtsdestotrotz sehen die Praxispartner aus beiden Projekten durchaus großes Potenzial, allerdings meist mit kritischen Anmerkungen.

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 vorhanden ist, sehen die meisten die kommunale Verfügbarkeit der erforderlichen Kompetenzen kritisch. Es scheint den meisten Praxispartnern unwahrscheinlich, dass Stadtplaner 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 aus der (kommunalen) Praxis das Modell unter Begleitung kennenlernen können. Die Vor-Ort-Schulungen haben sich als probates Mittel zur Qualifizierung der Anwender erwiesen (siehe Abbildung 23). 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.

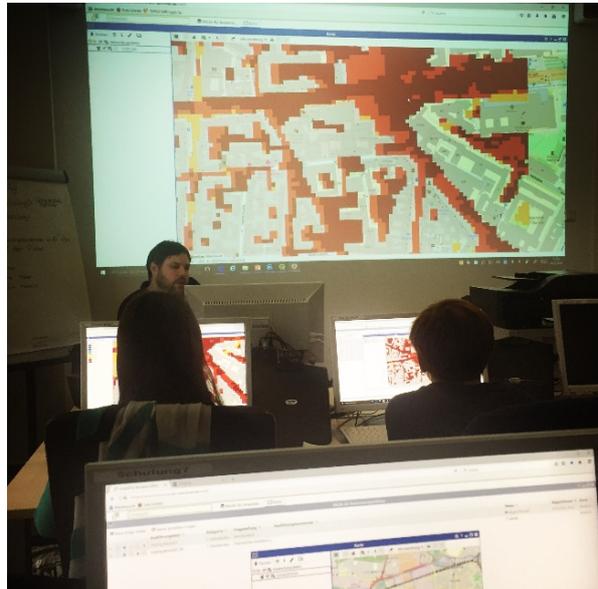


Abb. 23: Impressionen aus dem UseUCLim Workshop in Holzkirchen (links) und aus einer Vor-Ort-Schulung (rechts). Quelle: Steuri et al (2019).

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 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 Stabsstelle, 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 verhandeln zu können. Die Praxispartner 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 Bürgern und Investoren als neutraler angesehen werden.

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 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 Vertretern als glaubhaft eingeschätzt wurden, als eine gute Argumentationshilfe der kommunalen Praxis und gegenüber Investoren 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 Erfahrungswissen 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 eines Praxispartners 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 dieser Sicht 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.



Abb. 24: Einblick in den Evaluationsworkshop in Dortmund; Vertreter der Partnerkommunen erläutern die Erfahrungen mit PALM-4U. Quelle: TU Do

1.4. Fazit und Ausblick

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 Einführungsphase (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. 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 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.

Abschließend werden die Evaluationsergebnisse gegen die Ziele, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Praxistauglichkeit des neuen Stadtklimamodells PALM-4U in der Förderbekanntmachung festgelegt hat, gespiegelt. Hierbei ist festzuhalten, dass sowohl das Modell PALM-4U als auch die GUI in der Entwicklung sind und die GUI-Programmierung auf der jeweils aktuellen Modellversion aufbaute.

Ziel 1: 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 Nutzern 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 sehr eingeschränkt gegeben. Im Laufe der Evaluation traten zahlreiche Bugs und unplausible Ergebnisse auf, die an Modul A zurückgemeldet wurden. Folglich kann erst mit der Validierung von PALM-4U durch Modul B zum Ende der ersten Projektphase eine Aussage zur Überprüfbarkeit der Simulationsergebnisse getroffen werden.

Ziel 2: 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 graphischen Nutzeroberfläche wird als logisch und intuitiv bewertet. Dazu trägt maßgeblich das als gelungen bewertete Konzept der vereinfachten Simulationsvorlagen mit stark reduziertem Eingabeumfang bei. Die integrierte Visualisierung der Simulationsergebnisse auf zweidimensionalen Karten erfolgt in einer in der Praxis üblichen Darstellungsweise, die es auch Nutzern ohne eigenen GIS-Zugang ermöglicht, die Simulationsergebnisse einzusehen. Demgegenüber wird die Bedienung teilweise als umständlich und der Funktionsumfang der zur Verfügung stehenden Simulationsvorlagen und 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.

In ihrer aktuellen Form zum Ende der ersten Phase ist die GUI daher als nicht praxistauglich einzustufen.

Ziel 3: 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.

Ziel 4: 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 Nutzern 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.

Ziel 5: 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.

Ausblick

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, der Nutzeroberfläche, Anleitung sowie der Anbindung an die kommunalen Dateninfrastrukturen weiterentwickelt werden.

Zusätzlich sollte ein Schwerpunkt darauf gelegt werden, dass Modell weiteren Anwendergruppen zugänglich zu machen sowie die Anwender stärker miteinander zu vernetzen, um den Erfahrungsaustausch zu unterstützen.

2. Zahlenmäßiger Nachweis

UseUClim hatte insgesamt ein Budget von etwa 1 Mio. Euro. Der Großteil der Förderung wurden für **Personal** eingesetzt (ca. 75%), so dass insgesamt ca. 80 PM über die 38-monatige Projektlaufzeit (inkl. der kostenneutralen Verlängerung um zwei Monate) zur Verfügung gestanden haben.

Mit weiteren ca. 20% haben die **sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten** die zweite große Kostenposition dargestellt. Innerhalb dieser Kostenposition wiederum entfiel der Großteil von fast 90% auf die die Einbindung der Kooperationspartner in allen drei Projektphasen. Dies umfasst insbesondere die Teilnahme an der Anforderungserhebung sowie den drei Modul C Workshops, den zwei Schulungsphasen inkl. den mehrwöchigen Selbstanwendungen sowie der Bereitstellung von Feedback. Dies erfolgte einerseits über standardisierte Fragebögen, über die fast 2.000 Antworten erhoben werden konnten, sowie die Erstellung von jeweils zwei individuellen Feedbackberichten.

Das übrige Budget in dieser Kostenposition entfiel auf die Durchführung von Workshops und Publikationen (siehe hierzu ebenfalls Kapitel 6). Insgesamt wurden drei Workshops in UseUClim sowie die Vor-Ort-Schulungen durchgeführt:

- Eintägiger Modul-C Workshop zum Abschluss der ersten Projektphase mit knapp 40 Teilnehmern in Hamburg
- Eintägiger Workshop zur Vorbereitung der Vor-Ort-Schulungen mit neun Teilnehmern in Leipzig
- Eintägiger Workshop zum Abschluss der ersten Schulungsphase mit 16 Teilnehmern in Holzkirchen
- Sieben jeweils zwei-tägige Vor-Ort-Schulungen mit insgesamt 23 Teilnehmern

Zusätzlich haben UseUClim Partner organisatorisch und inhaltlich an den Modul-C Workshops (Kick-Off in Köln und Abschluss in Dortmund) mitgewirkt.

Ca. 2,5% des Projektbudgets entfiel auf **Reisen** zu (inter-) nationalen Konferenzen und Tagungen sowie zu Projekttreffen, Workshops und den Vor-Ort-Schulungen. Insgesamt haben das HZG-GERICS und das Fraunhofer IBP die Projektergebnisse bei 10 (inter-) nationalen Konferenzen und Messen vorgestellt (hierzu ebenfalls Kapitel 6).

Durch die Konsortialpartner wurden **Eigenleistungen** aus Haushaltsmitteln in die Projekte eingebracht. Dies umfasst u.a. die Anschaffung einer leistungsstarken Workstation.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die Arbeiten an der Schnittstelle zwischen Praxis und Forschung / Modellentwicklung stellten einen **unverzichtbaren Bestandteil** der Fördermaßnahme dar. Dies zeigte sich an vielen Stellen, wo ein „neutraler Vermittler“ zwischen beiden Domänen als „Dolmetscher“ fungiert hat. Dies ist besonders deutlich im Zusammenhang mit der Anforderungserhebung oder den Schulungen geworden, wo einerseits die Anforderungen der Praxis verständlich für die Wissenschaft aufbereitet werden mussten und andererseits das komplexe Modell den Nicht-Modellier-Fachleuten zugänglich gemacht werden musste.

Dies mag sich zunächst vergleichsweise einfach umzusetzen anmuten. Im Detail – und dies zeigt die eingehende Darstellung der geleisteten Arbeiten in Kapitel 1 sehr deutlich – sind damit aber durchaus komplexe und nicht einfach zu lösende Fragestellungen verbunden.

Aus der eingehenden Beschreibung der Projektziele und der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist zu entnehmen, dass die wesentlichen Ziele des Verbundvorhabens UseUclim erreicht wurden. Die Projektergebnisse konnten Dank enger Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern und den kommunalen Partnern generiert werden, wobei sich die dabei notwendigen Aufwände in Form von Personal- und Reisekosten als angemessen darstellten.

4. Nutzen und Ergebnisverwertung im Sinne des Verwertungsplans

Es muss betont werden, dass sich die grundsätzlichen Rahmenbedingungen gegenüber dem Projektstart im Sommer 2016 mit einer sich nun anschließenden dreijährigen zweiten Förderphase (Herbst 2019 bis Spätsommer 2022) deutlich verändert haben. Zudem lag entgegen der ursprünglichen Annahme zum Ende der ersten Förderphase im Spätsommer 2019 kein Stadtklimamodell vor, das, wie im Projektantrag vorgesehen, in die am HZG-GERICS bestehende Climate Services Infrastruktur eingebettet werden konnte. Es wurde eine Strategie entwickelt, wie und für welche Fragestellungen das Modell künftig am HZG-GERICS genutzt werden kann. Davon unberührt sind Frage der langfristigen Verstetigung und des operationellen Betriebs, die nun in der bereits laufenden zweiten Förderphase explizit adressiert werden.

Durch die Zuwendungen aus öffentlichen Mitteln war es möglich, einen neuen Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer-Institut für Bauphysik zu etablieren. Durch die Verstetigung der Kompetenzen im Bereich der Simulation urbaner Bauphysik und dem Ausbau einer IT-Landschaft aus Planungswerkzeugen und Datenschnittstellen können künftige Fragen der nachhaltigen Stadtentwicklung adressiert werden. Hierzu zählen die Modellierung bauphysikalischer Zusammenhänge, die Bilanzierung von Energie- und Stoffströmen auf Quartiersebene, sowie die Analyse und Optimierung von urbanen Oberflächen hinsichtlich Wärmeschutz, Luftreinheit, Verdunstungs- und Speicherpotentiale. Durch die Schnittstellenexploration konnten nicht nur die Praxispartner während der Projektlaufzeit unterstützt werden, sondern es wurden bereits erste Prototypen implementiert, die als Grundlage für Software-Entwicklungen in der nächsten Phase von [UC]² dienen (z.B. 3-D Tools für Pre- und Post-Processing). Die in UseUClim erarbeiteten Schulungskonzepte und –unterlagen werden ebenfalls in der zweiten Förderphase aufgegriffen und zusammen mit den beteiligten Praxispartnern so weiterentwickelt, dass sie zur erfolgreichen Verstetigung des Stadtklimamodells beitragen. Die erweiterten Forschungs- und Weiterbildungsdienstleistungen des Fraunhofer IBP werden den Partner aus Industrie, Kommunen und Städten ab sofort und langfristig zur Verfügung stehen.

5. Relevanter Fortschritt anderer Stellen

Es sind keine relevanten Fortschritte anderer Stellen bekannt geworden.

6. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die in UseUCLim erarbeiteten Ergebnisse wurden zahlreich auf unterschiedlichen Wegen der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht. Die verschiedenen Beiträge sind nachfolgend aufgelistet:

Wissenschaftliche Publikationen:

Scherer D, **Antretter F**, **Bender S**, **Cortekar J**; Emeis S, Fehrenbach U, Gross G, Halbig G, Hasse J, Maronga B, Raasch S, Scherber K (2019). Urban Climate Under Change [UC]²– A National Research Programme for Developing a Building-Resolving Atmospheric Model for Entire City Regions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 28 (2), p. 95 – 104

Halbig G, **Steuri B**, Büter B, Heese I, Schultze J, Stecking M, **Stratbücker S**, Willen L, **Winkler M** (2019). User requirements and case studies to evaluate the practicability and usability of the urban climate model PALM-4U. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 28 (2), p. 139 – 146

Steuri B, **Bender S**, **Cortekar J** (2020). Successful user-science interaction to co-develop the new urban climate model PALM-4U. Urban Climate [accepted]

Steuri B, **Cortekar J**, **Bender S** (2017). The relevance of co-development to ensure a high-resolution urban climate model's practicability user friendliness. Springer Science [accepted]

Winkler M, **Steuri B**, **Stadler S**, **Antretter F** (2020). Evaluating The Practicability Of The New Urban Climate Model PALM-4U Using A Living-lab Approach. 12th Nordic Symposium on Building Physics, Tallin, Estonia, 14. – 17. Juni 2020 [submitted].

Konferenzteilnahmen (Vortrag und / oder Poster)

Posterpräsentation auf der ECCA 2017 – European Climate Change Adaptation Conference in Glasgow (Juni 2017). An dieser Konferenz wurden die ersten wissenschaftlichen Ergebnisse aus UseUCLim einem europaweiten Publikum aus Wissenschaft und Praxis vorgestellt.

Vortrag auf der Cities and Climate Conference 2017 in Potsdam (September 2017). An dieser Konferenz wurden die ersten wissenschaftlichen Ergebnisse aus UseUCLim einem internationalen, wissenschaftlichen Publikum vorgestellt.

Vortrag beim Deutschen Kongress für Geographie in Tübingen (September 2017). An diesem Kongress wurden die Ergebnisse der Stakeholder-Analyse und der Anforderuserhebung aus UseUCLim einem europaweiten Publikum aus Wissenschaft und Praxis vorgestellt.

Vortrag auf der International Conference on Urban Climate in New York (August 2018). Das Motto der Konferenz lautete „Sustainable and Resilient Urban Environments“ und deckte sowohl klassische als auch neu entstehende Themen im Bereich Stadtklima ab.

Vortrag und Poster auf der International Transdisciplinarity Conference 2019 (ITD 2019) in Göteborg. Präsentation des Living Lab Ansatzes in UseUCLim und Diskussion mit internationalem Fachpublikum.

Posterpräsentation beim Urban Forum „Practice meets Academia“, Side Event der ITD 2019, Projektvorstellung und Erläuterung des Living Lab Ansatzes in UseUCLim.

Vortrag auf der BIM World in München (November 2019). Die Messe ist die führende Veranstaltung für anwenderbezogene Lösungen rund um die Modellierung von Gebäudeinformationen und neue Technologien für das Bauwesen, die Immobilienwirtschaft und die Stadtplanung. Auf der „Innovation Stage“ wurden die Projekte [UC]² und ProPolis sowie praktische Anwendungsmöglichkeiten von PALM-4U präsentiert.

Posterpräsentation und Präsentation eines 3D Stadtmodells mit Augmented Reality App auf der Konferenz Zukunftsstadt 2019 (Dezember 2019). Auf der Konferenz wurden die Ergebnisse aus UseUCLim sowie das gesamte Verbundprojekt Stadtklima im Wandel präsentiert. Mittels einer Augmented Reality App wurden Stadtklimasimulationen mit PALM-4U interaktiv auf einem 3D Modell des Berliner Ernst-Reuter-Platzes visualisiert.

(Projekt-) Berichte

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: Weber B, **Steuri B** (Hrsg.): Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U (4-24).

Weber B, **Steuri B**, **Antretter F**, **Bender S**, Burmeister C, Büter B, ..., **Winkler M** (2019). Teil 2: Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U - Erläuterungen - finale Version. In: Weber B, **Steuri B** (Hrsg.): Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U (25-65).

Steuri B, **Cortekar J**, **Bender S** (2018). Überprüfung der Praxistauglichkeit eines neuen Stadtklimamodells: #1 Anforderungserhebung als Basis. GERICS Report 33. Hamburg
Verteilung des Reports über die [UC]²-Plattform, an Veranstaltungen und per Post.

Steuri B, **Winkler M**, **Stadler S**, Heese I, Pavlik D, Fehrenbach U, Scherer D, Wiesner S, Ament F (2019). Handbuch PALM-4U für die Praxis.

Sonstiges

Veröffentlichung eines UseUCLim-Artikels auf der Earth System Knowledge Platform (ESKP) für das Themenspezial „Metropolen unter Druck“ (April 2018). Link zum Artikel: <https://themenspezial.eskp.de/metropolen-unter-druck/stadtklima-verbessern/stadtklimamodelle-fuer-die-praxis/>

Veröffentlichung eines Artikels „Stadtklimasimulationen für zukunftsfähige Städte“ im NAX-Report 04/18 des Netzwerk Architekturexport NAX der Bundesarchitektenkammer (Dezember 2018). Link zum Artikel: <https://www.nax.bak.de/service/newsletter/archiv/newsletter-lang/nax-report-04-2018-langform/nax-report-04-18-nax-pate-sba-stadtklimasimulationen-fuer-zukunftsfahige-staedte/>

Präsentation von Stadtklimasimulationen mit PALM-4U zu einem städteplanerischen Entwurf in Shanghai als interaktives Architektenmodell mit Augmented-Reality-Visualisierung auf der Messe FENESTRATION BAU China 2018 in Peking in Zusammenarbeit mit SBA Architektur.

Präsentation von Stadtklimasimulationen mit PALM-4U zu städteplanerischen Entwürfen in Berlin und Shanghai als interaktive Architektenmodelle mit Augmented-Reality-Visualisierung auf der Messe FENESTRATION BAU China 2019 in Shanghai Zusammenarbeit mit SBA Architektur.

Referenzen

Bruse, M., Schuster, H. (2008). Mikroklimasimulation ergänzend zur Gebäudesimulation, International Building Performance Simulation Association-IBPSA (Hrsg.): Tagungsband BAUSIM. Vol. 8 (10).

BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2016). Anforderungskatalog Cloud Computing: Kriterien zur Beurteilung der Informationssicherheit von Cloud-Diensten. Online verfügbar unter: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/DigitaleGesellschaft/CloudComputing/Anforderungskatalog/Anforderungskatalog_node.html;jsessionid=57D8746B28C41FD24B987C59E5E1907B.2_cid360 (letzter Zugriff: 04. April 2018).

DAkKS - Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (2010). Leitfaden Usability: Version 1.3. Online verfügbar unter: <https://www.dakks.de/content/leitfaden-usability> (letzter Zugriff: 04. April 2018).

Defila, R., Di Giulio, A., Scheuermann, A. (2006). Forschungsverbundmanagement. Handbuch für die Gestaltung inter- und transdisziplinärer Projekte. Zürich: vdf.

Eriksson, M., Niitamo, V.P., Kulkki, S. (2005). State-of-the-art in utilizing Living Labs approach to user-centric ICT innovation—a European approach. Online verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/2edd/5e0fef9f7f9fd0262dea937cb997b3ab8d5f.pdf> (letzter Zugriff: 04. April 2018).

Gobakis, K., Kolokotsa, D. (2017). Coupling building energy simulation software with microclimatic simulation for the evaluation of the impact of urban outdoor conditions on the energy consumption and indoor environmental quality, Energy and Buildings. Vol. 157, pp. 101 – 115.

Halbig, G., Steuri, B., Büter, B., Heese, I., Schultze, J., Stecking, M., ..., Winkler, M. (2018). Urban Climate Under Change - Module C of the Research Programme: User Requirements and Case Studies to Evaluate the Practicability and Usability of the Urban Climate Model PALM-4U. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 28 (2), p. 139 – 146

IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (1998). IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications [IEEE Std 830-1998]. Online verfügbar unter: <http://www.math.uaa.alaska.edu/~afkjm/cs401/IEEE830.pdf> (letzter Zugriff: 04. April 2018).

Kusiak, A. (2007). Innovation: The Living Laboratory Perspective. Computer-Aided Design and Applications, 4 (6), 863-876.

McKinney, W. (2018). Datenanalyse mit Python: Auswertung von Daten mit Pandas, NumPy und IPython. O'Reilly.

Meurer, J., Erdmann, L., von Geibler, J., Echternacht, L. (2015). Arbeitsdefinition und Kategorisierung von Living Labs - Arbeitspapier im Arbeitspaket 1 (AP 1.1c). Online verfügbar unter: www.innolab-livinglabs.de/fileadmin/user_upload/Benutzerdaten/Publikationen/INNOLAB_AS11c_Living-Lab-Kartierung.pdf (letzter Zugriff: 04. April 2018).

Mitterhofer, M. (2018). A methodology for a scalable building performance simulation based on modular components, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Mitterhofer, M., Stratbücker, S. (2016). Automated Collocation of Simulation Modules in FMI-Based Building Energy Co-Simulation, Dresden, September 14-16, pp. 559–563.

Mitterhofer, M., Norrefeldt, V., Stratbücker, S. (2016). Advanced modeling and simulation methods for assessment and optimization of indoor climate, IAQVEC, Seoul, Republic of Korea, October 23-26.

Moonen, P., Defraeye, T., Dorer, V., Blocken, B., Carmeliet, J. (2012). Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand, *Frontiers of Architectural Research*. Vol. 1, No. 3: pp. 197–228.

Pohl, P., Rupp, C. (2015): Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum „Certified Professional for Requirements Engineering“ (4. überarbeitete Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag.

Roelofsen, A., Boon, W. P. C., Kloet, R. R., Broerse, J. E. W. (2011). Stakeholder interaction within research consortia on emerging technologies: learning how and what? *Research Policy*, 40, 341-354.

Schienmann, B. (2002). *Kontinuierliches Anforderungsmanagement: Prozesse, Techniken, Werkzeuge*. München: Addison-Wesley.

Steuri, B., Cortekar, J., Bender, S. (2018). Überprüfung der Praxistauglichkeit eines neuen Stadtklimamodells: #1 Anforderungserhebung als Basis. Report 33. Hamburg: Climate Service Center Germany (GERICS).

Steuri, B., Weber, B., Antretter, F., Bender, S., Burmeister, C., Büter, B., ..., Winkler, M. (2019). Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U – Teil 1: Tabelle - finale Version. In: Weber, B., Steuri, B. (Hrsg.), *Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U* (4-24).

Steuri, B., Heese, I., Burmeister, C., Halbig, G., Hölsgens, R., Willen, L., Winkler, M. (2019). Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U – Teil 2: Erläuterungen. In: Steuri, B., Heese, I. (Hrsg.), *Evaluationsbericht zum neuen Stadtklimamodell PALM-4U*, (21-59).

Steuri, B., Winkler, M., Stadler, S., Heese, I., Pavlik, D., Fehrenbach, U., Scherer, D., Wiesner, S., Ament, F. (2019a). *Handbuch PALM-4U für die Praxis*.

Tudiwer, D., Höckner, V., Korjenic, A. (2018). Hygrothermische Gebäudesimulation zur Bestandsanalyse und Bewertung unterschiedlicher Szenarien bezogen auf das Innenraumklima, Bauphysik. Vol. 40, No. 3: pp. 120–130.

VDI Richtlinie 3787 Blatt 9 (2004). Umweltmeteorologie - Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Düsseldorf: VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.

VDI Richtlinie 3787 Blatt10 (2010). Umweltmeteorologie - Human-biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation. Düsseldorf: VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.

Weber, B., Steuri, B., Antretter, F., Bender, S., Burmeister, C., Büter, B., ..., Winkler, M. (2019). Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U – Teil 2 Erläuterungen - finale Version. In: Weber, B., Steuri, B. (Hrsg.), Nutzer- und Anforderungskatalog für das neue Stadtklimamodell PALM-4U (25-65).

Westerlund, M., Leminen, S. (2011). Managing the challenges of becoming an open innovation company: experiences from Living Labs. Technology Innovation Management Review, 1 (1), 19-25.

Widl, E., Delinchant, B., Kübler, S., Li, D., Müller, W., Norrefeldt, V., Nouidui, T. S., Stratbücker, S., Wetter, M., Wurtz, F., and Zuo, W. (2014). Novel simulation concepts for buildings and community energy systems based on the Functional Mock-up Interface specification, pp. 1–6.

Kontakt:

Climate Service Center Germany (GERICS)
Chilehaus, Eingang B
Fischertwiete 1
20095 Hamburg

Tel. 040-226 338-445
Fax. 040-226 338-163

www.climate-service-center.de

 **Helmholtz-Zentrum
Geesthacht**
Zentrum für Material- und Küstenforschung